

KOSMOS

Possible Worlds

| ANEKA RAGAM DUNIA |

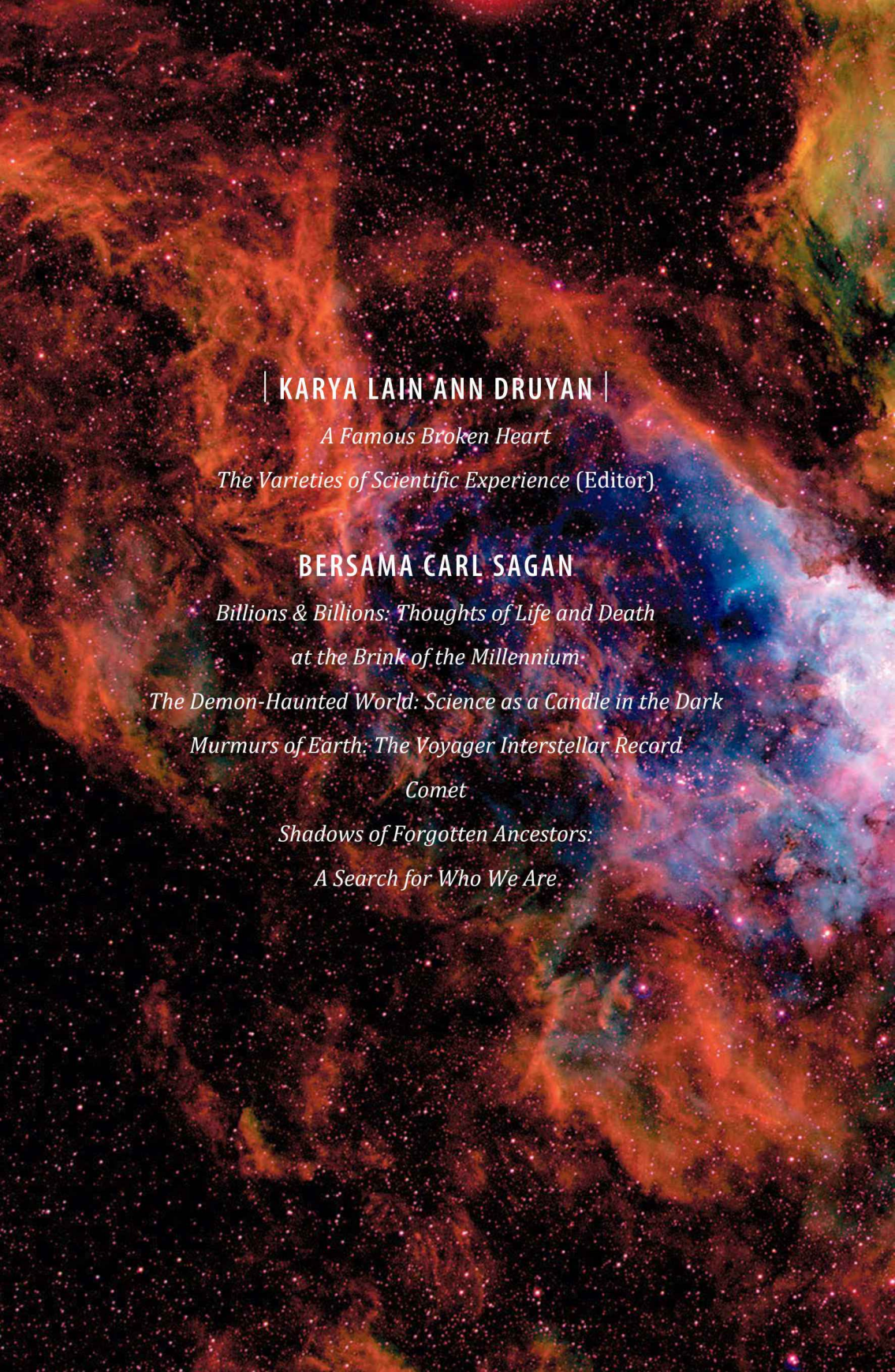
SEKUEL KARYA KLASIK
CARL SAGAN

ANN DRUYAN



KOSMOS

| ANEKA RAGAM DUNIA |



| KARYA LAIN ANN DRUYAN |

A Famous Broken Heart

The Varieties of Scientific Experience (Editor)

BERSAMA CARL SAGAN

Billions & Billions: Thoughts of Life and Death

at the Brink of the Millennium

The Demon-Haunted World: Science as a Candle in the Dark

Murmurs of Earth: The Voyager Interstellar Record

Comet

Shadows of Forgotten Ancestors:

A Search for Who We Are

KOSMOS

| ANEKA RAGAM DUNIA |

ANN DRUYAN



Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta



KOMPAS GRAMEDIA

COSMOS: POSSIBLE WORLDS

By Ann Druyan

Copyright © 2019 Ann Druyan

All rights reserved

First English edition published by National Geographic Partners, LLC

KOSMOS: ANEKA RAGAM DUNIA

Oleh Ann Druyan

GM 620220002

Hak cipta terjemahan Indonesia:

Penerbit Gramedia Pustaka Utama

Alih bahasa: Zia Anshor

Setting: Fajarianto

Halaman 154–155: kutipan dari Carl Sagan, *Broca's Brain*, Random House, 1974. Copyright © 1974 oleh Carl Sagan. Copyright © 2006 oleh Democritus Properties, LLC.

Halaman 369: ucapan terima kasih ditujukan kepada penerbit-penerbit berikut atas izin memuat bagian-bagian dari “Encyclopedia Galactica” dari Carl Sagan, *Cosmos*, New York: Random House, 1980; London, Little, Brown Book Group Ltd., 1980. Copyright © 1980 oleh Carl Sagan Productions, Inc. Copyright © 2006 oleh Dryan-Sagan Associated, Inc.

Diterbitkan pertama kali oleh

Penerbit Gramedia Pustaka Utama,

Anggota IKAPI, Jakarta, 2020

www.gpu.id

Hak cipta dilindungi oleh Undang-undang.

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

ISBN: 978-602-06-3922-2

ISBN Digital: 978-602-06-3923-9

Dicetak oleh Percetakan PT Gramedia, Jakarta

Isi di luar tanggung jawab Percetakan

Sanksi Pelanggaran Pasal 113 Undang-undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta

- (1). Setiap orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf i untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000,00 (seratus juta rupiah).
- (2). Setiap orang yang dengan tanpa hak dan atau tanpa izin pencipta atau pemegang hak cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi pencipta sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan atau huruf h, untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
- (3). Setiap orang yang dengan tanpa hak dan atau tanpa izin pencipta atau pemegang hak melakukan pelanggaran hak ekonomi pencipta sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan atau huruf g, untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
- (4). Setiap orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

Untuk

Sarah,

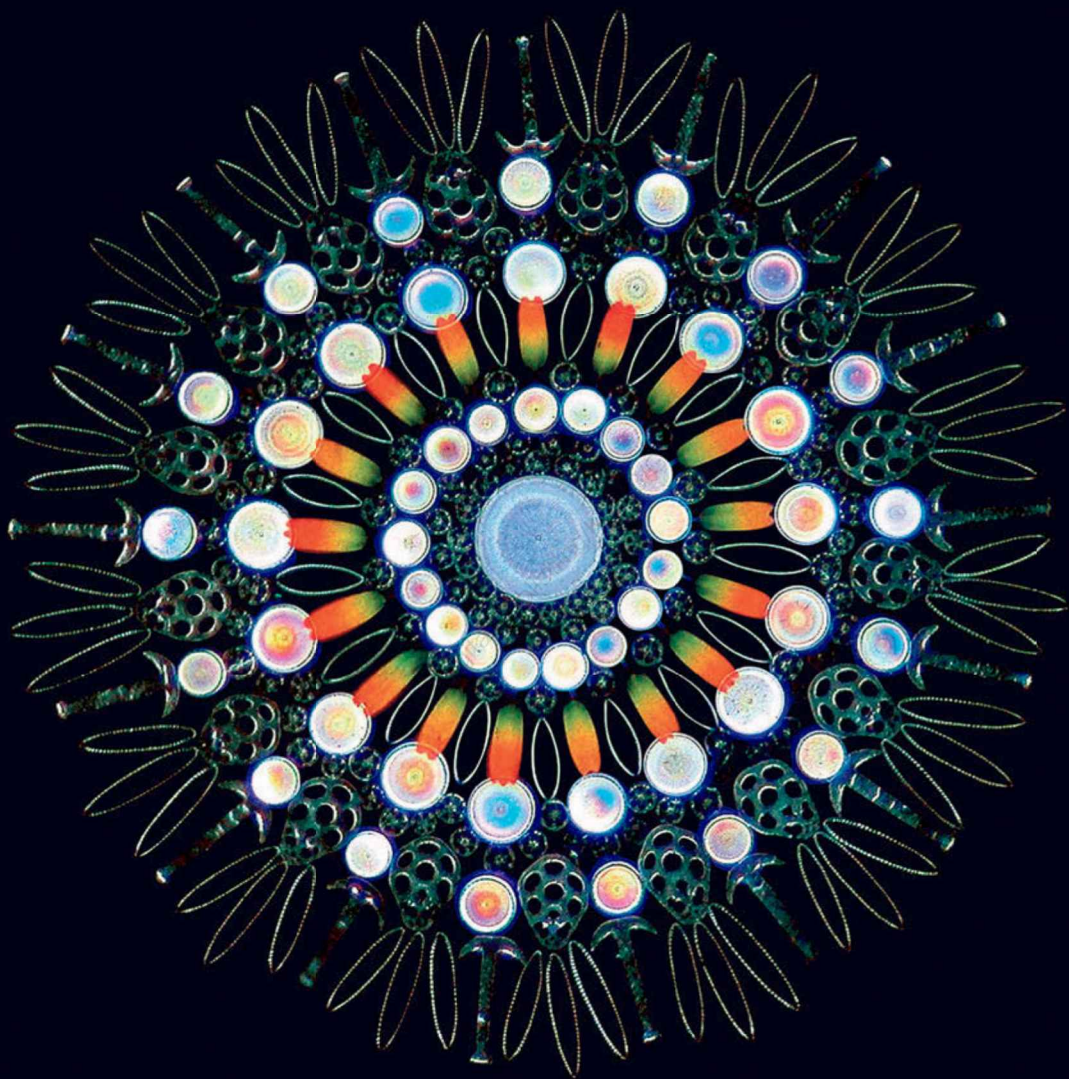
Zoe,

Norah,

dan

Helena

selagi kalian berlayar ke bintang-bintang



DAFTAR ISI



| PROLOG | xv |

| SATU | TANGGA KE BINTANG-BINTANG | 1 |

| DUA | WAHAI, RAJA PERKASA | 37 |

| TIGA | KOTA KEHIDUPAN YANG HILANG | 67 |

| EMPAT | VAVILOV | 95 |

| LIMA | KONEKTOM KOSMIK | 127 |

| ENAM | MANUSIA SETRILIUN DUNIA | 159 |

| TUJUH | PENCARIAN KEHIDUPAN CERDAS | 185 |

| DELAPAN | PENGORBANAN CASSINI | 215 |

| SEMBILAN | SIHIR TANPA DUSTA | 243 |

| SEPULUH | KISAH DUA ATOM | 271 |

| SEBELAS | KARUNIA SEMENTARA ZONA LAYAK HUNI | 303 |

| DUA BELAS | MENJADI DEWASA PADA ANTROPOSEN | 329 |

| TIGA BELAS | DUNIA YANG MUNGKIN | 347 |

| UCAPAN TERIMA KASIH | 372 |

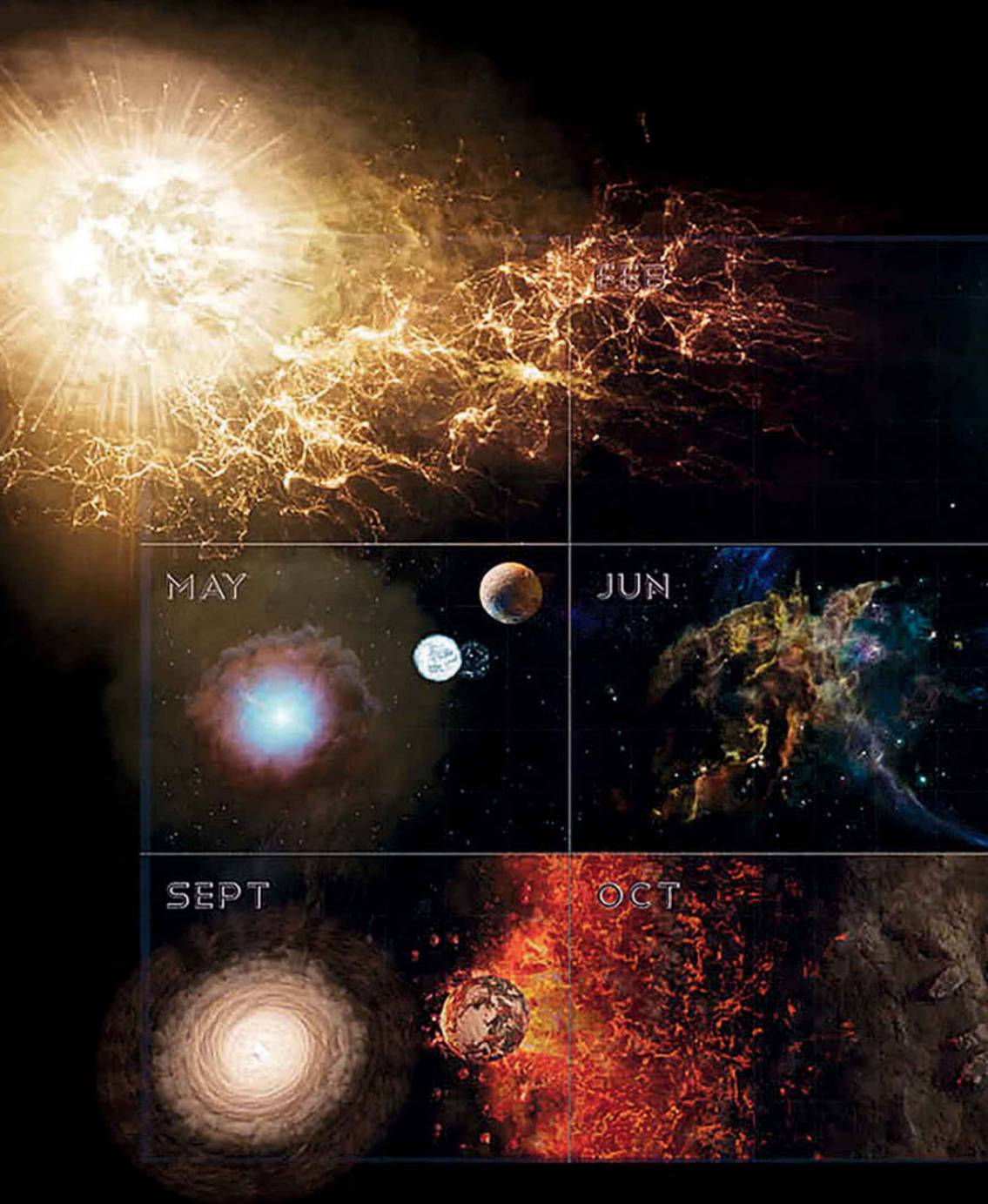
| BACAAN LEBIH LANJUT | 378 |

| KREDIT ILUSTRASI | 379 |

| TENTANG PENULIS | 381 |

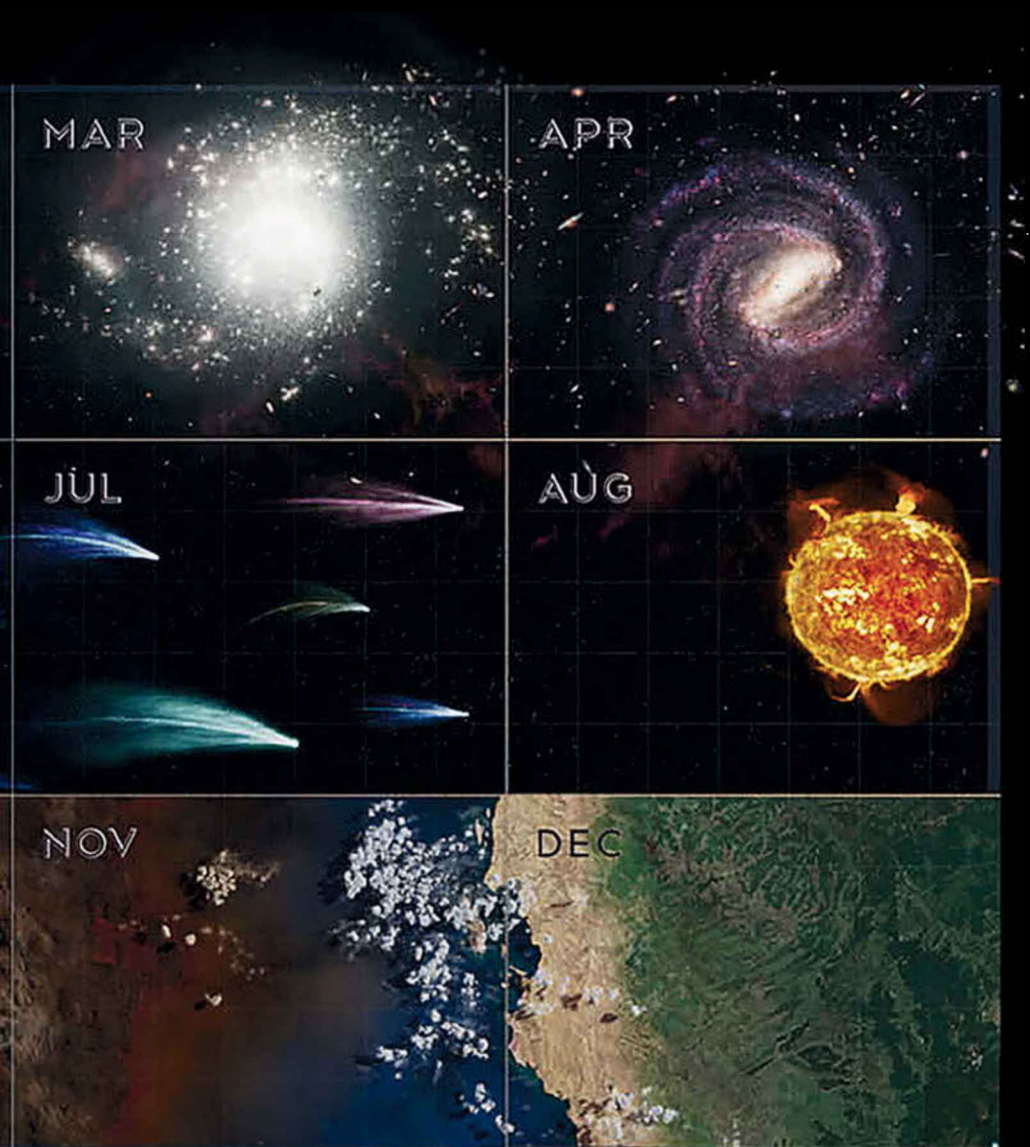
HALAMAN 1: Visi seniman mengenai suatu dunia yang mungkin, 500 lebih tahun cahaya dari kita. Kepler-186f adalah eksoplanet mirip Bumi yang pertama dipastikan, sesudah ditemukan pada 2014. **HALAMAN 2-3:** Nebula Carina di Bimasakti, tempat lahir bintang-bintang berjarak 7.500 tahun cahaya dari kita.

HALAMAN SEBERANG: Karya seni zaman Victoria yang bisa dilihat lewat mikroskop. Yang ini terbuat dari diatom (alga mikroskopik dengan kerangka silikon dioksida) dan sisik kupu-kupu.



| KALENDER KOSMIK |

1 TAHUN = 13,82 miliar tahun * 1 BULAN = 1,136 miliar tahun * 1 MINGGU = 265 juta tahun
1 HARI = 37,86 juta tahun * 1 JAM = 1,578 juta tahun * 1 MENIT = 26.294 tahun
1 DETIK = 438,23 tahun



Gambaran keseluruhan waktu, dari Ledakan Besar hingga saat ini: puncak evolusi kosmik dipadatkan menjadi satu tahun kalender. Kilatan kecil di pojok kanan bawah melambangkan seluruh keberadaan manusia.



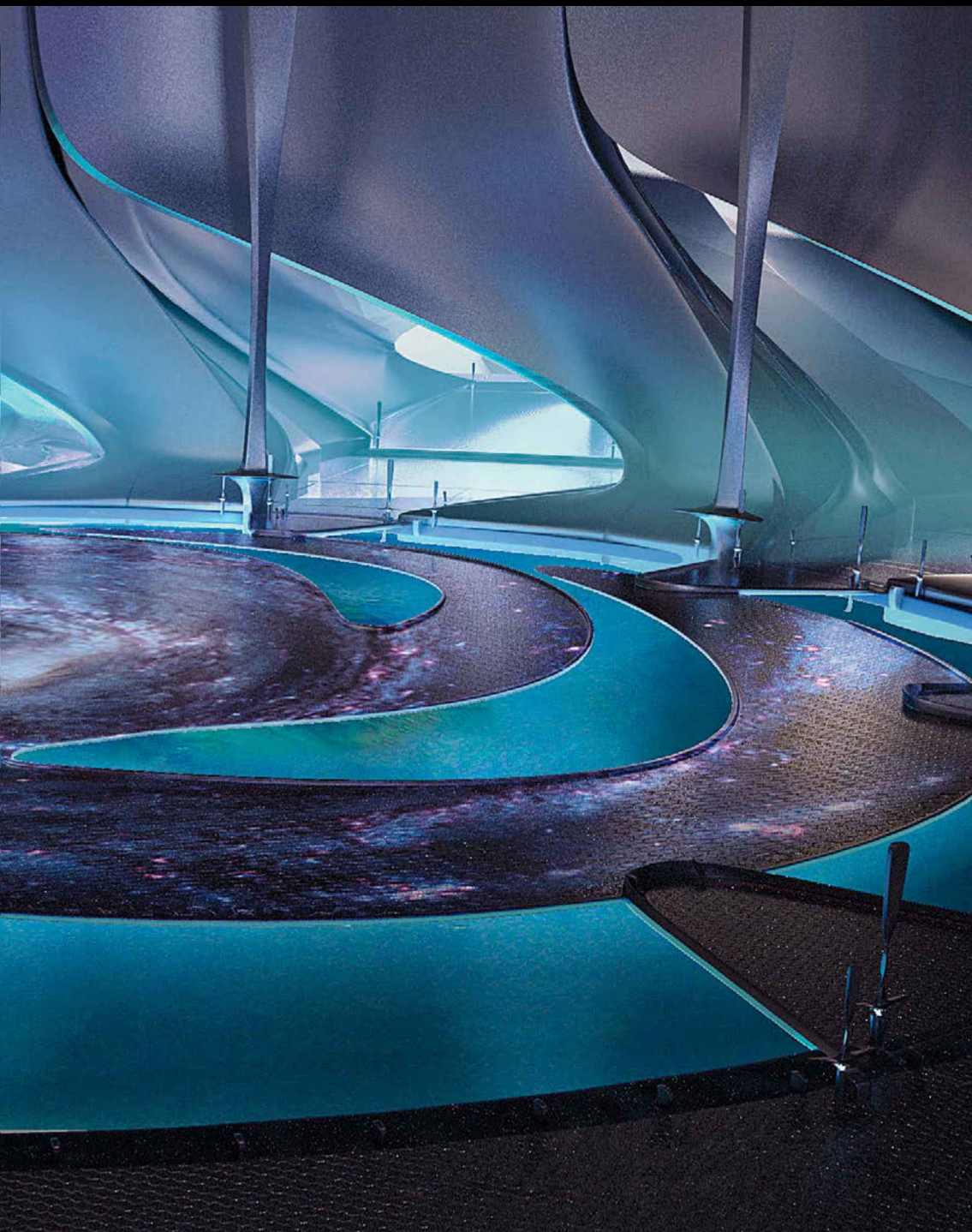
| WORLD'S FAIR 2039 |



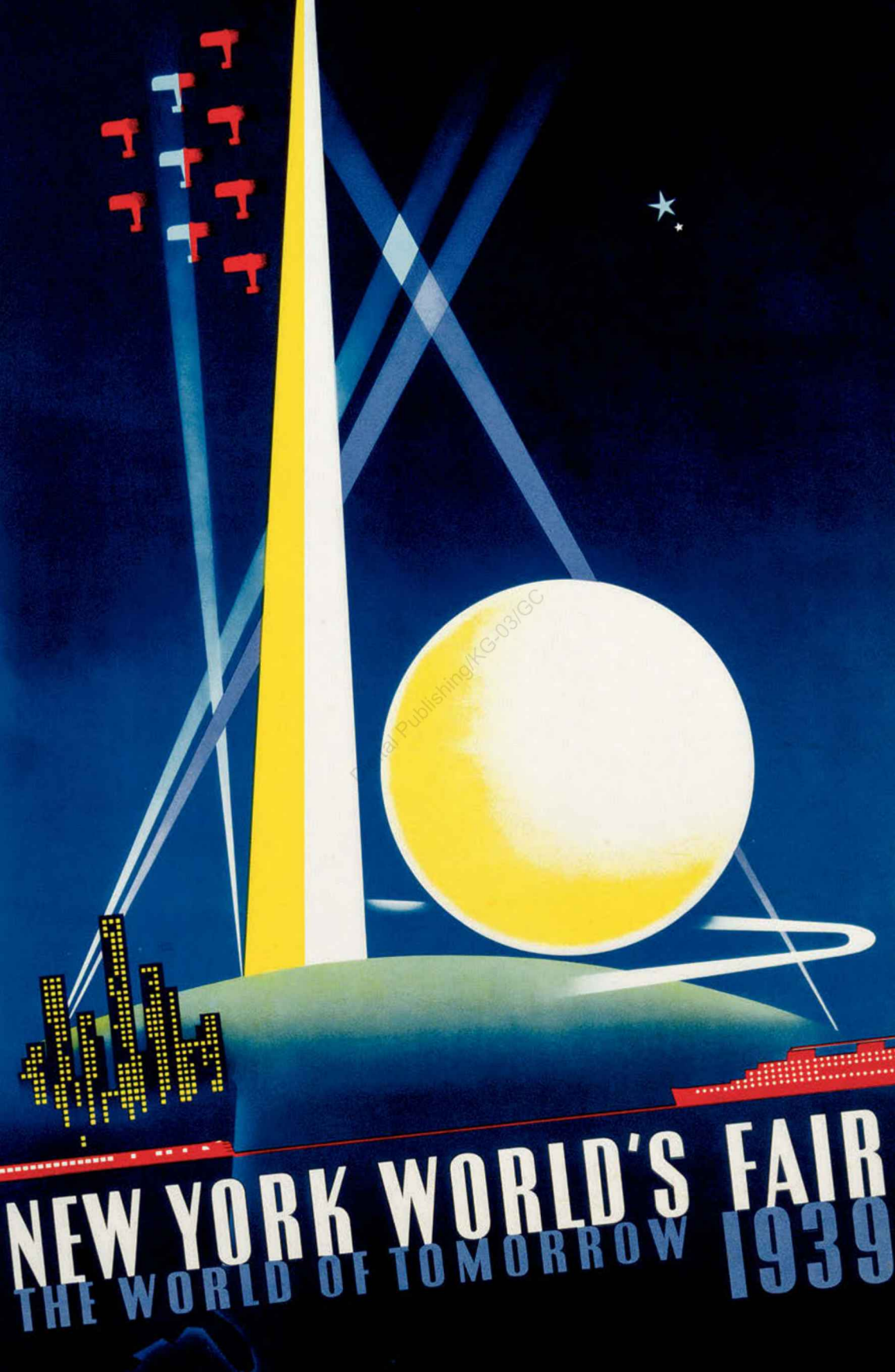
Bayangkan World's Fair 2039, simbol optimisme dan keajaiban dunia masa depan. Pengunjung melimpah, terpesona oleh lima paviliun, mengelilingi kolam refleksi elips yang luas.



| WORLD'S FAIR 2039 |



Penggambaran seniman tentang Çatalhöyük, salah satu proto-kota pertama, sekitar 9.000 tahun yang lalu, sebelum jalan dan pintu depan ditemukan.



NEW YORK WORLD'S FAIR
THE WORLD OF TOMORROW **1939**

Masa kanak-kanak saya penuh pengharapan. Sejak awal bersekolah saya ingin menjadi saintis. Momen penentunya adalah ketika saya pertama kali memahami bahwa bintang-bintang adalah matahari-matahari yang perkasa, ketika pertama kali saya menyadari betapa jauhnya mereka itu sampai-sampai terlihat hanya sebagai titik-titik cahaya di langit. Saya bahkan tidak yakin saya tahu makna kata “sains” kala itu, namun saya ingin, entah bagaimana, membenamkan diri dalam segala keagungannya. Saya dicengkeram oleh kegemilangan Alam Semesta, terkesima membayangkan memahami bagaimana benda-benda sesungguhnya bekerja, membantu menyingkapkan misteri-misteri besar, menjelajahi dunia-dunia baru—bahkan mungkin secara harfiah. Saya sungguh beruntung sebagian mimpi itu bisa terpenuhi. Bagi saya, romansa sains tetap sama memikat dan barunya seperti hari itu, lebih daripada separo abad lalu, ketika saya menyaksikan keajaiban-keajaiban World’s Fair tahun 1939.

—CARL SAGAN,

THE DEMON-HAUNTED WORLD

Poster yang menggambarkan Trylon dan Perisphere,
lambang-lambang New York World’s Fair 1939.





Pada suatu malam berhujan di Queens, masa depan menjadi satu tempat yang dapat dikunjungi. Hujan deras ketika senja di Flushing Meadows tak menyurutkan tekad 200.000 orang yang sudah berkumpul di sana untuk upacara pembukaan New York World's Fair 1939, yang bertema "World of Tomorrow", "Dunia Hari Esok", Sampai ditutup pada musim gugur 1940, tanah terjanji bergaya *art deco* itu didatangi 45 juta pengunjung.

Salah seorangnya adalah anak umur lima tahun yang orangtuanya begitu miskin sehingga mereka membawa bekal makan siang dari rumah. Es krim coklat seharga 20 sen saja terlalu mahal bagi mereka, apalagi senter Bakelite biru-oranye dan gantungan kunci yang anak itu inginkan. Untuk pencuci mulut, cukup apel dari rumah. Meski sempat rewel, si anak pulang dengan tangan hampa—tapi dia menemukan arah hidupnya di sana. Di ruang bermain Aula Hidup Elektrik, dia boleh memainkan musik cahaya inframerah, dan itu membuat dia terpujuk. Dia telah jatuh cinta kepada tempat bernama masa depan, dan paham bahwa satu-satunya jalan ke sana adalah sains. Impian menjadi peta.

Cita-cita dunia impian itu egaliter sekaligus saintifik. Bahkan salah satu komunitas modelnya bernama "Democracity". Tak ada kawasan kumuh—yang ada televisi, pengolah kata, dan robot. Di sana, untuk pertama kali, orang melihat benda-benda yang bakal mengubah hidup mereka.

Futurama, kota tahun 1960 yang dibayangkan pada World's Fair 1939, menampilkan jalan raya bertingkat-tingkat dan pencakar langit berpuncak kebun.

Namun pada malam terakhir April itu, mereka datang untuk mendengar jenius sains terbesar sejak Isaac Newton berbicara. Albert Einstein menjadi pembuka suatu adegan drama yang mengoreografi kekuatan alam seolah-olah perenang sinkron dalam balet air di Aquacade. Einstein memberi pidato singkat dan memencet saklar yang membuat terang World's Fair. Yang dijanjikan adalah kilatan cahaya buatan manusia terbesar dalam sejarah teknik, yang bisa dilihat sampai jarak 60 kilometer. Mengagumkan—tapi tak semengagumkan sumber kehebatan mendadak yang belum pernah terjadi itu.

Di seberang East River, di Manhattan, Profesor W.H. Barton, Jr. di Planetarium Hayden, American Museum of Natural History, mengkalibrasi alat-alat yang bakal menangkap petir misterius dari bagian-bagian alam semesta yang tak dikenal dan mengubahnya menjadi cahaya, menyerap kekuatan dari kosmos seperti Prometheus mencuri api dari para dewa.

Beberapa puluh tahun sebelumnya, saintis bernama Victor Hess telah menemukan bahwa alam semesta mencoba menyentuh dunia kita berkali-kali tiap hari. Semburan radiasi zarah bermuatan menerpa Bumi. Satu proton saja bisa mengandung energi sebesar bola baseball yang dilempar dengan kecepatan 90 kilometer per jam. Namanya adalah sinar kosmik. Tiga alat pencacah Geiger berukuran besar dipasang di Planetarium Hayden untuk menangkap 10 sinar kosmik untuk acara pembukaan World's Fair.

Kalau sudah ditangkap pencacah Geiger, energinya akan diperkuat melalui tabung hampa lalu dihantarkan melintasi jejaring kabel ke Queens, di mana Einstein dan khalayak menunggu. Sinar kosmik bakal memasok energi yang membuat malam menjadi siang, membanjiri dunia baru yang dimungkinkan sains dengan cahaya menyilaukan.

Namun pertama-tama Einstein harus menjelaskan sinar kosmik kepada masyarakat. Dia diminta agar tidak menggunakan lebih

daripada 700 kata. Awalnya Einstein menolak. Mustahil, pikirnya. Sinar kosmik adalah misteri bagi Einstein dan orang-orang sezamannya, dan bagi masyarakat saintifik ketika saya mulai menulis buku ini. Meski begitu, saking gigihnya penelitian sains, selagi saya menyelesaikan naskah buku ini, telah ditemukan bahwa sinar kosmik berasal dari galaksi-galaksi jauh, dibangkitkan oleh beberapa proses terdahsyat di alam semesta.

Pikir Einstein, 700 kata tak mungkin cukup untuk menjelaskan jelimetnya fenomena misterius itu. Namun Einstein benar-benar percaya saintis berkewajiban berkomunikasi dengan masyarakat. Jadi dia pun setuju untuk memberikan penjelasan.

Bayangkan malam terakhir April 1939, malam yang sungguh penuh gelagat. Dunia beberapa bulan sesudahnya menyaksikan invasi Jerman ke Polandia, awal Perang Dunia II, bencana pertumpahan darah global terparah dalam sejarah. Carl Sagan yang berumur lima tahun tak bisa beli es krim maupun oleh-oleh di World Fair karena orangtuanya dan seluruh umat manusia masih belum bisa keluar dari kemiskinan akibat depresi ekonomi terburuk yang pernah terjadi. Di Jerman, di mana hiperinflasi 1930-an membuat orang harus membawa uang kertas satu gerobak untuk membeli sepotong roti, rakyat yang putus asa beralih ke seorang demagog. Meski demikian, di suatu planet yang akan mengalami pembantaian 60 juta penghuninya, dan penderitaan bagi puluhan juta lainnya, dunia dengan masa depan tersuram dalam sejarah manusia, orang-orang berduyun-duyun, beramai-ramai merayakan, bahkan memuja ... *masa depan*.

Matahari terbenam. Einstein maju ke depan mikrofon. Baru saja dia berulangtahun ke-60 sesudah menikmati puluhan tahun ketenaran versi terlangka, ketenaran karena penemuan realitas fisik baru di skala terbesar yang bisa ada.

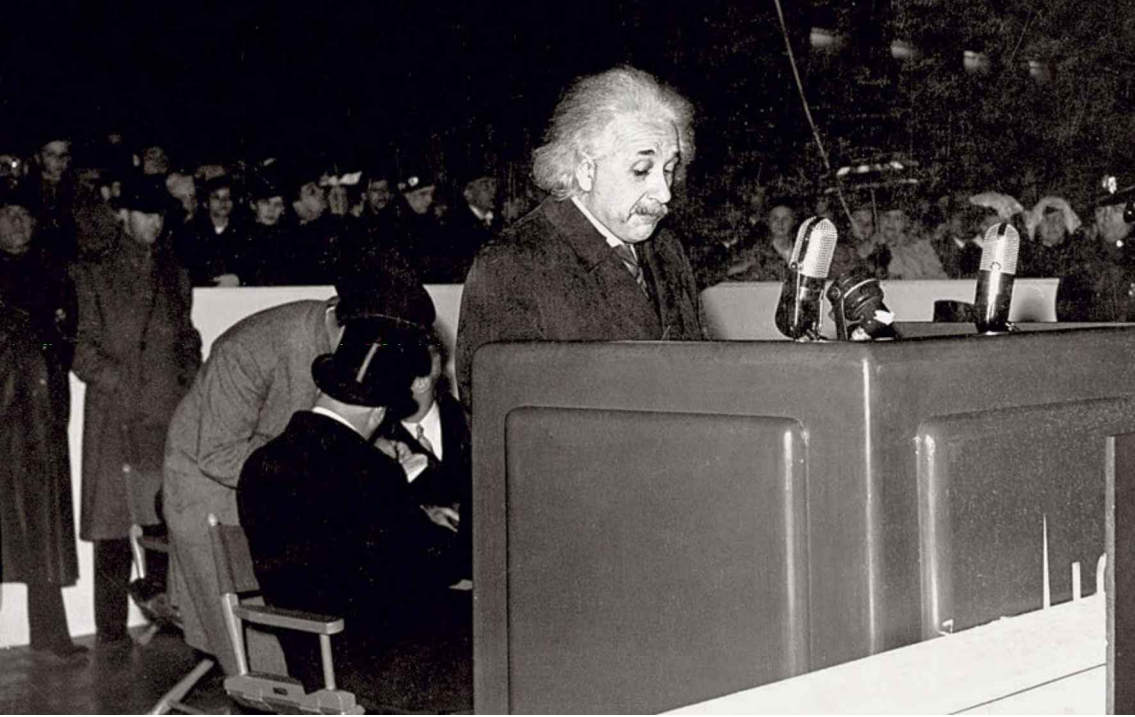
Selama 2.400 tahun, sejak zaman orang jenius Yunani Demokritos, para saintis telah berteori mengenai keberadaan satuan zat

yang tak bisa dibagi lagi, bernama “atom”, tapi belum ada yang bisa membuktikan bahwa atom itu nyata. Ketika berumur 25, Einstein memberi bukti telak pertama keberadaan atom, dan kumpulan atom yaitu molekul. Dia bahkan mengukur besar atom dan molekul. Dia menantang teori cahaya sebagai gelombang dan mengusulkan bahwa cahaya bergerak dalam paket zarah yang bernama foton. Dia menyediakan dasar mekanika kuantum. Dia memperluas fisika klasik dengan menemukan energi di dalam zarah yang diam.

Einstein juga menyadari bahwa gravitasi membengkokkan cahaya. Rumus yang dia buat untuk mengungkapkan gagasannya adalah persamaan yang kita kenal sebagai pernyataan saintifik/matematis paling terkenal di dunia. Einstein membawa hukum gravitasi universal Newton ke tingkat baru ketika dia memahami hukum itu sebagai sifat ruang-waktu. Itulah pintu ke astrofisika modern dan penjelajahan tempat-tempat tergelap di alam semesta, di mana cahaya terpenjara gravitasi.

Einstein mulai berbicara. Orang-orang yang berdiri kehujaan malam itu untuk mendengar dia langsung hanya sedikit dibandingkan yang mendengarnya di Amerika Serikat dan seluruh dunia melalui radio. Dia beritahu mereka mengenai Victor Hess, ahli fisika Austria yang menemukan sinar kosmik dengan melakukan serangkaian penerbangan berbahaya dengan balon udara panas antara 1911 dan 1913. Einstein menggunakan sebagian jatah 700 katanya untuk mengingatkan dunia akan status Hess sebagai imigran, “yang kebetulan, seperti banyak sekali orang akhir-akhir ini, harus mengungsi ke negara amah ini.” Dia melanjutkan dengan menjelaskan apa yang diketahui saintis mengenai sinar kosmik, dan mengakhiri dengan berspekulasi bahwa sinar kosmik dapat menyediakan kunci “struktur terdalam zat.”

Suara pembawa acara membahana di Queens malam itu: “Kini akan kita panggil para pembawa pesan antarplanet untuk meng-



Akalbudi paling dihormati di planet ini membuka New York World's Fair 1939 dengan tantangan ke sains.

ungkap Dunia Hari Esok; sinar pertama yang akan kita tangkap masih berjarak delapan juta kilometer dari sini, bergerak menuju kita dengan kecepatan 300.000 kilometer per detik.” Hitungan dimulai selagi tiap sinar kosmik sampai dan tercatat di pencacah Geiger. Namun ketika yang kesepuluh datang dan Einstein menekan saklar, sistem kabelnya tak kuat; beberapa bohlam meledak. Tetap saja hasilnya bagus sekali. Jalan ke masa depan terbuka.

Besoknya, *New York Times* memberitakan bahwa karena kentalnya logat Einstein dan buruknya akustik pengeras suara, mereka yang hadir tak mendengar banyak hal selain kata-kata pembuka pidatonya: “Jika sains, seperti seni, hendak melaksanakan misinya dengan sungguh-sungguh dan utuh, maka pencapaiannya bukan hanya harus dipandang saja, melainkan masuk membawa makna batin ke dalam kesadaran orang.”

Dari dulu sampai sekarang, itulah impian *Cosmos*. Waktu saya menemukan kata-kata Einstein yang jarang dikutip itu ketika



Voyager 1 dan 2 NASA (1977) membawa pesan kompleks antarbintang ke galaksi Bimasakti dan lima miliar tahun ke masa depan. Torehan di sampulnya adalah hieroglif saintifik yang menunjukkan alamat kita di kosmos dan cara memutar rekaman itu.

malam-malam iseng membuka YouTube, saya menemukan kre-
do untuk karya hidup saya selama 40 tahun. Einstein mendorong
kita membongkar dinding sekeliling sains yang menghalangi dan
menakutkan banyak orang di antara kita—menerjemahkan wa-
wasan sains dari jargon teknis para ahli menjadi bahasa yang di-
mengerti kita semua, supaya bisa meresapi wawasan itu dalam hati
dan berubah karena pertemuan pribadi dengan keajaiban yang
diungkapnya.

Carl Sagan dan saya saling jatuh cinta pada 1977 ketika kami
berkolaborasi di proyek pesan antarbintang Voyager NASA. Carl
waktu itu sudah menjadi ahli astrofisika terkenal, komunikator,
dan peneliti utama untuk rencana misi penjelajahan Voyager. Kami
sebelumnya sudah berkolaborasi di satu proyek televisi. Proyek
itu tak pernah diproduksi akhirnya, tapi pengalaman berpikir ber-
sama di sana membuat Carl meminta saya menjadi direktur kreatif
pesan yang bakal dikenal sebagai “rekaman emas”.

Carl membayangkan bahwa sesudah Voyager 1 menyelesaikan
pengamatan penting tempat yang kala itu dianggap bagian luar

tata surya, dan mengirim kembali gambar terakhir Neptunus, wahana itu harus mengarahkan kameranya ke Bumi untuk memotret dunia kita. Selama bertahun-tahun, dia berkampanye sendirian di NASA dan menghadapi banyak penolakan. Nilai saintifik apa yang bisa didapat dari gambar seperti itu? Namun Carl yakin akan potensi dampak gambar untuk mengubah. Dia tak mau menerima jawaban tidak. Waktu Voyager 1 sudah jauh di atas bidang tata surya kita, NASA menyerah. Album foto keluarga dunia-dunia di tata surya kita pun dibuat, mencakup satu foto yang menampilkan Bumi kecil sekali sampai-sampai kita harus bersusah payah mencarinya.

Gambar “titik biru pucat” dan prosa renungan Carl mengenai-nya telah dicintai dunia sesudahnya. Itulah contoh jenis terobosan yang saya pikir memenuhi harapan Einstein untuk sains. Kita sudah menjadi cukup pandai untuk mengirim wahana antariksa ke jarak enam miliar kilometer dan memerintahkannya mengirimkan foto Bumi. Melihat dunia kita sebagai satu titik di tengah kegelapan mahaluas saja sudah menyatakan seperti apa kita di kosmos, yang langsung bisa dipahami semua manusia. Tidak perlu gelar tinggi. Di foto itu, *makna batin* empat abad riset astronomi tiba-tiba tersedia bagi kita semua dalam sekali pandang. Foto itu adalah data saintifik dan seni sekaligus, karena punya kekuatan untuk menjangkau jiwa kita dan mengubah kesadaran kita. Setara dengan buku atau film bagus, atau sembarang karya seni agung. Foto itu bisa menembus penyangkalan kita dan memperkenalkan kita merasakan sesuatu yang nyata—biarpun kenyataan itu sudah lama ditolak oleh sebagian kita.

Dunia sekecil itu tak mungkin menjadi pusat kosmos yang berisi segalanya, apalagi satu-satunya pusat perhatian penciptanya. Titik biru pucat itu adalah sanggahan bisu terhadap sang fundamentalis, sang nasionalis, sang militeris, sang pencemar—siapa pun yang tak mengutamakan perlindungan planet kecil kita dan kehidupan yang

ditopangnya di tengah kegelapan luas nan dingin. Tiada pelarian dari makna batin prestasi saintifik itu.

Waktu Carl dan saya mulai menulis *Cosmos* yang asli pada 1980 bersama ahli astronomi Steven Soter, kami belum tahu mengenai kutipan Einstein yang itu. Kami hanya merasa semacam kebutuhan untuk berbagi hebatnya kemampuan sains, menyampaikan betapa menggugahnya alam semesta secara spiritual sebagaimana diungkap sains, dan memperkuat peringatan yang disampaikan Carl, Steve, dan saintis lain mengenai dampak kita ke planet ini. *Cosmos* memberi suara bagi prakiraan mereka, tapi juga berisi harapan, dengan rasa harga diri manusia yang sebagian berasal dari keberhasilan kita menemukan jalan di alam semesta, dan keberanian para saintis yang mengungkap dan menyatakan kebenaran tersembunyi.

Seri televisi dan buku *Cosmos* asli tahun 1980 diterima ratusan juta orang di dunia kita. Menurut Library of Congress, buku *Cosmos* adalah satu dari hanya “88 buku yang membentuk Amerika”, bersama-sama *Common Sense*, *The Federalist*, *Moby-Dick*, *Leaves of Grass*, *Invisible Man*, dan *Silent Spring*.

Maka dengan rasa takut cukup besarlah saya bersama Steve, selusin tahun sesudah kematian Carl, menggarap 13 jam lagi seri *Cosmos: A SpaceTime Odyssey*. Mimpi buruk saya selama enam tahun menulis dan memproduksi adalah bahwa keterbatasan pribadi saya bakal menjelekkan Carl, yang saya selalu cintai dan kagumi.

Yang ini, perjalanan ketiga saya di Kapal Imajinasi, menandai tahun ke-40 saya menulis *Cosmos*. Kapal dan Kalender Kosmik bukan hanya peninggalan perjalanan terdahulu. Beberapa kiasan, anekdot, dan alat pengajaran saya anggap punya kemampuan menjelaskan yang tak tertandingi, maka saya bawa juga semua itu di perjalanan ini. Tak pelak lagi akan ada beberapa pengulangan dan tumpang tindih dengan konsep-konsep yang Carl dan saya ungkapkan dulu, tapi sekarang makin penting.

Saya kembali diberkahi kolaborator-kolaborator brilian, dan saya masih saja khawatir tidak bisa memenuhi harapan. Meskipun begitu, zaman mendorong saya maju terus.

Kita semua merasakan suramnya pengaruh masa kini ke masa depan kita. Sebagian diri kita tahu bahwa kita mesti bangkit bertindak atau membuat anak-anak kita menghadapi bahaya dan kesusahan yang tak pernah kita alami. Bagaimana cara menggugah diri dan mencegah kita tahu-tahu mengalami bencana iklim atau nuklir yang tidak bisa dihentikan sebelum menghancurkan peradaban kita dan banyak spesies lain? Bagaimana cara belajar menghargai hal-hal yang kita sangat perlukan untuk hidup—udara, air, tenun kehidupan di Bumi, masa depan—lebih daripada kita menghargai uang dan kenyamanan jangka pendek? Hanya kebangkitan spiritual global yang bisa mengubah kita menjadi yang seharusnya.

Seperti cinta, sains adalah sarana menuju transendensi, pengalaman menjalani hidup sepenuhnya. Pendekatan saintifik terhadap alam dan pemahaman saya akan cinta itu sama: Cinta meminta kita melampaui harapan dan ketakutan kekanak-kanakan, saling menerima realitas. Cinta yang tak gentar seperti itu tak pernah berhenti berani maju lebih dalam, menjangkau lebih jauh.

Itulah tepatnya cara sains mencintai alam. Ketiadaan tujuan akhir, kebenaran mutlak, adalah apa yang membuat sains menjadi metodologi yang sungguh layak untuk pencarian sakral. Sains adalah pelajaran kerendahhatian tanpa akhir. Luasnya alam semesta—dan cinta, hal yang membuat kita bisa menanggung keluasan itu—tak terjangkau oleh yang congkak. Kosmos hanya menerima mereka yang mendengar cermat suara batin yang mengingatkan kita bahwa kita bisa keliru. Yang nyata mesti lebih penting bagi kita dibanding yang ingin kita percayai. Namun bagaimana cara membedakannya?



Saya tahu satu cara membuka tirai kegelapan yang mencegah kita memiliki pengalaman alam yang lengkap. Berikut aturan-aturan dasar jalan sains: Uji gagasan dengan percobaan dan pengamatan. Kembangkan gagasan yang lulus ujian. Tolak gagasan yang tak lulus ujian. Ikuti bukti ke manapun mengarah. Dan *pertanyakan semuanya*, termasuk otoritas. Lakukan semua itu dan kosmos menjadi milik Anda.

Jika serangkaian ziarah menuju pemahaman atas keadaan kita yang sebenarnya di alam semesta, asal-usul kehidupan, dan hukum alam bukan perjalanan spiritual, maka saya tak tahu lagi apa yang dapat dianggap perjalanan spiritual.

Saya bukan saintis, hanya pemburu dan pengumpul cerita. Yang paling saya suka adalah cerita-cerita mengenai para pencari yang telah membantu kita mencari jalan di samudra luas nan gelap, dan pulau-pulau cahaya yang ada.

Berikut adalah cerita-cerita para pencari yang berani bertualang ke samudra kosmos tanpa dasar. Mari berangkat bersama ke dunia-dunia yang mereka temukan—dunia-dunia yang hilang, yang masih ada, dan yang akan datang.

Di halaman-halaman berikut, saya ingin memberitahu Anda cerita seorang jenius tak dikenal yang mengirim surat ke 50 tahun mendatang sehingga membimbing misi Apollo yang sukses ke Bulan. Cerita lain mengenai saintis yang mencapai kontak dengan bentuk kehidupan kuno yang menggunakan bahasa simbolis untuk berkomunikasi, seperti kita. Makhluk-makhluk yang membuat perhitungan matematis berdasarkan fisika dan astronomi itu hidup dalam komitmen demokrasi sukarela yang membuat demokrasi kita terkesan tak ada apa-apanya.

Ann Druyan dan Carl Sagan pada 1980, selama produksi
Cosmos: A Personal Voyage di Los Angeles

Saya ingin membawa Anda ke dunia-dunia yang bisa kita bayangkan, hidupakan lagi, bahkan kunjungi berkat sains: dunia yang dihujani intan, dan kota kuno di dasar laut tempat kehidupan di Bumi mungkin berawal. Saya ingin Anda menyaksikan apa yang mungkin merupakan hubungan antarbintang paling intim di kosmos, dua bintang yang saling memeluk dengan jembatan api sepanjang dua belas juta kilometer.

Mari bersama-sama menguping jejaring tersembunyi kolaborasi kuno antarkingdom kehidupan. Saya ingin memberitahu Anda mengenai saintis tak dikenal yang memberi kunci dunia yang telah lama hilang. Orang yang sama juga mengungkapkan satu lubang logika dalam realitas lebih daripada 200 tahun lalu, yang masih tetap belum terjelaskan, meski Einstein sudah berusaha keras.

Yang paling menyentuh hati bagi saya adalah semangat seseorang yang memilih mati pelan-pelan secara mengerikan di tangan salah satu pembunuh terseram dalam sejarah. Bisa saja dia menyelamatkan diri dengan mengatakan kebohongan saintifik. Namun dia tak kuasa. Para muridnya dengan sukarela mengikuti dia menjadi martir untuk melindungi apa yang pastinya hanya suatu abstraksi bagi mereka—generasi mendatang. *Kita*.

Dan kita juga akan bahas kemungkinan dunia yang paling membuat saya girang—masa depan yang masih bisa kita dapat di sini. Penyalahgunaan sains mengancam peradaban kita, tapi sains juga punya kemampuan menyelamatkan. Sains bisa membersihkan atmosfer planet yang kepenuhan karbon dioksida. Sains bisa membebaskan kehidupan untuk menetralkan racun yang kita buang sembarangan. Dalam masyarakat yang bercita-cita menjadi suatu demokrasi, publik yang berkesadaran dan termotivasi bisa mewujudkan kemungkinan dunia itu.

Itulah cerita-cerita yang membuat saya lebih optimis mengenai masa depan kita. Melalui cerita-cerita itu saya makin kuat merasa-

Prolog

kan romansa sains dan betapa menakjubkannya kehidupan sekarang, di koordinat ini di ruang-waktu, tak sendirian, tepat di rumah, di sini di kosmos.

—ANN DRUYAN



Digital Art

TANGGA KE BINTANG-BINTANG

*Bukan saya, melainkan dunia yang berkata,
semua adalah satu.*

—HERAKLEITOS, KIRA-KIRA 500 SM

Selama 99% waktu sejak spesies kita ada, kita merupakan pemburu dan pengumpul ... Kita hanya diikat Bumi, laut, dan langit ... Kita, yang bahkan tak bisa menata planet rumah kita sendiri ... bisakah kita bertualang ke antariksa, menggerakkan dunia-dunia, merekayasa planet-planet, menyebar ke sistem bintang lain? ... Kala kita siap menetap di sistem planet lain di dekat kita, kita akan telah berubah. Sekadar berlalunya banyak generasi akan mengubah kita. Kebutuhan akan mengubah kita. Kita spesies yang bisa menyesuaikan diri ... Meski ada segala macam kekurangan, keterbatasan, dan kelemahan, kita sebagai manusia bisa melakukan hal-hal besar ... Sejauh apa spesies kita akan mengembara pada akhir abad mendatang?

Dan milenium mendatang?

—CARL SAGAN, PALE BLUE DOT

Bentang mengesankan cincin-cincin Saturnus—pelangi buatan gravitasi. Wahana antariksa Cassini milik NASA memberi perspektif untuk titik biru pucat yang berjarak hampir 1,4 miliar kilometer dari sana.





Kita sangat muda, pendatang baru di kemahaluasan. Kita berpegang di pantai samudra kosmik seperti anak kecil, sekali-sekali berjalan menjauhi ibu kita kemudian mengingat kembali rasa takut dan kembali kepada ibu mencari perlindungan.

Setengah abad lalu manusia berkunjung ke Bulan beberapa kali. Sesudahnya perjalanan penjelajahan kita dilakukan oleh robot. Pada 1977 kita mengirim Voyager 1, utusan robot kita yang paling berani, lebih jauh dari Bumi dibanding apapun yang kita pernah sentuh, di luar jangkauan angin dari bintang kita, ke kedalaman antarbintang.

Namun Matahari kita hanyalah bintang terdekat. Dengan kecepatan 60.000 kilometer per jam, Voyager 1 kiranya butuh hampir 80.000 tahun untuk mencapai bintang terdekat berikutnya, Proxima Centauri. Itu baru satu perjalanan dari satu bintang ke bintang lain di galaksi Bimasakti, kumpulan gravitasional ratusan miliar bintang. Dan galaksi Bimasakti kita hanya satu di antara barangkali satu *triliun galaksi*—dua *triliun* jika kita hitung semua galaksi katai yang sudah bergabung membentuk galaksi besar seperti galaksi kita. Pengamatan itu menunjukkan kepada kita suatu kosmos dengan miliar-triliunan bintang dan mungkin jumlah ragam dunia yang seribu kali lipatny.

Salah satu bintang terbesar di Bimasakti, Antares, bersinar terang di atas Gurun Atacama Chile walau jaraknya dari Bumi lebih dari 600 tahun perjalanan cahaya.

Dan itu baru bagian alam semesta yang bisa kita lihat. Sebagian besar kosmos tersembunyi dari kita, tertutup tabir waktu dan jarak. Pengembangan tatanan ruang-waktu awal yang lebih cepat daripada cahaya membuat sebagian besar alam semesta berada di luar jangkauan teleskop terhebat kita. Ada juga kemungkinan bahwa seluruh alam semesta kita, tempat yang amat besar menurut kita, boleh jadi hanya satu zarah kecil di multiseemesta (*multiverse*) yang tak terbayangkan. Tak heran kita merasa takut dan memegang erat delusi bahwa kita ada di pusat, berstatus istimewa sebagai satu-satunya anak sang Pencipta. Menghadapi realitas nan dahsyat itu, mana bisa makhluk-makhluk kecil yang sering tersesat di atas satu titik bisa merasa betah di alam semesta?

Sejak kita menjadi manusia, kita telah bercerita untuk membantu diri kita menghadapi rasa takut gelap. “Gelap” adalah kualitas, bukan kuantitas. Malam di kamar seorang anak adalah suatu kosmos tersendiri. Spesies kita yang didorong cerita mencari jalan dengan memilah gelap menjadi narasi. Sebelum ada sains, kita tak punya cara untuk menguji cerita kita terhadap realitas. Kita hanyut di samudra ruang-waktu tanpa tahu *di mana* atau *kapan* kita ada, sampai bergenerasi-generasi pencari mulai menetapkan koordinat kita.

Pemahaman terbaru kita atas umur alam semesta berasal dari satelit Planck milik Badan Antariksa Eropa, yang memantau seluruh langit selama setahun lebih, dengan cermat mengukur cahaya yang pertama kali terpancar kala alam semesta baru lahir, hanya 380.000 tahun sesudah Ledakan Besar. Misi Planck mengungkapkan kosmos yang sebenarnya berumur 13,82 miliar tahun—seratus juta tahun lebih tua daripada yang sebelumnya diperkirakan para saintis.

Itulah salah satu hal yang saya suka di sains. Ketika ditemukan bukti bahwa alam semesta sedikit lebih tua daripada yang sebelumnya diketahui, tidak ada saintis yang berusaha menutup-

nutupinya. Begitu data baru diverifikasi, perubahan pemahaman itu langsung diterima seluruh komunitas sains. Sikap revolusioner permanen itu, keterbukaan terhadap perubahan, di jantung sains menjadikannya begitu efektif.



Kisah saintifik waktu sudah berlangsung sangat lama, sehingga kita perlu memilahnya menjadi satuan-satuan yang akrab dengan manusia. Kalender Kosmik menggambarkan keseluruhan waktu, 13,82 miliar tahun dalam cerita versi sains, menjadi sesuatu yang kita semua bisa pahami, satu tahun Bumi. Waktu berawal di pojok kiri atas dengan Ledakan Besar pada 1 Januari dan berujung pada tengah malam 31 Desember, di pojok kanan bawah. Di skala itu, tiap bulan menggambarkan satu miliar tahun lebih. Tiap hari mewakili 38 juta tahun. Tiap jam, hampir dua juta tahun. Satu menit kosmik adalah 26.000 tahun. Satu detik tahun kosmik setara 440 tahun, hanya sedikit lebih lama daripada waktu yang telah berlalu sejak Galileo pertama kali memandang melalui teleskop.

Itulah sebabnya Kalender Kosmik bermakna sekali bagi saya. Selama sembilan miliar tahun pertama, tidak ada planet Bumi. Baru ketika tahun kosmik sudah berlalu dua pertiganya, menjelang akhir musim panas, pada 31 Agustus, dunia kecil kita terbentuk dari gumpalan gas dan debu yang mengelilingi bintang kita. Tiada sesuatu milik kita yang sudah ada dalam sebagian besar sejarah alam semesta. Saya dapati itu sebagai sumber rasa rendah hati yang mendalam.

Planet kita mengalami banyak hantaman selama satu miliar tahun pertama keberadaannya. Awalnya, tabrakan-tabrakan terjadi selagi dunia-dunia baru menyapu bersih orbitnya dari puing. Kemudian, kekacauan di seluruh tata surya akibat Jupiter dan Saturnus yang besar bergerak ke jalur orbit lain sehingga gravitasi



ATAS: Pasang surut di Shark Bay, Australia, menunjukkan koloni mikroba mirip yang hidup lebih daripada tiga miliar tahun lalu. **SEBERANG:** Fosil berumur 160 juta tahun yang ditemukan di Tiongkok pada 2011 memberi kesan bahwa hewan berplasenta pertama tampak seperti celurut.

keduanya menarik asteroid dari orbit lalu menabrak planet-planet dan bulan-bulan.

Bombardir Berat Akhir (Late Heavy Bombardment), demikian nama peristiwa itu, belum berakhir ketika kehidupan berawal di dasar laut. Itu kabar menggugah bagi yang berharap menemukan kehidupan di tempat lain di alam semesta. Kisah bintang kita dan dunia-duniannya barangkali merupakan proses lazim di seantero kosmos. Benda-benda yang menabrak Bumi dapat menjadi jasa antar rutin yang membawa bahan-bahan untuk kehidupan, bahkan juga panas yang diperlukan untuk mematangkannya.

Tiap makhluk hidup di Bumi dianggap keturunan dari satu asal-usul. Kita pikir kehidupan berawal di kegelapan samudra dalam pada 2 September, di satu kota bermenara batu di dasar laut. Ce-

ritanya akan dirinci nanti dalam perjalanan kita. Dalam kehidupan pertama itu ada mekanisme penyalinan yang dapat membuat lebih banyak kehidupan. Mekanisme itu adalah suatu molekul, sekumpulan atom, berbentuk seperti tangga terpelintir—DNA. Salah satu kehebatan DNA adalah ketidaksempurnaan. Kadang terjadi kesalahan penyalinan atau kerusakan akibat sinar kosmik. Semuanya bersifat acak, tapi beberapa kesalahan itu—mutasi—menghasilkan bentuk kehidupan yang lebih berhasil—yang kita sebut *evolusi melalui seleksi alam*. Tangga itu tumbuh, menambah makin banyak anak tangga.

Butuh tiga miliar tahun lagi bagi kehidupan untuk berevolusi dari organisme bersel satu ke kompleksitas tumbuhan yang bisa kita lihat dengan mata. Namun belum ada mata kala itu. Meski demikian, dahulu pun sudah ada kesadaran. Boleh dikata, organisme bersel satu yang tahu “kamu saya makan, saya sendiri tidak saya makan” sudah menunjukkan satu kadar kesadaran.



Kisah bagaimana kehidupan menjadi manusia berada di kesinambungan yang sama. Namun ada satu perkembangan dramatis baru selama minggu terakhir tahun kosmik. Jika Kalender Kosmik punya hari libur, maka pastilah 26 Desember termasuk salah satunya. Karena pada hari itu dalam Kalender Kosmik, atau sekitar 200 juta tahun lalu, mamalia muncul.

Mamalia sejati pertama adalah hewan-hewan kecil seperti celurut. Waktu saya bilang “kecil”, yang saya maksud adalah benar-benar kecil—tak lebih besar daripada penjepit kertas. Mereka hanya keluar pada malam hari karena para pemangsa, dinosaurus dan lainnya, masih berkuasa. Pada Zaman Trias, mungkin tampaknya peluang para makhluk kecil itu tak bagus, dibanding dinosaurus yang perkasa. Namun yang lemah lembut akhirnya mewarisi Bumi.

Ada bagian baru di otak mamalia: neokorteks. Seperti mamalia pemiliknya, neokorteks awalnya kecil, tapi mengandung potensi besar untuk pertumbuhan dan perkembangan—termasuk kapasitas untuk organisasi sosial dalam kelompok besar. Mamalia menghadirkan inovasi lain juga: menyusui dan memelihara anak. Hari Ibu di Kalender Kosmik jatuh pada tanggal 26 Desember.

Evolusi melalui seleksi alam berarti bahwa makhluk hidup yang bisa menyesuaikan diri lebih baik dengan lingkungan lebih mungkin bertahan hidup dan berketurunan. Kecerdasan—kalau digunakan—bisa menjadi keunggulan selektif besar. Dilipat menjadi banyak lapisan, neokorteks menambah lebih banyak luas permukaan untuk mengolah informasi. Bagian-bagian otak menjadi makin berlekuk-lekuk, memungkinkan makin banyak tempat untuk daya komputasi.

Otak terus berevolusi, berubah bentuk, tumbuh makin besar dan makin berlipat-lipat. Sekitar pukul 7 malam tanggal 31 Desember, terjadi perpisahan evolusioner antara garis keturunan kita dan kerabat terdekat kita, bonobo dan simpanse. Mereka berevolusi menjadi makhluk hutan yang saling menelisik, berduka kalau teman atau anggota keluarganya meninggal, menggunakan ranting sebagai alat untuk memancing semut guna dimakan, mengajar anak melakukan hal yang sama, dan bersama-sama mengagumi Matahari terbenam dalam diam. Namun tak banyak yang diketahui mengenai seperti apa mereka pada zaman leluhur bersama terakhir kita dan mereka.

Hari ini, kita punya kesamaan gen amat banyak dengan mereka, sekitar 99 persen. Jadi apa yang membuat kita berbeda dengan simpanse? Mengapa di antara lima miliar spesies yang pernah ada di Bumi, hanya kita yang berevolusi menjadi bentuk kehidupan pembuat peradaban, pengubah dunia, penjelajah antariksa kini? Belum lama ini kita terpukau dengan api. Kita kemudian berubah menjadi makhluk yang berkomunikasi dengan kecepatan cahaya.

Melihat zarah, atom, dan sel. Memandang awal waktu dan menemukan cahaya galaksi nan jauh miliaran tahun cahaya di ujung ketakterhinggaan.

Boleh jadi akarnya hanya ini: Sekitar tujuh juta tahun lalu sesuatu terjadi di skala amat kecil, menyebabkan perubahan yang bakal mempengaruhi seluruh planet ini dan ujung-ujungnya menyentuh planet-planet lain. Sel manusia terbesar, sel telur, hampir tak terlihat mata manusia. Sel bervolume terkecil, sperma, memang terlalu kecil untuk dilihat. Namun di dalam inti sebagian besar sel ada pesan tersandi yang terdiri atas tiga miliar pasang basa, anak-anak tangga di tangga terpinil heliks ganda.

Nasib planet ini berubah untuk seterusnya karena satu peristiwa di *satu anak tangga*, melibatkan hanya 13 atom. Sekecil apakah 13 atom? Ukurannya satu per satu kuadriliun ukuran sebutir garam. Satu mutasi sebesar *satu per satu kuadriliun ukuran sebutir garam* terjadi di DNA salah satu leluhur kita beberapa juta tahun lalu dan menjadi sebagian alasan mengapa Anda menjadi siapa Anda sekarang yang membaca kata-kata ini.

Semua sumber kebanggaan—segala yang kita pelajari dan bangun—adalah hasil perubahan satu pasangan basa, satu anak tangga di tangga sepanjang tiga miliar anak tangga. Satu anak tangga itu memprogram neokorteks untuk tumbuh makin besar dan melengkuk makin dalam. Barangkali penyebabnya sambaran acak sinar kosmik, atau sekadar kesalahan penyalinan. Apapun penyebabnya, arahnya adalah perubahan di spesies kita yang ujungnya bakal mempengaruhi semua spesies makhluk hidup lain di Bumi. Terjadinya sesudah waktu makan malam pada Malam Tahun Baru di Kalender Kosmik kita.

Pikirkan—baik atau buruk, kemampuan kita merasakan kesetiaan dan perhatian kepada kelompok yang makin besar, obsesi kita terha-



dap sistem kepercayaan tertentu, kapasitas kita membayangkan masa depan, kedigdayaan kita untuk mengubah dunia dan mencari jawaban di kosmos, bahkan nama yang kita beri bagi spesies kita sendiri, *Homo sapiens*, ungkapan Latin untuk “manusia bijaksana”—semuanya boleh jadi hanya karena satu anak tangga di tangga mikroskopik ke bintang-bintang.

Selama sebagian besar jam terakhir di Kalender Kosmik—59 dari 60 menit tersisa—leluhur kita adalah manusia purba yang berevolusi menjadi pemburu-pengumpul, hidup dalam kelompok-kelompok kecil, “*hanya dibatasi Bumi dan laut dan langit.*”

Kalau orang bersikap cuek dan berkata “itu karena sifat dasar manusia”, saya heran. Biasanya mereka berkata begitu mengenai ketamakan, kecongkakan, dan kekerasan kita. Namun kita sudah menjadi manusia selama setengah juta tahun atau lebih. Biasanya kita tidak seperti itu. Bagaimana caranya kita tahu? Dari laporan para penjelajah dan ahli antropologi yang bertemu dengan masyarakat pemburu-pengumpul yang masih ada selama empat abad ini. Tentu saja ada pengecualian. Kekurangan selalu memicu sisi terburuk kita. Namun mayoritasnya menggambarkan manusia yang hidup relatif harmonis dengan sesama dan lingkungan.

Kita berbagi sesedikit apapun yang kita miliki karena kita tahu bahwa kelestarian kita bergantung kepada kelompok. Kita tak menghargai kekayaan melebihi kebutuhan karena hanya membebani kita ketika berkelana. Kita mulai berbeda dengan leluhur primata kita yang bukan manusia, dengan pejantan alfa yang menindas untuk berkuasa. Bukti yang ada sebagai contoh adalah etos kesetaraan gender dan upaya cermat untuk berbagi sumber daya dengan adil. Sebagian besar masyarakat bertindak seolah tahu seberapa besar anggota-anggotanya saling membutuhkan.

Kebajikan paling berharga di antara para leluhur pemburu-pengumpul kita adalah sifat rendah hati. Seolah leluhur kita mengerti bahwa pemburu yang terlalu angkuh membahayakan kelompok. Jika dia tampak terlalu sombong ketika membawa pulang

buruan untuk dimakan, mereka bakal berkata dagingnya alot dan tak enak. Jika itu tak membuat dia sadar mengenai bagaimana seharusnya berperilaku, mereka bakal melakukan satu hal yang paling dia takuti—mereka bakal abaikan dia. Apapun yang dia lakukan, mereka bertindak seolah-olah dia tak ada.

(Kadang ketika seseorang diangkat statusnya sampai menjadi pesohor kemudian mengalami kejatuhan dan terusir dari kehidupan publik, saya bertanya-tanya apakah peristiwa itu bukan pengulangan sesuatu yang mendalam dari masa lalu kita.)

Dan di manakah Tuhan? Di mana-mana. Di bebatuan dan sungai, di pepohonan, di burung-burung dan semua makhluk hidup. Itulah sifat dasar manusia selama setengah juta tahun.



Pada pukul 11.56 Malam Tahun Baru di Kalender Kosmik, atau sekitar seratus ribu tahun lalu, Afrika menjadi rumah semua *Homo sapiens* di dunia—100.000 orang. Ketika saya mengetahui bahwa populasi satu spesies turun menjadi 10.000, saya khawatir terhadap spesies itu. Jika Anda makhluk luar Bumi yang mengunjungi Bumi untuk misi survei kala itu, boleh jadi Anda berpikir bahwa kita adalah spesies terancam punah. Kita sekarang berjumlah miliaran. Apa yang terjadi?

Leluhur kita melakukan lompatan besar di satu tempat bernama Gua Blombos, dan barangkali di banyak tempat lain yang belum kita temukan. Gua Blombos yang terletak di ujung selatan Afrika, di pantai Samudra Hindia, adalah laboratorium kimia tertua yang sudah ditemukan dan bukti tertua salah satu keunggulan adaptif terbesar spesies kita: kemampuan mengambil apa yang tersedia di lingkungan dan mengubahnya untuk keperluan baru.

Di bawah langit-langit tinggi alami gua itu terserak cangkang-cangkang kerang yang digunakan sebagai belanga tempat men-

campur, serangkaian mata tombak dalam berbagai tahap pembuatan, peralatan pengolah zat warna dari tanah merah, tulang berukir, manik-manik berukuran seragam yang diuntai, kulit telur kura-kura dan burung unta, serta alat dari tulang dan batu. Siapakah para ahli kimia pertama itu? Kita. Belum ada tulang leluhur kita yang ditemukan di Gua Blombos. Hanya tujuh gigi manusia. Bisa kita ketahui berdasarkan gigi itu bahwa orang-orang tersebut anatominya seperti kita. Dan *bukan hanya* anatomi.

Tujuh puluh cangkang keong laut berukuran dan berwarna sama, semuanya dilubangi di tempat yang sama, menunjukkan produksi manik-manik oleh pembuat perhiasan di Blombos. Mereka juga melakukan sesuatu yang membuat saya merinding. Mereka melakukan percobaan kimia dengan mineral kaya besi: oker (*ocher*). Menggunakan cangkang abalon sebagai tabung reaksi, mereka mencampur oker dengan debu tulang hewan dan arang. Kemudian mereka membentuk campurannya menjadi blok panjang. Oker sendiri barangkali digunakan untuk menghias barang atau manusia dengan warna merah, tapi juga mungkin digunakan untuk kebutuhan lain—mengawetkan kulit hewan, obat, sarana mengasah alat, atau penolak serangga.

Terjadilah sesuatu yang sepengetahuan kita benar-benar baru di planet ini. Mereka mengukir desain geometris di oker. Seni. Bukan untuk dimakan. Bukan untuk memberi naungan, menangkap mangsa, atau menarik pasangan. Melainkan untuk melambangkan sesuatu. Atau sekadar untuk ada. Desain saling silang yang khas itu tampak agak mirip tangga, atau ... heliks ganda. Apapun maknanya, barang itu adalah bukti budaya manusia tertua yang kita punya. Kita telah menemukan cara untuk meninggalkan sesuatu yang khas

Karya seni pertama? Artifak budaya manusia tertua yang telah ditemukan, seongkah oker berukir dari Gua Blombos di Afrika Selatan yang dibuat sekitar 70.000 tahun lalu.





manusia. Suatu cara komunikasi, meski misterius, kepada Anda dan saya seratus ribu tahun pada masa depan. Satu kemampuan hebat pertama kali ditemukan di sana, di Gua Blombos.

Puluhan ribu tahun sesudahnya, beberapa leluhur kita pergi keluar Afrika untuk menjelajahi dan mendiami planet ini, meninggalkan bukti hasrat mereka untuk diingat. Di satu bukti kehebatan manusia yang benar-benar layak dikenang di Gua Laba-laba, dekat Valencia, Spanyol zaman sekarang, seorang manusia berani memanjat dengan tali, atau tangga, membawa bejana berasap untuk mengambil madu dari sarang lebah. Biasanya manusia itu dianggap laki-laki, tapi saya bertanya-tanya apakah itu hanya asumsi zaman dulu. Saya pikir si pencuri madu lebih terlihat seperti perempuan. Tidak ada bagian lukisan gua itu yang menyangkal pandangan saya.

Delapan ribu tahun sesudah dilukis, lebah-lebah itu masih kabur dari asap, bukti kuat satu kemenangan awal manusia atas musuh terbesar kita—waktu. Namun meski gambar itu amat tua, umurnya di Kalender Kosmik tetap hanya 20 detik lalu.



Beberapa ribu tahun sebelumnya, orang di seluruh dunia menemukan satu kekuatan besar lain. Bukannya berburu dan mengumpulkan makanan atau mengikuti migrasi kawanan hewan, para leluhur kita belajar cara menumbuhkan makanan di tanah dan menjinakkan hewan liar. Itu mengubah segalanya. Leluhr kita jadi tergerak melakukan sesuatu yang dulu belum mereka lakukan. Mereka menetap dan tinggal dalam rumah. Mereka menciptakan alat-alat

Lukisan gua dekat Valencia, Spanyol, dari sekitar 5000 SM menggambarkan sosok manusia membawa bejana berasap untuk mengusir lebah dan mengambil madu dari sarang lebah. Pelukisnya menggunakan lubang di dinding untuk menggambarkan sarang lebah.

baru—teknologi—untuk menanam dan mengambil makanan dari Bumi. Hubungan kita dengan alam, dan dengan sesama, berubah untuk seterusnya.

Revolusi pertanian—penjinakan tumbuhan dan hewan—adalah ibu segala revolusi karena semua yang lain bisa ditelusuri berujung ke sana. Konsekuensinya menjangkau jauh melebihi bahkan zaman kita. Dan seperti sebagian besar revolusi, yang ini membawa perubahan besar sekaligus menakutkan. Kata “rumah” mendapat makna baru. Dulu artinya adalah di manapun kita berada di Bumi; sekarang artinya tempat tertentu di planet ini. Dan seiring waktu rumah kita makin besar, sampai sekitar 20 detik kosmik sebelum tengah malam, terjadi lompatan lagi.

Selamat datang di salah satu ibu semua kota, Çatalhöyük, komunitas di padang Anatolia yang sekarang termasuk Turki. Saya bayangkan 9.000 tahun lalu, dan semua orang sudah masuk rumah untuk istirahat malam. Malam itu, orang berjumlah kira-kira sama dengan yang dulu menghuni seluruh Afrika hidup bersama di kota purba seperti Çatalhöyük. Çatalhöyük terdiri atas rumah-rumah saling bersambung di lahan seluas 13 hektar. Jelas sudah terjadi banyak perubahan dalam 90.000 tahun sesudah manusia mengadakan percobaan kimia di Gua Blombos.

Saking barunya, kota itu belum sampai memiliki jalan atau jendela. Jadi satu-satunya cara masuk ke rumah adalah menginjak atap rumah tetangga. Tangga bersandar ke pintu rumah di atap.

Yang juga tiada di Çatalhöyük adalah sesuatu yang jauh lebih signifikan daripada jalan dan jendela. Tak ada istana di sana. Kesenjangan pahit sebagai harga penciptaan pertanian bagi masyarakat manusia belum dibayar. Di sana tak ada dominasi segelintir orang atas banyak orang. Tak ada satu persen yang kaya-raya sementara semua orang lain berusaha bertahan hidup atau gagal. Etos berbagi, yang lazim di antara pemburu-pengumpul, masih hidup sehat. Çatalhöyük itu egaliter. Yang paling lemah memakan makanan yang



Patung perempuan, beberapa berposisi berdiri dan lainnya duduk seperti yang ini, telah ditemukan di reruntuhan Çatalhöyük. Beberapa ahli arkeologi telah menafsirkan patung-patung itu sebagai dewi kesuburan, tapi yang lain percaya patung-patung itu untuk menghormati para perempuan sesepuh masyarakat.



Penggambaran seniman tentang Çatalhöyük, salah satu proto-kota pertama, sekitar 9.000 tahun yang lalu, sebelum jalan dan pintu depan ditemukan.

sama dengan yang paling kuat. Analisis sains atas asupan gizi perempuan, laki-laki, dan anak yang hidup di sana menunjukkan keseragaman menakjubkan. Semua tinggal di jenis rumah yang sama. Namun bukan berarti rumahnya menjemukan. Dalam ruangan ada kepala sapi aurochs raksasa dengan tanduk lancip besar, dipasang di dinding yang dicat. Dinding dihiasi gigi, tulang, dan kulit hewan lain.

Rumah-rumah di Çatalhöyük berpenampilan modern. Denahnya sangat utiliter dan modular, seragam dari rumah ke rumah, dengan ruang-ruang untuk bekerja, makan, bersenang-senang, dan tidur. Tiang kayu menopang atap. Tiap rumah ditinggali keluarga besar beranggotakan tujuh sampai sepuluh orang.

Oker yang ditemukan leluhur kita di Afrika seratus ribu tahun sebelumnya menjadi media pilihan bagi para perancang interior Çatalhöyük. Lukisan dinding sapi aurochs, macan tutul, orang berlari, burung nasar mematuki bangkai, pemburu mengincar rusa. Mereka tak hanya menggunakannya untuk menggambarkan hewan, melainkan juga berperan penting untuk menghormati orang-orang tersayang yang sudah meninggal.

Iring-iringan jenazah bakal meninggalkan Çatalhöyük ke lapangan terbuka di padang Anatolia. Di sana ada panggung tinggi. Mereka menaruh jenazah di panggung itu untuk dimakan burung nasar dan diterpa cuaca. Satu orang ditinggal untuk menjaga dan memastikan tulang-tulang tak diambil. Burung nasar mengelilingi jenazah, badai datang. Waktu berlalu. Iring-iringan kembali ketika yang tersisa hanya kerangka. Waktunya menghias kerangka itu dengan oker merah dan melipatnya ke posisi meringkuk sebelum menguburnya di bawah lantai ruang keluarga di rumah. Dari waktu ke waktu, barangkali kalau mau melakukan upacara, mereka membuka kuburan itu dan mengambil tengkorak orang tersayang untuk mendampingi yang masih hidup. Saya bertanya-tanya apakah mereka lebih nyaman dengan orang mati daripada kita.

Oker merah punya kegunaan penting lain lagi: menciptakan dua bentuk seni baru—sejarah dan kartografi. Seorang seniman menggambar kontur atap yang melengkung-lengkung, semuanya terhubung menjadi satu sosok yang disandingkan dengan gunung berapi tak jauh dari sana. Untuk pertama kali, manusia menciptakan cerminan dua dimensi realitas lokasinya dalam ruang dan waktu. “Ini lah rumahku kalau tempatnya dibandingkan dengan gunung berapi.” Dengan beberapa goresan ajaib yang menggambarkan asap, sang seniman mengirim pesan ke 9.000 tahun ke depan: “Saya ada di sini ketika gunungnya aktif lagi.”



Percobaan di Çatalhöyük dan kota-kota purba lain berhasil dan dalam beberapa ribu tahun kota bermunculan di mana-mana. Ketika orang-orang dari berbagai budaya berkumpul di satu tempat, gagasan-gagasan dipertukarkan dan kemungkinan-kemungkinan baru bermunculan. Kota adalah semacam otak—inkubator gagasan baru.

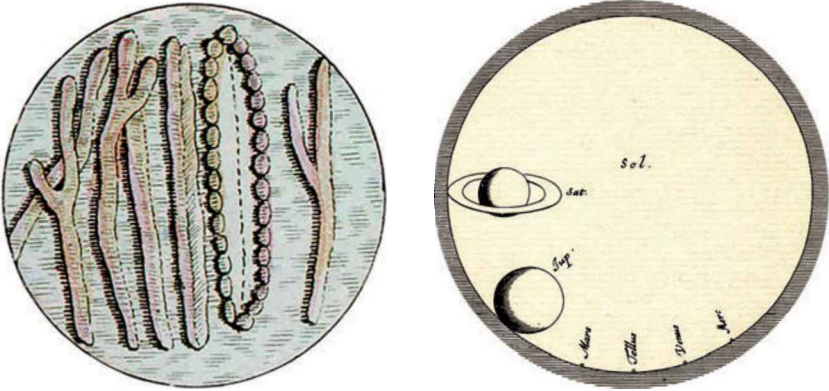
Di kota Amsterdam, pada abad ke-17, warga dunia lama dan baru bertemu. Pertemuan itu menghasilkan zaman emas sains dan seni. Di Italia, Giordano Bruno dan Galileo telah mengumumkan keberadaan dunia-dunia lain. Karena bid'ah itu, mereka dibikin menderita. Namun hanya 50 tahun kemudian di Belanda, ahli astronomi Christiaan Huygens yang percaya hal yang sama justru dihormati.

Cahaya adalah motif zaman itu, lambang pencerahan kebebasan berpikir dan beragama, cahaya penjelajahan selagi manusia-manusia di planet ini mulai bergerak menuju pengakuan bahwa kita menghuni satu organisme, cahaya yang membuat lukisan-lukisan hebat zaman itu, khususnya karya Vermeer, dan cahaya sebagai objek penelitian sains.

Di Amsterdam zaman itu, hiduplah tiga orang yang terilhami cahaya untuk menciptakan dan menyempurnakan alat-alat yang dapat membuat cahaya melakukan hal-hal yang tampak mustahil. Mereka menemukan cara untuk mengonsentrasikan atau menyebar berkas cahaya dengan hanya sepotong kaca melengkung—lensa. Alat yang dipakai pedagang kain untuk memeriksa mutu tenunan halus menjadi jendela ke dunia-dunia tersembunyi.

Antoni van Leeuwenhoek menggunakan satu lensa untuk mengungkap kosmos dunia mikroba. Dia memeriksa ludah dan sperma dan air kolam dengan lensa, dan menemukan komunitas makhluk hidup yang sebelumnya tak dibayangkan ada.

Sahabatnya, Christiaan Huygens, menggunakan dua lensa untuk membuat bintang, planet, dan bulan menjadi dekat. Huygens menjadi orang pertama yang melihat bahwa cincin-cincin Saturnus



KIRI: Antoni van Leeuwenhoek, orang pertama yang melihat kehidupan melalui mikroskop, menggambar bentuk-bentuk yang dia lihat dan menyebutnya “animalcules”. **KANAN:** Dalam *Kosmotheoros* (1698) Christiaan Huygens menggambarkan Sol, Matahari, di tengah dengan dikelilingi planet-planet.

tak bersentuhan dengan planet itu, dan memahami hakikat cincin-cincin itu. Dia menemukan Titan, bulan Saturnus, bulan terbesar kedua di tata surya kita. Dia menciptakan jam bandul dan banyak barang lain, termasuk proyektor film dan animasi kartun. Kita akan habiskan banyak waktu bersama dia, belakangan dalam perjalanan.

Huygens menyadari bahwa bintang-bintang adalah matahari-matahari lain, dikelilingi sistem planet dan bulan. Dia membayangkan alam semesta yang penuh dengan begitu banyak dunia, banyak di antaranya memiliki kehidupan. Namun mengapa tidak ada petunjuk mengenai dunia-dunia lain dan makhluk hidupnya di kitab-kitab suci? Mengapa Tuhan tidak menyebutkannya? Dalam perkara itu Tuhan tak menyebut-nyebut punya anak-anak selain kita.

Meski boleh jadi kontradiksi itu memicu keadaan tidak tenang dalam hati dan akal para pemimpin Pencerahan, ada satu orang yang berani menghadapinya secara langsung. Dia juga seorang ahli cahaya. Ketika perusahaan impor buah kering mendiang ayahnya bangkrut, dia beralih bekerja menggerinda lensa untuk menemukan dunia-dunia tersembunyi, besar maupun kecil.

Baruch Spinoza, lahir tahun 1632, ialah anggota jemaat Yahudi Amsterdam ketika remaja. Namun pada umur awal 20-an, dia mulai berbicara di depan umum mengenai tuhan jenis baru. Tuhan Spinoza bukanlah tiran pemaarah yang kecewa, terobsesi dengan ibadah yang dilakukan, apa yang dimakan, dan siapa yang dicintai manusia. Tuhan Spinoza adalah hukum-hukum fisika alam semesta. Tuhannya tak tertarik dengan dosa dan Tauratnya adalah kitab alam.

Sesama anggota jemaat di Amsterdam jelas ngeri dengan apa yang mereka pandang sebagai ketidakberimanan Spinoza. Orang-orang Yahudi Amsterdam sebagian besar adalah pengungsi dari Inkuisisi yang kejam di Spanyol dan Portugal, di mana banyak sekali orang Yahudi disiksa, dipaksa pindah agama, atau hanya bisa menatap tak berdaya selagi orang tercintanya dibunuh. Amsterdam telah menawarkan suaka bagi orang-orang Yahudi dan mereka mesti memandang gagasan radikal Spinoza sebagai ancaman terhadap keamanan yang mereka dapatkan dengan susah payah di Belanda. Mereka mengusir si pemberontak muda dan menyatakan, seperti mungkin dilakukan leluhur pemburu-pengumpul kita untuk alasan berbeda, bahwa dia harus dikucilkan untuk selamanya.

Dekrit umat Yahudi Amsterdam pada Juli 1656 adalah kebalikan doa di Ulangan 6: 4, 6–7 yang memerintahkan mereka dan para leluhur mereka untuk mencintai Tuhan dengan segala yang mereka miliki. Saya mempelajarinya ketika kecil dan masih ingat sampai sekarang.

Dengarlah, hai orang Israel: TUHAN itu Allah kita, TUHAN itu esa!

.....

Apa yang kuperintahkan kepadamu pada hari ini haruslah engkau perhatikan,

Haruslah engkau mengajarkannya berulang-ulang kepada anak-anakmu dan membicarakannya apabila engkau duduk di ru-

mahmu, apabila engkau sedang dalam perjalanan, apabila engkau berbaring dan apabila engkau bangun.

Kecaman para rabbi komunitas Yahudi Amsterdam berupa variasi kata-kata itu untuk mengungkapkan amarah mereka terhadap “pendapat jahat” dan “bid’ah sesat” Spinoza: “Terkutuklah dia pada siang dan terkutuklah dia pada malam; terkutuklah dia apabila dia berbaring dan terkutuklah dia apabila dia bangun. Terkutuklah dia ketika dia keluar dan terkutuklah dia ketika dia masuk.”

Bisa kita pahami kegelisahan komunitas Yahudi. Mereka sudah pernah melihat dunia mereka berubah menjadi mimpi buruk di Spanyol dan Portugal, dan wajar bila mereka mengutamakan kedamaian serta penerimaan. Namun tetap saja ada ironi di sana. Doa dalam Taurat itu mengajari kita agar memikirkan Tuhan di tiap perbuatan biasa yang kita lakukan tiap hari. Dan bukankah itu yang Spinoza lakukan ketika dia mulai melihat Tuhan di mana-mana, di segala hal—di seluruh alam, tak peduli apapun hal lain yang sedang dia lakukan?

Itulah mengapa Spinoza merasa benci terhadap mukjizat. Bab keenam *Tractatus Theologico-Politicus* karyanya yang terbit pada 1670 adalah penjelajahan panjang lebar mengenai mengapa dia tak dapat menerima bahwa mukjizat itu penting. Jangan cari Tuhan di mukjizat, kata Spinoza. Mukjizat adalah pelanggaran hukum alam. Jika Tuhan adalah pembuat hukum alam, maka bukankah sebaiknya Tuhan dipahami berdasarkan hukum alam itu? Mukjizat dianggapnya merupakan kesalahan penafsiran atas peristiwa-peristiwa alami. Gempa, banjir, kekeringan seharusnya tak dipahami secara pribadi. Tuhan bukan proyeksi harapan dan ketakutan manusia, melainkan daya cipta di balik keberadaan alam semesta, suatu kekuatan yang paling baik ditemukan melalui penelitian atas hukum alam.

Selama ribuan tahun, sejak sesudah penciptaan pertanian, pemahaman kita akan yang sakral telah tak berakar di alam. Kita

diajari bahwa kita diciptakan terpisah dari tatanan kehidupan. Tuhan meminta kita menolak dan meredam diri alami kita yang dipandang penuh dosa. Menyembah tuhannya Spinoza berarti mempelajari dan menjunjung tinggi hukum alam.

Spinoza menerima hukuman dan penolakan dari komunitas Yahudi Belanda dengan ketenangan hati. Dulu, dan sekarang, ada orang-orang yang terancam oleh pandangan demikian mengenai Tuhan. Spinoza diserang seseorang bersenjatakan pisau, yang hanya berhasil menyabet mantel Spinoza lalu kabur. Spinoza tak pernah memperbaiki mantel itu, dan memakainya sebagai tanda kehormatan. Dia pindah dan akhirnya menetap dekat Den Haag, di mana dia melanjutkan membuat lensa untuk mikroskop dan teleskop.

Ada sesuatu yang bahkan lebih berani di *Tractatus Theologico-Politicus* dibanding penolakan atas mukjizat. Spinoza menulis bahwa Alkitab bukan diwahyukan oleh Tuhan, melainkan ditulis manusia. Bagi Spinoza, agama resmi negara bukan hanya pemaksaan spiritual. Spinoza menganggap peristiwa supranatural yang menjadi inti tradisi agama-agama besar hanyalah takhayul terorganisasi. Dia percaya bahwa pemikiran magis semacam itu membahayakan warga masyarakat bebas.

Belum pernah ada yang mengatakan hal-hal itu secara gamblang. Spinoza tahu bahwa dia sudah melangkah terlalu jauh, bahkan di Belanda yang berpemikiran bebas. *Tractatus Theologico-Politicus* memperkenalkan gagasan-gagasan yang menjadi inti revolusi Amerika dan revolusi-revolusi lain, termasuk kebutuhan mendasar masyarakat demokratis untuk memisahkan diri dengan gereja apapun. Buku itu tak mencantumkan nama penulis, nama kota asal, dan nama penerbitnya pun fiktif. Meski begitu, kabar bahwa penulisnya adalah Spinoza menyebar ke seluruh Eropa, membuat dia menjadi sosok yang dikenal secara negatif di benua itu. Spinoza meninggal tahun 1677 ketika berumur 44, mungkin karena terlalu banyak menghirup debu kaca sesudah bertahun-tahun menggerinda lensa.

Pada November 1920, seorang lain yang menyukai cahaya berziarah ke bengkel sederhana dekat Den Haag yang telah dilestarikan sebagai pertanda besarnya pengaruh filsafat Spinoza. Sang saintis, yang terkenal di seluruh dunia karena menemukan hukum alam baru, sering ditanya apakah dia percaya Tuhan. Albert Einstein, sang peziarah itu, biasa menjawab, “Saya percaya Tuhan-nya Spinoza, yang mengungkapkan diri di harmoni segala hal yang ada.”



Pemahaman kita atas hukum alam sudah jauh melebihi impian terliar Spinoza. Namun bagaimana kita bisa memperbaiki hubungan kita yang rusak dengan alam itu sendiri? Saya akan sampaikan cerita lain, mengenai salah satu kerja sama paling tahan lama di alam. Kita akan perlu kembali ke siang tanggal 29 Desember di Kalender Kosmik.

Waktu itu, ada dua kerajaan. Persekutuan terjalin di antara keduanya, yang bakal memberikan kekayaan tiada tara. Sungguh indah hubungan itu selama seratus juta tahun—kemudian berevolusilah makhluk jenis baru di salah satu kerajaan. Keturunan makhluk itu menjarah kekayaan dan melanggar kesepakatan persekutuan. Kecongkakan mereka membahayakan kedua kerajaan ... dan diri mereka sendiri.

Cerita itu benar terjadi. Itulah cerita dua dari setengah lusin rana kehidupan di Bumi—tumbuhan dan hewan.

Tak mudah menjadi hijau. Seks sulit kalau tak bisa bergerak ke mana-mana. Tidak ada kencan. Hanya bisa duduk di tempat dan menebar benih ke angin. Secara harfiah. Menunggu angin bertiup. Jika beruntung, sebagian serbuk sari akan terbawa angin dan mendarat di organ reproduktif betina tumbuhan lain—putik bunga.

Tumbuhan melakukan permainan untung-untungan itu selama beberapa ratus juta tahun—sampai serangga berevolusi untuk



menjadi Dewa Cinta. Hasilnya adalah salah satu pernikahan koevolusi agung dalam sejarah kehidupan. Serangga mengunjungi bunga untuk makan serbuk sari yang kaya protein. Sebagian serbuk sari menempel ke tubuh serangga. Ketika siap makan lagi, serangga mendatangi bunga lain, tanpa sengaja membawa serbuk sari di tubuhnya. Serbuk sari itu membuahi bunga yang didatangi sehingga bisa bereproduksi.

Itu kesepakatan yang saling menguntungkan bagi bunga dan serangga, menyebabkan serangkaian perkembangan evolusioner. Muncullah tumbuhan yang memproduksi nektar bergula, selain serbuk sari. Serangga jadi bukan hanya makan serbuk sari, melainkan juga nektar. Serangga jadi makin gemuk, tubuhnya jadi berambut dan bahkan ada kantong kecil di kakinya untuk mengambil lebih banyak serbuk sari ketika mengunjungi bunga. Jadilah lebah.

Bagi spesies hewan lain, itu semua bonus. Spesiesnya adalah kita. Leluhur kita suka madu, seperti ditunjukkan lukisan perempuan-an/laki-laki dengan wadah berasap dan banyak lukisan kuno lain. Mereka berpesta madu, dan bahkan menemukan cara agar bisa mabuk madu dengan membuat minuman fermentasi dari madu.

Burung dan kelelawar ingin ikut dalam bisnis penyerbukan, tapi tak pernah mencapai kadar keberhasilan seperti serangga, ter-

ATAS: Butir-butir keemasan serbuk sari bertebaran di tubuh lebah tukang kayu.

SEBERANG: Pandangan mata lebah atas bunga jeruk bergamot, dibuat dengan fotografi fluoresen tampak yang dipicu ultraviolet.



utama lebah. Kita punya banyak alasan untuk berterimakasih kepada lebah—misalnya karena keindahan. Dalam persaingan menarik jasa bantuan reproduksi lebah, tumbuhan berevolusi membuat strategi-strategi selain nektar. Wangi dan warna.

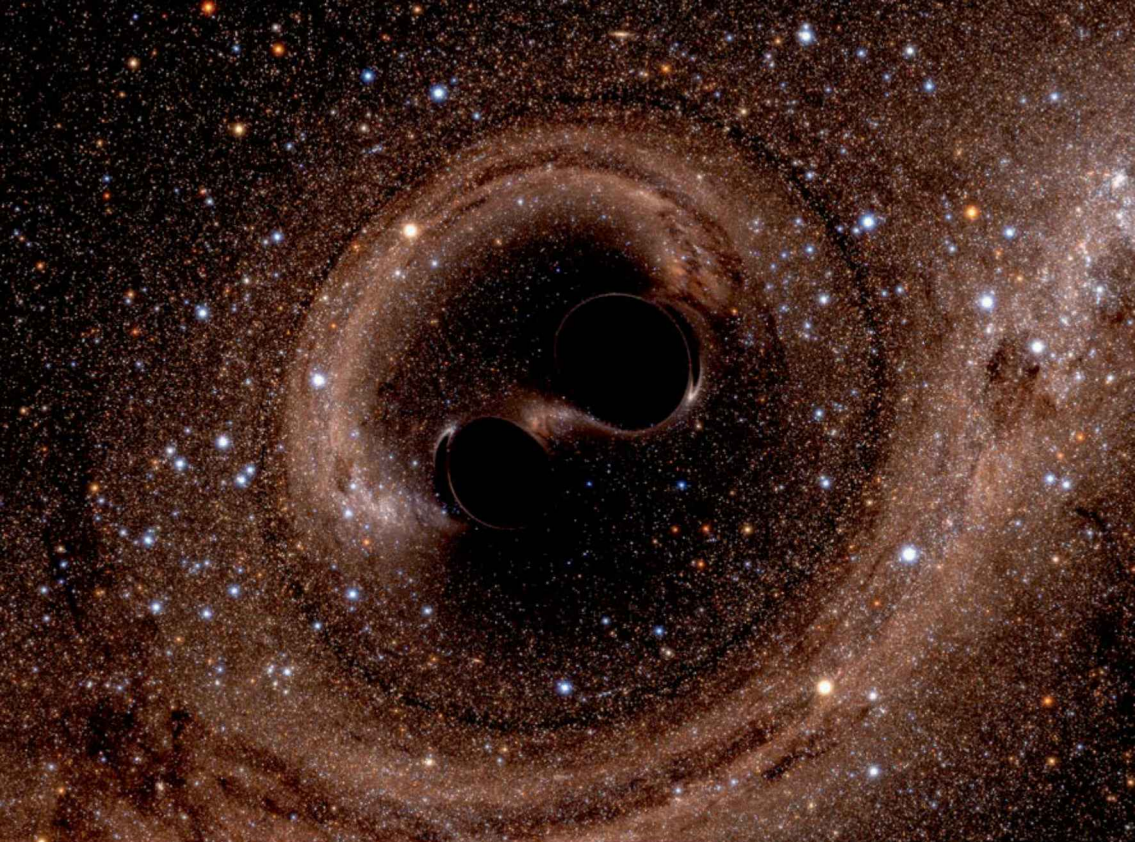
Mata lebah punya tiga macam sel penangkap cahaya seperti mata kita, tapi bukan jenis yang sama. Mata kita menangkap warna merah, biru, dan hijau; mata lebah melihat ultraviolet, biru, dan hijau. Lebah mempersepsi merah di panjang gelombang oranye dan kuning kemerahan.

Kita berutang kepada lebah untuk sesuatu yang lebih vital bagi kelangsungan hidup ketimbang keindahan. Tiap sepertiga makanan kita, bahkan bagi para penggemar daging, bisa ada karena mereka. Dan mereka bukan hanya memperbesar jumlah makanan yang tersedia. Sebagian besar keragaman hayati yang membuat pasokan pangan kita bisa diandalkan ada karena mereka.

Sekarang kita sampai ke bagian sedih ceritanya, ketika satu anggota baru dunia hewan mengacau persekutuan lama itu karena tindakan rakus dan pemikiran jangka pendek yang tak arif dan tak bijaksana. Saya pikir Anda tahu ke mana arahnya dan siapa pelakunya.



Gaya hidup pemburu-pengumpul kita berevolusi selama setengah juta tahun sehingga mencapai keseimbangan dengan alam. Ya, ada kepunahan akibat perburuan berlebihan, tapi para leluhur kita tak pernah menyebabkan bencana berskala global. Penciptaan pertanian sekitar 10.000 atau 12.000 tahun lalu mengubah kita. Bisa dikata, kita sejak itu hidup dengan kasus parah sindrom stres pasca-pertanian. Kita belum punya cukup waktu untuk mengembangkan strategi agar hidup selaras dengan alam dan sesama. Berkah dan kutukan yang berakar di revolusi pertanian dan kemam-

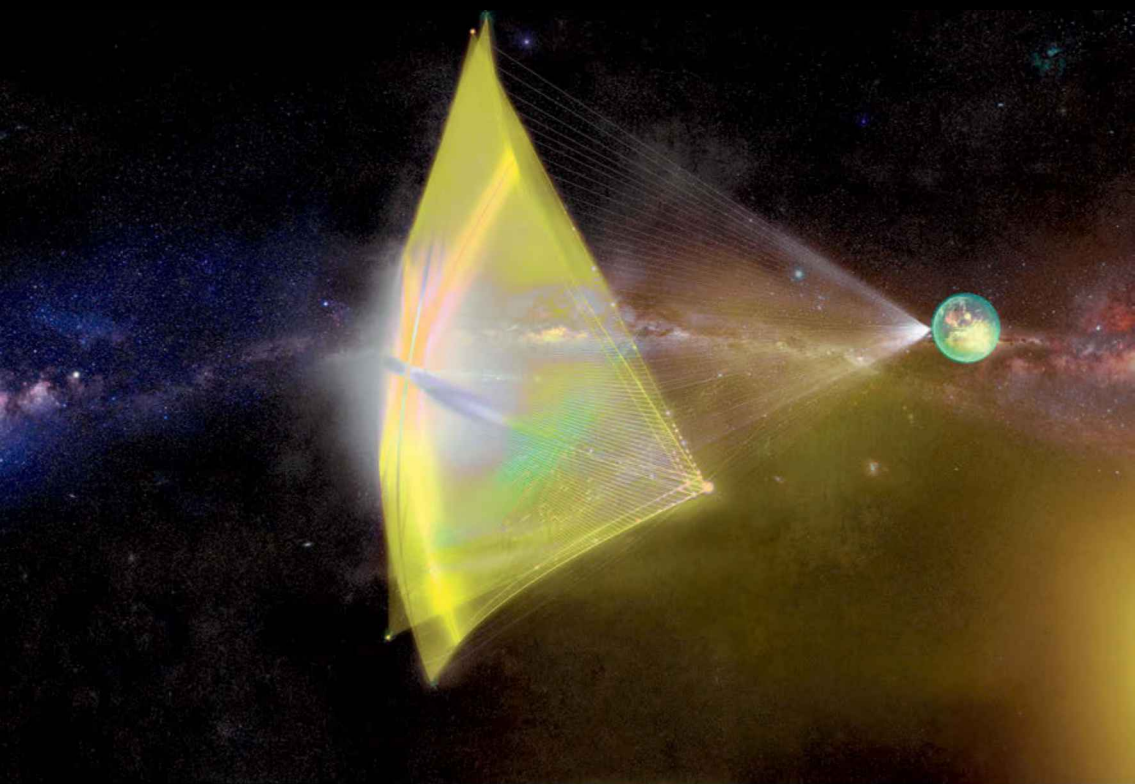


Lukisan seniman mengenai dua lubang hitam yang akan menyatu.

Pada 2017 observatorium-observatorium LIGO mendeteksi suatu gelombang gravitasi yang disebabkan tabrakan semacam itu 1,1 miliar tahun lalu. Hasilnya adalah satu lubang hitam dengan massa 20 kali massa Matahari.

puan kita meningkatkan dan memperbesar pasokan pangan, yang menghasilkan ledakan populasi manusia, telah membawa kita ke krisis yang sekarang dihadapi.

Saya bayangkan bahwa di suatu tempat ada monumen peringatan untuk semua cabang pohon kehidupan yang telah gugur. Tempatnya saya namakan Aula Kepunahan. Kita mesti melintasi tanah gersang tanpa tanda kehidupan untuk menemukannya, bangunan besar berbentuk sederhana dan tragis, tanpa jendela dan hiasan untuk melembutkan kesan penghabisannya. Berkas cahaya menyebarkan menembus lubang di atap dan jatuh di lantai granit berpasir ruang tengah berbentuk bulat. Enam pintu besar mengarah ke ruang-ruang lain, masing-masing berisi diorama bentuk-bentuk



Proyek Breakthrough Starshot membayangkan wahana nano ultraringan yang menunggangi cahaya dengan kecepatan di atas 100 juta kilometer per jam. Dengan teknologi demikian, misi antariksa dapat mencapai Proxima Centauri, sistem bintang terdekat ke kita, dalam sekitar 20 tahun saja.

kehidupan yang musnah dalam enam kepunahan massal yang begitu dahsyat sampai-sampai mengancam kehidupan di dunia ini.

Hingga hanya beberapa tahun lalu baru ada lima peristiwa kepunahan massal yang diberi nama, jadi hanya lima dari enam ruang yang diberi nama di atas pintu—Ordovisium, Devon, Perm, Trias, dan Kapur—mengenang peristiwa-peristiwa bencana kimia, geologi, dan astronomi yang menyebabkan banyak sekali kematian. Ruang keenam kini sudah diberi nama, tapi ada bedanya. Nama kita tertulis di sana: Antroposen. “Antropo” berasal dari kata Yunani untuk “manusia”, *anthropos*; “sen” (*cene*) dari *kainos*, akhiran Yunani untuk “baru”. Kita sekarang secara resmi hidup dalam zaman kepunahan massal yang disebabkan manusia.



Tak perlulah kita masuk ke ruang itu sekarang. Akan kita datangi lain kali. Kita baru memulai perjalanan penjelajahan dan manusia telah menghadapi peluang kecil berkali-kali. Belum lama ini saja kita berhasil melakukan sesuatu yang Einstein anggap mustahil. Einstein keliru karena meremehkan potensi kita. Seharusnya kita jangan berbuat hal yang sama.

Einstein-lah yang pertama kali melihat kosmos sebagai samudra yang terbuat dari ruang dan waktu. Dia menyadari bahwa zat dapat menimbulkan riak di ruang-waktu. Pada 1916, Einstein membayangkan bahwa ledakan dahsyat zat di kejauhan di alam semesta seharusnya menciptakan sesuatu yang jauh lebih besar daripada riak—gelombang besar, gelombang gravitasi.

Berikut adalah kejadian langka ketika imajinasi Einstein gagal menghadapi tantangan. Einstein menyatakan dengan gamblang bahwa kiranya mustahil merancang dan melaksanakan percobaan untuk membuktikan keberadaan gelombang gravitasi. Mengapa tidak? Coba bayangkan mengukur lebar rambut manusia dari satu galaksi yang jauh. Menurut Einstein, gelombang gravitasi bakal terlalu lemah untuk dideteksi melintas jarak jauh. Kalau sudah melintas jarak sejauh itu, gelombang gravitasi sudah terlalu samar untuk kita tangkap.

Selama seratus tahun, para ahli fisika teori dan percobaan berjuang mencari bukti langsung yang bakal memastikan keberadaan gelombang gravitasi. Sekecil apakah barang yang mereka buru? Lebih kecil daripada satu atom, lebih kecil daripada satu zarah; nyatanya, satu per sepuluh ribu garis tengah satu proton. Kiranya itu memungkinkan kita melacaknya sampai ke sumbernya—tabrakan dua lubang hitam berjarak semiliar tahun cahaya dari sini.

Pada 1967, para saintis dan insinyur memulai proyek yang kemudian dikenal sebagai LIGO, Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (Observatorium Gelombang Gravitasi Interferometer Laser). Yang mereka butuhkan adalah peristiwa besar

yang mengganggu ruang-waktu—misalnya dua lubang hitam bertabrakan—dan sepasang detektor yang begitu peka sehingga dapat menangkap tabrakan berjarak lebih daripada satu miliar tahun cahaya. Ketika lubang-lubang hitam bertabrakan, terjadilah tsunami ruang-waktu yang merentang ruang ke segala arah. Waktu melambat—kemudian menjadi cepat dan melambat lagi.

Mengapa tiap detektornya harus sepanjang empat kilometer? Karena untuk mendengar sesuatu yang begitu samar, dibutuhkan telinga sangat besar. Dan mengapa dua detektor? Karena itu cara membedakan gelombang gravitasi dan kebisingan biasa. Detektor kedua diperlukan untuk memberi konfirmasi. Dengan menyiapkan dua detektor terpisah di dua sisi benua, di Livingston, Louisiana dan Hanford, Washington, para saintis dapat menghitung jeda kecil dalam waktu kedatangan sinyal. Kiranya itu memperkenankan kita melacaknya kembali ke sumbernya—tabrakan dua lubang hitam berjarak satu miliar tahun cahaya dari sini.

Seperti ombak besar di laut, gelombang besar mereda selagi berjalan. Waktu Einstein mendapat gagasan revolusionernya seabad lalu, gelombang gravitasi itu masih sekitar seratus tahun cahaya dari Bumi, melanda lembut bintang katai kuning HD 37124 berikut planet-planet dan bulan-bulannya di galaksi Bimasakti. Adakah yang mendeteksinya di dunia sana?

Ketika mencapai detektor LIGO, gelombang gravitasi itu tinggal sisa-sisa kebesarannya dulu. Sekadar cuitan, tapi sudah cukup untuk membuktikan keberadaan gelombang gravitasi, memberi bukti langsung pertama lubang hitam dan Hadiah Nobel Fisika 2017 kepada para saintis yang memimpin proyek itu.

Dalam proyek lintas generasi sepanjang 50 tahun yang menggambarkan upaya sains ambisius itu ada sesuatu yang mengingatkan saya dengan pembangunan katedral-katedral besar pada masa lalu. Semuanya adalah contoh ungkapan sikap tak mementingkan diri demi upaya manusia yang lebih besar, sehingga memberi saya harapan.



Selagi saya menulis ini, para saintis dan insinyur sedang menggarap Breakthrough Starshot, misi penjelajahan manusia pertama ke bintang terdekat. Mereka menggarap proyek itu tanpa berharap masih hidup ketika proyeknya selesai.

Sekitar 20 tahun dari sekarang, satu armada seribu kapal akan meninggalkan Bumi. Wahana-wahana antarbintang itu, digerakkan cahaya laser yang mendorong layar, hanya berbobot satu gram. Masing-masing tak lebih besar daripada sebutir kacang, namun membawa segala yang dimiliki Voyager NASA, wahana antarbintang kita yang pertama—dan banyak lagi. Di dalam tiap wahana nano ada segala yang dibutuhkan untuk melakukan pengamatan awal atas dunia-dunia di bintang lain, dan mengirim informasi visual serta saintifik itu kembali ke Bumi.

Voyager 1 telah berjalan dengan kecepatan 60.000 kilometer per jam selama 40 tahun lebih. Itu kecepatan yang mengesankan bagi kita, dan wahana itu masih bergerak dengan satu dorongan gravitasi yang berasal dari manuver memutari Jupiter pada tahun-tahun pertama perjalanannya. Namun di skala bahkan satu galaksi, itu ibarat berlari dalam mimpi. Cepat, tapi masih terlalu lambat untuk mencapai ke manapun.

Wahana nano Starshot akan membalap Voyager dalam *empat hari* saja. Menakjubkan memang, tapi Starshot masih baru bergerak dengan 20 persen kecepatan cahaya. Bintang-bintang berjarak amat berjauhan. Yang paling dekat, Proxima Centauri, berjarak empat tahun cahaya. Itu berarti perjalanan satu arah selama 20 tahun.

Di sistem Proxima Centauri, kita tahu ada satu dunia di zona dapat dihuni, di mana air bisa mengalir, dan kehidupan bisa ada. Boleh jadi ada lebih banyak lagi dunia di sistem itu untuk kita temukan. Para robot utusan kita akan mengirim cerita pelancong dari dunia(-dunia) baru tersebut. Data mereka akan kembali ke kita me-

lalui gelombang radio dengan kecepatan cahaya. Akan dibutuhkan empat tahun untuk mencapai kita. Apa saja yang bakal diungkap data itu sekitar 40 tahun dari sekarang?

Beberapa di antara Anda akan sempat membaca halaman-halaman baru di buku alam.

Waktu dari Gua Blombos sampai perjalanan menunggang cahaya ke bintang-bintang hanyalah beberapa menit di Kalender Kosmik. Ya, kita sedang berada di titik persimpangan kritis di sejarah spesies kita. Namun kita belum terlambat. Manusia telah membuktikan diri bisa melampaui harapan termuluk mereka yang terpan-dai. Aneka ragam dunia masa lalu dan masa depan yang akan kita kunjungi dan para pencari heroik yang ceritanya akan kita sampaikan menandakan hebatnya kemampuan kita untuk bertahan melalui masa pertumbuhan teknologi, melindungi rumah kecil kita, dan melakukan perjalanan aman melintas samudra luas ruang-waktu, tak lagi *terikat Bumi, laut, atau langit*.



WAHAI, RAJA PERKASA

*Akalbudi bukan ditaklukkan oleh kekuatan,
melainkan oleh cinta dan keluhuran.*

—BARUCH SPINOZA, *ETHICA*, 1677

*Jangan menimbun gandum karena menunggu
harga naik ketika orang kelaparan.*

—DIKAITKAN DENGAN ZARATUSTRA

Pintu masuk Pir-e Sabz, gua keramat agama Mazdayasna/Zoroastrianisme/Majusi di Iran tengah zaman sekarang. Kata legenda, Nikbanu, putri raja Sasania terakhir, mengungsi di sana. Pengembunan di dalam gua, yang dianggap sebagai air mata duka sang putri, menjadi nama lain tempat suci itu: Chak Chak, berarti “tetes-tetes”.





Di sinilah kita, sekitar 10.000 tahun sesudah penciptaan pertanian, menyadari keberadaan kosmos dan melakukan langkah-langkah pertama untuk menjelajahnya, ketika pada waktu yang sama pemikiran jangka pendek dan kerakusan kita mengancam peradaban. Kita tahu kita harus berubah jika tak ingin itu terjadi, tapi apa mungkin? Apakah kita, sebagai satu spesies, bisa mengubah diri? Ataukah ada sesuatu dalam diri kita yang mendorong kita menghancurkan diri sendiri?

Carl Sagan dan saya sering membayangkan pertanyaan itu. Kami berjanji bahwa kami bakal mengikuti bukti ke manapun mengarah. Bertahun-tahun meneliti dan memikirkan perkara itu dituangkan dalam buku kami *Shadows of Forgotten Ancestors*, yang menjadi sumber sebagian bab ini. Pertanyaan yang mengilhami kami dulu itu kini terasa makin mendesak.

Pertanyaan itu bisa menjadi kurang misterius jika ingatan manusia dapat menjangkau sampai awal kehidupan. Namun kita baru sebentar mengetahui masa lalu yang jauh. Kita memang baru mulai mencoba merekonstruksi apa yang barangkali terjadi kepada spesies kita sebelum ingatan sadar kita dimulai—juga peristiwa-peristiwa yang terjadi lama sebelum keberadaan spesies kita, yang boleh jadi menghasilkan cacat bawaan.

Tiga tengkorak menjadi bukti suatu zaman ketika tiga jenis manusia hidup pada waktu dan di tempat yang sama: dari kiri ke kanan, *Homo habilis*, *Homo erectus*, dan *Australopithecus robustus*. Semuanya ditemukan di Kenya oleh tim-tim ekspedisi Richard Leakey, semuanya hidup sekitar 1,5 juta tahun lalu.



Saya menganggap manusia sebagai satu keluarga yang terkena amnesia, yang terus-menerus mengarang cerita mengenai masa lalu sampai kita menemukan cara merekonstruksinya—sains. Kita terus meneliti Bumi untuk mencari potongan-potongan batu dan tulang yang merupakan peninggalan masa kecil kita.





Gua Wonderwerk, Afrika Selatan, salah satu tungku pertama. Para leluhur kita berkumpul di sana mengelilingi api unggun sejak kira-kira sejuta tahun lalu, menciptakan struktur sosial yang kita masih bisa lihat di diri kita hari ini.

Andai ada tempat-tempat di Bumi yang keramat bagi spesies kita, pasti Gua Wonderwerk, di Kurumanheuwels, Provinsi Northern Cape, Afrika Selatan, termasuk salah satunya. Wonderwerk adalah situs tertua dengan bukti penjinakan api oleh manusia. Sejuta tahun lalu, para leluhur kita berkumpul di sana dan menjadi orang-orang pertama yang menyalakan api kebudayaan manusia.

Gua Wonderwerk berbentuk seperti aula besar. Orang jangkung pun bisa berdiri di dalamnya dan berjalan sampai sejauh 120 meter ke bagian terdalamnya. Para saintis berbagai bidang berziarah ke sana untuk mempraktikkan keahlian masing-masing, memindai gua dengan laser, meneliti tiap butir serbuk sari dan endapan dengan pencahayaan terstimulasi optik dan teknik pengukuran umur dengan isotop kosmogenik. Semuanya demi upaya menyusun sejarah tempat kuno itu dan ujung-ujungnya menemukan seperti apa kita dahulu.

Penyelidikan saintifik debu mikroskopik bisa membantu kita membedakan mana api yang terjadi secara alami dan mana yang sengaja dibuat lalu diperbesar. Sisa-sisa api di bagian dalam gua, yang sudah padam ratusan ribu tahun lalu, memberitahu kita bahwa leluhur kita menyalakan api untuk menghangatkan diri dan memasak.

Kita semua yang hidup sekarang adalah anggota genus *Homo*. Kita *Homo sapiens*—“manusia bijaksana”. Para leluhur kita, yang berkumpul di Gua Wonderwerk, adalah *Homo erectus*—“manusia berdiri tegak”. Mereka belum menjadi “kita”, tapi kita membawa mereka dalam diri kita. Kita belum tahu banyak mengenai mereka. Kita pikir mereka memelihara sesamanya yang sudah tua atau sakit. Kita tahu mereka ahli membuat alat.

Kunjungi semua dunia di tata surya—semua komet, asteroid, bulan, dan planet—dan ketahuilah bahwa di antara semuanya, hanya ada satu dunia di mana Anda bisa menyalakan api. *Dunia kita*. Itu juga baru mungkin kalau ada cukup oksigen di atmosfer—baru selama 400 juta tahun terakhir, atau 10 hari terakhir tahun kosmik. Di Gua Wonderwerk, para leluhur kita menjinakkan kekuatan api dan mendapat imbalan besar atas kecerdasan mereka. Di sekeliling api seperti yang dinyalakan di sana-lah kita mulai memasak makanan sehingga lebih empuk dan memberi jauh lebih banyak energi bagi tubuh kita, yang tak habis untuk berlama-lama mengunyah daging mentah alot. Api menghangatkan tubuh kita dan menakut-

kan pemangsa yang mengancam kita. Kita berkumpul di sekeliling api sebagai satu kelompok kala malam, makan bersama dan saling bercerita sehingga tercipta identitas bersama bagi kerabat serta mengikatkan anak dan sesepuh.



Penjinakan api bisa dianggap khas manusia, di antara hewan. (Beberapa tumbuhan punya strategi evolusioner yang memanfaatkan kebakaran untuk memusnahkan pesaing, tapi tak bisa menyalakan atau mematikan api.) Pengakuan atas peran penting api dalam kesadaran dan kebudayaan manusia mencapai puncak di kepercayaan spiritual dan praktik salah satu agama tertua yang masih ada sekarang.

Kira-kira sezaman dengan nabi Abraham/Ibrahim, ada nabi lain di negeri Persia, yang sekarang Iran. Sebagaimana Abraham, tahun kelahiran sang nabi tak diketahui; diperkirakan kedua tokoh itu hidup sekitar empat ribu tahun lalu. Nama sang nabi Persia adalah Zaratustra (Zoroaster), dan perwujudannya adalah api. Tiap kuil agamanya, Mazdayana/Zoroastrianisme/Majusi, mengagungkan api. Memelihara api abadi selama berabad-abad adalah salah satu kewajiban umat Mazdayana. Api melambangkan kesucian tuhan mereka dan cahaya akalbudi yang tercerahkan.

Tuhan Zaratustra, Ahura Mazda, tak banyak meminta—tak meminta kurban maupun uang—selain bahwa manusia harus menjaga api tetap menyala, berpikir baik, berkata baik, dan berbuat baik. Namun entah mengapa, sebagian besar orang tak dapat memenuhi permintaan-permintaan sederhana itu. Mereka sering berpikir dan berkata buruk. Dan sebagian berbuat kejahatan yang buruk. *Mengapa?*

Kita masih belum punya jawaban komprehensif untuk pertanyaan itu. Salah satu upaya pertama menjawabnya dirumuskan



Angra Mainyu, lambang kejahatan di agama Mazdayana, menyerang sapi di gambar kuno dari Parsa (Persepolis) kuno.

oleh penganut Mazdayana. Segala hal buruk di dunia, kejahatan yang dilakukan manusia, juga bencana alam dan penyakit, disebabkan lawan Ahura Mazda, kembaran jahatnya yaitu Ahriman/Angra Mainyu, yang tak henti-henti berbuat kerusakan. Ahura Mazda mengajak manusia membantunya mengalahkan Ahriman. Perbuatan tiap orang dapat mengubah keseimbangan seluruh masa depan alam semesta ke arah kebaikan atau kejahatan.

Ada gambar Ahriman di relief yang masih tampak jelas di Parsa (Persepolis), kompleks megah buatan para syah Persia abad ke-6 SM ketika negara mereka adalah satu-satunya negara adidaya di Bumi. Ahriman bertanduk pendek, berekor panjang lancip, dan kakinya bertelapak. Mirip apa coba? Konsep iblis di Barat menyerupai Ahriman. Mazdayana adalah agama dominan dari Yunani sampai India selama seribu tahun. Tak heran bila pengaruhnya besar kepada agama-agama yang datang sesudahnya.

Ahura Mazda adalah tuhan yang menyukai anjing, bukan kucing. Malah, jika seorang penganut Mazdayana membunuh anjing tanpa sengaja, satu-satunya cara menebus dosa adalah membunuh sepuluh ribu kucing. Di sisi lain, Ahriman suka kucing. Apakah fakta bahwa kucing dikaitkan dengan penyihir yang dianggap pembantu iblis merupakan sisa kepercayaan itu?



Di dunia sebelum sains, ketika kejahatan muncul, adakah cara lebih baik untuk memahaminya selain sebagai kezaliman Ahriman yang tiada akhir?

Bayangkan Anda seorang Persia kuno yang menjalani kehidupan sehari-hari. Anjing peliharaan keluarga yang disayangi, ras saluki, tiba-tiba berubah dari pelindung keluarga yang Anda cintai bertahun-tahun menjadi monster ganas. Ekspresi si anjing menjadi galak. Dia menggonggong kencang dan memamerkan taring, sementara sudut mulutnya berbusa dan liurnya berceceran. Si anjing mendadak bangkit dan bergerak menuju putri termuda Anda yang baru berumur tujuh bulan di dalam buaian. Sekejap Anda menyadari bahwa si anjing akan menyerang bayi Anda. Bagaimana lagi cara menjelaskan perubahan mengerikan itu selain dengan bahwa si anjing kesurupan setan?

Namun itu bukan cerita kebaikan dan kejahatan, pergulatan antara tuhan dan setan. Sebenarnya itu cerita pemangsa dan mangsa. Dalam kasus itu, pemangsanya mikroskopik. Kuman penyakit adalah pemangsa pintar mengerikan—bisa menewaskan korban yang sudah dimanfaatkan sebagai sistem penyebar penyakit. Sesudah kebetulan bertemu kelelawar yang kena rabies antara tiga minggu sampai sebulan sebelumnya, anjing bernasib naas itu, tanpa bersalah apa-apa, menjadi tokoh utama cerita horor zombie.

Sesudah masuk ke aliran darah, virus-virus berbentuk peluru itu menuju otak anjing, menyerang sistem limbik. Virus rabies, atau

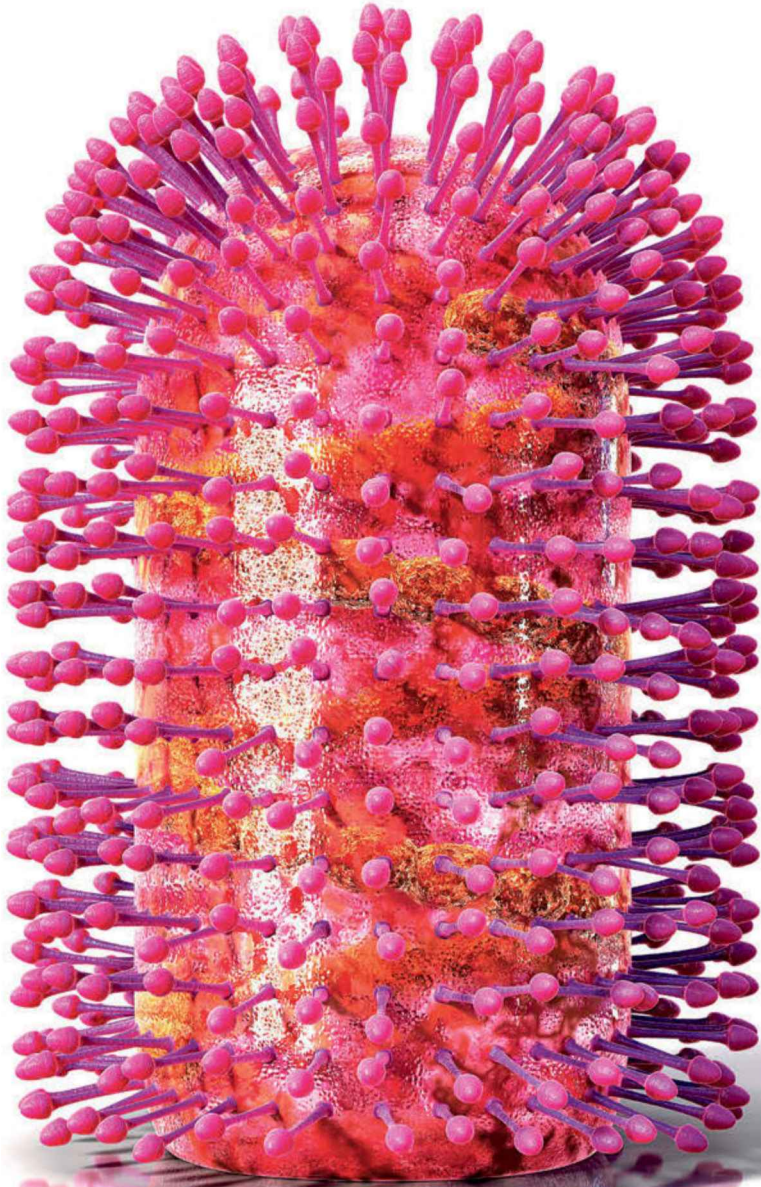
lyssavirus (memakai nama Lyssa, roh kegilaan dan amukan Yunani kuno), adalah jagonya manipulasi sirkuit kemarahan. Si anjing berubah menjadi serigala galak leluhur evolusionernya. Pertempuran terjadi—pasukan lyssavirus mengepung dan menginvasi sel-sel syaraf, membajak mekanisme sistem syaraf. Dengan menyerang sel-sel syaraf, virus rabies mengubah hewan malang itu menjadi monster kejam tanpa kesetiaan atau cinta terhadap siapapun. Hewan yang terkena rabies bisa kehilangan rasa takut.

Sekelompok virus memisahkan diri dari barisan dan menuju sel-sel syaraf di kerongkongan anjing. Sesudah sistem limbik dikuasai, sepasukan lain virus rabies bekerja menambah produksi liur. Tugas mereka adalah melumpuhkan kemampuan anjing menelan. Itu memperbesar peluang liur mengandung virus lepas dari anjing dan mengenai sasaran berikutnya. Aliran liur berceceran dari mulut anjing ke tubuhnya dan ke lantai, memperbesar kemungkinan virus berpindah ke korban baru.

Bagaimana cara virus mengoordinasi serangkaian serangan taktis canggih? Kok virus bisa tahu bagian otak hewan lain yang mengatur kemarahan? Kita sendiri belum tahu sampai baru-baru ini. Itulah kehebatan evolusi melalui seleksi alam. Asalkan cukup waktu, suatu mutasi acak, sekhhusus apapun—misalnya kemampuan virus melumpuhkan kerongkongan korban—akan bertahan. Jika menambah peluang kelestarian virus, mutasi itu akan diwariskan. Dalam kasus lyssavirus rabies, yang diperlukan di tiap generasi adalah korban pembawa penyakit, yang menjaga api keji itu terus menyala.

Melihat dari pengetahuan neurosains mangsa sampai urutan dan presisi rencana serangan, boleh dikata virus rabies adalah ahli manipulasi. Invasi dan perbudakan korban yang dilakukannya mirip rencana perang para jenderal hebat dalam sejarah. Betapa piawainya sang virus rabies sebagai ahli strategi.

Kita berada di tangan kekuatan-kekuatan tak terlihat: virus, mikroba, hormon, DNA kita sendiri. Para leluhur kita menggunakan



Lyssavirus yang berbentuk peluru, atau virus rabies, menggunakan duri glikoprotein—tonjolan-tonjolan merah muda yang ditunjukkan di gambar model buatan komputer ini—untuk menempel ke sel-sel lalu membajak dan menghancurkan kepribadian inangnya yang malang.

satu-satunya pemahaman yang mereka punya mengenai perilaku anjing kesayangan atau anak yang tadinya normal sampai berumur 20-an yang tiba-tiba berubah aneh, sebagai pengaruh makhluk-makhluk tak terlihat. Apa lagi kalau bukan perbuatan iblis?



Sesudah kita mulai mengerti proses-proses mekanisme biologis yang dulu tak kita ketahui, apa kita masih bisa memegang gagasan mengenai kejahatan? Ya, perbuatan-perbuatannya mungkin tetap dianggap kejahatan, tapi mereka yang didorong kekuatan-kekuatan tak terlihat sehingga melakukan perbuatan-perbuatan itu boleh jadi sama tak bersalahnya dengan si anjing yang malang. Kita hanya bisa berharap memahami apa yang terjadi ketika kita berhenti mengajukan Ahura Mazda dan Ahriman, atau semacamnya, sebagai penjelasan mengapa kita dan dunia kita sebagaimana adanya. Namun sebagian besar budaya populer didominasi penggambaran perwujudan fisik kejahatan dan pengejawantahan supranatural kebaikan yang hampir selalu menang, sesudah cukup lama mengalami kesulitan sepanjang jam tayang.

Cobalah menjadi makhluk luar Bumi atau ahli arkeologi masa depan yang mencoba mendapat wawasan mengenai peradaban kita. Laju perkembangan sains dan teknologi abad ke-21 sangat tinggi, belum pernah terjadi. Manusia memperluas jangkauan inderanya melintas ruang dan waktu di alam semesta. Mereka membuka alam-alam kecil yang lama tersembunyi dalam zat. Mereka juga telah belajar menciptakan pengalaman realitas tiga dimensi mulus yang dulunya belum ada. Dan apa mereka menggunakan kekuatan baru itu untuk melakukan perjalanan ke dunia-dunia yang diungkap sains atau memperdalam pemahaman publik atas sains? Belum banyak. Sebagian besar penggunaannya adalah untuk membangun robot-robot raksasa seram yang saling bertarung sampai

mati—reka ulang pertarungan antara Ahura Mazda dan Ahriman yang menghancurkan kota-kota dan memakan banyak korban; ternyata selera kita terhadap yang seperti itu tak habis-habis.

Dan mereka juga sedang membangun ruang keenam di Aula Kepunahan, monumen untuk cabang-cabang pohon kehidupan yang gugur, yang musnah dalam lima kepunahan massal terbesar dalam empat miliar tahun sejarah kehidupan. Ruang baru itu bernama Antroposen, menyandang nama mereka.

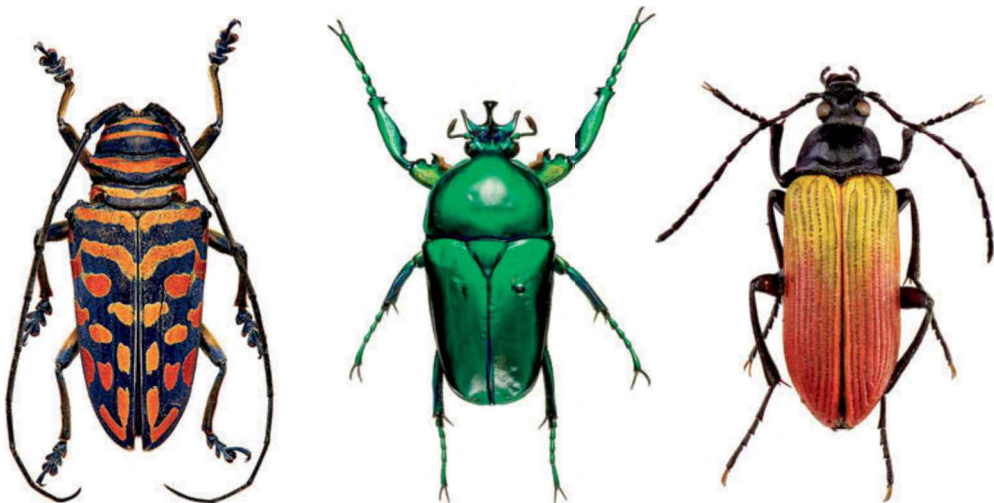


Apakah yang tertulis di semua sel kita, empat miliar tahun resep kehidupan, mengatur segala kejadian? Apakah kehidupan sekadar pertempuran antara instruksi genetis organisme-organisme yang bersaing—semua tumbuhan dan hewan sekadar pion? Itukah intinya sejarah dan hidup? Apa tak bisa lain? Apa DNA itu takdir? Kita masih bergulat dengan bagian-bagian pertanyaan itu. Pengetahuan kita atas diri sendiri dan alam luas yang mencakup kita masih jauh dari lengkap.

Carl dan saya kagum dengan kemampuan satu zat kimia memicu suatu ritual khusus di bentuk kehidupan lain. Lebah madu yang sekarat mengeluarkan zat kimia khusus bernama asam oleat. Bau “feromon kematian” itu membuat rekan-rekan sesarang tahu bahwa lebah yang mengeluarkannya harus dibawa keluar oleh para pengangkut jenazah. Yang membuat kami terpana, lebah sehat yang dilumuri asam oleat pun bakal dibawa keluar karena dianggap sudah akan mati, meski dia meronta-ronta. Itu bahkan terjadi kepada ratu lebah, yang berperan penting di sarang.

Kami terguncang karena informasi itu. Apa artinya bagi ritual-ritual kita sendiri? Apa lebah mengerti mengenai bahaya infeksi dari bangkai lebah di sarang? Apa lebah tahu konsep kematian?

Dalam puluhan juta tahun pengalaman bersama, tak ada lebah yang mengeluarkan asam oleat kecuali kalau sekarat. Tidak pernah

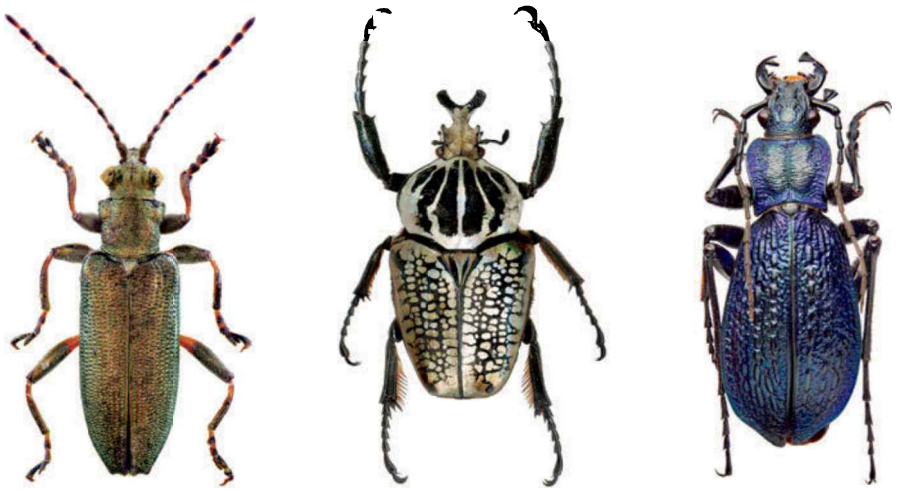


ada kebutuhan tanggapan berbeda terhadap asam oleat sampai sepersepuluh detik terakhir Kalender Kosmik. Perilaku upacara pemakaman sebagai tanggapan lebah atas bau asam oleat benar-benar pas untuk kebutuhan lebah.

Kita bisa menemukan perilaku gamblang yang sama, tanpa diatur perintah pusat yang jelas, di banyak hewan. Kalau ada telur yang menggelinding keluar sarang, induk angsa mendorongnya kembali masuk sarang—perilaku yang jelas manfaatnya bagi kelestarian gen-gen angsa. Angsa malah akan mendorong masuk apapun yang mirip telur dan ditaruh dekat sarang. Perilakunya membuat kita bertanya: Tahukah dia apa yang dilakukannya?

Bagaimana dengan ngengat yang terus-menerus terbang menabrak jendela, karena tertarik dengan cahaya di balik jendela? Ketertarikan terhadap cahaya adalah perilaku bawaan, terbentuk selama jutaan tahun. Kaca jendela tembus pandang baru ada sekitar seribu tahun, jadi belum ada pemrograman internal ngengat yang berevolusi untuk menghindarinya.

Apa kumbang punya akalbudi? Apakah evolusi berzaman-zaman yang membentuk dan menghias banyak sekali jenis kumbang ibarat pembuat perhiasan tidak mampu mempertajam kemampuan membuat keputusan, kesadaran, dan emosi kumbang? Atau apakah kumbang hanya robot dengan chip DNA yang tak membuatnya mampu berbuat orisinal atau spontan atau improvisasi? Apa kita begitu juga?



Enam dari 350.000 spesies kumbang yang ada di dunia. Seleksi alam adalah seniman tanpa tanding. **KIRI KE KANAN:** Kumbang tanduk panjang Afrika (*Sternotomis bohemani*), kumbang Neptunides bunga (*Neptunides stanleyi*), pejantan kumbang darkling (*Proctenus chamaeleon*), kumbang buluh (*Donacia vulgaris*), kumbang goliath (*Goliathus meleagris*), dan kumbang tanah biru (*Carabus intricatus*).

Di tiap kasus itu, tampaknya sandi DNA mendorong perilaku hewan. Kalau dipandang demikian, boleh jadi kita setuju dengan pernyataan bahwa lebah dan kumbang—bahkan juga angsa—adalah mesin tak berakal. Namun bagaimana dengan kita, hewan bernama *Homo sapiens*?

Jenis pertanyaan itulah yang direnungkan seorang serdadu muda Prancis pada satu malam dingin November 1619 selagi dia menginap di kamar yang terlalu panas di satu kota di Bayern. Dia bersiap untuk tidur, mematikan lentera, berbaring—tapi tak bisa terlelap. Dia tenggelam dalam pemikiran yang mengguncang dan tak mau pergi. Bertahun-tahun kemudian, selagi mengenang peristiwa itu, dia mengaku didatangi roh suci yang mengungkapkan cara berpikir baru kepadanya. Selagi mencoba memahami gagasan itu, dia berusaha membaginya kepada orang lain.

Pemuda itu ialah René Descartes. “*Cogito, ergo sum*—Aku berpikir, maka aku ada,” merupakan pernyataannya yang paling terkenal. Gagasan yang didapat Descartes malam itu menjadi ciri peradaban modern. Dia mengaku terilhami untuk mempersatukan

filsafat dan sains. Agar tahu apa yang nyata, kita mesti menguji gagasan dengan mekanisme sains yang ketat dan bisa memperbaiki kekeliruan, mencari verifikasi yang bisa diungkapkan secara matematis.

Di inti visi Descartes ada ciri khas dunia modern: *keraguan*. Pikirkan saja betapa radikal gagasan itu pastinya pada awal abad ke-17. Galileo baru saja disidang, divonis, dan dijadikan tahanan rumah karena pengamatannya yang bisa dipertanggungjawabkan secara matematis bahwa Bumi mengelilingi Matahari! Selama seribu tahun, gereja telah berhasil mengendalikan wacana publik. Tak ada debat mengenai kebenaran harfiah Perjanjian Lama dan Baru. Iman tak bisa dipertanyakan: tak ada ruang bagi keraguan. Namun untuk Descartes, keraguan adalah titik awal pengetahuan.

Descartes bukan ateis—setidaknya di depan umum. Berkali-kali dia menegaskan keberadaan Tuhan, dan dia percaya bahwa hanya manusia yang punya jiwa abadi. Ketika melihat lebah, ngengat, dan kumbang, dia memandang mereka sebagai mesin-mesin kecil. Pada zaman itu, arloji masih merupakan benda menakjubkan—teknologi tercanggih. Descartes menganggap serangga dan makhluk lain sama elegannya, efisien seperti mesin arloji, tapi tak berjiwa dan bersifat mekanis.

Hari ini, kita bisa gunakan kaidah keraguan Descartes dan mendorong batas makin jauh. Mari kita maju lagi dan bertanya apakah hewan lain bisa berpikir. Apa hewan membuat keputusan? Apa yang kiranya hewan katakan jika bisa berkata-kata? Induk angsa boleh jadi mendorong kembali bola ke sarangnya, agar berada di antara telur-telurnya. Namun begitu anak-anaknya menetas, induk angsa langsung terikat kepada mereka. Bau, bunyi, penampilan anak-anak angsa—hanya kombinasi ciri itu yang bisa memicu naluri keibuannya. Induk angsa tak bakal keliru mengenali anaknya dibanding benda asing, bahkan anak induk angsa lain—betapa cerdasnya! Namun kita, yang menyebut diri “bijaksana”, belum tentu bisa mengenali anak-anak angsa yang induknya berbeda!

Kembali ke kumbang. Banyak kemampuan yang dimiliki kumbang sekecil itu. Kumbang punya segala indera dan kemampuan reproduksi. Kumbang bisa berjalan, berlari, bahkan terbang. Kumbang menanggapi lingkungan: Dekati kumbang, dan dia menegakkan badan atau lari menjauh. Biarpun kecil, kumbang punya kemampuan dan organ untuk melakukan semua itu.

Banyak saintis gelisah jika kita mulai bicara mengenai kesadaran serangga. Ada alasan bagus untuk itu. Spesies kita punya kecenderungan memproyeksikan, melakukan antropomorfisasi (“memanusiakan”) spesies lain. Namun kita kadang berlebihan. Saya punya firasat mencekam bahwa batas antara pemrograman robotik dan kesadaran di kumbang boleh jadi lebih tak tegas daripada yang kita bayangkan. Kumbang memutuskan apa yang dimakan, siapa yang dihindari, siapa yang menarik secara seksual. Bukankah itu berarti bahwa di dalam, di otak kecilnya, ada secercah kesadaran?

Pertanyaan itu berdampak besar—jauh melebihi takdir si kumbang kecil. Jika, sesudah mempertimbangkan masak-masak, kita masih melihat serangga sebagai robot yang diprogram DNA untuk melakukan semua fungsinya dalam bertahan hidup, seyakini apa kita bahwa pandangan itu tak berlaku bagi kita juga? Dan jika kita mau memandang perbuatan manusia sebagai didorong oleh DNA, terprogram ke sifat dasar kita, apa jadinya perkara kehendak bebas? Masih bisakah kita berbicara mengenai kebaikan dan kejahatan? Apa kita lebih unggul daripada penganut Mazdayana, yang percaya bahwa Ahura Mazda dan Ahriman, kekuatan-kekuatan di luar kendali mereka, mengatur perbuatan manusia yang baik dan buruk? Adakah harapan kita masih memilih tindakan kita dan menentukan sendiri nasib kita—bukan didorong genetika melainkan idealisme luhur?



Saya tahu satu cerita yang memberi saya harapan. Ceritanya adalah petualangan suatu kehidupan yang menggambarkan polaritas ekstrem perilaku manusia. Sesudah ada jarak waktu sejauh ini, sukar mengetahui seberapa banyak bagian ceritanya yang benar terjadi. Mitos berbagai agama yang saling bersaing berputar mengelilingi hidup orang ini, membuatnya tak jelas dan menyulitkan pencarian kebenarannya. Namun saya tahu bahwa entah ceritanya benar atau tidak, generasi demi generasi telah mencoba menyembunyikan ceritanya, menghapus riwayat dia, juga segala yang telah dia tulis dan bangun, dari sejarah. Meski begitu, cahaya kenangannya masih menyala. Lagipula, baik dalam sejarah maupun mitos, jika mimpi *benar-benar* peta...

Sekitar 200 tahun sesudah masa hidup Zaratustra, pada abad ke-4 SM, seorang pemuda keluar dari negeri pedalaman bernama Makedonia dan dalam waktu tak sampai satu dasawarsa membangun imperium yang merentang dari Laut Adriatik sampai Sungai Sindhu di India. Selagi melakukan itu, si pemuda, Alexander Agung, menghancurkan balatentara Persia yang tampak tak terkalahkan, menguasai Imperium Akhamania, negara terbesar di dunia kala itu, dan membuat dia ingin menguasai sisa dunia. Dia menginginkan India juga.

Namun sesudah merebut satu daerah di sisi barat laut tempat yang sekarang Pakistan, anak buah Alexander memberontak pada 324 SM. Hasrat menaklukkan mereka tak sebesar Alexander dan mereka kangen rumah, sehingga mereka memilih pulang. Sesudah mereka pergi, seorang pejuang Hindu bernama Chandragupta memutuskan mau mencoba membangun imperium sendiri. Dalam tiga tahun saja dia telah mendirikan Kerajaan Maurya yang meliputi sebagian besar India utara dan Pakistan.

Seleukos A Nikator, orang dekat Alexander, berpikir dia bisa berhasil mewujudkan hal yang tak tercapai mendiang komandannya. Dia dan pasukannya menyeberangi Sungai Sindhu untuk

menyerang Chandragupta, tapi serangan Seleukos ke India gagal total. Tak lama kemudian Seleukos menyadari bahwa pernikahan yang bakal mengikat keluarga Chandragupta dan keluarganya adalah pilihan yang jauh lebih masuk akal. Hubungan itu, yang dijalin dengan hadiah ratusan gajah dan segala macam obat perangsang, bertahan bergenerasi-generasi sebagai saluran terbuka antara India dan Yunani.

Chandragupta terbukti merupakan administrator hebat, membangun infrastruktur yang mencakup jejaring besar irigasi dan jalan modern yang diperkuat logam sehingga tahan lama dan mempersatukan kerajaannya untuk perdagangan dan perang. Chandragupta digantikan putranya, Bindusara, yang kehidupannya tampak sekadar sebagai penghubung antara dua raksasa.

Beberapa laporan mengatakan bahwa putra Bindusara, Asoka, yang lahir pada 304 SM, cacat karena sakit waktu kecil. Alhasil, kulitnya kasar dan bopeng. Konon itu membuat Bindusara jijik dan mengasingkan putranya dari istana. Cerita itu barangkali diajukan sebagai alasan psikologis atas kejahatan-kejahatan seram yang belakangan dilakukan Asoka.

Ketika Bindusara sekarat, perebutan takhta dimulai di antara putra-putranya dari banyak istri. Sejarah menuduh Asoka membunuh antara satu sampai sembilan puluh sembilan saudaranya untuk meraih takhta. Kalaupun kita berprasangka baik kepada Asoka dan menganggap dia hanya bertanggungjawab atas satu pembunuhan saudara, satu pembunuhan itu pun katanya dilakukan dengan cara sekejam-kejamnya: Asoka menjebak saudaranya dalam lubang penuh api.

Tema itu menjadi bagian ciri kekuasaan Asoka: Memusnahkan musuh itu belum cukup jika belum menyiksa dengan kejam. Awalnya adalah legenda bahwa Asoka memaksa masuk ke kamar tempat ayahnya sedang sekarat. Bindusara berwasiat menunjuk pewaris lain, mungkin putra yang Asoka kemudian bunuh dengan api.

Sambil mengenakan pakaian kebesaran raja, sang putra yang pernah diasingkan berdiri di depan ayahnya yang sekarat, dan mengumumkan dengan congkak, “Akulah penerusmu sekarang!”

Beberapa laporan berkata bahwa Bindusara jadi merah mukanya karena marah lalu ambruk tewas. Bayangkan Asoka tersenyum puas membuat saat-saat terakhir ayahnya menyakitkan mungkin, karena itulah yang disepakati semua legenda dan sejarah mengenai sang maharaja muda.

Sesudah beberapa tahun, tak ada lagi calon pewaris takhta lain yang masih hidup. Anehnya, kemarahan Asoka kemudian beralih ke pohon-pohon buah yang mengelilingi istananya. Dia memerintahkan semuanya ditebang. Ketika para menterinya menolak perintah itu dan meminta dia berpikir lagi, Asoka mengamuk. Baiklah, teriaknya kepada para menteri yang ketakutan, “Begini saja, kepala kalian saja yang ditebang.” Para pengawal menyeret mereka untuk dipenggal. Namun Asoka baru mulai.

Asoka membangun istana yang lebih megah dengan lima ruang khusus. Sesudah istana itu selesai, dikirimkanlah undangan kepada orang-orang paling terkemuka di kerajaan Asoka, yang sudah mencakup sebagian besar India kecuali ujung paling selatan dan beberapa daerah di pantai timur. Bisa kita duga betapa orang-orang yang diundang jadi senang dan merasa penting. Betapa kagumnya mereka dengan kemegahan istana baru, betapa istimewanya menjadi orang-orang pertama yang melihat bagian dalamnya.

Di ruang tengah istana, tiap undangan disambut dan dibawa ke satu dari lima ruang khusus. Sesudah berada di dalam ruang-ruang itu, ternyata mereka tak diizinkan keluar lagi, dan menyadari bahwa tiap ruang menggambarkan pendapat Asoka mengenai lima cara paling menyiksa untuk mati. Seiring waktu, kabar tersebar dan istana itu dikenal sebagai Neraka Asoka. Dengan cara demikian, Asoka menyingkirkan orang-orang yang berpotensi menjadi pesaing dan membuat dirinya berkesan di imajinasi rakyat. Kekejamannya tak mengenal batas.

Namun entah bagaimana, berita kekejaman Asoka tak sampai ke rakyat Kalinga, daerah makmur di pantai timur laut India yang tak punya raja. Kalinga dikenal sebagai pusat budaya terbuka, barangkali agak seperti masyarakat demokratis. Kalinga punya pelabuhan sendiri untuk berdagang bebas dan tidak perlu kekuasaan maharaja sadis.

Kalinga selama itu berhasil menghindari dikuasai Asoka. Setelah delapan tahun berkuasa, Asoka memutuskan untuk menyerang Kalinga, dan rakyat Kalinga tahu tidak mungkin ada perdamaian dengan orang gila seperti itu. Perlawanan gagah berani yang didapati Asoka di Kalinga kemudian mengarah ke perbuatannya yang paling bengis.

Asoka dan pasukannya mengepung Kalinga selama satu tahun sebelum akhirnya bisa menerobos benteng dan menduduki kota yang sudah kelaparan dan lemah itu. Anak buah Asoka membakar rumah-rumah sambil memberantas perlawanan terakhir dengan brutal. Mereka membunuh orang-orang tak berdaya, melakukan segala macam kekejaman. Ketika selesai, korbannya seratus ribu prajurit dan rakyat biasa. Sekitar 150.000 orang Kalinga diasingkan, dipencarkan agar tidak ada kumpulan penduduk berpikiran merdeka di negara Asoka.

Kemudian Asoka melakukan hal yang dia sukai: berjalan santai melewati medan pertempuran yang penuh mayat sampai-sampai orang sukar melangkah di sana. Kematian sejauh mata memandang. Asoka menikmati kejayaannya di antara tumpukan jenazah.

Di kejauhan, seseorang berpakaian compang-camping dengan berani berjalan menuju para pemenang. Melihat dia, para jenderal bersiaga, menghunus pedang. Selagi si orang asing mendekat, mereka bisa melihat bahwa dia membawa sesuatu yang kecil. Orang itu anehnya tampak tak takut, tak sedikit pun gentar terhadap maharaja zalim. Para pengawal siap membunuh dia, tapi Asoka memerintahkan mereka menahan diri. Rasa ingin tahunya terpicu oleh



keberanian orang itu, dan dia merasa tak perlu takut pengemis kurus. Si pengemis makin dekat dan kepada Asoka dia menyodorkan benda di tangannya—mayat bayi yang menjadi korban kemenangan Asoka. Si pengemis menatap mata sang raja pembantai dan berkata: “Wahai, raja perkasa, engkau yang begitu berkuasa sehingga bisa mencabut ratusan ribu nyawa semaunya. Tunjukkan kepadaku seberapa hebat engkau—kembalikan satu saja nyawa, nyawa bayi ini.” Asoka memandang mayat bayi itu dan segala kegembiraan kemenangannya berubah. Kekuasaan yang begitu memabukkan bagi dia menjadi tak sama lagi.

Siapakah pengemis tak kenal takut yang berani membeberkan kejahatan Asoka? Jatidirinya tak kita ketahui, tapi kita tahu bahwa dia seorang murid Buddha, yang ketika itu adalah seorang filsuf kurang dikenal yang hidup hampir 200 tahun sebelumnya. Buddha mengajarkan sikap tanpa kekerasan, kesadaran, dan welas asih. Para pengikutnya meninggalkan kekayaan dan mengembara di Bumi menyebarkan ajaran Buddha melalui contoh. Sang biksu di medan pertempuran adalah salah satunya. Dengan keberanian dan kebijaksanaannya, dia menemukan hati seseorang yang tak punya hati.

Kecongkakan kemenangan hilang dari wajah Asoka selagi pandangannya jatuh ke padang penuh tubuh tak bernyawa—dia pun menjadi sedih dan menyesal. Asoka kemudian mendirikan tiang, satu di antara banyak, di tempat dia melakukan kejahatannya yang terbesar. Di puncak tiang ada empat patung singa menghadap empat penjuru, dengan ukiran tulisan Brahmi. Tulisannya adalah maklumat pertama Asoka: “Setiap orang bagaikan anak-anak saya sendiri. Apa yang saya harapkan bagi anak saya sendiri, dan saya

Gambar Asoka versi Buddhis Tibet sesudah Asoka menganut agama Buddha; sikap dan pakaiannya meniru Sang Buddha. Gambar Asoka dari masa hidupnya di India tak tersisa karena dibenci.

mengharapkan kesejahteraan dan kebahagiaan bagi mereka baik di kehidupan ini maupun kehidupan mendatang, itulah yang saya harapkan bagi semua orang.”¹

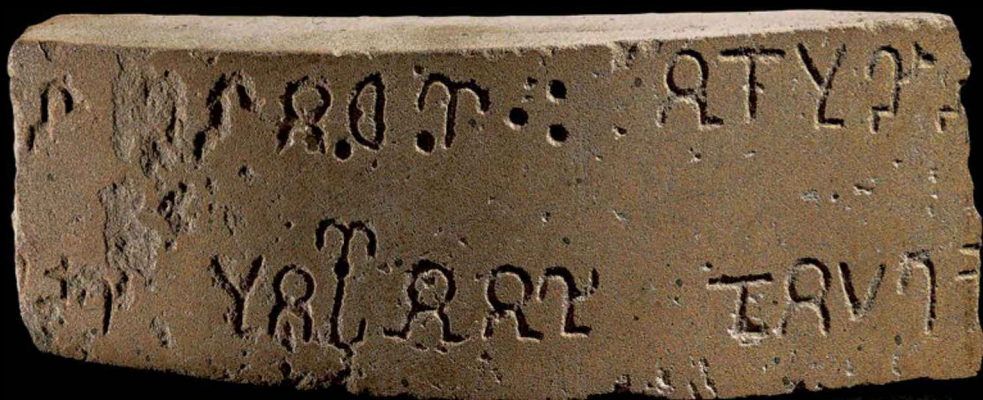
Dalam maklumat ke-13 Asoka, dia menulis mengenai kata hatinya yang tersentuh: “Sehabis ditaklukkannya Kalinga, Yang-dicintai-oleh-para-Dewa merasakan minat yang sangat kuat terhadap Dhamma, rasa cinta terhadap Dhamma dan ajaran Dhamma. Sekarang Yang-dicintai-oleh-para-Dewa merasakan penyesalan yang mendalam karena telah menaklukkan Kalinga. Dan sesungguhnya, Yang-dicintai-oleh-para-Dewa merasakan pedih luar biasa oleh karena pembantaian, kematian, dan pengusiran yang terjadi manakala sebuah kerajaan bebas ditaklukkan.”²

Namun bukan hanya penyesalan atas banyak kejahatan yang terjadi. Muncullah jenis pemimpin baru, yang sebelumnya tak ada di dunia.

Asoka menjalin kesepakatan perdamaian dengan negara-negara tetangga kecil yang tadinya ngeri begitu mendengar namanya disebut. Dia memerintah India selama 30 tahun sesudahnya dan menggunakan waktu itu untuk membangun sekolah, perguruan tinggi, rumah sakit, dan rumah perawatan akhir. Dia mengadakan pendidikan untuk perempuan dan menyatakan tak ada alasan melarang perempuan menjadi pemuka agama. Dia mengadakan perawatan kesehatan cuma-cuma untuk semua, dan memastikan bahwa obat tersedia. Asoka memerintahkan penggalian sumur-sumur untuk menyediakan air bagi desa dan kota. Dia menanam pohon dan membangun tempat bernaung di sepanjang jalan-jalan India supaya orang yang bepergian selalu merasa nyaman dan hewan-hewan tak kepanasan. Dia memerintahkan agar semua agama dihormati dengan setara. Dia memerintahkan peninjauan kembali

¹ Terjemahan dari Dhammika, V.S. 2006. *Maklumat Raja Asoka*. Terj. S.S. Hansun. Vidyasena Production, Yogyakarta.—*Penerj.*

² Ibid.—*Penerj.*



Untuk menyampaikan gagasan-gagasan revolusionernya ke seluruh negeri, Asoka menyuruh ajaran-ajaran diukirkan ke batu dan tiang. Sekitar 150 telah ditemukan, termasuk fragmen ini, yang menunjukkan satu tulisan maklumat dalam aksara Brahmi yang dulu banyak dipakai di India.

atas hukuman penjara atau perlakuan kasar yang diputus secara keliru, dan menghapuskan hukuman mati.

Empati Asoka meluas melebihi spesiesnya sendiri, ke segala kehidupan. Dia melarang upacara pengorbanan hewan dan berburu untuk senang-senang. Dia mendirikan perguruan kedokteran hewan di seantero India, dan menasihati rakyatnya agar berbuat baik kepada hewan. Asoka bukan sedang melanggar prinsip seleksi keluarga, strategi evolusioner yang berkata bahwa kita utamanya memperhatikan kelestarian mereka yang punya kesamaan gen terbesar dengan kita. Justru definisi keluarganya yang meluas sehingga mencakup semua.

Asoka punya gagasan lain yang ribuan tahun mendahului zaman. Menurut Asoka, anak raja tidak mesti menjadi raja. Dia perca-

ya bahwa negara seharusnya dipimpin orang paling tercerahkan, bukan pewaris takhta.

Itu bukan berarti Asoka tak pernah lagi melakukan perbuatan kejam atau jahat sepanjang sisa hidupnya. Ada laporan yang menyatakan bahwa menjelang akhir masa kekuasaannya selama 36 tahun dia



boleh jadi kembali berbuat kekacauan dan kekejaman seperti ketika muda. Namun bukti menunjukkan bahwa pemerintahan tercerahkannya terus berlanjut.



Sesudah kematian Asoka karena usia tua, dinasti Maurya hanya bertahan selama 50 tahun. Kuil-kuil dan istana-istana Asoka—dan sebagian besar tiangnya yang didirikan di seantero India—dihancurkan bergenerasi-generasi kaum fanatik agama yang marah dengan apa yang mereka anggap sikap tak bertuhannya. Mereka menganggap kesucian membutuhkan pemeliharaan ketat atas hierarki dominasi. Namun meski para pembencinya sudah berusaha keras, warisan Asoka terus bertahan, berkat penemuan kembali maklumat-maklumatnya pada abad ke-18 dan ke-19. Ketika negara India modern didirikan pada abad ke-20, singa-singa Asoka dijadikan lambangnya.

Asoka dianggap berjasa menjadikan Buddhisme salah satu filsafat agama paling berpengaruh di dunia. Beberapa ratus tahun sebelum kelahiran Yesus, maklumat-maklumat Asoka terukir di batu

Di puncak tiang bertuliskan maklumat-maklumatnya, Asoka sering menempatkan empat patung singa berdiri di atas roda dengan 24 ruji, suatu lambang agama Buddha yang belakangan ditaruh di bagian tengah bendera negara India merdeka.





Pintu masuk elegan Lomas Rishi, satu di antara empat gua keramat yang digali di perbukitan granit India timur laut, mengarah ke bagian dalam yang bersahaja namun dengan akustik luar biasa. Gua itu dikunjungi Asoka pada abad ke-3 SM.

dalam bahasanya Yesus, Aram, dan bahasa-bahasa lain. Batu-batu itu menjadi pedoman untuk mengajarkan welas asih, kemurahan hati, kerendah hati, dan kecintaan akan perdamaian. Kita tahu bahwa para utusan Asoka pergi ke Alexandria dan kota-kota lain di Timur Tengah, menyebar pengaruh guru mereka lebih luas.

Gua Lomas Rishi di perbukitan Barabar, India, adalah salah satu dari segelintir kuil Asoka yang masih ada. Selain beberapa tulisan, kuil tersebut bagian dalamnya kosong. Namun ada satu ciri khasnya: gema yang jelas dan bertahan lama. Gelombang bunyi meman-

tul di dinding gua yang mulus, makin lama makin pudar sampai akhirnya diserap permukaan—dan tak ada bunyi tersisa. Sunyi.

Namun impian Asoka tampak berbeda bagi saya. Gemanya makin lama makin keras.

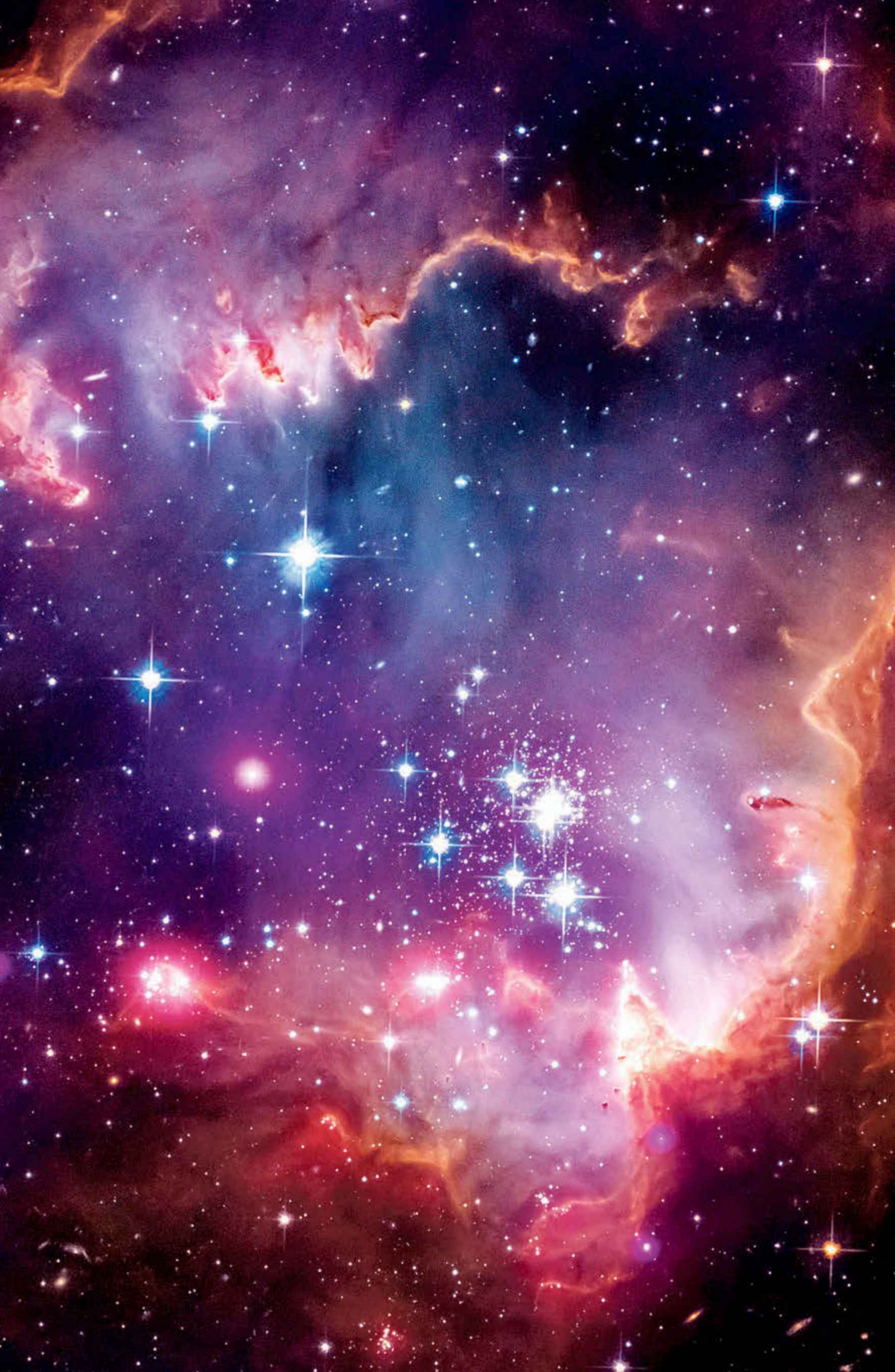


KOTA KEHIDUPAN YANG HILANG

*Ada suatu misteri manis yang tak diketahui orang di laut,
gelora lembutnya tampak menyampaikan jiwa tersembunyi
di dalam ... Dan temukanlah, di padang bahari, bentang
air nan luar empat penjuru dunia, di mana gelombang
mengalami pasang dan surut, datang dan pergi tanpa
henti; di sini jutaan nuansa dan bayang, impian tenggelam,
pengembaraan dalam lelap, khayalan mengawang;
segala yang kita sebut hidup dan jiwa, bermimpi,
bermimpi dalam diam; menggeliat seperti orang tidur;
ombak yang tiada pernah reda.*

—HERMAN MELVILLE, *MOBY-DICK*

Misteri laut tergambar di "Memory", lukisan tahun 1870
karya pelukis Amerika Elihu Vedder.





Ketika masih muda—baru berumur beberapa miliar tahun—galaksi Bimasakti kita jauh lebih subur daripada sekarang. Dulu, sekitar tujuh miliar tahun lalu, Bimasakti melahirkan bintang 30 kali lebih banyak dibanding sekarang: badai penciptaan bintang.

Bintang kita sendiri adalah anak galaksi yang sudah lebih dewasa, dan boleh jadi itu salah satu alasan kita ada. Sesudah bintang-bintang lebih tua dan masif mati, ada waktu—lima miliar tahun—bagi bintang-bintang mati itu untuk mewariskan unsur-unsur berat kepada kita. Unsur-unsur itu memperkaya dan memungkinkan pembentukan planet-planet dan bulan-bulan di tata surya kita. Kita sendiri dibuat dari zat bintang.

Awan gas hidrogen merah muda terang menyelimuti bintang-bintang yang baru lahir. Pelukan gravitasi mengubah bintang-bintang itu. Gugus-gugus biru terang berisi bintang-bintang yang sedikit lebih tua, serta kumpulan gas dan debu tak berbentuk, bergabung dengan awan merah muda menjadi galaksi yang kita sebut rumah hari ini.

Alam semesta membuat galaksi-galaksi. Galaksi membuat bintang-bintang.

Menggabungkan data tiga teleskop, para ahli astronomi memotret NGC 602, satu gugus bintang muda berjarak sekitar 200.000 tahun cahaya di Awan Magellan Kecil (Small Magellanic Cloud, AMC), galaksi katai yang mengorbit Bimasakti.

Karena berisi sedikit logam, gas, debu, dan bintang, bagian SMC ini dapat menjadi model kelahiran bintang pada awal alam semesta.

Salah satu bintang itu menjadi supernova, melontarkan gelombang kejut berisi zat yang menggoncang awan gas dan debu. Nebula itu mulai memadat dan berputar, dengan cepat menjadi gepeng berbentuk cakram. Tonjolan di tengah menjadi terang, reaktor fusi yang bercahaya menyilaukan. Matahari kita pun lahir.

Semburan-sembruan kemilau hijau mulai keluar dari bintang kita dan menghujani cakram di sekelilingnya seperti bubuk zamrud. Bintang kita memberi mineral berharga ke dunia sekelilingnya—berlian berkilau dan olivin hijau, tokoh utama di cerita kita.

Cakram terus berputar dan terbagi menjadi lingkaran-lingkaran sepusat. Satu cincin mulai menggumpal, gumpalannya tumbuh makin lama makin besar sampai menjadi dunia berbentuk bola. Itulah Jupiter, planet Matahari yang lahir pertama.

Bintang membuat planet, bulan, dan komet.

Dunia-dunia lain mulai terbentuk dari gumpalan gas dan debu lalu saling bertabrakan seperti dalam balapan gila-gilaan. Planet-planet bermunculan dan menabrak puing, menjadi makin besar dan menyapu bersih orbitnya mengelilingi Matahari. Planet dan bulan mendapat molekul organik—balok-balok kimia pembangun kehidupan. Itulah warisan yang didapat dari bintang-bintang lain.



Apakah kosmos menghasilkan kehidupan secara alami, seperti membuat bintang dan dunia? Terjunlah bersama saya seperti torpedo, makin lama makin dalam ke masa lalu dan menembus air merah kaya besi sampai dasar laut.

Dahulu kala, lebih daripada empat miliar tahun lalu, waktu dunia kita masih muda, ada kota dengan menara-menara setinggi 15 sampai 30 meter yang fondasinya berada di dasar laut. Butuh puluhan ribu tahun untuk membangun kota itu. Namun ketika itu tak ada kehidupan di dunia. Jadi siapa yang membangun pencakar



Kota yang hilang telah ditemukan? Menara-menara batu kapur berongga, disebut tufa, mencuat di bentang alam California. Menara-menara yang umurnya tak sampai seribu tahun ini terungkap ketika danau yang merendamnya kering.

langit di bawah air? Alam. Alam membuat kota dengan karbon dioksida dan kalsium karbonat: mineral yang juga digunakan untuk membuat cangkang kerang dan mutiara.

Ibu Bumi yang tak pernah diam merekah terbuka, air laut dingin mengguyur mantel batuan panas, menjadi kaya molekul organik dan mineral, termasuk permata hijau bernama olivin. Campuran air dan mineral itu menjadi panas sekali sehingga menyembur kencang. Campurannya terjebak di pori batuan karbonat yang kemudian menjadi menara. Pori-pori itu adalah inkubator, tempat aman di mana molekul-molekul organik dapat menjadi makin terkonsentrasi. Itulah dugaan kita mengenai cara bebatuan membangun rumah pertama bagi kehidupan. Itulah awal kolaborasi panjang antara mineral Bumi—bebatuan—dan kehidupan, setidaknya di bagian kecil kosmos tempat kita berada.

Ketika air dan karbon dioksida berubah menjadi molekul-molekul organik yang menjadi bahan asal-usul kehidupan, produk sampingannya adalah hidrogen dan metana. Prosesnya meninggalkan bukti berbentuk retakan-retakan panjang seperti ular di bebatuan, bernama serpentinisasi. Para saintis yang mencari kehidupan di dunia-dunia lain dulu berkata “ikuti air” karena air adalah syarat paling dasar kehidupan. Mereka sekarang juga berkata “ikuti batu” karena serpentinisasi terikat erat sekali dengan proses-proses yang memungkinkan terjadinya kehidupan.

Namun bagaimana awalnya? Apakah sains menawarkan gambaran asal-usul kehidupan yang setara dengan drama dan keindahan tangan Tuhan menyentuh Adam di lukisan Michelangelo? Molekul-molekul organik, balok-balok pembangun kehidupan, terkumpul di pori-pori mikroskopik menara-menara dalam air. Molekul-molekul itu, seperti segala hal lain, termasuk Anda dan saya, terbuat dari atom. Di antara molekul-molekul organik yang berserakan, ada titik-titik energi berpendar, proton, yang melejit ke sana-sini.

Energi diperlukan untuk mengubah molekul-molekul tak hidup menjadi sesuatu yang hidup. Datangnya dari reaksi yang terjadi ketika air alkali yang terjebak dalam menara bertemu air asam samudra. Itu dianggap memberi energi ke molekul-molekul pertama yang bisa menggandakan diri, pendahulu molekul RNA dan DNA modern. Molekul-molekul kecil lain berkumpul dan melekat di dinding dalam pori, pendahulu apa yang kita sebut lipid, membentuk membran sel pertama.

Seiring waktu, menara-menara hidrotermal berpori-pori mulai larut dan runtuh. Namun molekul-molekul kompleks di dalamnya—sel-sel pertama di Bumi—tetap ada, berevolusi menjadi mikroba yang bisa bereproduksi.

Versi itu adalah mitos penciptaan saintifik paling masuk akal yang kita punya hari ini untuk asal-usul kehidupan. Hipotesisnya

memerlukan pemersatuan kembali empat bidang sains yang sudah lama terpisah—biologi, kimia, fisika, dan geologi.



Beberapa saintis berpikir bahwa kehidupan pertama kali bercokol di bebatuan. Namun sejak hari pertama, kehidupan selalu ingin lepas untuk menaklukkan dunia-dunia baru. Bahkan samudra luas pun tak dapat menahannya.

Planet tempat bentuk-bentuk kehidupan pertama itu muncul tidak tampak seperti penampilannya hari ini. Samudra menutupi sebagian besar permukaan Bumi, airnya merah karena mengandung besi. Langit berwarna kuning oranye berkabut, bukan biru. Dan Bulan belum berada di orbitnya sekarang. Atmosfer berisi asap kabut hidrokarbon. Tak ada oksigen yang bisa dihirup, tak ada pula yang bisa menghirup oksigen. Tanah berupa serangkaian kaldera gunung api ungu tanpa kehidupan yang sekali-sekali meletus. Kehidupan kemudian merombak dunia, laut, dan langit. Namun kehidupan tak selalu bertindak demi kepentingannya sendiri. Datanglah hari kemusnahan, ketika kehidupan hampir menghancurkan dirinya sendiri.

Untuk menyaksikan salah satu masa paling mematikan dalam sejarah Bumi, mari kembali ke Kalender Kosmik. Tak banyak yang terjadi di tempat kita di alam semesta sampai sekitar tiga miliar tahun sesudah awal waktu. Baru pada 15 Maret galaksi Bimasakti mulai terbentuk, dan pada hari terakhir Agustus, enam miliar tahun kemudian, Matahari kita lahir. Tak lama sesudahnya, Jupiter dan planet-planet lain, termasuk planet kita sendiri, mulai terbentuk. Tiga minggu kemudian, 21 September, kehidupan diperkirakan bermula di celah-celah dasar laut. Waktu kosmik berlalu tiga minggu lagi, gunung-gunung berapi bermunculan mencuat dari laut lalu meletus membentuk daratan.

Kita baru sebentar mulai memahami betapa hebat kehidupan dalam membentuk planet ini. Ketika kita memikirkan cara-cara kehidupan membentuk Bumi, yang pertama terpikir adalah bentang hutan hijau dan kota-kota besar. Namun kehidupan mulai mengubah planet ini lama sebelum semua itu ada. Semiliar tahun sesudah terpicu di dasar laut, kehidupan telah menjadi fenomena global berkat satu jagoan yang hingga hari ini tak pernah terkalahkan—sianobakteria.

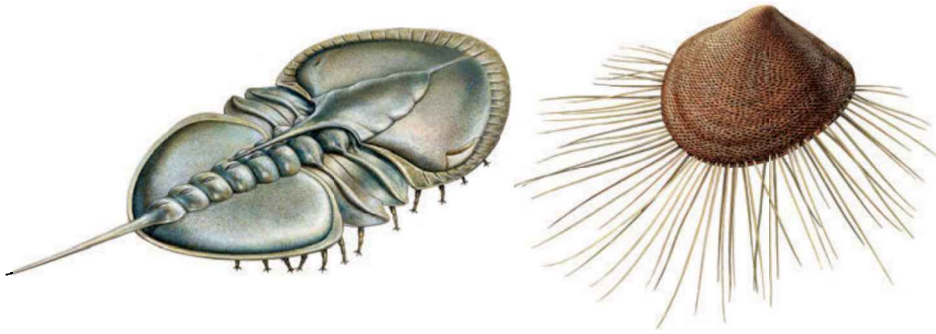
Sianobakteria, juga dikenal sebagai alga biru-hijau, bisa hidup di mana saja dan kini sudah ada selama 2,7 miliar tahun. Air tawar, air asin, mata air panas, tambang garam—tak ada bedanya, semua bisa dihuni sianobakteria. Mereka ahli alkimia. Mereka bisa melakukan sesuatu yang kita masih belum ketahui caranya, meski sudah punya segala macam sains dan teknologi. Mereka bisa mengubah cahaya Matahari menjadi gula, menciptakan makanan sendiri melalui fotosintesis.

Selama 400 juta tahun sesudahnya, sianobakteria—yang menyerap karbon dioksida dan mengeluarkan oksigen—mengubah langit dari kuning menjadi biru. Sianobakteria bukan hanya mengubah langit dan laut, melainkan juga menjangkau ke dalam bebatuan dan mengubahnya. Oksigen bersifat korosif (menimbulkan karat). Oksigen yang dilepas sianobakteria membuat tanah berkarat dan mengubah mineral. Dari 5.000 jenis mineral di Bumi, sekitar 3.500 terjadi karena oksigen yang dibuat kehidupan.

Bumi dulu adalah planet sianobakteria. Organisme-organisme kecil bersel satu tersebut tidak menonjol, tapi pernah menjadi bentuk kehidupan dominan di planet ini, berpengaruh di manapun berada, mengubah bentang alam, air, dan langit. Itu terjadi 2,3 miliar tahun lalu, akhir Oktober di Kalender Kosmik.

Mata Air Grand Prismatic di Yellowstone tak memiliki kehidupan di pusatnya, sehingga air bersuhu 66°C di sana berwarna biru tua. Lapisan mikroba mengelilingi mata air panas kaya mineral itu dengan warna kuning dan oranye kuat.



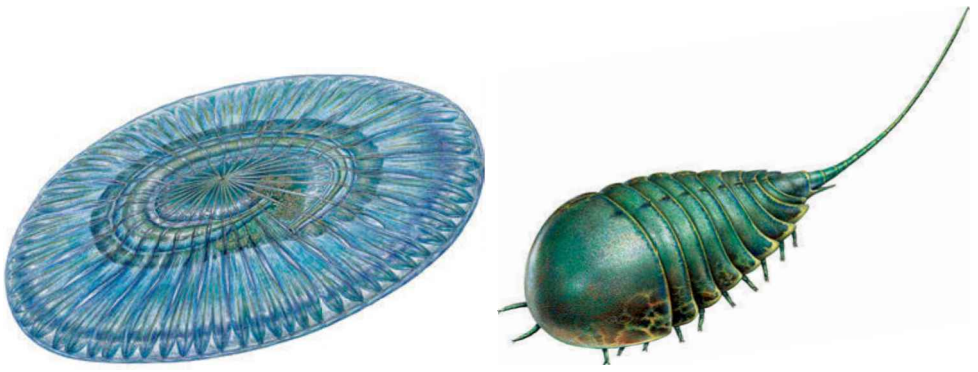


Sianobakteria berbagi planet ini dengan makhluk-makhluk lain: bakteri anaerob, bentuk kehidupan yang sudah ada sebelum sianobakteria mulai mencemari Bumi dengan oksigen. Bagi bakteri anaerob, oksigen itu racun, tapi sianobakteria tak mau berhenti memenuhi atmosfer dengan oksigen. Itu bencana bagi bakteri anaerob, dan hampir semua kehidupan lain di Bumi. Sianobakteria menghadirkan Kiamat Oksigen. Yang selamat di antara bakteri anaerob adalah yang mengungsi ke endapan di dasar laut dalam, yang tak tercapai oksigen.

Ingatlah bebatuan terserpentinisasi di dasar laut yang menyemburkan hidrogen dan metana. Metana adalah gas rumah kaca yang kuat, dan dulu menjadi gas utama yang menjaga planet ini tetap hangat. Namun sekali lagi oksigen yang dihasilkan kehidupan mengguncang keadaan. Oksigen bereaksi dengan metana dan menghasilkan karbon dioksida, gas rumah kaca yang kurang kuat—kurang efisien dalam menjebak panas di atmosfer Bumi. Bumi menjadi lebih dingin dan kehidupan hijau di daratan mulai mati.

Lapisan es kutub meluas sampai meliputi seluruh planet sampai Bumi menjadi bola salju, sepenuhnya terliputi es dan salju. Sianobakteria telah melampaui batas. Bentuk kehidupan dominan di planet ini nyaris memusnahkan diri secara total. Silakan dipikirkan oleh makhluk apapun yang kebetulan menempati relung ekologis itu hari ini.





Bentuk-bentuk kehidupan yang banyak ditemukan di antara fosil-fosil Burgess Shale dari Pegunungan Rocky Kanada, semuanya muncul sekitar 500 juta tahun lalu selama Ledakan Zaman Kambrium. **KIRI KE KANAN:** trilobita (*Pagetia bootes*), brakiopoda (*Micromitra burgessensis*), hewan bertubuh lunak (*Eldonia ludwigii*), dan artropoda (*Molania spinifera*).

Musim dingin global pertama itu terjadi sekitar 2,2 miliar tahun lalu, selama beberapa ratus juta tahun—atau dari 2 sampai 6 November di Kalender Kosmik—sampai letusan gunung berapi besar-besaran menembus es dan lava mulai mengalir di permukaan. Kehidupan, ahlinya meloloskan diri, lepas dari genggaman maut di seluruh planet. Es mundur kembali ke kutub.

Mayat-mayat sianobakteria meninggalkan genangan karbon dioksida seluas planet. Gunung berapi yang meletus memompa karbon dioksida itu ke atmosfer, menghangatkan planet dan melelehkan es. Selama beberapa miliar tahun berikutnya, kehidupan dan bebatuan melanjutkan tarian rumit, membawa planet ini melalui lingkaran pembekuan dan pelelehan.

Kemudian, 540 juta tahun lalu—17 Desember di Kalender Kosmik—sesuatu yang menakutkan terjadi. Ketika itu planet kita sudah punya langit biru dan samudra dengan dua benua besar dan banyak kepulauan. Kehidupan yang sebelumnya hanya mikroba dan makhluk sederhana bersel banyak, tiba-tiba mengalami apa yang sekarang kita sebut Ledakan Zaman Kambrium. Kehidupan menumbuhkan kaki, mata, insang, gigi—dan dengan cepat mulai berevolusi menjadi bentuk-bentuk amat beragam. Sepasukan makhluk Zaman Kambrium—trilobita berzirah, makhluk seperti

kerang berinsang yang bernama *Vetulicolia*; cacing berduri tanpa kepala bernama *Hallucigenia*; dan lebih banyak lagi—berkembang-biak di seantero planet ini.

Belum kita ketahui apa yang membuat kehidupan menjadi beragam secara dramatis, tapi kita punya beberapa teori yang masuk akal. Mungkin mineral kalsium dalam air laut yang berasal dari gunung berapi menjadi penyebabnya. Kehidupan menumbuhkan tulang dan memakai cangkang. Ditemukan cara berkolaborasi dengan batu untuk membuat zirah. Kehidupan pun jadi bisa tumbuh lebih besar dan berkelana ke daerah belum berpenghuni—daratan.

Atau barangkali kehidupan mengalami diversifikasi berkat atap pelindung yang dibangun sianobakteria. Oksigen yang mereka lepaskan ke atmosfer menciptakan lapisan ozon, yang memungkinkan kehidupan keluar dari keamanan samudra dan menghuni daratan tanpa terkenal cahaya ultraviolet mematikan dari Matahari. Selama miliaran tahun, segenap kehidupan hanya bisa mengalir. Sesudahnya kehidupan bisa berenang, berlari, berjingkat, dan terbang.

Mungkin semacam perlombaan senjata evolusioner terjadi di antara bentuk-bentuk kehidupan yang bersaing. Satu spesies, misalnya *Anomalocaris*, hewan mirip udang raksasa, menumbuhkan cangkang dan capit untuk mengangkat dan membalik trilobita mangsanya agar bagian rawan si trilobita bisa diserang. Boleh jadi itu cara ampuh sampai trilobita mengembangkan strategi pertahanan yang ampuh juga—cangkang luwes beruas yang bisa membuat trilobita bertahan dengan cara menggulung menjadi bola berzirah. Trilobita selamat dari serangan dan menghasilkan lebih banyak keturunan. *Anomalocaris* kelaparan sampai punah.

Atau dapatkah virus memicu Ledakan Zaman Kambrium yang memunculkan bentuk-bentuk kehidupan baru? Kita cenderung berpikir bahwa virus adalah musuh kehidupan, tapi virus tidak sepenuhnya jahat. Virus punya kecenderungan berbuat serampangan. Mungkinkah virus bertindak sebagai kurir, meniggalkan

potongan-potongan DNA selagi bergerak dari inang ke inang? Beberapa inang berubah karena DNA yang tertinggal itu, menjadi lebih cocok dengan lingkungan.

Keragaman kehidupan yang berawal pada Zaman Kambrium bisa saja merupakan hasil semua hal di atas. Atau alasannya adalah faktor-faktor lain yang kita belum pahami. Apapun penyebabnya, kehidupan menjadi sangat hebat dalam melepaskan diri dari segala ikatan sehingga tak ada penjara di Bumi yang dapat menahannya. Dan bakal terjadi satu hari, ratusan juta tahun sesudah Ledakan Zaman Kambrium, ketika kehidupan bahkan lepas dari Bumi. Kehidupan tak akan terkekang.

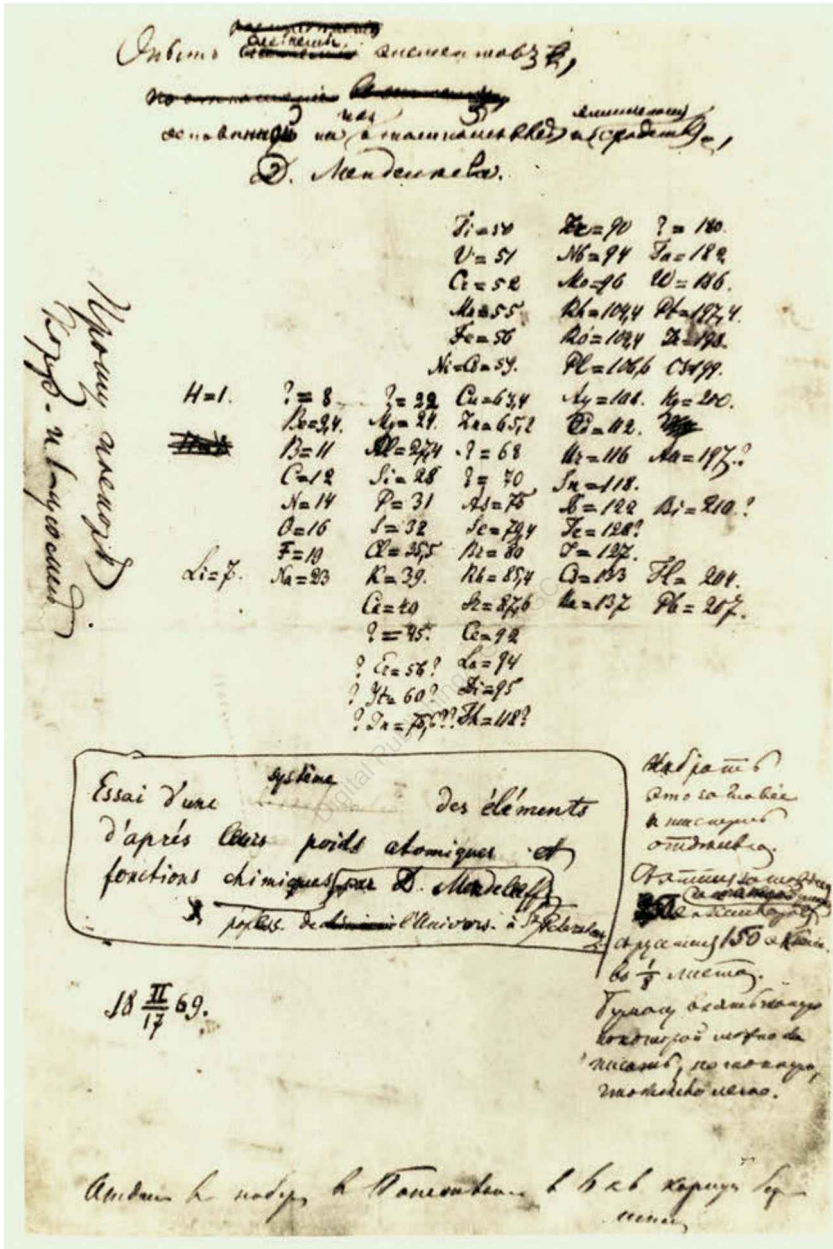


Menelusuri perjalanan kehidupan kembali ke awal membutuhkan suatu sains jenis baru, yang mempersatukan kembali berbagai disiplin. Orang yang mendirikan pendekatan saintifik baru itu juga kebetulan ahli meloloskan diri. Dia kabur dari para pembunuh ter-gigih sepanjang sejarah, sambil meledek mereka sepanjang jalan.

Victor Moritz Goldschmidt sangat cerdas sampai-sampai ditawarkan pekerjaan di Universitas Oslo tanpa perlu ujian atau gelar. Itu tahun 1909, ketika dia baru berumur 21. Tiga tahun kemudian, dia mendapat penghargaan sains terbesar Norwegia, Hadiah Fridtjof Nansen.

Goldschmidt salah seorang saintis pertama yang memandang Bumi sebagai satu sistem. Dia tahu bahwa agar mendapat gambaran utuh, kita tak bisa hanya tahu fisika, kimia, atau geologi—kita harus tahu semuanya. Ketika itu penyelidikan unsur-unsur baru dimulai. Unsur-unsur tak stabil sesudah uranium di tabel periodik (transuranik) belum ditemukan.

Pada abad ke-19, para ahli kimia membuat kemajuan besar dalam pemahaman mengenai sifat-sifat zat kimia. Para ahli kimia



Dmitriy Mendeleev terus menyempurnakan tabel periodik unsur sepanjang hidup, bermula dengan catatan ini pada Februari 1869. Dia memberi kerangka untuk mengerti zat dengan daya prediksi mengagumkan kepada para saintis.

waktu itu yakin bahwa unsur—jenis zat kimia paling dasar—terbuat dari atom-atom yang tak bisa dibagi lagi. Berbagai atom punya beraneka sifat kimiawi, dan ketika bereaksi dan bergabung dengan atom-atom lain untuk membentuk molekul, segala macam zat di dunia—udara, air, logam, mineral, protein—terbentuk. Beberapa molekul, seperti air, cukup sederhana. Yang lain, seperti molekul-molekul protein yang menyusun kehidupan, sangat kompleks, kadang terdiri atas jutaan atom. Namun semua benda di kosmos ujung-ujungnya tersusun dari hanya beberapa lusin unsur dasar yang bergabung dalam berbagai cara dan jumlah.

Pada 1860-an, ahli kimia Rusia Dmitriy Mendeleev dan beberapa ahli lain mulai mencari pola di antara unsur-unsur. Mendeleev menemukan bahwa ketika dia menyusun unsur-unsur berdasarkan berat atom dari kecil ke besar, tampaknya terbentuk kelompok-kelompok alami beranggotakan delapan unsur, berdasarkan sifat kimiawi (reaktivitas, kemungkinan terbakar, sifat beracun, dan sebagainya). Ketika kelompok-kelompok itu disusun dalam tabel, terungkap ada lubang-lubang di berbagai baris unsur. Mendeleev menganggap lubang-lubang itu mewakili unsur-unsur yang belum ditemukan, dan dia dengan tepat memperkirakan sifat-sifat kimia beberapa unsur sebelum akhirnya ditemukan.

Goldschmidt menerapkan pengetahuan baru itu untuk menciptakan tabel periodik versinya sendiri, yang masih dipakai hingga sekarang. Namun dalam pikiran Goldschmidt, tabel periodik barunya bukan sekadar sesuatu untuk menggantikan dekorasi dinding kelas atau laboratorium yang ketinggalan zaman. Dengan tabel itu dia dapat melihat bagaimana kristal dan mineral kompleks dapat terbentuk dari unsur-unsur dasar. Tabel periodik barunya yang lebih bagus menunjukkan bagaimana unsur-unsur membentuk beberapa struktur geologis termegah di Bumi—Himalaya, tebing putih Dover, Grand Canyon. Goldschmidt menemukan dasar-dasar geokimia dan membantu kita mengerti bagaimana zat berevolusi menjadi gunung.

Olivin, mineral yang dianggap penting bagi asal-usul dan evolusi kimia kehidupan.



Pada 1929, Goldschmidt membuat keputusan untuk menerima tawaran pekerjaan di Universitas Göttingen di Jerman, keputusan yang menentukan jalan hidupnya. Universitas itu membangun satu institut hanya demi dia. Para koleganya berpikir bahwa kala itu adalah tahun-tahunnya yang paling berbahagia, sampai 1933, ketika Adolf Hitler mulai berkuasa.

Goldschmidt itu Yahudi, tapi tak religius. Hitler mengubah segalanya bagi dia. Dia mulai dekat dengan komunitas Yahudi lokal. Hitler mewajibkan semua orang mengumumkan kalau ada leluhurnya yang Yahudi sampai beberapa generasi sebelumnya. Ada orang-orang yang berusaha menyembunyikan jatidiri leluhur Yahudi supaya tak dibawa ke kamp konsentrasi. Namun dengan bangga Goldschmidt mengumumkan bahwa SEMUA leluhurnya adalah Yahudi. Hitler dan Hermann Göring, pendiri Gestapo, tak senang. Secara pribadi mereka mengirim surat ke Goldschmidt pada 1935, memberitahunya bahwa dia dipecat dari jabatannya di universitas. Goldschmidt kabur ke Norwegia dengan hanya membawa pakaian yang melekat di tubuhnya.

Goldschmidt memusatkan perhatian risetnya ke olivin, permata hijau peninggalan pembentukan tata surya. Dia kagum dengan kemampuan olivin bertahan bahkan dalam suhu amat tinggi, dan merupakan orang pertama yang berspekulasi bahwa olivin boleh jadi berperan dalam menyiapkan panggung untuk asal-usul kehidupan. Selagi mempelajari olivin, yang kalau dipoles dan dipasang di perhiasan dikenal sebagai peridot, Goldschmidt merintis penggunaan baru untuknya. Dia pertama-tama menggunakan olivin untuk melapisi tungku, tapi generasi-generasi berikut bakal mendapati bahwa ketahanan olivin terhadap panas ideal untuk reaktor nuklir dan roket.

Pada waktu yang sama, Goldschmidt penasaran dengan keberadaan olivin di seluruh kosmos. Itu adalah awal bidang bernama kosmokimia. Namun ada cabang kimia lain yang lebih tradisional tapi lebih penting bagi dia kala itu. Pada malam sebelum invasi Nazi atas Norwegia, Goldschmidt mengenakan baju pelindung dan membuat beberapa pil sianida untuk dirinya sendiri. Dia menyimpan pil-pil itu supaya dapat langsung bunuh diri jika/kalau Gestapo menangkapnya. Ketika seorang saintis lain bertanya apa masih ada pil yang bisa diminta, Goldschmidt menjawab, “Racun ini untuk profesor kimia saja. Kamu, sebagai ahli fisika, silakan pakai tali.”

Dan Gestapo benar-benar datang untuk menangkap Goldschmidt. Pada suatu tengah malam tahun 1942, SS menggedor pintu rumahnya. Goldschmidt menyimpan pil sianida di kantong. Dia dikirim ke kamp konsentrasi Berg untuk kemudian dipindah ke Auschwitz, tempat yang dia nyatakan kepada teman-temannya dengan humor datar “tidak dapat rekomendasi bagus.”

Dia sedang menunggu di dermaga, dalam keadaan pucat dan kurus, satu di antara seribu orang Yahudi yang menunggu dideportasi, ketika satu detasemen serdadu Nazi datang menuju dia. Selagi mereka mendekat, dia menimang-nimang pil biru kecil di kantongnya. Namun dia memutuskan untuk mempertaruhkan nasib, sadar bahwa akan ada kesempatan-kesempatan lain untuk menelan pil itu.

Sebagai saintis, Goldschmidt terlalu penting untuk dimusnahkan Nazi. Dia diperbolehkan hidup di luar kamp jika mau mengabdikan kepada Reich. Goldschmidt menerima tawaran itu untuk menggunakan satu-satunya keunggulan yang dia punya dibanding para penangkapnya—pengetahuan sains. Dia mempermainkan mereka, membuat mereka melakukan hal-hal tak berguna. Dia kerahkan pasukan untuk mencari mineral yang sebenarnya tak ada, dengan alasan bahwa mineral itu penting untuk perang. Siasatnya bisa terbongkar kapan saja—dan itu kiranya berarti kematian.

Pada akhir 1942, kelompok perlawanan Norwegia mengetahui bahwa Goldschmidt terancam bahaya. Mereka membantu dia meloloskan diri pada malam hari menyeberang perbatasan ke Swedia. Goldschmidt menghabiskan sisa masa perang di Swedia, lalu Inggris, membantu Sekutu dengan pengetahuannya. Kesehatannya selalu buruk; dia tak pernah pulih selama perang. Victor Goldschmidt meninggal pada 1947. Namun dalam periode terakhir hidupnya, dia menulis satu makalah mengenai molekul-molekul organik kompleks yang dia pikir berkaitan dengan asal-usul kehidupan di Bumi. Gagasan-gagasan di makalah itu terus menjadi inti pemahaman kita mengenai cara kehidupan terjadi. Goldschmidt tak pernah tahu bahwa bergenerasi-generasi ahli geokimia sesudah dia bakal menganggap dia sebagai pendiri bidang tersebut.

Salah satu permintaan terakhir Goldschmidt adalah dikremasi, lalu abunya disimpan dalam guci yang terbuat dari barang yang dia anggap bahan kehidupan—olivin yang dicintainya.



Alam semesta membuat galaksi-galaksi. Galaksi membuat bintang-bintang. Bintang membuat dunia-dunia. Adakah kota-kota kehidupan lainnya yang hilang di kosmos? “In dreams begin responsibilities” “Dalam impian berawal-lah tanggung jawab”, demikian kalimat yang kita dapat dari Irlandia, penyair W.B. Yeats, dan penulis cerita pendek Delmore Schwartz. Kalimat itu menggema dalam kepala saya selama sebagian besar kehidupan saya, dan tampak bisa diterapkan kepada impian kita menjelajahi aneka ragam dunia di Bimasakti.

Ada kewajiban-kewajiban di kosmos. Sebagai spesies penjelajah antariksa, kita harus berhati-hati agar tak melakukan kontaminasi di dunia-dunia yang kita kunjungi, dan tak sembarangan membawa pulang makhluk asing yang bisa mengancam dunia kita sendiri.

Pada 1958, sesudah Sputnik, Carl Sagan dan peraih Nobel Joshua Lederberg mulai menyerukan dibuatnya suatu protokol ketat perlindungan planet untuk menjadi bagian hukum internasional. Sebagian besar alasannya adalah keinginan mereka menghindari kontaminasi dari Bumi terhadap dunia-dunia lain, supaya bisa menyediakan jawaban mengenai asal-usul kehidupan. Namun Sagan dan Lederberg juga memikirkan sejarah tragis penaklukan benua-benua oleh orang Eropa. Para saintis lain merasakan dorongan amat kuat untuk menjelajah sehingga mereka meremehkan alasan keprihatinan itu. Akhirnya muncul suatu kesepakatan yang mendukung Lederberg dan Sagan. Namun ketika NASA mulai menyusun konvensi perlindungan planet pada 2005, yang didapat adalah formula yang mengutamakan misi, bukan dunia. Kategori-kategori didefinisikan hanya dengan bagaimana misi bisa mengganggu riset mengenai cara terjadinya kehidupan, bukan pelestarian kehidupan di dunia lain—dan dunia kita.

NASA membuat lima kategori utama, dengan beberapa subkategori tambahan. Bulan-nya Bumi dianggap tak berkehidupan sehingga menjadi tempat yang “tak menjadi perhatian langsung untuk memahami proses evolusi kimia atau asal-usul kehidupan”. Karena alasan itu, Bulan dianggap boleh dijadikan sasaran misi jenis apapun dalam Kategori 1, yaitu misi terbang lewat (*flyby*), mengorbit, atau mendarat.

Misi Kategori 2 adalah untuk dunia-dunia yang boleh jadi punya “daya tarik signifikan” untuk persoalan kehidupan, tapi sifat misinya berpeluang relatif kecil mengontaminasi dunia sasaran, jadi juga bisa dikunjungi segala tipe misi. Venus, yang terkenal tak bisa dihuni kehidupan seperti yang kita kenal, termasuk dalam kategori ini.

Kategori 5 yang terbatas adalah pengakuan akan keahlian kehidupan dalam meloloskan diri. Penerapannya adalah untuk misi pengambilan sampel dari dunia-dunia di mana kehidupan boleh

jadi sudah bermula—dunia-dunia yang barangkali punya, atau *pernah punya*, kota-kota kehidupan yang hilang di dasar laut.

Mars adalah kasus khusus—dimasukkan Kategori 5 dengan berbagai pembagian, dan NASA menetapkan bahwa untuk dunia-dunia seperti itu “wahana antariksa yang menuju sasaran benda angkasa dengan potensi menopang kehidupan Bumi mesti menjalani proses pembersihan dan sterilisasi ketat, dan pembatasan operasi lebih besar.” Namun boleh dikata para robot utusan kita—pendarat dan pengembara—merupakan perwujudan kehendak gigih kehidupan untuk mencari dan menguasai wilayah baru.

Sesudah mengamati Jupiter bertahun-tahun, wahana antariksa Juno NASA akan dijatuhkan ke atmosfer Jupiter. Juno akan mulai berpendar karena gesekan sebelum berubah menjadi bola api dan tenggelam ke lapisan-lapisan awan di bawahnya. NASA tak memerintahkan Juno menghancurkan diri sendiri karena khawatir dengan Jupiter. Kecil kemungkinan satu wahana antariksa kita dapat mengganggu penelitian planet gas raksasa itu pada masa depan. Mikroba Bumi yang mungkin terbawa olehnya bakal ikut tenggelam dan terpanggang suhu tinggi. Itu alasannya Jupiter hanya masuk dunia Kategori 2. Namun satu dari 79 bulan Jupiter termasuk Kategori 5, dan NASA tak bisa mengambil risiko Juno tanpa sengaja bertabrakan dengannya: Europa adalah yang kedua dari hanya tiga dunia Kategori 5 di tata surya.

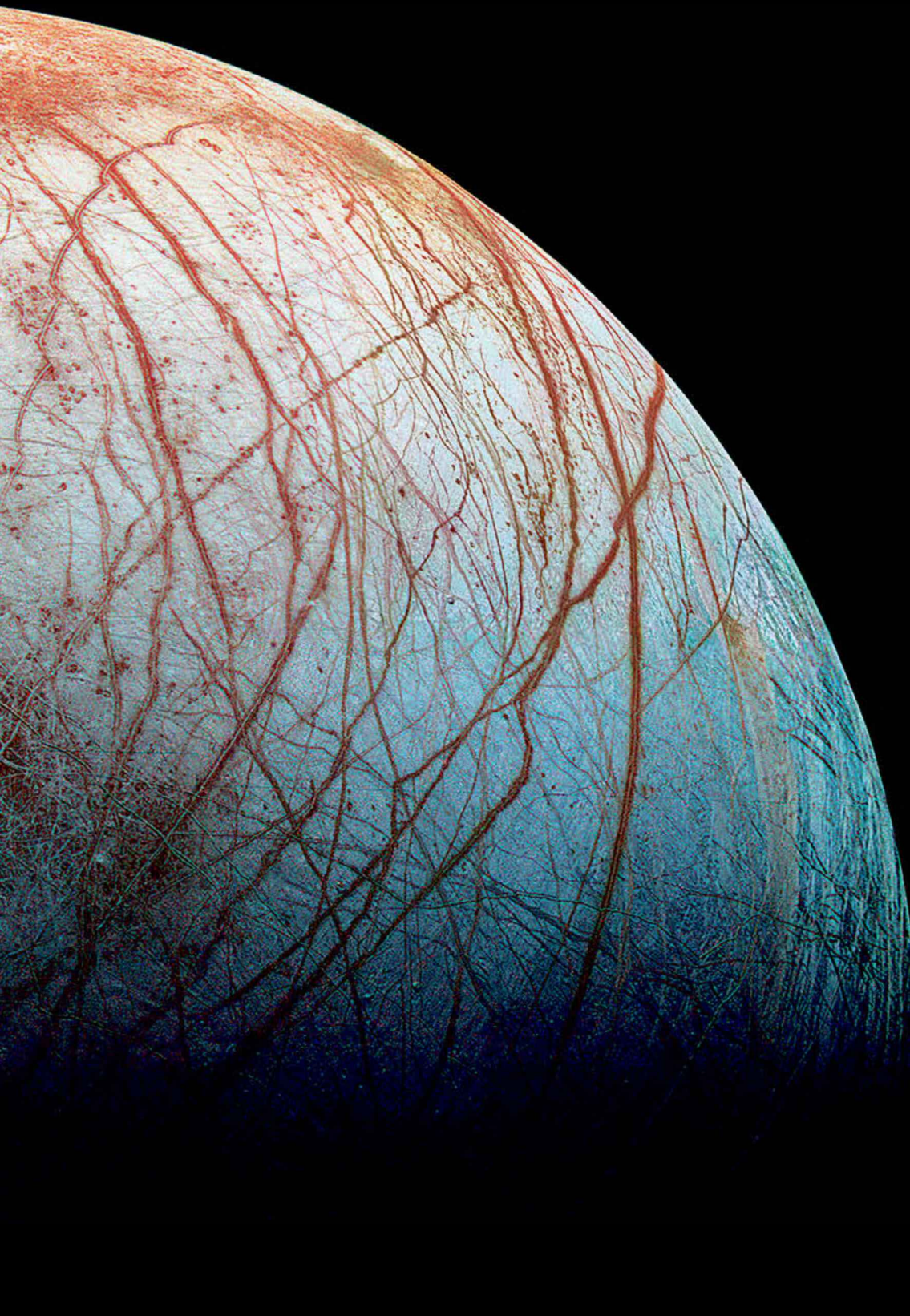
Seperti Bumi, Jupiter punya medan magnet, yang bisa dilihat oleh kita menggunakan gelombang radio. Medan magnet Jupiter jauh lebih kuat daripada medan magnet Bumi, dan volumenya sejuta kali lebih besar. Medan magnet itu menjadi perangkap raksasa untuk zarah-zarah bermuatan dalam angin surya. Di Jupiter dan di Bumi, medan magnet menyalurkan zarah-zarah bermuatan yang dipancarkan Matahari ke kutub utara dan selatan, sehingga menimbulkan aurora yang berpendar mencekam. Angin surya yang menerpa Jupiter juga disalurkan ke permukaan Europa, kemudian

berputar di atas permukaan unik yang tampak seolah habis dicakar harimau.

Jupiter mendominasi langit. Bayangkan seperti apa rasanya jadi Europa kecil dan bulan-bulan Jupiter lain yang berada dekat sekali dengan rajanya planet. Jupiter raksasa merengkuh Europa dalam rangkulan gravitasi yang begitu kuat sehingga dalam empat miliar tahun, sisi bulan itu yang menghadap planetnya tak pernah bergeser. Cengkeraman Jupiter terhadap Europa begitu kuat sehingga merobek kulit bulan itu. *Lineae*, luka-luka lebar di permukaan Europa, sampai selebar 20 kilometer dan sepanjang 1.400 kilometer. Naik turunnya terasa. Seolah kita bisa mendengar gemuruh pergerakannya.

Siksaan gravitasi itu disebut pelekukan pasang surut (*tidal flexing*)—dan Jupiter bukan satu-satunya pelaku. Bulan-bulan di sekeliling Europa ikut menariknya. Lapisan paling tebal di permukaan Europa naik sampai 90 meter tiap tiga setengah hari, sama dengan waktu yang diperlukan Europa untuk mengelilingi Jupiter satu kali. Europa berjarak delapan ratus juta kilometer ke kehangatan Matahari, lima kali lebih jarak Bumi ke Matahari. Namun pelekukan pasang surut membuat bagian dalam Europa panas. Itu salah satu alasan bulan tersebut menjadi dunia Kategori 5. Di bawah permukaannya yang naik turun, ada samudra yang 10 kali lebih dalam daripada laut terdalam di Bumi.

Bayangkan menyelam ke salah satu *lineae* dan memasuki samudra bawah permukaan Europa lalu mencari tahu apakah ada yang berenang di sana. Misi seperti itu ada dalam kemampuan kita dan para saintis sedang mengusulkannya ke NASA. Bayangkan wahana antariksa turun dengan cepat, terjun sejauh beberapa kilometer melewati dinding beku biru satu tebing dan mencebur di samudra besar lalu mengirim kembali foto dan data lain ke kita di Bumi.





Yang manakah dunia Kategori 5 ketiga di tata surya kita?

Bukan Saturnus. Kehidupan Bumi yang melalui sabuk awan Saturnus tak bakal selamat—awan paling atas terbuat dari es amonia, sehingga dunia Saturnus termasuk Kategori 2. Di bawahnya ada lapisan uap air. Bagian dalam Saturnus panas; panasnya dua kali lipat yang didapat dari Matahari yang jauh.

Bulan Saturnus, Titan, adalah dunia Kategori 2 lainnya. Seperti di Saturnus, kemungkinan kita mengganggu kehidupan yang barangkali ada di sana terlalu kecil. Tentu saja, selalu ada kemungkinan kehidupan di Titan lebih aneh daripada yang bisa kita bayangkan. Kalaupun demikian, tetap saja kecil kemungkinan bentuk kehidupan Bumi apapun dapat membahayakannya.

Namun salah satu bulan lain di antara 62 bulan Saturnus termasuk dunia Kategori 5. Dan wujudnya tak seperti bulan lain yang pernah kita lihat: seluruh belahan selatannya menyemburkan tirai zat biru, menciptakan cincin terluar Saturnus. Penemunya adalah orang pertama yang melihat kedalaman samudra kosmik.

William Herschel, lahir 1738, ialah seorang pemusik dan ahli astronomi kelahiran Jerman yang beremigrasi ke Inggris. William menemukan planet Uranus pada 1781 dan mengusulkan agar planet itu dinamai “George”, dari Raja George III. Usulnya tak diterima, tapi sang raja senang sekali dengan persembahan itu, sehingga membiayai pembangunan teleskop terbesar di dunia untuk Herschel di Slough, dekat Istana Windsor.

Adik perempuan Herschel, Caroline, menunggu di rumah mereka di Hannover sampai William, yang terus menjadi tokoh uta-

Tersiksanya permukaan Europa, bulan Jupiter, sebagaimana dilihat wahana antariksa Galileo NASA. *Lineae*—lembah dan pegunungan—di permukaannya diwarnai merah, dan di baliknya ada samudra luas.

ma di kehidupan Caroline, meminta Caroline ikut tinggal bersamanya di Bath. Awalnya mereka bekerja sama sebagai pemusik, tapi kemudian mereka menjadi lebih terkenal sebagai ahli astronomi. Caroline ialah perempuan pertama yang dibayar pemerintah Inggris karena memegang jabatan resmi, juga perempuan pertama di dunia yang mendapat gaji sebagai saintis. Caroline bertubuh pendek, hanya 1,3 meter. Ketika berumur 10 tahun, dia kena tifus—sebagian penglihatan mata kirinya rusak dan tubuhnya berhenti tumbuh. Meski begitu, dia tak dihalangi kekurangan ... sampai batas tertentu.

Caroline membuat sejumlah penemuan astronomi penting. Dia menerbitkan karyanya di *Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars*—tapi menggunakan nama kakaknya, William. Bagaimanapun, tahun itu tahun 1802. Putra William, keponakan Caroline, John, kemudian turut memperluas katalog Caroline. Katalog itu belakangan berganti nama menjadi *New General Catalogue*. Banyak benda angkasa yang masih menyandang nomor NGC hari ini.

William menemukan satu bulan Saturnus, yang dia sebut Saturnus II. (Menamai dunia bukan bakatnya.) Dia memberi kesempatan kepada putranya John untuk menamai dunia baru itu dan John memutuskan menamainya Enkelados, nama raksasa mitologi Yunani putra Gaia (Bumi) dan Uranus (Langit). Enkelados bertarung melawan Dewi Athena memperebutkan kendali atas alam semesta. Enkelados, dunia Kategori 5 kita yang ketiga, adalah salah satu dunia tata surya yang paling bisa memantulkan cahaya. Permukaannya hampir sepenuhnya es air tawar, mulus dengan sedikit kawah. Kita tahu itu berkat Voyager 2 NASA.

Kita tak perlu jadi ahli astrobiologi untuk tahu sekilas bahwa kehidupan ada di mana-mana di Bumi. Kita sudah mempelajari bahwa kehidupan telah mengubah hampir setiap jengkal planet ini. Status Kategori 5 Bumi kiranya jelas bagi semua peradaban penje-

lajah antariksa yang mengerti kehidupan. Namun Enkelados menjaga rahasianya tersembunyi di pedalaman.

Di sebelah selatan khatulistiwa Enkelados, kita mulai melihat puncak-puncak menara es dan uap air setinggi ratusan kilometer. Bayangkan suatu wahana robotik dari Bumi terbang menembus tirai semburan dan memperlihatkannya ke kita melalui kamera. Es dan uap air menyembur dari Enkelados dengan kecepatan 2.000 kilometer per jam. Semburan airnya bertekanan sangat tinggi sehingga memecah kerak dan menjangkau berkilometer-kilometer ke antariksa. Hasilnya adalah sumbangan Enkelados ke cincin E, cincin terluar Saturnus. Namun isinya bukan hanya air, melainkan nitrogen, amonia, dan metana. Dan kalau ada metana, bisa ada olivin.

Enkelados sudah melakukan itu selama setidaknya seratus juta tahun, dan airnya bisa terus keluar selama sembilan miliar tahun lagi. Dari mana semua air itu berasal?

Inti berbatu Enkelados dikelilingi samudra biru global yang tertutup kerak es. Di belahan selatan, keraknya paling tipis, hanya setebal beberapa kilometer. Itulah mengapa di sana dianggap tempat terbaik untuk mengakses samudra bawah tanah Enkelados. Samudra global, tirai semburan, es aneh di permukaan—semuanya nyata. Kita punya banyak hasil pengamatan misi Cassini yang memberitahukan bahwa itulah yang menunggu kita di Enkelados.

Apa kiranya yang kita temukan jika kita langsung terjun ke inti Enkelados? Para saintis berpikir bahwa suatu wahana antariksa yang mengunjungi Enkelados bakal turun melewati kabut panas sampai ke jurang gelap penuh uap yang dibuat hawa panas dari bagian dalam Enkelados. Kalau bertemu ruang hampa antariksa, air berubah menjadi uap. Selagi wahana antariksa kita terjun makin dalam, kita bakal sampai di samudra di bawah permukaan, yang kemungkinan berlangit-langit es, Permukaan samudra itu boleh jadi berlapis bahan organik merah dan hijau.



Pendar Kapal Imajinasi Kosmos menerangi menara-menara mineral yang mungkin ada di dasar samudra di Enkelados, bulan Saturnus.

Lapisan itu adalah bahan kehidupan—molekul-molekul organik. Apa yang dapat menunggu kita di bawahnya? Samudra Enkelados kira-kira 10 kali lebih dalam dibanding samudra-samudra Bumi. Jika bisa melihat airnya menggunakan mikroskop yang kuat, boleh jadi kita melihat molekul kecil karbon organik dan hidrogen. Andai molekul-molekul itu banyak terdapat di sana, kiranya itu menjanjikan keberadaan kehidupan. Kita mungkin bakal menemukan bahwa Enkelados punya kota kehidupan juga di dasar lautnya. Jika benar ada, tiang-tiangnya boleh jadi lebih tinggi daripada yang ada di Bumi karena gravitasi Enkelados jauh lebih lemah daripada gravitasi Bumi. Namun arusnya kuat dan bisa meruntuhkan menara. Mungkinkah ada batuan terserpentinisasi dan olivin Victor Goldschmidt? Mungkinkah bebatuan di sana memberi tem-

pat bagi kehidupan? Namun jika memang demikian, apa kehidupan sudah punya cukup waktu untuk bertahan?

Kita sebagai manusia berpikir kitalah ceritanya. Bahwa kita adalah segalanya di kosmos. Namun sepengetahuan kita, kita hanya produk sampingan kekuatan-kekuatan geokimia—yang bekerja di seantero alam semesta. Galaksi membuat bintang, bintang membuat dunia, dan barangkali planet serta bulan membuat kehidupan.

Apa itu membuat kehidupan jadi kurang menakjubkan—atau lebih menakjubkan?



VAVILOV

*Here the most beautiful girls fight
For the honor of marrying executioners.
Here they torture the righteous at night
And wear down the untamable with hunger.*

—ANNA AKHMATOVA

(translated by Judith Hemschemeyer)

*Filsafat akan memiliki pertimbangan hari esok, komitmen
masa depan, pengetahuan harapan, atau tak akan memiliki
lebih banyak pengetahuan.*

—ERNST BLOCH,

DAS PRINZIP OFFNUNG

Embun menghias tunas gandum yang baru muncul.





Banyak peradaban besar yang telah ambruk karena kelaparan. Maya, Mesir zaman Kerajaan Lama, bangsa Anasazi di barat daya Amerika Utara abad ke-13—di seantero planet ini, dari Kinshasa sampai Beijing dan di antaranya—manusia telah mengenal siksa kelaparan.

Selama beberapa ratus ribu tahun keberadaan kita sebagai manusia, kita adalah pengembara yang hidup di bawah bintang-bintang. Kita bergantung kepada tetumbuhan liar yang kita kumpulkan dan hewan yang kita buru sampai sekitar 10.000 atau 12.000 tahun lalu, ketika para leluhur menyadari bahwa di dalam tumbuhan yang dikumpulkan ada sarana untuk membuat tumbuhan baru—biji. Penemuan itu mengarah ke pilihan yang paling mempengaruhi nasib spesies kita. Kita bisa terus mengembara dalam kelompok-kelompok kecil, mengikuti kawanan hewan liar dan hidup dari hasil hutan, atau kita dapat menjinakkan beberapa hewan, seperti babi yang hidup di hutan bersama kita dan memakan makanan yang kita sendiri tak bisa cerna. Kita dapat menetap untuk menumbuhkan makanan—gandum, jelai, kacang, dan linen. Itu butuh pengorbanan dan kerja keras dalam jangka panjang untuk hasil yang baru datang belakangan. Kita mulai hidup pada masa depan.

Tentu saja, pilihan antara mengembara dan menetap tak diputuskan dalam sekejap. Terjadinya selama bergenerasi-gene-

Lukisan dinding Mesir dari zaman Kerajaan Baru, sekitar 1539 sampai 1075 SM, menunjukkan, dari atas ke bawah, penanaman, panen, dan penggilingan gandum; lukisan ini menghiasi makam Unsu, juru hitung gandum firau.

rasi. Kita merasa jauh sekali dengan masa lalu sebagai pemburu-pengumpul, tapi dalam bentang akbar waktu kosmik, masa lalu itu hanya setengah menit sebelum sekarang di Kalender Kosmik. Leluhur kita baru mulai menjinakkan hewan dan tumbuhan tak sampai 25 detik lalu di Kalender Kosmik, atau sekitar 10.000 tahun lalu. Pergeseran produksi pangan itu mengubah hubungan kita ke alam. Kita dulu selalu memandang diri sebagai anggota keluarga yang sama dengan burung, singa, dan pohon. Kemudian kita mulai memandang diri tercipta secara terpisah dari kehidupan lain di Bumi.

Untuk pertama kali, para pengembara menetap, menjinakkan hewan, dan menyimpan banyak makanan sehingga mereka bisa menghabiskan waktu melakukan hal-hal selain mencari makan terus-menerus. Mereka bisa menjangkau masa depan yang lebih jauh. Mereka mulai membuat benda-benda yang bertahan lebih daripada satu musim. Dan beberapa memang dibuat sangat baik sehingga masih ada 10.000 tahun kemudian.



Menara Yerikho adalah tangga tertua di dunia. Setua apa? Menara itu sudah berumur 5.000 tahun sebelum piramida pertama di Mesir dibangun. Saking kunonya, Bumi sudah punya cukup waktu untuk pelan-pelan menelannya utuh selama ribuan tahun. Anak tangga teratasnya, yang ke-22, tempat berdiri untuk memandang Sungai Yordan dan sekelilingnya, sekarang berada di bawah tanah.

Apakah Menara Yerikho itu menara pengawas untuk melindungi kota dari penyerang? Atau sekadar cara untuk mendekat ke bintang-bintang? Dibutuhkan 11.000 hari kerja manusia untuk membangunnya, sesuatu yang hanya dapat dimungkinkan dengan surplus makanan yang disediakan pertanian. Menaikinya adalah mengikuti jejak 300 generasi. Bukankah menakjubkan, orang-orang yang belum lama berhenti mengembara bisa menciptakan

sesuatu yang begitu awet? Para pembangunnya, kadang disebut sebagai orang-orang zaman Sultan, masih misteri bagi kita.

Sebagaimana warga Çatalhöyük, mereka yang membangun Menara Yerikho mengubur orang mati di bawah lantai ruang tengah, dan melapisi tengkorak dengan plester untuk merekonstruksi wajah, lalu menempelkan cangkang kerang untuk mata dan kerikil untuk gigi. Apa yang mereka pikirkan? Apakah tengkorak-tengkorak itu objek penghormatan, atau seni, atau bukti sesuatu yang baru: klaim hak milik? Apakah wajah buatan itu cara membuktikan “Leluhurku mati di sini demi melindungi tanah ini; tanah ini milikku”? Gagasan bahwa tengkorak-tengkorak itu boleh jadi bukti pertama hak milik mendasari sifat properti sejak awal, bahkan ketika seolah planet ini punya tanah begitu luas dan banyak.

Yerikho dan Çatalhöyük berjaya pada waktu yang kurang lebih sama dalam sejarah manusia. Namun bukti memberi kesan bahwa kehidupan di Yerikho mengandung bahaya yang belum dikenal di Çatalhöyük. Hidup berdesakan di tengah populasi lebih besar memicu penyakit. Dan bersama panen dan dinding, hadirilah belenggu. Cara hidup baru kita memperkuat perang antarkelas dan seksisme. Orang yang diperbudak dan tak berkuasa juga mengalami gizi buruk. Penelitian forensik atas tulang dan gigi mereka menunjukkan kemunculan kesenjangan. Makanan pemburu-pengumpul yang lebih beragam, berupa aneka tumbuhan, serangga, burung, dan hewan lain digantikan segelintir tanaman penghasil karbohidrat.

Kalau hujan tak turun, atau kawanan belalang dayang, atau jamur berjangkit di tanaman, terjadi kelaparan besar-besaran—pakeklik. Kadang kelaparan terjadi karena peristiwa di sisi lain Bumi, tanpa diketahui korban-korbannya. Pada 19 Februari 1600 pukul 5 sore, gunung berapi Huaynaputina di Peru selatan meletus. Gunung itu menyemburkan batu, gas, dan abu ke langit, membuat awan gelap luas, letusan gunung berapi terbesar sepanjang sejarah tercatat di Amerika Selatan. Abu letusannya terlontar menembus



Penduduk Rusia yang putus asa karena kelaparan akibat letusan gunung berapi Huaynaputina di sisi lain Bumi, di Peru, pada 1600, sebagaimana digambarkan di ilustrasi buatan tahun 1836 untuk 12 jilid buku sejarah Rusia karya Nikolay Karamzin.

lapisan-lapisan atmosfer Bumi: troposfer, stratosfer. Abu itu tidak jatuh kembali ke Bumi sebelum mencapai mesosfer yang biru gelap hampir hitam. Campuran asam sulfat dan abu gunung berapi menghalangi cahaya Matahari. Musim dingin datang—*musim dingin vulkanik*.

Penduduk Rusia mengalami musim dingin terburuk dalam enam abad karena letusan gunung berapi itu. Selama dua tahun sesudahnya, suhu musim panas pun turun di bawah titik beku pada malam hari. Dua juta orang, sepertiga populasi Rusia, mati kelaparan. Para pekerja yang menggigil, dengan wajah terbungkus kain, menggali kuburan massal untuk tumpukan mayat. Tsar Boris Godunov terguling. Semua karena gunung berapi yang meletus 13.000 kilometer jauhnya di Peru. Gagasan bahwa planet kita adalah satu organisme punya kesan sentimental hampa bagi banyak orang. Namun itu fakta sains.

Pada abad ke-18, kelaparan karena kekeringan dan salah urus pemerintah kolonial Britania di India menewaskan 10 juta orang.

Di Tiongkok, selama kelaparan pada abad ke-19, 100 juta orang tewas. (Jumlah itu sukar kita pahami, seperti jarak ke galaksi terdekat.) Kelaparan Besar di Irlandia, juga disebabkan salah urus pemerintahan kolonial Britania, membuat sejuta orang tewas dan memaksa dua juta orang lain meninggalkan negara itu untuk mencari penghidupan. Kekeringan dan wabah penyakit di Brazil pada 1877 berdampak serupa. Di satu provinsi saja, lebih daripada separo penduduknya mati karena kelaparan dan infeksi yang menyerang orang kurang gizi. Korban tewas akibat kelaparan yang melanda Ethiopia, Rwanda, dan Sahel di Afrika pada abad ke-20 belum terhitung.

Selama beberapa ribu tahun, sejak kita mulai menulis catatan, di berbagai tempat di Bumi terjadi kelaparan yang melanda banyak orang. Keberhasilan revolusi sains modern dengan kemampuan penemuan dan kemajuan teknologinya yang menakjubkan menaikkan peluang penyempurnaan kehidupan manusia. Dapatkah pertanian menjadi sains, dengan teori perkawinan silang yang bisa memprediksi seperti gravitasi Newton? Bisa terus-menerus menghasilkan galur yang tahan kekeringan dan penyakit?



Selama ribuan tahun, para petani dan peternak sudah mengetahui manfaat memilih makhluk hidup terunggul untuk dikawinsilangkan sehingga menghasilkan keturunan yang makin unggul. Itu dikenal sebagai seleksi buatan. Namun mekanisme cara pewarisan sifat itu ke generasi berikutnya masih misterius, dan terus demikian bahkan sesudah Charles Darwin menerangkan bagaimana segala kehidupan berevolusi melalui seleksi alam.

Pada 1859, selagi Darwin mencerahkan dan menyinggung dunia dengan menerbitkan bukunya *On the Origin of Species*, kepala Biara Santo Thomas di tempat yang sekarang Brno, Ceko, sedang

berusaha menjadi profesor sains. Rehor (Gregor) Mendel gagal lulus ujian dua kali. Satu-satunya jalur karier yang masih terbuka bagi dia adalah menjadi guru pengganti. Jadi pada waktu luang, dia mempelajari tumbuhan kacang polong. Dia menumbuhkan ribuan tumbuhan, dengan cermat mencatat tinggi tumbuhan serta bentuk dan warna selubung buah, biji, dan bunga. Selagi kebunnya tumbuh subur, sang kepala biara menggambar dan mencatat pertumbuhan tiap tumbuhan kacang polongnya. Mendel mencari teori prediksi perkembangbiakan yang dapat memberitahukan apa yang bakal didapat dengan menyilangkan tumbuhan tinggi dan tumbuhan pendek, atau kacang polong hijau dan kuning.

Mendel menemukan bahwa kalau dia menyilangkan tumbuhan kacang polong dengan biji hijau dan yang berbiji kuning, keturunan langsungnya selalu berbiji kuning. Kita belum punya kata untuk keunggulan sifat warna kuning atas hijau, sampai Mendel membuat istilahnya. Dia menyebut sifat itu “dominan”. Yang membuat dia girang, dia mendapati bahwa dia bisa memprediksi apa yang bakal terjadi di generasi kacang polong sesudahnya. Jika dua tumbuhan kacang polong berbiji kuning generasi kedua dikawinkan, maka di antara keturunannya (generasi ketiga), tiga perempat akan berbiji kuning, sedangkan seperempat akan berbiji hijau.

Satu dari empat tumbuhan kacang polong generasi ketiga bakal berbiji hijau. Mendel menyebut sifat tersembunyi yang muncul lagi di generasi ketiga itu “resesif”. Ada hal-hal di tumbuhan—dia menyebutnya “faktor”—yang menyebabkan ciri tertentu, dan beroperasi mengikuti suatu hukum yang Mendel dapat jabarkan dengan persamaan sederhana, seperti Newton menjabarkan gravitasi. Ada hukum yang mengatur cara pesan kehidupan diwariskan dari generasi ke generasi. Sang guru pengganti telah menciptakan satu bidang sains baru. Namun tak seorang pun memperhatikan selama 35 tahun sesudahnya.

Mendel mempublikasikan hanya satu makalah yang mendokumentasikan percobaan-percobaannya semasa hidup, dan mening-



Gregor Mendel, seorang guru pengganti yang gagal lulus ujian profesor, memecahkan rahasia pewarisan sifat dengan mempelajari tumbuhan kacang polong.

gal tanpa pernah mengetahui bahwa dunia bakal memandang dia sebagai raksasa dalam sejarah sains. Karyanya ditemukan kembali pada 1900, dan pendukungnya yang paling bersemangat ialah ahli zoologi Britania William Bateson. Bersama kolega-koleganya, Bateson menggunakan persamaan Mendel untuk mengembangkan galur-galur baru tumbuhan dan hewan. Faktor Mendel diubah namanya: gen. Dan Bateson menyebut bidang sains baru itu genetika.

Bateson percaya bahwa sains dan kebebasan tak bisa dipisahkan, dan begitulah cara dia menjalankan laboratoriumnya di John Innes Horticultural Institution di Merton, London selatan, umumnya berkolaborasi dengan para saintis perempuan dari Newnham College di Cambridge University. Selain mereka ada juga seorang pemuda, ahli botani tamu dari Rusia yang mengimpikan dunia di mana tak seorang pun mati kelaparan, dan paceklik tak ada lagi, berkat sains.



Nikolay Ivanovich Vavilov lahir pada 1887 dari orangtua yang sudah menang dalam perjuangan melepaskan diri dari kemiskinan. Ayahnya telah menjadi pedagang tekstil kaya dengan rumah elegan di Moskwa, terlindung dari kekeringan dan kelaparan yang terus melanda Rusia. Namun sebagai anak umur empat tahun yang cepat dewasa, boleh jadi Nikolay menyaksikan peristiwa-peristiwa mengerikan melalui jendela rumah keluarganya. Pemandangan keputusasaan yang meluas barangkali menyentuh jiwa mudanya dan menentukan nasibnya.

Musim dingin datang lebih awal pada 1891, mematikan tanaman. Para pedagang kaya Rusia terus mengeksport gandum untuk mendapat laba, bahkan ketika jutaan orang kelaparan. Tsar Aleksandr III lambat menanggapi. Dia hanya bisa menawarkan “roti paceklik” kepada rakyat—campuran menyedihkan lumut, tumbuhan liar, kulit kayu, dan sekam. Boleh jadi Nikolay memandang keluar jendela ke arah alun-alun Moskwa selagi tentara tsar membagi roti kepada rakyat yang kedinginan dan berkelahi berebut jatah makanan yang tak bisa dimakan. Setengah juta orang Rusia mati pada musim dingin itu, sebagian besar karena penyakit oportunistik seperti kolera yang mudah mendapat korban di antara mereka yang lemah karena kelaparan. Sementara itu kaum ningrat dan kaya raya tetap tak tersentuh. Mereka berpesta makan stroberi segar dari Prancis selatan dan krim kental dari Inggris. Banyak ahli sejarah percaya bahwa kelaparan itu adalah pemantik sumbu panjang yang mengarah ke Revolusi Rusia 26 tahun sesudahnya.

Nikolay punya tiga saudara kandung, semuanya berkecimpung di sains. Adiknya, Sergey, menjadi ahli fisika terkenal; Aleksandra menjadi dokter; dan Lydia kuliah mikrobiologi sebelum akhirnya meninggal karena cacar. Satu anekdot dari masa muda mereka membandingkan pendekatan Vavilov bersaudara terhadap tirani. Ayah mereka marah kepada kedua anak laki-lakinya karena suatu kenakalan. Dengan dramatis dia melepas sabuknya dan memanggil

anak-anak laki-lakinya untuk dihukum sabet. Sergey segera memasukkan bantal kecil ke dalam celananya sebelum menghadap ayahnya. Nikolay mendengarkan adiknya pura-pura berteriak, lalu berlari ke jendela lantai tiga yang terbuka. Ketika ayahnya mendekat, dia berteriak, "Kalau Ayah mendekat lagi, saya akan lompat!"

Pada 1911, selagi Nikolay memasuki masa dewasa, Rusia adalah eksportir gandum terbesar di Bumi meski cara-cara pertaniannya ketinggalan zaman. Terjadi debat mengenai cara memodernkan pertanian di negara itu. Akademi Pertanian Petrovskaya adalah satu-satunya tempat di Rusia di mana para saintis dapat berharap memodernkan produksi pangan melalui sains baru genetika. Vavilov yang sedang belajar menjadi ahli botani menghormati pengalaman pribadi petani dan pengetahuan yang diwariskan bergenerasi-generasi. Dia ingin membantu petani dengan daya prediksi sains. Petani tak dapat mengetahui ciri apa yang dominan dan apa yang resesif, sehingga bermain rolet pertanian dan tingkat keberhasilannya sama dengan rata-rata penjudi.

Persamaan-persamaan Mendel memungkinkan Vavilov mengetahui peluangnya, mengetahui di nomor mana bola akan mendarat. Begitu Mendel mengungkapkan gagasan-gagasannya secara matematis, pertanian menjadi sains. Vavilov sangat percaya bahwa pendekatan sains menawarkan satu-satunya harapan untuk memberi makan dunia secara efisien. Beberapa mahasiswa rekannya di Akademi Pertanian Petrovskaya mengenang bertahun-tahun kemudian bahwa Vavilov biasa keasyikan berdebat pada waktu makan siang, sampai-sampai dia makan pencuci mulut duluan atau memegang kadal peliharaannya yang keluar dari kantong baju dan merayap ke lehernya. Vavilov kemudian membungkus si kadal dengan sapu tangan dan menaruhnya kembali dalam kantong, tanpa menghentikan perdebatan.



Dalam masa pelatihan Vavilov sebagai saintis, beberapa dosennya masih memegang gagasan pahlawan dan ahli biologi perintis abad ke-18 Jean-Baptiste Lamarck. Sejarah bisa begitu kejam dalam hal siapa yang dipilih untuk diingat dan bagaimana cara mengingatnya. Lamarck yang malang jauh lebih terkenal karena kesalahannya ketimbang segala sumbangan yang dia beri kepada biologi dan kepahlawanan luar biasanya ketika remaja.

Sesudah ayahnya meninggal pada 1760, Lamarck membeli kuda dan bergegas melintas Prancis untuk bergabung dengan tentara yang berperang melawan Prusia di tempat yang sekarang Jerman. Dia mendapat nama dengan menunjukkan keberanian luar biasa di medan tempur, namun kariernya sebagai prajurit berakhir karena cedera parah ketika bercanda kasar dengan temannya. Sewaktu memulihkan diri di Monako, dia kebetulan mendapat buku botani. Di situlah dia menemukan hal yang disukainya.

Lamarck ialah salah seorang yang pertama mempercayai bahwa kehidupan berevolusi menurut hukum-hukum alam yang bisa diketahui. Dia memberi nama dan menggolongkan ribuan tumbuhan dan hewan, menambahkan mereka ke buku sains kehidupan. Dia mengakhiri kesalahpahaman lama bahwa serangga dan laba-laba adalah anggota satu keluarga, dan menciptakan istilah “invertebrata”. Sebagai tokoh sejati dalam sejarah sains, sumbangan Lamarck membentuk jembatan penting antara para mistikus yang hidup sebelum dia dan para saintis penghalau mistisisme alam yang hidup sesudahnya. Ada unsur-unsur wawasan Lamarck yang mulai mendapat penghormatan baru, tapi Lamarck biasa diingat karena gagasan keliru yang terkenal—bahwa tumbuhan dan hewan dapat mengembangkan ciri tertentu selama hidupnya lalu mewariskan ciri itu ke keturunan. Dalam pandangan itu, jerapah menjulurkan leher untuk menjangkau puncak pohon, sehingga generasi jerapah berikutnya “mewarisi” leher lebih panjang.

Lamarck, Darwin, dan Mendel meletakkan dasar untuk penemuan gen, sarana tersembunyi pewarisan pesan dan kesalahan da-

lam kehidupan. Vavilov bermimpi melanjutkan riset mereka untuk membentuk masa depan tanaman pangan penting seperti gandum, padi, kacang tanah, dan kentang. Dia, Bateson, dan yang lain bekerja keras untuk menerapkan pengetahuan baru itu untuk memecahkan masalah-masalah yang telah menimbulkan penderitaan bagi spesies kita sejak zaman Yerikho. Mereka membangun bidang sains genetika.

Ketika Perang Dunia I pecah pada 1914, Vavilov dan istrinya Katya Sakharova kembali ke Rusia. Pernikahan mereka sudah bermasalah ketika Vavilov diutus ke front Persia untuk memecahkan suatu misteri. Para serdadu di sana bertingkah aneh, pusing kepala dan tak bisa berpikir jernih. Vavilov menyimpulkan bahwa gejala itu disebabkan jamur di gandum yang digunakan membuat roti untuk mereka. Misteri terpecahkan, dan dia bebas untuk mengambil sampel tetumbuhan setempat selagi peluru berseliweran di dekatnya. Selagi pasukan Turki bersenjata artileri ringan mendekat, Vavilov menaruh sampel-sampel tumbuhan dalam lembar-lembar kertas lilin, melipatnya dengan rapi lalu menaruhnya dalam kantong baju. Itulah barang-barang pertama dalam apa yang kemudian menjadi koleksi botani terbesar di Bumi. Ketenangan teguh dan terarah ketika menghadapi bahaya maut menjadi sesuatu yang dimiliki Vavilov sepanjang hayat. Vavilov jadi terkesan amat perkasa ketika orang-orang lain panik di sekelilingnya.

Pada 1918 Katya melahirkan seorang putra, Oleg, tapi pernikahan Vavilov dan Katya berakhir tak lama sesudahnya. Vavilov menulis surat kepada seorang kolega yang mengungkapkan objek sehati cintanya: "Saya benar-benar percaya sekali sains; sains adalah kehidupanku dan tujuan hidupku. Saya tak ragu untuk mengorbankan nyawa untuk sains, bahkan sedikit saja."

Ketika keikutsertaan Rusia dalam Perang Dunia I berubah menjadi Revolusi Rusia pada 1917, Vavilov dengan penuh semangat mengarahkan segala upaya untuk Revolusi. Dia memandang Revolusi



Di institut Vavilov hari ini masih tersimpan spesimen-spesimen *Aegilops ovata*, kerabat liar gandum bahan roti, yang menunjukkan betapa cermat Nikolay Vavilov dan rekan-rekannya sesama ahli botani membuat katalog daun, batang, dan daun tumbuhan untuk masa depan.

sebagai kesempatan yang akan membuat semua orang bisa mendapat pendidikan, bukan hanya anak-anak orang kaya. Siapapun dapat menjadi saintis. Vavilov menyambut baik sepasukan baru orang berbakat sains, dan beberapa di antara mereka bergabung dengannya dalam misi riset. Dia ingin menelusuri garis keturunan tanaman pangan modern sampai ke leluhur liarnya dan tempatnya pertama kali ditanam.

Pada 1920, di Kongres Pembiak Tumbuhan Seluruh Rusia di Saratov, Vavilov membangun reputasinya dalam sains dengan mengusulkan satu hukum alam baru. Dalam makalah “Zakon gomologicheskikh rjadov v nasledstvennoy izmenchivosti” (“Hukum deret homologi di keragaman terwariskan”), dia menunjukkan bahwa gen-gen yang sama melakukan fungsi yang sama di spesies

tumbuhan yang berbeda. Kalau dua spesies tumbuhan berbeda memiliki daun berbentuk sama, bentuk itu disebabkan gen yang sama, warisan dari leluhur bersama. Agar bisa mengerti evolusi, dan memandu pembiakan tumbuhan tertentu dengan sains, kita perlu pergi ke negara-negara pertanian tertua, di mana leluhur tumbuhan itu boleh jadi masih hidup.

Vavilov termasuk orang pertama yang mengerti pentingnya keragaman hayati. Dia tahu bahwa tiap benih mengandung pesan uniknya sendiri. Isinya berbeda-beda, tapi semuanya tertulis dalam bahasa misterius yang baru bisa dibaca puluhan tahun kemudian. Vavilov ingin melestarikan tiap kalimat dalam kitab kuno alam—agar bisa lestari sampai masa depan. Untuk itu Vavilov mengusulkan konsep baru: bank benih dunia yang dia harapkan bisa bertahan dari perang dan bencana alam. Dan ada dasar saintifik untuk cita-cita kemanusiaan itu: Jika kita dapat menemukan spesimen terawal tetumbuhan yang kita makan, maka kita dapat membaca kalimat-kalimatnya dan menerjemahkan bahasa kehidupan. Kita dapat mengetahui bagaimana perubahannya seiring waktu. Pembacaan itu kiranya memungkinkan penulisan pesan baru—untuk menumbuhkan tanaman pangan yang kebal penyakit, jamur, serangga, dan kekeringan.

Vavilov pun menjadi pemburu tumbuhan. Dia berkeliling dunia, mencari tempat-tempat di Bumi di mana benih berbagai spesies yang bermanfaat secara ekonomi pertama kali ditanam, dan mengumpulkan sampel untuk bank benih. Dia bepergian ke tempat terpencil di lima benua, yang belum pernah didatangi saintis. Dia tak percaya dengan teori umum ketika itu yang menyatakan manusia menciptakan pertanian di delta sungai. Menurut dia tampaknya mustahil para petani pertama membuat ladang di tempat yang lalu lintasnya ramai. Gunung-gunung terpencil kiranya tempat yang jauh lebih aman untuk bertani, jauh dari gangguan orang lewat yang menjarah.

Selagi melakukan riset, dia mendirikan 400 institut sains di Uni Soviet, di mana anak-anak petani dan buruh belajar menjadi saintis. Beberapa di antara mereka menjadi kolega akrabnya dalam sains, bahkan sampai mengikuti dia menjadi martir.

Pada 1926, Vavilov pergi ke Addis Ababa dan di sana dia menunggu izin untuk masuk ke pedalaman Ethiopia. Dia kaget ketika menerima undangan dari Ras Tafari, tokoh yang belakangan menjadi Raja Ethiopia, Haile Sellase. Vavilov menulis di buku hariannya mengenai makan malam bersama Ras Tafari. Keduanya sama-sama bisa bahasa Prancis, jadi tak memerlukan penerjemah. Ras Tafari ingin tahu segalanya mengenai Rusia dan revolusi. Vavilov memberitahu dia mengenai kematian Lenin dan naiknya Iosif Stalin ke tampuk kekuasaan. Vavilov juga menceritakan bagaimana perampokan bersenjata oleh Stalin terhadap bank di Tbilisi menghasilkan tiga juta dolar untuk revolusi, sehingga Stalin menjadi pahlawan rakyat di Rusia 20 tahun sebelumnya. Ras Tafari memberi izin kepada Vavilov untuk bergerak bebas di seluruh negara itu, dan Vavilov menemukan tumbuhan leluhur kopi di sana. Bagus juga.

Ketika berkemah di tepi Sungai Tekeze, Vavilov mengisi buku harian dengan bantuan cahaya lentera yang kelap-kelip. Dia sedang mendapat giliran jaga malam. Melek karena dibantu kafein, dan memegang senapan, Vavilov duduk dalam tenda sementara anak buahnya tidur lelap. Dia dapat mendengar raungan macan tutul pada malam hari, tapi tidak takut karenanya. Dalam kegelapan, dia memperhatikan bahwa lantai tenda seolah bergerak. Anak buahnya terbangun dan berteriak. Lantai tenda penuh laba-laba dan kalajengking hitam berbisa! Vavilov berpikir cepat, memindahkan lenteranya keluar tenda, dan hewan-hewan itu ikut keluar mengikuti cahaya.

Pesawat terbang sayap ganda Breguet yang membawa Vavilov melintas Sahara jatuh. Ketika dia dan pilotnya keluar dari rerun-

Nikolay Vavilov, kolektor spesimen tumbuhan dari lima benua.



tuhan pesawat, mereka langsung dikelilingi sekawanan singa lapar. Mereka menghalau singa-singa itu dengan bantuan potongan badan pesawat sampai akhirnya dapat diselamatkan.

Tanpa bantuan peta atau jalan, Vavilov ialah orang Eropa pertama pada zaman modern yang bertualang di kawasan pegunungan Afghanistan yang penuh perang antarsuku dan bahaya lain. Di Tiongkok, dia menemukan benih tumbuhan candu, pohon kamper, dan tebu. Di Jepang, teh, padi, dan lobak. Berbagai varietas kedelai dan padi dari Korea. Haver dari pegunungan Spanyol. Pepaya, mangga, jeruk, dan kakao dari Brazil. Kina dari Jawa. Dan dari Amerika Tengah dan Selatan, bayam, ubi jalar, kacang mede, kacang kratok, dan jagung. Vavilov mengumpulkan lebih daripada 250.000 varietas benih.

Vavilov termasuk orang pertama yang dianugerahi Hadiah Lenin yang baru diadakan pada 1926. Pada tahun yang sama, dia dan Katya bercerai, kemudian dia menikah lagi secara tak resmi dengan koleganya, Elena Barulina; pernikahan ini sampai akhir hidupnya. Reputasi Vavilov sebagai penjelajah pemberani sudah sekuat reputasinya dalam sains, tapi dia tetap rendah hati. “Saya bukan orang yang istimewa,” katanya. “Adik saya Sergey, ahli fisika, yang bisa disebut brilian.”

Namun di antara para pemuda yang diselamatkan revolusi dari penjara kelas dan kehidupan berat, ada seseorang yang kemudian menghancurkan Vavilov dan mengacau biologi Rusia selama empat dasawarsa.



Pada Agustus 1927, seorang wartawan *Pravda*, surat kabar resmi Partai Komunis Uni Soviet, menulis profil seorang petani kacang polong di Azerbaijan yang tanamannya bertahan melalui musim dingin Rusia. Si petani bukan saintis; dia orang yang bekerja di

ladang. Terlahir di keluarga petani di Poltava, Ukraina, dia baru belajar membaca dan menulis pada umur 13. Trofim Denisovich Lysenko ialah seorang “saintis berkaki telanjang”, kata artikel itu. Lysenko tak menghabiskan waktu di universitas “meneliti rambut di kaki lalat” dengan mikroskop.

Seperti penyakit yang melanda banyak makhluk hidup, Lysenko awalnya tampak kecil dan tak berbahaya. Namun artikel itu adalah tembakan pertama dalam perang sampai mati melawan Vavilov dan perjuangannya mengakhiri kelaparan. Lysenko menghidupkan kembali gagasan lama Lamarck bahwa ciri yang didapat semasa hidup bisa diwariskan ke generasi berikut. Genetika menjanjikan bahwa perkawinan silang selama bergenerasi-generasi dapat menghasilkan varietas tanaman pangan yang dapat bertahan melalui musim dingin keras dan banyak ancaman alam lain, tapi Lamarckisme menawarkan bentuk pemuasan yang jauh lebih langsung. Rendam benih kacang polong atau gandum di air es dan keturunannya akan tahan dingin, katanya. Proses itu, disebut vernalisasi, bakal mengatasi semua masalah ketahanan pangan Uni Soviet, kalau memang benar terjadi. Janji kacang polong segar pada musim dingin tak bisa ditolak negara yang berada di ambang salah satu peristiwa kelaparan terparah dalam sejarah. Namun permusuhan terhadap sains dan penerapan tipu-tipu vernalisasi dalam pertanian adalah dua luka yang dibuat sendiri, merusak kemampuan Uni Soviet memberi makan rakyatnya. Luka ketiga adalah yang paling merusak.

Hampir tujuh dasawarsa sebelumnya, para petani penggarap yang bahkan tak punya hak menikah tanpa izin tuannya telah mendapat kemerdekaan dari Tsar Aleksandr II. Emansipasi mereka pada 1861 menghasilkan kelas petani relatif makmur bernama *kulak*. Ketika Revolusi Rusia berawal pada 1917, para *kulak* dan rakyat lainnya berjuang keras selama lima tahun untuk mendirikan Republik Rakyat Ukraina sampai tak bisa berperang lagi dan



“Tak Ada Tempat di Pertanian Kolektif Kami Untuk Pendeta Atau *Kulak*”
tertulis di poster Soviet tahun 1930 ini, menyatakan *kulak*—petani kaya—sebagai
musuh kaum proletar.

Ukraina dimasukkan ke dalam Uni Soviet. Kecenderungan melawan itu tak dibiarkan tanpa dihukum, agar tak menyebar.

Stalin bersabar sebelum memberi pukulan maut ke daerah penghasil pangan terbesar di Uni Soviet. Pada 1929, dia memerintahkan agar para *kulak* dipindahkan dengan paksa dari pertanian mereka yang produktif ke pertanian kolektif gaya industri. Cita-citanya adalah memodernkan pertanian Soviet, tapi yang terjadi justru kematian dan penderitaan besar-besaran di Ukraina. Nama peristiwanya adalah Holodomor, berarti “membunuh melalui kelaparan”. Pertama-tama Stalin menyingkirkan kaum intelektual dan aktivis politik di sana, lalu memerintahkan para *kulak* dilikuidasi sebagai satu kelas, tanah dan tanaman dan ternak mereka disita.

Bagi Lysenko, tragedi besar itu adalah suatu kesempatan. Dia berpeluang membisiki Stalin mengenai Vavilov yang konon tak setia, mengenai bahayanya komunitas sains, dan penyelesaian yang dia tawarkan untuk kelaparan di Uni Soviet. Keinginan Lysenko meraih status serta kesediaannya menipu dan menjilat cocok dengan paranoia Stalin.

Sementara itu Vavilov yang tak tahu apa-apa sedang mencari Taman Eden di Asia Tengah, karena dia sudah menemukan bahwa apel pertama kali ditanam di sana. Vavilov kembali ke Leningrad tahun 1932 yang jauh dari Eden. Leningrad sudah beda, tercengkeram kelaparan. Optimisme revolusi sudah digantikan ketakutan dan keputusasaan. Para pejalan kaki tampak lusuh dan kurus. Tak seorang pun memperhatikan ada orang mati tergeletak di trotoar.



Nasib Vavilov barangkali sudah dibahas di Kremlin, dan ditetapkan oleh salah satu peristiwa yang memerlukan banyak rangkaian sebab-akibat remeh yang terjalin menjadi satu saat menentukan. Satu perjalanan kereta yang terlewat, satu saat berlama-lama di ke-

dai koran, satu kali mampir ke kamar mandi. Hal-hal kecil seperti itu.

Vavilov yang baru pulang dari salah satu ekspedisinya menuju Kremlin untuk melapor. “Terlalu sedikit waktu, terlalu banyak yang harus dilakukan,” adalah mantranya, dan pada hari itu Vavilov bergegas menyusuri koridor-koridor Kremlin, tasnya penuh makalah dan laporan mengenai pertanian di negara-negara yang dia kunjungi. Vavilov berbelok sambil berjalan cepat persis ketika orang lain juga sedang bergegas. Keduanya bertabrakan sampai sama-sama terjatuh. Kertas-kertas isi tas Vavilov terserak. Yang pertama kali dia perhatikan adalah rasa takut yang kentara di wajah orang yang ditabraknya. Dan Vavilov langsung tahu bahwa orang yang melihat apa yang dilihatnya biasanya tak akan selamat. Yang ditabraknya adalah Stalin.

Vavilov tak tahu bahwa sang diktator terus-menerus ketakutan akan dibunuh. Pemikiran pertama Stalin ketika tertabrak adalah “akhirnya terjadi juga”, datang juga giliranannya mendapat kematian karena kekerasan seperti yang dia lakukan kepada banyak orang lain—tas itu mesti berisi bom. Namun ternyata hanya orang pintar yang ceroboh, Vavilov—dan dia sudah melihat Stalin ketakutan. Nasib Vavilov pun sudah ditetapkan.

Teman-teman Vavilov mengamati perubahan di suasana hati Vavilov segera sesudah tabrakan itu. Laju kerja Vavilov makin tinggi. Lysenko dan pseudosains mulai bangkit, sumber pangan Uni Soviet hancur; Vavilov bekerja makin giat untuk mengembangkan galur gandum yang dapat bertahan melalui musim dingin Rusia.

Tanda warna-warni di ladang gandum dan jelai Stasiun Percobaan Pavlovskaya berkibar tertiuip angin selagi Vavilov memantau tiap tumbuhan dengan cermat. Koleganya, Liliya Rodina, memanfaatkan kesempatan langka ketika tak diawasi untuk meminta Vavilov berhenti melakukan percobaan genetika. Rodina memberitahu gurunya bahwa Lysenko menggunakan tiap kesempatan untuk mempersalahkan Vavilov atas kelaparan yang terjadi.

Vavilov tak mau berhenti. Dia bilang ke Rodina, mereka mesti melanjutkan pekerjaan, apapun yang mungkin terjadi. Mereka mesti bergegas. Mereka mesti bekerja keras dan mencatat hasil dengan akurat, seperti pahlawannya, Michael Faraday. Vavilov memberitahu Rodina bahwa jika dia lenyap, Rodina mesti menggantikannya. Yang penting adalah mengerjakan sains dengan benar. Itu satu-satunya harapan untuk mengakhiri kelaparan saat itu dan masa depan.

"Kamerad, mereka akan menangkap Anda!" kata Rodina.

"Kalau begitu kita harus bekerja secepat mungkin," jawab Vavilov.

Stalin mengangkat Lysenko ke puncak hierarki dominasi Soviet, menjadikan Lysenko anggota Komite Sentral Partai Komunis, seperti dua anak buah Stalin paling setia dan mematikan, Vyacheslav Molotov dan Lavrentiy Beriya. Lysenko terus membisiki Stalin untuk memusuhi Vavilov. Omong kosong saintifik Vavilov menghancurkan pertanian Soviet dan membahayakan kekuasaan Stalin, katanya. Catatan pertemuan komite Institut Pembiakan Tumbuhan Soviet, yang ditemukan dari berkas KGB mengenai Vavilov dan diterjemahkan Mark Popovsky, menyakitkan jika dibaca. Catatan itu menggambarkan dengan gamblang bagaimana seseorang yang terikat dengan fakta tak dapat berharap mengalahkan penghasut.

Komite itu telah meminta laporan dari Vavilov untuk menjelaskan kemajuan risetnya. Vavilov tampak lelah dan tak bersemangat selagi mengawali presentasi. Dia tak punya kabar baik bagi negara yang sedang lapar. Tanpa kehebohan atau janji hampa, dia mengungkapkan penyesalannya dalam laporan bersahaja tapi sangat akurat bahwa para ahli biokimia di institutnya belum bisa membedakan antara protein kacang miju dan kacang polong.

Bayangkan senangnya Lysenko selagi sang saintis besar mengantarkan dirinya sendiri untuk dibantai publik. Lysenko bahkan tak perlu berdiri dari kursi untuk berbicara, hanya berkomentar,



Trofim Lysenko, kanan, mengukur gandum di satu pertanian kolektif Soviet dekat Odessa, Ukraina, untuk mendukung klaim pseudosains vernalisasinya: merendam benih dalam air es dapat memperkuat tanaman pada musim dingin.

“Kupikir siapapun yang mencoba memakan keduanya bisa membedakan kacang miju dan kacang polong.”

Vavilov berdiri di mimbar, tak goyah, masih percaya argumen terbaik akan menang, seperti yang berlaku dalam sains. “Kamerad, kami belum bisa membedakan keduanya secara kimia,” dia menjelaskan kepada Lysenko dan hadirin.

Lysenko tahu Vavilov sudah di tangannya. Waktunya mengajar. “Apa gunanya membedakan secara kimia,” dia berdiri dan berpaling menghadap seisi auditorium, “kalau kita bisa coba rasakan sendiri bedanya dengan lidah.” Habislah.

Si demagog sedang memanen kebencian. Tiap pejabat rendah yang pernah merasa terintimidasi oleh saintis atau bingung karena jargon sulit yang digunakan saintis; tiap orang yang kelaparan dan ketakutan di ruangan itu dapat merasa unggul dan menertawakan sang saintis dan penjelajah terkenal berhati baja.

Lysenko menganggap urusannya dengan Vavilov selesai. Dia meminta Stalin menangkap Vavilov supaya bisa dibereskan negara. Namun Stalin khawatir Vavilov tidak akan bisa dihilangkan begitu saja. Komunitas sains global mengagumi gagasan dan keberanian Vavilov. Mereka bahkan bersedia memindah tempat Kongres Genetika Internasional ke Moskwa ketika Stalin tak memperbolehkan Vavilov pergi ke luar negeri untuk ikut serta dalam acara itu. Vavilov belum bisa dibereskan. Lysenko harus menghabisinya sendiri sebelum Stalin. Lysenko memilih melakukannya di Institut Industri Tumbuhan-nya Vavilov di Leningrad, tempat ratusan ribu benih disimpan.



Auditorium penuh sesak dengan pendukung Lysenko dan segelintir pembela Vavilov yang sangat setia pada hari itu, tahun 1939. Lysenko mempresentasikan skenario khayalan mengenai bagaimana benih yang direndam air es bisa memberi makan tanah air. Pendukungnya bertepuk tangan riuh. Vavilov menunggu keriuhan berhenti, lalu berdiri.

Dengan berani, Vavilov menantang Lysenko, bertanya apakah hanya itu saja yang dia sajikan. Mana sainsnya? Mana buktinya? Apa pernyataan Lysenko harus diimani seperti agama?

Lysenko bertanya kepada Vavilov, apa Vavilov belum menyadari betapa sedikit pendukungnya yang tersisa. Seolah dia berkoar, “Vernalisasi akan memberikan panen BESAR pada musim dingin! Semua orang bilang begitu!”

Vavilov memilih satu konferensi di institutnya pada Maret 1939 untuk mengajukan permintaan umum untuk mengembalikan kebijakan pertanian Soviet ke kenyataan. Dia berusaha mengajak para saintis kembali ke kewajiban suci kepada rakyat, bahkan kala menghadapi konsekuensi terburuk jika melakukan itu. Notu-

len konferensi menjadi saksi keberanian Vavilov membela sains: “Kalian bisa taruh saya di atas kayu bakar! Kalian bisa bakar saya! Tapi kalian tak bisa memaksa saya mengingkari apa yang saya percayai!”

Vavilov bersiap menghadapi yang terburuk. Dia langsung memperingatkan para koleganya bahwa mereka mesti meminta pindah ke institut lain untuk menyelamatkan diri. Silakan cela dia kalau perlu. Ada sekitar selusin yang menolak. Apapun yang terjadi, mereka bakal melanjutkan mengurus koleksi di institut.

Bulan demi bulan berlalu tanpa terjadi apa-apa. Ketika pada tahun berikutnya Vavilov diizinkan melakukan perjalanan riset ke luar Leningrad, dia barangkali bertanya-tanya apakah dia membesar-besarkan bahaya yang dia bayangkan.

Mobil hitam mendarat di Vavilov di satu ladang percobaan di Ukraina barat pada petang tanggal 5 Agustus 1940. Dia segera dibawa ke Moskwa dan dikurung dalam sel di penjara Lubyanka milik polisi rahasia NKVD.

Mula-mula, Vavilov tak mengaku telah melakukan kejahatan, hanya perbedaan pendapat sains, tapi Aleksandr Grigorievich Khvat, letnan senior di Badan Keamanan Negara, sudah berpengalaman menggarap sasaran keras kepala. Khvat mulai menginterogasi Vavilov selama 10 sampai 12 jam, biasanya dengan membangunkan Vavilov pada tengah malam. Vavilov disiksa, sampai kakinya bengkok dan dia tak bisa berjalan. Kemudian Vavilov diseret kembali ke selnya dan menggeletak di lantai, tak bisa bergerak. Itu terjadi selama 1.700 jam dan 400 sesi lebih—sampai Vavilov akhirnya menyerah. Vavilov menandatangani surat pengakuan. Setahun sesudah ditangkap, Vavilov dijatuhi hukuman tembak mati.

Pada musim gugur 1941, Vavilov menunggu hukuman mati di Penjara Butyrka di Moskwa, dikurung sendirian selama berbulan-bulan. Namun musim dingin sesudahnya, ketika pintu selnya dibuka dan dia dikeluarkan oleh sipir, dia kaget karena dia tak dike-

luarkan untuk ditembak mati. Para sipir justru mengevakuasi seisi penjara karena ribuan prajurit Jerman dan divisi-divisi Panzer sedang bergerak maju ke Moskwa. Hitler telah melanggar perjanjian tak saling serang dengan Stalin, dan mengerahkan jutaan prajurit Jerman serta ribuan tank untuk menyerbu Rusia. Sesudah sampai di gerbang Moskwa, Vavilov dan para narapidana lain dibawa ke pedalaman.

Langit penuh asap tebal. Pesawat-pesawat Jerman terbang dalam formasi, membayangi kota. Bom meledak tanpa henti. Namun serangan terhadap Moskwa tak ada apa-apanya dibanding pengepungan Leningrad. Berdasarkan ukuran apapun, itulah pertempuran terseram untuk memperebutkan suatu kota. Institut Industri Tumbuhan Vavilov, yang menutup jendela-jendelanya dengan papan demi pengamanan dari serangan, terletak di Alun-alun Isaakievskaya. Bagian dalamnya dingin dan gelap, debu ples-ter berjatuhan dari langit-langitnya. Isinya adalah warisan genetis dunia sejak penciptaan pertanian—benih-benih berbagai tumbuhan yang telah menghidupi manusia selama 10.000 tahun. Hitler, tak seperti Stalin, tahu bahwa yang disimpan di sana tak ternilai harganya.

Kolega-kolega Vavilov berkumpul di gudang. Georgi Kriyer, Aleksandr Stchukin, Dmitriy Ivanov, Liliya Rodina, G. Kovalevskiy, Abraham Kameraz, A. Malygina, Olga Vosorenskaia, dan Elena Kilp menggigil kedinginan selagi mencari tahu apa yang kiranya Vavilov inginkan dari mereka. Mereka bahkan tak tahu apakah Vavilov masih hidup, tapi bertekad akan melakukan apa yang bakal Vavilov lakukan. Terus bekerja, apapun yang terjadi, seperti pahlawannya, Michael Faraday. Mereka takut kalau pengepungan berlanjut, rakyat kota akan kelaparan. Institut berisi berton-ton bahan pangan. Mereka tahu mereka perlu mencari cara melindungi semua benih untuk masa ketika dunia waras kembali.

Pada Hari Natal 1941, 4.000 orang telah mati kelaparan di Leningrad. Kota itu sudah dikepung tentara Hitler selama seratus

hari lebih. Suhunya minus 40 derajat Celsius, dan semua infrastruktur kota sudah rusak. Tinggal menunggu waktu, pikir Hitler. Tak ada kota yang dapat menanggung penderitaan begitu lama.

Hitler bahkan sudah mencetak undangan dan merencanakan menu untuk perayaan kemenangannya. Dia bakal mengadakan perayaan di hotel terbaik di Leningrad, Astoria, dan memerintahkan para pilot pesawat pengebom agar jangan sampai merusak hotel itu kalau tak mau mengacau pestanya. Namun di Alun-alun Isaakievskaya, bukan hotel itu saja yang menarik baginya. Sementara Stalin memikirkan keamanan karya-karya seni di Museum Ermitaz (Petapaan/Hermitage)—sehingga mengerahkan orang dan kereta untuk mengangkut karya-karya Michelangelo, Leonardo da Vinci, dan Raphael dari sana ke tempat yang lebih aman di Sverdlovsk—dia tak pernah memikirkan bank benih Vavilov. Namun Hitler sudah menguasai Museum Louvre di Paris. Dia tak mengincar lukisan lagi, dia menginginkan sesuatu yang jauh lebih berharga—harta karun Vavilov.

Selagi bulan demi bulan berlalu, para ahli botani menjadi makin kurus dan pucat kedinginan. Mereka bekerja dengan penerangan lilin mengelilingi satu meja besar, berjuang untuk menyelesaikan penataan dan katalog benih, kacang, dan padi. Mereka sampai bisa melihat napas mereka sendiri.

Hitler sudah membentuk satu satuan taktis khusus di SS, Russland-Sammelcommando—Komando Kolektor Rusia—untuk menguasai bank benih dan mengambil kekayaan hayatinya untuk kelak digunakan oleh Reich Ketiga. Mereka menunggu seperti sekawan anjing Doberman yang siap dilepas untuk memasuki institut. Para ahli botani tinggal memiliki jatah dua iris roti per hari, tapi mereka masih terus bekerja.

Boleh dikata, tentara Jerman di sekeliling kota bukanlah yang paling mengkhawatirkan para ahli botani Institut. Suatu hari, tikus-tikus melompat ke meja mereka yang penuh biji-bijian. Para

ahli botani kaget sejenak lalu mulai mengusir tikus dengan tongkat besi. Elena Kilp lari keluar ruangan dan kembali dengan membawa senjata otomatis, lalu mulai menembak. Biji-bijian yang tadinya sudah tertata rapi jadi berantakan dan tercampur aduk lagi di meja. Para ahli botani mengulang lagi penataan. Andai Vavilov ada di sana. Mereka merasa kehilangan dia. *Rekan-rekan tercinta*, kata mereka kepada satu sama lain, *meski menyakitkan, kita mesti menerima bahwa dia sudah tiada untuk selamanya.*

Namun Vavilov masih hidup—setengah hidup. Dia telah dipindah ke penjara lain di kota lain, Saratov. Dia hidup sampai Natal berikutnya dalam keadaan tinggal tulang berbalut kulit, menderita skorbut, duduk dalam sel kecil, menulis surat untuk penjaganya dengan kekuatan terakhir. “Saya berumur 54, dengan pengalaman dan pengetahuan luas dalam bidang pembiakan tumbuhan,” tulisnya. “Saya dengan senang hati akan mengabdikan kepada negara ... Saya mohon kepada Anda agar diperbolehkan bekerja di bidang saya, bahkan di tingkat terendah.”

Tak ada jawaban. Negara telah memutuskan tak menembak mati Vavilov. Ada nasib lebih buruk yang disiapkan untuk orang yang sudah berbuat lebih banyak daripada siapapun untuk menyelamatkan kelaparan dan paceklik. Dia dibiarkan mati kelaparan pelan-pelan.



Satu lagi Natal tiba pada 1943 dan para anggota unit Russland-Sammelcommando SS masih menunggu kesempatan mereka menyerbu institut. Mereka bersandar di karung yang ditumpuk mengelilingi artileri.

Penduduk Leningrad sudah kelaparan selama tiga tahun dkepung. Sepertiganya mati: 800.000 jiwa. Namun mereka masih bisa bertahan dari serangan Jerman yang tanpa henti. Jatah dua potong



Lukisan seniman tentang Penyimpanan Benih Global Svalbard menampilkan hanya pintu masuknya dengan latar bentang alam Artika yang biru dingin di bawah aurora borealis. Di dalamnya tersimpan hampir sejuta benih.

roti per hari para ahli botani sudah lama habis, dan para pelindung harta karun Vavilov mulai kelaparan. Mereka tewas di meja masing-masing di institut yang gelap dan dingin, di antara spesimen-spesimen kacang tanah, haver, dan kacang polong yang mereka tak makan. Semuanya tewas karena kelaparan. Namun tak satu pun butir beras di koleksi yang hilang.

Bagaimana dengan musuh Vavilov, Trofim Lysenko? Dia terus mencengkeram pertanian dan biologi Soviet selama dua dasawarsa sesudahnya—sampai kelaparan kembali melanda Rusia pada 1967 dan tiga saintis paling terkenal Rusia mencela dia di depan umum atas pseudosains dan kejahatan lain.

Sesudah kematian Stalin, serta pengakuan akan kerusakan yang telah dilakukan Stalin dan Lysenko di Uni Soviet, Vavilov kembali boleh dibicarakan publik. Institut Industri Tumbuhan menjadi

menyandang nama Vavilov, dan masih ada sampai sekarang. Jajak pendapat nasional di Rusia baru-baru ini menyebut Stalin sebagai orang paling dikagumi, disusul Vladimir Putin.

Pada 2008, pemerintah Norwegia, Swedia, Finlandia, Denmark, dan Eslandia membuka Penyimpanan Benih Global Svalbard, penerus modern koleksi Vavilov. Letaknya di balik es di satu pulau tambang batubara yang sudah ditinggalkan di antara Norwegia dan Kutub Utara. Kini di dalamnya tersimpan hampir sejuta sampel benih. Akhir-akhir ini pemerintah Norwegia terpaksa mengeluarkan jutaan dolar untuk memperbaiki isolasi ruang bawah tanah itu karena terancam pelelehan es akibat perubahan iklim.

Jadi mengapa para ahli botani di institut tak memakan saja benih di sana? Mengapa mereka tak membagi biji dan kacang dan umbi kepada rakyat Leningrad yang kelaparan selama dua tahun lebih?

Apa Anda sudah makan hari ini? Jika jawabannya ya, maka barangkali Anda makan sesuatu yang diturunkan dari benih yang para ahli botani itu lindungi sampai mati.

Andai masa depan kita senyata dan seberharga itu bagi kita, seperti bagi Vavilov dan para ahli botaninya.



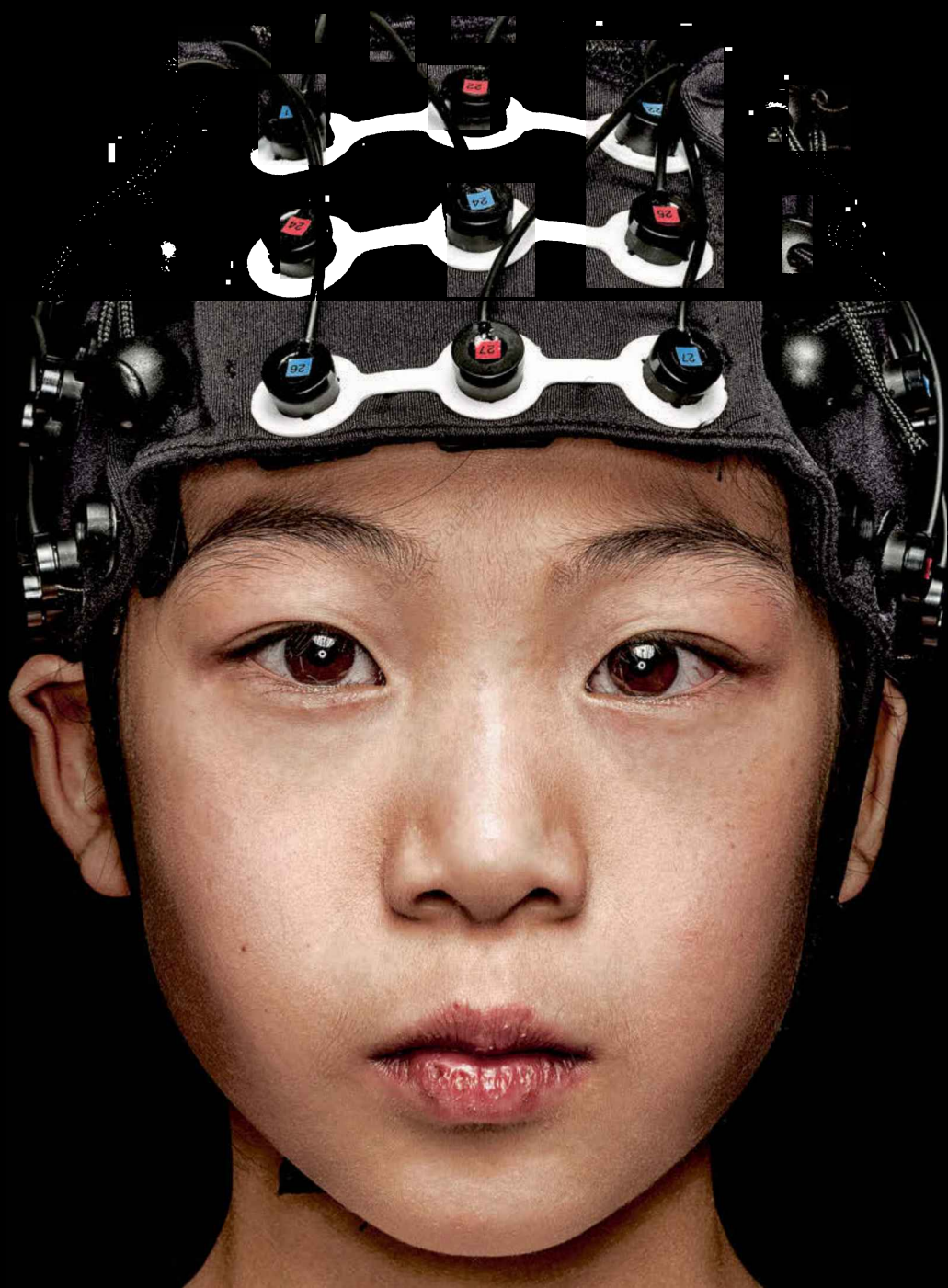
| BAB LIMA |

KONEKTOM KOSMIK

*The Brain—is wider than the Sky—
For—put them side by side—
The one the other will contain
With ease—and You—beside—
The Brain is deeper than the sea—
For—hold them—Blue to Blue—
The one the other will absorb—
As Sponges—Buckets—do—
The Brain is just the weight of God—
For—Heft them—Pound for Pound—
And they will differ—if they do—
As Syllable from Sound—*

—EMILY DICKINSON

Gambaran berwarna sel-sel syaraf zat putih otak manusia, dilihat dari atas,
yang menghantarkan impuls syaraf dalam otak dan ke sumsum
tulang belakang—dari Proyek Konektom Manusia.





Apakah alam semesta bisa diketahui?
Apakah otak kita mampu memahami kosmos dengan segala kompleksitas dan kemegahannya? Kita belum tahu jawaban pertanyaan itu karena otak tetap masih sama misterius dengan alam semesta itu sendiri. Kita pikir jumlah unit pengolahan di otak kita sepadan dengan jumlah bintang di seribu galaksi—setidaknya seratus triliun. Dan mungkin saja jumlah unit pengolahan sebenarnya 10 kali lebih besar.

Selagi saya menulis ini, unit-unit pengolahan saya sendiri dalam keadaan ketakutan dan panik, sewaktu menunggu di unit rawat intensif syaraf rumah sakit Cedars-Sinai di Los Angeles. Seminggu sebelumnya, putra saya Sam dan saya sedang bekerja bersama kolega-kolega kami di salah satu ruang penyuntingan di kantor produksi seri televisi *Cosmos: Possible Worlds*. Sam tiba-tiba berdiri, mengeluh sakit kepala dan mual. Naluri keibuan saya berkata bahwa itu bukan karena makan siangnya. Saya tahu saya harus membawa dia ke ruang gawat darurat segera.

Di Cedars-Sinai, staf gawat darurat segera menyadari bahwa otak Sam mengalami pendarahan. Sampai siang itu kami tak tahu bahwa 27 tahun sebelumnya dia lahir dengan AVM (*arteriovenous malformation*), malformasi arteriovena, sekumpulan pembuluh darah di persimpangan antara hubungan satu arteri dan vena di

Versi modern elektroensefalograf (EEG) Hans Berger untuk mempelajari aktivitas listrik dalam otak.

otaknya. AVM itu mengalami pendarahan dan darahnya tidak bisa keluar tanpa menekan lalu mengganggu otaknya. Dua selang dipasang di otak Sam untuk mengeluarkan darah. Keduanya dihubungkan dengan beban dan timbangan yang membuat saya teringat insinyur Yunani kuno Arkhimedes. Penggaris sepanjang satu meter dengan waterpas, sesuatu yang biasa ada di toko bahan bangunan, digunakan untuk memastikan pipa bisa memanfaatkan gravitasi untuk menyalurkan darah keluar otak Sam, hari demi hari. Monitor berbunyi kalau tekanan di otaknya terlalu besar dan keseimbangan harus diubah. Namun bagaimana cara memecahkan masalahnya? Bagaimana cara menghilangkan AVM, yang bisa pecah lagi kapan saja?

Datanglah Nestor Gonzalez, ahli neuroradiologi intervensi bersuara lembut. Dia mula-mula mengusulkan melakukan angiogram, pemetaan pembuluh darah di daerah otak Sam yang mengalami pendarahan. Prosedur agak berisiko itu adalah langkah pertama menuju embolisasi yang lebih berbahaya, teknik lambat dan cermat memasukkan kawat melalui pembuluh-pembuluh itu untuk menyumbat AVM dengan setetes lem atau kumparan, agar tidak mengalami pendarahan lagi. Itu prosedur luar biasa halus yang memerlukan presisi amat tinggi, dengan risiko kerusakan otak Sam atau kematiannya, yang benar-benar berat kalau dipikirkan. Sam memandang mata saya dan bertanya apakah saya dapat bertahan kalau dia mati. Kami selalu mencoba saling jujur. Saya harus berkata kepada dia bahwa saya tak tahu.

Kami bertiga mengobrol beberapa kali pada hari-hari menjelang pelaksanaan prosedur. Dr. Gonzalez menanyakan pekerjaan Sam. Ketika Sam menjawab bahwa dia salah seorang produser *Cosmos*, Dr. Gonzalez yang biasanya kalem itu tampak kaget. "Ah, maafkan saya. Saya tidak sadar hubungannya. Apa Anda ada hubungan keluarga dengan Carl Sagan?!?" dia bertanya.

"Saya putra bungsunya," jawab Sam.

Dr. Gonzalez tampak tergerak. “Dialah alasan saya ada di sini!” katanya. “Saya tumbuh besar di Kolombia, negara miskin, dan terilhami masuk ke bidang sains karena Carl Sagan di TV. Kedokteran adalah satu-satunya jalan yang terbuka bagi saya.”

Rasanya seolah, secara *tidak* supranatural, Carl telah menjangkau melintas puluhan tahun untuk membantu menyelamatkan nyawa putra kami. Selagi saya menunggu kabar hasil prosedurnya, saya berpikir mengenai semua ibu dan ayah yang sudah menghadapi kegelisahan serupa. Dan saya mengingat kehidupan laki-laki yang pertama kali menginspirasi *saya* mencintai sains.

Orang-orang terus berkata kepada saya bahwa nasib Sam ada di tangan Tuhan. Mereka menawarkan untuk mendoakan. Saya berterimakasih dengan tulus kepada mereka, tapi saya tak bisa tak berpikir bahwa jika penyakit otak ini menimpa Sam seabad lalu, dia bakal mati. Apa yang sudah berubah dalam waktu relatif singkat itu? Tuhan sepertinya tak berubah. Pengetahuan sains medis kita dan teknologi untuk menerapkan apa yang kita tahu-lah yang berubah. Bagaimana caranya kita sampai ke titik di mana kita bisa melihat dan memperbaiki masalah mikroskopik, tersembunyi dalam celah-celah lipatan otak kita?



Saya pikir lompatan terpenting yang telah dibuat manusia terjadi kira-kira 2.500 tahun lalu, di satu kota berisi rumah-rumah putih berlatar Laut Ionia biru tua. Seperti apa kedokteran kala itu?

Bayangkan Anda orangtua seorang anak yang berharga, anak laki-laki kecil dengan penyakit berbeda. Sedang berlangsung satu acara sosial besar, banyak pelayan menyajikan makanan kepada tetamu. Seorang pengasuh mengantarkan anak Anda hadir di acara itu. Anak itu cerdas dan kadang menunjukkan kepandaianya, sehingga memukau dan mengesankan teman-teman Anda. Ketika dia

diperkenalkan ke beberapa tamu terkemuka, dia menunjukkan sikap baik dan cerdas, membuat para tetamu dewasa senang, selagi Anda memandang bangga. Tiba-tiba anak itu tampak teralihkan perhatiannya oleh sesuatu yang tak terlihat di dekatnya. Sesuatu yang hanya bisa dilihat dia itu membuat dia tersenyum. Badai berkecamuk dalam kepala si anak. Dia pingsan dan ambruk, tubuhnya jadi kaku. Anda memandangi dengan ngeri selagi para tamu menjauh karena kaget. Anda mengguncang tubuhnya dan memanggil-manggil namanya, tapi tak terjadi apa-apa.

Anak itu mulutnya berbusa, menggigit lidah, tubuhnya kejang-kejang. Anda suruh pembantu memanggil dokter selagi para tamu dengan kikuk pamit pulang. Anak itu kemudian terbaring diam. Kejang-kejangnya sudah berhenti. Seorang dokter brewokan dan kotor masuk, bajunya ternoda makanan. Dia diikuti para budak pembantunya yang membawa altar kecil, tempat membakar dupa, dan kambing yang meronta-ronta. “Dokter” bahkan tak melihat anak itu, tapi malah mulai berteriak-teriak memerintah para budak untuk menyiapkan altar dan kambing untuk upacara kurban. Si kambing melotot dan mengembek ketakutan. Selagi Anda memandang penuh harap, si dokter mulai mengayun-ayunkan tempat membakar dupa di sekeliling si anak yang tak bergerak, membacabaca mantra.

Begitulah kedokteran 2.500 tahun lalu di Yunani. Ketika bangsa Yunani dan bangsa-bangsa lain melakukan upacara, beberapa orang sakit sembuh, karena memang penyakit mereka sudah waktunya sembuh, atau berkat sistem kekebalan tubuh mereka sendiri. Namun para pasien dan orang-orang yang menyayangi mereka percaya para dewa telah dipuaskan. Kadang pasien mati. Itu berarti para dewa marah, tak ada yang bisa dilakukan.

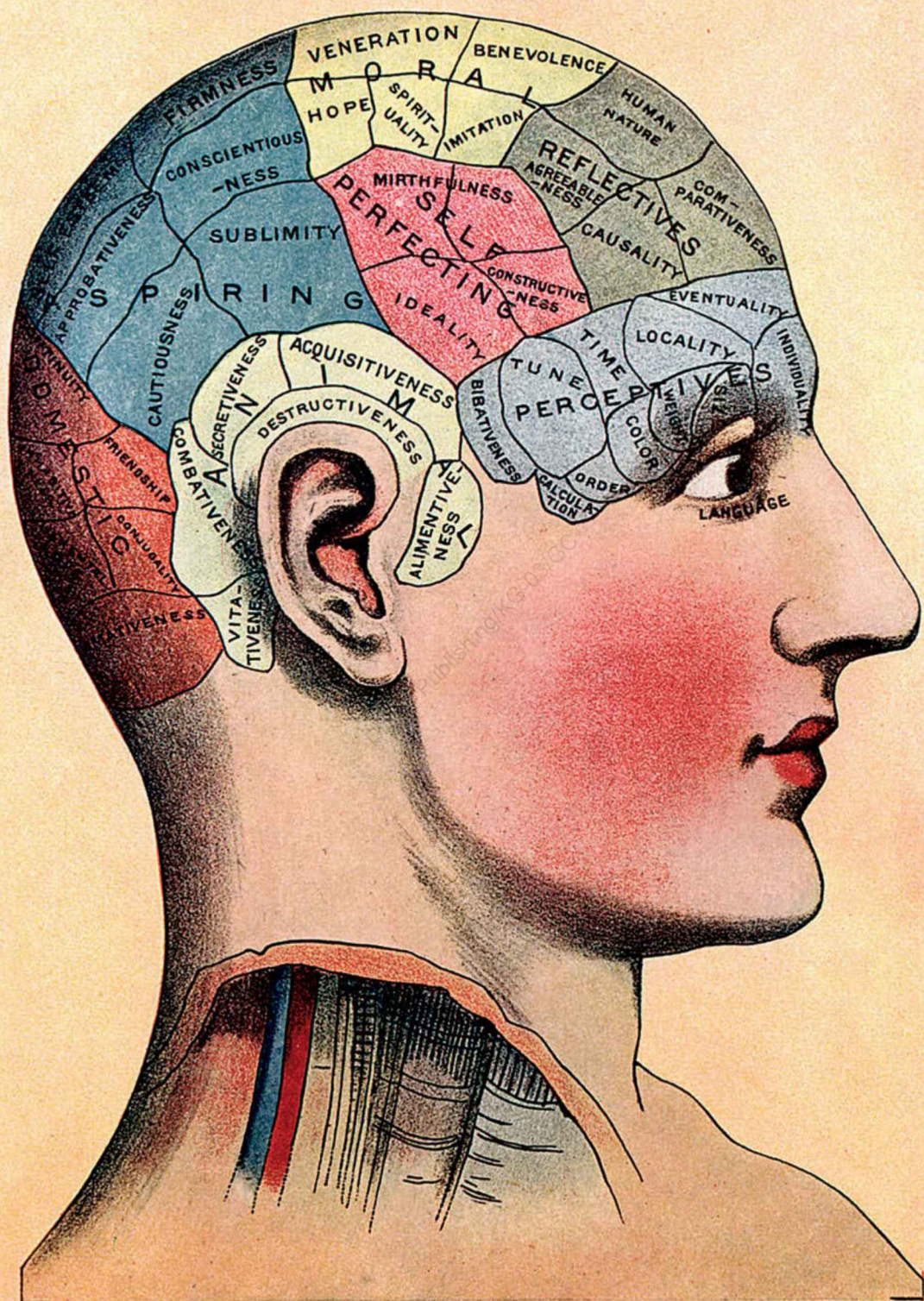
Cara berpikir demikian adalah produk sampingan kelebihan sekaligus kekurangan manusia: pengenalan pola. Dalam kasus ini, pengenalan pola *palsu*. Kepercayaan bahwa epilepsi disebabkan



Sosok yang dipercaya sebagai Hippokrates memeriksa pasien di relief ini.

kan amarah dewa adalah pencampuradukan korelasi dan sebab akibat, dipicu pemikiran penuh harap yang marak ketika orang merasa tak berdaya. Bukan berarti orang Yunani kuno tak punya obat untuk beberapa penyakit. Ada banyak tumbuhan dan mineral di lemari obat mereka. Namun bagi penyakit semisterius epilepsi, mereka hanya dapat membakar dupa dan berdoa. Mereka belum mengerti bahwa epilepsi berhubungan dengan otak—sampai ada Hippokrates.

Sedikit sekali yang diketahui mengenai sang pembawa perubahan besar itu. Apakah dia benar-benar seseorang yang lahir di pulau Kos pada 460 SM atau namanya mewakili kejeniusan bersama satu aliran kedokteran? Kita hanya tahu bahwa tulisan-tulisan yang dianggap berasal dari dia pada 400 SM adalah yang pertama kali menolak gagasan bahwa dewa-dewi yang marah adalah penyebab penyakit dan luka. “Dokter harus memeriksa seluruh tubuh pasien, makanannya, dan lingkungannya,” tulis Hippokrates. “Dokter terbaik adalah yang bisa *mencegah* penyakit ... Tak ada yang terjadi



tanpa penyebab alami.” Karena wawasan itu saja, dia sudah bisa disebut bapak kedokteran, tapi Hippokrates melakukan lebih banyak lagi. Dia mengakui kesusahan psikologis orang sakit, dan tantangan etis khusus yang dihadapi dokter. Dia juga berjasa membuat kode etik dokter. Sumpah yang dianggap berasal dari dia pada abad ke-3 SM masih diucapkan hari ini oleh mereka yang akan berpraktik sebagai dokter.

Hippokrates-lah yang pertama kali menyatakan bahwa otak adalah tempatnya kesadaran. Waktu itu, konsep tersebut revolusioner. Sebagian besar orang percaya kita berpikir dengan jantung. Pengakuan Hippokrates akan pentingnya otak, digabung dengan pemahamannya atas penyebab alami penyakit, membuat esainya mengenai epilepsi, berjudul “Penyakit Gaib”, menjadi salah satu pernyataan yang paling orisinal, radikal, dan berwawasan masa depan di antara seluruh karya sastra. Hippokrates menulis bahwa dia dan orang-orang sezamannya menyebut epilepsi “penyakit gaib” karena mereka tak mengerti penyebab fisiknya. Namun dia memprediksi bahwa kita bakal memahaminya kelak, dan kalau itu terjadi, kita tak bakal menganggapnya gaib lagi. Pertama kali saya membaca terjemahan karya Hippokrates adalah ketika saya kuliah. Saat itu saya jatuh cinta dengan sains.

Anak di cerita kita—mewakili semua pengidap epilepsi di dunia nyata—tidaklah terkutuk. Para dewa tak marah terhadap dia dan keluarganya. Epilepsi disebabkan kerusakan fisik di otak, tapi jika kita menganggap penyebabnya adalah keinginan dewa, kita tak bisa berharap membantu pengidapnya.



Pseudosains frenologi—diajukan sekitar 1800—menganggap bahwa bentuk tengkorak orang menunjukkan kemampuan dan sifat. Frenologi merupakan perwujudan bias pada zamannya.

Beribu-ribu tahun telah berlalu sesudah zaman Hippokrates, dan otak tetap menjadi misteri. Antara 420 SM dan abad ke-19 M, pemahaman kita atas kosmos tumbuh pesat. Kita menemukan kecepatan cahaya dan hukum gravitasi. Kita mengetahui bahwa Matahari adalah bagian galaksi penuh bintang. Namun 2.300 tahun sesudah Hippokrates, kita masih tak tahu banyak mengenai bagian diri kita sendiri yang memungkinkan penemuan-penemuan itu terjadi: otak kita. Dapat dikatakan bahwa kita sebenarnya tahu lebih sedikit. Penyelidikan otak pernah terjebak di jalan buntu pseudo-sains bernama frenologi, yang menyatakan bahwa berdasarkan bentuk tengkorak seseorang, kita dapat menyimpulkan kecerdasan dan sifat. Orang pun ramai mengukur kepala. Menurut ahli frenologi, tanda bakat berbahasa ada di atas tulang pipi. Kesetiaan dalam pernikahan ditentukan bentuk tengkorak di belakang telinga. Tak heran, para ahli frenologi Eropa menemukan bahwa bentuk kepala mereka sendiri mewakili standar universal keunggulan otak.

Wawasan saintifik sungguhan pertama mengenai hubungan antara akalbudi dan otak didapat di Prancis pada 1861. Sekali lagi, epilepsi berperan penting.

Pada masa itu, rumah sakit jiwa Bicêtre di Paris dianggap paling maju. Abad sebelumnya, rumah sakit tersebut telah menjadi yang pertama dalam menghadirkan praktik manusiawi dalam penanganan orang gila dan berketerbelakangan mental. Di antara dokter-dokter di sana, seorang dokter bedah muda berbakat bernama Paul Broca dikagumi karena menangani pasien secara tercerahkan. Dia sangat percaya pentingnya penyelidikan bebas, menerobos halangan-halangan yang disebabkan pengenalan pola palsu di pemahaman medis.

Broca terutama tertarik dengan seorang pasien berumur 51 tahun bernama Louis Leborgne. Broca sebelumnya berspekulasi bahwa bagian-bagian tertentu di otak boleh jadi bertanggungjawab atas kemampuan bicara dan mengingat, dan Leborgne menyajikan



Paul Broca mengawetkan otak Louis Leborgne, yang lebih dikenal sebagai Tan, pengidap epilepsi yang memberi petunjuk mengenai bagian pembentuk bahasa di korteks otak.

kasus yang menarik untuk diselidiki. Semua orang menjuluki si pasien “Tan” karena itulah satu-satunya kata yang bisa dia ucapkan. “Tan, tan, tan.” Leborgne telah mengulang-ulang kata itu sejak menderita kejang epilepsi pada umur 30. Kejangnya bukan yang pertama—dia sudah mengalaminya sejak kecil—tapi keluarga Leborgne baru memasukkan dia ke Bicêtre sesudah dia kehilangan segala kemampuan bicara kecuali satu kata, “tan”. Tan yang malang sekarat. Sisi kanan tubuhnya sudah lumpuh dan dilanda gangren.

Broca sering memeriksa dia, karena ingin tahu segala hal mengenai si pasien dan menunggu kesempatan memeriksa si pasien setelah meninggal.

Ketika Tan akhirnya menutup mata dan mengucap lemah “tan” untuk terakhir kali kemudian meninggal, Broca mengenakan celemek kulitnya dan segera melakukan otopsi yang dia harap bakal menjelaskan penyebab kerusakan kemampuan bicara Tan. Dia mengambil otak Tan dari dalam tengkorak dan langsung tertegun melihat tak simetrisnya. Belahan kiri otak Tan tampak penyok.

Kita tak tahu apakah epilepsi Tan menyebabkan kerusakan di otaknya, atau ada cedera tak dilaporkan ketika kecil yang menyebabkan epilepsi dan belakangan menghilangkan kemampuan bicara. Namun karena nasib Tan, Broca bisa melakukan sesuatu untuk pertama kali. Dengan tepat Broca menghubungkan suatu bagian otak manusia, dalam hal ini bagian yang rusak, dengan fungsi khususnya: kemampuan menggunakan bahasa. Ganjarannya: bagian anatomi kita itu sesudahnya dikenal sebagai “area Broca”.



Pada salah satu hari paling menyenangkan dalam hidup saya, saya memegang otak Paul Broca, yang sudah berada dalam wadah berisi cairan pengawet sejak musim panas 1880. Hampir seabad sesudahnya, Carl Sagan dan saya berada di Paris, merayakan ulang tahun pertama saat kami saling menyatakan cinta. Ketika itu 1 Juni dan perjalanan kami di kota itu tertatah amat tajam dan indah di otak saya. Kami mengunjungi Musée de l’Homme, di mana direktornya, Yves Coppens, menyambut kami dan menunjukkan beberapa tempat tersembunyi menakjubkan di museum yang memuat segala hal mengenai manusia itu.

Coppens membawa kami ke gudang gelap penuh rak dengan wadah-wadah berisi berbagai keanehan yang diawetkan dengan

formalin, yang tak lagi dianggap pantas dipamerkan kepada umum. Di situ, pada hari itu, saya mengenal kata “teratologi”, “studi sains ketidaknormalan bawaan lahir dan fungsi abnormal.” Bayi berkepala dua, kepala menyusut, bayi berwajah cacat, bagian tubuh tak normal—dan banyak otak. Salah satunya berlabel “Broca”. Carl menjelaskan kepada saya pentingnya memegang otak Broca, sambil perenungan mengenai makna sains mulai terbentuk dalam pikiran kami.

Dalam saat-saat khidmat seperti itu, yang banyak terjadi selama 20 tahun kami bersama, rasanya seperti kami dua sisi satu otak. Selama saat-saat persatuan yang menyenangkan itu, Carl bakal mengucapkan pemikiran kami yang direkam dengan alat perekam kecil yang dia selalu bawa-bawa. Ilham di museum Paris itu kemudian ditulis sebagai esai yang judulnya menjadi judul buku *Broca’s Brain*.

Broca seorang visioner yang memajukan pengetahuan kita mengenai otak. Namun Carl menunjukkan bahwa Broca tak bebas dari prasangka zamannya. Broca percaya bahwa laki-laki lebih unggul secara mental daripada perempuan, dan orang kulit putih lebih unggul daripada semua orang lain. Carl menulis, “Ketidakmampuannya menjunjung cita-cita humanis menunjukkan bahwa seseorang yang berkomitmen terhadap pencarian pengetahuan dengan bebas seperti Broca pun masih dapat ditipu kepicikan endemik.”

Empat puluh tahun kemudian, saya mencari otak Broca untuk musim ketiga *Cosmos*. Namun otak Broca hilang. Hilang ketika koleksinya pindah ke museum lain, atau barangkali tak lagi dianggap pantas dipamerkan kepada publik. Kalau dipikir, sungguh memuaskan dan mengerikan ketika menyadari sejauh apa kita sudah maju dan betapa masih butanya kita.



Broca memastikan untuk pertama kali bahwa ada korelasi fisik antara anatomi dan fungsi otak. Namun bagaimana dengan energi kesadaran? Bagaimana dengan bahan mimpi? Itu tak bisa ditaruh di wadah.

Ketika orang-orang Mesir kuno memandang langit malam, mereka melihat bagian bawah tubuh Nut, dewi langit berbintang. Waktu memejamkan mata dan mulai bermimpi, mereka percaya bahwa mereka sedang berpindah ke dunia lain. Jadi mimpi diritualkan menjadi se bentuk penyembahan, cara untuk mengetahui apa yang ada pada masa depan, atau berkomunikasi dengan dewa-dewi selagi tidur. Orang-orang beriman berziarah ke kuil untuk bermimpi. Untuk mempersiapkan diri, mereka pergi ke tempat terpencil, dan berpuasa untuk membersihkan jiwa dan raga. Menggunakan pena dan secarik kain linen putih bersih, mereka menulis doa untuk dewa tertentu. Kain itu dibakar dengan harapan asap bakarannya membawa doa ke kahyangan. Orang Mesir terpukau dengan batas yang memisahkan kehidupan kita kala terjaga dan bermimpi, dan percaya bahwa mimpi punya realitas material. Bagaimana lagi caranya menjelaskan rincinya mimpi yang terasa nyata?

Ribuan tahun kemudian, seorang saintis di Italia abad ke-19 juga percaya bahwa pemikiran sadar dan bawah sadar benar-benar punya realitas material, bahwa mimpi adalah fenomena fisik yang dapat direkam. Dia menemukan cara untuk membuktikannya di tempat akalbudi patah dan mimpi hancur. Manicomio di Collegno di Torino, Italia, adalah biara megah yang dibangun pada abad ke-17, tapi kemudian menjadi rumah sakit jiwa pada 1850 dan kehilangan sebagian besar kemegahannya. Di sanalah Angelo Mosso melakukan percobaannya mengenai mimpi dan pemikiran.

Mosso, anak kelas pekerja, telah berusaha keras untuk menjadi saintis, terutama bekerja di bidang farmakologi dan fisiologi. Pada zaman ketika orang secara harfiah dipekerjakan sampai mati, tanpa perlindungan hukum, Mosso memandang sains sebagai cara

memperbaiki kondisi ketenagakerjaan. Dia merancang dan membuat ergograf, atau “pencatat kelelahan”, untuk mengukur apa akibat ketegangan terus-menerus ke jasmani dan rohani manusia. Dia percaya bahwa kelelahan adalah keadaan fisik dan emosional, bukan tanda kelemahan atau cacat sifat. Itulah cara tubuh kita menyuruh kita berhenti bekerja untuk menghindari cedera. Mosso berpikir bahwa kelelahan punya manfaat evolusioner, seperti rasa takut, dan dia menulis dua buku berpengaruh dengan judul singkat: *La Fatica (Lelah)* dan *La Paura (Takut)*.

La Fatica bermula dengan pengamatan Mosso atas lelahnya puyuh dan burung migran lain yang tiba di Palo, Italia, sesudah terbang dari Afrika. Seratus lima puluh halaman kemudian, sesudah membahas kelelahan di banyak spesies, dia menggambarkan lelahnya pekerja pabrik, mengungkap neraka revolusi industri serta akibatnya bagi kehidupan dan keselamatan fisik.

Untuk mendapatkan “hukum kelelahan” sains yang bisa dikuantifikasi, Mosso merancang alat yang dapat mencatat aliran darah di tubuh. Untuk mengujinya, dia meminta asistennya membuka baju dan berbaring di meja yang seimbang. Dia menempelkan sensor ke ibu jari kaki, tangan, dan dada asisten. Sensornya tersambung ke drum yang dibungkus kertas grafik dan berputar seperti kotak musik. Pena mencatat aliran darah seperti di elektrokardiogram (EKG) modern. Mosso telah menciptakan sfigmomanometer, atau alat pengukur tekanan darah.

Jika denyut jantung dapat dicatat, bagaimana dengan aktivitas otak? Mosso bertanya-tanya bagaimana dia dapat menjabarkan kerja halus otak yang berada di balik perlindungan tengkorak. Adakah cara melakukan itu tanpa mencelakakan subjek? Kemudian datang seorang pasien yang membantu Mosso menjawab pertanyaan-pertanyaan itu.

Giovanni Thron jatuh dari tempat tinggi ketika baru berumur 18 bulan. Tengkoraknya pecah sehingga sebagiannya tak bisa di-

rekatkan kembali. Akibat benturan ke kepalanya, dia mulai sering mengalami kejang-kejang epilepsi. Orangtuanya yang ketakutan atau tak kuat lagi meninggalkan dia di Manicomio di Turin ketika dia berumur lima tahun.

Ketika bertemu Giovanni enam tahun kemudian, Mosso menyadari bahwa cedera parah yang telah mengacaukan kehidupan Giovanni merupakan kesempatan medis langka. Si anak mengenakan topi kulit khusus yang menutupi bagian tengkoraknya yang bolong. Di balik topi itu Mosso menemukan pintu ke otak. Mosso merancang dan membuat mesin yang begitu sensitif sehingga dapat mencatat peredaran darah melalui otak. Namun Giovanni selalu gelisah kala terjaga, sehingga Mosso hanya dapat mempelajari Giovanni kalau Giovanni tidur. Giovanni harus tak bergerak agar Mosso bisa mencatat pertanda Giovanni sedang berpikir.

“Ketika saya bertemu Giovanni pada Februari 1877,” tulis Mosso, “ada lubang besar di tengkoraknya, tertutup kulit. Sesudah jatuh, perkembangan intelektual Giovanni terhenti. Sungguh menyedihkan, di tengah kekacauan akalbudinya, satu gagasan luhur tetap bertahan, sisa kehidupannya yang lampau, satu kalimat yang dia terus ulang-ulang: ‘Aku mau sekolah’.”

Selagi si anak tidur, asisten Mosso dengan hati-hati memasang sensor di atas mata kiri Giovanni, di mana otaknya hanya tertutup jaringan tipis parut bekas luka.

“Itu salah satu pemandangan paling menarik di tengah malam sunyi,” catat Mosso, “diterangi cahaya lampu kecil, kami amati yang terjadi dalam otaknya, ketika tak ada penyebab luar yang mengganggu kehidupan kala tidur. Denyut otak selama sepuluh sampai dua puluh menit itu cukup teratur dan amat lemah ... kemudian tiba-tiba, tanpa alasan jelas, melonjak dan menguat. Kami sampai menahan napas.”

Mosso menunggu dengan sabar untuk melihat apakah alatnya bisa mencatat denyut otak seperti penemuannya terdahulu



Angelo Mosso sering menggunakan dirinya sendiri sebagai kelinci percobaan, mengembangkan alat-alat yang mendeteksi aliran darah—pendahulu elektrokardiograf atau EKG zaman sekarang.

bisa mencatat denyut jantung. Lalu, seperti dia ceritakan kembali mengenai malam itu, Mosso sang saintis dan Mosso sang penyair menjadi satu. “Apakah mungkin mimpi datang untuk menghibur si bocah malam? Apakah wajah ibunya dan kenangan masa kecilnya berpendar terang dalam ingatannya, menerangi kegelapan kecerdasannya, dan membuat otaknya berdenyut dengan gembira? Ataukah itu hanya zat yang bergolak tanpa disadari, seperti pasang surut laut tak dikenal yang sunyi?”

Pada malam musim dingin itu, alat Mosso belum dapat menjawab pertanyaannya, tapi memang bisa mencatat tanda mimpi Giovanni. Mosso telah menciptakan pencitraan syaraf (*neuro-imaging*), dan menunjukkan “giliran malam” di otak. Dalam tidur pun otak aktif mengolah urusan kehidupan, membuat mimpi.

Tiga bulan sesudah malam itu, Giovanni meninggal karena anemia. Dia belum sampai berumur 12.



Kerja Angelo Mosso merintis bidang neurosains mengilhami orang lain untuk melanjutkan karya Mosso. Orang itu ingin menunjukkan bahwa kekuatan psikis itu nyata. Awalnya adalah suatu kecelakaan.

Hans Berger bermimpi menjadi ahli astronomi, tapi dia tak mahir matematika, jadi pada 1892, ketika berumur 19, dia mendaftar masuk tentara Jerman. Ketika berkuda terlalu cepat di dataran tinggi menuju perkemahan, Berger jatuh ke depan kereta artileri berat yang sedang bergerak. Tampaknya waktu melambat bagi Berger selagi dia menyadari bahwa dia akan mati terlindas. Ketika waktu kembali ke laju biasanya, Berger melihat bahwa kusir telah menghentikan kereta itu sampai hanya sejengkal dari tempatnya tergeletak. Berger terguncang karena pengalaman nyaris mati, tapi pada malam sesudahnya terjadi sesuatu yang lebih mengguncang dia.

Waktu kawan-kawannya sesama serdadu minum-minum sampai mabuk, Berger duduk di kamarnya, masih terguncang. Awalnya dia tak memperhatikan ada seorang anak laki-laki yang berdiri di depannya membawa sepucuk telegram. Berger membuka telegram itu, dan isinya mengubah jalan hidup Berger. Telegram itu dari ayahnya, seorang laki-laki dingin dan berjarak yang sebelumnya tak pernah mengiriminya telegram. Katanya kakak perempuan Berger panik karena merasa sesuatu yang buruk telah terjadi kepada adik laki-lakinya itu.

Mungkinkah, pikir Berger, ketika menyadari dirinya akan mati, otaknya entah bagaimana mengirim pesan telepati kepada kakaknya yang dekat dengan dia? Berger ingin mencari tahu. Dia kemudian belajar kedokteran, menjadi dokter dan profesor di Universitas Jena. Pada siang hari dia bekerja bersama mahasiswa dan kolega, yang mendapati dia kaku meski formal, dan tidak punya rasa pe-

nasaran dalam sains. Namun pada malam hari dia menyelinap ke laboratorium rahasia di perdesaan Bayern untuk melakukan percobaan mengenai kegiatan otak. Dia ingin membuktikan bahwa energi psikis itu nyata, tapi dia takut ditertawakan kalau tujuan sains sejatinya ketahuan.

Berger mempersiapkan peralatan percobaan seperti yang dibuat Mosso. Di depan cermin, dia menancapkan jarum-jarum perak tipis ke kepalanya sendiri. Jarum-jarum itu terhubung kawat ke mesin yang tersambung ke drum berputar. Dengan kepala ditan-capi jarum, dia menarik tuas yang menyebabkan listrik mengalir jarum dan meringis kesakitan karena tersetrum. Pena yang menu-lisi kertas yang membungkus drum tak bergerak dan tak mencoret. Berger kecewa—tapi mencoba lagi, selalu berusaha menyempur-nakan alat dan membuat pengukuran.

Penelitian itu dirahasiakan Berger selama dua dasawarsa. Selagi tahun demi tahun berlalu, alatnya menjadi makin efisien. Dia mulai menggunakan pengisap karet sebagai pengganti jarum. Akhirnya, suatu hari, Berger menyalakan saklar, merasakan alat menderum, dan menoleh ke drum. Dia melihatnya: pena menggambarkan ge-lombang yang naik turun. Berger tersenyum lebar, dan coretan pena berubah menanggapi.

Itulah elektroensefalograf, atau EEG, yang pertama. Elektroen-sefalograf Berger memungkinkan penafsiran sinyal-sinyal elektro-kimia yang dihasilkan otak, dan diagnosis banyak penyakit syaraf, termasuk epilepsi. Namun Berger tak pernah menemukan bukti energi psikis, atau komunikasi telepati. Dia jadi depresi berat, dan gantung diri di laboratorium rahasianya pada 1941.

EEG masih dipakai sekarang, walau kita sekarang punya cara-cara yang jauh lebih akurat untuk melihat dan mencatat apa yang dilakukan otak—dan kita bahkan mulai menerjemahkan bahasa elektrokimia pikiran.



Persis 100 tahun sesudah Angelo Mosso pertama kali mencatat bisikan elektrik mimpi Giovanni, pada 1977 saya mencatat gelombang otak saya sendiri untuk pesan kepada makhluk apapun di galaksi Bimasakti yang boleh jadi menemukan salah satu dari dua wahana antariksa tua kapan pun dalam lima miliar tahun ke depan. Awalnya Carl Sagan meminta saya menjadi direktur kreatif pesan antarbintang dengan kompleksitas belum pernah ada yang akan dipasang di bagian samping wahana antariksa Voyager 1 dan 2 NASA. Kedua Voyager akan melakukan misi penjelajahan pertama ke tata surya bagian luar sebelum berkelana menembus galaksi selama beberapa miliar tahun. Satu bagian benda yang kemudian disebut “rekaman emas” itu berisi musik yang mewakili banyak budaya manusia, termasuk blues Delta, pipa pan Peru, gamelan Jawa, nyanyian malam Navajo, perkusi Senegal, *shakuhachi* Jepang, paduan suara laki-laki Georgia, dan banyak lagi. Bagian lain rekaman berisi berbagai macam bunyi: tangisan pertama bayi baru lahir dan bujukan ibu, raungan pesawat F-111 yang sedang terbang lewat, bunyi jangkrik, ciuman, serta ucapan salam dalam 59 bahasa manusia dan satu bahasa paus. Kami tak tahu siapa yang bakal mendengar rekaman itu atau apa artinya bagi mereka, tapi kami tahu yang kami lakukan itu sakral. Belum ada buatan manusia yang pernah pergi begitu jauh dan bertahan begitu lama. Pada 1977, di tengah Perang Dingin, kami memandang tugas kami seolah membangun bahtera penyelamat kebudayaan manusia.

Carl dan saya jatuh cinta pada musim semi yang sama sewaktu kami membuat rekaman emas. Kami sudah saling kenal selama tiga tahun sebagai teman dan rekan kerja, masing-masing berkomitmen ke orang lain. Di kehidupan yang lama itu saya bertanya kepada Carl apakah mungkin makhluk luar Bumi yang kami bayangkan itu membaca sinyal dari rekaman meditasi yang mencatat hasil EEG,

EKG, dan tidur REM (*rapid eye movement*). Carl menjawab, “Miliaran tahun itu waktu yang lama, Annie. Lakukanlah.”

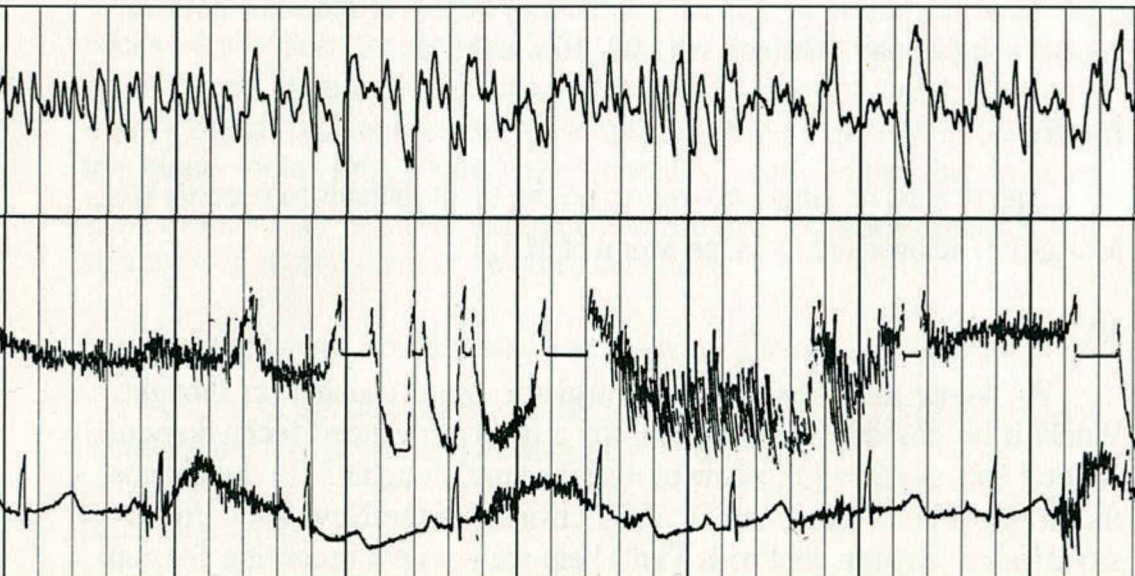
Sesi rekaman di rumah sakit New York terjadi hanya dua hari sesudah kami saling mengungkapkan perasaan dalam percakapan telepon jarak jauh dan memutuskan untuk menikah. Daftar pemikiran saya untuk meditasi mencakup narasi luas sejarah planet kita selama miliaran tahun. Menjelang akhir rekaman, saya perkenankan diri saya menjelajahi secara pribadi cinta yang baru saya temukan beberapa jam sebelumnya. Kebahagiaan segar karena menemukan rumah sejati bagi hati saya akan bertahan di rekaman itu, lebih lama daripada Bumi.

Dari kereta kuda ke wahana antarbintang dalam seratus tahun saja. Dari telegram yang diantar langsung ke pengiriman pemikiran dengan kecepatan cahaya, serta menembus Bimasakti sampai miliaran tahun dari sekarang. Bagaimana cara kita melakukan lompatan itu? Dan mengapa kita? Dari miliaran spesies yang pernah hidup di Bumi, mengapa kita dan bukan yang lain? Primata yang keluar dari savana Afrika telah mengirim utusan robot untuk menjelajahi gurun merah Mars, dan mengelilingi dunia itu dengan satelit. Kita baru melakukannya selama 60 tahun, belum sampai seumur hidup manusia, tapi lihatlah seberapa jauh ke luar planet kecil ini robot-robot kita berpetualang!

Tiap perjalanan penemuan diawali di otak kita. Mudah dilihat bahwa sumbernya segala prestasi ajaib itu sendiri terkesan berada di luar jangkauan pemahaman kita. Sukar mempercayai bahwa akalbudi kita dibuat dari bahan yang sama dengan perut dan kaki kita.



Kesadaran tampak supranatural. Jatidiri, kekaguman, skeptisisme, khayalan, cinta—bagaimana cara membuat transendensi dari tabel



Gelombang otak Ann Druyan, direkam pada Juni 1977 untuk rekaman emas Voyager. Mungkinkah makhluk luar Bumi di bagian lain galaksi Bimasakti sekitar lima miliar tahun dari sekarang menafsirkan kebahagiaan yang terkandung di dalamnya?

periodik unsur? Bintang mana yang harus meledak untuk menyerbuki dunia kita dengan ilham?

Jika ingin mengetahui bagaimana zat berubah menjadi kesadaran, Anda harus mundur sampai organisme bersel satu pertama di laut. Saya tahu apa yang Anda pikirkan: Mustahil makhluk kecil-kecil begitu punya otak. Benar. Memang tidak punya. Namun itulah awal kesadaran. Mikroba menggunakan flagella (cambuk) kecil untuk berenang ke arah cahaya Matahari di permukaan laut, sementara yang lain mencari tempat aman di kedalaman. Mikroba bersel satu boleh jadi belum tahu banyak, tapi mereka sudah tahu beberapa hal: “Pergi ke arah cahaya ... Ups, terlalu banyak cahaya. Cari tempat gelap.” Pahami? Kita tak tahu pasti kapan flagella pertama berevolusi, tapi kira-kira pada suatu waktu selama musim gugur tahun Kalender Kosmik.

Kalau dipikir, ciri pendefinisian kehidupan adalah kemampuan beradaptasi terhadap lingkungan. Dan itu tak bisa dilakukan tan-

pa memiliki kesadaran di suatu tingkat. Selama miliaran tahun, makhluk-makhluk itu menjadi jauh lebih banyak daripada jumlah bagian-bagiannya.

Di dasar laut, lepas pantai Chile dan Peru, hiduplah apa yang barangkali organisme hidup terbesar di dunia. Terdiri atas jutaan sulur yang melambai lembut di dalam air, organisme itu adalah komunitas mikroba berukuran seluas negara Yunani. Boleh jadi tampilannya mirip permadani, tapi ada sesuatu yang bahkan lebih menakjubkan daripada luasnya. Leluhur koloni tersebut, yang fosilnya dinamakan stromatolit, terdiri atas sianobakteria, mikroba yang dapat berfotosintesis. Itu satu langkah awal dalam perkembangan otak. Ketika mikroba yang hidup di tengah permadani luas itu lapar, mereka mengirim pesan elektrik dengan gelombang kalium ke kawan-kawannya di pinggir. Komunikasi berjalan melalui jalur bernama saluran ion. Gelombang kalium kuning keluar dari mikroba dan dihantarkan mikroba lain sampai ke pinggir. Pesannya berkata, "Kawan-kawan, jangan dihabiskan sendiri makanannya!" Dan para penghuni tepi permadani menanggapi dengan mengurangi mengambil makanan. Mungkin dalam perjalanan evolusi, para leluhur mengembangkan sel-sel syaraf yang dikhususkan untuk pengiriman pesan.

Sel syaraf adalah satuan dasar sistem syaraf di hampir semua bentuk kehidupan di kingdom hewan—termasuk kita. Dan keragamannya amat kecil di alam, dari spesies ke spesies, namun jumlahnya amat beragam. Faktanya, kita sekarang berpikir bahwa epilepsi boleh jadi disebabkan kesalahan di saluran ion syaraf otak.

Pikirkanlah: lapisan mikroba dan Isaac Newton, dipisahkan evolusi ratusan juta tahun tapi punya satuan dasar pemikiran yang sama. Sistem pengiriman pesan yang dipelopori mikroba sekitar empat miliar tahun lalu masih ada dalam diri kita, tertulis di kitab kehidupan, di sekujur gen-gen kita. Jantung Anda berdetak, dan otak Anda berpikir, karena mikroba kuno dulu berkumpul dan

menjadi sesuatu yang jauh lebih kompleks serta mustahil diperkirakan. Tak seorang pun yang memandangi lapisan mikroba tiga miliar tahun lalu dapat memprediksi bahwa organisme bersel satu di Bumi bakal berevolusi menjadi Anda. Itulah yang terjadi ketika makhluk hidup dan lingkungan berinteraksi dari zaman ke zaman, memungkinkan entitas-entitas lebih kecil untuk bersatu dan berevolusi. Ketika entitas yang dihasilkan menjadi lebih daripada sekadar penjumlahan bagian-bagiannya, fenomenanya kadang disebut *emergensi (emergence)*.

Ubur-ubur adalah contoh bagus. Ubur-ubur tak punya otak, atau mata, atau jantung. Agak mirip stromatolit—komunitas sianobakteria kecil yang saling terikat sepanjang hidup. Namun ubur-ubur jauh lebih rumit daripada koloni mikroba, dengan lebih banyak kepribadian—dan 5.600 sel syaraf.

Namun apa jadinya sel syaraf tanpa sinaps—sambungan tempat potongan-potongan informasi mengalir antarsel syaraf dan berubah menjadi keadaan sadar yang lebih tinggi? Sinaps mewakili suatu lompatan besar dalam evolusi, dan beberapa ubur-ubur punya sinaps. Bagian-bagian ubur-ubur bisa beroperasi secara mandiri. Kalau dibelah dua, belahannya bisa tumbuh menjadi dua ubur-ubur utuh. Bentuk kehidupan mana lagi yang bisa melakukan itu?

Sebenarnya saya tahu satu lagi yang bisa. Kita bisa penggal kepalanya, tak apa, dia bisa tumbuhkan lagi. Malah kita tak bisa membunuhnya dengan pisau. Makhluk itu tampak seperti serpihan kain warna-warni, tapi sungguh menarik ceritanya.

Dahulu kala—sekitar 600 juta tahun lalu—kehidupan pertama kali berevolusi menghasilkan sesuatu yang baru di planet Bumi, pusat kendali yang dapat mempersepsi dan bereaksi terhadap lingkungan: otak. Kita pikir itu pertama kali terjadi di cacing pipih

Ubur-ubur, seperti ubur-ubur penyengat ungu (*Pelagia noctiluca*) dari Malta ini, tak punya otak, hanya punya jaringan syaraf yang menyebar di sekujur tubuh.





purba, pemburu hewan pertama di dunia. Otak adalah apa yang kiranya dibutuhkan pemburu untuk mencari mangsa dan merencanakan strategi serangan. Yang membantu prosesnya adalah kemunculan dua mata dengan bidang penglihatan yang saling tumpang tindih. Penglihatan dua mata memungkinkan makhluk purba itu menangkap dimensi kedalaman dengan lebih tajam dan melihat benda lebih jelas, sehingga lebih mampu membidik mangsa.

Cacing pipih punya sepasang gugus syaraf padat yang bernama ganglia. Ganglia bercabang-cabang, membawa instruksi dan sensasi ke seluruh tubuh melalui sekitar 8.000 sel syaraf. Tak banyak kalau dibandingkan dengan bentuk-bentuk kehidupan yang datang sesudahnya, tapi itu awal yang penting.

Di kedua sisi kepala cacing pipih, bertempat seperti posisi telinga kita, ada sesuatu bernama aurikel yang sebenarnya adalah hidung. Boleh jadi manusia dan cacing pipih tak mirip, tapi kita punya banyak kesamaan. Ada kesamaan zat-zat kimia yang mengendalikan sistem syaraf, disebut neurotransmitter. Kita bisa kecanduan obat-obat yang sama. Cacing pipih bisa belajar. Cacing pipih bisa mengolah informasi mengenai lingkungan dan bertindak sesuai informasi. Kita pikir mereka hewan pertama di alam yang punya bagian depan, belakang, dan kepala—pola yang terus dipakai hingga 600 juta tahun kemudian. Cacing pipih juga pelopor sejati dengan arti terdalam kata itu. Tak seperti bentuk kehidupan apapun se-



Lebih daripada 20.000 spesies cacing pipih telah diidentifikasi, banyak di antaranya avertebrata laut berwarna cerah, seperti yang ditampilkan di sini. Para leluhur cacing pipih adalah yang pertama memiliki otak.

belumnya, cacing pipih mengembangkan kebiasaan bertualang ke daerah tak dikenal untuk mencari apa yang diinginkannya.

Meski ada kesamaan, tetap saja ada perbedaan besar antara otak cacing pipih dan otak kita. Bagaimana caranya kita berkembang dari sana ke sini? Kita belum tahu. Utamanya karena otak itu lembek. Otak tak meninggalkan banyak bekas berupa fosil. Namun otak itu sendiri melestarikan masa lalu evolusionernya.

Seperti pertama kita lihat di seri televisi *Cosmos* yang asli, New York City menjadi kiasan yang pas untuk otak yang tumbuh dari permukiman menjadi kota besar melalui serangkaian pembangunan tanpa perencanaan. Selagi berbagai sistem jalan, air, distribusi energi, dan komunikasi tumbuh dan berubah, kota itu harus tetap terus beroperasi, sebagaimana otak sepanjang evolusinya. Otak maupun kota tak bisa dihentikan untuk dirombak dan ditambahi. Sistem limbik yang lebih tua mesti terus bekerja sempurna sementara korteks otak yang lebih muda berevolusi.

Jika semua isi otak Anda dituliskan dengan bahasa—dan yang saya maksudkan bukan hanya pengetahuan, melainkan juga kemampuan Anda bernapas, mencium wangi bunga dan mengingat wanginya, dan segala hal yang otak lakukan dengan anggun di balik

layar, segala yang otak Anda pahami caranya, atau ketahui—kiranya diperlukan lebih banyak buku daripada yang ada di perpustakaan-perpustakaan terbesar di Bumi. Dalam kepala Anda ada informasi setara empat miliar lebih buku. Seperti kami tulis di *Cosmos* pertama, “Otak adalah tempat amat besar dalam ruang amat kecil.”

Buku-buku itu ditulis di sel-sel syaraf yang dipelopori lapisan mikroba di dasar laut. Sel syaraf adalah elemen elektrokimia kecil, biasanya selebar sepersekian ratus milimeter. Masing-masing kita punya sekitar seratus miliar sel syaraf, setara jumlah bintang di galaksi Bimasakti. Sel-sel syaraf, berikut bagian-bagiannya—akson, dendrit, sinaps, dan badan sel itu sendiri—membuat jejaring di otak. Banyak sel syaraf punya ribuan sambungan dengan sel syaraf tetangganya. Dendrit, jalur yang menjulur keluar sel syaraf untuk menjangkau sel syaraf lain, menyambungkan sel syaraf ke sinaps sampai tercipta jejaring kesadaran utuh.

Neurokimia otak luar biasa sibuk. Rangkaiannya jauh lebih rumit daripada apapun yang dibuat manusia. Fungsi otak Anda disebabkan seratus triliun sambungan syaraf yang membuat Anda menjadi Anda. Perasaan cinta dan kagum terdalam—saat-saat kita memandang agungnya alam, dan segala arsitektur elegan kesadaran—dimungkinkan oleh sambungan-sambungan tersebut. Itulah intinya emergensi: satuan-satuan kecil zat bekerja bersama menjadi sesuatu yang lebih daripada masing-masingnya, memungkinkan kosmos mengenal dirinya sendiri.

Namun ada visi emergensi yang membawanya ke tingkat lebih tinggi.



Bisakah kita mengetahui mengenai alam semesta? Segala galaksi, tata surya, dunia, bulan, komet, makhluk, dan impian—segala yang pernah, sedang, dan akan ada? Carl Sagan merenung di *Broca's*

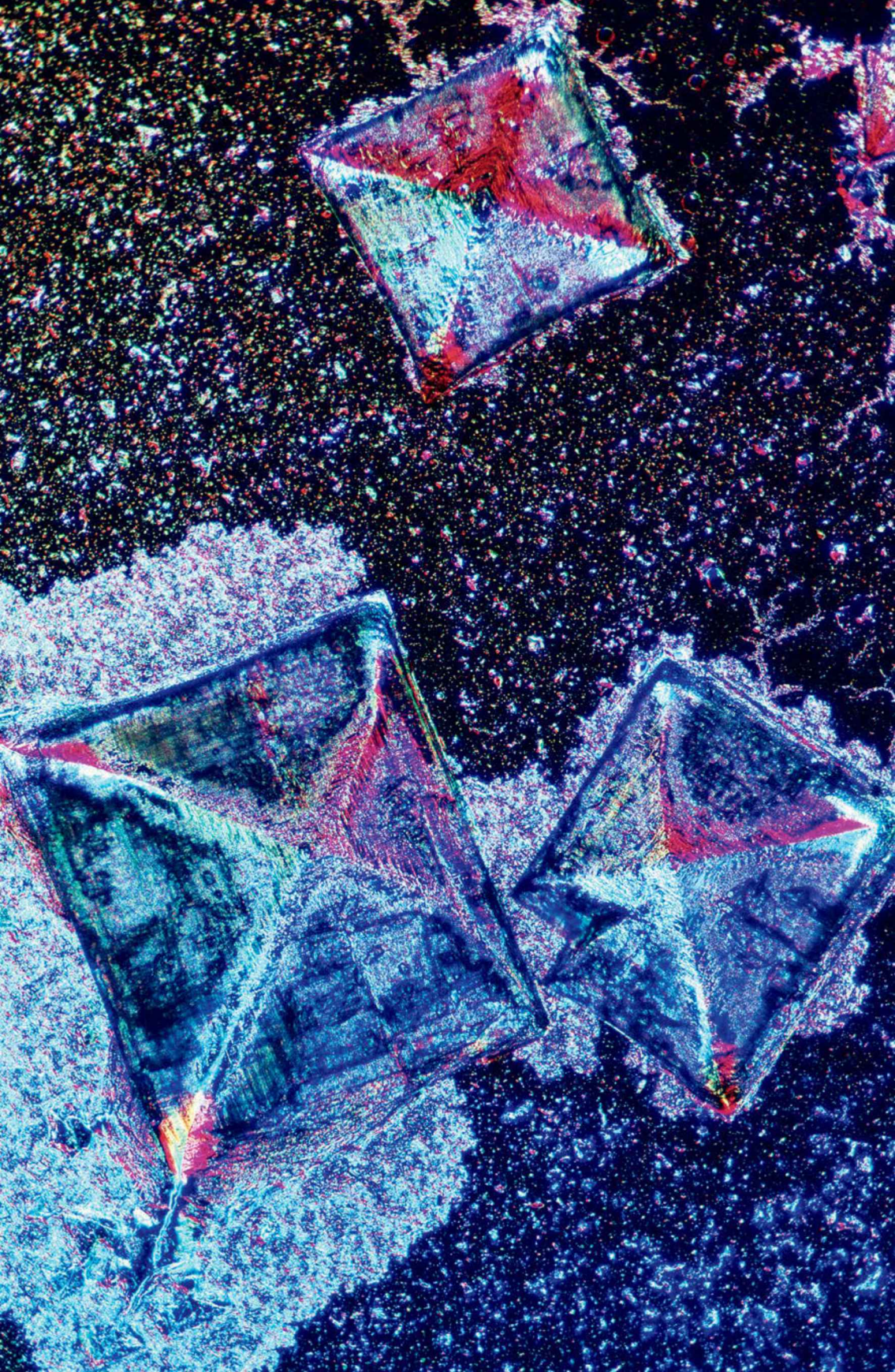
Brain bahwa dia tidak yakin kita bisa mengetahui bahkan sebutir garam. “Pikirkan satu mikrogram garam dapur, hampir tak terlihat dengan mata telanjang. Di butir garam itu ada kira-kira 10 pangkat 16 atom natrium dan klorin. Itu angka 1 diikuti 16 nok, 10 juta miliar atom.”

“Jika kita ingin tahu mengenai butiran garam itu, kita setidaknya mesti tahu posisi tiga dimensi tiap atom.” Carl melanjutkan dengan menyatakan betapa beruntungnya kita punya kumpulan pengetahuan yang telah memetakan struktur kristal dan posisi tiap atom di sebutir garam. Itu mengurangi jumlah bit yang diperlukan untuk mengetahui mengenai butiran garam itu menjadi hanya 10. Jika kosmos diatur hukum, termasuk yang baru kita mulai pahami, maka kosmos akan bisa diketahui, walau kita butuh kecerdasan buatan untuk memperkuat kecerdasan kita sendiri. Carl menghitung bahwa ada sekitar seratus triliun—seratus ribu miliar—sambungan di korteks otak kita. Itu seratus kali lebih banyak dibanding jumlah semua galaksi di alam semesta yang bisa dilihat.

Kita baru berada di permulaan suatu perjalanan penjelajahan besar. Sebagaimana para ahli biologi berhasil memetakan genom manusia, para ahli neurosains berusaha memetakan sesuatu yang jauh lebih kompleks dan unik di setiap kita. Sebutannya adalah konektom (*connectome*)—diagram jejaring segala ingatan, pemikiran, ketakutan, dan impian. Sesudah mengerti kerumitannya, seperti bagaimana kiranya kita memperlakukan sesama? Dapatkah kita menyembuhkan otak dari berbagai derita, dan membebaskan semua Giovanni Thron di dunia? Bisakah kita mengirim satu konektom di wahana antarbintang masa depan, atau berharap menerima satu dari makhluk dunia lain?

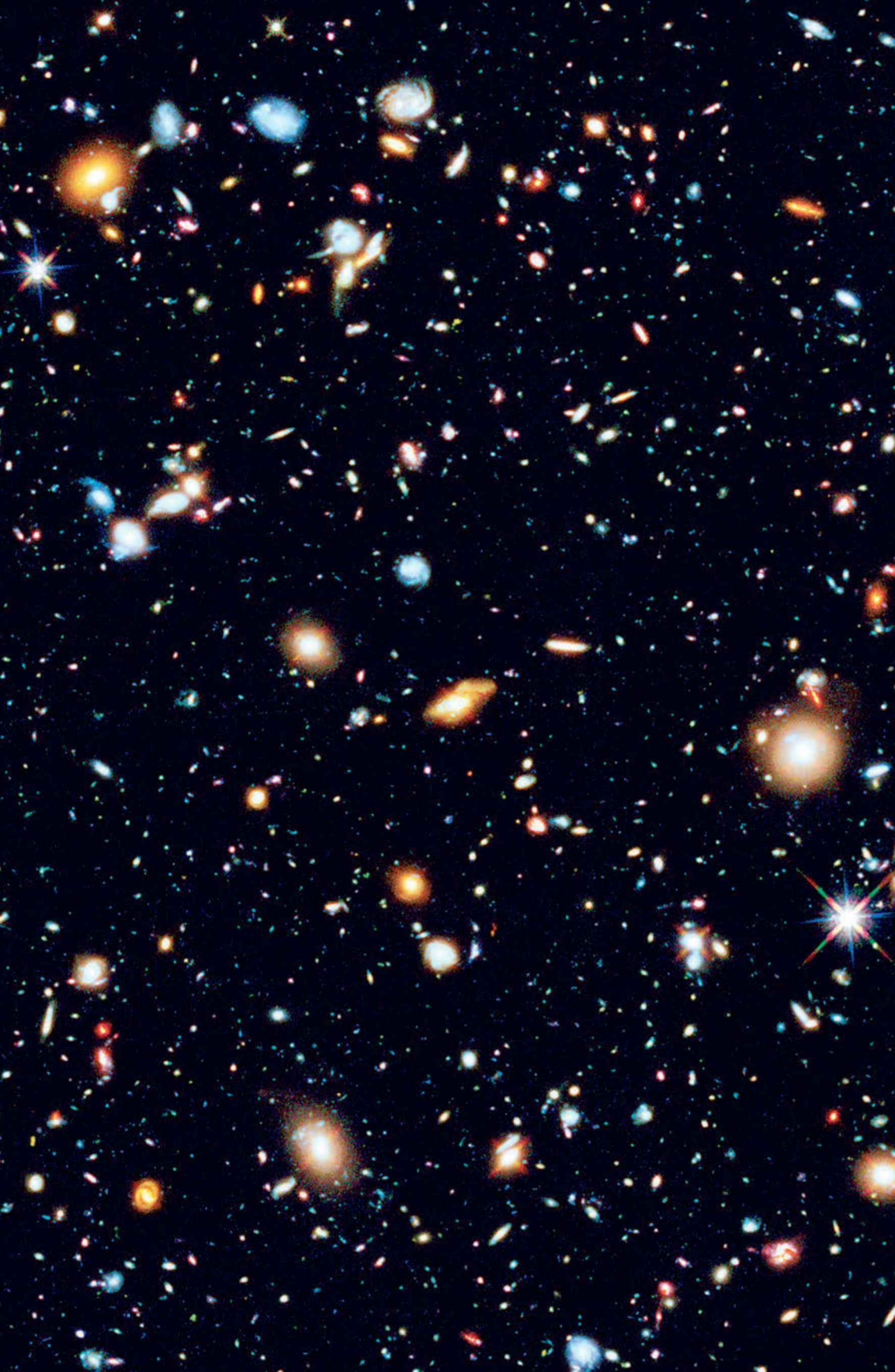
Apa kiranya itu perwujudan pamungkas emergensi—kosmos yang terhubung konektom pemikiran dan impian?





Dr. Gonzalez menemui saya di ruang tunggu sesudah operasi Sam. Selagi dia melintas ruangan, saya tak bisa membaca ekspresinya. Dia duduk dan tersenyum, memberitahu saya bahwa prosedurnya berhasil. Sam akan perlu waktu untuk memulihkan diri, tapi dia akan tetap menjadi Sam tanpa kehilangan pengetahuan dan kemampuan apapun. Dalam beberapa minggu, kalau otaknya sudah membaik, mereka akan melakukan prosedur lanjutan yang tak begitu berbahaya untuk memastikan keselamatan Sam. Sepanjang hidup saya telah menulis surat cinta untuk sains dan hari itu Dr. Gonzalez menunjukkan bahwa cinta saya beralasan.

Bisakah kita tahu mengenai sebutir garam? Gambar mikroskop cahaya terpolarisasi ini baru mulai mengungkap kompleksitas kristal garam yang kita santap sehari-hari.



MANUSIA SETRILIUN DUNIA

24 April 1956

Yang terhormat Dr. Kuiper,

*Sesudah dengan cermat mempertimbangkan tawaran
Anda mengenai riset musim panas di McDonald—dan
sesudah ditunjukkan bahwa Eropa akan selalu jauh
dari negara ini seperti biasanya, tidak seperti Mars—
saya menerimanya dengan senang hati.*

—SURAT DARI CARL SAGAN YANG BERUMUR
21 TAHUN

*Seorang saintis yang melampaui batas antarbidang ilmu ...
dan membantu membawa kita ke Bulan dan planet-planet.*

—OBITUARI YANG DITULIS CARL SAGAN UNTUK
HAROLD UREY, *ICARUS*, 17 SEPTEMBER 1981

Hubble Ultra Deep Field memadukan 800 foto untuk membentuk pemandangan 10.000 galaksi. Makin jauh galaksinya, makin tua gambar yang mewakilinya. Galaksi-galaksi merah terkecil adalah yang paling jauh, menunjukkan alam semesta yang baru berumur 800 tahun, atau pertengahan Januari di Kalender Kosmik.





Dahulu kala, pernah ada seorang anak laki-laki dengan kemampuan istimewa. Dia dapat melihat lebih jauh daripada siapapun ketika memandang langit. Dia melihat bintang-bintang yang terlalu jauh dan pudar bagi orang lain yang tak menggunakan teleskop. Ketika sebagian besar orang memandang rasi Pleiades, mereka melihat tujuh bintang terang dan barangkali dua atau tiga bintang lebih redup. Para leluhur kita dulu menjadikan Pleiades sebagai ujian keahlian untuk pemburu dan pengintai. Jika dapat melihat 12 bintang di rasi itu, Anda layak menjadi pemburu atau pengintai. Namun anak itu dapat melihat 14 bintang di Pleiades. Gerard Peter Kuiper dapat melihat bintang-bintang yang empat kali lebih suram daripada yang bisa dilihat mata manusia biasa.

Itu terjadi di Belanda lebih daripada seratus tahun lalu. Dahulu, putra penjahit miskin tak dapat berharap menjadi ahli astronomi. Namun si anak tak bisa dihalangi. Waktu itu para ahli astronomi berpikir bahwa kosmos terdiri atas hanya segelintir planet—yang ada di tata surya kita sendiri. Barangkali satu atau dua bintang lain juga punya planet, menurut mereka, tapi tata surya kita dianggap unik, satu di antara setriliun. Para ahli astronomi memandang sebagian besar bintang lain sebagai titik-titik cahaya belaka yang tak pernah melahirkan dunia. Walaupun kita bukan pusat alam se-

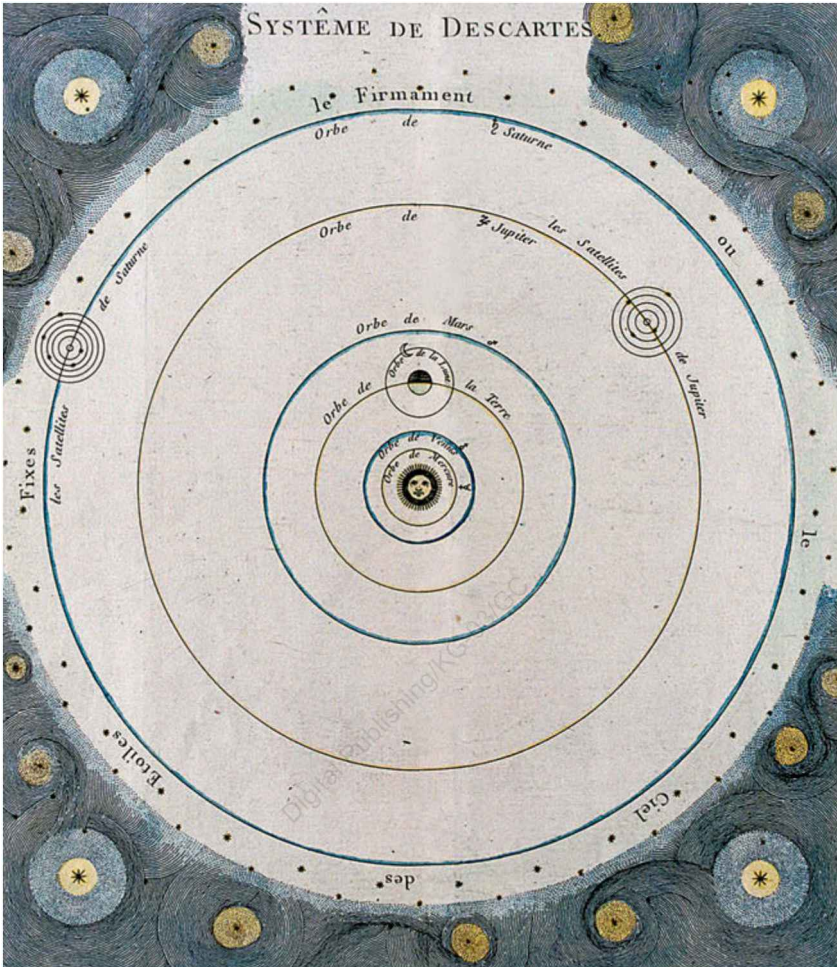
Satu meteor Perseid melintas langit, tampak seolah menyerempet rasi Pleiades, di atas El Capitan dan Half Dome di Taman Nasional Yosemite, AS.

mesta, kita di Bumi dapat tetap merasa istimewa. Matahari kita adalah bintang langka yang memiliki planet dan bulan, demikian yang dipercaya para saintis kala itu.

Kuiper memiliki jiwa saintis, keinginan mengetahui bagaimana bintang dan planet terjadi. Sewaktu remaja, si penatap bintang muda tertarik dengan gagasan seseorang yang hidup hampir tiga abad sebelum dia: filsuf abad ke-17 René Descartes. Descartes menjabarkan teorinya mengenai asal-usul tata surya, membayangkan awan warna-warni berputar dengan Matahari di tengah. Planet-planet muncul dari awan berputar itu. Namun Descartes hidup pada zaman dan di tempat di mana hukuman untuk mengajukan gagasan yang bentrok dengan pandangan keagamaan negara dapat berupa pemenjaraan, penyiksaan, kematian. Descartes menyimpan sendiri gagasannya, yang baru diterbitkan 20 tahun sesudah dia meninggal. Konsep awal Descartes mendahului pemahaman Isaac Newton atas gravitasi dan perannya dalam pembentukan tata surya. Itu lebih daripada cukup untuk menggugah akalbudi seorang saintis masa depan.

Kuiper sungguh menjanjikan sehingga ayah dan kakeknya mengumpulkan sedikit uang yang mereka punya untuk membelikan dia teleskop sederhana. Dia lulus ujian dan diterima di Universitas Leiden pada 1924, di mana semacam zaman emas kecil astronomi sedang terjadi: Willem de Sitter, yang bekerja sama dengan Einstein dalam kosmologi; Bart Bok, yang mengajar kita banyak hal mengenai evolusi dan bentuk galaksi rumah kita; Jan Oort, yang menemukan tempat Matahari kita di galaksi dan memprediksi keberadaan awan besar inti komet yang mengelilingi tata surya, yang menyandang namanya; dan Ejnar Hertzsprung, yang mengembangkan sistem klasifikasi bintang—itulah sebagian pengajar dan mahasiswa terkenal di sana.

Leiden merupakan tempat istimewa bagi para ahli astronomi kala itu. Boleh jadi cahaya sekitar yang kuat di negara berpenduduk padat dan langit yang sering berawan membuat orang-orang



Tata surya Descartes abad ke-17 menggambarkan planet-planet mengelilingi Matahari dan bintang-bintang terbentuk di pusaran di luarnya.

Belanda beralih dari pengamatan optis ke astronomi radio, yang tak terhalang awan. Teleskop radio menangkap pancaran radio dari benda astronomis, bukan cahaya tampak. Astronomi radio memperluas pandangan kita akan kosmos melebihi bintang sempit radiasi elektromagnetik yang bisa dilihat mata kita.

Kuiper punya kelemahan. Dia suka bertengkar dan mudah terlibat konflik dengan kolega-koleganya. Dia juga bisa serampangan



dalam hal mengakui hasil karya orang lain. Kepribadiannya kiranya membuat kehidupan dan pekerjaan di kolam kecil Leiden sulit. Barangkali Kuiper lega ketika ditawarkan pekerjaan di Observatorium McDonald di satu tempat di Texas barat. Kesempatan memimpin observatorium terpencil, jauh dari ibukota-ibukota budaya sains, pasti menarik bagi dia. Lagipula, di sana bintang-bintang bisa dilihat lebih jelas daripada di tempat lain. Tak ada kota di dekat sana sampai berkilo-kilometer, hanya kegelapan liar.

Pada peralihan abad ke-20, para ahli astronomi telah menemukan bahwa separo dari semua bintang yang tampak sebenarnya adalah pasangan bintang yang terikat gravitasi. Sebagian besar bintang ganda (*binary stars*) seperti kembar, terbentuk dari rahim gas dan debu yang sama. Yang lain tumbuh secara terpisah, dan baru terikat gravitasi belakangan. Bintang-bintang lainnya tetap sendiri sepanjang hidup. Kuiper memilih berkonsentrasi ke bintang ganda. Dia bertanya-tanya apakah bintang ganda dapat menunjukkan cara terbentuknya planet-planet di tata surya kita, dan bagaimana planet-planet jadi terikat gravitasi ke Matahari.



Seperti semua penemuan lain dalam sejarah sains, Kuiper melanjutkan pencarian yang diawali orang lain pada zaman dan di tempat lain. Dalam kasus ini, pencarian awalnya adalah pekerjaan seorang saintis menjanjikan yang hanya bisa memandang bintang-bintang sebentar saja.

Pada 1784, seorang pemuda tampan berumur 20 tahun bernama John Goodricke mengunjungi observatorium milik temannya, Edward Pigott, di York, Inggris. Goodricke tuna rungu karena

Gerard Peter Kuiper menggunakan spektrometer inframerah di Observatorium McDonald untuk menganalisis atmosfer Mars, 1956.

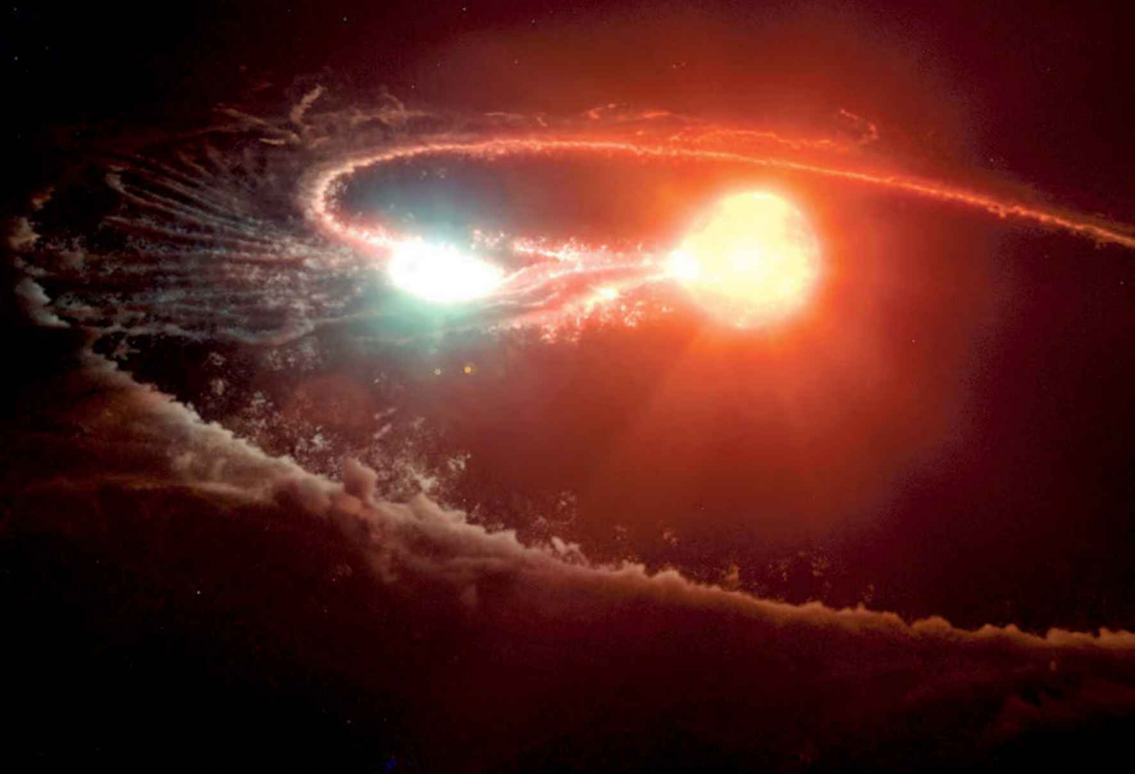
penyakit semasa kecil. Namun seperti Kuiper, Goodricke dapat melihat hal-hal yang terlewatkan oleh orang lain. Teleskop yang Goodricke gunakan hanyalah tabung kayu dan cermin, tapi yang dilihatnya membuat dia takjub: Ada sesuatu yang aneh di bintang bernama Beta Lyrae.

Goodricke menggambar hasil pengamatannya di buku catatan. Dia kemudian terus mengamati dan menggambar Beta Lyrae dan bintang-bintang tetangganya selama berminggu-minggu. Jelas dari gambarnya bahwa dia mengamati kecerlangan Beta Lyrae naik turun. Itu kedua kalinya dia melihat bintang berperilaku begitu aneh, dan tak ada ahli astronomi lain yang pernah melaporkan hal serupa. Kecerlangan bintang itu berubah secara teratur dalam periode amat singkat—hitungan hari. Efeknya kecil tapi nyata, seperti dibuktikan pengamatan terus-menerus Goodricke. Goodricke kaget ketika mendapati dia bisa memprediksi naik turunnya kecerlangan Beta Lyrae dengan sangat akurat. Pola pengulangan angka di catatan langsung bisa terlihat.

Goodricke penasaran apa yang dapat menyebabkan perubahan seperti itu di kecerlangan bintang, tapi dia belum mendapat penjelasan yang memuaskan bagi bukti di depannya. Kemudian dia memikirkan suatu kemungkinan mengejutkan: Umpama ada sesuatu yang mengelilingi Beta Lyrae dan menimbulkan gerhana di bintang itu secara teratur. Apa itu? Goodricke menulis kata-kata berikut di buku catatannya: *"Suatu dunia, barangkali ... ?"*

Ketika penemuan Goodricke diketahui Royal Society yang bergengsi di Britania pada 1786, Goodricke langsung diangkat menjadi anggota Royal Society. Kabar penghargaan itu tak pernah sampai. Empat hari sesudahnya Goodricke meninggal karena pneumonia. Dia baru berumur 21.

Seratus lima puluh tahun kemudian, Gerard Kuiper memandang Beta Lyrae, bintang yang telah membingungkan Goodricke, tapi dengan teleskop yang jauh lebih besar. Kuiper juga punya kemampuan hebat yang belum ada pada zaman Goodricke: spektroskopi.



Seniman menggambarkan Beta Lyrae, bintang ganda kontak. Hubungan antarbintang yang akrab itu diikat oleh gravitasi dan dihubungkan jembatan api sepanjang dua belas juta kilometer.

Spektroskopi adalah cara membedah cahaya bintang untuk menemukan komposisi atom dan molekulnya. Kuiper memandang spektrum yang dihasilkan cahaya Beta Lyrae, yang sudah diketahui memiliki bintang penyerta dan memandang bahwa, seperti semua bintang, di sana banyak hidrogen dan helium. Namun ada juga besi, natrium, silikon, dan oksigen.

Belum ada kejutan. Namun ini rahasianya. Garis-garis gelap spektrum bergeser sedikit maju mundur, seperti yang bisa diperkirakan jika suatu benda tersembunyi menarik-narik bintang itu dengan gravitasi. Namun Kuiper juga mengamati sekumpulan garis terang di spektrum yang tak bergerak. Dua kumpulan garis?! Satu bintang tak bisa membuat dua kumpulan garis. Pastilah terjadi sesuatu yang lain. Kuiper menyadari bahwa Beta Lyrae bukan satu bintang. Beta Lyrae adalah dua bintang dalam pelukan orbital. Ketika mencoba mengerti apa yang dia lihat malam itu, Kuiper

menemukan dan menamai hubungan antarbintang paling akrab di kosmos: sistem bintang ganda kontak.

Dua bintang, satu besar dan satu kecil, terhubung oleh suatu jembatan api yang terbuat dari bahan bintang, menyembur dari bintang yang kecil. Pertukaran materi ini menjelaskan adanya garis terang. Kedua bintang terkunci secara fisik dalam kesatuan abadi, terikat gravitasi, dan jembatan menyala *sepanjang dua juta kilometer*. Bintang biru putih yang kecil itu enam kali lebih besar daripada Matahari kita. Bintang satunya berwarna oranye dan lima belas kali lebih besar. Permukaan bintang-bintang itu bergolak hebat. Bintik-bintik besar muncul dan lenyap. Lidah api menyembur dan melingkar di ketinggian. Keduanya tak bulat seperti bintang lain karena terletak sangat berdekatan. Gaya pasang surut gravitasi menarik kedua bintang sehingga bentuknya berubah menjadi seperti tetes air menyala.

Sistem Beta Lyrae terletak sekitar seribu tahun cahaya dari Bumi. Teleskop-teleskop terbesar abad ke-20 belum cukup kuat untuk membedakan dua bintang Beta Lyrae. Kita perlu kemampuan baru spektroskopi untuk membedakan keduanya.

Kuiper memikirkan bagaimana sistem bintang ganda kontak terbentuk. Dia membayangkan bintang besar dan kecil Beta Lyrae berputar balik dalam waktu sampai masa pembentukannya dari awan gas dan debu besar berwarna-warni. Dia menyimpulkan bahwa keduanya terbentuk ketika awan itu menjadi begitu padat sehingga terbentuk pusaran-pusaran gravitasi. Ketika merenungkan bintang ganda kontak, Kuiper tak bisa tak membayangkan apakah ada hubungan antarbintang yang gagal terbentuk.

Bertanyalah Kuiper kepada diri sendiri: Apakah dunia kita, Matahari kita, Bulan kita, dan semua planet di tata surya kita *hanyalah sistem bintang ganda yang gagal terbentuk*? Apakah planet gas raksasa Jupiter, dunia yang pertama lahir dari Matahari kita, sebenarnya bintang yang *gagal terbentuk*? Dan jika tata surya kita terbentuk dengan cara demikian, apakah hal yang sama terjadi di bintang-bintang lain di seantero kosmos?



Foto eksposur panjang hujan meteor Geminid, yang dilewati Bumi tiap Desember.

Pada 1949, Kuiper mengagetkan dunia dengan menyatakan bahwa tata surya kita tak istimewa-istimewa amat—tiap bintang lain punya planet-planet sendiri.

Suatu dunia, barangkali?

Bagaimana kalau triliunan dunia yang mungkin ada?

Namun sains belum siap untuk alam semesta seperti itu. Bahkan belum siap melangkah keluar planet. Mengapa tidak?

Sains dahulu terbagi menjadi kerajaan-kerajaan kecil—berbagai cabang sains—dan saintis di satu bidang tidak bekerja sama dengan saintis bidang lain. Itu harus berubah agar kita bisa bertualang ke luar Bumi. Semuanya memuncak dalam perseteruan antara Kuiper dan seorang saintis besar lain. Seperti dua bintang di sistem bintang ganda kontak, keduanya tak dapat saling melepaskan diri. Namun meski saling benci, keduanya bersama-sama melahirkan jenis sains baru.



Sepotong meteorit besi yang jatuh dan membentuk kawah sekitar 50.000 tahun lalu di tempat yang sekarang Texas. Pola kristalnya menunjukkan bahwa meteorit itu pernah menjadi bagian satu planet kecil yang terbentuk antara Mars dan Jupiter kira-kira 4,5 miliar tahun lalu—pertengahan April di Kalender Kosmik.



Kadang kosmos menerobos masuk begitu saja dan mendobrak pintu. Seperti malam-malam ketika Anda girang melihat banyak kilatan cahaya keemasan menghujani Bumi. Apa yang terjadi?! Planet kita melalui sisa-sisa komet. Medan puing sepanjang jutaan kilometer. Itu alasan kita melihatnya sebagai hujan bintang jatuh. Namun yang jatuh bukan bintang, hanya potongan-potongan batu dan es yang terbakar di atmosfer Bumi. Sebutannya adalah hujan meteor, dan terjadi pada tanggal yang sama tiap tahun. Mengapa? Karena Bumi butuh satu tahun untuk mengelilingi Matahari sampai kembali ke tempat yang sama, di mana komet pernah lewat dahulu. Itulah artinya satu tahun.

Pecahan-pecahan komet dan asteroid jatuh ke Bumi sepanjang waktu. Pecahan-pecahan itu berasal dari dunia-dunia lain, sisa-sisa penciptaan tata surya kita. Namun bagaimana cara memahaminya?

Pada masa hidup Gerard Kuiper, selama pertengahan abad ke-20, cara memahaminya tergantung Anda jenis saintis apa.

Para ahli geologi membawa palu, memecahnya, dan melihat debunya melalui mikroskop untuk mempelajari struktur kristal. Itulah cara mereka menemukan potongan apa yang dibawa meteorit untuk teka-teki Bumi.

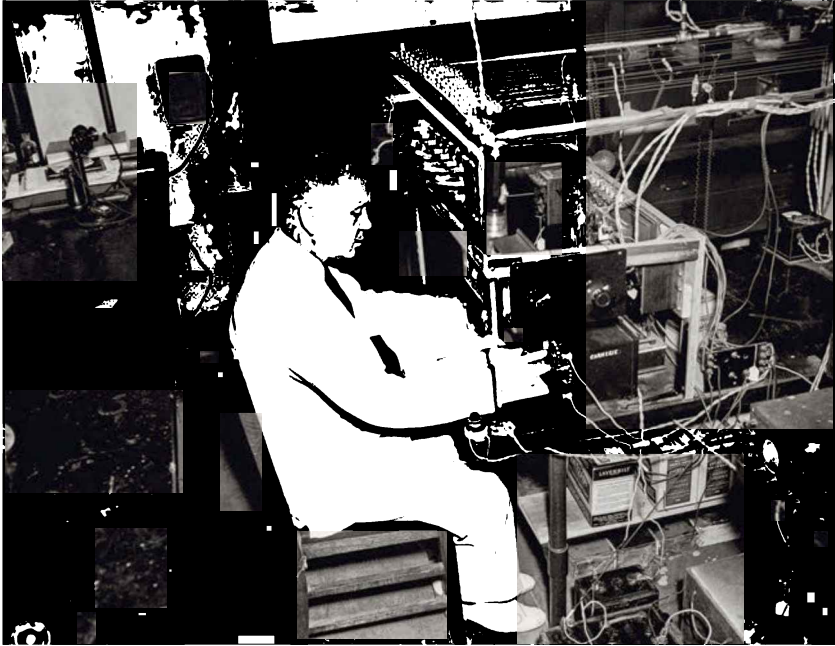
Ahli kimia mencari jawaban yang sama; mereka mencemplungkan potongan meteorit dalam asam klorida untuk melihat perubahan senyawanya. Mereka siksa meteorit itu untuk membongkar rahasia alam di tingkat molekul.

Ahli fisika ingin melihat sifat-sifat paling dasarnya: massa, kepadatan, kekerasan, ketahanan terhadap panas.

Ahli biologi tak menggubrisnya. Dulu ahli biologi mengabaikan meteorit karena tak menganggap ada kemungkinan meteorit dari antariksa berhubungan dengan mereka. Menurut mereka, kehidupan hanya dapat berasal dari satu tempat—Bumi.

Namun yang paling gila, para ahli astronomi mengabaikannya juga. Pandangan para ahli astronomi terpaku ke kejauhan. Tak bisa disalahkan. Apa yang terjadi di astronomi ketika itu? Gagasan-gagasan besar mengenai peristiwa dan benda jauh di luar tata surya. Teori relativitas Einstein, dengan visinya menunggang berkas cahaya melintas kosmos, dan penemuan Edwin Hubble bahwa galaksi-galaksi saling menjauh selagi alam semesta mengembang—itulah yang membuat merinding para ahli astronomi zaman itu, bukannya memandangi batu di halaman belakang rumah sendiri. Mempelajari planet, bulan, komet, dan meteor tata surya kecil kita sendiri dianggap remeh.

Itu sampai Kuiper berani bertualang ke wilayah yang belum dijajah astronomi. Malam demi malam, dia begadang, seorang empu yang memainkan teleskop 82 inci seberat 45 ton seperti biola, mencari petunjuk asal-usul tata surya. Misteri itu dia anggap tak bisa dipecahkan tanpa kerja sama semua bidang sains.



Harold C. Urey, yang mendapat Hadiah Nobel karena menemukan deuterium dan berperan penting dalam eksploitasi atom dan penjelajahan tata surya.

Namun para saintis tak tahu bahwa mereka saling membutuhkan.

Ahli geologi dan ahli astronomi tak berbicara bahasa yang sama, dan tak ada departemen universitas di Bumi di mana ahli kimia dan ahli biologi dapat saling bantu dalam pengetahuan dan gagasan. Jadi di tengah antah berantah, di satu pojok Texas barat, Kuiper sendirian menjelajahi tata surya.

Dia mengamati Titan, salah satu bulan Saturnus, dan menemukan bahwa Titan punya atmosfer. Atmosfernya penuh metana. Satu titik cahaya di langit tiba-tiba menjadi kemungkinan dunia. Kuiper menggunakan spektroskop untuk meneliti awan di lapisan atas atmosfer Jupiter untuk mencari tahu awan itu terbuat dari apa, menemukan struktur kimia dan atomnya. Ketika dia melihat planet merah Mars, dia menemukan karbon dioksida di atmosfer Mars.

Dia bertanya-tanya: apa saya sedang memandang masa depan atau masa lalu planet saya sendiri?

Namun beberapa orang menganggap Kuiper hanya menerobos sana-sini, ahli astronomi yang ikut campur urusan kimia. Salah se-orangnya ialah Harold Clayton Urey.

Urey seorang ahli kimia. Seperti Gerard Kuiper, dia harus berjuang dalam sains. Urey lahir di kota kecil di Indiana pada 1893 dalam keluarga miskin, seperti Kuiper. Keadaan makin parah ketika Urey berumur enam tahun. Ayahnya meninggal. Dia tak mampu kuliah, sehingga bekerja sebagai guru di sekolah di kamp pertambangan di Montana. Kecerdasannya tampak salah tempat di sana. Orangtua muridnya mendorong dia agar mencari cara untuk bisa kuliah. Ketika itu dia sudah berumur pertengahan 20-an, tapi itu belum terlambat. Urey menuruti saran itu sampai akhirnya dia meraih Hadiah Nobel pada 1934 karena menemukan deuterium.

Pada 1949, Urey sudah berjabatan tinggi, profesor di University of Chicago, yang dari dulu sampai sekarang adalah salah satu pusat sains dunia. Namun sesuatu dalam dirinya kurang senang ketika berita mengenai penemuan-penemuan Kuiper bermunculan. Pertama, iri karena ada saintis lain jadi terkenal. Itu masih normal. Namun soal asal-usul planet ... Dia gundah karena ada ahli astronomi berkoar mengenai sifat kimia tata surya. Itu wilayah kekuasaannya.

Saintis itu manusia. Primata, malah. Mereka punya beban evolusioner yang sama seperti kita. Kuiper dan Urey adalah dua pejuantan alfa yang memilih argumen sains sebagai senjata pilihan. Keduanya menyandera orang yang sama, mahasiswa muda menjanjikan dengan hasrat besar memahami alam semesta.



Pada 1910, ketika berumur lima tahun, ayah Carl Sagan, Sam, melakukan perjalanan besar bersama saudara tirinya yang berumur 15 tahun, George. Kedua pemuda itu meninggalkan Kam'yanets

THE EVOLUTION OF INTERSTELLAR FLIGHT

Chicago News - Nov. 3, 1944
NEW NAZI WEAP
 V-2. New rocket with
 3000 m.p.h. terrorizes Brit.

San Francisco
XS-1 BREAKS SONIC BARRIER
 White Plains, N.M. - 1948 (AP)
 The Army's XS-1 rocket plane
 passed the speed of sound. It broke
 the sound barrier.

see this generation will
 Glenn L. Martin believes this since he
 "it's Record - Glenn L. Martin
 flight today."

Willkes-Barre, Pa. - Sept. 1953
O.S.R.D. DEVELOPS ATOM-DRIVEN SPACE SHIP
 DRIVE FOR AVIATION RECORD
 NEW DISCOVERY HE INSISTED OF 5 MILES A SECOND
 PHILADELPHIA RECORD
SPACESHIP REACHES MOON!!!

(UP) It was proven that
 U.S. and U.S.S.R. get it

NEW ORLEANS POST
MARS REACHED
 1960 - The red planet

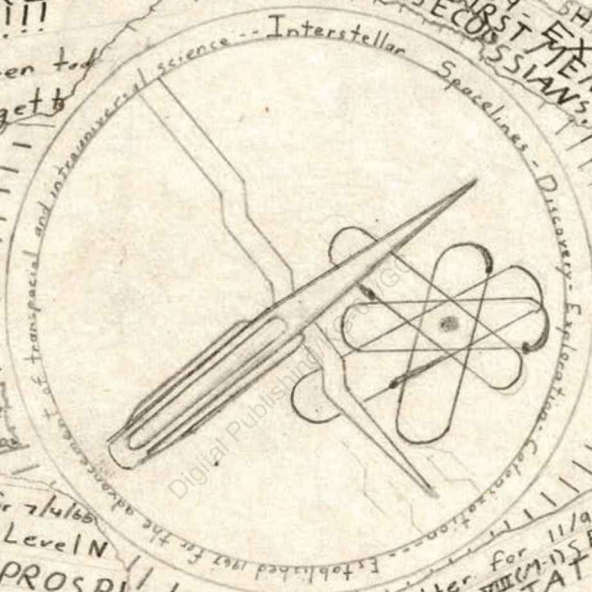
1961 - CLEVELAND
LIFE FOUND ON VENUS
 Prehistoric-like
 reptiles are known

NEWSLETTER for 7/1/66
 ERICA, Division 23, Level N
PLUTO AND PROSPERITY
 HAVE BEEN EXPLORED
 WHAT NEXT?

ERICA, Division 1, Level A
 Newsletter for 4/29/68

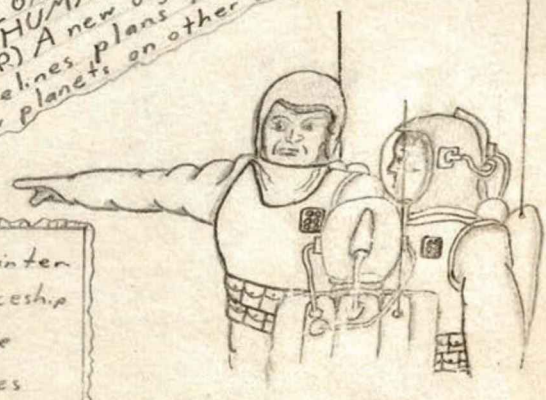
"LITTLE STAR, how I wonder what you are." So
 Have you ever said
 this rhyme? If you have and are inter-
 ested in joining the crew of a spaceship
 like M-1, contact the ISS office
 nearest you Young men and couples
 from 22 to 32 years in top physical condition

Denver Star - Apr. 17, 1955 - © 1955
SOVIET AND AMERICAN GOVERNMENTS AGREE ON MUTUAL COOPERATION IN PREPARATION FOR FIRST MOON SHIP
 SHIP
 SHINGTON EXTRA - 1959
 EXTRA - TWO AMERICA
 METEORITE
 SPACE ARMOR
 ANTI-TRIBUNE
 JUPITER AND SATURN ARE NE



NORTH AMERICA
 Division 74, Level
 Newsletter for Ailes
JUPITER AND SATURN ARE NE

Level D Newsletter for 11/1/67 - NO
EPSILON ALTAIR (M-1) SEEN FIT FOR HUMAN HABITATION!
 (IP) A new organization, Interstellar
 Space Lines plans to explore and colonize
 new planets on other stars. An exped



Podilskiy, satu kota kecil di Ukraina, dan menuju Pulau Ellis. Meski ditinggal mati ibunya sejak kecil dan mengalami masa muda yang keras, Sam tetap memiliki sifat manis dan ceria sepanjang hidup. Keterbukaan hatinya, digabung dengan kecerdasannya, adalah kombinasi hebat. Dia kuliah sampai dua tahun di Columbia University dengan penghasilannya dari bermain biliard. Dia berharap menjadi apoteker, tapi tak punya cukup uang untuk menyelesaikan kuliah. Jadi dia bekerja untuk New York Girl Coat Company milik George sebagai tukang potong.

Sam jatuh cinta dengan seorang anak tanpa ibu lain, Rachel Molly Gruber. Rachel lahir di New York City, tapi ayahnya mengirim dia ke Austria untuk hidup bersama kakek-neneknya ketika ibunya meninggal kala melahirkan. Rachel baru berumur dua tahun ketika itu. Musibah itu dan yang lainnya menghancurkan rasa percaya Rachel dan mengarahkan kecerdasannya ke strategi defensif emosional. Luka-lukanya membuat dia galak dan sukar dijangkau. Dia satu dari banyak perempuan sezamannya yang bisa saja mencapai hal-hal besar andai di dunianya perempuan lebih dihargai. Cinta Sam lebih kuat daripada segala trauma yang Rachel tanggung. Mereka hidup bersama dengan bahagia dan punya dua anak, yang pertama Carl, lalu enam tahun sesudahnya, seorang putri bernama Cari.

Di apartemen sederhana mereka di Bensonhurst, satu kawasan kelas pekerja di Brooklyn pada pertengahan 1940-an, Carl berbaring di karpet ruang keluarga, menjiplak poster perekrutan untuk armada antariksa antarbintang.

Dahulu pernah ada seorang anak laki-laki yang punya kemampuan istimewa. Dia dapat melihat lebih jauh daripada semua orang lain: ke masa depan. Gambarnya menampilkan judul-judul berita

“Evolusi Penerbangan Antarbintang” sebagaimana dibayangkan seorang anak di Brooklyn pada pertengahan 1940-an: impian Carl Sagan mengenai penjelajahan galaksi pada masa depan.

koran zaman itu, mencapai puluhan tahun ke depan, mengumumkan penjelajahan galaksi yang ambisius dan pesat. Pada zaman ketika kehidupan di sini berada di detik-detik terakhir keterungkungan selama empat miliar tahun di Bumi, dia mengimpikan pergi ke planet-planet, bahkan ke bintang-bintang.

Maka pada siang itu, gambar si anak laki-laki mengandung pernyataan mengejutkan: "SUATU ORGANISASI BARU, INTERSTELLAR SPACE LINES, BERENCANA MENJELAJAHI DAN MENDIAMI PLANET-PLANET BARU DI BINTANG-BINTANG LAIN."

Impiannya berakar di realitas ngeri tapi jauh yang mendominasi masa kecilnya, Perang Dunia II yang baru saja berakhir. Dengan tepat dia menyimpulkan bahwa roket senjata Nazi dalam Blitzkrieg mengandung potensi penerapan damai dalam penjelajahan antariksa.

Chicago News, 3 November 1944: "SENJATA BARU NAZI. V-2, ROKET BARU DENGAN KECEPATAN 3.600 MIL PER JAM MENEROR BRITANIA," tulisnya.

Kemudian dia melejit tujuh tahun ke depan untuk membayangkan kehebatan sains dan teknologi para pemenang perang bergabung untuk menjelajahi kosmos. *Denver Star*, 13 April 1955: "PEMERINTAH SOVIET DAN AMERIKA BERSEPAKAT BEKERJA SAMA MEMPERSIAPKAN KAPAL PERTAMA KE BULAN." Dan sesudah Bulan, pijakan pertama ke bintang-bintang, dia membayangkan jalur kemajuan manusia menembus galaksi. *New Orleans Post*, 1960: "MARS TERCAPAI!" "Level D Newsletter", 9 November 1967: "EPSILON ALTAIR 8 DIANGGAP COCOK DIHUNI MANUSIA!"

Namun impian itu tak berakhir ketika dia harus menyimpan proyek kecilnya karena sudah jam makan malam keluarga. Carl tak ingin hanya pergi dalam khayalan, dia ingin *benar-benar pergi*; dia ingin tahu seperti apa dunia-dunia itu. Dia juga tahu satu-satunya cara melakukan itu adalah menjadi saintis.

Carl belakangan menjadi murid dua raksasa yang bertarung, Kuiper dan Urey. Meski keduanya saling benci. Carl menyayangi

mereka. Bersama-sama, mereka bertiga mendobrak dinding-dinding antarbidang sains. Carl juga mau melakukan apa saja untuk merobohkan dinding tertinggi, antara sains dan kita semua.



Keluarga Sagan sudah bernasib lebih baik ketika Carl remaja, dan tinggal di rumah kecil di pinggir kota. Ketika Carl menjadi murid Rahway High School di New Jersey, dia menulis satu makalah berisi spekulasinya mengenai asal-usul kehidupan. Dia ingin esainya menerima pendapat kritis pakar, tapi dia belum pernah bertemu saintis dan tak tahu siapa yang harus ditanyai. Maka Rachel mengirim makalah Carl ke orang paling mendekati saintis yang mereka kenal, putra seorang teman, Seymour Abrahamson, mahasiswa pascasarjana biologi di Indiana University.

Abrahamson sangat terkesan sampai-sampai menunjukkan makalah Carl ke profesor terkemuka di fakultasnya, H.J. Muller, yang telah meraih Hadiah Nobel karena menemukan bahwa radiasi menyebabkan mutasi gen. (Muller adalah sahabat dan kolega Nikolay Vavilov. Dia juga berbicara menentang Lysenkoisme pada hari-hari ketika rezim Stalin sedang paling kejam. Muller meminta Vavilov meninggalkan Uni Soviet bersamanya, dan hampir tidak bisa lolos hidup-hidup.) Carl kaget ketika Muller menyukai gagasannya dan mengundang dia ke Indiana untuk berdiskusi. Itu mengarah ke pekerjaan sains pertama Carl pada musim panas di lab Muller.

Carl memberitahu saya banyak kesalahan pemula memalukan yang dia buat pada musim panas itu. Namun Muller terus menyemangatnya. Muller mendorong Carl mengejar impiannya mengetahui bagaimana kehidupan berawal di sini dan apakah kehidupan terjadi di tempat lain. Dia membantu Carl mempublikasikan dua makalah sains pertamanya. Dan ketika Carl masuk University of Chicago, Muller mengabari Harold Urey bahwa ada calon saintis

menjanjikan yang datang ke sana. Apa Urey mau menerima Carl sebagai muridnya?

Namun cara membimbing Urey berbeda dengan Muller. Muller itu lembut dan mendukung, sementara Urey kasar dan cepat marah. Pada awal 1950-an, ketika Carl tiba di lab Urey, sang ahli kimia sedang melakukan hal yang dibencinya dari Kuiper—melanggar batas bidang sains lain. Urey sedang menerobos biologi. Urey dan timnya ingin tahu bagaimana kehidupan dapat muncul dari zat tak hidup. Bersama mahasiswanya yang lain, Stanley Miller, Urey merancang percobaan untuk meniru keadaan kimia atmosfer Bumi purba. Mereka ingin melihat apakah zat-zat kimia sederhana dapat berubah menjadi asam amino, bahan pembangun kehidupan. Bisa-kah kilat menjadi pemicu banggunya zat menjadi kehidupan?

“Dan jika bisa terjadi di Bumi sini, di mana lagi bisa terjadi?” Carl bertanya. Ketika Carl menulis makalah berisi spekulasi mengenai kemungkinan itu, Urey menanggapi ketus. Dia memarahi muridnya itu karena berkeliaran ke luar bidang. Namun Carl tetap menghormati Urey karena dia tahu sikap keras itu bakal membuat dia menjadi saintis yang lebih baik.

Ketika Carl menyelesaikan kuliah magister pada 1956, dia memutuskan tetap di University of Chicago untuk kuliah doktoral fisika dan astronomi. Program Doktor Astronomi-nya berada di Observatorium Yerkes di Williams Bay, Wisconsin, yang ketika itu dipimpin musuh Urey, Gerard Kuiper. Musim panas 1956, Kuiper mengundang pemuda 21 tahun itu untuk bergabung di McDonald Observatory selama beberapa bulan untuk mengamati Mars. Waktu itu Kuiper adalah satu-satunya ahli astronomi planet di planet ini.

Mars sedang ada di posisi yang pas terhadap Bumi—kedua dunia itu berjarak paling dekat satu sama lain dalam 30 tahun. Kuiper dan Sagan bergantian memandang melalui teleskop, dan selalu geleng-geleng kepala dengan kecewa. Cuacanya tak mem-



Zaman antariksa berawal: Pada 4 Oktober 1957, Uni Soviet meluncurkan Sputnik 1, satelit buatan manusia yang pertama.

bantu—di Texas maupun Mars. Badai debu global di Mars membuat Kuiper dan Sagan tak bisa melihat apapun yang baru. Jadi malam-malam musim panas itu mereka habiskan dengan membicarakan banyak hal. Kuiper mengajari Sagan cara paling efisien untuk menguji gagasan baru yang berani dan cara terbaik membuat perhitungan “di balik amplop”, yang Carl kemudian gunakan setiap hari sepanjang hidup. Mereka berfantasi mengenai seperti apa kiranya dunia-dunia lain yang mengelilingi bintang-bintang. Dua imajinasi saintifik tak kenal takut bertualang menembus galaksi sepanjang musim panas itu. Gerbang dunia keajaiban membuka untuk Carl.

Membayangkan kosmos pada musim panas itu adalah mengetahui sejauh mana kita sudah maju sesudahnya. Anggap kita hidup pada zaman sebelum ada wahana antariksa atau manusia pernah meninggalkan Bumi. Belum ada yang pernah melihat dunia kecil kita sendiri dari antariksa. Kemudian, dalam sekejap, satu



Jejak manusia di dunia asing.

hari pada tahun berikutnya, segalanya berubah. Pada 4 Oktober 1957, roket Vostok diluncurkan dari Kosmodrom Baikonur di Uni Soviet ke antariksa, melepas muatannya, lalu jatuh kembali ke Bumi. Paket yang diluncurkan terbuka dan mengeluarkan bola masa depan yang berkilat dengan antena-antena perak. Sputnik 1, satu pemancar radio sederhana, mengelilingi Bumi tiap 96 menit. Orang di seluruh dunia keluar pada malam hari, naik ke atap rumah untuk mencari bulan kecil buatan manusia yang mengumumkan tak ada yang dapat menghentikan kita mencapai impian paling berani. Pikirkan: Sesuatu yang kita buat menjadi cahaya baru di langit malam, seperti bintang.

Gelagapan-lah Amerika Serikat. Perang Dingin adalah kontes antara ideologi-ideologi yang saling bertentangan mengenai hak milik dan kebebasan. Ketika Rusia berhasil mencapai antariksa lebih dulu, tampaknya buruk bagi pandangan dunia Barat. Dan jika Rusia dapat mengirim Sputnik ke orbit, di atas kepala orang Amerika, maka Rusia dapat dengan mudah mengirim barang-barang lain yang lebih berbahaya. Amerika yang lama dilindungi

dua samudra dan tetangga lemah yang bersahabat di utara dan selatan menjadi rawan diserang untuk pertama kali. Amerika tak bisa lagi mengamankan langit di atasnya. Tiba-tiba ada jalur baru untuk memata-matai dan mengirim senjata nuklir. Tak ada tempat di Bumi yang dapat dilindungi dari spionase atau serangan. Amerika Serikat butuh program antariksa juga. National Aeronautics and Space Administration, NASA, didirikan tak sampai setahun sesudah Sputnik, 1958.

Ada produk samping Sputnik yang lain. Sains akhirnya siap memandang Bumi seperti Kuiper memandangnya selama bertahun-tahun: sebagai planet. Boleh jadi itu tampak jelas bagi kita sekarang, tapi pada zaman nasionalisme fanatis yang diperjuangkan sampai mati, gagasan itu adalah geledek intelektual dan spiritual.



Sementara itu, perseteruan Kuiper dan Urey masih berlanjut, bahkan ketika keduanya mendapat peran pemimpin di program antariksa yang baru dimulai. Carl terus bolak-balik di antara lab kedua orang yang bersaing itu. Permusuhan antara Kuiper dan Urey sangat merusak secara emosional sampai Carl berkata pada waktu itu dia merasa seperti anak orangtua yang bercerai. Dia, satu-satunya mahasiswa yang dibimbing keduanya, adalah jembatan yang tersisa di antara Kuiper dan Urey.

Urey berjuang keras agar NASA mau pergi ke Bulan. Salah satu alasannya adalah keinginan untuk mengetahui bagaimana tata surya terbentuk. Kuiper memprediksi seperti apa jadinya kalau kita sampai ke sana—kiranya seperti berjalan di atas salju. Neil Armstrong belakangan berkata bahwa dia merasakan saljunya Kuiper di bawah sepatunya ketika pertama kali melangkah di Bulan.

Berkat Urey dan Kuiper, Carl menjadi bagian petualangan besar itu. Yang pertama di antara judul-judul berita yang dia gambar waktu kecil—Wahana Antariksa Mencapai Bulan—mulai terwujud dan dia menjadi bagian upayanya. Dia mempersiapkan para astronot Apollo sebelum mereka berangkat ke Bulan, dan dia hadir ketika para saintis pertama kali bertemu untuk mengevaluasi informasi yang didapat dari fajar penjelajahan antariksa.

Untuk pertama kali, para ahli biologi, geologi, astronomi, fisika, kimia, mereka semua saling bicara. Sebenarnya lebih banyak saling teriak.

Carl Sagan muda berdiri di satu pertemuan sains bersama pertama dan terkenal berkata, “Hei, kawan-kawan, kita generasi pertama saintis yang mendapat kekayaan ini. Kita semua bersama-sama.” Dia memberi nada untuk sains planet pada masa pembentukannya yang masih berlaku sekarang. Dia turut mendirikan dan menyunting jurnal modern antardisiplin pertama untuk para peneliti yang mempelajari dunia-dunia di kosmos—*Icarus*—yang masih ada sekarang. Dia satu dari segelintir saintis yang membuat pencarian aneka ragam dunia, kehidupan dan kecerdasan luar Bumi, menjadi upaya sains terhormat. Dia melakukan kampanye sepanjang hidup untuk menyampaikan segala yang terungkap itu bagi kita.

Gerard Kuiper dan Harold Urey keburu meninggal sebelum eksoplanet pertama ditemukan pada 1995. Carl meninggal setahun sesudahnya, lama sebelum misi Kepler NASA dan observatorium lain memastikan keberadaan ribuan dunia yang mengelilingi matahari-matahari lain. Berkat ketiga saintis itu, dan banyak yang lain, sekarang kita tahu bahwa diperlukan hanya beberapa juta tahun untuk evolusi bintang dan pembentukan planet serta bulan dari awan gas dan debu—dengan kata lain, membentuk tata surya.

Masa pembentukannya panjang, tapi tak jarang terjadi. Di Bimasakti, terjadinya kira-kira sekali per bulan. Di alam semesta

yang bisa dilihat dan berisi satu triliun galaksi, berisi sampai seratus juta triliun bintang, tiap detik bisa terlahir seribu tata surya baru.

Jentikkan jari-jari Anda. Terjadi *seribu tata surya baru*. Jentikkan. *Seribu tata surya baru...* Jentikkan. *Seribu tata surya baru...*

Jentikkan. *Seribu tata surya baru...*

Jentikkan. Jentikkan. Jentikkan.



| BAB TUJUH |

PENCARIAN KEHIDUPAN CERDAS

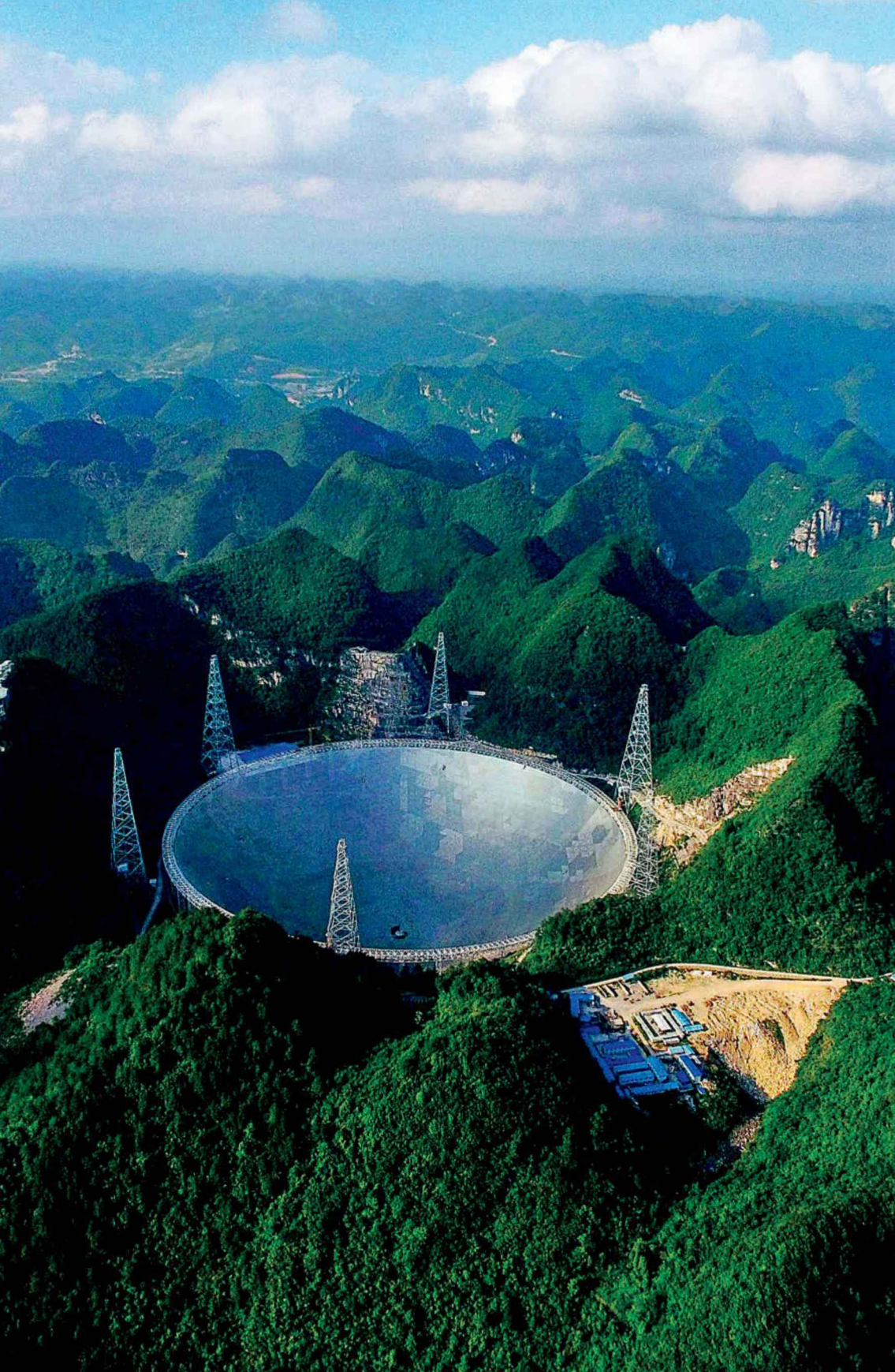
Tidaklah membesar-besarkan kalau dikatakan bahwa ujung radikel [akar] yang memiliki [kepekaan], dan mampu mengarahkan gerakan bagian-bagian yang terhubung dengannya, bertindak seperti otak hewan tingkat rendah; otak yang berada di ujung depan tubuh, menerima kesan dari organ indera, dan mengarahkan beberapa gerakan.

—CHARLES DAN FRANCIS DARWIN,
THE POWER OF MOVEMENT IN PLANTS

*And you? Remember how the crickets came
Out of their mother grass, like little kin,
In the pale nights, when your first imagery
Found inklings of your bond to all that dust.*

—WALLACE STEVENS,
“LE MONOCLE DE MON ONCLE”

Pandangan 360° lensa mata ikan atas Bimasakti di atas teleskop radio
Atacama Large Millimeter Array (ALMA) Chile





Kita mencari-cari tanda kehidupan cerdas di langit. Namun apa yang bakal kita lakukan jika menemukannya? Apa kita siap untuk kontak pertama? Apakah kita bisa cukup cerdas untuk tahu ada yang mengirim pesan kepada kita?

Kita baru bisa mendeteksi sinyal radio selama seratus tahun lebih sedikit. Peradaban luar Bumi bisa saja telah membombardir Bumi dengan sinyal radio selama jutaan atau miliaran tahun sebelumnya, dan di sini tak ada yang sadar itu terjadi. Barangkali sehari sesudah Anda membaca ini, seseorang akan menemukan cara baru mendengarkan kosmos, media komunikasi fisik baru, yang belum kita temukan selama ini.

Dan bagaimana jika kita cuma seperti semut di mata alien? Kita semua tahu bagaimana kita memperlakukan semut. Bagaimana jika makhluk luar Bumi lebih pintar daripada kita? Bagaimana jika mereka punya teknologi, senjata, mikroba, dan virus yang membuat kita tak berdaya? Sejarah kontak pertama di antara peradaban-peradaban Bumi—manusia-manusia di timur dan barat, utara dan selatan—telah ternoda genosida. Di seantero kosmos, adalah hal-hal seperti cerita kontak pertama antarbudaya yang tingkat teknologinya berbeda, dengan akhir bahagia?

Saya tahu satu cerita kontak pertama, tapi terlalu cepat untuk mengetahui bagaimana akhirnya.

Five-Hundred-Meter Aperture Spherical Radio Telescope, atau FAST, di Tiongkok barat daya, teleskop terbesar di dunia.

Di Dawodang, Provinsi Guizhou, Tiongkok barat daya, ada satu keajaiban dunia. Five-Hundred-Meter Aperture Spherical Radio Telescope (FAST), teleskop terbesar di Bumi, berada di lembah hijau subur, dikelilingi pepohonan rindang yang tumbuh rapat seperti brokoli di gunung-gunung berbentuk seperti roti. FAST menerima cahaya pertama kali, awal resmi masa kerja suatu teleskop, pada September 2016.

FAST bisa melihat benda-benda yang tiga kali lebih suram daripada teleskop terbesar sesudahnya, yang juga teleskop radio, Observatorium Arecibo yang diselesaikan pembangunannya pada 1963 di Puerto Riko. FAST juga bisa melakukan hal lain yang tak bisa dilakukan teleskop Arecibo: berubah bentuk. Piringan luas FAST terdiri atas panel-panel aluminium yang bisa bergerak dengan diarahkan komputer untuk mengubah fokus ke bagian lain langit.

Misi FAST adalah memecahkan persoalan-persoalan belum terjawab mengenai asal-usul alam semesta, dan riwayat awalnya. FAST akan mencari pulsar, bintang neutron yang berputar cepat, dan menggunakan frekuensi rotasi pulsar untuk mencari tanda-tanda gelombang gravitasi, riak-riak di tatanan ruang-waktu.

FAST juga akan mencari tanda-tanda peradaban alien, tapi hanya yang sangat jauh dari Bumi.



Ada suatu bentuk kecerdasan lain, yang jauh lebih dekat. Kita bahkan belum tahu keberadaannya sampai baru-baru ini. Kecerdasan kompleks tak terbayangkan itu dibangun komunitas yang populasinya sangat besar. Berkas-berkas cahaya menembus kanopi pohon birch, maple, tung, fir, pinus, ek, dan poplar, juga permadani tebal lumut dan ranting jatuh di bawah kaki kita. Leluhur kita pada zaman dulu, hewan kecil mirip celurut, tumbuh besar di tempat-



Jejaring Jagat Jembar di bawah kaki kita: miselium, kolaborasi akbar kingdom-kingdom kehidupan.

tempat semacam itu. Hutan. Barangkali mereka tahu apa yang kita baru temukan. Kehidupan rahasia tempat itu penuh drama, ramai dengan percakapan. Sebagian besarnya diucapkan dengan bahasa elektrokimia, dan terjadi di skala terlalu kecil dan gerak terlalu lambat untuk diperhatikan makhluk-makhluk seperti kita.

Ada sesuatu yang bahkan lebih ajaib sedang terjadi di bawah kaki kita. Ada Jejaring Jagat Jembar kuno di bawah tanah, jejaring syaraf luas yang mempersatukan hutan, menjadikannya satu organ dinamis yang saling berkomunikasi dan berinteraksi, memiliki kemampuan bertindak, dan pengaruh kepada peristiwa-peristiwa di atas tanah. Matriks berpendar dari benang-benang rumit itu, yang membentang ke segala arah dan sungguh kompleks, bernama miselium.

Miselium adalah jejaring komunikasi dan transportasi tersembunyi, ciptan kolaborasi kuno antara jamur, tumbuhan, bakteri,

dan hewan. Sembilan puluh persen dari semua tumbuhan dan pohon di Bumi terlibat dalam hubungan saling menguntungkan yang dimungkinkan oleh miselium. Mereka bertukar gizi, pesan, dan empati satu sama lain, lintas spesies, bahkan lintas kingdom kehidupan.

Jamur adalah organ reproduktif, buah miselium. Melihat jamur tumbuh liar di hutan adalah mengetahui bahwa internet alami akbar di bawah kaki kita hidup. Beberapa jamur menyebar triliunan spora ke angin, masing-masing spora merupakan pasukan payung yang membawa pesan kehidupan. Satu spora akan terbang melintas hutan lalu mendarat di gumpalan lumut lembut. Spora lain akan mendarat di dekatnya. Kedua spora akan mengeluarkan hifa bercabang-cabang yang akhirnya bertemu dan menjadi benang putih miselium yang mirip kapas. Itulah seks bagi jamur. Sesudah beberapa lama, dalam pencarian kelembapan, bagian baru miselium itu akan kembali ke bawah tanah dan berhubungan dengan jejaring yang lebih besar.

Dunia rahasia pepohonan sudah lama tersembunyi dari kita. Bagi pepohonan, miselium adalah sambungan nyawa ke sesama. Miselium membuat hutan menjadi komunitas. Jangkauan struktur akar pohon di bawah tanah lebih besar daripada pohon itu sendiri. Ujung-ujung akar pohon berjalin dengan konektom benang miselium. Akar menggunakan konektom untuk memelihara, saling mengasuh, dan bahkan merancang penundaan eksekusi. Ketika satu pohon di hutan ditebang, pohon-pohon lain membantu si korban penebangan dengan ujung-ujung akarnya, dan mengirim bantuan penyambung hidup—air, gula, dan zat gizi lain, melalui miselium. Infus terus-menerus dari pohon-pohon tetangga bisa menjaga tunggul pohon bekas ditebang hidup terus selama puluhan, bahkan ratusan tahun.

Pepohonan juga tak hanya melakukan itu untuk yang sejenis dengannya. Pohon spesies lain juga dibantu. Mengapa? Apa untung-



Hutan hujan dekat puncak Manuoha, di Te Urewera, Selandia Baru. Sesudah kita mulai memperhatikan percakapan yang hidup di hutan, apakah pepohonan dan tetumbuhan lain tampak berbeda bagi Anda?

nya? Tunggul pohon jarang bisa tumbuh lagi menjadi pohon sehat yang akan menghasilkan benih baru untuk menyebar DNA. Apakah karena kasih sayang? Persaudaraan? Apakah karena kehidupan mereka bergantung kepada kesehatan keseluruhan hutan, bahkan makhluk-makhluk yang sangat berbeda dari mereka? Bisakah pohon bertindak dalam jangkauan lebih luas daripada kita?

Kita tahu bahwa pohon punya keahlian mengasuh yang hebat. Pohon induk akan mengirim gizi dari sistem akarnya. Satu pohon pinus akan memberi perhatian terus-menerus kepada keturunannya, walau umurnya sudah tak muda berdasarkan standar kita, beberapa mencapai 80 tahun. Namun pohon tak hidup mengikuti laju manusia.

Yang muda punya kecenderungan ingin tumbuh cepat. Mereka tak tahu bahwa jika mereka berbuat begitu, akan ada terlalu banyak udara di sel-sel batang mereka. Nanti kalau angin kencang



Di tempat-tempat seperti Taman Nasional Tarangire, Tanzania, pohon akasia mempertahankan diri terhadap jerapah yang suka daunnya dengan merusak rasa daunnya dan memperingatkan pohon di sekelilingnya agar melakukan hal yang sama.

dan pemangsa datang, mereka akan lemah dan rentan. Induk pinus menaungi pinus muda dengan cabang-cabangnya supaya tak mendapat cahaya Matahari terlalu banyak dan tumbuh terlalu cepat.

Berapa banyak hutan yang pernah saya masuki tanpa saya sadari apa yang sebenarnya terjadi di sekeliling? Kok bisa-bisanya kita mencari kecerdasan alien padahal kita bahkan tak bisa mengenali atau menghormati kesadaran di sekeliling kita, bahkan di bawah kaki kita?

Baru pada akhir abad ke-20 para saintis pertama kali sadar bagaimana pohon akasia di Afrika Selatan mempertahankan diri terhadap pemangsa, dan memberi peringatan ke anggota komunitasnya. Sekelompok jerapah datang dan mulai menggigiti dedaunan di puncak akasia. Ketika pertama kali digigit, pohon itu melepas zat-zat kimia beracun yang tak disukai jerapah. Namun bukan hanya itu yang dilakukan pohon akasia. Pohon itu juga mengelu-

kan hawa kimia, teriakan berupa etilena ke akasia-akasia di sekelilingnya: “911! Ada masalah!” Ketika menyadari rasa daun berubah menjadi tak enak, jerapah tahu akasia sadar keberadaan mereka dan memperingatkan pohon lain.

Para jerapah langsung menjauhi gerumbul akasia itu, melewati pohon-pohon yang berdekatan, untuk mencari makan di pepohonan lain yang lebih jauh. Jerapah tak bisa hanya pindah ke pohon sebelah, karena pohon itu juga sudah tahu harus mengeluarkan racun yang bisa merusak makanan jerapah. Jerapah jadi harus berjalan jauh untuk menemukan akasia yang belum mendengar peringatan “Awat ada jerapah lapar datang!”

Pohon ek besar dengan ribuan daun bisa merasakan ulat merayap di atas salah satu daunnya. Sinyal elektrokimia dikirim ke sekujur pohon, seperti sinyal syaraf kita, tapi tak secepat syaraf karena pohon hidup dengan skala waktu lebih lamban. Kecepatan seruan “aduh” bagi pohon hanya satu sentimeter per menit, jadi akan butuh setidaknya satu jam bagi pohon untuk bereaksi menghasilkan zat kimia yang mengusir hama.

Kalau pemangsa menyerang, hal pertama yang dilakukan beberapa pohon adalah mengambil sampel liur untuk membaca DNA spesies yang menyerang. Kemudian pohon itu menyesuaikan tanggapan kimia dengan kelemahan khusus si pemangsa. Dalam kasus-kasus tertentu, pohon mengeluarkan feromon yang menarik musuh pemangsa. Adilkah jika kita berkata bahwa pepohonan punya pengetahuan mendalam mengenai kimia, entomologi, dan ilmu Bumi lain? Seberapa berbedakah pengetahuan mereka dan kita?

Apakah pohon berkesadaran? Apakah pohon berkecerdasan? Ataukah itu sekadar interaksi segala bentuk kehidupan yang teruji lingkungan selama berzaman-zaman, dan perilakunya berevolusi melalui seleksi alam? Apakah kemampuan luar biasa pohon hanya produk samping DNA yang berusaha berkembangbiak? Adakah bedanya kalau kita yang melakukan hal-hal itu?

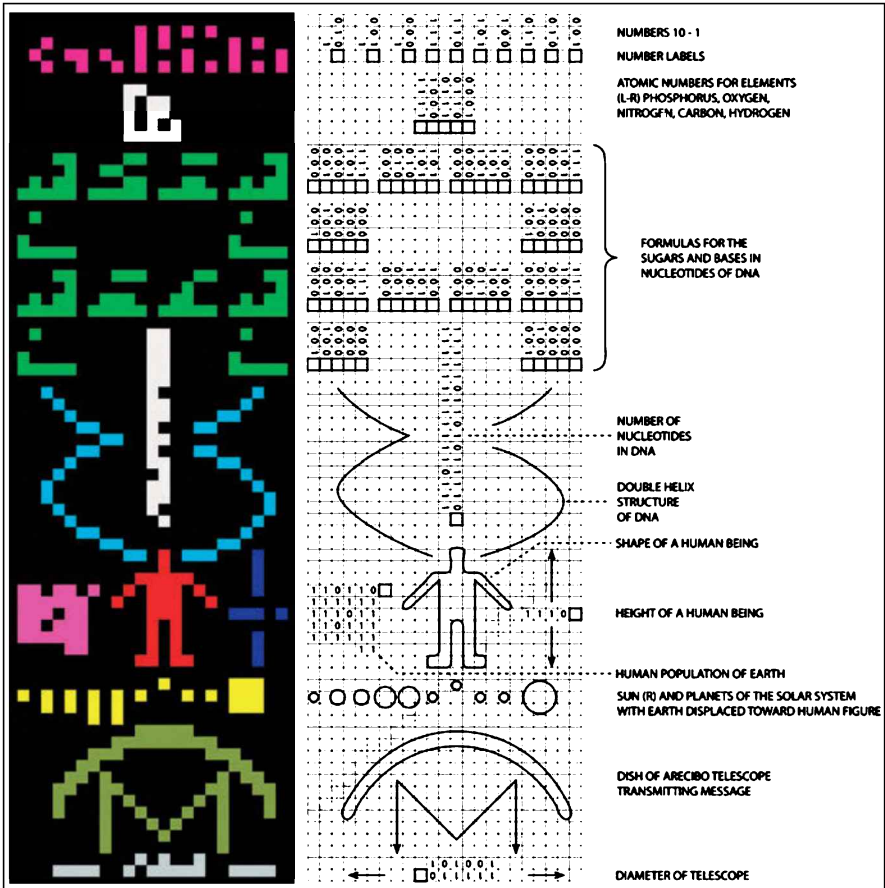


Di seantero alam, kita menemukan percakapan elektrokimia antara bentuk-bentuk kehidupan dari berbagai spesies dan kingdom. Namun bagaimana dengan percakapan antara dua dunia berbeda? Apa yang mungkin menjadi kesamaan kita dengan makhluk yang berkembang di dunia yang berbeda, dengan sejarah evolusioner yang sepenuhnya berbeda?

Hukum-hukum alam di kosmos yang diburu para saintis sangat kuat karena tidak bisa dilanggar atau ditolak. Hukum-hukum itu berlaku, apapun yang ingin kita percayai. Hukum yang berlaku bukan hanya secara lokal, melainkan di seantero alam semesta dan sepanjang waktu. Apa yang mungkin sama-sama dimiliki kita dengan peradaban cerdas dunia lain? Sains dan matematika. Bahasa simbolis saintis, ahli matematika, dan insinyur menghindari hal-hal yang hilang dalam penerjemahan dari satu budaya ke budaya lain. Bahasa simbolis, termasuk yang digunakan dalam pemrograman, punya kadar presisi jauh lebih tinggi daripada kata-kata. Bahasa simbolis tidak mudah disalahtafsirkan.

Saya hanya tahu satu bahasa simbolis non-manusia, dan baru satu kejadian ketika kita sebagai manusia membuat kontak dengan bentuk kehidupan yang menggunakannya. Pengetahuan astronomi dan matematika mereka bakal membuat malu sebagian besar kita. Komitmen mereka untuk menyelesaikan perbedaan secara demokratis, dan mencapai kesepakatan terluas melalui debat, tak tertandingi masyarakat manusia manapun. Mereka penjelajah yang menggunakan bahasa simbolis untuk saling memberitahu mengenai hal-hal yang mereka temukan dalam perjalanan. Puluhan juta tahun lalu mereka karnivora, tapi kemudian mereka berhenti dan menjadi vegan. Dunia ini berubah karenanya, menghasilkan keindahan luar biasa ke manapun mereka pergi.

Tak ada teori prediksi evolusi. Belum. Jika Anda mengamati leluhur kita 480 juta tahun lalu, tak bakal ada petunjuk kemiripan



Pesan ke sistem bintang lain, ditulis dalam bahasa simbolis:
pesan Arecibo Frank Drake pada 1974

dengan kita. Begitu juga dengan para tokoh cerita kontak pertama. Kalender Kosmik adalah patokan berguna untuk menunjukkan seberapa besarkah bagian yang diwakili hampir setengah miliar tahun.

Bayangkan pagi 20 Desember tahun kosmik. Gelombang-gelombang kecil Samudra Panthalassa, laut yang meliputi seluruh Belahan Bumi Utara dalam zaman bernama Ordovisium, menyapu kaki kita. Belahan Bumi Utara masih sepenuhnya tertutup air.

Gondwana, superbenua yang sebagian besarnya datar, menyebar melintas Belahan Bumi Selatan sampai Khatulistiwa, di sana-sini disela perairan kecil di pedalaman.

Waktu itu adalah masa kehidupan memulai pesta keragaman lagi, menghasilkan bentuk-bentuk baru, membuat percobaan dengan tangkai mata, antena, zirah, penjepit, pisau, dan segala jenis ciri anatomi aneh bin ajaib—kosakata yang masih digunakan kehidupan hari ini. Namanya adalah Peristiwa Besar Biodiversifikasi Ordovisium. Terjadinya 40 juta tahun sesudah Ledakan Zaman Kambrium, lompatan besar pertama kehidupan memasuki keragaman.

Organisme-organisme sederhana yang berada di batang pohon kehidupan mulai bermutasi dan beradaptasi ke berbagai lingkungan. Batang menumbuhkan tunas dan cabang baru, selagi kehidupan menyebar. Di laut saja jumlah jenis kehidupan berlipat tiga. Masa itu adalah fajar artropoda, kelompok avertebrata yang mengenakan kerangka di luar, bukannya di dalam seperti kita ratusan juta tahun kemudian. Artropoda Zaman Ordovisium memelopori rancangan bangun tubuh paling sukses yang pernah dihasilkan evolusi kehidupan. Hari ini pun 80 persen lebih hewan yang ada adalah artropoda.

Pada Zaman Ordovisium, hutan-hutan lumut mini meliputi bentang alam yang bersungai dan berdanau, dikelilingi tetumbuhan yang lebih banyak hidup di air daripada daratan. Di pantai laut dangkal, krustasea kecil yang tampak seperti kaki seribu keluar dengan ragu-ragu dari air dan membuat rumah baru di dunia baru, daratan.

Serangga berevolusi dari krustasea (gagasan yang saya usahakan tak pikirkan kalau sedang makan di restoran hidangan laut). Delapan puluh juta tahun berlalu, dan sampailah kita pada pagi 22 Desember di Kalender Kosmik. Jamur raksasa, beberapa sampai setinggi 7 meter dan garis tengahnya 1 meter, mendominasi bentang

alam. Jamur-jamur itu lebih besar daripada pohon tertinggi, yang kala itu baru setinggi beberapa puluh sentimeter. (Jamur sebesar itu membuat kita bertanya-tanya sebesar apa jejaring bawah tanah yang menopangnya.)

Selagi kita melanjutkan ke 29 Desember, jamur raksasa aneh berganti pohon yang makin lama makin tinggi. Bunyi baru mulai terdengar di planet ini: desir angin melalui ranting dan daun.

Waktu itu kehidupan di Bumi belajar terbang. Udara adalah relung yang terbuka lebar dan kosong bagi kehidupan. Serangga menguasainya sendirian selama *90 juta tahun*. Belum ada reptil terbang, burung, kelelawar yang melahap mereka ... hanya ada serangga lain. Kemampuan terbang adalah lompatan evolusioner besar bagi serangga, memungkinkan mereka menyebar ke seantero planet ini. Serangga membuat keangkuhan manusia tak ada apa-panya. Serangga sudah ada di Bumi seratus kali lebih lama daripada kita. Bentuk serangga yang kita lihat dan yang dilihat dinosaurus pada Zaman Kapur Akhir tak banyak berubah. Merekalah para raja waktu, melintas seratus juta tahun tanpa menjadi berbeda.

Dahulu pun Anda tak bakal mau berurusan dengan tawon. Pikirkan saja, seratus juta tahun lalu tawon sudah ada selama *150 juta tahun*. Tawon sudah jadi pemburu ganas kala itu, mengincar lalat naas untuk dibawa pulang ke sarang untuk dimakan anak-anak tawon, larva.

Tawon sudah hidup seperti itu selama 150 juta tahun. Dahulu, tidak ada hewan yang membantu pembuahan tumbuhan, mengangkut benih secara efektif ke organ reproduksi tumbuhan di tempat yang jauh—dengan kata lain, menjadi mak comblang untuk tumbuhan. Kemudian terjadi sesuatu di skala mikroskopis yang membuat Bumi menjadi berwarna-warni. Barangkali ada tawon menyerang laba-laba yang sedang berada di organ seksual tumbuhan dan tanpa sengaja terkena serbuk sari. Zarah debu cokelat kecil menempel ke kaki-kaki si tawon.



Tawon yang fosilnya ditemukan di Brazil timur laut ini hidup bersama dinosaurus pada Zaman Kapur akhir, sekitar 90 juta tahun lalu. Bentuknya sangat cocok dengan lingkungan, sampai-sampai sukar dibedakan dengan tawon zaman sekarang.

Drama yang terjadi di sana bukanlah pertarungan antara laba-laba dan tawon, melainkan menempelnya serbuk sari ke kaki tawon. Tidak banyak yang bisa dilihat, hanya beberapa butir, tapi debu ajaib itu—serbuk sari—berisi kekuatan untuk mengubah dunia, memungkinkan terjadinya sejumlah pemandangan paling indah yang pernah dilihat di planet ini. Hari ini, lebih daripada seratus juta tahun kemudian, itu masih berlaku.

Pikirkanlah sebutir debu serbuk sari. Bentuknya amat rumit, dengan geometri memukau gaya Escher. Anda harus bisa melihat alam di skala nano untuk mengetahui geometri mencolok dan beragam di benih yang keluar dari alat kelamin jantan tumbuhan. Tiap butir serbuk sari dibentuk evolusi dengan beraneka strategi bertahan hidup, yang diasah waktu. Beberapa tampak seperti ranjau darat, sebagian tertutup duri mirip pisau, semuanya khas. Serbuk sari itu tangguh. Harus begitu. Seringkali berduri, selalu

terbungkus dua dinding pelindung. Saking kuatnya, Anda bisa tembakkan serbuk sari lewat pistol dan serbuk sari itu akan tetap utuh bentuknya serta kemampuannya untuk berbiak.

Bayangkan satu butir serbuk sari sebagai satu titik yang terbawa tanpa sengaja di ujung rambut tubuh tawon yang beristirahat sebentar di tumbuhan. Si tawon kemudian pergi dari tumbuhan itu, dan berputar-putar sebelum menentukan arah. Tawon kita mendekati organ kelamin betina tumbuhan Zaman Kapur dan mendarat di struktur berbentuk bunga berwarna hijau kecokelatan. Selagi si tawon terbang lagi, butir serbuk sari lepas dari rambut di tubuhnya dan terlontar ke udara seperti pemain trapeze. Ketegangan sesaat selagi serbuk sari melayang di udara seperti peluru meriam. Akan-kah jalurnya membawa dia ke tempat kecil di mana kehidupan bisa berawal? Serbuk sari itu melayang seperti pemain basket, menembus bukaan sempit stigma, bakal biji di tumbuhan betina. Atau barangkali pada saat pertama, terjadi kebetulan—sebutir serbuk sari menumpang ke tumbuhan lain lagi di punggung kumbang yang tak tahu apa-apa.

Semua itu terjadi selama Zaman Kapur, sekitar 65 juta tahun lalu. Namun sekarang bayangkan Anda punya ratusan ribu tahun, jutaan tahun, puluhan juta tahun, untuk kemunculan kerja sama antara serangga dan tumbuhan dari serangkaian coba-coba menjadi kemitraan formal. Spesies-spesies baru serangga berevolusi. Mereka membawa kerja sama antara kingdom hewan dan tumbuhan ke puncaknya.

Nah, ada tawon lain terbang pulang ke sarang. Dia membawa lalat di mulutnya, makanan untuk anak-anaknya. Namun tubuhnya juga ketempelan serbuk sari dari bunga. Selagi si tawon berada di sarang, beberapa butir serbuk sari jatuh dan larva anaknya memakan serbuk sari kaya protein itu. Selama berzaman-zaman, berevolusilah jenis bentuk kehidupan baru, yang tak lagi membawa pulang daging untuk dimakan. Makhluk baru itu membawa serbuk ajaib buatan bunga: lebah.

Lebah tak doyan makan bagian tubuh serangga mati. Mereka hanya makan serbuk sari, dan bukan karena tren. Lebah menjadi penyerbuk yang berkomitmen penuh. Tumbuhan memberi imbalan setimpal dengan evolusi organ kelamin betina yang makin menarik, dengan warna mencolok dan bentuk menggoda. Tumbuhan menghasilkan sekresi lezat, nektar manis, yang membuat lebah datang lagi dan lagi. Zaman bunga dimulai.



Bagi kita sebagai manusia, lebah telah menjadi lambang kerajinan tanpa pikir. Kita cenderung berpikir bahwa lebah sekadar robot biologis, terkutuk untuk hidup kaku, terbelenggu peran sempit yang diberikan alam kepada mereka. Namun pandangan seperti itu terhadap lebah lebih disebabkan pandangan egois kita terhadap alam.

Berikut ini kisah kontak pertama kita. Awalnya adalah di suatu tempat berpemandangan indah, danau yang dikelilingi pegunungan hijau dan pepohonan subur, bernama Brunnwinkl di perdesaan Austria, pada awal 1900-an.

Sejak Karl von Frisch masih kecil, dia ingin mengerti apa yang diketahui hewan-hewan lain, bagaimana mereka memandang dunia. Dia ingin tahu apakah ikan bisa melihat warna atau punya indera penciuman. Dia membuat percobaan-percobaan untuk meneliti pengalaman hewan, lalu memfilmkannya. Dia orang pertama yang menggunakan media gambar bergerak untuk menciptakan komunikasi sains populer.

Selama ribuan tahun, manusia telah mengamati manuver lebah yang tersentak-sentak melejit. Namun tak seorang pun pernah mengamati lebah dengan rasa hormat berupa anggapan bahwa tarian lebah itu ada alasannya. Sebelum Frisch, tak seorang pun terpikir menanyakan mengapa lebah bergerak seperti ini dan itu, terbang membentuk serangkaian angka delapan.



Karl von Frisch, penerjemah bahasa simbolis lebah

Dimulai pada 1920-an, Frisch mempelajari tiap gerak lebah, dan terpukau dengan misteri yang belum bisa dia pecahkan. Dia menaruh piring berisi air gula untuk lebah dari sarang percobaan dan mencoretkan cat ke punggung lebah yang datang ke piring. Lebah yang bertanda cat memakan air gula sebelum pulang ke sarang, di mana dia kemudian berhenti di luar pintu masuk sarang lalu menari di bawah cahaya Matahari.

Lebah yang ditandai kemudian kembali lagi untuk makan air gula yang lezat. Frisch mencatat bahwa dalam beberapa jam, banyak lebah lain mengikuti dia ke sana. Semuanya selalu dari sarang yang sama. Namun berikut ini yang menakjubkan: Frisch tahu bahwa lebah-lebah lain tidak mengikuti langsung si lebah bertanda

ke tempat makanan berada. Bagaimana? Karena dia mengamati sarang lebah terus-menerus. Dia dengan cermat menggunakan air gula, bukan madu, supaya lebah tak bisa menggunakan indera penciuman untuk menemukannya. Dia terus memindahkan piring berisi air gula makin jauh, sampai terletak beberapa kilometer dari sarang. Lebah di sarang tetap bisa menemukannya. Jadi bagaimana si lebah bertanda menunjukkan lokasi air gula dengan tepat sehingga rekan-rekan sesarangnya dapat menemukan jalan ke sana tanpa keliru?

Frisch mempelajari lebah bertanda di pintu masuk sarang, menari di bawah cahaya Matahari, membelok ke kanan dan kiri. Selagi mengamati lebah, Frisch menggambar pola tarian lebah yang sekilas tak beraturan di buku catatan sambil memperhatikan posisi Matahari dengan cermat.

Dia mencatat semua gerak tari lebah, tiap belokan ke kiri dan kanan, sampai tak ada lagi keraguan mengenainya. Ada suatu pesan rahasia dalam koreografi lebah. Lebah berbicara dengan *bahasa tari* berupa gerak, yang Frisch sebut *tanzsprache* dalam bahasa Jerman. Dan itu dapat diungkapkan sebagai persamaan matematis. Frisch menemukan bahwa goyangan tubuh selama satu detik setara dengan jarak satu kilometer atau $1s\ w = 1\ km$. Ketika dipadukan dengan lokasi Matahari kita dan arah belokan goyangan, isinya adalah pesan tersandi yang menunjukkan satu pohon di hutan yang penuh makanan. Jika persamaan itu ditangkap monitor FAST di galaksi lain, informasinya bakal menandakan pesan dari kecerdasan asing.

Sesuatu yang bagi bergenerasi-generasi pengamat dianggap hanya gerak hewan bodoh yang tak bermakna sebenarnya adalah pesan kompleks—persamaan yang mempertimbangkan matematika, astronomi, dan kemampuan mengukur waktu, semuanya diolah untuk menyampaikan lokasi makanan yang ingin dibagi ke sanak saudari. Lebah penari menggunakan sudut ke Matahari, bintang

kita, untuk menunjukkan arah umum lokasi makanan. Frisch mencatat bahwa jika lebah terbang menari tegak lurus ke atas, artinya “terbang ke arah Matahari”. Dan jika terbang ke bawah, artinya “jauhi Matahari”.

Belokan ke kiri dan kanan menyampaikan koordinat tepat makanan dalam ruang, kadang sampai berkilo-kilometer. Lama tarian—sampai sepersekian detik—menandakan waktu yang dibutuhkan lebah untuk sampai ke sana. Dia bahkan mempertimbangkan kecepatan angin dan perbedaan ketinggian untuk mempertajam pesan dalam tarian. Dan itu berlaku kapanpun dalam satu tahun, dari sarang ke sarang, dari benua ke benua. Semua lebah sosial tahu cara menghitung dan menyampaikan persamaan navigasi untuk perjalanan dalam ruang dan waktu. Di berbagai bagian dunia, boleh jadi tarian itu punya dialek berbeda, tapi penerjemahannya tampak mudah dilakukan.

Mengapa saya menyebutkan cerita kontak? Dua spesies yang berbeda sekali—manusia dan lebah—berevolusi di dua jalur yang berpisah. Namun kedua spesies itu—dan sejauh yang kita tahu, hanya mereka dan kita di planet ini—bisa menciptakan bahasa simbolis yang ditulis dengan matematika dan mengandung pengetahuan akan hukum fisika—sains. Itulah satu-satunya bahasa yang menurut para ilmuwan mungkin kita miliki bersama dengan peradaban luar Bumi.

Kita hidup berdampingan dengan lebah selama berzaman-zaman, tanpa pernah membayangkan betapa kompleks komunikasi mereka. Yang kita sudah pelajari mengenai masyarakat lebah dalam puluhan tahun sejak Frisch membuat kita sebagai manusia makin tak pantas bersikap congkak, dan mengubah gagasan kita mengenai kehidupan cerdas di Bumi.



Selagi saya menulis ini, demokrasi di dunia tampak lebih rapuh dibandingkan dulu. Namun ada tempat-tempat di Bumi di mana itu tak berlaku. Di mana tiap orang punya suara. Di mana korupsi tak dikenal. Di mana masyarakat bertindak ketika sudah mencapai kesepakatan melalui debat. Di manapun lebah berkumpul, di situlah salah satu tempatnya.

Tak seperti kepercayaan umum, sarang lebah bukan kerajaan. Ratu lebah bukan penguasa mutlak yang mengendalikan lebah-lebah lain. Peran ratu hampir sepenuhnya hanya reproduksi. Sembarang lebah betina bisa naik takhta menjadi ratu kalau diberi makanan yang tepat dan ruang untuk tumbuh.

Ketika cuaca menjadi hangat, dan pepohonan berbunga, ratu lebah mewariskan kekuasaan ke generasi baru ratu. Pada waktu itu—akhir musim semi atau awal musim panas—sekitar separo penghuni sarang lebah, sekitar 10.000 lebah, menjadi resah. Mereka memutuskan sudah waktunya meninggalkan sarang induk, mendirikan koloni baru, entah di mana. Sesudah pergi, mereka tak akan kembali lagi.

Butuh keberanian untuk meninggalkan rumah tanpa pernah kembali, mempertaruhkan segalanya, dan memilih menuju tempat yang tak dikenal. Keputusan penting untuk pindah memicu segala jenis kegiatan. Para ratu muda mulai tumbuh di bilik pemeliharaan khusus. Ratu lama dikelilingi para pekerja, yang terus-menerus mendorong dia. Dorongan itu bukan karena benci. Para pekerja mengolahragakan ratu supaya bisa lebih langsing dan kembali siap terbang. Ketika semua orang siap, waktunya perjalanan dimulai. Waktunya pindah.

Tiba-tiba, satu awan hitam—hijrahnya ribuan lebah—keluar dari sarang. Dengan adanya ratu baru di sarang lama, ratu tua berangkat dikelilingi para petualang. Mereka berkumpul kembali sebagai gerombolan padat berbentuk tetes air, penuh gerakan, bergelantung di cabang pohon, satu organisme yang terdiri atas banyak individu.

Ratusan lebah paling senior—para pemandu—diutus ke segala arah untuk mencari jalan dalam radius lima kilometer. Para pemandu mendatangi pohon-pohon di sekeliling untuk mencari rumah baru terbaik. Mereka sangat pemilih, tidak mau sembarang tempat. Pintu depan sarang, rongga di pohon, harus cukup tinggi agar sarang tak mudah dijarah beruang atau hewan lain yang mengincar madu berharga. Bagian dalamnya juga penting. Para lebah pemandu mengukur bagian dalam rongga, merayap sepanjang dinding-dindingnya, beterbangan bolak-balik dalam pohon. Luas total amat penting. Lebah tak berhibernasi dan harus menjaga kehangatan sarang selama musim dingin, sehingga mesti memproduksi cukup banyak makanan—madu—agar bisa melalui musim dingin. Tiap pemandu mesti mengukur tinggi, lebar, kedalaman. Jika ruang sarang terlalu kecil, atau terlalu besar, keseluruhan kawanan akan musnah sebelum musim semi berikutnya. Sesudah semua pengukuran dicatat, para pemandu kembali ke gerombolan untuk melaporkan temuan.

Ketika semua pemandu sudah kembali, para lebah siap mengadakan musyawarah. Tiap pemandu mengambil posisi. Dia mengajukan tempat terbaik yang dia temukan. Penjelasan hasil pencarian tempat dilakukan dengan bahasa simbolik sains dan matematika. Ratusan pemandu menggunakan tari untuk menjelaskan calon lokasi rumah yang ditemukannya.

Pertama-tama tiap pemandu mencari penonton. Pendapat bisa beragam, selagi tiap lebah pemandu mengumpulkan pendukung. Di musyawarah politik manusia, kita secara teratur berbohong. Para politikus manusia menekan tombol-tombol kita—menyalahkan, mengambinghitamkan, menakut-nakuti, mengeksploitasi kelemahan. Namun lebah tak menggunakan cara-cara itu. Dalam kedua kasus, manusia dan lebah, masa depan bergantung ke pandangan jernih atas realitas. Namun karena suatu alasan, manusia gampang dimanipulasi dan ditipu. Lebah entah bagaimana tahu untuk selalu



berpegang ke fakta. Lebah harus akurat, tak bisa melebih-lebihkan. Lebah bertindak seolah-olah mengerti bahwa kebenaran itu penting, alam tak bisa dikelabui.

Beberapa pemandu mendapat makin banyak pengikut, sementara pemandu lain menari tanpa ada yang menonton, sampai akhirnya menyerah dan bergabung menjadi pengikut pemandu lain. Pemandu yang sudah menemukan tempat optimum untuk rumah baru kawanan adalah yang menari dengan paling bersemangat. Pengamatan saintifik cermat selama puluhan tahun memastikan fakta ini: Tiap lebah punya rumah ideal platonik dalam pikiran. Seperti dalam pertemuan partai politik, beberapa penari tersingkir selagi prosesnya berjalan sampai hanya beberapa calon yang bertahan.

Anggota-anggota kawanan tidak menerima begitu saja kesaksian para penari paling populer. Banyak yang mengecek sendiri. *Skeptisisme adalah mekanisme untuk bertahan hidup*. Para pengecek fakta pergi ke tempat yang diiklankan untuk menilai sendiri. Pikirkan sejenak harus seberapa jernih pesan dalam tari lebah. Pesan itu berisi koordinat satu pohon dalam hutan penuh pohon. Para pengecek menuju koordinat itu satu per satu. Jika rongga pohonnya ternyata sebagus yang diiklankan, maka mereka akan kembali ke kawanan dan juga menari untuk mendukung.

Selagi makin banyak lebah kembali dari pengecekan, membawa hasil misi verifikasi, mereka menari bersama si penari pertama. Lebah lain yang masih mendukung pesaing mulai beralih mendukung mayoritas. Tanpa tipuan, kekerasan, atau kesepakatan di balik layar, para pemandu mencapai mufakat. Namun sebagian besar populasi harus dibujuk. Sesudah mereka bersatu mengikuti satu tarian, sesudah mencapai kesepakatan bulat mengenai tempat baru terbaik untuk dijadikan rumah, migrasi besar bisa dimulai.

Musyawarah politik sarang lebah: Para pemandu melaporkan temuan lokasi potensial untuk membuat sarang baru. Debat besar terjadi.

Kemudian suasana kawanan lebah berubah menjadi lebih giat, dan bunyi dengung makin keras. Lebah menyalakan “mesin” sebelum lepas landas untuk mencapai suhu terbang optimal 35 derajat Celsius. Para lebah pemandu mengukur suhu lebah lain untuk memastikan mereka siap terbang juga. Dalam 60 detik sesudah yang pertama lepas landas, 10.000 lebah terbang dalam formasi menuju rumah baru, dengan ratu di tengah formasi sebesar bus itu. Jika ratu tidak berhasil mencapai tujuan, kawanan lebah tak bisa melanjutkan perjalanan dan segalanya sia-sia. Dengan Matahari sebagai kompas, koloni yang mengangkasa itu sepenuhnya bergantung ke kepemimpinan ratu.

Sesudah sampai di tujuan, seluruh kawanan masuk ke rongga pohon, dan dengungan terhenti. Kawanan lebah memiliki semacam akalbudi, kesadaran bersama yang dibangun individu-individu lebah.

Karena perjalanan pindah sudah selesai, waktunya berbenah, menyiapkan kamar, mengisi persediaan makanan dalam bilik-bilik yang sempurna secara geometris, dan menjadikan tempat itu rumah sendiri ... sampai cuaca menghangat dan pepohonan berbunga lagi. Demikianlah selama puluhan juta tahun.

Pengetahuan mengenai kehidupan lebah adalah warisan Karl von Frisch, orang pertama yang menerjemahkan bahasa simbolis lebah—melakukan kontak dengan jenis akalbudi yang sepenuhnya berbeda.



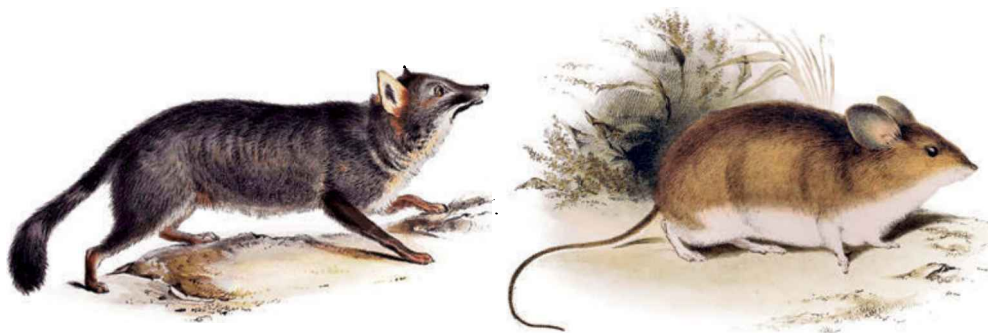
Puluhan tahun sesudahnya, para saintis lain telah melanjutkan penelitian Frisch dengan mempelajari otak lebah. Kita sekarang tahu bahwa lebah tidur, dan beberapa saintis menduga lebah bisa bermimpi. Kita sedang membangun jembatan melintas jurang yang telah memisahkan spesies-spesies selama setengah miliar tahun.

Namun sesudah terpisah selama itu, masih ada tempat-tempat di mana spesies kita dan mereka bertemu—pertanian, arsitektur, bahasa, dan politik. Kita sudah hidup berdampingan dengan lebah sejak lama, tapi kita tak pernah memandang mereka melebihi apa yang dapat mereka lakukan bagi kita. Madu yang disediakan lebah, tanaman yang diserbuki lebah. Sifat kita yang hanya mengutamakan manusia membuat kita buta terhadap budaya lebah yang kompleks. Apa yang menyadarkan kita sehingga akhirnya dapat mengenali kecerdasan lain yang selalu ada di dekat kita?

Saya pikir satu orang telah berbuat lebih banyak daripada yang lain untuk membuka jalan. Saya anggap dia guru spiritual terbesar dalam seribu tahun terakhir. Dialah yang menemukan bagaimana Istana Kehidupan dapat berevolusi dari bangunan sederhana berkamar satu menjadi gedung bermenara yang mencapai bintang-bintang. Dia juga yang pertama kali mengungkapkan kehidupan rahasia sesama penghuni Bumi.

Ada tempat yang kita sebut Aula Kepunahan, monumen untuk semua cabang pohon kehidupan yang telah patah. Namun pohon itu masih hidup—bahkan selagi para saintis terus memperbaiki pandangan mengenai strukturnya. Pohon itu sudah mengalami empat miliar musim semi sejak pertama kali tumbuh. Bunga-bunganya berkembang membawa kemungkinan tak terduga. Satu organisme kecil bersel satu berevolusi menjadi Anda dan segala kehidupan lain di Bumi. Tidak ada cara memprediksi ke mana kehidupan akan menuju—setidaknya untuk sekarang. Tidak ada cara meramalkan bentuk dan kemampuan yang bisa muncul dari organisme sederhana dalam jangka waktu panjang. Kehidupan itu sendiri bisa dilihat sebagai sifat emergen kimia, dan sains sebagai sifat emergen kehidupan—cara kehidupan mulai mengenal dirinya sendiri.

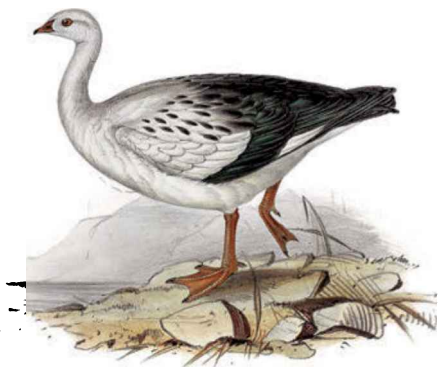
Arah itu tak dituju dengan sengaja. Evolusi tidak bertujuan. Kehidupan terhuyung sepanjang zaman, secara acak membuka semua pintu untuk mencari yang menuju ke masa depan—lalu memasukinya untuk terus mengirim pesan menembus waktu.



Tak ada yang tahu istana itu ada, karena terselubung kabut zaman dan tertutup mitos. Namun satu orang menyibak tabirnya. Dia mempelajari sebanyak mungkin jenis kehidupan. Dia berlayar ke kepulauan di sisi lain planet ini mencari spesies eksotik. Dia mempelajari lebah, bunga, burung, kerang, dan cacing—selama 30 tahun. Dia menemukan suatu pola radikal, yang bakal mengguncang dunia kita.

Penelitian Darwin mengungkap bahwa manusia bukan raja kehidupan, diciptakan terpisah, dan bertanggungjawab untuk mengelola—tapi sebenarnya keturunan suatu keluarga besar kuno. Darwin bersabar dan baru memberitahu dunia mengenai apa yang dia temukan sesudah dia dapat menunjukkan kebenarannya tanpa keraguan. Kemudian dia melakukan lompatan besar lain: Darwin juga salah seorang pertama yang menyadari bahwa jika seluruh kehidupan itu berkerabat, maka ada konsekuensi filosofis tertentu. Jika kita tak diciptakan secara terpisah dari hewan-hewan lain, bukankah itu berarti kita mungkin punya lebih banyak kesamaan dengan mereka? Kesadaran kita ... hubungan kita dengan mereka ... bahkan perasaan kita?

Bukannya satu pulau persepsi manusia di alam semesta, Darwin menyadari bahwa kita dikelilingi cara-cara lain untuk hidup dan berkesadaran. Darwin menganggap sains sebagai jalan menuju kadar empati dan kerendahan hati lebih mendalam. Ketika dia mendengar kabar bahwa seorang petani setempat menyiksa domba ternaknya, Darwin menghentikan riset untuk menangkap orang itu. Dia mengungkap penderitaan hewan liar yang terkena jepitan



Charles Darwin berkeliling dunia untuk meneliti kehidupan. Ketika kembali ke Inggris, dia menerbitkan buku tebal berisi catatan pengamatannya dalam zoologi, termasuk gambar-gambar berikut dari edisi 1839 dan 1841. **KIRI KE KANAN**, rubah Darwin, tikus kuping daun Darwin, kucing pampa, dan soang Andes.

perangkap baja, dan hewan yang dibedah untuk percobaan tanpa dibius. Sepanjang hidup, dia dihantui gambaran anjing tak berdaya yang dibedah seorang saintis; anjing itu menjilati tangan saintis yang membedahnya. Welas asih itu meluas bahkan ke spesies kita sendiri. Dia mengakui ketidakpedulian orang-orang sezamannya pada abad ke-19. Dalam otobiografinya, dia menyampaikan cerita seorang perempuan Afrika yang memilih terjun ke jurang sampai mati ketimbang diperbudak di Brazil. Darwin mengamati bahwa andai perempuan itu seorang Romawi dari zaman dulu, dia bakal dipandang amat berbeda. Kita bakal menamai anak perempuan kita dengan namanya.

Darwin-lah yang mengawali penelitian sains atas dunia tersembunyi di bawah lantai hutan. Dia menyadari bahwa ujung-ujung akar pohon bertindak seperti otak, mengindera dan mengarahkan tindakan pohon, biarpun lambat. Dia membaca ekspresi wajah hewan-hewan lain, berusaha mencari tahu apakah hewan mengalami rasa nikmat, sakit, dan takut seperti kita. Darwin menghormati alam; pengetahuan sains melengkapi dan mempertinggi welas asihnya.

Saya memikirkan Darwin selagi menatap gambar *Saccorhytus coronarius*. Ketika hidup, 540 juta tahun lalu, *Saccorhytus* berukur-



Salah satu prestasi sains paling membanggakan: Kita telah menelusuri silsilah kita sampai ke titik yang kita anggap leluhur bersama pertama seluruh kingdom hewan. Ini lukisan seniman atas *Saccorhytus coronarius*, yang baru-baru ini ditemukan mikrofosilnya di Tiongkok, berukuran selebar satu milimeter ketika hidup 540 juta tahun lalu.

an mikroskopik. Namun bagi kita sekarang makhluk tersebut sungguh besar karena dia dianggap leluhur bersama paling awal kita dan hewan-hewan lain yang sejauh ini sudah kita temukan.

Andai kita dapat menghayati hubungan itu. Andai suatu hari kita dapat memadukan segala pengetahuan akan kehidupan dan menggunakannya untuk membangun Gerbang Pengalaman, suatu tempat untuk kita berkumpul supaya dapat merasakan menjadi yang lain. Bagaimana jika kita dapat mengetahui girangnya burung kondor besar menunggang udara panas di atas Pegunungan Andes, atau galaunya paus bungkuk yang menyanyi ke kekasihnya yang berada di seberang Samudra Pasifik, atau rasa takut di hati musuh bebuyutan kita? Apa itu akan mengubah dunia?

Semuanya, dan kita, dibuat dengan peralatan yang sama ... dengan bahan genetis yang sama ... tapi melalui perjalanan evolusi yang berbeda.

Adakah dunia-dunia lain di kosmos tempat jalur-jalur kehidupan bertemu dan bersilangan? Saya berpikir mengenai tardigrada, hewan mikroskopik yang bisa bangkit dari kematian dan hidup di tempat-tempat terkeras di Bumi di mana tak ada makhluk lain bisa hidup. Mereka telah melalui lima kepunahan massal, dan bahkan bisa hidup di ruang hampa antariksa tanpa pelindung. Makhluk-makhluk yang terlalu kecil untuk dilihat mata telanjang ini telah difilmkan di Lembaga Riset Senckenberg dan Museum Sejarah Alam di Jerman, menghabiskan satu jam tampak saling membuat nyaman. Lihatlah sendiri. Sukar untuk tidak berpikir bahwa yang terjadi di antara mereka adalah kasih, kelembutan.

Jika lebah bermimpi, dan tardigrada bercumbu, adakah banyak jalan di alam semesta yang bisa ditempuh kehidupan untuk bertanya dan mencinta?

Andai kita dapat berdiri di bawah Gerbang Pengalaman, atau membangun satu di dalam diri kita sendiri.



| BAB DELAPAN |

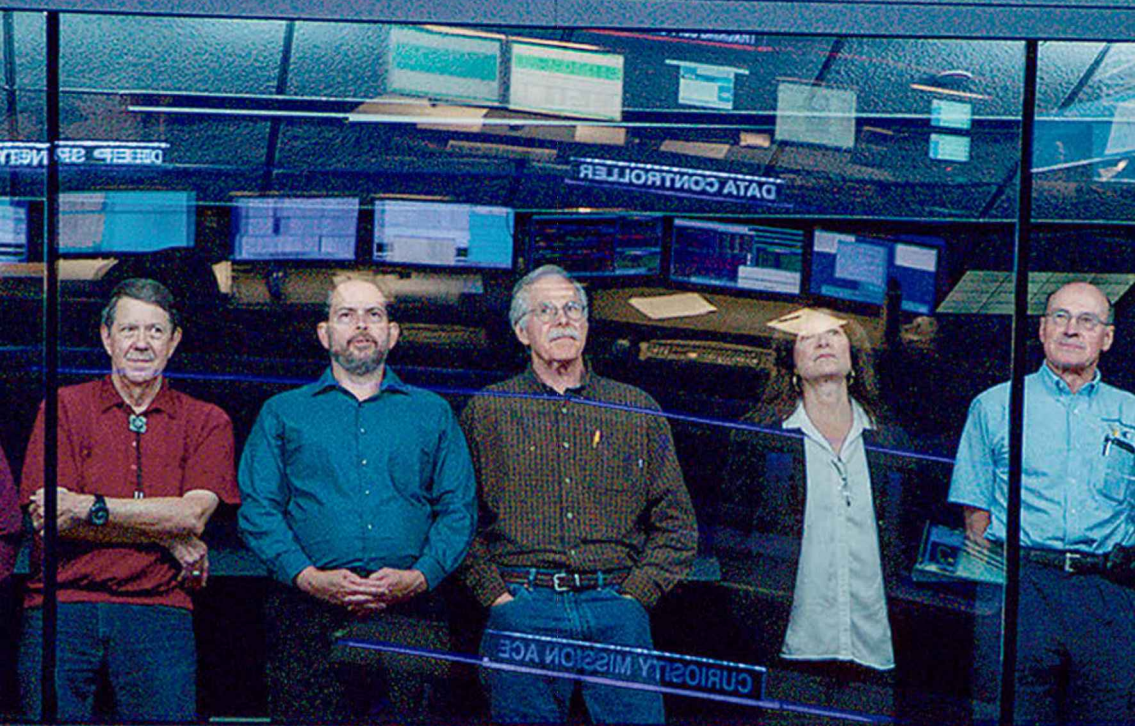
PENGORBANAN CASSINI

Pada abad ke-17 masih ada harapan bahwa kalaupun Bumi bukan pusat Alam Semesta, boleh jadi Bumi adalah satu-satunya “dunia”. Namun teleskop Galileo mengungkap bahwa “Bulan jelas tidak berpermukaan mulus licin” dan dunia-dunia lain barangkali tampak “persis seperti wajah Bumi sendiri”. Bulan dan planet-planet jelas menunjukkan pantas disebut dunia seperti Bumi—dengan pegunungan, kawah, atmosfer, tudung es kutub, dan dalam kasus Saturnus, satu set cincin memukau yang belum ditemukan di tempat lain.

Voyager 2 memanfaatkan satu penjejeran planet yang langka: penerbangannya dekat Jupiter mempercepat gerak menuju Saturnus, Saturnus ke Uranus, Uranus ke Neptunus, dan Neptunus ke bintang-bintang. Namun kita tak bisa melakukan itu kapanpun kita mau: Kesempatan melakukan permainan biliard langit yang sebelumnya terjadi pada masa kepresidenan Thomas Jefferson. Kala itu kita baru menaiki kuda, perahu dayung, dan kapal layar untuk menjelajah. (Kapal uap masih merupakan teknologi baru.)

—CARL SAGAN, PALE BLUE DOT

Enkelados tenggelam di balik Saturnus, salah satu gambar terakhir yang dikirim dari wahana antariksa Cassini NASA sebelum terjun ke atmosfer Saturnus.



Jet Propulsion Laboratory
California Institute of Technology



Ada satu ruang di Pasadena, California, di mana sejumlah perempuan dan laki-laki duduk menghadap komputer, mengendalikan robot-robot di dunia lain dan berkomunikasi dengan kapal-kapal yang berlayar di laut antariksa antarbintang yang tanpa dasar. Deep Space Network di Jet Propulsion Laboratory itu dingin dan penerangannya seperti tempat pengambilan gambar film, redup hampir kelam sehingga layar kaca terang di tiap komputer berpendar seperti patung es. Tak seperti NASA zaman dulu, tempat tersebut menghayati keajaiban—barangkali agak berlebihan. Satu komputer ditemplei tulisan “Voyager Ace”, menandakan orang yang berkomunikasi dengan wahana antariksa itu seolah dengan pilot pesawat tempur. Layar-layar datar lebar yang dimiringkan menutupi dinding depan atas di ruang itu. Layar-layar itu memberitahu kita stasiun pelacakan global mana yang sedang berkomunikasi dengan wahana apa di dunia jauh yang mana. Karena suhu udaranya dijaga dingin seperti di kamar mayat, berada di sana terasa seperti berada di suatu instalasi rahasia pemerintah. Lumayan menambah suasana heroik suatu spesies yang melakukan hal-hal besar. Namun yang paling kuat menyatakan ambisi manusia adalah alat pengukur jarak wahana Pioneer dan Voyager, yang mencatat jarak tempuh dalam hitungan jam cahaya selama 40 tahun lebih.

Beberapa pemimpin tim misi Cassini NASA yang asli, **KIRI KE KANAN:** Torrence Johnson, Jonathan Lunine, Jeff Cuzzi, Carolyn Porco, dan Darrell Strobel berkumpul di ruang pengamat VIP di atas Space Flight Operations Facility, Deep Space Network, JPL, September 2017. Mereka telah memikirkan dan melaksanakan perjalanan ambisius, dan mereka hadir di sana untuk mengucapkan selamat jalan.

Pada sore 15 September 2017, delapan saintis berdiri di galeri di atas Deep Space Network. Masing-masing menghadapi akan datangnya akhir suatu hubungan yang sudah mendominasi seluruh karier profesional mereka. Apakah jadinya makin buruk karena mereka sendirilah yang telah memerintahkan wahana Cassini NASA melakukan bunuh diri robotik di dunia yang jauh?

Mereka semua masih sangat muda ketika misi itu pertama kali digagas. Pada awal 1980-an, sebagai para pemimpin misi, mereka berdiri di panggung dan menghadap kamera untuk menjelaskan tujuan perjalanan robotik ambisius ke Jupiter dan Saturnus. Puluhan tahun kemudian mereka menatap ke dinding kaca galeri tamu. Mereka barangkali kaget melihat cerminan diri sendiri dan merenungi apa yang telah diperbuat waktu kepada kita. Mereka mungkin melihat menembus kaca ke “Cassini Ace” yang duduk di bawah, orang yang ditunjuk sebagai algojo, siap mengirim perintah fatal dengan papan ketik segampang petugas maskapai penerbangan mengetik nama Anda ketika *check in* di bandara.



Gravitasi punya banyak trik. Beberapa yang paling indah mencakup cincin di sekeliling dunia. Separa dari semua planet di tata surya kita sendiri memiliki cincin. Namun dari ribuan dunia di luar tata surya yang sudah kita temukan sejak 1995, kita belum menemukan satu pun planet bercincin sampai kita menemukan J1407b pada 2012. Dan betapa menakjubkannya!

Bayangkan satu dunia yang *20 kali lebih besar daripada Jupiter*, dengan sistem cincin yang bisa memenuhi jarak 150 juta kilometer antara Bumi dan Matahari. Dunia itu ada di jarak 420 tahun cahaya dari Bumi, mengorbit bintang katai kuning muda, dengan sistem cincin yang sangat luas sampai-sampai membuat planetnya tampak kecil. Mengapa kita belum menemukan lebih banyak pla-



Gambaran seniman atas eksoplanet J1407b, dunia yang setidaknya 20 kali lebih besar daripada Jupiter, namun tampak kecil karena ada sistem cincin yang membentang sejauh 60 juta kilometer ke segala arah

net bercincin di galaksi kita? Apakah cincin planet begitu tak biasa, ataukah cara yang kita gunakan untuk menemukan eksoplanet kurang bagus untuk melihat sistem cincin yang mengelilinginya?

Satu cara mencari adalah memandang bintang dengan spektroskop, yang menghasilkan gambar sinyal tersembunyi di cahaya bintang. Kalau melihat J1407, kita temukan garis-garis vertikal tipis gelap melintas spektrum yang bergeser-geser bolak-balik sedikit. Itu gravitasi eksoplanet yang menarik-narik bintangnya.

Kemudian ada metode transit, semacam elektrokardiogram (EKG) antarbintang. Grafik menunjukkan serangkaian denyut di latar hitam, dan bintang katai kuning itu. Selagi planet melintasi wajah bintang, denyut cahaya berhenti karena cincin planet menghalangi cahaya bintang.

Kurva cahaya adalah ukuran variasi kecerlangan dari benda jauh. Bagian yang paling menarik di kurva cahaya J1407 adalah kegelapan. Kegelapannya memberitahu kita bahwa sesuatu yang misterius lewat di antara kita dan bintang itu ... sesuatu yang sangat



besar. Sistem cincin J1407 sangat luas sampai bisa menimbulkan gerhana bintangnya selama sehari-hari. Cincin-cincin itu membentang selebar 180 juta tahun. Namun meski besar, cincin-cincin itu amat tipis. Jika sistem cincin J1407 dibayangkan seukuran piring makan, maka tebalnya seratus kali lebih tipis—setipis rambut manusia. Kontras mengejutkan antara luas dan tipisnya sistem cincin itu sama saja di tata surya kita. Cincin terluar Neptunus sangat tipis sehingga awalnya dianggap pecahan cincin saja. Bukan satu cincin, melainkan sekumpulan lengkungan. Itu sampai Voyager 2 NASA mengungkapkan bahwa lengkungan-lengkungan tersebut sebenarnya gumpalan, bagian tebal di cincin pudar utuh.

Uranus juga bercincin. Mengapa planet paling aneh di tata surya mendapat perhatian paling sedikit? Voyager 2 adalah satu-satunya wahana antariksa yang pernah dikirim dalam misi pengamatan Uranus, satu dari dua planet es raksasa yang mengelilingi Matahari. Uranus tampak rebah, bergerak mengelilingi Matahari seolah bertumpu ke cincin yang berposisi seperti roda. Di antara 13 cincin samarnya ada 27 bulan yang mengelilingi Uranus. Selama musim panas Uranus sepanjang 20 tahun, Matahari tak pernah tenggelam. Musim dinginnya sama panjang—20 tahun malam tanpa henti. Tak seperti sesama planet gas, Uranus berinti dingin, tidak menghasilkan panas dari dalam.

Uranus adalah suatu dunia yang gila. Ujung luar atmosfer Uranus itu panas—melebihi 500 derajat di atas nol. Jika kita dapat memasukinya, kita bakal mendapati bahwa awan di sana menjadi makin tebal, makin biru, makin dingin. Uranus juga punya awan terdingin di tata surya—hampir 400 derajat *di bawah* nol. Para saintis berspekulasi bahwa samudra luas di bagian dalam Uranus boleh jadi terdiri atas amonia, air, atau intan cair. Bisa saja terjadi hujan intan di dunia itu.

Uranus, planet rebah, dengan cincin samar dan enam dari 27 bulannya, sebagaimana ditangkap dalam gambar inframerah dari Teleskop Antariksa Hubble

Uranus berevolusi mengelilingi Matahari dengan posisi rebah hampir 90 derajat terhadap bidang orbit planet-planet lain. Apa yang terjadi kepada Uranus sampai-sampai tumbang begitu? Tebakan terbaik kita adalah sebagai berikut: Uranus mesti pernah terkena dua hantaman dari dua benda masif. Sebelum bisa stabil sesudah dihantam yang pertama, Uranus dihantam benda kedua, sehingga sesudahnya jadi “berguling-guling”.

Sistem empat cincin utama Jupiter berbeda lagi dengan cincin dunia lain yang tadi kita bahas. Cincin-cincin Jupiter sebagian besar berwarna merah kecuali yang terletak paling dalam, yang berwarna biru terang, dan jauh lebih tebal dibanding cincin lain di tata surya kita. Cincin paling luar sangat samar, hampir tembus pandang. Saking samarnya, tidak ada teleskop darat yang pernah melihat cincin-cincin Jupiter. Cincin Jupiter baru ditemukan Voyager 1 yang terbang mendekat.



Saturnus memiliki sistem cincin paling cantik, besar, dan terang di tata surya kita. Saturnus adalah planet terjauh yang bisa dilihat jelas dengan mata telanjang, dan lumayan mengesankan bagi para leluhur kita. Makna titik-titik cahaya itu bagi mereka—sejak zaman bangsa Babilonia dan sebelumnya—adalah bagian tradisi besar umat manusia. Kita menggunakan daya khayal untuk memproyeksikan makna, firasat, dan ketakutan ke hal-hal yang belum kita pahami. Tetap saja, selama berzaman-zaman, kita menemukan jalan, dan sekarang, beberapa ribu tahun kemudian, ruang Deep Space Network di Jet Propulsion Laboratory (JPL) NASA penuh manusia yang terpukau oleh planet yang sama.

Jalur dari ketidakberdayaan terikat Bumi selama masa astronomi kuno sampai kehadiran kita di langit Saturnus berupa masa-masa panjang tanpa kejadian apa-apa yang berakhir dengan ledak-

an singkat penuh kegiatan. Tak banyak yang terjadi sampai 1609, ketika Galileo melihat melalui teleskop dan menemukan kosmos. Tahun berikutnya dia mengarahkan teleskop baru ke Saturnus dan bertanya kepada diri sendiri: apakah benda berkilau dan bergerak-gerak yang saya lihat ini? Dia manusia pertama yang memandang Saturnus bukan sebagai sekadar titik cahaya.

Galileo keliru menebak apa yang dia sangka dia lihat, percaya bahwa Saturnus punya dua bulan simetris di kedua sisinya. Belakangan, pada 1612, ketika dia mengamati Saturnus lagi, “dua bulan” itu hilang. Itu karena kedua dunia, Bumi dan Saturnus, sama-sama bergerak, dan posisi terhadap masing-masing sudah berubah. Tanpa diketahui Galileo, dia sedang memandangi cincin Saturnus persis sejajar tepinya. Cincin itu terlalu tipis untuk bisa terlihat oleh teleskop primitif Galileo. Cincin Saturnus lebarnya 280.000 kilometer tapi tebalnya rata-rata hanya beberapa ratus kilometer. Dua tahun sesudahnya, Galileo mengamati Saturnus lagi. Pada 1614, planet itu tampak seperti punya dua gagang. Galileo pun berpikir planet itu punya ... lengan.

Empat puluh tahun berlalu; giliran ahli astronomi Belanda Christiaan Huygens memandang Saturnus dengan teleskopnya sendiri yang sudah lebih canggih. Pandangan Huygens ke Saturnus pada 1655 masih kurang jelas, tapi jelas menunjukkan dunia dengan sistem cincin. Dia orang pertama yang mengetahui bahwa dunia-dunia dapat dikelilingi cincin, dan Saturnus adalah salah satunya. Dia juga menemukan bulan terbesar Saturnus, yang kemudian dinamai Titan 200 tahun sesudahnya. Ketika akhirnya datang kesempatan kita mengunjungi dunia itu, wahana Badan Antariksa Eropa menyandang nama Huygens.

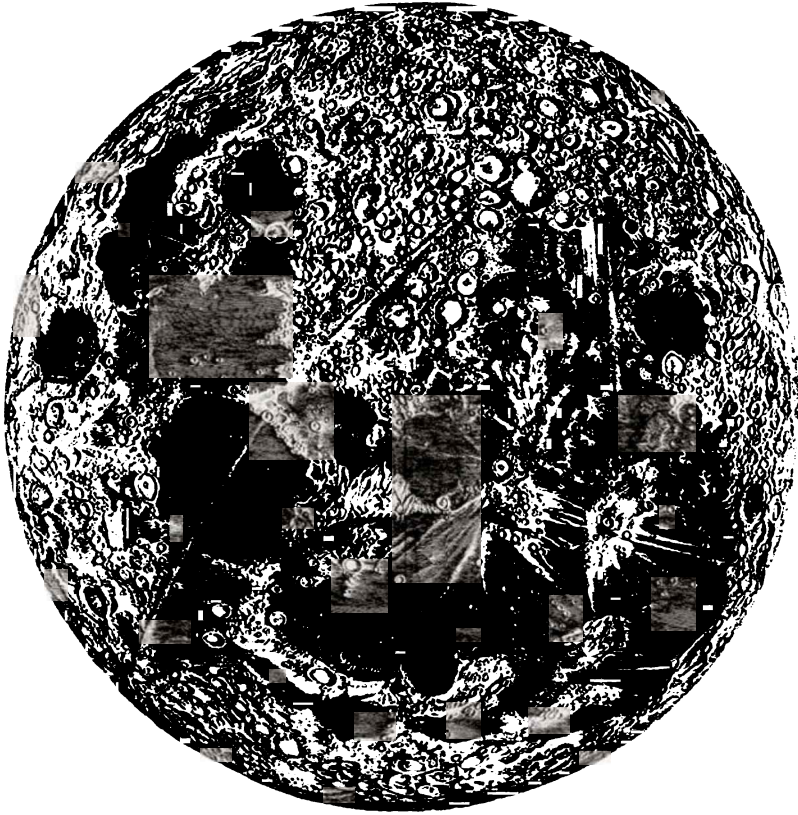
Di Sains, ada Galileo, Newton, Darwin, Einstein—walau hanya sedikit. Kemudian ada saintis-saintis besar jenis lain. Bukan yang membuat gambaran baru, melainkan seperti Christiaan Huygens, punya banyak sumbangan, mengisi banyak kekosongan di kan-

vas luas alam. Salah seorang saintis seperti itu ialah Giovanni Domenico Cassini. Cassini lahir pada awal abad ke-17 di kota bukit Perinaldo di tempat yang sekarang Italia.

Cassini awalnya bukan saintis. Dia memulai karier sebagai seorang saintis palsu—ahli astrologi. Astrologi adalah kumpulan gagasan berdasarkan anggapan bahwa dunia-dunia punya sifat seperti kepribadian manusia, dan pengaruh dunia-dunia yang jauh, tergantung apa yang terbit dan tenggelam pada waktu kita lahir, akan menentukan siapa kita dan bagaimana nasib kita. Astrologi adalah bentuk lain prasangka: membuat asumsi tak berdasar mengenai siapakah seseorang berdasarkan satu aspek dirinya—bisa seremeh warna kulitnya, bentuk hidungnya, atau posisi planet dan rasi (juga termasuk proyeksi tanpa dasar manusia ke kosmos) pada tanggal kelahirannya—tanpa perlu repot mengenal orang tersebut. Astronomi dan astrologi dulu sama—sampai terjadi kebangkitan dalam pemahaman mengenai keadaan kita di kosmos.

Pada 1543, Nikolaus Kopernikus, seorang pendeta Polandia, menunjukkan bahwa, tak seperti yang dipercaya umum, kita bukan pusat alam semesta. Bumi dan planet-planet lain mengelilingi Matahari. Tersingkirnya Bumi dari pusat tata surya adalah pukulan berat bagi harga diri manusia, yang pertama dari serangkaian pukulan berat dari sains. Lebih daripada seabad kemudian, beberapa orang masih belum reda rasa sakitnya. Giovanni Cassini termasuk. Dia menerima tawaran pekerjaan yang hebat—diberikan oleh Louis XIV, sang “Raja Matahari” Prancis yang legendaris. Louis percaya bahwa dirinya adalah penguasa mutlak yang bertakhta karena kehendak Tuhan. Namun dia juga raja pertama di Eropa yang mengakui besarnya kekuatan sains dan potensi nilainya bagi keamanan nasional.

Louis XIV mendirikan lembaga riset sains modern pemerintah yang pertama: Académie des Sciences. Ketika sampai di istana, Cassini memberitahu sang penguasa mutlak bahwa dia tak bakal tinggal lama di Paris—paling-paling satu-dua tahun. Namun ke-



Giovani Cassini membuat peta Bulan ini, yang diterbitkan pada 1679. Selama seabad lebih tidak ada yang memperbaruinya.

tika sang raja menyerahkan observatorium baru kepada Cassini, Cassini mulai kehilangan niat pulang ke Italia. Dalam sains jarang ada jabatan warisan, tapi selama 125 tahun berikutnya, Observatorium Paris terus dipimpin keluarga Cassini. Cassini membalas kebaikan pelindungnya dengan membuatkan peta Bulan yang tetap menjadi yang termutakhir selama satu abad. Raja Louis membiayai satu ekspedisi riset ke Amerika Selatan untuk mendapatkan pengamatan garis bujur yang lebih akurat—informasi intelijen navigasi yang bernilai besar bagi para kapten armada Louis yang haus kesempatan berdagang dan menguasai wilayah.

Rasio jarak antarplanet (walau bukan jarak sebenarnya) sudah diketahui pada 1672 ketika Cassini mulai menghitung ukuran tata surya. Ekspedisi-ekspedisi Raja Louis menghasilkan pengukuran jarak yang lebih akurat untuk tempat-tempat di Bumi. Cassini bisa menggunakan pengetahuannya mengenai seberapa jauh jarak dua tempat di Bumi untuk melakukan perhitungan geometris yang menghasilkan jarak Bumi ke Mars. Jika Anda mengetahui rasio jarak antarplanet, sesudah Anda tahu jarak sebenarnya ke satu planet, maka Anda bisa menghitung jarak sebenarnya antarplanet. Dengan cara demikian, Cassini menemukan skala sebenarnya tata surya Kopernikus yang dia pernah tolak. Cassini menemukan Bintik Merah Besar di Jupiter secara terpisah dari Robert Hooke di Inggris, dan sampai kini mereka berdua diakui sebagai penemu bersamanya.

Dengan teleskop yang makin lama makin hebat, Cassini menemukan panjang satu hari di Jupiter, juga mengamati pita-pita dan bintik-bintik di permukaan planet gas raksasa itu. Cassini kemudian mencari tahu panjang satu hari di Mars. Hasil perhitungannya hanya meleset tiga menit. Ternyata satu hari di Mars hampir satu jam lebih lama daripada satu hari di Bumi.

Ketika kembali mengamati Jupiter, Cassini hampir saja mendapatkan pengamatan yang bisa menjadi penemuan terbesarnya. Namun sifat menentukan nasib, dan sifat konservatif Cassini membuat dia tak mengikuti bukti ke sana.

Cassini kebingungan karena suatu masalah yang berulang kali terjadi: gerhana Jupiter karena bulan-bulannya tidak terjadi ketika seharusnya terjadi—waktunya berubah-ubah terus berdasarkan pengamatan. Mungkinkah itu disebabkan perubahan jarak Bumi ke Jupiter, selagi kedua dunia mengikuti orbit masing-masing mengelilingi Matahari? Saintis zaman itu menganggap kecepatan cahaya tak terhingga. Namun jika itu benar, maka perubahan jarak antara dua planet tak bakal mempengaruhi waktu gerhana Jupiter. *Mung-*

kinkah kecepatan cahaya terbatas? Tidak ada yang mempertanyakan demikian. Semua pakar berpikir cahaya bergerak dengan kecepatan tak terhingga. Masa iya mereka salah? Gagasan itu terlalu gila untuk Cassini, terlalu revolusioner. Dia menolaknya mentah-mentah. Andai dia menerima buktinya, bukan bertahan di pandangan sains yang lazim kala itu, Cassini bakal memberi kita patokan pengukuran kosmos yang kita masih gunakan 350 tahun kemudian. Namun Cassini menganggap gagasan itu terlalu nyeleneh.

Beberapa tahun sesudah asumsi keliru itu, seorang ahli astronomi Denmark, Ole Rømer, menjadi asisten Cassini di Observatorium Paris. Rømer mengamati sendiri gerhana beberapa bulan Jupiter dan menemukan ketidakcocokan data seperti yang diabaikan Cassini. Namun Rømer memahami data itu sebagaimana adanya: bukti terbatasnya kecepatan cahaya.

Pernah ada masa ketika Cassini menunjukkan kesediaan mengikuti data. Dia bersedia mengambil risiko menyinggung seorang penguasa mutlak, Raja Louis, yang berdaulat penuh untuk memvonis siapapun, termasuk dengan hukuman mati. Sang raja meminta Cassini menghitung luas wilayah kekuasaannya dengan tepat. Tak seorang pun pernah mencoba membuat peta akurat, apalagi peta topografis yang menampilkan semua gunung dan sungai dan lembah Prancis atau negara lain, ketika itu. Cassini melakukan tugasnya, tapi menemukan hasil yang tak bakal membuat sang raja senang.

Meski begitu, Cassini tetap datang ke istana dan memberitahukan yang berikut kepada Raja Louis: “Saya punya kabar agak mengecewakan bagi Anda, Baginda. Kita semua mengira Prancis jauh lebih besar daripada yang ditemukan penelitian kami. Dengan sangat menyesal, Yang Mulia, kerajaan Anda jauh lebih kecil daripada yang tadinya diduga.” Wajah sang raja berubah serius dan para ponggawa gemeteran. Namun Louis mengagetkan semua orang karena malah tertawa dan mencela Cassini karena membuat dia kehilangan tanah lebih banyak daripada tentara semua musuhnya.



Mengapa ada wahana antariksa abad ke-21 yang menyandang nama Giovanni Cassini? Karena Cassini ialah orang pertama yang tahu apa sebenarnya cincin Saturnus itu. Dia mengusulkan bahwa cincin Saturnus bukan benda padat utuh, melainkan terdiri atas banyak sekali satelit yang mengelilingi planet itu, dan dia mengamati ada pembelahan di cincin, yang sekarang menyandang namanya.

Namun bagaimana cara pergi ke sana?

Jalur misi wahana antariksa ke planet-planet luar membutuhkan penyelidikan oleh banyak kepala, beberapa terkenal, sebagian besar tidak. Namun satu orang yang paling bertanggungjawab atas penjelajahan tata surya nyaris tak dikenal.

Dengan berat melebihi 5.000 kg ketika diluncurkan, wahana antariksa Cassini sebesar bus adalah wahana terbesar yang pernah diluncurkan NASA. Beratnya mencakup 30 kilogram plutonium-238, bahan bakar yang cukup untuk 20 tahun lebih. Namun bukan plutonium yang mendorong perjalanan wahana itu. Cassini menunggang pelangi gravitasi sampai tata surya bagian luar. Akar prestasi manusia itu menjangkau lebih jauh ke belakang daripada yang kita duga. Beberapa di antaranya terpendam di dalam kuburan harapan yang pupus. Namun entah bagaimana, impian bisa bangkit kembali. Misi-misi epik zaman keemasan pertama penjelajahan antariksa, dan mungkin yang akan datang, dimungkinkan oleh seseorang dengan dua nama—asli dan palsu—yang sama-sama terlupakan.

Oleksandr Syargei lahir pada 1897 di Poltava, Ukraina, yang ketika itu bagian Imperium Rusia. Ibunya orang yang suka menghadang bahaya, ikut serta tanpa takut dalam demonstrasi politik menentang para tsar. Ketika Oleksandr berumur lima tahun, ibunya ditangkap polisi tsar karena kegiatan politik dan dipenjara di rumah sakit jiwa. Ketika aparat memenjarakan ibunya, si kecil jadi sendirian di pondok reot rumah mereka. Dia jadi mendalami buku-

buku pelajaran fisika dan matematika ayahnya. Ketika Oleksandr berumur 13, dia sudah kehilangan ayahnya juga. Dia kemudian tinggal bersama neneknya, dan meski hidup susah, dia berhasil diterima di sekolah menengah atas bergengsi. Sesudah lulus, dia diterima di institut teknik terbaik di Ukraina. Namun hanya dua bulan sesudah mulai belajar di sana, pada 1914 dia kena wajib militer dan masuk ke tentara tsar yang bertempur di Perang Dunia I. Ketika berperang di front Kaukasus pada 1914, di tengah tembakan artileri tanpa henti, dalam parit yang penuh kotoran, mayat, dan tikus, Syargei yang berumur 17 tahun memandang Bulan dan mencari cara pergi ke sana.

Impian adalah peta. Dalam neraka perang, Syargei memikirkan strategi saintifik untuk mencapai dan menjelajahi Bulan—bukan sebagai fiksi, melainkan peta jalan. Syargei membayangkan bagaimana roket dapat diluncurkan dari Bumi ke orbit mengelilingi Bulan. Ketika tiba di Bulan, seorang penjelajah tetap berada di wahana pengorbit sementara wahana pendarat yang membawa dua manusa penjelajah diturunkan. Pengorbit terus mengelilingi Bulan, sementara para penjelajah di wahana pendarat menyentuh permukaan Bulan. Sesudah mereka menyelesaikan misi, wahana pendarat terbang lagi dari Bulan untuk bertemu dengan wahana pengorbit, yang kemudian pulang. Kedengaran akrab?

Perang Dunia I berakhir, tapi neraka Syargei berlanjut. Syargei terpaksa menelusuri ladang ranjau politik Rusia zaman revolusi. Dia lebih ahli dalam mencari jalan ke Bulan. Orang-orang seperti Syargei, yang pernah bergabung dengan Tentara Putih kontra-revolusi, dianggap “musuh rakyat”. Dia mencari kerja ke mana-mana, tapi selalu ditolak kalau menunjukkan dokumen-dokumennya. Syargei tak dapat menemukan kedamaian di Uni Soviet, jadi pada 1918 dia mencoba kabur ke Polandia. Ketika itu dia sudah kurus dan sakit, sehingga para penjaga perbatasan yang menangkapnya menganggap dia sudah hampir mati sehingga tak usah dibunuh. Shargei yang kurus kering dibiarkan terhuyung pergi.

Entah bagaimana caranya, Syargei berhasil kembali ke pondok masa kecilnya di Poltava. Di sana, seorang perempuan tetangganya yang punya anak kecil dianggap merawat dia sampai pulih kembali. Tak seorang pun tahu di mana dia menjalani tiga tahun berikutnya. Dia menghilang. Ketika muncul kembali, Oleksandr Syargei sudah tak ada. Karena benar-benar ingin tak diganggu lagi, dia mengambil nama dan dokumen seseorang yang sudah mati dan tak punya beban masa lalu kontrarevolusioner. Dia berubah menjadi Yuriy Kondratyuk, penulis buku berjudul *Pro zavoyuvannya mizhplanetnykh prostoriv* (*Tentang Penaklukan Ruang Antarplanet*) yang telah dia selesaikan bertahun-tahun sebelumnya selama Perang Dunia I. Tak ada penerbit yang tertarik, jadi dia mencetaknya sendiri. Buku itu adalah surat Kondratyuk ke masa depan yang tak dapat dilihat orang lain. Dia menulisnya untuk “Siapa pun yang akan membaca makalah ini untuk membuat roket antarplanet.”

Bukunya berisi rasa percaya diri Kondratyuk terhadap masa depan, yang lebih mengesankan kalau kita ingat keadaan dia sendiri yang merana. Suara Kondratyuk dalam buku itu adalah pernyataan keyakinan sains. Dengan kata-katanya, dia menjulurkan tangan untuk meraih seorang asing yang beruntung, hidup pada zaman yang lebih nyaman. Mereka terikat kesamaan cita-cita antargenerasi—hasrat mengenal kosmos.

Kata-kata pembukanya adalah ajakan untuk jangan kecil hati. “Pertama-tama, mengenai persoalan pekerjaan, janganlah membuat Anda gentar...” tulis Kondratyuk. “Dalam hal kemungkinan pelaksanaan penerbangan, ingat saja bahwa tidak ada yang tidak mungkin di sisi teoretis penerbangan roket ke antariksa.”

Kondratyuk mendukung ajakan itu dengan cara praktis untuk mencapai Bulan. Namun ada hal lain di naskahnya yang lebih penting. Dia menuliskan cara pergi dari dunia ke dunia dan dari bintang ke bintang: bantuan gravitasi. Wahana antariksa dapat menggunakan gravitasi planet atau bulan untuk mendapat dorongan ketika lewat.



Yuriy Kondratyuk, terlahir sebagai Oleksandr Syargei pada 1897, membayangkan suatu misi bolak-balik ke Bulan yang berdasar sains selama Perang Dunia I. Misi itu kemudian berhasil dilaksanakan oleh program Apollo NASA 50 tahun kemudian. Dia juga orang pertama yang memikirkan bantuan gravitasi sebagai cara bepergian di antariksa. Kondratyuk meninggal tanpa menyadari betapa vital sumbangannya kepada zaman antariksa.

Kondratyuk menulis itu 40 tahun sebelum gagasannya pertama kali diuji oleh Luna 3 pada 1959. Wahana Soviet itu memotret sisi belakang Bulan, yang kita tak pernah lihat karena terkunci efek pasang surut sehingga selalu membelakangi Bumi. Semua wahana antarplanet NASA sejak Mariner 10 yang diluncurkan pada 1973 telah menggunakan bantuan gravitasi Kondratyuk. Dua Voyager menunggang gravitasi besar Jupiter untuk meluncur keluar tata surya menuju samudra luas antarbintang.

Pada akhir 1920-an, Kondratyuk ditugaskan Uni Soviet untuk merancang alat pengangkat biji-bijian. Kala itu Uni Soviet mengalami kekurangan logam, jadi tantangan Kondratyuk adalah membangun alat sebesar mungkin tanpa menggunakan satu pun paku.

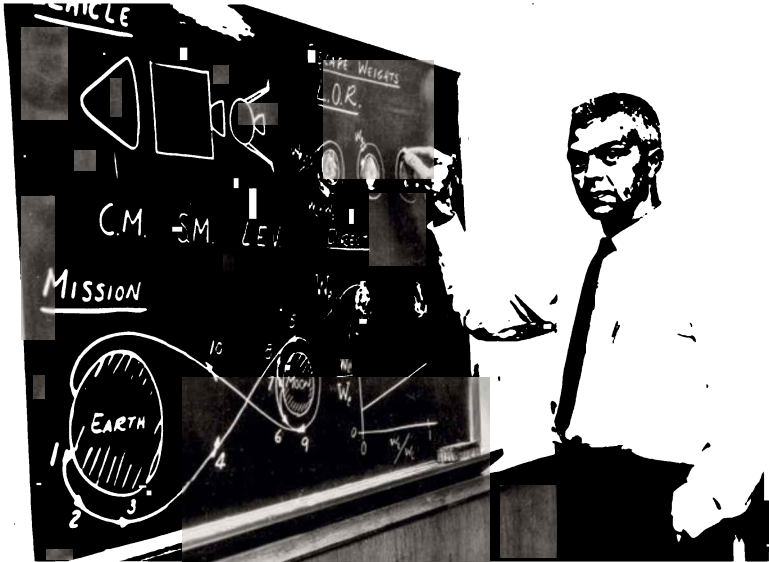
Saking besarnya, alat itu dijuluki “Mastodon”. Namun sesudah selesai, Kondratyuk ditangkap polisi rahasia, dituduh melakukan sabotase karena berhasil melaksanakan tugas mustahil itu. *Hanya musuh negara yang bakal berbuat sembrono membangun alat pengangkat biji-bijian raksasa tanpa paku!* Seperti itulah logika mimpi buruk Uni Soviet zaman Stalin. Walaupun alat itu berfungsi selama 60 tahun sebelum terbakar, nasib Kondratyuk tak berubah.

Kondratyuk yang ketika itu berumur awal 30-an dihukum tiga tahun di kamp kerja paksa khusus. Kamp itu adalah penjara jenis baru, disebut *syarasyka*, untuk para saintis dan insinyur yang bekerja di proyek-proyek negara yang paling ambisius. Dia dimasukkan ke proyek pembangkit listrik tenaga angin, tapi dalam fantasinya dia meluncurkan wahana antariksa ke planet dan bulan. Dia bertemu Sergiy Korolyov, yang juga mengimpikan meninggalkan Bumi untuk menjelajah kosmos. Korolyov belakangan menjadi kepala insinyur program roket Soviet. Korolyov mengakui kecerdasan Kondratyuk dan ingin Kondratyuk ikut di program roket yang dia harap akan pimpin kelak, tapi Kondratyuk takut perubahan statusnya bisa membuat dia diselidiki lagi oleh polisi rahasia. Dia khawatir dengan nasibnya jika ketahuan bahwa dirinya adalah Syargei. Kondratyuk pun menolak Korolyov.

Ketika Jerman menyerang Rusia pada Perang Dunia II, Kondratyuk menjadi sukarelawan untuk angkat senjata di garis depan, memimpin regu komunikasi. Nasib Kondratyuk sesudahnya tak diketahui, tapi dipercaya dia hilang di tengah api dan asap pertempuran sengit di garis pertahanan Sungai Oka pada malam bulan Februari 1942. Oleksandr Syargei, alias Yuriy Kondratyuk, berumur 44 kala itu. Itulah akhir cerita dia, tapi bukan akhir impiannya.



Puluhan tahun kemudian, seorang insinyur ganteng berambut cepak kelahiran Iowa bernama John Cornelius Houbolt sedang



Insinyur NASA John Houbolt mengembangkan gagasan Kondratyuk dan membuat rencana pertemuan antarwahana di orbit Bulan, di atas papan tulis, untuk perjalanan ke Bulan.

begadang di Langley Research Center, Virginia. Dia menghadapi tantangan yang tampak mustahil dipecahkan. Pada hari-hari awal program Apollo, para saintis dan insinyur berjuang untuk mencari tahu bagaimana roket dapat meninggalkan Bumi dan mendarat di Bulan. Kiranya dibutuhkan roket besar dan kuat untuk lepas dari gravitasi Bumi dan mencapai Bulan. Bagaimana cara mendaratkan benda seperti itu di permukaan Bulan dengan mulus tanpa menabrak? Menjaminnya dapat terbang lagi dan membawa pulang awak bahkan lebih sukar lagi. Pendekatan itu, dikenal sebagai kenaikan langsung (*direct ascent*), tampak tak bisa dipecahkan John Houbolt dan para koleganya.

Satu versi ceritanya mengatakan bahwa di ruang itu cangkir kopi bekas pakai berserakan dan keranjang sampah penuh ketika dua saintis Eropa mengetok pintu Houbolt. Salah seorangnya membawa naskah ketikan tangan yang lusuh: terjemahan bahasa

Inggris buku Kondratyuk yang sudah berumur 40 tahun. Kedua orang itu menjaga impian Kondratyuk tetap hidup.

Ada versi lain ceritanya, termasuk versi resmi NASA yang menyatakan NASA belum mendapat naskah itu dan menerjemahkan karya Kondratyuk sampai 1964. Saya sangat menghormati NASA, tapi saya tak bisa tak bertanya-tanya mengenai versi resmi. Saya berumur 12 tahun pada 1961 dan masih ingat suasana Perang Dingin dan kesediaan menghancurkan segalanya dalam persaingan itu. Apa kita bisa benar-benar membayangkan NASA atau lembaga AS atau Soviet lain menganggap rakyat negara musuh, bahkan yang sudah lama mati, berjasa memungkinkan kemenangan terbesarnya?

Disengaja atau tidak, Apollo 11 mengikuti rencana Kondratyuk sehingga mencapai prestasi terhebat dalam sejarah manusia. Dan bukan hanya pendaratan di Bulan serta berhasil kembalinya Apollo 11 ke Bumi. Tak seorang pun membantah bahwa Kondratyuk menemukan bantuan gravitasi. Dia orang pertama yang bermimpi bahwa kita bakal berayun dari dunia ke dunia seperti leluhur kita berayun dari pohon ke pohon. Jadi, boleh dikata segala penemuan zaman antariksa sejak 1973 adalah berkat jasa Kondratyuk. Misi Cassini juga demikian. Wahana antariksa itu menggunakan dorongan gravitasi dari tiga dunia untuk mencapai Saturnus: Venus, Bumi, dan Jupiter.



Selain Bumi, Saturnus, planet *art deco*, adalah dunia paling dicinta di tata surya. Cincin-cincin megah yang bisa terlihat dari Bumi dengan teleskop sederhana itulah yang membuat planet tersebut menjadi perlambang perjalanan antariksa dan masa depan. Kadang pada malam musim panas berbulan purnama, saya memandang ke atas dan bertanya-tanya apa jadinya jika planet kita sendiri punya

cincin. Bayangan macam apa yang dibuat cincin itu, menaungi para kekasih yang duduk di bangku taman di dunia ini? Dapatkah kita mengenali tiap bongkah es yang berguling-guling di cincin?

Mengapa beberapa dunia punya cincin, dan lainnya tidak? Mengapa tak ada cincin di planet kita atau Mars? Kita tak bakal mengenali Saturnus tanpa cincin. Planet itu bakal tampak telanjang tanpa cincin-cincinnya, tapi bagaimana caranya mendapatkan cincin? Itulah yang ditanyakan ahli astronomi Prancis Édouard Roche kepada diri sendiri ketika memandang Saturnus melalui teleskop pada 1848. Roche berspekulasi bahwa cincin-cincin Saturnus merupakan puing satu atau beberapa bulan yang bergerak terlalu dekat ke Saturnus sehingga hancur kena gravitasi planet masif itu. Selagi orbit bulan sembrono itu mulai melemah, bulannya sendiri mulai memanjang dan terdistorsi, sampai terentang membentuk lengkung mengelilingi planet dan pecah berantakan seluruhnya.

Roche berhasil membuat persamaan yang berlaku untuk semua dunia. Persamaan itu memberitahu kita sedekat apa suatu asteroid, komet, atau bulan kecil bisa mendekati planet sebelum terpecah karena gaya gravitasi pasang surut planet itu dan berubah menjadi cincin. Istilahnya “batas Roche”. Namun sampai wahana antariksa Cassini NASA melakukan serangkaian manuver nekad di sistem Saturnus, terjadi debat sains sengit mengenai kapan cincin Saturnus terbentuk. Beberapa ahli astronomi mengusulkan bahwa cincin itu sama tua dengan planetnya. Mereka menduga bahwa lebih daripada empat miliar tahun lalu, ketika planet Saturnus terbentuk di cakram gas dan debu yang mengelilingi Matahari muda, satu atau beberapa bulan mungkin melanggar batas Roche. Saintis lain berpikir bahwa cincin Saturnus berumur relatif muda. Barangkali hanya seratus juta tahun atau sekitar itu. Cassini membuktikan merekalah yang benar.

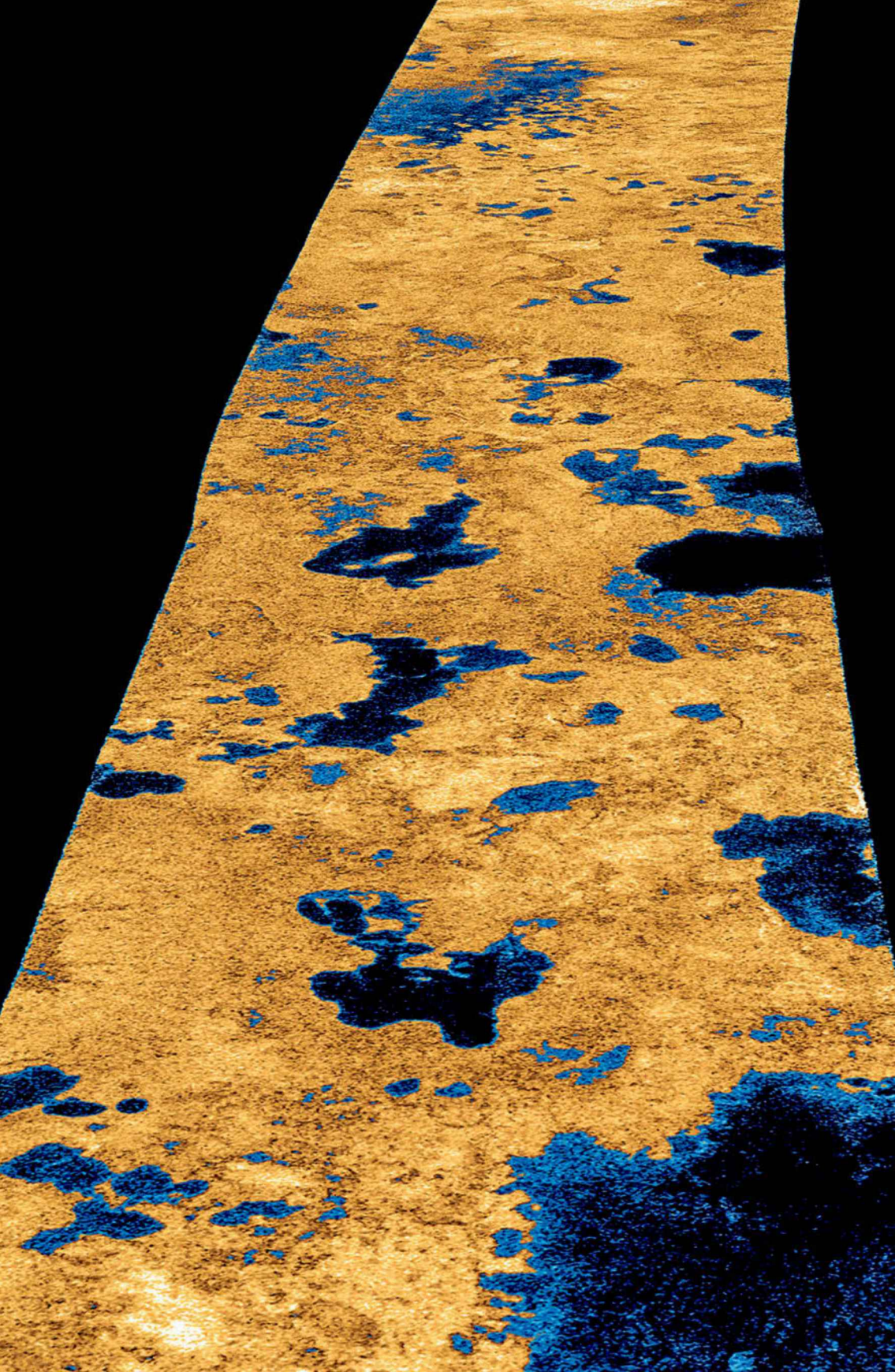
Bagaimana dengan batas Roche di Bumi? Jika Bulan mendekati Bumi dengan jarak di bawah 19.000 kilometer—omong-omong, itu kecil kemungkinannya terjadi—Bulan bakal menerima hukuman

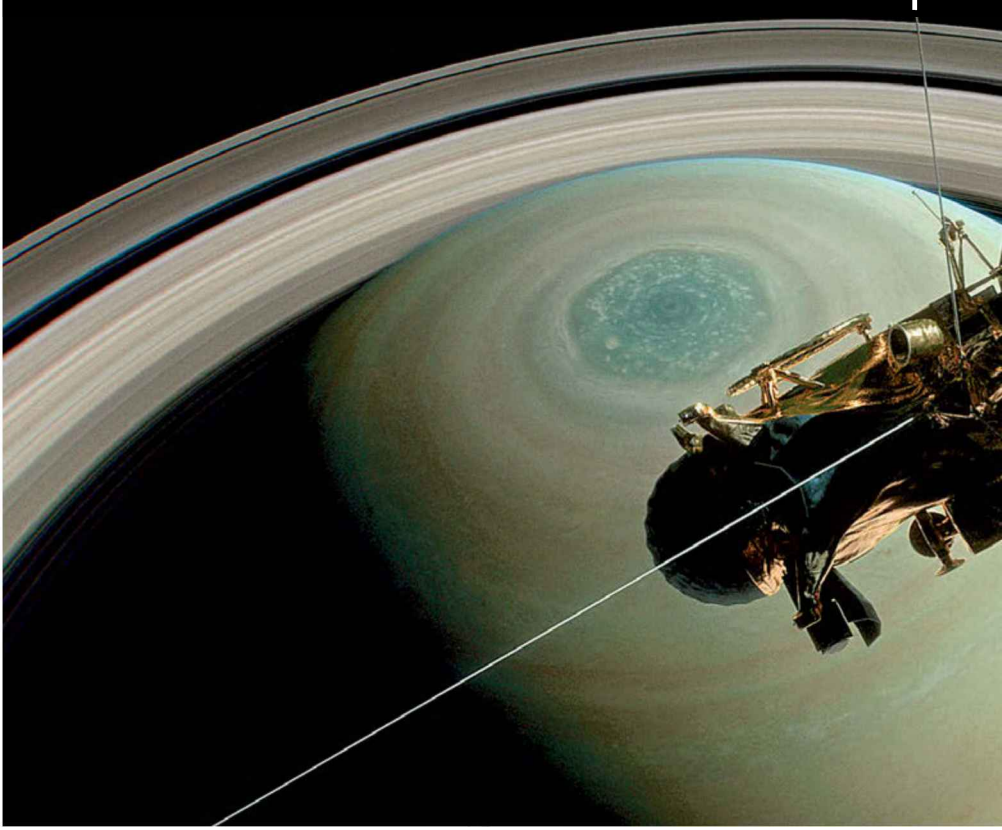
karena melanggar batas Roche. Namun dalam kasus demikian, hancurnya Bulan bukan masalah terbesar. Dan bagus juga, karena saya suka Bulan sebagaimana adanya, di tempatnya berada sekarang. Hanya ada satu bulan lain di tata surya yang bisa menggerakkan saya seperti Bulan kita. Barangkali itu karena bulan itu satu-satunya yang punya atmosfer tebal seperti Bumi, dan jenis ciri permukaan—danau dan gunung dan hujan—yang mengingatkan saya akan rumah. Semuanya tersembunyi di balik lapisan tebal kabut asap oranye sampai Badan Antariksa Eropa bekerja sama dengan NASA mengirim pemantau Huygens bersama Cassini.

Pada hari pertama Juli 2004, sesudah perjalanan antarplanet selama tujuh tahun, wahana antariksa Cassini-Huygens tiba di sistem Saturnus. Cassini-Huygens adalah wahana keempat kita yang bertualang ke sana, juga yang pertama mengirim pemantau untuk menjelajahi permukaan bulan Saturnus, Titan. Wahana Huygens berpisah dari kapal induknya dan menembus atmosfer Titan, menjadi perisai berapi. Sistem remnya bekerja dengan sempurna, membuatnya tersentak sebelum parasut pendarat dibuka. Selagi turun pelan-pelan, wahana pemantau itu menembus awan tebal oranye yang tak tembus pandang, mengungkap keberadaan permukaan kompleks penuh rangkaian pegunungan dan danau metana. Seperti sudah diprediksi Carl Sagan dan yang lain lebih daripada dua dasawarsa sebelumnya, di sana ada laut metana dan etana, dan es air. Titan adalah bulan dengan kompleksitas dan kemegahan jauh lebih besar daripada Bulan kita yang biasa-biasa saja.

Ketika Cassini pertama kali sampai, belahan utara Saturnus sedang berada pada pertengahan musim dingin. Dan Matahari baru terbit lima tahun kemudian, ketika musim semi belahan utara Saturnus dimulai. Cahaya Matahari mengungkap pemandangan

Permukaan Titan yang penuh danau metana, sebagaimana terlihat di gambar radar wahana antariksa Cassini NASA, 2006





menakjubkan: segi enam merah muda dan ungu yang bergolak. Bentuk segi enam yang teratur secara geometris itu membuat kita terpikir karya kecerdasan, *terraforming*, penggarapan permukaan untuk suatu tujuan. Namun sebenarnya bentuk itu hasil perubahan mendadak kecepatan angin selagi amonia membubung naik dekat kutub. Bentuk itu adalah biangnya segala badai, gelora guruh dan kilat berisi banyak sekali badai.

Musim semi juga bisa menjadi musim dahsyat penuh badai di Bumi. Namun dalam musim panas tujuh tahun Saturnus-lah Cassini diperintahkan menghancurkan diri sendiri. Sejak diluncurkan pada 1997 dan sepanjang perjalanan ke Saturnus, wahana antariksa itu telah menggunakan bantuan gravitasi, walau stok bahan bakar roket-lah yang memungkinkan para pengendali Cassini di Bumi mengarahkannya ke jalur penjelajahan baru.

Pada April 2017, Cassini mulai kehabisan bahan bakar. Waktunya melakukan manuvernya yang paling berani sebelum terjun



Cassini terbang di atas kutub utara Saturnus. Gambar seniman membayangkan adegan ketika misi selama tujuh tahun mendekati akhir.

bunuh diri. Para saintis misi Cassini, yang sebagian di antaranya sudah bekerja di proyek itu sejak 1980-an ketika proyeknya baru berupa impian, tahu bahwa Cassini harus dihancurkan tuntas. Kiranya terlalu berbahaya membiarkan Cassini mengembara tanpa tujuan. Cassini bisa menabrak salah satu bulan Saturnus yang boleh jadi memiliki kehidupan. Bahkan sesudah 20 tahun di antariksa, tetap ada kemungkinan kehidupan dari Bumi masih ada di wahana antariksa itu. Kiranya itu melanggar konvensi perlindungan planet NASA mengenai karantina di kitab hukum antariksa. Jika dibiarkan, Cassini dapat mengubah kemungkinan takdir biologis Titan atau Enkelados.

Perintah yang berat harus diberikan, yang mengalahkan semua program lain di wahana itu. Cassini sangat jauh dari rumah, sehingga pesan yang bergerak dengan kecepatan cahaya itu bakal

butuh lebih daripada satu jam untuk mencapainya. Para insinyur yang merancang wahana itu untuk melindungi diri di segala situasi kemudian memerintahkannya untuk jatuh menuju kehancuran.

“Wahana antariksa kecil yang mampu” itu bekerja heroik, naik satu kali lagi sebelum terjun ke Saturnus. Cassini melawan gravitasi kuat dan memperbaiki posisinya untuk terakhir kali. Roket pendorongnya dinyalakan 100 persen, sambil Cassini mengirim lebih banyak data daripada yang diharap para perancangannya. Cassini berjuang di tengah tahanan atmosfer brutal sampai tangki bahan bakarnya kosong, sehingga tak bisa melawan lagi. Wahana antariksa itu mulai pecah dan mengakhiri kehidupan produktifnya sebagai hujan meteor di dunia nan jauh. Pada 17 September 2017, para saintis dan insinyur di JPL di Bumi saling berpelukan dan menangis selagi mencatat waktu kematian resmi Cassini: 11:55 waktu Universal.

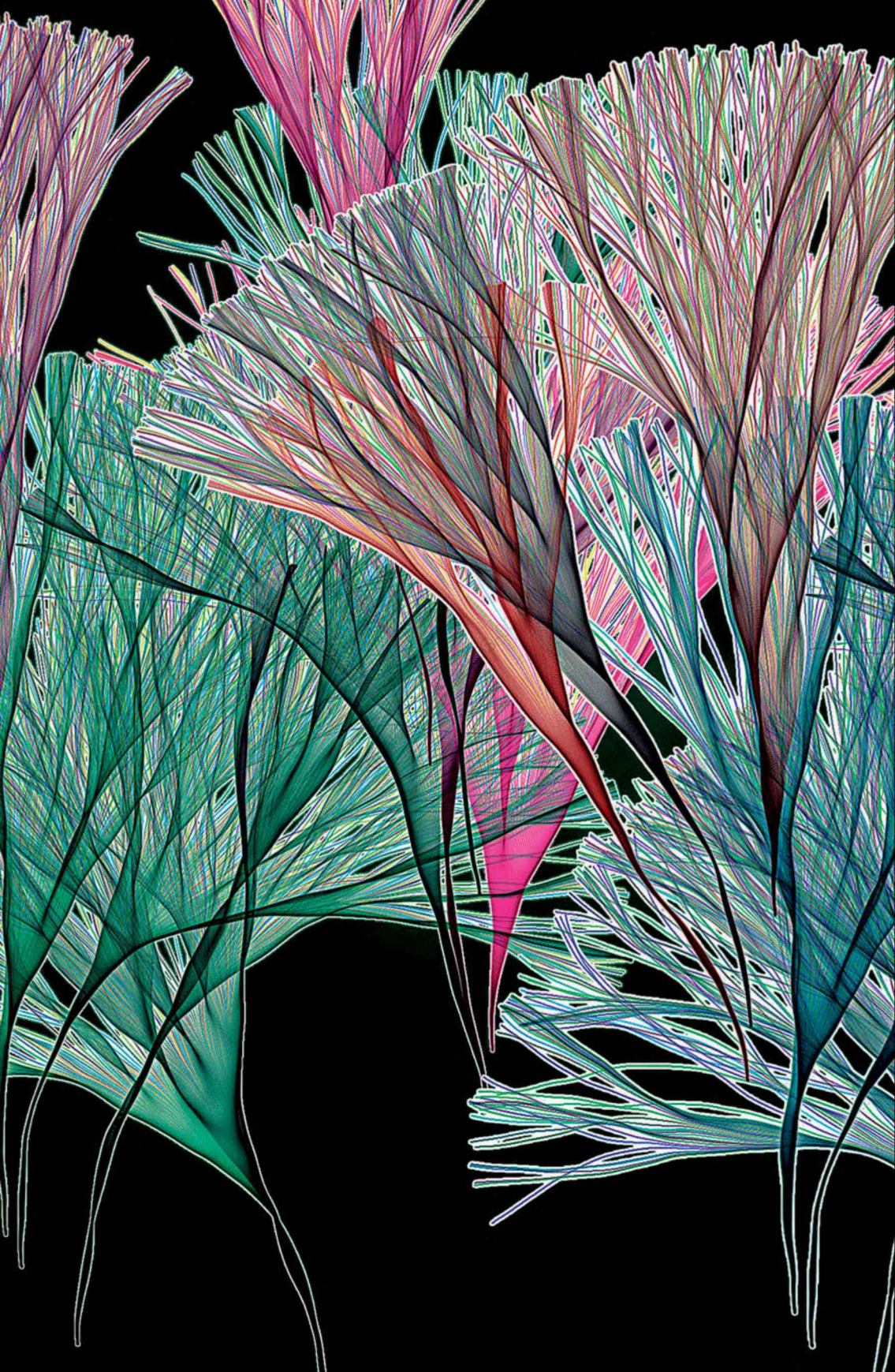
Cassini berhasil menemukan lusinan bulan Saturnus yang sebelumnya tak diketahui, membuktikan ada air cair di bulan Enkelados, serta memetakan medan magnet dan gravitasi Saturnus. Misi seperti Cassini-Huygens memberi spesies kita kesempatan langka untuk berbangga. Betapa cepatnya kita memperoleh dan menyempurnakan suatu set keahlian yang sepenuhnya baru. Pikirkan, dari Sputnik sampai bunuh diri Cassini dan segala yang telah kita capai di antariksa di antaranya, hanya dalam 60 tahun. Saya jadi berharap banyak mengenai apa yang bisa kita pelajari mengenai kosmos pada masa depan.



Kadang impian kita mati bersama kita, tapi boleh jadi saintis zaman baru membangkitkan lagi impian itu dan membawanya ke Bulan lalu lebih jauh lagi. Yuri Kondratyuk mungkin telah terlupakan dan sumbangannya ke penjelajahan antariksa bisa diperdebatkan. Na-

mun ada satu orang yang ingat dan melakukan apa yang dapat dia lakukan untuk menjamin Kondratyuk diberi pengakuan.

Setahun sesudah pulang dari Bulan, Neil Armstrong berziarah ke pondok Kondratyuk di Ukraina. Dia berlutut dan meraup tanah di sana untuk dibawa. Ketika kembali ke Moskwa, Neil Armstrong meminta para pemimpin Uni Soviet memberi penghargaan kepada Kondratyuk yang telah memungkinkan perjalanan legendarisnya.



| BAB SEMBILAN |

SIHIR TANPA DUSTA

Saya menyebut dunia kami Tanah Datar (Flatland), bukan karena kami menyebutnya demikian, melainkan untuk membuat hakikatnya jelas bagi Anda, pembaca budiman, yang berkesempatan hidup di Ruang (Space).

—EDWIN A. ABBOTT,
FLATLAND

Saya pikir saya bisa nyatakan dengan pasti bahwa tak seorang pun mengerti mekanika kuantum.

—RICHARD FEYNMAN,
THE CHARACTER OF PHYSICAL LAW

Visualisasi elektron di medan listrik dua dimensi adalah contoh karya seni unik ahli kimia dan fisika Eric Heller. Sebagaimana dia katakan, dia melukis dengan aliran elektron. Elektron masuk di beberapa titik lalu menyebar membentang, menghasilkan sistem acak, gerak kaotik, dan gambaran memukau.

OPTICKS:

OR, A

TREATISE

OF THE

*Reflections, Refractions,
Inflections and Colours*

OF

L I G H T.

The FOURTH EDITION, corrected.

By Sir *ISAAC NEWTON*, Knt.

L O N D O N :

Printed for WILLIAM INNYS at the West-
End of St. Paul's. MDCCXXX.



Alam menulis rahasia terdalamnya dengan cahaya. Cahaya dari bintang kita, Matahari, memberi tenaga ke segenap kehidupan di dunia ini. Tumbuhan makan cahaya untuk membuat gula. Cahaya adalah patokan pengukuran di alam semesta, menjadi pasak dari intan di tatanan ruang dan waktu. Cahaya yang terperjara mendefinisikan lubang hitam. Ketiadaan cahaya menghalangi kita mengetahui apa sebenarnya zat gelap dan energi gelap. “Melihat cahaya” biasa merujuk ke ke pencerahan religius. Namun tak ada yang lebih terobsesi dengan cahaya dibanding para ahli astronomi. Dan begitu mereka mulai mempelajari cahaya, cahaya membingungkan bahkan para ahli astronomi terhebat.

Isaac Newton, misalnya. Sewaktu muda, pada musim dingin 1665–1666, dia bekerja tak kenal lelah di kamar tidurnya di Woolsthorpe, rumah leluhurnya di Lincolnshire, Inggris, mencoba mencari tahu fisika cahaya dan warna. Saking inginnya dia mengerti hakikat cahaya dan warna, dia sampai bersedia menusukkan jarum ke mata—secara harfiah. Waktu Newton berumur 20-an, dia sudah meletakkan dasar cabang baru matematika bernama kalkulus, dan telah melakukan serangkaian percobaan yang membuat dia menyimpulkan bahwa warna adalah suatu aspek cahaya. Newton ingin tahu, di antara hal-hal yang kita lihat, mana yang termasuk sifat cahaya, dan mana yang disebabkan syaraf kita sendiri. Apakah warna berada dalam cahaya, atau dalam mata kita?

Opticks: or, A Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light karya Sir Isaac Newton berisi 30 tahun percobaan cahaya, penglihatan, dan warna.

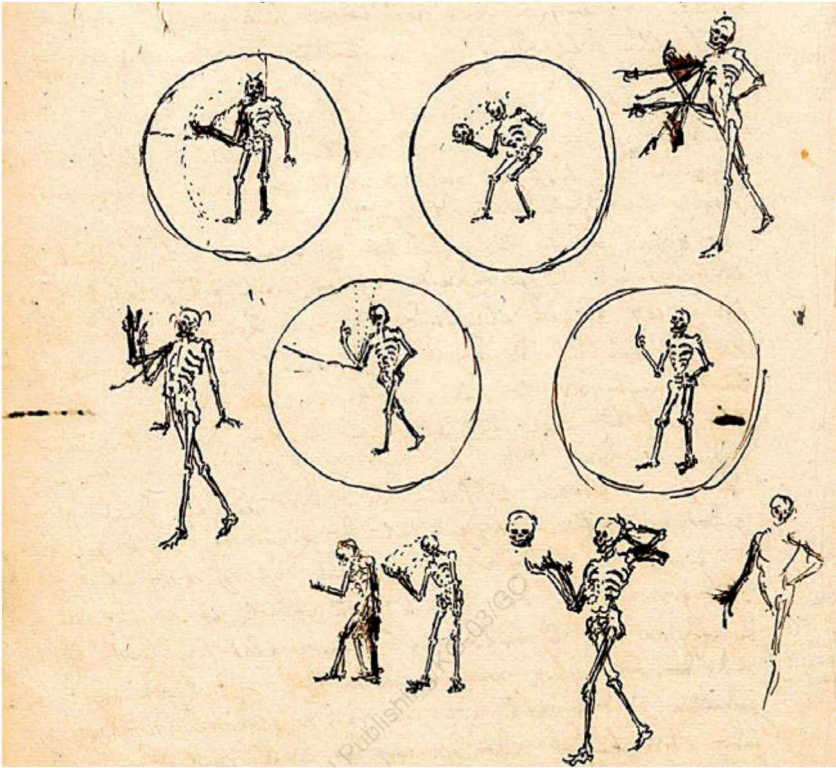
Buku tersebut pertama kali diterbitkan secara anonim pada 1704.

Dengan hasrat menggebu untuk mengetahui, Newton mengumpulkan keberanian, mengambil sejenis jarum (disebut *bodkin*), dan dengan tekad bulat menusukkan jarum itu ke bagian bawah mata kirinya sendiri. Dengan teguh Newton menulis mengenai “suatu percobaan untuk memberi tekanan ke mata”, penuh ilustrasi di buku *Opticks*-nya. Dengan cermat dia mencatat bahwa jika dia melakukan percobaan itu dalam ruang yang penuh cahaya, bahkan dengan mata tertutup, ada cahaya yang bisa menembus kelopak matanya dan dia bakal melihat suatu “lingkaran kebiru-biruan” besar dan lebar. Boleh jadi itu bukan hasil yang banyak, mengingat rasa sakit yang pasti dia alami, tapi dengan percobaan sederhana di rumah seperti itulah Newton menjadi orang pertama yang menjelaskan pelangi, dan bagaimana cahaya putih menyembunyikan aneka warna di dalamnya.

Sebagian besar orang berpikir bahwa fenomena yang Newton pelajari itu “sebagaimana adanya”—cara apel jatuh, cara berkas cahaya menembus jendela. Kebesaran Newton berasal dari pertanyaannya “mengapa” dan “bagaimana” terhadap hal-hal biasa, seperti anak empat tahun.

Contohnya, Newton bertanya: Cahaya terbuat dari apa? Jika kita dapat mengurai cahaya sampai bagian-bagian terkecil penyusunnya, apa yang bakal kita lihat? Newton memperhatikan bahwa cahaya bergerak dalam garis lurus. Kalau tak begitu, bagaimana lagi caranya menjelaskan tepi bayangan? Atau lurusnya berkas cahaya Matahari yang menyorot menembus awan? Atau kegelapan akibat gerhana Matahari total? Dari pengamatan-pengamatan itu, Newton bernalar bahwa cahaya mesti terdiri atas aliran zarah—atau “korpuskel”, istilah dia—sehingga berkas cahaya ibarat aliran peluru yang menghantam retina mata.

Namun ada satu orang, di Belanda, yang dengan penuh semangat menentang teori zarah cahaya Newton. Orang itu tak lain ialah Christiaan Huygens, ahli astronomi Belanda, orang pertama yang memahami hakikat cincin Saturnus dan menemukan bulan terbe-



Pada 1659, Christiaan Huygens menciptakan proyektor film dan menggambar animasi untuk film pertama: tarian Maut. Baru ratusan tahun kemudian orang menyadari potensi bentuk seni tersebut.

sarnya, Titan. Seperti Isaac Newton, Huygens juga selalu ingin tahu mengenai hal-hal biasa, dan meski seumur hidup bergulat dengan depresi parah, dalam hal mengubah dunia, Huygens juga tak tanggung-tanggung. Huygens menciptakan arloji berbandul. Dia menggarap rumus-rumus matematika yang diperlukan untuk menciptakan bandul dengan lengkungan yang bisa mengukur berjalannya waktu secara seragam dengan akurat dan konsisten, menetapkan standar perhitungan waktu presisi yang tetap bertahan selama tiga abad.

Huygens menggambar prototipe mesin baru yang dia pikir menjanjikan. Dia menamai mesin itu "lentera ajaib". Beberapa ra-

tus tahun kemudian mesin itu berevolusi menjadi proyektor film, tapi pada abad ke-17, Huygens sudah punya gagasan untuk film, barangkali dipengaruhi sifatnya yang suram. Huygens membuat serangkaian sketsa dengan pena dan tinta, kartun animasi Maut sedang menari. Maut membungkuk lalu mencopot tengkoraknya sendiri dan menentengnya seolah membawa topi. Dia lalu berjalan berkeliling, tanpa kepala namun congkak, kemudian menaruh kembali tengkoraknya di posisi yang pas, membungkuk lagi, dan berdiri sambil menyengir seram ke kita.

Seperti Newton, Huygens juga menciptakan cabang matematika sendiri, teori prediksi hasil permainan untung-untungan. Sekarang kita menyebutnya teori probabilitas. Seperti Newton, Huygens juga punya teori cahaya. Namun teorinya amat berbeda dengan teori Newton. Huygens tak menganggap cahaya terdiri atas zarah, seperti peluru yang ditembakkan sepanjang satu jalur. Huygens memandang bahwa cahaya adalah gelombang yang menyebar ke segala arah.

Pada zaman Huygens, sudah diketahui bahwa *bunyi* bergerak sebagai gelombang. Suatu suara bisa didengar melalui pintu yang terbuka sedikit. Bunyi pasti bergerak mengelilingi pintu seperti air. Pukulkan garpu tala ke logam dan acungkan untuk melihatnya bergetar. Selagi mendengar dengungannya, Anda seolah bisa melihat gelombang bunyi memancar ke segala arah. Huygens berpikir bahwa cahaya bergerak seperti bunyi, menyebar seperti gelombang.

Jadi, orang jenius mana yang benar? Jawaban pertanyaan apakah cahaya itu zarah atau gelombang terbukti rumit.



Berikutnya, hadirilah Thomas Young, seseorang yang dapat melakukan hampir semuanya. Dan Thomas Young melakukan segalanya. Dia lahir di Somerset, Inggris, pada 1773, dan bebas mengikuti

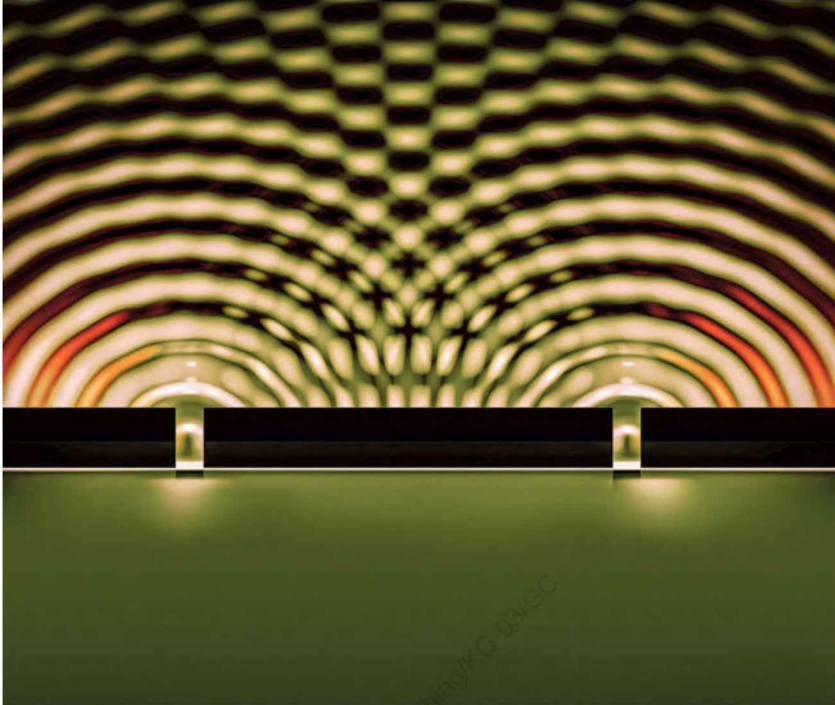
rasa ingin tahunya ke manapun menuju karena sudah mendapat banyak harta warisan dari pamannya. Alhasil, dia memberi sumbangan penting di beragam bidang.

Selama berabad-abad, banyak orang berusaha dan gagal membaca pesan-pesan tersandi dari peradaban yang adat dan dewanya berbeda dengan peradaban mereka. Pada awal abad ke-19, masyarakat Eropa menyaksikan balapan antara beberapa orang untuk menerjemahkan hieroglif Mesir kuno. Young-lah yang memberi terobosan pada 1819 dengan mengenali enam bunyi utama yang diwakili hieroglif. Sebagai orang yang suka mempelajari bahasa, Young ialah orang pertama yang memetakan silsilah bahasa-bahasa “Indo-Eropa”, istilah yang dia ciptakan untuk merujuk ke akar berbagai bahasa zaman sekarang di India dan Eropa.

Young menjadi pelopor di sains fisika juga. Dia orang pertama yang menggunakan kata “energi” dalam konteks modern. Dia orang pertama yang memperkirakan ukuran molekul, yang berarti dua atom atau lebih yang terikat secara kimia. Dan mengingat dia bekerja pada awal abad ke-19 dengan apa yang kita anggap bentuk teknologi sederhana, dia mendapat hasil yang mendekati jawaban sebenarnya.

Sebagai dokter, dia mengenali suatu cacat bentuk mata, gangguan penglihatan yang dia namakan astigmatisme. Saya bisa lanjutkan lagi, tapi rancangan percobaan sederhana oleh Young pada awal abad ke-19 mengirim fisika masuk lubang berliku yang masih kita diami kini. Dan itu dilakukan dengan beberapa lembar kardus tipis.

Young memasang satu lembar kardus dengan satu celah vertikal di atas meja. Kemudian dia memasang lembar lain dengan dua celah sempit sejajar tak jauh dari lembar pertama. Sesudahnya, lembar ketiga menjadi layar untuk cahaya yang bakal melalui celah-celah. Young menggelapkan laboratorium sehingga satu-satunya sumber penerangan adalah satu lampu Argand, yang canggih pada awal 1800-an karena dapat menghasilkan cahaya terkuat dengan



Percobaan celah ganda Thomas Young yang mengejutkan pada 1801 menghasilkan pola interferensi membingungkan di dinding.

sumbu. Dia menutupi lampu dengan kaca hijau untuk menyaring semua warna lain, dan memastikan hanya satu warna, atau satu frekuensi cahaya, yang melewati celah-celah. Mengapa itu penting? Karena dia menganggap banyak warna bakal menutupi pola interferensi yang dia ingin amati.

Young kemudian menempatkan lentera hijau itu di depan celah tunggal di kardus supaya cahayanya tembus ke celah ganda dan sampai di lembar kardus vertikal yang menjadi layar. Dia lalu memaksa warna itu melalui dua celah—untuk melihat pola macam apa yang bakal dibuat cahaya di lembar kardus terakhir. Jika cahaya itu zarah, bisa diharapkan terlihat ada dua kumpulan cahaya terpisah di dinding seberang, di mana zarah-zarah cahaya berada sesudah melewati celah-celah. *Namun bukan itu yang terjadi.*

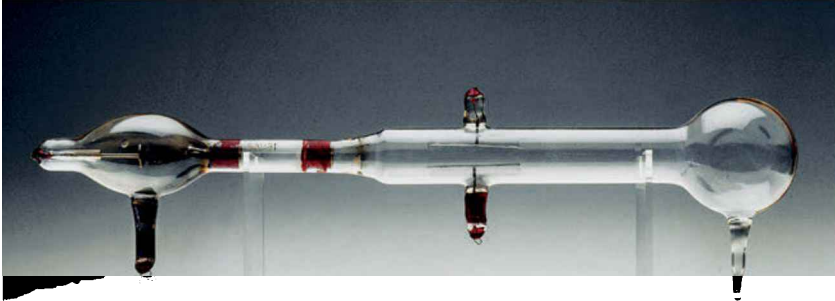
Yang muncul justru suatu pola yang benar-benar tak terduga: batang belang. Itulah pola yang bakal dibuat dua gelombang kalau menyebar ke arah luar dan saling tumpang tindih. Young telah menunjukkan bahwa cahaya sebenarnya adalah gelombang. Cahaya bergerak seperti riak-riak yang saling bertabrakan di kolam, puncak-puncaknya bertemu dan menciptakan pola interferensi.

Masyarakat sains tak bereaksi dengan baik terhadap hasil percobaan Young. Mereka ingin sang jenius terbesar, Isaac Newton, sempurna. Lebih seperti orang suci dibanding saintis. Lalu ada anak baru, Thomas Young, yang menemukan bahwa Newton setengah keliru: cahaya tak selalu merupakan zarah, seperti dinyatakan Newton dengan percaya diri. Ada alasan bahwa argumen berdasarkan otoritas/ketokohan tak dianggap berbobot dalam sains. Alam dan hanya alam yang memutuskan semua perselisihan. Dan alam punya banyak sekali trik, sehingga hanya orang bodoh yang menganggap pemahaman kita akan alam sudah lengkap. Newton salah—sebagian. Young benar—sebagian. Namun kita belum sampai ke bagian cerita yang benar-benar meresahkan.



Young meninggalkan bom waktu dengan sumbu panjang, yang butuh 100 tahun untuk terbakar sampai meledak. Young tak tahu malam itu mengenai hal paling mengerikan mengenai cahaya. Namun tak seorang pun dapat melihatnya karena hal itu terjadi di skala kecil sekali sehingga jauh di luar jangkauan mikroskop terhebat zaman itu. Baru pada akhir abad ke-19 sains mengembangkan alat-alat yang diperlukan untuk menemukan pintu ke alam semesta tersembunyi penuh aneka ragam dunia yang jauh lebih misterius daripada makam-makam Mesir kuno.

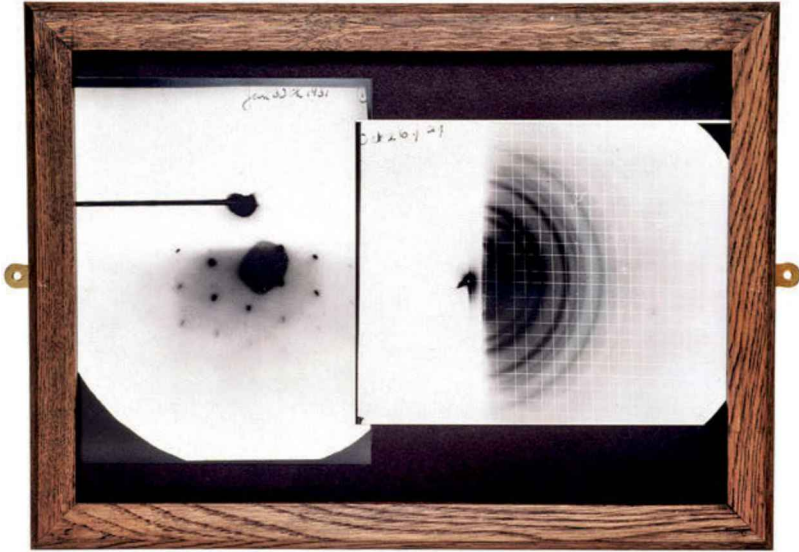
Di Cambridge University tahun 1897, ahli fisika bernama J.J. Thomson membuka pintu baru tak terduga ke dunia zarah dan gelombang. Dalam beberapa hal, penelitiannya menjangkau 2.500



tahun ke masa lalu, ke gagasan filsuf Yunani kuno Demokritos, yang menganggap bahwa dunia zat terdiri atas atom-atom. Namun belum ada yang pernah melihat atom, dan selama berabad-abad keberadaan atom hanyalah sesuatu yang diyakini dalam sains. Thomson menemukan sesuatu yang bahkan lebih kecil daripada atom, dan dia juga membuat semua orang bisa melihatnya.

Bukannya kardus dengan celah, Thomson menggunakan tabung kaca hampa udara yang dialiri listrik di dalamnya. Dia memanaskan elektroda logam, penghantar listrik, dan mengamati aliran zarah melalui tabung. Dia bahkan dapat mengubah jalur zarah dengan mendekatkan magnet ke tabung. Thomson menyebut zarah itu elektron.

Di internet, American Institute of Physics telah menyediakan rekaman audio pernyataan Thomson pada 1934: “Bisakah apapun, sekilas, tampak lebih tak praktis dibanding suatu benda yang begitu kecil sehingga massanya hanya sebagian kecil sekali massa atom hidrogen—yang sudah sangat kecil sehingga atom hidrogen berjumlah sebanyak penduduk dunia masih terlalu kecil untuk dideteksi dengan cara apapun yang diketahui sains?”



Menggunakan alat-alat termasuk tabung sinar katoda (halaman seberang), J.J. Thomson menunjukkan bahwa atom mengandung zarah kecil bermuatan negatif—yaitu elektron. Putranya, George Paget Thomson, melanjutkan karyanya dan dengan menembakkan elektron melalui kristal ke lempeng emas (di atas), menunjukkan bahwa zarah bergerak sebagai gelombang. Sifat ambigu zarah subatomik terus membingungkan kita.

Suara itu—tatanan tertentu bunyi yang diabadikan hampir seratus tahun lalu—menunjukkan kekagumannya bahkan sampai bertahun-tahun kemudian. Untuk pertama kali, satu zarah dasar atom dibuat bisa dilihat. Sains sedang membongkar lemari besi alam, dan ketika itu kegilaan mulai bermunculan. Jika unit-unit terkecil zat—katakanlah atom—punya bagian yang lebih kecil lagi, seperti elektron, maka bisakah itu juga berlaku bagi cahaya? Para saintis yang tak habis-habis kekagumannya terhadap cahaya mulai mencari cara untuk mengisolasi satuan-satuan cahaya yang makin lama makin kecil. Itu ternyata adalah jalan tembus. Itulah jembatan ke dunia ajaib di mana aturan-aturan fisika yang sudah dikenal tak berlaku.

Pada akhir abad ke-20, para saintis bisa melakukan percobaan celah ganda Young di tingkat baru. Mereka kini dapat mengisolasi

unit terkecil cahaya: foton. Foton bisa ditembakkan satu per satu melalui celah ganda Young. Satu melewati celah kanan. Satu lagi melewati celah kanan. Foton ketiga melewati celah kiri. Satu demi satu, foton-foton melanjutkan secara acak. Jika kita amati terus, polanya akan terus acak. Sekitar separo dari semua foton melalui satu celah, dan separo lagi melalui celah lain.

Dan jika kita memandang dinding yang diterpa foton sesudah melewati celah, apa yang kita lihat? Bukan pola interferensi dua gelombang bertabrakan, melainkan dua kelompok cahaya yang berukuran seragam. *Tunggu dulu ...* Mana gelombangnya? Mana pola interferensi Young? Di situ keanehan berawal. Saya belum bisa menjelaskan mengapa itu terjadi. Itu karena belum ada orang di Bumi yang mengerti. Jika tak bisa nyaman dengan itu, maka Anda tak akan senang dengan apa yang akan datang. Di skala terkecil yang sudah kita temukan—alam semesta kuantum—*tindakan mengamati itu sendiri mengubah realitas*.

Oke, biarkan foton-foton terus datang, dan kali ini, jangan dilihat. Selagi kita tak melihat, foton-foton terus melalui dua celah secara acak. Buka mata: Ada pola interferensi Thomas Young, dua muka gelombang saling bertabrakan membentuk pita-pita terang dan gelap! Anda tak akan percaya, tapi kita bisa mengubah pola di dinding sasaran sekadar dengan tak menyaksikan celah mana yang dilewati foton. Saya tahu kedengarannya gila, tapi di setiap percobaan seperti itu yang dilakukan, hasilnya bergantung kepada keberadaan pengamat. Jadi alasan para pelaku percobaan tak mendapatkan pola interferensi bukan karena mereka memecah cahaya menjadi foton-foton tunggal. Alasannya karena mereka mengamati celah mana yang dilewati foton.

Namun kok foton bisa tahu ada yang mengamati? Foton tak punya mata atau otak. Dari mana foton tahu sedang diamati?

Boleh Anda simpulkan dengan masuk akal bahwa satu foton adalah benda yang sangat kecil dan sukar dilihat tanpa mengguna-

kan teknologi kompleks. Teknologi itu melakukan kekerasan terhadap foton, mengubahnya. Namun itu tak menjelaskan mengapa foton berperilaku seperti zarah ketika kita mengamatinya tapi berperilaku seperti gelombang ketika kita tak mengamati. Jika cahaya pada dasarnya adalah zarah, maka seharusnya cahaya tak pernah menciptakan pola gelombang, baik kita mengamatinya maupun tidak. Dan bagaimana cara foton individual tahu di mana harus berposisi supaya sebagai satu kelompok mereka menciptakan pola interferensi gelombang? Itu teka-teki yang memusingkan di inti mekanika kuantum.

Isaac Newton dan Christiaan Huygens sama-sama benar dan sama-sama salah: Cahaya adalah gelombang sekaligus zarah, dan bukan keduanya. Itu juga bukan hanya berlaku bagi foton. Segala zarah subatomik menunjukkan perilaku demikian. Sampai kita melakukan pengamatan, foton, elektron, atau zarah dasar lain ada dalam keadaan ketidakpastian yang diatur hukum probabilitas. Dan ketika kita mengamatinya, objek itu menjadi sesuatu yang sepenuhnya berbeda.

Kita bakal tersesat dalam alam semesta kuantum tanpa Huygens. Teori probabilitasnya sampai sekarang menyediakan satu-satunya kunci yang kita miliki untuk mengerti hukum realitas kuantum. Tiap zarah dikuasai kebetulan acak dan peluang yang berubah-ubah. Memikirkannya ibarat memandang ilusi optik. Kita hanya bisa menangkapnya sejenak sebelum berubah menjadi sesuatu yang lain.

Ada perbatasan yang belum ditemukan, di mana hukum dunia kita berganti menjadi hukum yang berlaku di skala terkecil yang kita ketahui, tak berhubungan dengan pengalaman kita sehari-hari. Bagaimana kita bisa mengerti dunia yang dimensi dan aturannya berbeda dengan dunia kita? Tak gampang.



Mahakarya Edwin Abbott tahun 1884, *Flatland: A Romance of Many Dimensions*, adalah pengantar terbaik yang saya ketahui untuk berpikir mengenai tantangan alam semesta kuantum. Kami membahasnya di buku dan seri televisi *Cosmos* pertama untuk menggambarkan konsep struktur skala besar alam semesta dan kelengkungan ruang-waktu, tapi buku itu juga berguna untuk membantu Anda mengerti banyak pengalaman konstraintuitif yang dihadirkan sains dan matematika. *Flatland* bercerita mengenai penghuni dunia dua dimensi, tempat yang memungkinkan kita memikirkan seperti apa rasanya melompat ke dimensi baru tambahan.

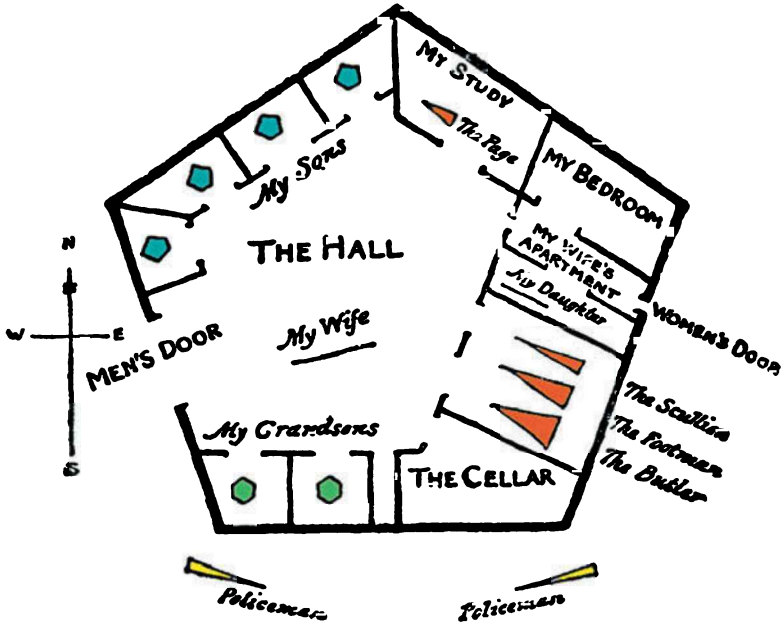
Bayangkan kita sedang terbang di atas kota penuh atap rumah geometris datar dan kendaraan lonjong datar yang bergerak di jejaring jalan. Sekilas, dunia itu sepenuhnya normal, tapi tidak punya satu dimensi ruang—dimensi ketiga. Semua orang dan barang di sana datar. Rumah mereka segi empat datar. Atau segitiga. Atau bentuk lebih rumit, misalnya segi delapan. Semuanya datar.

Kita mendekat dan bisa melihat warga Flatland: makhluk-makhluk kecil berbentuk bulat, menaiki segi banyak kecil, atau berjalan di jalanan. Di kehidupan satu dimensi, mereka bisa berbelok kiri dan kanan. Mereka bisa maju dan mundur. Tidak ada atas atau bawah.

Bayangkan Anda menjadi pengunjung Flatland. Anda berseru, suara Anda bergema.

Tak ada jawaban. Namun Anda mendengar langkah kaki. Seorang warga Flatland lari keluar rumah mencari sumber suara tanpa wujud. Dirinya yang berbentuk lonjong datar kecil bergerak ke sana kemari, kebingungan. Si warga Flatland khawatir dia kehilangan akal. Suara Anda terasa seperti datang dari dalam dirinya sendiri. Itu karena tak ada yang bisa datang dari atas. Tak ada “atas” di dunianya.

Makhluk tiga dimensi seperti Anda bisa ada di Flatland kalau kaki Anda menyentuh permukaan bentangannya. Si warga Flatland



Novel Edwin Abbott tahun 1884 *Flatland* membayangkan kehidupan dua dimensi dan rumah seperti ini, tempat hidup keluarga dua dimensi.

berhenti dan kalut. Tapak kaki Anda terlihat seperti hantu bagi dia.

Anda mungkin berlutut, dan dengan hati-hati memungut si warga Flatland. “Maaf, bung kecil,” kata Anda. “Saya tahu ini pasti aneh buat kamu. Jangan khawatir. Kamu akan saya bawa ke dimensi ketiga. Perjalanannya aman kok. Tak akan ada yang menyakiti kamu. Namun ini kesempatanmu melihat sudut pandang baru mengenai tempatmu hidup.”

Si warga Flatland syok. Namun sesudah beberapa lama dia mengerti. “Jadi ini namanya *di atas*,” katanya kepada diri sendiri, selagi dia memandangi rumah-rumah datar dan sesama warga Flatland untuk pertama kali dari atas. Pandangan tiga dimensi atas alam semesta dua dimensi mengubah hidupnya.

Si bung kecil sudah cukup menderita. Dengan lembut Anda taruh lagi dia di dunia dua dimensinya. Sahabatnya datang menyambut dia. Dia tampak seperti baru menghilang dan muncul kembali.

Kita hidup di zona nyaman tiga dimensi. Gampang membayangkan alam semesta berdimensi lebih sedikit, tapi sukar sekali membayangkan yang berdimensi lebih banyak. Suatu alam semesta berdimensi nol hanyalah satu titik tanpa dimensi. Alam semesta berdimensi satu dihuni potongan-potongan garis. Flatland berdimensi dua. Alam semesta 3-D adalah yang kita huni.

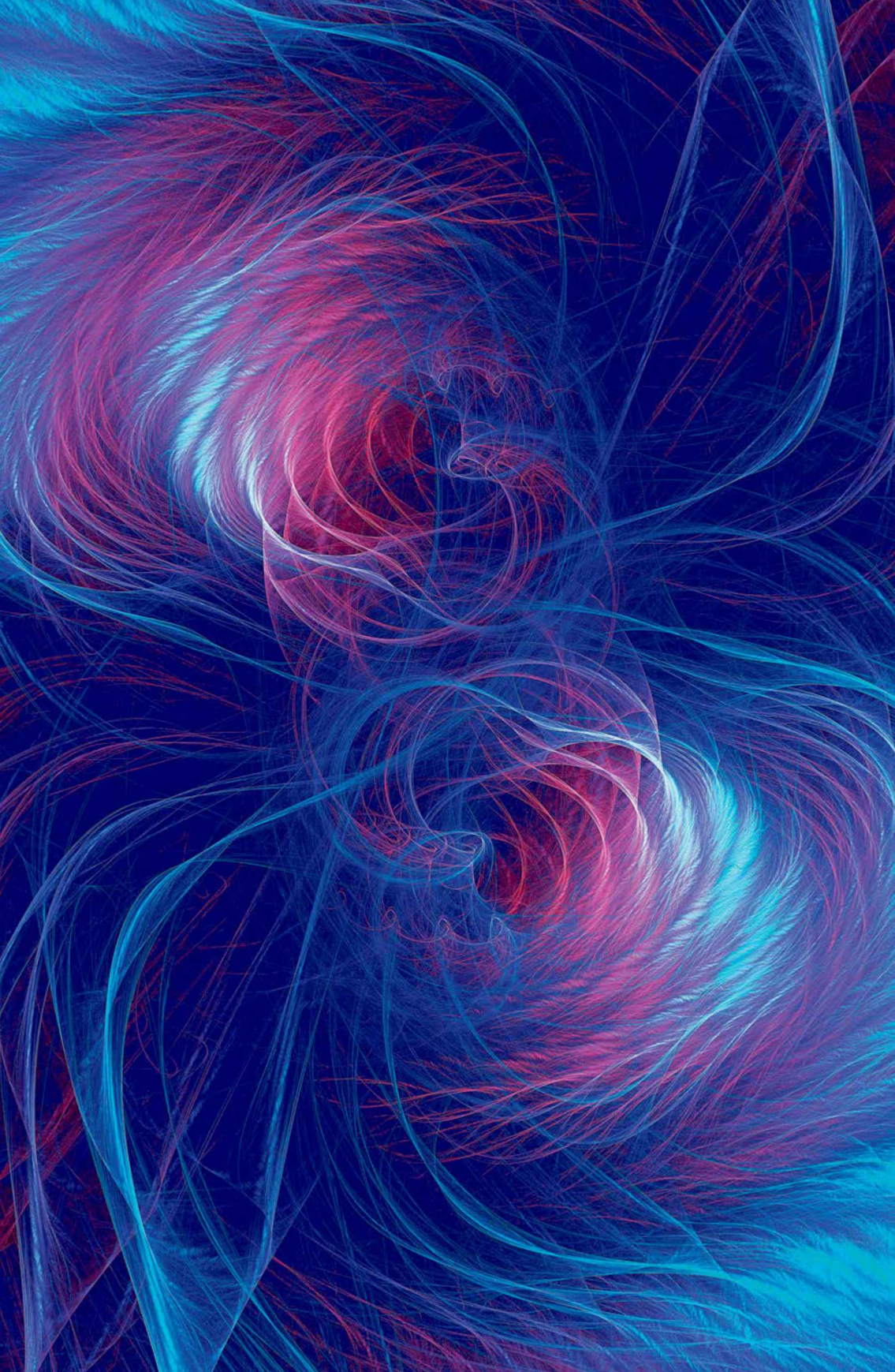
Kita bisa tertawa karena makhluk berdimensi dua tak tahu caranya membayangkan dunia tiga dimensi. Namun dalam hal realitas kuantum, ketidakmampuan itu mirip masalah yang kita sendiri hadapi. Kita hidup di Flatland kita sendiri.



Kita menghuni suatu kosmos dengan dimensi-dimensi yang belum ditemukan dan realitas yang mengandung paradoks. Kita hidup di satu tingkat persepsi, tapi ada tingkat-tingkat lain ke atas dan bawah. Sekali-sekali, seorang pencari menemukan pintu ke tingkat lain. Newton dan Huygens, Thomas Young, Michael Faraday, James Clerk Maxwell, dan Einstein adalah beberapa yang paling terkenal. Namun ada seorang pencari—kurang dikenal—yang mendobrak pintu yang orang lain kira tak mengarah ke mana-mana. Semua berawal karena dia tak dapat hidup bersama satu kontradiksi kosmik.

Paradoks cahaya sebagai gelombang atau zarah telah menaklukkan banyak sekali orang lain, sehingga masyarakat sains tampak

Keterkaitan kuantum—hubungan misterius yang bisa bertahan menghadapi segalanya kecuali pengamatan—seperti konsep yang dituangkan seorang seniman ini.



seperti ingin melupakannya saja. Selama paro pertama abad ke-20, paradoks itu dianggap jalan buntu untuk karier saintifik. Namun John Stewart Bell tak dapat meninggalkannya. Anda barangkali tak pernah mendengar nama dia, tapi dia menyentuh kehidupan Anda, dan masa depan Anda, dalam cara-cara yang sukar diperhitungkan. Revolusinya masih berlangsung. Namun saya tak dapat menyampaikan cerita dia tanpa pertama-tama menunjukkan misteri yang mengilhaminya.

Uraikan seberkas cahaya menjadi foton-foton penyusunnya, seperti di percobaan celah ganda, dan drama akan bermula. Ambil satu foton, suatu paket kuantum cahaya, dan belah dua, sehingga energinya terbagi dua. Dua foton baru itu “menikah” dalam arti fisik mendalam—atau seperti istilah ahli fisika kuantum, terkait (*entangled*). Tak peduli sejauh apa keduanya berpisah, dalam ruang dan waktu, ikatan antara keduanya akan bertahan. Agak mirip penjelasan cinta menurut Plato pada zaman Yunani kuno: Satu diri membelah menjadi dua dan memisah. Sepanjang hidup keduanya, masing-masing menjadi satu-satunya jodoh bagi yang lainnya, cocok sekali dengan kehidupan batin pasangannya, bahkan jika berbeda alam.

Amati putaran (*spin*) satu foton, dan pasangannya akan langsung mengubah putarannya juga. Tak ada yang istimewa di foton-foton itu. Sejauh yang kita ketahui, aturannya demikian. Jenis hubungan jarak jauh itu sudah berlangsung sepanjang sejarah alam semesta. Dua foton yang lahir pada awal alam semesta—hampir 14 miliar tahun lalu—berpisah dan bergerak ke arah berbeda. Keduanya bisa jadi terpisah puluhan miliar tahun cahaya. Namun, meski terpisah waktu dan ruang, ikatan antara keduanya bertahan.

Ada apa dengan foton—atau elektron atau zarah dasar lain, sesudah terkait—yang membuatnya bisa setia seperti itu? Lebih aneh lagi, yang diperlukan untuk memutus komitmen menak-

jubkan itu adalah pengamatan terhadap salah satunya. Tindakan sederhana mengukur. Saya hanya perlu mengukur putaran salah satunya. Pilih satu foton, yang mana saja. Itu dia! Separo pasangan kosmik kita. Di suatu tempat, pada saat ini juga, bermiliar-miliar tahun cahaya dari kita, pasangannya tiba-tiba merasa sesuatu yang beda. Kegirangannya sirna. Ikatan terputus. Mereka tak lagi saling terhubung. Tindakan sederhana mengamati salah satunya telah merusak pernikahan yang telah berlangsung sejak awal waktu.

Bagaimana mungkin hanya satu tindakan pihak ketiga yang tampak tak berbahaya memutus satu ikatan mendalam dan tahan lama untuk seterusnya? Bagaimana cara satu foton yang terpisah satu kosmos dengan pasangannya mengirim pesan putus melintas alam semesta yang diterima pasangannya seketika? Bagaimana bisa dua foton berkomunikasi satu sama lain lebih cepat daripada cahaya dan membawa pesan seperti itu pula? Itulah dua pertanyaan besar yang belum dijawab dalam sains. Jadi jangan khawatir kalau keduanya mengganggu Anda. Sesudah pertama kali memikirkan keduanya, Einstein saja terganggu oleh pertanyaan-pertanyaan itu sepanjang hidup.

Tak ada yang lebih menarik bagi saintis dibanding kemustahilan logis. Jika cahaya, hal tercepat yang mungkin ada, punya batas kecepatan kosmik, maka kiranya mustahil satu foton berkomunikasi dengan foton lain seketika melintas luasnya ruang dan waktu. Einstein tak tahan hidup dalam alam semesta macam itu, di mana apa yang dia sebut “aksi misterius berjarak” (*spooky action at a distance*) bisa terjadi.

Ingat zarah-zarah di percobaan celah ganda, yang memasuki celah kiri atau kanan? Pilihan itu bukan sekadar kebetulan acak. Namun kebetulan acak pun mesti mengikuti aturan tertentu—itu dasar teori probabilitas Huygens, dan menghitung peluang dalam melempar dadu.

Ketika Einstein menerapkan teori probabilitas ke masalah foton terkait, dia ngeri. Jika foton-foton itu dapat seenaknya melanggar batas kecepatan cahaya, maka alam semesta dan segenap isinya hanyalah kasino di mana hukum-hukum alam bisa dilanggar! Einstein menghadapi kegalaunnya dengan berpegang ke gagasan bahwa dadunya sudah diakali dengan cara yang kita belum ketahui. Dia menciptakan sesuatu yang dia sebut “variabel tersembunyi”, mekanisme yang entah bagaimana bisa memberitahu arah harus berbuat apa miliaran tahun dari sekarang. Dengan demikian, tak diperlukan komunikasi lebih cepat daripada cahaya, dan misteri yang mengganggu itu bisa dijelaskan.

Kita sudah melalui jalan itu sebelumnya. Sekitar satu juta tahun lalu, leluhur kita menjinakkan api. Mereka tak tahu apa api itu, tapi tetap menggunakannya, untuk membangun peradaban. Begitu juga dengan fisika kuantum. Kita tak perlu memahaminya untuk memanfaatkan banyak penerapan praktisnya, dalam sains dan bidang lain. Seperti para leluhur kita menggunakan api tanpa mengerti cara kerjanya, kita hidup dengan aspek misteri mekanika kuantum yang kompleks selama puluhan tahun.

Ada seorang anak laki-laki, lahir tahun 1928 di kawasan kelas pekerja di Belfast, Irlandia, yang mengembangkan keinginan kuat untuk mengerti api kuantum. John Stewart Bell bertekad mencari tahu apakah variabel tersembunyi Einstein itu nyata. Bell membuat percobaan pemikiran berdasarkan konsep-konsep aritmatika sederhana dan teori probabilitas sebagai cara menguji dugaan Einstein. Dia membayangkan foton-foton terkait melewati pagar yang celah-celahnya miring, atau *terpolarisasi*. Beberapa foton bakal terpental karena kena jeruji pagar, dan lainnya lolos. Dia membayangkan mekanisme penghitung untuk mencatat semua hasil acaknya.

Umpama tiap foton tahu polarisasinya sebelum kita ukur. Bell mengusulkan bahwa kita dapat membuat percobaan untuk meng-

uji gagasan itu menggunakan saringan dengan kemiringan sudut berbeda-beda. Dia menghitung berapa banyak foton yang bakal menembus jeruji vertikal pagar. Kemudian dia miringkan jerujinya 45 derajat; lebih sedikit foton yang tembus. Dia hitung berapa banyak yang bakal bisa melewati jeruji miring. Jika foton diarahkan oleh variabel tersembunyi, maka statistik foton yang lolos bakal berbeda. Namun dia tak dapat menemukan variabel tersembunyi Einstein yang manapun. Jika ada, variabel tersembunyi itu kiranya tak cukup untuk mengomunikasikan status dengan kecepatan cahaya, tapi bakal terjadi hanya di skala jauh lebih besar, entah bagaimana—itu kiranya menjadi “aksi misterius berjarak.”

Meski sederhana, para saintis butuh enam tahun untuk merancang percobaan sebenarnya, yang kemudian sudah dilakukan berkali-kali. Tiap kali dicoba, foton berperilaku persis seperti dibayangkan John Stewart Bell, secara matematis dan eksperimental menunjukkan tidak ada variabel tersembunyi. Hal yang Einstein khawatirkan terbukti: Kita telah memasuki wilayah di luar jangkauan fisika klasik, di mana satu foton ada di dua tempat sekaligus. Zarah-zarah dasar yang menyusun segalanya, termasuk kita, menanggapi peristiwa-peristiwa yang tak mungkin diketahuinya. Di kasino alam semesta kuantum tanpa hukum, tak ada realitas objektif.



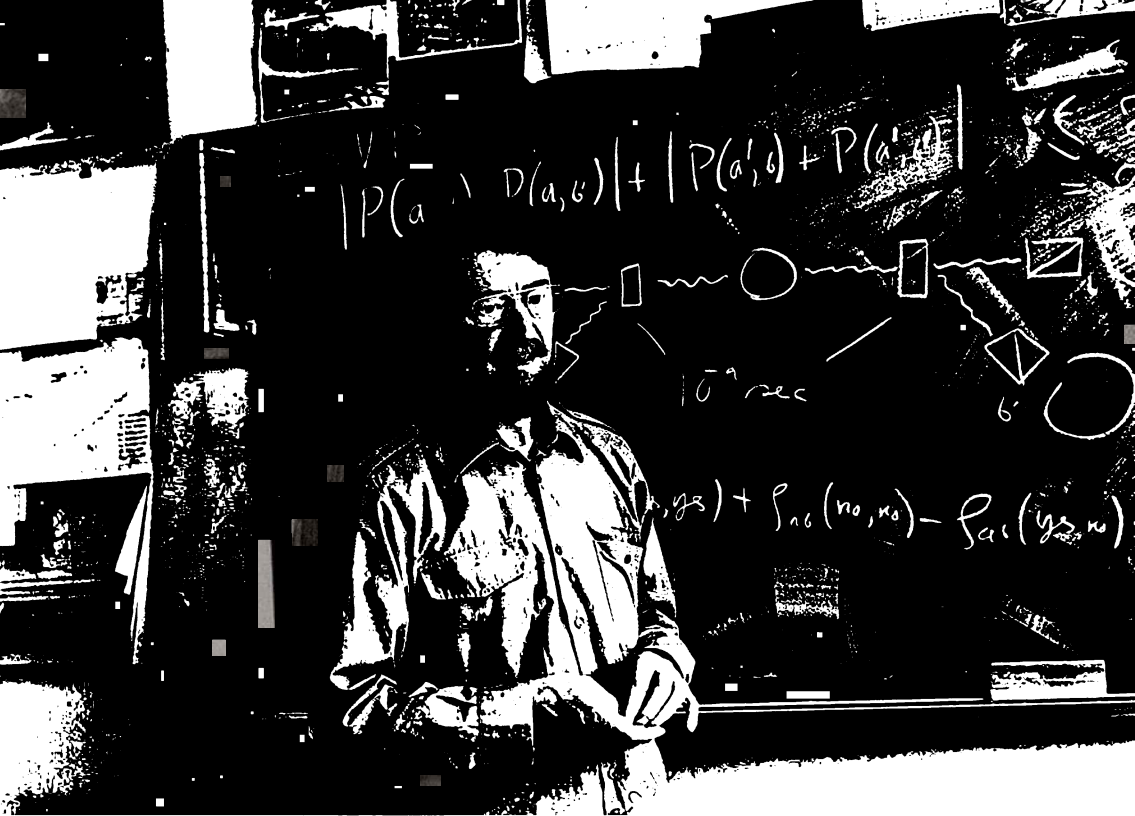
Alam semesta kuantum aneh bin ajaib bukan hanya ada di luar sana, ditarik-tarik oleh *bulan-bulan yang belum ditemukan*. Alam semesta kuantum juga ada dalam diri kita, melakukan sihir mustahilnya di tiap tingkat kehidupan dan pengalaman.

Tatap apapun: halaman buku ini, anjing, Bulan. Benda apapun yang Anda tatap mengirim gambar dari cahaya ke mata Anda. Gam-

barnya sampai ke retina Anda saat ini juga. Sel-sel di retina Anda mengalami perubahan kimia sekarang karena benda itu merangsang sebagiannya dengan foton. Retina Anda menyimpan perubahan itu selama sekitar empat perlima detik. Sekarang gambar itu terhapus untuk bersiap menerima rentetan foton berikutnya. Retina Anda tak mendeteksi semuanya—tidak bisa. Hanya sebagian kecil foton yang ditangkapnya. Mustahil memprediksi sel mana di retina yang akan menangkap foton. Bahkan dalam hal sesuatu yang sevitral penglihatan, kita hanya punya probabilitas. Namun apa benar ada sesuatu yang disebut kepastian? Jika segalanya, bahkan penglihatan kita sendiri, dikuasai probabilitas, bisakah ada realitas mutlak?

Adakah harapan menyelamatkan gagasan klasik kita mengenai realitas di alam semesta kuantum? Para saintis telah mengajukan satu cara untuk mempertahankan pemahaman tradisional kita atas sebab akibat, disebut filsafat banyak dunia (*many worlds philosophy*). Kita belum bisa menyebutnya hipotesis karena gagasan itu belum bisa diuji sains. Isinya seperti ini: Tiap probabilitas yang bisa terjadi, benar-benar terjadi di suatu kosmos paralel yang tertutup bagi kita. Banyak sekali realitas yang terus bercabang, terwujud di semua persimpangan.

Atau apakah probabilitas itu sendiri hanya ilusi, bayangan ketidaktahuan kita? Memang demikian halnya jika kita hidup di alam semesta di mana tiap peristiwa sudah ditetapkan pada awal waktu, sesuatu yang disebut superdeterminisme. Di alam semesta superdeterminis, tiap peristiwa besar dan kecil—kegagalan perjanjian yang mendatangkan bencana, bersin, satu lebah membuahi satu bunga, Anda membaca buku ini sekarang—ditetapkan pada saat alam semesta berawal, ketika ukurannya tak lebih besar daripada kelereng. Pikirkan: segala peristiwa itu—dan triliunan lainnya—digariskan dalam potensi saat pertama alam semesta. Karena kita terbuat dari zarah dasar yang sama dengan segala benda lain di



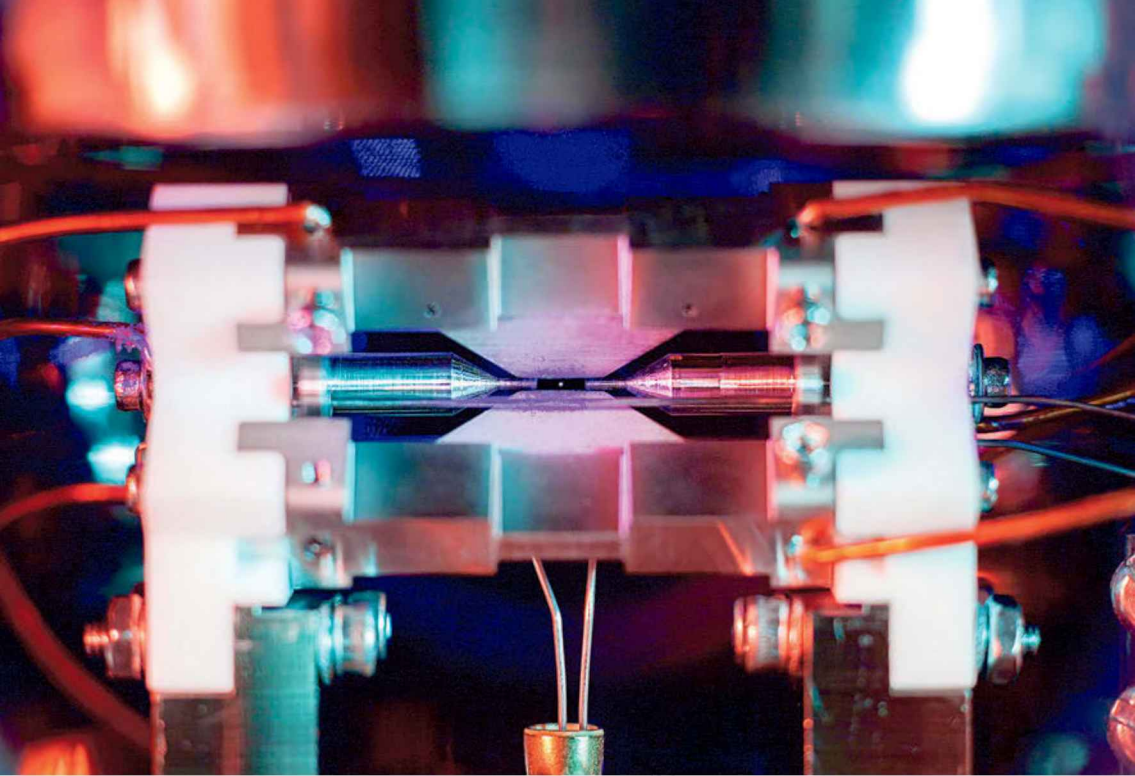
John Stewart Bell, orang yang berhasil ketika Einstein gagal. Penolakan Bell menerima halaman kosong di buku alam mengarah ke revolusi teknologi kuantum.

alam semesta, kita diatur hukum yang sama dengan yang mengatur alam semesta kuantum.

Superdeterminisme punya keunggulan tambahan. Superdeterminisme bisa menjelaskan misteri keterkaitan: kemampuan zarah-zarah terkait berkomunikasi melintas luasnya ruang dan waktu, sampai kelihatan melanggar batas kecepatan cahaya. Di kosmos superdeterministik, pasangan terkait yang berbeda galaksi tak perlu bisa saling mendengar untuk mengubah putaran. Keduanya selalu ditakdirkan melakukan itu pada saat terjadi. Demikian juga dengan pihak yang memutus ikatan keduanya dengan mengamati salah satu.

Tik...

Begitu juga dengan apa yang akan terjadi...



Titik biru pucat lain: satu atom strontium bermuatan positif tertangkap di antara dua elektroda. Dengan ukuran satu per 215 miliar milimeter, atom itu bisa kelihatan karena menyerap dan memancarkan kembali cahaya laser.

Tok...

Dan yang akan terjadi sesudahnya...



Kabar baiknya, superdeterminisme memberi kita pemecahan untuk misteri keterkaitan. Kabar buruknya, superdeterminisme tampak menghilangkan kehendak bebas kita, segala kemampuan membuat keputusan dan memilih jalan sendiri. Jika kita hidup di alam semesta superdeterministik, maka kita hanya menjalani takdir, mengikuti skenario yang ditulis untuk kita hampir 14 miliar tahun lalu, sambil berkata kepada diri sendiri betapa pintar, betapa egois, betapa berani kita. Jika Anda dapat mengubah satu hal kecil

di diri Anda ... Dalam alam semesta tanpa kehendak bebas, kita hanyalah robot deterministik.

Yah, setidaknya kita cukup pintar untuk menemukan cara menunggangi ketidakpastian, membangun teknologi baru berdasarkan pemahaman yang tak lengkap. Kita sudah membuat arloji kuantum, yang tak pernah perlu diputas. Arloji itu hanya akan terlambat satu detik dalam 15 miliar tahun ke depan. Itu waktu yang lebih banyak daripada yang sudah berlalu sejak awal alam semesta.

Setahu kita, boleh jadi kita hanya kumpulan zarah yang sudah diprogram di alam semesta deterministik. Namun marilah kita tidak hidup sebagaimana adanya. Lagipula, kita tak punya cara mengetahui apakah itu benar atau tidak. Dan kalau dipikir, boleh dikata kebebasan kita menjelajahi ranah kuantum berawal di Thomas Young. Ingat, Young-lah yang juga menemukan kunci menerjemahkan bahasa Mesir kuno yang telah lama terlupakan. Dia orang pertama yang mengenali bahwa hieroglif melambangkan bunyi, bukan hanya gagasan. Dia melakukan itu dengan mempelajari batu Rosetta, suatu prasasti bertulis perintah raja dari abad ke-2 SM, dalam tiga bahasa, salah satunya adalah bahasa Yunani kuno yang dia kuasai.

Riset Young membawa kita ke enkripsi kuantum, cara membuat sandi yang bisa hilang kalau ada yang mencoba meretas. Kunci sandi bisa dikirim melalui foton yang terkait. Efek pengamat adalah asuransi kita yang menjamin tak ada mata-mata yang bisa membongkar pesan tanpa menyebabkan keterkaitan putus, sehingga pesan jadi tak bisa dibaca.

Masih belum kita ketahui bagaimana foton bisa menjadi zarah sekaligus gelombang pada waktu yang sama. Yang saya sukai dalam sains adalah karena sains menuntut kita menoleransi ambiguitas. Sains mengharuskan kita bersikap rendah hati karena belum banyak tahu, menunda penghakiman sampai bukti datang. Itu tak

perlu mencegah kita menggunakan sedikit pengetahuan kita untuk mencari dan menerjemahkan bahasa realitas baru.

Di kosmos nan luas ini, kita semua warga Flatland. Sains adalah perjuangan untuk membayangkan lalu menemukan *atas*.

Batu Rosetta, dengan pernyataan dalam tiga bahasa yang salah satunya ditulis dengan hieroglif, digunakan untuk mencari kunci penerjemahan bahasa tulis Mesir kuno.

This image shows a detail from the Lindisfarne Gospels, specifically the opening of the Gospel of Matthew. The page features a large, ornate initial 'D' in red and blue, decorated with intricate interlaced knotwork and zoomorphic designs. The text is written in a dense, black, Gothic script. The initial 'D' is particularly prominent, with its left side extending into the left margin. The overall style is characteristic of the Insular style, known for its complex interlaced patterns and vibrant colors.

11

The image shows a single page from the Voynich manuscript, a famous undeciphered text. The page is filled with dense, handwritten text in a script that is completely unknown to modern scholars. The text is written in dark ink on aged, slightly discolored parchment. The script is highly stylized and appears to be a cursive form. The page is numbered '11' in the top left corner. The text is arranged in several horizontal lines, with some larger, possibly decorative or initial letters. The overall appearance is that of a historical document, likely a book or a letter.



KISAH DUA ATOM

Selagi mendekati St. Pierre, kami dapat melihat api merah bergulung dan melompat keluar dari gunung, besar sekali dan tinggi menjangkau angkasa ... Terjadi letusan besar sekitar pukul 7:45, tak lama sesudah kami masuk. Gunung itu pecah berkeping-keping ... Seperti badai api.

—AWAK RORAIMA YANG SEDANG BERSANDAR
DI SAINT-PIERRE, MARTINIQUE,
KETIKA GUNUNG PELÉE MELETUS PADA 1902

Ahli fisika adalah cara atom mengetahui mengenai atom.

—GEORGE WALD, PENGANTAR UNTUK
THE FITNESS OF THE ENVIRONMENT
KARYA L.J. HENDERSON EDISI 1958

Para pengamat militer menonton ledakan pada 1958, ketika Angkatan Darat Amerika Serikat kembali ke pulau-pulau karang Pasifik untuk uji nuklir di atmosfer.





Kerajaan zat menyimpan harta karunnya di banyak tingkat. Sampai baru-baru ini, kita pikir hanya ada satu tingkat. Kita belum tahu ada tingkat-tingkat lain.

Ketika kita menyalakan korek api, suatu reaksi kimia membebaskan energi yang disimpan di molekul. Ikatan-ikatan kimia lama putus, dan ikatan-ikatan kimia baru terbentuk. Molekul-molekul yang berdekatan mulai bergerak lebih cepat, dan suhu naik. Proses itu segera memperbesar diri: semacam reaksi berantai. Energi yang diwakili oleh api telah terkunci—barangkali selama bertahun-tahun—dalam ikatan-ikatan kimia antaratom, dijalin elektron-elektron yang mengelilingi inti-inti atom. Waktu menyalakan api, kita melepas energi kimia tersembunyi. Namun ada tingkat zat lebih dalam yang menyimpan energi jenis lain di dalam atom. Dan ada tingkat yang lebih dalam lagi, di inti atom.

Harta karun terpendam itu dibentuk miliaran tahun lalu di tungku-tungku bintang yang jauh, lama sebelum Bumi terbentuk. Di mikrokosmos itu rahasia kehidupan bisa ditemukan. Dan masa depan manusia? Akan juga ditentukan di skala atom dan inti atom. Baik atau buruk, sains akan jadi kunci.

Apa itu atom? Apa bahannya? Bagaimana cara atom saling bergandengan? Bagaimana bisa sesuatu sekecil atom berisi begitu banyak tenaga? Dari mana datangnya atom? Jawabannya adalah dari tempat asal kita juga. Ketika mencari asal-usul atom, kita mencari

Kreatif dan destruktif, megah dan seram: Api telah berperan penting dalam evolusi budaya manusia.

asal-usul kita sendiri. Petualangan itu membawa kita ke pelosok ruang dan waktu. Saya ingin bercerita mengenai kisah dua atom.



Dahulu kala, sebelum ada Bumi, ada gas dingin tipis. Gas itu terdiri atas atom-atom paling sederhana, hidrogen dan helium. Dan atom-atom itu saling menarik karena gravitasi, sehingga berkumpul dalam awan-awan yang seiring waktu bergolak, memadat, dan menjadi gepeng.

Gravitasi menarik atom-atom itu makin berdekatan, sehingga atom-atom di bagian tengah awan bergerak makin cepat sampai keseluruhan awan runtuh ke dalam dirinya sendiri. Keruntuhan itu menaikkan suhu sedemikian tinggi sehingga awan menjadi reaktor fusi alami. Atom-atom yang beroperasi mengikuti hukum fisika bertemu dan bersatu, mengalami fusi, di kegelapan. Kemudian terjadilah cahaya. Dengan kata lain, *bintang*.

Di buih zarah dasar itu, inti satu atom—atom helium—terbentuk. Sesudah miliaran tahun, bintang yang sudah tua itu telah mengubah semua bahan bakar hidrogennya menjadi helium. Selagi mendekati kematian, bintang mengulang kembali keruntuhan pada masa kecilnya. Atom helium kita bergabung dengan dua atom helium lain menjadi salah satu tokoh kita: atom karbon.

Sementara itu, di bagian lain galaksi Bimasakti, proses-proses serupa terjadi selagi bintang-bintang lahir dan mati. Atom lain di cerita kita juga terbentuk di inti bintang sekarat. Di proses supernova, 226 proton dan neutron berfusi ke satu atom karbon, mengubahnya menjadi satu atom uranium. Dan kedua atom itu berkelana melalui berbagai ranah di Bimasakti.

Atom karbon kita pergi jauh dan menjadi bagian satu planet kecil. Sesudah miliaran tahun, dia bergabung dengan satu molekul amat kompleks yang punya sifat unik bisa membuat salinan diri yang hampir identik—molekul inti kehidupan yang kita sebut



Inilah yang terjadi di skala amat kecil ketika Anda menyalakan korek api: api di tingkat molekuler—reaksi kimia yang bergerak cepat. Selagi ikatan-ikatan atom yang ada terputus dan ikatan-ikatan atom baru terbentuk, ledakan energi terlepas dalam bentuk cahaya dan panas.

asam deoksiribonukleat, atau DNA. Dengan cara demikian, satu atom karbon itu berperan dalam asal-usul kehidupan, menjadi bagian organisme bersel satu di dasar laut dan pada zaman-zaman berikutnya menjadi bagian kecil sisik ikan purba, kemudian cakar amfibi yang keluar air dan naik ke darat. Melalui segala inkarnasinya, atom karbon kita tak punya kesadaran diri, tanpa kehendak bebas; dia sekadar bagian amat kecil di mesin kosmik raksasa yang bekerja sesuai hukum alam.

Dan atom lainnya, atom uranium yang terbentuk dalam supernova, apa jadinya dia? Dunia kita sendiri lahir dalam api, dan entah bagaimana, atom kecil itu tertarik ke sana. Barangkali dia terbawa gelombang kejut ledakan supernova, atau ditarik gravitasi Matahari kita. Atom itu jatuh ke permukaan Bumi muda dan masuk ke dalam Bumi.

Seiring waktu, permukaan Bumi mendingin, tapi bagian dalamnya tetap berupa batu dan logam cair. Magma pelan-pelan berge-

rak, dan atom uranium kita terbawa, seiring zaman, dari inti kembali ke permukaan. Meski ada suhu dan tekanan tinggi di inti Bumi, integritas atom kita tak pernah terganggu. Atom itu kecil, tua, kuat, dan tahan lama. Jutaan tahun lalu atom uranium kita menjadi bagian batu di permukaan Bumi. Batu itu ambles dan hutan pinus tumbuh di atasnya. Segalanya terbuat dari atom, termasuk kita. Namun sampai tahun-tahun terakhir abad ke-19, tak seorang pun tahu mengenai ramainya kegiatan di dalam atom.

Dua atom dari dua ujung galaksi Bimasakti akhirnya akan bertemu.



Terjadinya di Paris. Satu pagi pada 1898, kereta kuda yang membawa karung-karung berisi batu (termasuk atom uranium kita, dan triliunan atom lain) dari bagian Eropa timur yang sekarang termasuk Republik Ceko melewati Rue Lhomond. Kereta itu berhenti di depan pondok kumuh yang dulunya menjadi gudang jenazah untuk sekolah kedokteran di dekatnya.

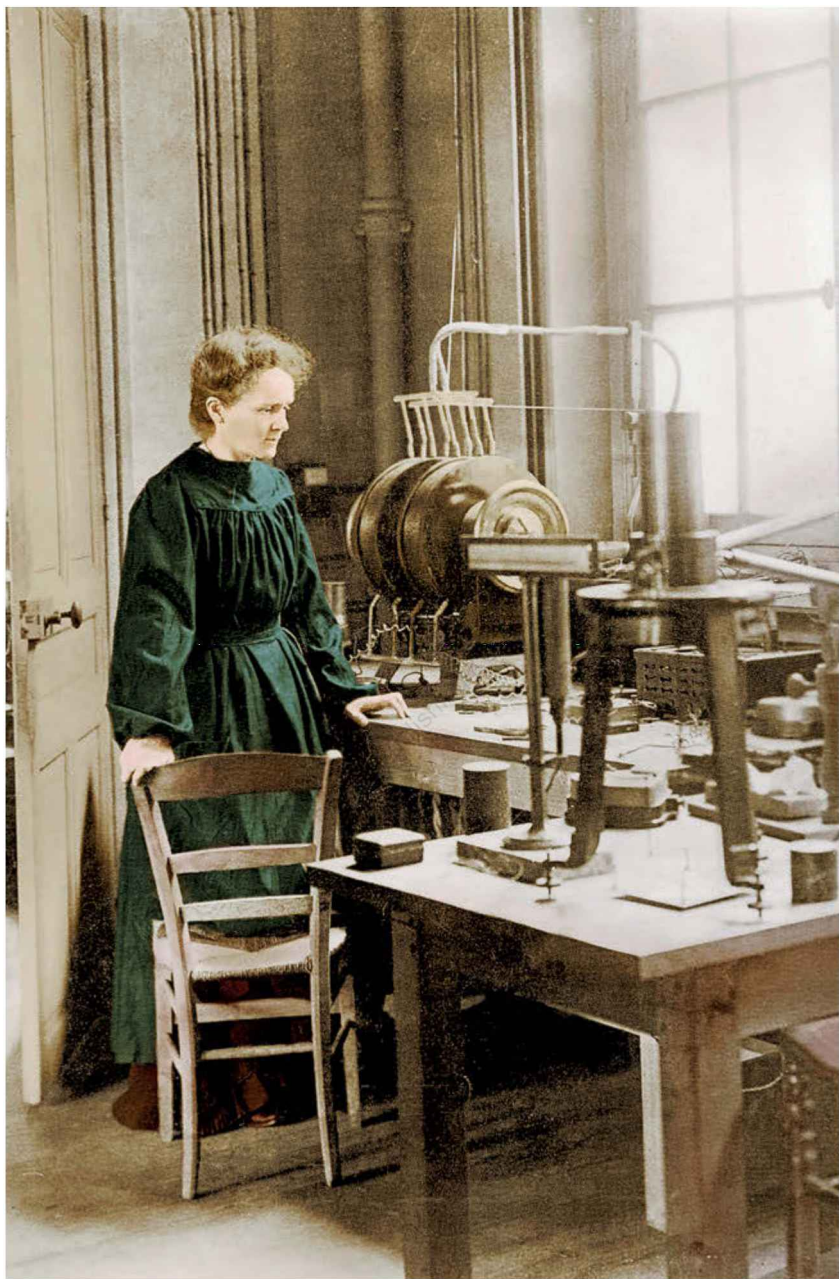
Di dalamnya ada seorang saintis yang mengubah pemahaman kita mengenai zat, Marie Curie, umur 31. (Atom karbon kita telah menjadi bagian retina matanya.) Marie anehnya girang melihat karung-karung kotor itu. Ketika itu sinar X baru ditemukan beberapa tahun sebelumnya. Marie beserta kolega dan suaminya, Pierre, ingin tahu bagaimana sepotong zat dapat membuat kita melihat menembus kulit, bahkan dinding. Mereka tahu bahwa batubatu itu mengandung pitchblende, sekarang dikenal sebagai uranit, bahan yang memberikan kekuatan super itu kepada zat. Ketika Marie memotong tali pengikat karung, bebatuan cokelat pudar di dalamnya masih bercampur daun pinus wangi. Mereka menghadapi tugas berat memisahkan pitchblende dari berkarung-karung bebatuan. Pekerjaannya terbukti menghabiskan waktu. Belakang-

an Marie menulis: “Kami hidup hanya mengerjakan satu hal, seolah dalam mimpi.” Mereka bekerja dalam kondisi sulit untuk memurnikan bijih menjadi pitchblende, yang mengandung 50 sampai 80 persen uranium. Mereka menyimpan pitchblende di wadah-wadah laboratorium di dinding pondok. Itu saja sudah lumayan hebat, tapi Marie dan Pierre berburu sesuatu yang jauh lebih langka. Mereka perlu tiga tahun untuk memproses berton-ton bijih sehingga mengisolasi sepersepuluh gram bahan yang Marie namai radium.

Mereka melakukan percobaan dengan radium yang berharga itu dan kaget karena radium benar-benar tak terpengaruh suhu tinggi. Itu aneh. Sebagian besar benda yang terkena panas tinggi berubah drastis. Ada lagi sesuatu yang lain. Radium memancarkan energi secara spontan, bukan melalui reaksi kimia melainkan melalui suatu mekanisme yang belum diketahui. Marie Curie menyebut fenomena baru itu radioaktivitas. Dia dan Pierre menghitung bahwa energi yang mengalir spontan dari seongkah radium bakal jauh lebih besar daripada pembakaran batu bara berukuran sama. Mereka kaget mendapati bahwa radioaktivitas sejuta kali lebih kuat daripada energi kimia. Mereka belum mengerti sepenuhnya waktu itu, tapi itulah bedanya antara membebaskan energi yang berada di molekul dan membebaskan kekuatan jauh lebih besar yang disimpan lebih dalam.

Wadah dan botol yang berjajar di rak dinding di pondok penuh pitchblende. Marie menulis mengenai satu malam ketika mereka pergi ke pondok sesudah makan. Sewaktu masuk, Marie memegang tangan Pierre agar jangan menyalakan lampu gas dulu. Rak-rak berpendar: Tiap botol, tiap bejana, tiap tabung bercahaya fosforesen kebiruan. Marie menulis bertahun-tahun kemudian, “Seperti bintang di Bumi—tabung-tabung berpendar di pondok sederhana.”

Marie mencapai kesimpulan yang tepat: pendar cahaya itu disebabkan sesuatu yang terjadi di dalam atom radioaktif. Selama ribuan tahun, dianggap bahwa atom tak bisa dibagi—secara harfiah



Di laboratoriumnya di Paris, Marie Curie bekerja bersama suaminya, Pierre, kemudian bekerja sendiri selama bertahun-tahun sesudah suaminya meninggal, meneliti hakikat uranium dan radioaktivitas.

itu arti kata “atom” dalam bahasa Yunani, “tak bisa dipotong”. Atom dianggap unit zat paling kecil. Bintang-bintang Curie di Bumi adalah bukti bahwa atom merupakan suatu dunia di mana terjadi kegiatan zat yang belum pernah diamati di panggung yang belum diketahui keberadaannya. Curie menunjukkan bahwa atom-atom itu tak dapat dipengaruhi reaksi kimia. Untuk memahaminya, kiranya diperlukan strategi baru, hukum alam baru, dan teknologi baru.

Lebih daripada seabad kemudian, buku catatan dan resep Marie Curie masih berpendar dengan radioaktivitas yang ditemukannya. Pada 1906, Pierre meninggal karena tertabrak kereta kuda pada umur 46. Marie hidup dan bekerja selama 28 tahun sesudahnya, sebelum meninggal karena anemia aplastik pada umur 66, diperkirakan karena lama terpapar radium.

Karena yakin mengenai nilai radium untuk kedokteran dan industri, Marie tak pernah menyadari aspek bahaya dalam hadiahnya kepada dunia. Namun tak lama kemudian dampak gelapnya terpikir oleh seorang visioner, H.G. Wells. Wells seorang jenius yang bisa mengubah penemuan-penemuan sains menjadi cerita-cerita yang memukau dunia. Dia membayangkan mesin waktu dan invasi alien—serta dunia masa depan yang menggunakan atom sebagai senjata.

Dalam bukunya *The World Set Free*, terbitan 1914, Wells menciptakan istilah “bom atom” dan menyebarkan ke masyarakat. Dia membayangkan masa depan pada 1950-an. Hanya 10 tahun sesudah penerbangan pertama Wright bersaudara, Wells membayangkan pesawat terbang bertenaga atom melintas selat Inggris. Pilotnya yang mengenakan kacamata dan helm memandang ke depan, ke arah kota. Wajahnya mengeras selagi dia membungkuk di kokpit untuk mengangkat bom yang berat. Dia menarik pelatuk dengan gigi, dan menjatuhkan bom itu. Ketika bom mengenai sasaran, kekuatan ledakan sampai mendorong pesawatnya. Pusat kota Berlin berubah menjadi seperti kawah gunung berapi.

Sains butuh 20 tahun untuk mewujudkan fiksi itu.



Satu orang yang membaca novel H.G. Wells ialah ahli fisika muda bernama Leo Szilard. Pada 12 September 1933, Szilard, emigran asal Hungaria, sedang menginap di Strand Palace Hotel, London. Dia baru membaca berita mengenai pidato Lord Rutherford di *Times* London yang menarik perhatiannya. Ernest Rutherford dikenal sebagai bapak fisika nuklir karena satu di antara beberapa penemuannya yaitu bahwa radiasi dihasilkan ketika satu unsur kimia berubah menjadi unsur kimia lain. Szilard tersinggung oleh pernyataan Rutherford bahwa pengetahuan mengenai struktur atom yang baru didapat tak bisa digunakan untuk memproduksi energi. Szilard memutuskan untuk jalan-jalan, caranya berpikir.

Sambil berjalan, Szilard memikirkan mengenai bagaimana atom terdiri atas proton dan neutron di dalam, dan sekumpulan elektron di luar. Selagi berhenti di lampu lalu lintas persimpangan Southampton Row dan Russell Square, dia terpikir: Jika dia bisa menemukan satu unsur yang bakal memancarkan dua neutron ketika menyerap satu neutron, maka itu bakal menghasilkan reaksi berantai nuklir. Dua menghasilkan empat, dan empat menghasilkan delapan, dan seterusnya—sampai banyak energi inti atom bisa dilepas. Bukan reaksi kimia, melainkan reaksi nuklir.

Pastilah Szilard terpaku di tengah sekelompok pejalan kaki yang menunggu lampu lalu lintas berubah warna. Dia barangkali memikirkan visi H.G. Wells mengenai bom atom. Dia mungkin terdiam selagi orang-orang yang berdiri di belakangnya menyelak. Saya bertanya-tanya apakah Szilard tahu legenda mengenai penciptaan catur, yang Carl ceritakan ke saya dulu. Sesudahnya, saya tak pernah menemukan cara lebih baik untuk menggambarkan kekuatan eksponensial, jadi akan saya ceritakan kembali legenda itu di sini. Ada banyak versi mengenai asal-usul catur. Beberapa bilang asalnya dari India, yang lain bilang Persia. Biji catur terpenting adalah



Biji catur Persia dari sekitar 1000 M—dari kiri, dua raja, benteng, dan menteri—terbuat dari gading. Satu diwarnai hijau agar berbeda dari yang putih.

raja, dan tujuan permainan adalah menangkap raja lawan. Dalam bahasa Persia, permainan catur bernama *syahmat*—*syah* berarti raja, *mat* berarti mati—dan kata itu menjadi asal istilah “skakmat”.

Satu versi legenda menyatakan bahwa di Baghdad abad ke-7, raja sangat senang bermain catur untuk pertama kali sehingga dia menawarkan untuk memenuhi apapun keinginan penemunya, perdana menteri. Bayangkan kagetnya sang raja ketika perdana menteri menjawab dengan apa yang tampaknya permintaan amat beresaja: “Yang Mulia, beri saya sebutir beras untuk petak pertama di papan catur, dua kali lipatnya untuk petak kedua, dua kali lipat jumlah itu untuk petak ketiga, dan seterusnya, sampai semua petak terisi butir beras.”

“Beras???” Sang raja tak percaya apa yang dia dengar. “Aku pikir kamu mau tanah subur luas, kandang penuh kuda, zamrud, intan, dan mirah.” Namun perdana menteri bersikeras. Beras, dan hanya beras, yang dia inginkan. “Baiklah,” kata raja, berpikir dia akan mudah memenuhi permintaan itu.

Raja memerintahkan para ponggawa membawa sekarung beras ke ruang takhta, dan seorang pejabat mulai menghitung butir beras. Beberapa petak pertama papan catur terisi dengan cepat, tapi kemudian dibutuhkan beberapa karung beras lagi. Dan beban

menghitung beras menjadi makin kompleks selagi makin banyak petak yang harus diisi. Terlalu berat untuk satu orang.

Makin banyak penghitung digunakan selagi jumlah butir beras bertambah, dan tumpukan beras di tiap petak makin tinggi, sampai lebih tinggi daripada orang dan perabot di ruang itu, termasuk takhta! Kekuatan penggandaan—disebut pertumbuhan eksponensial—sangat dahsyat sehingga andai sang raja memenuhi janjinya, bakal ada *setengah juta* beras di tengah baris keempat papan catur. Tak lama kemudian beras yang dikumpulkan sudah sampai tumpah keluar istana, sampai membanjiri kota! Banjir beras bakal merendam Baghdad dan daerah sekelilingnya.

Apabila anak buah raja sampai ke petak ke-64, perdana menteri bakal menerima hampir *18,5 kuintiliun butir beras! Tujuh puluh miliar ton beras*—itu setara jatah beras untuk dimakan semua orang di Bumi hari ini selama 150 tahun. Pemenuhan janji itu bakal membangkrutkan sang raja. Dan menurut legenda, sang perdana menteri—dengan kemampuan matematika—mendapatkan takhta raja. Skakmat.

Leo Szilard tahu mengenai dahsyatnya eksponensial, dan jika satu reaksi berantai neutron dapat dipicu di dunia inti atom, maka sesuatu seperti bom atom yang dikhayalkan Wells bisa dibuat. Szilard merinding memikirkan kemampuan penghancur itu—perkembangan terbaru dalam rangkaian kekerasan yang berawal lama sebelumnya.



Bagaimana cara menilai suatu peradaban? Apakah dengan sistem ekonomi? Kemampuan berkomunikasi dan bepergian? Sebanyak apa kekayaannya yang dikerahkan untuk berperang? Luas kerusakan yang dihasilkan senjatanya—sejauh apa senjatanya bisa bergerak untuk membunuh musuh? Berapa banyak nyawa yang bisa

dicabut dengan satu senjata? Cakrawala identifikasi masyarakat—sebesar apa kelompok yang dianggap layak diperhatikan? Pemahaman masa depan—berapa tahun ke depan mereka bersedia berencana, dan apa yang mereka mau lakukan untuk melindunginya?

Kenyataan pahitnya, satu kecenderungan dalam sejarah manusia adalah efisiensi membunuh kita yang makin besar. Lima puluh ribu tahun lalu, semua manusia termasuk kelompok pemburu-pengumpul pengelana. Manusia berkomunikasi di wilayah terbatas dengan saling teriak—dengan kecepatan cahaya, sekitar 1.200 kilometer per jam. Dalam jarak lebih jauh, komunikasi hanya dimungkinkan secepat manusia bisa berlari. Sekitar zaman itulah manusia mengembangkan kemampuan membunuh dari jarak lebih jauh. Jangkauan serang meluas setara jangkauan busur melontar panah. Perbandingan pelaku dan korban adalah 1 banding 1—hanya satu orang dapat dibunuh dengan satu anak panah. Para leluhur kita tak begitu suka perang karena dulu orang masih sedikit dan ruang masih luas: lebih baik menyingkir daripada berkelahi. Senjata mereka umumnya digunakan untuk berburu saja. Cakrawala identifikasi mereka mungkin kecil—hanya sebatas anggota kelompok, 50 atau 100 orang.

Namun cakrawala waktu manusia melompat maju dengan perkembangan pertanian. Manusia bekerja keras dalam waktu lama menanam tanaman sekarang supaya berbulan-bulan kemudian dapat memanennya. Mereka menunda menikmati hari ini agar kelak mendapat keuntungan. Manusia mulai merencanakan masa depan.

Sekitar 2.500 tahun lalu—hanya enam detik sebelum tengah malam 31 Desember di Kalender Kosmik, manusia mulai berperang dengan cara baru. Wilayah yang ditaklukkan Alexander Agung merentang dari Makedonia sampai lembah Sungai Sindhu. Ada banyak orang di planet Bumi yang termasuk kelompok beranggotakan jutaan orang. Kecepatan maksimum komunikasi dan transportasi jarak jauh mengikuti kecepatan perahu layar dan kuda. Namun



kemajuan teknologi senjata meningkatkan jangkauan serang, dan rasio senjata terhadap korban naik secara eksponensial—10 kali. Sepuluh mayat tergeletak, bukan cuma satu. Dan prajurit yang menggerakkan tuas alat pelontar batu besar tak pernah melihat wajah korbannya. Dia tetap jauh dari pembantaian di balik dinding kota musuh.

Arkhidamos III, raja Sparta abad ke-4 SM, terkenal karena gagah berani. Dia suka bertarung langsung melawan musuh. Konon ketika dia pertama kali melihat batu dilontarkan dengan alat pelontar batu, dia menjerit sedih: “Demi Herakles, kegagahan manusia sudah sirna!”

Hari ini, kecepatan maksimum transportasi adalah kecepatan untuk lepas dari gravitasi Bumi, 40.000 kilometer per jam. Kecepatan komunikasi adalah kecepatan cahaya. Cakrawala identifikasi juga sudah meluas: semiliar orang atau lebih untuk beberapa orang, seluruh anggota spesies kita untuk beberapa orang lain, dan semua makhluk hidup untuk segelintir orang. Jangkauan serang, dalam kasus terburuk, adalah seluruh peradaban global.

Bagaimana caranya kita sampai di sini? Itu adalah hasil saling rangkul antara sains dan negara. Dan ada satu saintis yang meng-



Evolusi persenjataan: dari busur panah, ditunjukkan di lukisan batu di Aljazair berumur sekitar 10.000 tahun (seberang), ke tentara Alexander Agung yang bersenjata lengkap, di sisi kiri, dan raja Persia Darius III; pertempuran mereka pada abad ke-4 SM digambarkan di mosaik lantai di Pompeii.

anggap kekuatan pemusnah sebesar apapun belum cukup. Sukar menentukan kapan tepatnya Perang Nuklir Pertama benar-benar dimulai. Boleh jadi sebagian orang memandangnya sebagai kelanjutan sejak panah pertama dilepaskan. Yang lain mungkin menganggap awalnya terjadi belakangan, sesudah ada tiga pesan.



Tanggal 24 April 1939, beberapa hari sesudah hari ulang tahun Adolf Hitler, salah seorang saintis muda cerdas Jerman, Paul Harteck, memikirkan hadiah istimewa untuk sang Führer. Dia berjalan melintas Hamburg membawa surat ke kantor perang Nazi. Dia ingin memberitahukan bahwa perkembangan terbaru fisika nuklir memungkinkan produksi bahan peledak yang berkali-kali lebih dahsyat daripada senjata konvensional terdahsyat. Dia mencoba memberi bom atom kepada Adolf Hitler. Namun Hitler pada

akhirnya tak mendapat senjata nuklir. Hitler telah membunuh, menjarakan, atau mengusir banyak ahli fisika hebat di daerah kekuasaannya—mereka yang kebetulan Yahudi, atau liberal (banyak yang sekaligus dua-duanya).

Pada 2 Agustus tahun yang sama, dua saintis berkendara ke Cutchogue, Long Island, untuk bertemu Albert Einstein. Walau sama-sama emigran asal Hungaria dan ahli fisika, kedua orang di mobil itu bakal mengambil jalan berbeda dalam kehidupan. Namun hari itu mereka seperjuangan.

Salah seorangnya Leo Szilard. Seperti sebagian besar orang lain, dia dapat melihat bahwa perang akan datang. Ahli fisika yang biasa mengantar Leo Szilard naik mobil keluar Manhattan sedang berharian hari itu pada Agustus 1939, jadi Szilard meminta bantuan saintis muda bernama Edward Teller. Persekusi di Budapest membuat Teller dan keluarganya mengungsi ke Muenchen, di mana Teller kemudian kehilangan kaki kirinya dalam kecelakaan lalu lintas. Pada awal 1930-an, Teller dan keluarganya terpaksa mengungsi lagi, dan akhirnya sampai ke Amerika Serikat. Teller membawa Szilard ke Cutchogue, rumah musim panas Einstein. Sang saintis besar dan Szilard duduk menghadap meja di ruang makan yang penuh buku dan makalah. Teller gelisah di dapur di dekatnya, menunjukkan status juniornya.

Sebagaimana Harteck merasa dia wajib memberitahu Hitler, Szilard ingin Presiden Franklin Roosevelt tahu potensi besar senjata atom. Tak ada saintis di Bumi yang gengsi dan pengaruhnya sebanding dengan Einstein kala itu, dan Szilard tahu bahwa tanda tangan Einstein di surat mengenai potensi senjata bakal menjamin sang presiden memperhatikan.

Leo Szilard membawa surat ini ke Albert Einstein pada 1939, berharap saintis paling terkenal di dunia mau memberitahu Presiden Roosevelt mengenai potensi penghancur dalam atom.

Albert Einstein
Old Grove Rd.
Nassau Point
Peconic, Long Island

August 2nd, 1939

F.D. Roosevelt,
President of the United States,
White House
Washington, D.C.

akia,

Sir:

Some recent work by E. Fermi and L. Szilard, which has been communicated to me in manuscript, leads me to expect that the element uranium may be turned into a new and important source of energy in the immediate future. Certain aspects of the situation which has arisen seem to call for watchfulness and, if necessary, quick action on the part of the Administration. I believe therefore that it is my duty to bring to your attention the following facts and recommendations:

ion,

In the course of the last four months it has been made probable - through the work of Joliot in France as well as Fermi and Szilard in America - that it may become possible to set up a nuclear chain reaction in a large mass of uranium, by which vast amounts of power and large quantities of new radium-like elements would be generated. Now it appears almost certain that this could be achieved in the immediate future.

r-

10

This new phenomenon would also lead to the construction of bombs, and it is conceivable - though much less certain - that extremely powerful bombs of a new type may thus be constructed. A single bomb of this type, carried by boat and exploded in a port, might very well destroy the whole port together with some of the surrounding territory. However, such bombs might very well prove to be too heavy for transportation by air.

Yours very truly,

A. Einstein

(Albert Einstein)

Einstein mempelajari surat itu dengan penuh keraguan. Mimpi buruknya adalah Hitler dengan senjata nuklir. Kiranya apa konsekuensi jangka panjang pengetahuan baru yang berbahaya itu, yang kalau sudah dilepas tak dapat ditarik lagi? Einstein kemudian tak terlibat upaya AS membuat bom atom, yang kemudian dikenal sebagai Proyek Manhattan, tapi tetap memberitahu presiden mengenai potensi penggunaan inti atom dalam perang. Tangan Einstein bergetar sesaat sebelum dia menandatangani surat itu dengan enggan.

Sesudah perang berakhir, Einstein memberitahu wartawan bahwa andai dia tahu Jerman bakal gagal mengembangkan bom atom, dia tak akan menandatangani surat itu. Sementara Edward Teller tidak ragu. Teller malah ingin segera menjadikan atom sebagai senjata.

Ahli fisika Rusia G.N. Flyorov mencoba berkali-kali memberitahu pemimpinnya, Iosif Stalin, mengenai kemungkinan penggunaan reaksi berantai nuklir untuk militer. Namun Uni Soviet sedang dikepung Jerman pada Februari 1942, dan proyek “bom atom” mungkin butuh bertahun-tahun. Dalam keadaan terjepit, proyek itu tampak tidak layak dipikirkan.

Itu sampai Flyorov mengunjungi Perpustakaan Akademik di Voronezh, satu kota di Rusia barat laut, di mana dia ditempatkan sebagai letnan Angkatan Udara Soviet. Flyorov baru saja mempublikasikan makalah sains mengenai fisika nuklir dan ingin tahu apa kata para ahli fisika terkenal di Eropa dan Amerika Serikat tentang makalahnya. Dengan gelisah dia membuka-buka berbagai jurnal tanpa menemukan satu pun rujukan ke makalahnya. Flyorov bingung. Tak seorang pun ahli fisika di masyarakat sains internasional menganggap makalahnya layak dikomentari. Awalnya dia sakit hati, tapi kemudian dia menyadari apa yang sebenarnya terjadi. Jurnal-jurnal sains Amerika dan Jerman sedang tak memuat makalah fisika nuklir apapun karena kedua negara tersebut diam-

diam sedang menggarap bom atom. Ketiadaan data terpublikasi—“anjing yang tak menggonggong”—menggerakkan Flyorov untuk berusaha makin keras meyakinkan Stalin untuk memulai program senjata nuklir juga.

Di ketiga kasus, para saintis-lah—bukan jenderal, bukan pedagang senjata—yang memberitahu para pemimpin bahwa jangkauan serang bisa diperluas.



Departemen Perang AS memilih lokasi terpencil Los Alamos, New Mexico, sebagai markas besar proyek riset bom atom. Lokasi itu telah disarankan oleh direktur proyek, ahli fisika J. Robert Oppenheimer, yang pernah tinggal di sana sewaktu remaja, ketika memulihkan diri dari penyakit. Namun bagi Edward Teller, bom atom belum cukup. Teller mengimpikan rasio pembunuhan yang lebih besar lagi, senjata yang menjadikan bom atom hanya korek api untuk menyulut sumbu inti atom—senjata termonuklir—yang dia beri julukan kesayangan “Super”.

Andai Teller punya lawan yang berseberangan di masyarakat sains, kiranya lawan itu ialah Jozef Rotblat. Rotblat lahir di Warsawa dalam keluarga kaya, yang kehilangan segalanya seperti keluarga Teller. Pada musim panas 1939, pas sebelum Nazi menyerang, Rotblat diundang ke Inggris untuk bekerja sebagai peneliti di University of Liverpool. Sesaat sebelum dia berangkat, istrinya, Tola, harus menjalani operasi usus buntu darurat. Tola harus tetap tinggal sampai cukup kuat untuk bepergian. Tola menyuruh Jozef pergi duluan untuk mempersiapkan rumah baru mereka. Hanya perlu beberapa minggu, kata Tola.

Tantangan bagi para saintis Proyek Manhattan adalah menemukan sumbu kimia yang bakal memicu reaksi berantai nuklir yang pertama kali dibayangkan oleh Leo Szilard ketika berjalan kaki di

London. Semua saintis dan insinyur berkata kepada diri sendiri bahwa mereka bakal menghindarkan bencana besar dengan membuat bom dengan daya rusak yang belum pernah ada. Pemerintah *mereka* dapat dipercaya. Mereka tak bakal menggunakan senjata seperti itu untuk menyerang. Tak seperti pemerintah lain.

Para ahli atom adalah yang pertama kali melihat pembuatan senjata nuklir sebagai pencegahan atas penggunaannya. Rasa takut membayangkan Hitler bersenjata bom atom adalah alasan yang mendorong mereka. Namun ketika Jerman menyerah dan Hitler mati, dari ribuan saintis Sekutu yang menggarap bom, hanya satu yang berhenti.

Orang itu adalah Jozef Rotblat. Pada tahun-tahun sesudahnya, kalau dia ditanya mengenai keputusannya, dia selalu menolak gagasan bahwa dia melakukan itu karena keunggulan moral. Dia bakal hanya tersenyum dan berkata sebenarnya dia kangen istrinya, yang tidak bisa meninggalkan Warsawa dan akhirnya menjadi korban kekacauan perang. Dengan berakhirnya perang di Eropa, Rotblat mendapat kesempatan untuk mencari Tola. Namun Rotblat tak berhasil menemukan istrinya, selain di daftar nama korban tewas. Tola menjadi korban Holocaust, meninggal di kamp konsentrasi Belzec. Rotblat hidup selama 60 tahun sesudahnya. Dia tak pernah menikah lagi dan tak pernah berhenti memperjuangkan pelucutan senjata nuklir.

Dari tiga negara yang melakukan riset kala perang untuk membuat bom, hanya Amerika Serikat yang berhasil sebelum perang berakhir. Para ahli sejarah percaya bahwa salah satu alasan keberhasilan itu adalah karena Amerika menerima banyak sekali imigran. Di antara para tokoh utama Proyek Manhattan, hanya dua yang lahir di AS, dan hanya satu yang mendapat gelar Ph.D. di AS.

Keyakinan para saintis terhadap pencegahan tidak berdasar. Pesawat pengebom AS menjatuhkan bom-bom atom di kota Hiroshima dan Nagasaki di Jepang, mengakhiri Perang Dunia II.



Ahli fisika J. Robert Oppenheimer (memakai topi) dan yang lain memeriksa puing-puing uji bom atom pertama di Alamogordo, New Mexico, pada 16 Juli 1945.

Dua bulan kemudian, Presiden Truman mengundang Oppenheimer ke Oval Office untuk memberi selamat. Ternyata Truman dikecewakan karena Oppenheimer tak ingin merayakan. Kala bertemu Truman, Oppenheimer keceplosan, “Bapak Presiden, saya merasa tangan saya seperti berlumuran darah.”

Truman memandang dengan jijik dan berkata ketus, “Jangan konyol. Jika ada yang tangannya berlumuran darah, maka itu saya. Dan saya tidak merasa risi sama sekali.”

Oppenheimer bersikeras. “Berapa lama sampai Rusia punya bom atom juga, menurut Anda?” dia bertanya.

Jawab Truman, “Tidak akan pernah!”

Oppenheimer pergi dan Truman memberitahu ajudannya dengan marah, “Dengar. Kamu jangan pernah biarkan si saintis cengeng itu dekat-dekat saya lagi!”

Tak sampai empat tahun kemudian, Rusia meledakkan bom atom dalam uji coba. Perlombaan senjata nuklir, yang digambar-

kan dalam tiga surat dari saintis, telah mencapai tahap kedua yang lebih mengerikan.

Sesudah perang, impian Teller akan rasio pembunuhan yang makin besar terwujud. Pada awal 1950-an, ketika terjadi perburuan komunis di AS, dia dengan senang hati memberi petunjuk bahwa Robert Oppenheimer, mantan bosnya yang telah menjalankan Proyek Manhattan dengan brilian, harus dicopot izin keamanannya, sehingga rusaklah karier Oppenheimer. Oppenheimer menentang pembuatan “super” kesayangan Teller. Teller menjadi kekuatan efektif yang menghalangi kesepakatan komprehensif untuk melarang uji senjata nuklir. Dia berpendapat bahwa uji senjata nuklir di atmosfer itu penting untuk “memelihara dan memperbaiki persenjataan nuklir.”

Meski persenjataan nuklir sudah dikurangi secara besar-besaran, ancaman perang nuklir masih menghantui kita. Masih ada cukup banyak senjata nuklir di dunia untuk menghancurkan peradaban kita. Bagaimana kita bisa tidur lelap di dekat gunung berapi ber-asap? Pada zaman lain, ada orang-orang yang menghadapi bahaya besar tanpa bisa berbuat apa-apa.



Dua laki-laki masuk ke suatu bar di Saint-Pierre di Pulau Martinique di Karibia, terletak di antara Puerto Riko dan Venezuela. Kala itu malam 23 April 1902, dan kedua laki-laki itu adalah polisi yang dipanggil untuk melerai pertengkaran di bar. Pemilik bar sudah memberi ruang untuk dua orang yang berkealahi. Salah seorangnya ialah Ludger Sylbaris, 27, keturunan Afrika, jangkung dan berotot sehingga ber julukan “Samson”. Di tubuhnya ada bekas-bekas luka dari pertarungan-pertarungan terdahulu, dan dia membawa golok. Lawannya tak takut. Dia memukulkan botol ke meja bar sampai pecah lalu menerjang Sylbaris, yang

tanpa bergeser membalas serangannya dengan golok. Sylbaris sedang membacoki lawannya selagi para polisi datang. Kedua polisi memborgol Sylbaris dan membawanya ke penjara Saint-Pierre. Sylbaris diseret menuruni tangga batu ke sel bawah tanah. Sel itu kecil, berbau apek, dan tak berisi ranjang. Walau ngeri karena dikurung di tempat seperti itu, Sylbaris tetap bersikap melawan. Dia duduk di lantai, memelototi para polisi yang menutup pintu baja dengan lubang angin kecil, meninggalkan dia sendirian dalam kegelapan.

Di antara hampir 30.000 penduduk kota jajahan Prancis yang penuh rumah bercat kapur putih itu, Fernand Clerc adalah salah satu yang paling kaya. Dari balkon rumahnya, Clerc bisa memandang ke penyulingan rum, pabrik perabot, serta perkebunan tebu dan kopi miliknya. Semuanya adalah tulang punggung ekonomi Pulau Martinique. Di atas semua itu berdirilah Gunung Pelée yang megah dan telah lama tidur, satu di antara banyak gunung di pulau itu.

Kemudian Clerc memperhatikan sesuatu yang ganjil. Tampak ada sesuatu seperti salju halus menutupi segalanya. Mengapa bisa begitu padahal paginya cerah dan hangat? Dia mencolek pagar balkon dan menyadari bahwa itu bukan salju, melainkan debu.

Selagi lonceng katedral berdentang, Clerc mengambil teleskop untuk memeriksa keadaan kota. Semua orang masih tidur. Jalan-jalan kosong. Ketika menoleh ke arah gunung, terdengar bunyi ledakan keras—seperti tembakan meriam—dan tampak semburan abu ke angkasa. Istri Clerc, Véronique, bergegas ke balkon, memegang salib, menatap mata suaminya untuk mencari penjelasan.

Ketika abu mulai jatuh, Clara Prentiss, istri konsul Amerika, berpikir untuk pulang kampung ke Massachusetts. Tidak, itu mustahil. Dia sudah mempersiapkan pesta pada minggu berikutnya. Mana bisa ditunda?

Marius Hurard, editor dan penerbit koran *Les Colonies*, sedang memperhatikan edisi terbaru. Dia pemuda yang penuh energi. Ha-

laman depan memberitakan bahwa seorang ahli gunung berapi menjamin Gunung Pelée tidak berbahaya. Satu-satunya masalah dengan pernyataan itu adalah bahwa si “ahli gunung berapi” ialah Marius Hurard sendiri. Di bagian lain halaman depan ada judul “Undangan Dari Klub Senam dan Menembak”. Isinya:

Ayo Bergabung Dengan Kami Untuk Wisata Ke Kawah G. Pelée
Untuk Menyaksikan Pemandangan Letusan. Piknik Sesudahnya.
Pengalaman Yang Tak Akan Anda Lupakan!

Kita tak akan tahu berapa banyak orang miskin tak dikenal yang sudah melihat gelagat buruk tapi tak bisa meninggalkan pulau itu karena tak mampu. Berapa yang diberitahu, selagi burung-burung berjatuhan mati dari langit, “Jangan khawatir. Boleh jadi kelihatan seram, tapi kota ini sudah sering melihatnya, dan tidak terjadi apa-apa. Lagipula, kata koran, tak perlu khawatir.”

Jalan-jalan dipenuhi abu.

Di kantornya, Walikota Fouché bekerja sendirian sampai larut malam, membuat rencana rinci untuk pesta makan Hari Kenaikan Yesus. Para pelayan berseragam menggelar kain linen putih di atas segalanya, dari perabot sampai bagian bangunan. Kain linen ditaruh di atas meja untuk menutupi peralatan pecah belah, perak, dan kristal. Namun kainnya dengan cepat tertutup abu yang tetap masuk walau jendela ditutup. Staf hotel menyapu ruangan, membersihkan lantai untuk terakhir kali, dan menyingkirkan abu dari meja; yang lainnya membawa kipas. Para pelayan tampak khawatir, tapi tak seorang pun meninggalkan tugasnya.

Orang yang paling dekat pekerjaannya dengan saintis di Pulau Martinique ialah guru sekolah dasar Gaston Landes. Dia berdiri ngeri di tengah Kebun Raya, dikelilingi tetumbuhan yang mati karena abu vulkanik. Landes sebelumnya pernah naik ke kawah gunung berapi yang baru aktif, dan berbagi pengamatannya mengenai kenaikan aktivitas itu di koran.

Tanah penuh bangkai burung yang mati tercekik asap dan gas. Namun Landes lebih memikirkan rencana perjalanannya ke Paris. Dia berencana menampilkan sampel tumbuhan Martinique dan memberi kuliah. Kalau hujan abu turun terus, spesimen-spesimennya akan rusak.

Pendeta di katedral Saint-Pierre memandang jemaatnya, dengan pakaian kotor terkena jelaga dan debu dari letusan, dan membacakan Mazmur 46:

Sebab itu kita tidak akan takut, sekalipun bumi berubah, sekalipun gunung-gunung goncang di dalam laut; sekalipun ribut dan berbuih airnya, sekalipun gunung-gunung goyang oleh geloranya.

Batu-batu besar dan batang-batang pohon terbawa aliran lumpur menuruni gunung sampai ke laut. Sekali-sekali gunung berapi mengeluarkan bunyi gemuruh seolah Bumi akan pecah.

Walikota Fouché duduk di mejanya dalam keadaan berputus asa. Dia berhasil mengumpulkan cukup banyak keberanian untuk membuat poster yang menyatakan: "Warga sekalian, jangan takut. Aliran lava tak akan mencapai kota dalam waktu dekat. Jarak antara kita dan gunung berapi 7 kilometer. Jumlah lava harus sangat besar untuk meluap melebihi dua lembah besar dan rawa antara kita dan G. Pelée."

Fouché tak salah ... mengenai lava. Namun gunung berapi itu mengeluarkan sesuatu yang berjangkauan lebih jauh, bergerak lebih cepat, dan lebih mengerikan daripada batu, panas sekali sampai mengalir seperti air. Beberapa orang di Saint-Pierre merasa membuat keputusan yang tepat dengan tetap di tempat, berdasarkan informasi yang tersedia bagi mereka. Yang lain hanya menyangkal kenyataan. Lainnya lagi naik perahu ke tempat-tempat aman. Namun tak ada yang dapat membayangkan bagaimana gunung berapi Pelée bakal mengeluarkan segala tekanan terkungkung di dalamnya.



Dua hari kemudian, dua minggu lebih sesudah tanda-tanda pertama aktivitas gunung bertama, *nuées ardentes*—awan menyala—pertama kali keluar dari gunung berapi, melontarkan bara api putih ke kota di bawah. Kilat vulkanik, fenomena berupa kilat yang lebih dahsyat daripada yang ada dalam badai, berpadu dengan kubah api lava merah dan kuning membuat pemandangan makin mirip neraka. “Awan terbakar” yang menyeramkan melewati lembah dan mulai memanggang kota di bawah.

Fajar 8 Mei, lusinan pelaut berdiri di geladak kapal sekunar, memandang ke arah Martinique. Mereka tersenyum lega, dan saling bercanda, selagi gunung berapi tampak reda. Bahaya mestinya sudah berlalu. Gunung berapi itu menjadi tenang. Udara dingin dan segar, laut jernih seperti kaca. Pemandangan Saint-Pierre dari geladak kapal sungguh indah. Tiba-tiba, tampak cahaya menyilaukan. Gunung Pelée meletus, menyemburkan awan berisi puing panas setinggi hampir tiga kilometer.

Ketakjuban para pelaut berubah menjadi kengerian. Beberapa di antara mereka terdorong jatuh; lainnya sampai terlempar dari

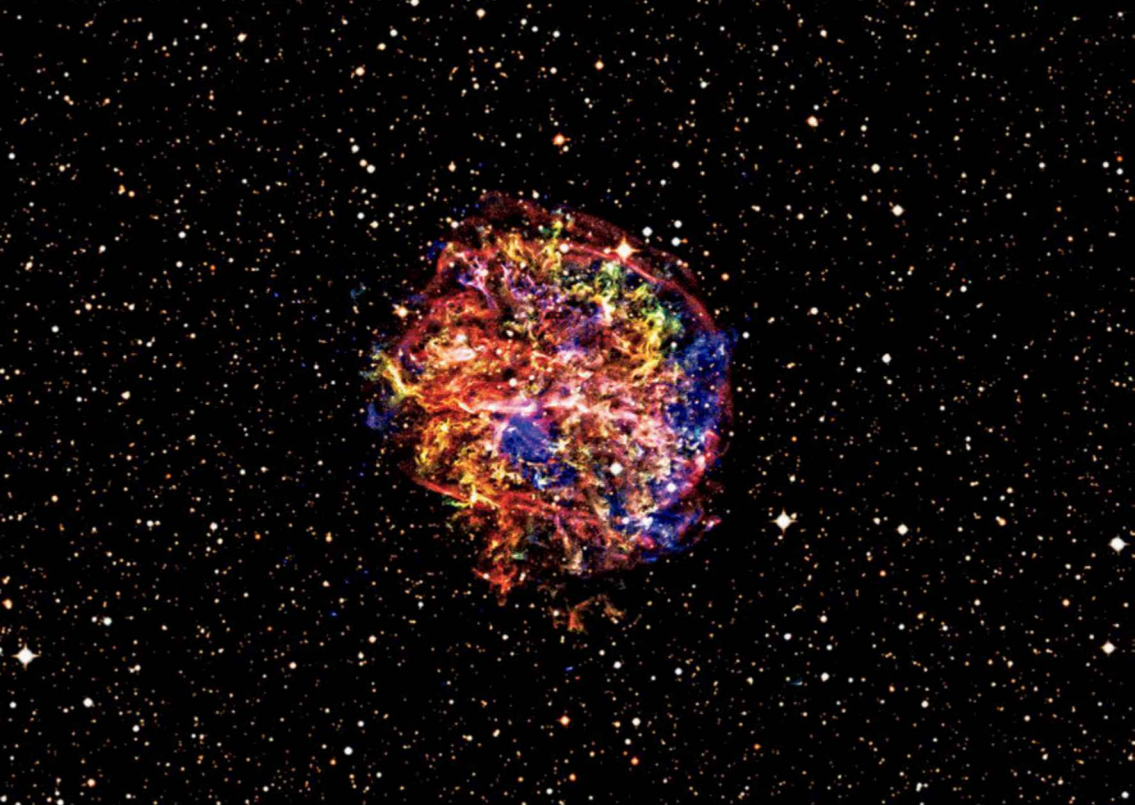


Saint-Pierre, Martinique, sesudah letusan Gunung Pelée tahun 1902

geladak ke laut. Ketika Gunung Pelée meletus pada pukul 8:02 pagi tanggal 8 Mei 1902, letusannya berbunyi sangat keras sampai-sampai terdengar di Venezuela, 800 kilometer dari sana.

Gunung Pelée kemudian memuntahkan awan berisi gas panas, batu, dan debu yang bergerak dengan kekuatan dan kecepatan seperti badai. Awan panas itu menuruni lereng gunung dan melintas lembah sampai ke kota, membawa badai kilat yang bergulung-gulung. Awan maut gas panas mencapai kota dalam hitungan menit. Pagi menjadi malam selagi kota ditelan awan maut, yang baru berhenti ketika mencapai laut.

Sembilan ribu tahun lalu, ketika seniman di Çatalhöyük membuat beberapa goresan cat yang menggambarkan asap, gambar letusan gunung tertua yang kita telah temukan, dia mengawali hubungan sadar tercatat kita dengan gunung berapi. Kehancuran total Saint-Pierre dalam beberapa menit mengawali tahap baru: kemunculan sains baru bernama vulkanologi dan frase yang menggantikan *nuées ardentes* dengan kesan lebih teknis: “aliran piroklastik”.



Teleskop sinar X Chandra NASA menangkap gambar supernova yang meluas dengan cepat, G292.0+1.8, satu dari tiga supernova di Bimasakti dengan cukup banyak oksigen, mewakili kelahiran bintang yang memberi Bumi unsur-unsur yang diperlukan kehidupan: oksigen (kuning dan oranye), magnesium (hijau), silikon, dan belerang (biru)

Aliran piroklastik-lah yang membakar habis Saint-Pierre. Letusan gunung itu setara dengan ledakan satu hulu ledak nuklir strategis.

Tiga hari sesudah letusan, orang-orang dari bagian lain Pulau Martinique mendatangi jalan-jalan Saint-Pierre yang masih berasap untuk mengumpulkan jenazah dan membakar yang masih belum habis terbakar letusan gunung berapi. Tiba-tiba mereka mendengar teriakan. Mereka saling pandang karena tak percaya, lalu bergegas menuju sumber teriakan itu. Suaranya makin keras ketika mereka mendekati reruntuhan penjara.

Dalam sejarah dunia, hanya sedikit yang pernah mendapat pengalaman seperti Louis-Auguste Sylbaris dan masih sempat hidup untuk menceritakannya. Ketika gunung berapi Pelée meletus,

dia mendengar jeritan orang-orang yang menahannya untuk se-saat, kemudian semua diam. Lantas hawa panas datang menembus lubang angin selnya. Dia melompat-lompat menghindarinya, tapi masih mengalami luka bakar parah sampai bahu. Selama tiga hari dia menderita, tanpa asupan apapun selain kelembapan di dinding selnya. Dia justru selamat karena dikurung di sel berdinding tebal.

Sylbaris ialah satu dari hanya dua orang yang selamat di antara 30.000 warga Saint-Pierre. Sesudah kesehatannya dipulihkan, dia bergabung menjad atraksi Sirkus Barnum & Bailey, berkeliling du-nia dan bersaksi mengenai kisahnya selamat dari letusan.

Bagaimana dengan kita? Apa kita meremehkan kekuatan alam? Apa kita cukup pintar sehingga bisa mengantisipasi segala skena-rio hadirnya bahaya bagi kita? Apa kita bakal tahu kapan harus ka-bur? Bagaimana jika tidak ada cara untuk pergi dari pulau sebelum terlambat?



Mari kembali ke jalur salah satu dari kedua atom kita—atom ura-nium. Intinya mulai berdenyut. Atom uranium tidak stabil. Cepat atau lambat, atom itu meluruh. Satu zarah dari intinya terlepas, mengubah atom uranium menjadi unsur yang berbeda—thorium. Zarah subatomik bergerak seperti peluru menembus struktur ha-lus kehidupan, memisahkan elektron dari molekul. Begitulah cara radiasi ionisasi mempengaruhi makhluk hidup. Makanya senjata atom jauh lebih berbahaya daripada senjata konvensional. Radiasi ada di sekeliling kita, bahkan dalam diri kita. Di tingkat rendah, ra-diasi tak berbahaya. Namun radiasi tingkat tinggi beda lagi. Dalam jangka pendek, paparan radiasi tingkat mematikan bisa menyebab-kan reaksi tak terkendali yang membuat sel membelah terus-mene-rus—kanker. Namun kekuatan merusaknya juga bisa bertahan lama dalam waktu. Ketika radiasi merobek kromosom, kerusakan

yang ditimbulkannya mengubah nasib keturunan yang belum lahir: mutasi gen. Kerusakan diwariskan, mengacau masa depan kita.

Kita dibuat dari atom-atom yang lahir di bintang-bintang berjarak ribuan tahun cahaya dalam ruang dan miliaran tahun dalam waktu. Pencarian asal-usul kita sendiri telah membawa kita jauh dari zaman dan dunia kita. Kita adalah zat bintang yang terhubung erat dengan seluruh alam semesta. Bahan yang membentuk diri kita tercipta dalam api kosmik.

Kini, kita—kumpulan tujuh miliar miliar miliar atom yang bisa berjalan, hasil evolusi berzaman-zaman—telah menemukan cara untuk menyadap api kosmik yang tersembunyi di inti zat. Kita tak bisa menghilangkan lagi pengetahuan itu.

Tragisnya, kegilaan diwariskan dalam keluarga kita.

Surat-surat yang ditulis para saintis untuk mengawali mimpi buruk itu diikuti satu surat lain pada 1955, surat untuk planet yang menyatakan bahwa pemahaman baru dalam fisika itu menuntut cara berpikir baru. “Apa kita akan ... memilih kematian, karena kita tak bisa melupakan pertengkaran? Kami membujuk sebagai manusia terhadap sesama manusia: Ingatlah kemanusiaan kalian, dan lupakan yang lain.” Manifesto itu, ditulis oleh Bertrand Russell, diumumkan oleh Joseph Rotblat, dan ditandatangani Albert Einstein, adalah pernyataan publik terakhir Einstein sebelum sang saintis besar wafat beberapa hari sesudahnya.

Bagaimana dengan atom kita yang satu lagi, atom karbon?

Dia ada dalam diri Anda.



PLANET HOP FROM
TRAPPIST-1e



VOTED BEST "HAB ZONE" VACATION WITHIN 12 PARSECS OF EARTH

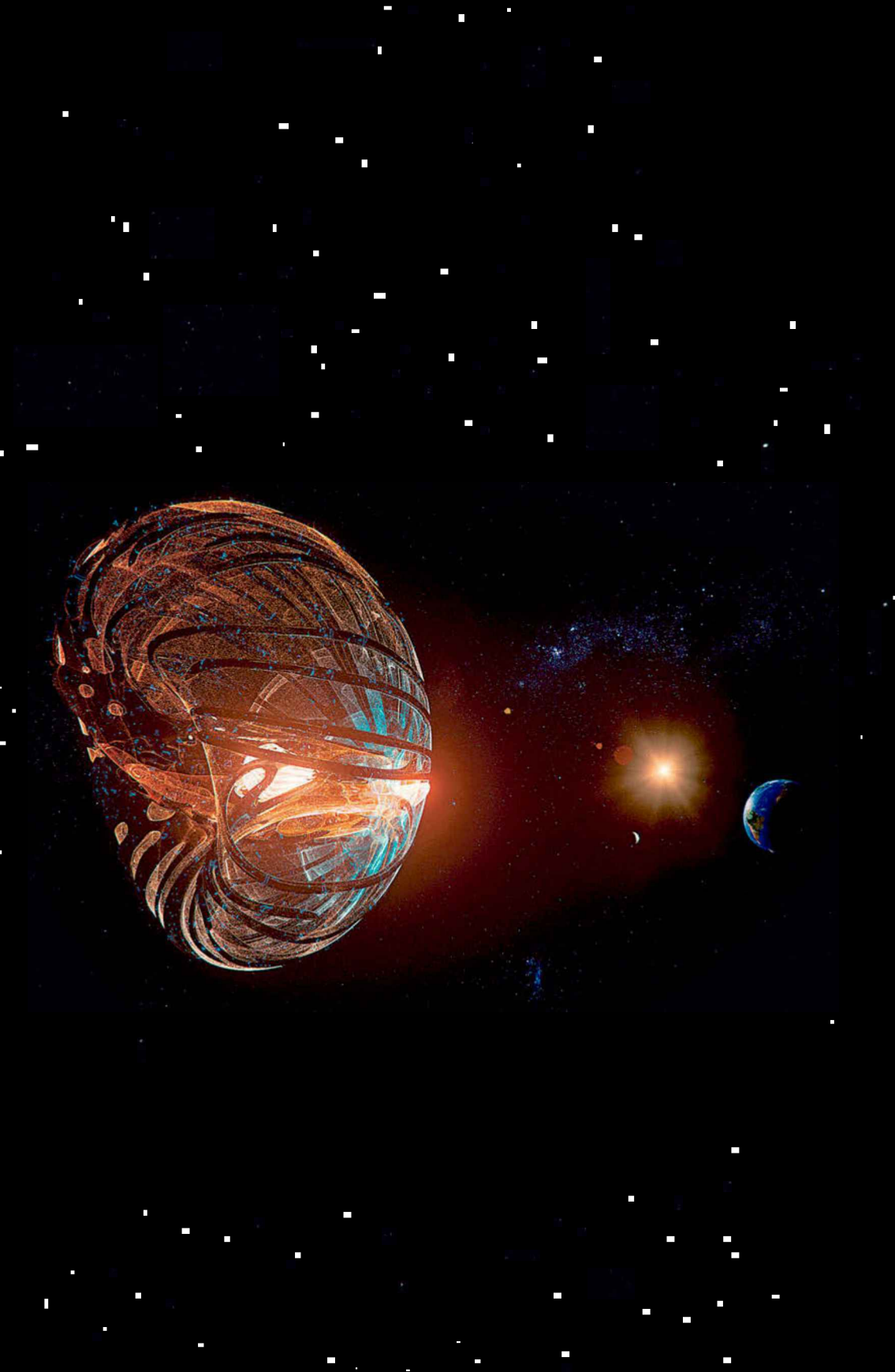
| BAB SEBELAS |

KARUNIA SEMENTARA ZONA LAYAK HUNI

Kita adalah pengelana sejak awal. Kita tahu di mana setiap pohon berada dalam jarak ratusan mil. Kalau buah atau kacang matang, kita datang. Kita ikuti kawanan hewan bermigrasi... Kita saling bergantung. Hidup sendirian sama tak terbayangkannya dengan hidup menetap.

—CARL SAGAN, PALE BLUE DOT

Imajinasi poster wisata masa depan yang mengajak kita mengunjungi TRAPPIST-1e, eksoplanet keempat dari tujuh dunia yang mengelilingi matahari katai merah.





Di galaksi kita, boleh jadi ada kapal-kapal dari dunia lain yang berani bertualang ke kedalaman kosmik. Saya membayangkan kapal-kapal itu tidak seperti wahana antariksa luar Bumi di film-film kita. Menurut khayalan saya kapal-kapal itu lebih ... biologis. Bukan sesuatu yang baru dibangun karena keperluan mendesak, melainkan hasil evolusioner tradisi panjang penjelajahan antariksa. Kapal-kapal itu barangkali bepergian dari bintang ke bintang dalam misi survei, mencari dunia-dunia di mana kehidupan telah mapan untuk meneliti dengan cermat sifat emergen benda-benda hidup yang mereka pun tak bisa prediksi.

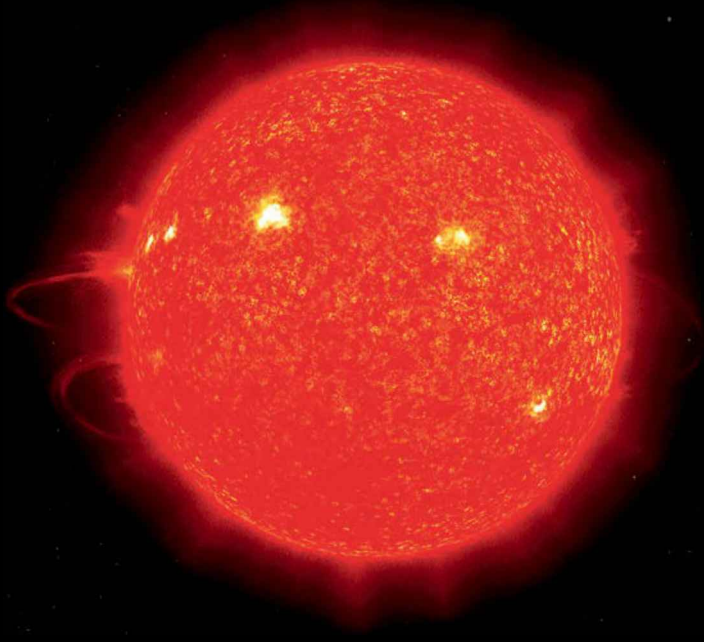
Bayangkan suatu kapal alien dalam misi survei seperti itu. Pemantau kecil-kecil yang menempel di permukaan kapal seperti bintik-bintik yang terpencah acak berangkat untuk memantau satu dunia meleleh yang babak belur. Pemantau-pemantau itu terbang rendah tepat di atas atmosfer panas selagi kapal induk melakukan analisis. Urat-urat api melintasi permukaan planet yang bernyalanyala. Andai kita sendiri yang melihat planet neraka itu, apa kita bakal berpikir kehidupan bisa ada di sana? Apa kita bakal melihat anak anjing dan bunga anggrek pada masa depannya? Pemantau-pemantau kembali bergerombol dan menempel ke kapal induk yang sedang berpaling dari planet neraka tersebut dan menuju ke mataharinya.

Gambaran seniman tentang wahana alien di misi survei ke planet ketiga satu bintang katai kuning biasa. Kapal itu dibayangkan punya kulit radiasi kosmik transparan.

Waktu baru lahir, Bumi tidak tampak menjanjikan. Awak misi pengamatan imajiner pada empat miliar tahun lalu bakal lebih memandang Venus, yang biru karena laut dan punya massa daratan kala itu, bahkan mungkin kehidupan. Zaman yang telah lama lewat itu merupakan zamannya Venus berkembang, zamannya di zona layak huni. Untuk dunia manapun, zaman itu terjadi ketika posisinya terhadap bintang membuatnya tak terlalu panas dan tak terlalu dingin. Sepanjang keberadaan suatu dunia, itulah masa ketika dunia itu bisa menopang kehidupan. Namun karunia zona layak huni hanya sementara, dan tak ada dunia yang kekal abadi selamanya.

Kita beruntung berada di sisi dalam zona layak huni bintang kita, tapi zona itu bergerak menjauhi Matahari dengan laju sekitar satu meter per tahun. Bumi sudah melewati 70 persen jatah waktunya di zona paling nyaman dari Matahari. Namun tak perlu khawatir, itu artinya kita masih punya ratusan juta tahun untuk merencanakan dan melaksanakan strategi untuk pergi. Ke mana kita akan menuju ketika karunia Matahari meninggalkan kita dan beralih ke dunia-dunia lain, sehingga Bumi bukan lagi taman kehidupan? Akankah spesies kita berlayar ke pulau-pulau nan jauh di samudra luas Bimasakti? Tak ada pengungsian dari perubahan di kosmos, tak ada tempat aman untuk bersembunyi selama lebih daripada beberapa ratus juta tahun.

Lihat sekeliling Anda, ke keindahan planet rumah kita. Suatu hari kelak, segalanya akan hancur ditelan daur kelahiran, kemusnahan, dan kelahiran kembali yang digerakkan hukum-hukum alam. Alam semesta menghasilkan benda-benda cantik, lalu menghancurkannya sampai berkeping-keping, lalu membuat benda-benda cantik baru dari pecahan yang lama. Bintang-bintang neutron saja bisa bertabrakan, dan menyebarkan emas ke seantero kosmos. Spesies apapun yang ingin bertahan cukup lama di dunia apapun akan harus belajar cara bepergian antarplanet, dan ujung-ujungnya antar-bintang.



Bintang kita sendiri semiliar tahun lagi—masih katai kuning tapi permukaannya lebih panas selagi bahan bakar nuklirnya mulai habis

Bagaimana cara kita mengetahuinya? Sedikit yang kita ketahui mengenai alam semesta membuat kita bisa mengintip masa depan. Saya tidak membahas jangka pendek, ketika perubahan iklim akibat kegiatan manusia menghadirkan ancaman bagi peradaban kita. Jika ingin bertahan hidup selama ribuan, jutaan, bahkan miliaran tahun, maka kita akan harus berhenti membuang karbon dioksida ke atmosfer sekarang. Namun mari kita abaikan itu dulu dan memandang jangka panjang.



Matahari menua sebagaimana kita semua. Suatu hari nanti, Matahari akan kehabisan bahan bakar hidrogen di intinya. Lima atau enam miliar tahun dari sekarang, zona fusi hidrogen akan berpindah pelan-pelan ke arah luar, membentuk cangkang reaksi termonuklir yang meluas, sampai suhunya menjadi di bawah sekitar 10 juta derajat. Kemudian reaktor fusi hidrogen di bagian dalam Matahari akan berhenti. Selama ratusan juta tahun, gravitasi Ma-



Bentang alam Mars, 3,5 miliar tahun lalu, selagi Matahari terbenam di Kasei Valles. Kawah dan pola erosi yang diamati di permukaan planet itu sekarang menandakan bahwa air pernah mengalir di sana—dan boleh jadi akan mengalir lagi kelak kalau bintang kita menua.

tahari akan membuat intinya yang kaya helium mengerut. Abu api hidrogen akan menjadi bahan bakar, dan Matahari akan terpicu melakukan reaksi fusi ronde kedua. Akan ada perpanjangan umur Matahari beberapa ratus juta tahun. Akan terbentuk unsur-unsur karbon dan oksigen, menyediakan energi tambahan bagi Matahari untuk terus bersinar.

Matahari kita akan kehilangan gas selagi atmosfernya mengembang ke antariksa menjadi semacam badai bintang. Bentuknya berubah dari katai kuning ke raksasa merah. Tarikan gravitasinya terhadap Venus dan Bumi akan berkurang, sehingga kedua planet bisa bergeser ke jarak aman—untuk sementara. Matahari raksasa merah yang membengkak akan menelan planet Merkurius. Karu-

nia zona layak huni akan bergeser ke arah luar lebih jauh dan lebih cepat. Jika kita menanggapinya dengan benar, kita pun akan pindah ke sana. Evolusi Matahari tak bisa dihindari, tapi kita punya semi-liliar tahun untuk mencari rumah baru. Banyak waktu untuk mencari dunia-dunia lain di kosmos yang dapat menjadi rumah baru kita. Manusia hampir pasti akan berevolusi menjadi sesuatu yang cukup berbeda kala itu. Siapa tahu? Barangkali keturunan kita kelak akan bisa mengendalikan atau mengatasi nasib bintang-bintang.

Evolusi bintang juga akan mengubah Mars, dunia tetangga sebelah kita. Mars bukannya belum pernah mendapat berkah air cair di permukaan. Pernah ada satu waktu, tiga atau empat miliar tahun lalu, ketika ombak memecah di pantai-pantai Mars, dan malam-malam di sana hangat. Mars dulu adalah dunia yang anehnya mirip Bumi, dengan awan putih tipis menaungi massa daratan merah dan samudra biru. Lapisan es kutub putih kecil duduk di atas belahan utaranya.

Mars kuno itu mengingatkan saya akan rumah sendiri. Namun ciri-ciri yang akrab dan nyaman itu menutupi satu kelemahan fatal—setidaknya dari sudut pandang manusia. Mars kurang besar. Dengan garis tengah hanya sekitar setengah garis tengah Bumi, Mars tak dapat menghasilkan panas cukup besar untuk membuat inti besinya leleh, sehingga menimbulkan medan magnet yang melindungi kehidupan. Ketika angin surya menerpa Mars, awan dan samudranya tersapu ke antariksa, menyisakan planet gurun yang kita kenal hari ini.

Para saintis berpikir bahwa Mars yang keadaannya ramah bagi kehidupan hanya bertahan beberapa ratus juta tahun. Kita belum tahu apakah kehidupan pernah berkesempatan bermula di sana. Namun jika pernah, terjadinya pasti sudah lama, ketika Matahari masih muda. Pada akhir masa paro baya Matahari, akan ada kesempatan kedua bagi Mars. Satu atau dua miliar tahun dari sekarang, Mars akan kembali ke zona nyaman Matahari. Zaman keemasan

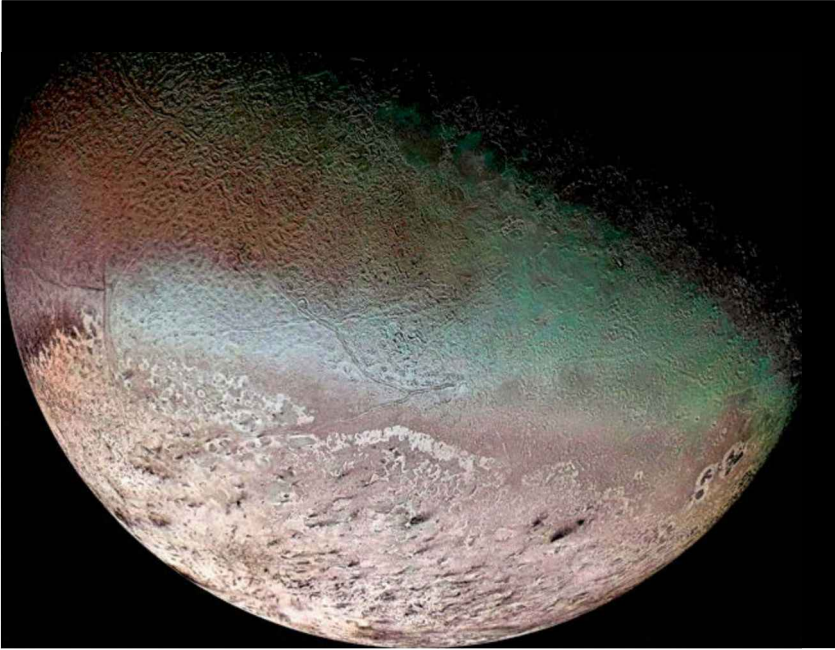
kedua itu akan bertahan hanya sepanjang yang pertama—cuma beberapa ratus juta tahun. Tidak cukup untuk evolusi kehidupan kompleks di Mars, tapi sangat cukup untuk tempat tinggal sementara keturunan kita selagi mereka memikirkan langkah berikutnya. Namun ujung-ujungnya, daur hidup Matahari akan mengirim kita lebih jauh lagi. Akan ada waktu untuk berangkat lagi. Penuaan Matahari akan terus menggeser zona layak huni ke arah luar, membakar Mars, dan membuat planet itu terlalu panas bagi kita. Keturunan para pengelana akan terus menjadi pengelana.

Atmosfer Matahari akan terus mengembang, memerah, membengkak sampai memanggang permukaan Mars hingga kering dan gosong. Ke mana lagi kita pergi?

Kala itu, cahaya dan panas kuat dari pengembangan Matahari akan menjangkau sistem Jupiter. Awan amonia dan air Jupiter akan hilang jadi uap di antariksa. Dan untuk pertama kali, lapisan-lapisan tersembunyi di baliknya akan terungkap. Bisakah kita pindah ke salah satu bulan beku Jupiter? Lapisan tebal es yang meliputi Europa dan Kallisto akan lebur, membuat samudra cair di bawah terkena cahaya Matahari, *ribuan kali* lebih kuat sebelumnya. Itu akan membebaskan banyak uap air, memicu efek rumah kaca.

Retakan-retakan di permukaan bulan Ganymedes, bola es lain, akan mulai melebar selagi geyser air yang baru terbebas menyembur ribuan meter dari permukaan. Airnya akan mencapai antariksa lalu turun lagi sebagai hujan di bulan yang mulai tertutup cairan itu. Atmosfer Ganymedes yang tipis akan menjadi beruap dan tebal. Jika kehidupan selama ini berenang-renang di samudranya, akan ada kesempatan baru baginya untuk berkembang dan berevolusi. Ganymedes pun akan menjadi rumah makhluk-makhluk itu. Bagus juga, karena kita ingin rumah kita yang berikutnya berada di jarak aman dari Matahari.

Bukan di Saturnus, yang sudah kehilangan kejayaannya karena direnggut amuk Matahari baru, cincin-cincinnya hilang. Bukan juga



Voyager 2 melewati Triton, bulan terbesar Neptunus, dan mengirim gambar-gambar permukaan tak rataanya dengan gunung-gunung berapi aktif dari es yang mungkin terbentuk dari senyawa nitrogen, debu, dan metana.

bulannya, Titan, yang air dan atmosfernya hilang dipanasi Matahari. Bukan Uranus atau Neptunus, dengan permukaan berawan yang dilanda kilat tanpa henti.

Ketika tampaknya kita kehabisan dunia, ternyata ada Triton, salah satu bulan Neptunus. Triton, yang menyandang nama putra dewa Romawi yang oleh orang Yunani dikenal sebagai Poseidon, dewa laut, akan mendapat banyak keuntungan, setidaknya dari sudut pandang kita, kalau Matahari berubah menjadi bintang raksasa merah. Sekarang, Triton tampak seperti melon, tapi kala Matahari mengembang, Triton akan berubah menjadi tempat penuh gunung yang tertutup salju merah muda karena memantulkan cahaya bintang raksasa merah di angkasa, tujuh kali lebih besar daripada Matahari pada zaman kita di Bumi. Ketika panas Matahari raksasa me-

rah melelehkan es amonia dan air di bulan yang tadinya beku itu, terciptalah samudra besar.

Jika keturunan masa depan kita bisa menetap di Triton, mereka akan hidup mengikuti irama yang berbeda dengan kita. Satu hari di Triton akan sepanjang 144 jam. Musim dinginnya akan brutal, dan berlangsung selama hampir 50 tahun. Namun tetap saja Triton pada beberapa miliar tahun ke depan dapat menjadi rumah yang bagus bagi kita. Akan ada segalanya: atmosfer, samudra air, bahan-bahan kimia pembangun kehidupan. Oke, memang dingin di sana, tapi tak lebih parah daripada pedalaman New York pada Januari. Dan itu berarti bisa main ski sepanjang tahun. Dengan gravitasi jauh lebih ringan, lompatan ski di sana akan memecahkan semua rekor.

Suatu hari, Matahari akan benar-benar kehabisan bahan bakar, dan karunia sementara zona layak huni akan berakhir juga. Ketika tahap raksasa merah Matahari berakhir, Matahari akan telanjang, lapisan luarnya lepas mengungkap bintang katai putih kecil di bawahnya, bintang tanpa energi yang cukup untuk menghangatkan beberapa anaknya yang tersisa. Bulan-bulan di tata surya luar akan membeku kembali.

Jadi, jika kita mencari rumah yang bisa ditinggali untuk jangka waktu lebih lama lagi—katakanlah bukan sekadar beberapa ratus juta tahun—kita akan harus pergi lebih jauh. Kita akan harus meninggalkan tata surya kita dan mengarungi samudra luas antariksa antarbintang.

Saya tahu apa yang Anda pikirkan: Apa kita siap bertualang ke bintang-bintang jauh? Kita pernah melangkah sedikit ke Bulan sebelum kehilangan semangat dan kembali lagi ke keamanan Bumi. Apa yang membuat kita berpikir kita dapat bertahan dalam perjalanan ke bintang-bintang, padahal yang terdekat saja ratusan juta kali lebih jauh dibanding Bulan? Bukankah kapal-kapal kecil kita akan ditelan ketidakjelasan besar?

Saya pikir kita bisa melakukannya. Mengapa? Karena kita sudah pernah melakukannya.



Kita bermimpi berlayar di antara pulau-pulau di Bimasakti, menangkap foton dengan layar cahaya, berani pergi tanpa kembali. Kita sudah pernah melalui jalan itu. Dulu, pernah ada sekelompok orang yang memilih ketidakjelasan. Mereka mempertaruhkan segalanya untuk mengarungi laut tak dikenal, dan keberanian mereka mendapat ganjaran. Mereka menemukan surga. Kita sebut mereka suku bangsa Lapita, namun pasti nama mereka sendiri bukan itu. Nama Lapita hanyalah hasil kesalahpahaman puluhan tahun lalu ketika kita pertama kali menemukan pecahan tembikar milik mereka. Saya anggap mereka bukan bernama Lapita. Saya juluki mereka Pengelana, nama yang jauh lebih pantas. Sekitar 10.000 tahun lalu, ketika populasi permukiman di Tiongkok selatan mulai membesar, para Pengelana memilih untuk pergi lebih ke selatan ke pulau yang sekarang dikenal sebagai Taiwan. Mereka menetap di sana dengan bahagia selama ribuan tahun sampai tempat tinggal mereka penuh sesak lagi.

Seperti kita di planet ini yang menjadi dewasa dalam semacam karantina kosmik, tak punya harapan mengetahui apalagi mencapai dunia-dunia lain di kosmos, leluhur kita dulu boleh dikata menjadi tahanan daratan. Jika ingin pergi jauh, kita harus berjalan kaki. Dan sesudah berjalan kaki sejauh mungkin, kita akan terhalang batas air. Kala itu adalah zaman sebelum peradaban-peradaban besar pengarang samudra—bangsa Kanaan/Fenisia Timur Tengah, dan bangsa Minoa di Kreta. Dalam sebagian besar sejarah, mereka tetap dekat pantai; mereka menangkap ikan dan berdagang tak jauh dari daratan. Bagi para leluhur, itulah tepi samudra kosmik.

Kita belum tahu apa yang pertama mengilhami para Pengelana mencoba melakukan sesuatu yang tampak mustahil. Mereka hidup

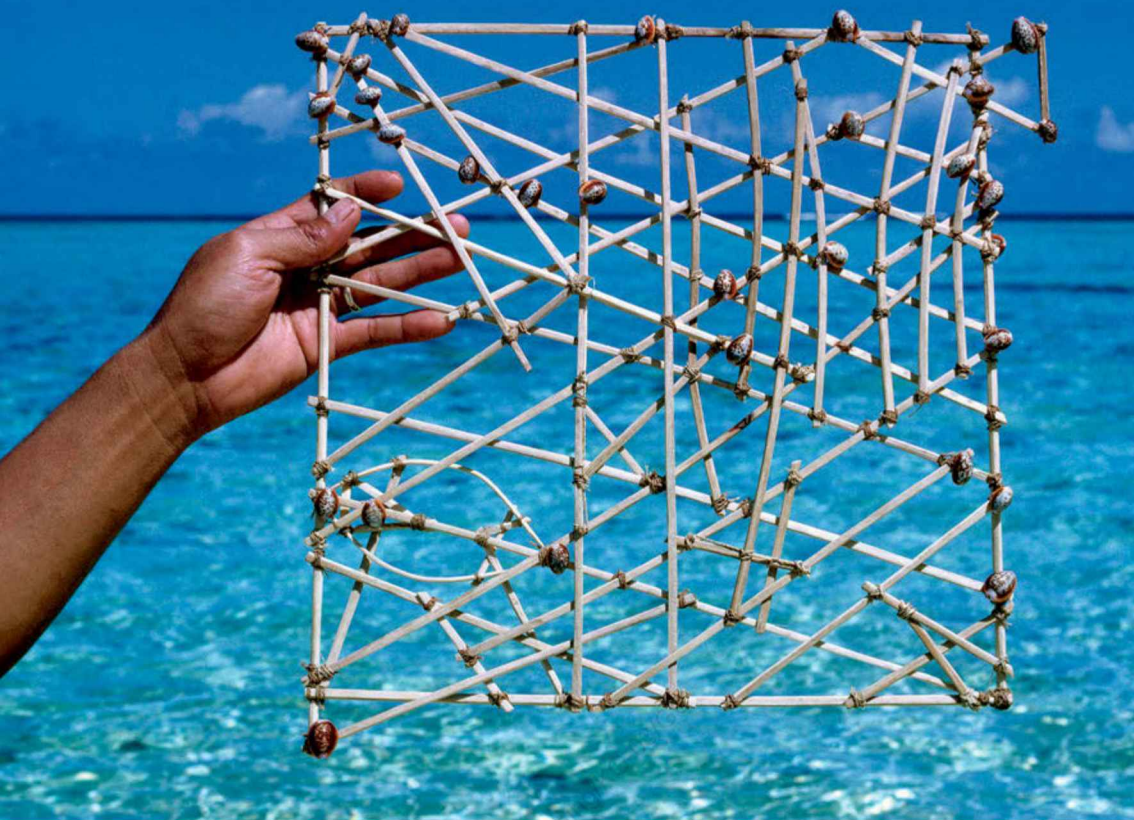
di atas lempeng tektonik yang membuat gempa dan letusan gunung sering terjadi. Apa mereka tak dapat mempercayai Bumi? Atau tetangga yang bermusuhan membuat kehidupan mereka sulit? Apakah perubahan iklim mengancam penghidupan mereka? Adakah tekanan populasi? Apa mereka mulai menghabiskan sumber daya alam pulau dengan berburu atau menangkap ikan berlebihan? Ataukah ada sesuatu yang manusiawi yang membuat mereka ingin tahu ada apa di luar sana? Meraih yang misterius di kejauhan, betapapun berbahayanya? Apapun motif mereka, lama-lama mereka mengatasi rasa takut dan melakukan petualangan yang berani.

Saya bayangkan suatu pagi ketika semua orang di desa, muda dan tua, sibuk bersiap-siap untuk perjalanan akbar. Para laki-laki menguliti dan mengikat batang-batang pohon, dan menganyam layar dari alang-alang. Para perempuan membuat kail dari tulang dan batu. Dalam khayalan saya, seisi desa berkumpul di tepi air. Sekitar dua puluh perahu bercadik sudah tersedia di pantai, sebagian di pasir, sebagian di air dangkal. Perahu-perahu itu diisi hewan jinak kecil, termasuk anjing, babi, dan ayam; padi dalam pot, buah sukun, ubi; dan anak burung cikalang dalam sangkar.

Langit timur mulai berubah warna, sebagai tanda pertama akan munculnya Matahari di cakrawala. Itu pertanda bagi para Pengelana untuk naik perahu dan berlayar. Selagi mereka berangkat, para warga sepuh (dan orang-orang lain yang memilih tetap di rumah) melambaikan tangan, menyampaikan dukungan dan rasa bangga. Keduapuluh perahu membentangkan layar yang dihias desain geometris seperti tato di tubuh mereka dan gambar di tembikar. Selagi layar tertiuap angin, perahu-perahu itu bergerak anggun menuju tempat yang belum dikenal, lenyap di balik cakrawala.



Berminggu-minggu kemudian, armada itu tetap belum melihat apapun selain air. Tinggal 15 perahu yang mengarungi ombak.



Para pencari jalan di Pasifik menandai lokasi pulau-pulau jauh dengan serat kelapa dan cangkang kerang. Kerang menandakan pulau dan atol; persimpangan batang kayu menunjukkan gelombang dan arus laut. Navigator mempelajari konfigurasinya lalu meninggalkan peta itu sesudah menghafalnya.

Orang-orang di perahu-perahu itu kehausan dan kelaparan, lebih kurus dan terbakar Matahari. Mata mereka mencerminkan kelelahan dan ketakutan. Seorang navigator di salah satu perahu berdiri di haluan, menggunakan jari-jari tangannya sebagai sekstan untuk bernavigasi dengan bintang-bintang. Dia mengarahkan telunjuk ke bintang terang yang kita sebut Canopus dan ibu jarinya sejajar cakrawala, untuk mengetahui posisi perahu. Dia memandang peta di anyaman di geladak, di mana kerang dan potongan batu serta tulang ditata menjadi arah-arah kompas.

Awan bergulung menghalangi pemandangan ke bintang-bintang, dan saya bisa membayangkan kekhawatiran di wajah sang



Cikalang elok (*Fregata magnificens*), dengan bentang sayap melebihi dua meter, bisa terbang terus selama berbulan-bulan. Para penjelajah pertama di Pasifik, orang Lapita dan Polinesia, menggunakan cikalang untuk mencari daratan.

navigator. Dia menoleh ke burung-burung cikalang dalam sangkar. Burung-burung itu sudah tumbuh besar sejak mereka berangkat.

Beberapa pagi kemudian, masih belum ada tanda-tanda daratan. Bibir para Pengelana pecah-pecah terbakar Matahari dan kehausan. Akhirnya kilat menyambar, dan hujan mulai turun. Para Pengelana bergembira dan memastikan wadah tembikar mereka menampung air hujan sebanyak mungkin. Namun laut mulai bergejolak karena badai. Ombak meninggi dan menerpa perahu-perahu. Tak lama kemudian mereka kehilangan tiga perahu.

Besoknya, hanya selusin perahu tersisa. Laut tenang lagi, tapi beberapa wadah air pecah, dan sebagian besar persediaan telah jatuh ke laut. Tetap belum ada tanda daratan. Beberapa Pengelana berusaha mencari ikan dengan kail tulang; lainnya memperbaiki layar dari anyaman pandan dengan jarum tulang dan serat tumbuhan. Satu orang mencelupkan tangannya dalam air laut, mencoba merasakan perubahan arus atau suhu. Satu cikalang melompat-lom-

pat gelisah di sangkarnya, dan navigator mengamati itu, akalnya bekerja. Tiba-tiba, laut naik di antara perahu-perahu—ada paus biru! Mereka kagum sekaligus ngeri selagi paus itu menyemburkan air. Kemudian si paus pergi lagi, kembali ke kedalaman.

Satu minggu lagi berlalu. Navigator menoleh ke cikalang lagi. Tekadnya sudah bulat. Dia mengangkat sangkar, si burung melompat-lompat liar di dalam. Dibukalah sangkar itu, diambilnya si burung. Keras-keras, si navigator berteriak: “Tunjukkan jalan!” Dia lepaskan burung cikalang itu. Semua mata mengikuti jalur terbang cikalang.

Para Pengelana menggunakan pengamatan cermat leluhur mereka, selama bergenerasi-generasi, untuk mengembangkan teknik-teknik navigasi yang masih dipakai hingga kini. Pola terbang burung ketika bermigrasi musiman adalah GPS mereka. Para Pengelana bisa membaca air, merasakan arus laut dengan jari, dan menerjemahkan pesan di awan. Mereka saintis, dan seluruh alam adalah laboratorium mereka.

Saya bisa membayangkan suatu waktu ketika mereka yang masih bertahan mesti sudah siap meninggalkan segala harapan. Orang-orang di delapan perahu yang tersisa sudah tergolek pasrah, ketika seorang perempuan di antara mereka kebetulan melihat awan di kejauhan. Bagi kita, awan itu kiranya tampak sama dengan yang lain. Namun perempuan itu melihat bahwa bagian bawah awannya berwarna agak kehijauan. Sesaat dia tak bisa berkata apa-apa karena girang, kemudian berhasil berteriak sehingga menggugah semua orang: “Daratan!” Para Pengelana menyesuaikan posisi layar, dan mulai mendayung ke arah awan itu. Mavulis, pulau hijau yang terletak paling utara di kepulauan Filipina, terlihat.

Para Pengelana yang masih selamat menyeret perahu ke pantai. Filipina adalah tempat mereka menetap untuk pertama kali. Sudah berada di sana selama seribu tahun, mereka siap berlayar lagi. Generasi baru Pengelana, bangsa Polinesia, mengirim misi penje-

lajahan yang sukses ke Indonesia, Kepulauan Melanesia, Vanuatu, Fiji, Samoa, dan Marquesas. Kemudian mereka mencapai kepulauan paling terpencil di Bumi, Hawaii, Tahiti, Tonga, Selandia Baru, serta Pulau Pitcairn dan Paskah. Kerajaan bahari mereka meliputi hampir *50 juta kilometer persegi* laut. Dan mereka mengarungi semua itu tanpa satu pun perkakas logam.

Seiring berlalunya waktu, kontak antarpulau menjadi makin jarang. Bahasa bangsa Polinesia berevolusi menjadi banyak bahasa di berbagai tempat yang terpisah. Banyak kata berubah, tapi satu kata tetap sama di semua bahasa di Pasifik: *layar*.

Jika kita dapat berlayar di samudra kosmik sehebat nenek moyang kita yang melaut di Pasifik, saya tahu apa yang bakal saya lakukan. Saya tak bakal menuju sembarang dunia, melainkan ke tempat kosong miliaran kilometer dari Matahari kita.



Kita sudah mempelajari cahaya selama ribuan tahun dan gravitasi selama berabad-abad. Di antara banyak wawasan yang didapat Einstein, ada pemahaman mengenai bagaimana gravitasi dapat mempengaruhi cahaya. Cara gravitasi membengkokkan cahaya memungkinkan kita mengubah bintang apapun, termasuk bintang kita sendiri, Matahari, menjadi semacam lensa untuk teleskop kosmik, dengan garis tengah 80 miliar kilometer. Teleskop antariksa terkuat kita sekarang baru bisa melihat dunia-dunia di matahari-matahari lain sebagai titik-titik. Teleskop kosmik dapat memberi kita gambar rinci gunung, samudra, gletser, dan barangkali kota di dunia-dunia itu.

Bagaimana cara kerjanya? Gugus detektor teleskop kosmik mengumpulkan cahaya yang memantul dari dunia yang jauh. Kemudian teleskop itu mengirim sinyal kembali ke Bumi, yang menjadi “tempat pandang” teleskop kosmik. Dan bintang paling terang di

langit kita, Matahari, adalah lensanya. Kalau dipandang secara keseluruhan, teleskop itu bakal tampak seperti perhiasan, dengan benang perak dan permata kuning (Matahari) di tengah. Bagaimana caranya suatu bintang, yang tak tembus pandang, diubah menjadi lensa? Ketika semua berkas cahaya pantulan dari suatu planet yang jauh melewati dekat Matahari, gravitasi Matahari membengkokkan berkas-berkas cahaya itu sedikit. Titik pertemuannya di antariksa disebut titik fokus karena di sanalah objek yang kita lihat terfokus.

Apa yang bisa dilihat dengan teleskop sepanjang 80 miliar kilometer? Hampir semua yang diinginkan. Teleskop terhebat Galileo dapat memperbesar gambar 30 kali, membuat dunia seperti Jupiter tampak 30 kali lebih dekat. Teleskop kosmik bisa membuat benda-benda tampak 100 miliar kali lebih dekat. Dan kita bisa mengarahkannya hampir ke mana saja. Gugus detektor kita bergerak 360 derajat mengelilingi Matahari. Hanya satu bagian kosmos yang tak bisa dilihat dengan teleskop itu, yaitu bagian tengah galaksi Bimasakti kita, karena terlalu terang, cahayanya membutakan. Namun dengan teleskop seperti itu, banyak hal lain yang kiranya bisa kita amati.

Dapat kita amati gas-gas di atmosfer dunia jauh untuk mencari tahu apakah kehidupan ada di sana. Berbagai molekul punya tanda warna khusus. Jika kita amati atmosfernya dengan spektroskop—alat yang memecah cahaya menjadi warna-warna penyusunnya—kita akan bisa mengenali molekul-molekul yang menyusun atmosfer itu. Keberadaan oksigen dan metana kiranya menandakan kehidupan. Teleskop kosmik kita pun dapat memberi gambaran lengkap keseluruhan permukaan dunia jauh.

Teleskop itu bukan hanya teleskop optik yang bisa melihat cahaya tampak, melainkan juga *teleskop radio*. Selain memperbesar cahaya dari dunia jauh 100 miliar kali, teleskop itu juga bisa memperbesar sinyal radio. Ada sesuatu yang dijuluki “lubang air” oleh para ahli astronomi. Julukan itu berasal dari tempat di mana singa

dan kerbau berkumpul untuk minum dan mandi. Istilahnya semacam permainan kata saintifik karena merujuk ke posisi antara garis emisi oksigen dan hidroksil di spektrum. Keduanya adalah penyusun air, H_2O . Lubang air kosmik adalah bagian spektrum radio dengan interferensi minimal, di mana kita bisa mendengarkan bahkan transmisi terlemah antarperadaban yang terpisah jauh. Kita bakal memerlukan segala daya komputasi yang kita punya untuk membaca sinyal yang tersembunyi di tengah kebisingan. Saya bayangkan isi sinyalnya seperti ... *atom hidrogen ... frekuensi resonan 1420 megahertz ... tolong kami ... 3,1415926 ... selamat datang ... kepadatan plasma ... cinta kalian ... peringatan api bintang ... koordinat pertemuan 163,244 ...*

Teleskop besar itu juga sarana *memandang ke masa lalu*. Kita tak bisa memandang antariksa tanpa memandang benda pada masa lalu. Itu karena waktu gerak cahaya itu terbatas. Pada pagi hari, lihatlah Matahari dan itu artinya Anda melihat keadaan Matahari delapan menit 20 detik lalu. Anda tak akan pernah melihatnya dengan cara lain. Itu karena cahaya dari Matahari butuh waktu selama itu untuk menempuh 150 juta kilometer ke Bumi. Ketika kita memandang dunia manapun melalui teleskop, kita melihat masa lalunya.

Bayangkan teleskop kosmik peradaban lain. Misalnya peradaban yang berada 5.000 tahun cahaya dari Bumi. Para ahli astronomi di dunia itu dapat menyaksikan pembangunan piramid di mesir, atau mengikuti para Pengelana Polinesia yang dengan gagah berani mengarungi Pasifik. Namun barangkali penggunaan terpenting teleskop kosmik kiranya pencarian Bumi baru.

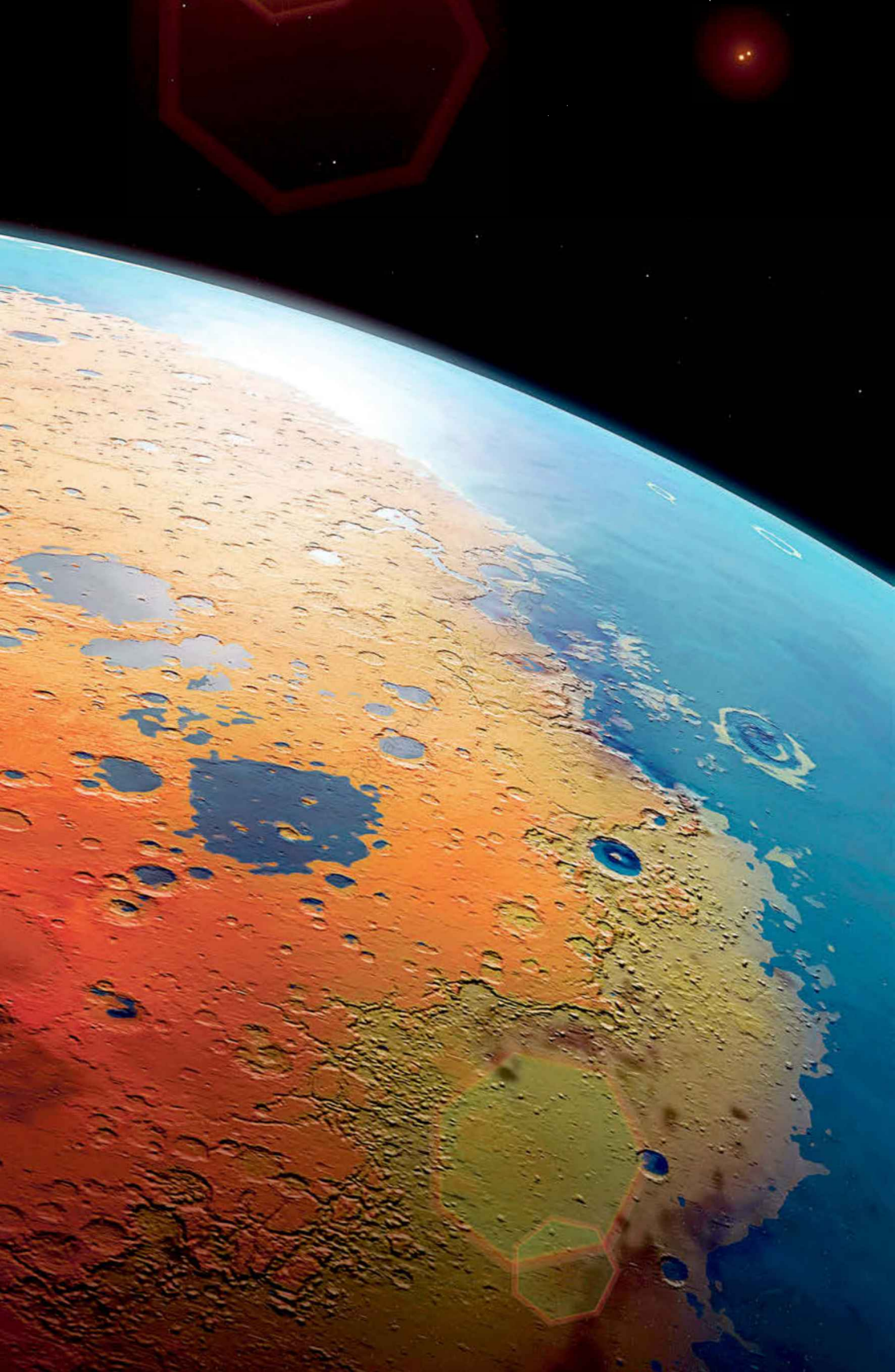
Saya belum mengerti mengapa kita tidak juga membangun teleskop kosmik. Kita sudah tahu cara membuatnya. Kita sudah punya teknologinya—sekarang. Kapan Anda ingin masa depan dimulai?



Kita punya impian besar memandangi dunia lain, pergi ke dunia lain, menjadikan dunia lain rumah kita. Namun bagaimana cara pergi ke sana? Bintang-bintang begitu jauh terpisah, kita bakal butuh kapal layar yang dapat menghidupi awak manusia selama perjalanan amat panjang. Bintang terdekat berjarak empat tahun cahaya. Itu berarti 38 triliun kilometer ke Proxima Centauri. Sekali lagi, untuk memberi Anda bayangan mengenai sejauh apakah titik cahaya itu, jika wahana antariksa Voyager 1 NASA—yang bergerak cukup cepat, 60.000 kilometer per jam—menuju ke arah Proxima Centauri, dibutuhkan hampir 80.000 tahun untuk mencapainya. Dan itu baru bintang paling dekat di antara *ratusan miliar bintang* di galaksi kita saja.

Jika ingin bertahan sebagai satu spesies melebihi perkiraan masa keberadaan planet kita, kita perlu bertindak seperti orang Polinesia. Kita perlu menggunakan apa yang kita ketahui mengenai alam dan membuat kapal layar yang bisa menunggang cahaya seperti kapal layar biasa menunggang angin. Bayangkan armada kapal layar, bukan wahana kecil sebesar kacang di Bab 1, melainkan kapal layar besar dengan tiang sepanjang berkilo-kilometer. Ketika satu foton cahaya mengenai layar itu, kapal terdorong sedikit. Layarnya sangat besar, tapi sangat tipis. Artinya di kehampaan antariksa, dorongan kecil dari foton pun akan memberi percepatan, sampai kecepatannya mencapai sepersekian cukup besar dari kecepatan cahaya. Ketika sudah jauh sekali dari rumah sehingga Matahari menjadi satu lagi bintang kecil di langit, kapal-kapal itu bisa menaruh sinar laser kuat seperti pelampung di belakangnya. Saya bisa bayangkan kapal bergoyang sejenak sebelum roket pendorong nuklirnya menyala untuk menstabilkan posisi. Berkas-berkas cahaya laser keluar dari kapal, dan menembus ruang sampai ke layar. Suatu pertunjukan cahaya kosmik. Kalau sudah terlalu jauh dari bintang asal, dan cahaya berkurang, laser bisa membantu.

Jika kita berlayar dengan cahaya ke Proxima Centauri seperti begitu, yang dibutuhkan adalah 20 tahun saja, bukan 70.000 tahun.



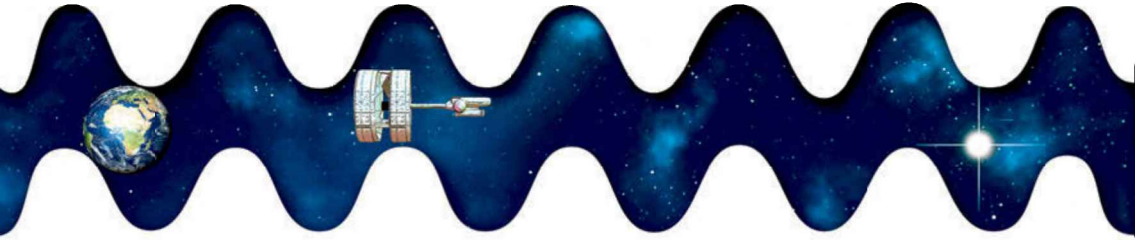
Proxima Centauri, suatu bintang katai merah, punya dua bintang saudara, Alpha Centauri A dan B. Proxima Centauri juga punya setidaknya satu planet, Proxima b. Proxima b terletak di zona layak huni bintangnya, tapi kita belum tahu apakah planet itu dapat menopang kehidupan. Apakah Proxima b punya medan magnet pelindung seperti yang telah menaungi evolusi kehidupan di dunia kita? Bisakah planet itu mempertahankan atmosfernya menghadapi angin surya sekuat badai, 2.000 kali lebih kuat daripada yang dikirimkan Matahari kita ke Bumi?

Karena dekat sekali dengan bintang induknya, satu tahun di Proxima b hanya sepanjang 11 hari Bumi. Kedekatan ke bintang itu bagus untuk kehidupan karena katai merah memancarkan panas lebih sedikit dibanding yang dipancarkan Matahari kita. Namun jika medan magnet planet itu lemah atau kadang padam, kehidupan boleh jadi tak berkesempatan muncul. Konsekuensi lain kedekatan Proxima b ke bintangnya adalah kunci pasang surut. Satu sisi planet itu selamanya menghadap bintangnya; sisi sebaliknya mengalami malam tanpa akhir.

Bintang-bintang katai merah boleh jadi kurang panas, tapi masa depannya panjang—triliunan tahun. Sebagai perbandingan, alam semesta sendiri hanya berumur 14 miliar tahun, tak sampai satu persen masa hidup bintang katai merah, jenis bintang yang paling lazim di alam semesta. Dunia-dunia di sana bisa menikmati zona layak huni selama bintang-bintang itu ada. Pikirkan kesinambungan dan potensi pertumbuhan suatu peradaban yang masa depannya membentang sampai triliunan tahun.

Di bagian daratan yang terletak di antara malam dan siang di dunia yang terkunci pasang surut itu, waktunya selalu “jam ajaib”. Andai Proxima b bisa dihuni kehidupan, kehidupannya ba-

Permukaan berair Proxima b, sebagaimana dibayangkan seniman; di kejauhan, dua bintang katai kuning Alpha Centauri A dan B



kal terbatas di zona senja itu. Mungkin saja zona itu menjadi rumah kehidupan pribumi, atau bisa jadi tempat berkemah keturunan kita. Gravitasi di Proxima b sekitar 10 persen lebih besar daripada gravitasi Bumi. Tak masalah bagi kita, rasanya seperti berolahraga sambil membawa beban.

Untuk perjalanan lebih panjang, jauh melampaui bintang terdekat, kita akan memerlukan perahu yang lebih cepat. Katakanlah kita menemukan sistem bintang yang terletak kira-kira seratus tahun cahaya dari sini, dengan beberapa dunia yang berpotensi untuk dihuni. Untuk para pelayar cahaya, perjalanannya bakal berlangsung selama 500 tahun. Bisakah membuat kapal yang dapat menembus batas kecepatan kosmik?

Seorang ahli fisika matematis, Miguel Alcubierre dari Meksiko, terilhami seri televisi *Star Trek* pertama untuk membuat perhitungan bagi kapal yang dapat bergerak lebih cepat daripada cahaya secara teori. Jika berhasil, kapal itu dapat mengurangi waktu perjalanan antara Matahari kita dan sistem bintang jauh itu sampai satu tahun atau bahkan lebih singkat lagi. Namun tunggu dulu, bukankah ada aturan mutlak sains “Tak ada yang bisa bergerak lebih cepat daripada cahaya”? Memang ada. Namun ini rahasianya cara Alcubierre. *Kapal tak bergerak, kosmos-lah yang bergerak.* Kapalnya sendiri bakal berada dalam gelembung ruang-waktu sendiri, di mana dia tak perlu melanggar hukum fisika apapun. Harold White dari Amerika Serikat membereskan beberapa kekurangannya, seperti energi amat sangat besar yang dibutuhkan untuk menerbang-



Ilustrasi grafis cara wahana antariksa bermesin warp Alcubierre merentang ruang di belakangnya dan menyusutkan ruang di depannya selagi bergerak lebih cepat daripada cahaya

kan kapal itu, dan menyimpulkan bahwa wahana antariksa yang lebih cepat daripada cahaya itu setidaknya mungkin dalam teori. Namun wahana itu tetap masih jauh dari jangkauan kita.

Kapal Alcubierre adalah mesin pembuat gelombang gravitasi yang menyusutkan samudra ruang-waktu di depannya, dan merentangkan samudra ruang-waktu di belakang. Sementara kapal Alcubierre tampak tak bergerak, riak-riak di tatanan ruang-waktu menjadi lebih rapat di depannya dan renggang di belakangnya. Seperti jetski untuk ditunggangi mengarungi galaksi. Seribu triliun kilometer dalam sekejap mata. Tahu-tahu kita sudah ada di sistem planet satu bintang jauh. Mari kita sebut namanya sistem Hoku, suatu bintang katai merah yang dikelilingi sejumlah planet raksasa dari batu dan es. Di suatu tempat di antara semua itu ada dunia yang kita akan sebut rumah. Teleskop kosmik khayal kita (untuk saat ini) mencari-cari di antara semua bintang dalam radius seratus tahun cahaya, dan menunjukkan yang ini.

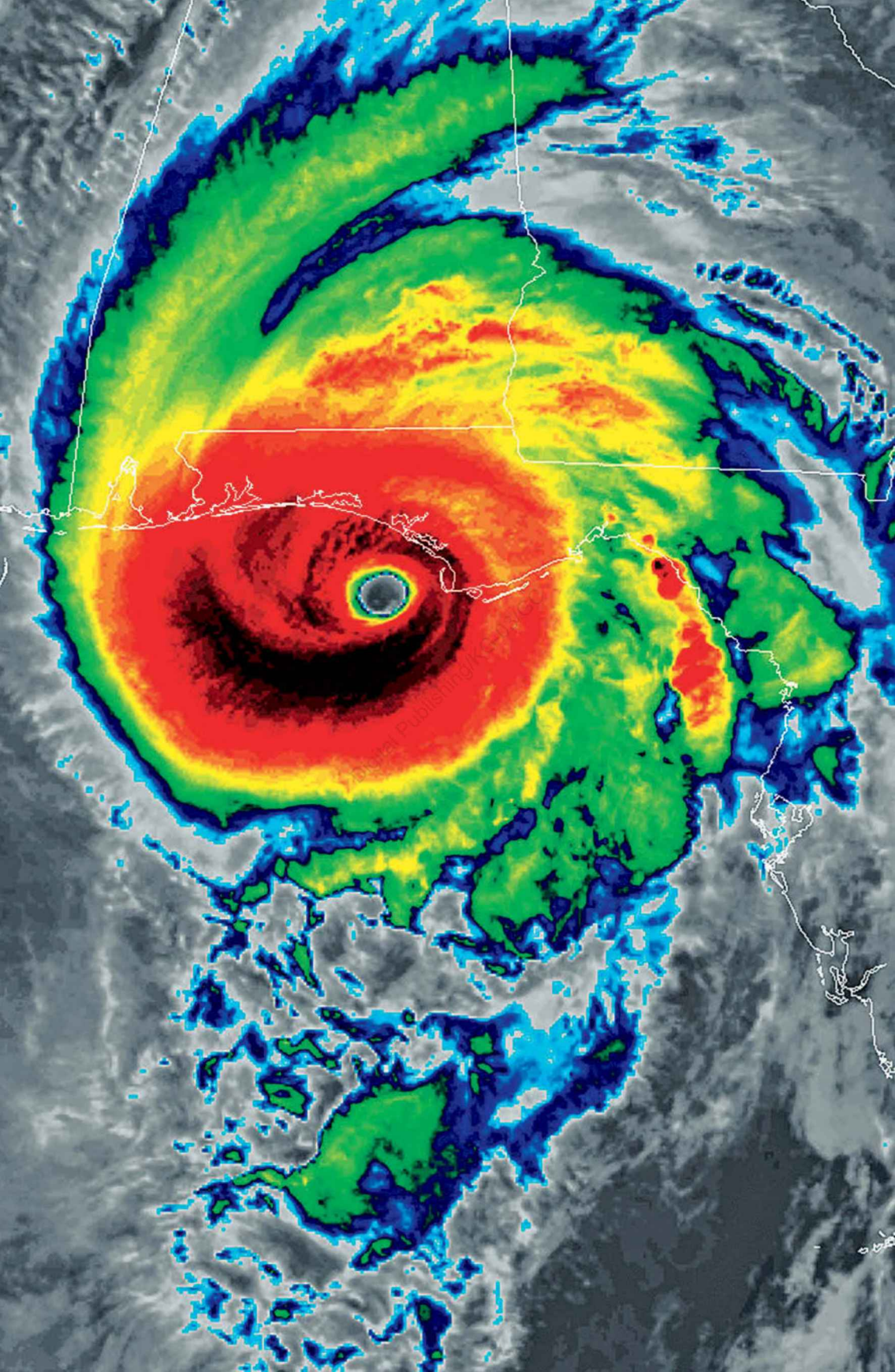
Ketujuh planet khayalan di sistem Hoku lebih dekat ke bintangnya daripada jarak Merkurius ke Matahari. Planet terluar, Haumia, berwarna hijau di lintang tinggi belahan utara dan selatannya, dan hijau lebih muda dekat khatulistiwa, dengan awan putih panjang horizontal. Haumia berada di dekat sisi luar zona layak huni Hoku. Warna hijau hangatnya tampak mengundang, tapi penyebabnya

bukan puncak-puncak pohon. Warna hijaunya berasal dari metana dan amonia. Bahkan dari jarak hanya 43 juta kilometer, bintang Hoku terlalu lemah untuk membuat planet itu hangat.

Jauh di ujung kanan ada Tawhiri, planet gas raksasa berbadai dengan lusinan bulan. Di sisi kiri ada planet Oro, dengan permukaan pasir hitam diseling urat merah magma besi. Kita berada di tengah zona layak huni Hoku. Di depan ada dunia biru-hijau dengan dua benua besar. Itu planet Tangaroa, di mana bab terbaru saga spesies kita dimainkan. Selagi kita turun menembus awan, awannya sirna, dan muncullah bentang alam mirip Bumi yang dipenuhi pepohonan, sungai-sungai, dan bukit-bukit hijau. Diperlukan beberapa ratus tahun *terraforming* oleh manusia di dunia tanpa kehidupan itu. Namun udaranya sudah terasa seperti di rumah. Selagi bisa memandang permukaan lebih dekat, kita menyadari bahwa di sana ada banyak rumah, tapi terintegrasi begitu bagus ke lingkungan alamnya sehingga hampir tak terlihat.



Dalam penjelajahan kosmik akbar kita, planet tadi ibarat Indonesia, salah satu persinggahan pertama dalam perjalanan kita berkelana di Bimasakti. Masih banyak pulau di depan. Dalam masa depan impian kita, dengan kapal yang bisa bergerak lebih cepat daripada cahaya, mungkin akan tiba waktu ketika kita dapat menempatkan teleskop kosmik cukup jauh dari planet asal kita sehingga kita dapat menyaksikan cerita masa lalu dunia kita dan kehidupannya, dan melihat sendiri para leluhur tanpa nama yang pertama kali berlayar mengarungi samudra tak dikenal.



MENJADI DEWASA PADA ANTROPOSEN

*Ras manusia kini mendapat tantangan besar untuk
menunjukkan bahwa kita berkuasa, bukan atas alam
melainkan atas diri sendiri.*

—RACHEL CARSON,
SILENT SPRING

Badai Michael, 10 Oktober 2018, adalah badai terburuk yang pernah tercatat melanda Semenanjung Florida. Suhu laut dan atmosfer yang lebih hangat membangkitkan badai yang lebih mematikan: satu di antara banyak ciri zaman geologis baru yang disebut Antroposen.





Peradaban manusia boleh dipandang sebagai hadiah Kala Holosen, periode nyaman sesudah zaman es yang berawal sekitar 11.650 tahun lalu, pada permulaan 30 detik terakhir tahun Kalender Kosmik. Para saintis yang mempelajari Bumi, ahli geologi, biasanya tak dipandang sebagai kelompok yang mudah tergugah. Namun mereka sudah memeriksa bukti, dan banyak yang memutuskan bahwa sudah waktunya zaman kita diberi nama yang mencerminkan lebih baik dampak global spesies kita. Mereka percaya era kita seharusnya dikenal sebagai Antroposen, dari kata-kata Yunani *anthropos* (manusia) dan *kainos* (baru). Nama itu menggambarkan dampak global spesies kita terhadap lingkungan dan kehidupan yang ditopangnya.

Kapan kala Antroposen bermula? Bisa diperdebatkan. Beberapa menganggap Antroposen bermula ketika Kala Holosen bermula, waktu kita pertama kali memburu satu spesies sampai punah. Saya bertanya-tanya, apakah leluhur kita melukis mamut dan lemur raksasa di dinding gua untuk mengenang hewan-hewan itu sesudah membantai yang terakhir? Kepunahan karena manusia bukan hal baru. Namun kita tak benar-benar bisa menyalahkan para leluhur. Mereka tak dapat melihat gambaran besar. Buat mereka itu urusan hidup mati. Mana mungkin mereka tahu bahwa hewan yang dibunuhnya adalah anggota terakhir satu spesies? Mereka hanya tahu apa yang terjadi di sekeliling.

Aurochs, sapi liar Eurasia yang sekarang sudah punah—tapi akan dihidupkan lagi berkat rekayasa genetika—tergambar di langit-langit Gua Lascaux, Prancis. Sapi purba bertanduk besar itu barangkali leluhur sapi ternak zaman sekarang.

Antroposen barangkali berawal dengan biji pertama yang ditanam di tanah, dan revolusi pertanian yang mengikutinya. Sebelumnya, dunia punya pohon dua kali lebih banyak untuk menyerap karbon dioksida dan melepas oksigen. Dengan penciptaan pertanian, para leluhur kita berhenti berkelana dan hidup menetap di pertanian dan kota. Hutan dibabat untuk pembangunan dan pembuatan kapal-kapal yang, baik atau buruk, mengubah manusia menjadi organisme yang berkomunikasi secara global.

Apakah Antroposen bermula dengan penjinakan hewan? Sapi mengubah rumput liar menjadi metana, satu lagi gas yang mengubah iklim. Terjadinya dalam tubuh sapi yang sedang mencerna makanan. Namun belum ada yang mengetahui itu sampai era sains modern. Kok bisa beberapa sapi berbuat kerusakan, atau malah mengubah Bumi secara radikal? Leluhur kita ingin memberi makan keluarga, dan memastikan anak-anak tak kelaparan, terus bertahan hidup.

Perapian yang menghangatkan rumah-rumah kecil leluhur kita—apakah itu permulaannya? Di Tiongkok, sekitar 4.000 tahun lalu, suatu penemuan revolusioner terjadi: Batu-batu tertentu bisa terbakar lebih efisien daripada kayu untuk mengusir hawa dingin dan lembap. Batu-batu itu sebenarnya karbon sisa tumbuhan dan pohon yang mati jutaan tahun sebelumnya dan terkubur dalam tanah. Apakah penemuan batu bara itu awal Antroposen? Selagi hutan dibabat untuk diambil kayunya, batu bara menjadi makin penting untuk menyalakan tungku dan menghangatkan rumah. Asap dari api kecil tak banyak mengubah atmosfer. Namun selama ribuan tahun jumlah kita tumbuh berlipatganda sehingga kita akhirnya menghasilkan cukup banyak karbon dioksida untuk memanaskan seluruh dunia.

Ataukah Antroposen sebenarnya berawal sekitar 1.000 tahun kemudian, ketika orang-orang di seantero Asia mulai menanam padi? Mereka menemukan teknik persawahan, menanam benih padi di lahan tergenang air. Para petani yang bekerja keras itu tak



Para ahli geologi memasang pasak emas, secara harfiah dan kiasan, antara lapisan-lapisan geologis, menandai batas antar berbagai era.

tahu bahwa cara menumbuhkan padi seperti itu, seperti sapi, suatu hari kelak menghasilkan ratusan juta ton metana. Tanah yang digenangi air kehilangan oksigen, kemudian makhluk-makhluk kecil tak kasat mata—mikroba—mencerna tumbuhan dan menghasilkan metana. Dan yang lebih parah, daun padi melepas metana ke atmosfer juga. Para petani purba tak tahu apa yang terjadi di skala amat kecil. Tak seorang pun yang tahu sampai era sains modern. Lagi-lagi, mereka hanya mencoba menumbuhkan makanan untuk diri sendiri dan keluarga.

Waktu menulis di bebatuan Bumi. Jika Anda tahu bagaimana membaca alfabet waktu, Anda bisa merekonstruksi peristiwa-peristiwa di cerita planet ini. Bagian-bagian paling dramatis hikayat itu tidak ditulis dengan warna-warna paling mencolok. Di seantero planet ini, ada lapisan putih pucat di bebatuan yang merupakan semacam puisi epik. Isinya tentang kematian para raksasa. Lapisan itu terbuat dari logam langka bernama iridium yang menandakan akhir Zaman Kapur sekitar 66 juta tahun lalu. Kala itu dinosaurus beserta tiga perempat dari semua tumbuhan dan hewan punah.

Para ahli geologi punya kebiasaan: Ketika menemukan lapisan Bumi yang menandakan batas pertama atau terakhir kali fosil-fosil suatu spesies ditemukan, batas itu diberi tanda dengan pasak emas. Mereka menusukkan pasak emas ke batu dengan dipukul palu. Jika kita hidup pada Antroposen, zaman kepunahan akibat manusia, di mana kita memasang pasak emas *kita*?

Barangkali pasak itu seharusnya ada di diri *saya*. Pada tahun pertama kehidupan saya, ada dua negara adidaya yang bertarung berebut planet ini. Keduanya bersedia membahayakan segalanya demi kekuasaan. Pada 1945, Amerika Serikat telah menciptakan senjata yang dapat membebaskan energi yang terkunci dalam atom. Empat tahun kemudian, selama musim panas ketika saya lahir, 1949, Soviet pesaing AS mencapai tingkat kegilaan baru. Kedua negara meledakkan senjata-senjata yang makin seram, yang melepas energi fusi nuklir, tenaga dahsyat dalam bintang-bintang. Kedua pihak menguji senjata nuklir di atmosfer hanya untuk menunjukkan betapa kuatnya mereka. Keduanya telah meledakkan ribuan senjata nuklir selama puluhan tahun. Bom-bom itu melepas strontium-90, atom yang tak stabil karena energi nuklir berlebih. Isotopi-isotop radioaktifnya mencemari susu ibu di seluruh dunia. Para ibu yang menyusui bayi menolak hidup bersama kengerian itu. Mereka bergabung dan memprotes sampai suatu perjanjian melarang uji senjata nuklir di atmosfer pada 1963.

Saya, dan seluruh anggota generasi saya, membawa satu lagi isotop radioaktif dalam jumlah berlebih di jaringan tubuh kami. Namanya karbon-14. Tiap atom radioaktif punya waktu paro, yang bagi atom sepadan dengan lingkaran tahunan pohon—bisa dihitung untuk mengetahui umur pohon (atau atom). Perlombaan senjata melipatgandakan jumlah karbon-14 di atmosfer. Jika saya kehilangan akal, dan lupa umur sendiri, gema ledakan nuklir pada musim panas ketika saya lahir bakal memberitahukan umur saya. Apakah “pasak emas” dalam diri saya menandakan awal Antroposen? Itulah permulaannya?

Uji nuklir di atmosfer berakhir, tapi kita terus mengacak-acak rumah—sambil mengetahui bahwa akan datang satu hari ketika rumah kita akan roboh. Apa bagusya mengetahui suatu bahaya jika kita tak berbuat apapun terhadapnya? Barangkali lebih baik tak tahu. *Pengetahuan bisa menjadi kutukan.*



Cerita-cerita yang bertahan paling lama adalah yang tak pernah terjadi dan akan selalu menjadi ... mitos. Salah satunya berumur ribuan tahun. Kala itu pun sudah terjadi persaingan yang membuat orang berbuat kerusakan dengan membabibuta.

Apollo, dewa cahaya, jatuh cinta kepada Cassandra, putri kesayangan Priamos, raja Troia. Cassandra menolak, jadi Apollo mencoba membujuk dengan memberikan bakat meramal. Pembalasan Apollo atas penolakan itu adalah bahwa Cassandra bakal bisa melihat masa depan, tapi dia akan diabaikan. Ketika saudaranya, Paris, bertanya kepada ayahnya apakah dia boleh mengunjungi Sparta, Cassandra tahu ke mana itu akan mengarah—Paris menculik Helene, istri raja Sparta, dan ujung-ujungnya menyebabkan kehancuran Troia. Namun tak seorang pun memperhatikan kata-kata Cassandra. Bagi orang Troia, bahkan bagi orang Sparta, Cassandra sekadar peramal yang menyampaikan hal-hal suram.

Visi seram Cassandra terwujud sebagaimana dia nyatakan: menara-menara megah Troia ambruk selagi pasukan Yunani memasuki kota. Kota terbakar. Kuda Troia yang terkenal itu berdiri kosong sesudah melakukan tugasnya. Apollo puas. Ramalan seram Cassandra tak didengar, dan sudah terlambat bagi Troia.

Pengetahuan Cassandra adalah kutukan. Namun pengetahuan juga bisa menjadi berkah terbesar. Saya akan sampaikan cerita lain. Dahulu, belum ada kulkas. Makanan sulit disimpan dengan awet selama musim panas. Ada orang yang bekerja sebagai tukang es. Dia



Di tapestri abad ke-16, Kassandra membujuk Priamos untuk menghindari bencana masa depan yang dilihatnya

membawa balok-balok es besar dengan kereta kuda, dan datang ke rumah-rumah untuk menjual balok es. Dia menggunakan pahat untuk memotong es, mengangkatnya dengan catut, lalu susah payah membawanya ke pintu ruang bawah tanah bangunan. Es kemudian disimpan di kotak es, untuk mengawetkan berbagai jenis makanan yang mudah rusak. Dalam cuaca panas, air cepat menetes dari sudut bawah pintu kotak es. Airnya kemudian menggenang di lantai.

Seseorang menemukan cara lain untuk menjaga makanan tetap dingin: sistem gas yang menggunakan amonia atau belerang di-

oksida sebagai pendingin. Tak usah lagi menyeret balok es. Lebih baik, kan?

Ternyata zat kimia yang digunakan itu beracun dan berbau tak enak. Kalau terjadi kebocoran, pendinginnya berbahaya bagi anak-anak dan hewan peliharaan. Dibutuhkan pendingin lain—yang bisa beredar dalam kulkas tapi tak meracuni siapapun kalau bocor, ataupun berbahaya jika kulkas dibuang. Sesuatu yang tak membuat sakit, mata perih, menarik serangga, atau bahkan mengganggu kucing. Namun di seantero alam, tak ada bahan seperti itu. Jadi para ahli kimia di Amerika Serikat dan Jerman menciptakan sekelompok molekul yang belum pernah ada di Bumi. Namanya klorofluorokarbon, atau CFC, karena dibuat dari satu atau beberapa atom karbon dan beberapa atom klorin dan/atau fluorin.

Molekul-molekul baru itu amat berhasil sebagai pendingin, jauh melebihi harapan para penciptanya. CFC menjadi pendingin utama bukan hanya di kulkas, melainkan juga AC. Ada banyak hal lain yang dapat dilakukan dengan CFC. CFC digunakan untuk mendorong gumpalan krim cukur, dan melindungi tata rambut dari angin dan hujan. CFC juga menjadi bahan pendorong (propelan) yang digunakan di pemadam api, isolasi busa, pelarut industri, dan bahan pembersih. CFC adalah bahan yang membuat cat semprot asyik digunakan. Merek paling terkenal adalah Freon, milik DuPont. Freon digunakan selama puluhan tahun dan tak tampak berbahaya. Aman seaman-amannya, pikir semua orang.

Hingga, pada awal 1970-an, dua ahli kimia atmosfer di University of California, Irvine, mempelajari atmosfer Bumi. Mario Molina seorang imigran asal Meksiko, ahli kimia laser yang masih muda. Sherwood Rowland ahli kinetika kimia, saintis yang mempelajari gerak molekul dan gas di berbagai kondisi. Rowland berasal dari kota kecil di Ohio. Molina ingin tumbuh sebagai saintis. Dia mencari proyek yang bakal membawanya sejauh mungkin dari pengalaman risetnya terdahulu. Dia ingin tahu, apa yang terjadi kepada molekul

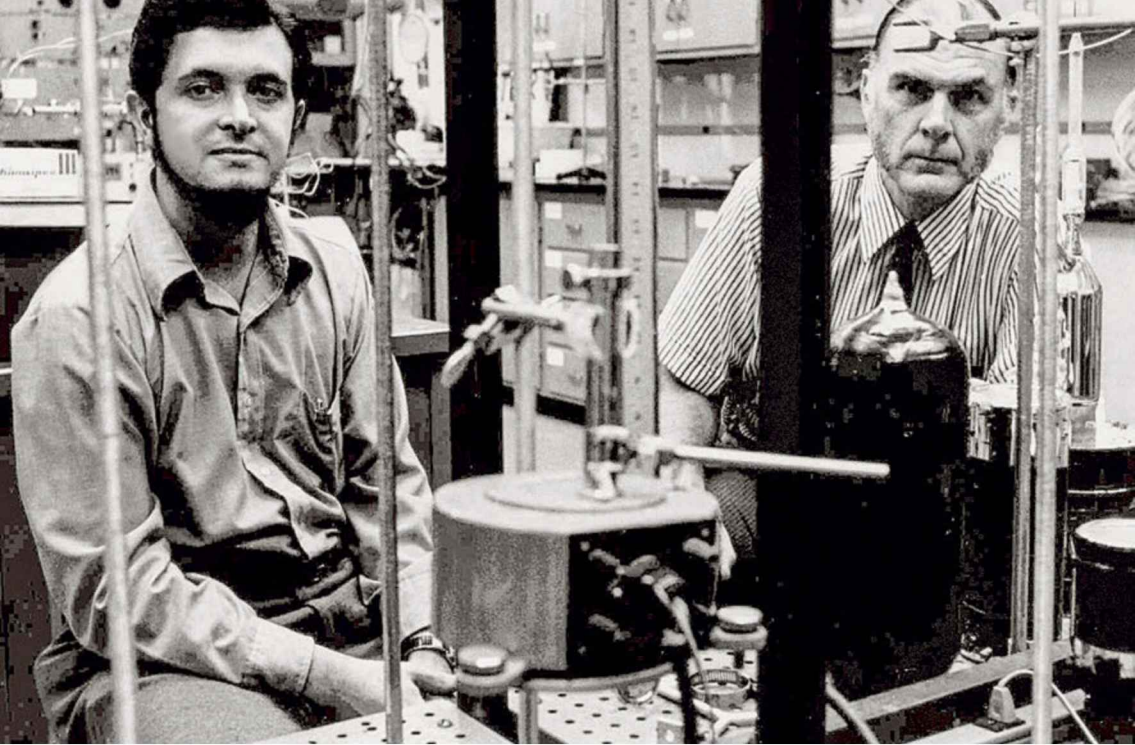
Freon yang bocor dari AC? Pada waktu itu, astronot Apollo masih sedang bolak-balik ke Bulan. NASA sedang mempertimbangkan peluncuran pesawat ulang-alik seminggu sekali. Apakah pembakaran bahan bakar roket sebanyak itu berbahaya bagi stratosfer, tempat atmosfer Bumi bertemu hitamnya antariksa?

Begitulah cara kerja sains yang sering terjadi. Kita mau memecahkan satu masalah, dan kebetulan menemukan fenomena lain yang benar-benar tak terduga.

Rowland dan Molina menemukan bahwa CFC yang lembam dan katanya “tak berbahaya”—molekul ajaib dalam krim cukur dan semprotan rambut—tidak hilang ketika kita selesai menggunakannya. CFC terus ada di ujung antariksa, berakumulasi dalam jumlah triliunan. Mereka berkumpul diam-diam tinggi di atas Bumi, dan berbuat sesuatu yang tak baik. Molina dan Rowland ngeri ketika mendapati bahwa CFC sedang mengikis lapisan yang melindungi kita dari bahaya radiasi ultraviolet Matahari. Lapisan pelindung itu makin lama makin tipis. Riset lanjutan memastikan bahwa laju penipisannya mengkhawatirkan.

Ketika cahaya ultraviolet mengenai molekul CFC, atom-atom klorinnya lepas. Sesudah itu terjadi, atom-atom klorin mulai memecah molekul ozon yang amat dibutuhkan untuk kehidupan kita. Kehidupan di Bumi baru bisa keluar dari laut dan hidup aman di darat ketika planet kita sudah punya lapisan ozon, sekitar dua setengah miliar tahun lalu. Satu atom klorin bisa menghancurkan 100.000 molekul ozon. Namun pada 1970-an, CFC ada di banyak produk, dan produsen tak dapat membayangkan dunia tanpa CFC. Ketika penipisan lapisan ozon dipastikan pun tanggapan perusahaan terhadap bahaya itu adalah menganggap urusan sainsnya belum beres.

Orang sukar percaya bahwa kita sebagai satu spesies telah menjadi cukup kuat untuk bisa membahayakan kehidupan di planet ini. Mereka mencari-cari penyebab bukan manusia yang bertanggung-



Pada 1974, ketika ahli kimia Sherwood Rowland dan peneliti pascadoktoral Mario Molina menunjukkan bahwa CFC merusak atmosfer, gagasan itu diejek oleh perusahaan dan pemerintah. Sekarang gagasan itu dianggap fakta saintifik.

jawab atas lubang raksasa di angkasa. Seorang eksekutif mengusulkan agar semua orang mengenakan tabir surya lebih banyak, topi, dan kacamata hitam. Namun para saintis menunjukkan bahwa plankton, tetumbuhan kecil di dasar rantai makanan global, dan tumbuhan yang lebih besar tidak bisa melakukan itu.

Molina dan Rowland tanpa kenal lelah berusaha memperingatkan dunia. Namun Rowland bertanya, “Apa gunanya mengembangkan sains yang cukup bagus untuk membuat prediksi jika pada akhirnya kita hanya mau diam saja dan menunggu prediksi itu terbukti?” Rowland kiranya bisa bicara banyak dengan Cassandra. Kemudian terjadi sesuatu yang menakjubkan.

Terjadi kegaduhan global. Orang di seluruh dunia terlibat. Pada 1960-an, perempuan sedunia menuntut uji nuklir di atmosfer diakhiri karena mereka tak ingin air susu mereka jadi beracun untuk anak. Pada 1980-an, konsumen menuntut perusahaan berhenti

membuat CFC. Kemudian ajaibnya, pemerintah negara-negara mendengar. CFC dilarang di 197 negara. Itu sama dengan jumlah negara di planet ini. Dan karena itu bahaya tersebut sudah bisa kita coret dari daftar hal untuk dikhawatirkan. Lapisan ozon sudah mulai pulih dari kerusakan. Ada naik turun, tapi diharapkan lapisan ozon pulih sempurna pada 2075, sekitar peringatan seratus tahun penemuan Rowland dan Molina.

Apa kiranya yang terjadi jika Rowland dan Molina tidak penasaran dengan stratosfer, atau jika peringatan mereka diabaikan seperti peringatan Cassandra? Perlindungan vital lapisan ozon bakal hilang dalam 40 tahun. Cucu-cucu kita tak bakal bisa membawa cucu-cucu mereka berjemur dalam sinar Matahari. Sebagian besar herbivora, yang makan tumbuhan, bakal musnah. Karnivora bisa makan bangkai herbivora untuk sementara, tapi bakal menyusul punah juga. Kita menghindari satu peluru yang mengancam kehidupan, tapi masih ada peluru-peluru lain.



Terakhir, satu cerita lagi. Ceritanya mengenai orang lain yang memiliki kemampuan melihat masa depan. Kehidupan dan karyanya tetap tak dikenal di luar komunitas sains. Namun Dewa Apollo-pun bakal iri dengan bakat meramalnya. Dia meramalkan masa depan dengan akurasi menakjubkan. Dan kita semua berutang budi kepada dia.

Dia lahir di kawasan perdesaan Jepang bernama Ehime, yang berarti “putri cantik”. Tempat dengan keindahan alami yang murni. Namun dia menghabiskan sebagian besar masa kecilnya di bawah tanah. Perang Dunia II telah memaksa dia dan warga kota kecil itu bersembunyi dalam tempat perlindungan bawah tanah.

Awalnya, Manabe Shukuro ingin menjadi dokter, seperti ayah dan kakeknya. Namun sewaktu remaja, dia tertarik fisika, walau

khawatir tak bisa mengerjakan matematikanya. Nilai-nilainya jelek, sampai dia mulai berkonsentrasi ke persoalan yang paling menarik bagi dia: Mengapa atmosfer dan iklim Bumi sebagaimana adanya?

Manabe tahu bahwa suhu Bumi mengalami naik turun dari musim ke musim, tapi dia bertanya-tanya mengapa suhu rata-rata Bumi tetap sama dari tahun ke tahun. Apa yang menjaga termostat planet tetap di suhu tertentu? Mungkinkah memperhitungkan segala variabel iklim planet—atmosfer, tekanan, tutupan awan, kelembapan, kondisi permukaan, arus laut dan angin—dan menciptakan model iklim untuk planet ini? Yang punya kemampuan prediksi. Ingat, kala itu para ahli klimatologi di Jepang belum punya komputer. Dia melakukan perhitungan rumit dengan tangan.

Pada 1958, Manabe diundang untuk bermigrasi ke Amerika oleh U.S. Weather Service. Lima tahun kemudian, dia diberi akses ke salah satu superkomputer pertama. Komputer itu salah satu yang terhebat pada zamannya, tapi besarnya volume data iklim Bumi yang dimasukkan membuat sistemnya ambruk. Manabe butuh empat tahun lagi untuk menyusun bukti-bukti menjadi satu prediksi berani dan tragis.

Ramalan kadang berupa jeritan hati seorang putri Troia, tapi bisa juga berupa judul kering suatu makalah sains: “Thermal Equilibrium of the Atmosphere With a Given Distribution of Relative Humidity.” Tidak kedengaran seperti “langit runtuh, langit runtuh!” Namun itulah intinya. Manabe dan koleganya, Richard Wetherald, memprediksi bagaimana suhu planet bakal berubah kalau gas rumah kaca yang manusia lepas ke atmosfer bertambah. Para saintis memprakirakan dengan tepat bagaimana bencananya bakal terjadi. Mereka memandang jauh ke depan. Sampai zaman kita sekarang, dan sesudahnya. Beberapa orang masih menganggap uruan sainsnya belum beres, tapi jika memang demikian, bagaimana mungkin Manabe & Wetherald memprediksi dengan tepat kenaikan suhu Bumi selama 50 tahun lebih? Dan jika bukan



kita yang menyebabkan, dari mana lagi semua karbon dioksida itu datang?

Komunitas ahli iklim memprediksi berbagai dampak perubahan iklim. Kota-kota pantai makin sering banjir. Kematian massal terumbu karang karena laut menghangat. Makin kuatnya badai. Gelombang panas mematikan, kekeringan, dan kebakaran lahan dengan kadar yang belum pernah ada. Semuanya sudah terjadi. Para saintis sudah memperingatkan kita.

Perusahaan-perusahaan yang berkepentingan dengan industri bahan bakar fosil dan pemerintahan-pemerintahan yang mereka dukung bertindak seperti perusahaan tembakau. Perusahaan-perusahaan itu mengganggu urusan sainsnya belum beres dan tak bergerak selama bertahun-tahun.

Terakhir kali ada sebanyak itu karbon dioksida di atmosfer Bumi adalah setidaknya 800.000 tahun lalu. Laju perubahan kala itu relatif lambat, jadi sebagian besar spesies punya waktu beradaptasi. Kita sedang mengambil karbon yang terkubur dalam Bumi selama ratusan juta tahun, dan menghamburkannya ke atmosfer dalam hitungan puluhan tahun. Dua saintis bangkit pada 1967 dan memberitahu kita bagaimana Bumi bakal berubah jika *kita* tak berubah. Dan itulah yang terjadi. Sains telah memberi kita bakat melihat bencana masa depan seolah anugerah dewa dalam legenda. Namun seperti dikeluhkan Rowland, *"Apa gunanya mengembangkan sains yang cukup baik untuk membuat prediksi jika pada akhirnya kita hanya mau diam dan menunggunya terwujud?"*

Nasib terumbu karang dan katak pohon boleh jadi tidak menggugah sebagian besar kita. Namun bagaimana dengan masa depan *Anda*, kehidupan *Anda*, kehidupan anak *Anda*?

Seorang penyelam mengamati puing terumbu karang yang mengalami pemutihan. Karang bergantung ke alga mikroskopik yang hidup di dalamnya dan menyediakan makanan serta warna. Di air hangat, atau air yang lebih asam karena emisi karbon dioksida, alga mati, menyisakan karang putih pucat dan membuat terumbu menjadi kuburan.

Bayangkan anak yang hari pertamanya di TK ditunda sampai suhu turun di bawah batas mematikan. Ketika kebakaran terjadi, keluarganya bisa terpaksa mengungsi tanpa membawa apapun dari rumah. Air bisa menjadi setara sampanye ketika dia menikah. Wabah penyakit bisa terjadi ketika suatu virion, megavirus, yang tidur selama 100.000 tahun, bangkit kembali selagi jalad abadi Artika meleleh.

Tidak harus begitu. Belum terlambat. Ada masa depan yang berbeda, dunia lain yang mungkin. Antroposen dapat menjadi zaman kebangkitan manusia, ketika kita menanggapi tantangan dari kemampuan baru kita serta belajar menggunakan sains dan teknologi canggih namun selaras dengan alam. Ada komunitas global berisi orang-orang yang sadar akan bahaya dan berkomitmen menghindarinya. Berkat internet, kita tahu bagaimana cara saling menghubungi.

Ikutlah bersama saya ke masa depan yang masih bisa kita miliki.



DUNIA YANG MUNGKIN

*Peta dunia yang tak mencakup Utopia tak layak dilihat,
karena mengabaikan satu negara yang selalu dituju Umat
Manusia. Dan sesudah tiba di sana, Umat Manusia kembali
mengamati, lalu kalau melihat negara yang lebih baik,
kembali berlayar ke sana.*

—OSCAR WILDE,
“THE SOUL OF MAN UNDER SOCIALISM”

*Suatu buku menjadi kapak untuk memecah laut beku
dalam diri kita.*

—FRANZ KAFKA, SURAT KE OSKAR POLLAK,
27 JANUARI 1904

“Earthrise” yang baru, dibuat untuk ulang tahun ke-45 misi Apollo 8 dengan menggabungkan gambar asli dengan bentang alam Bulan yang jauh lebih tajam dengan komputer, menggunakan data terbaru dari Lunar Reconnaissance Orbiter NASA.





Lapisan es di kutub-kutub planet kita menyusut, dan jalad abadi yang keras seperti batu selama berzaman-zaman berubah cair, tapi laut beku dalam diri kita tampak tak bisa dipecah. Kita sudah mengetahui bahaya yang kita hadirkan terhadap diri sendiri selama berpuluh-puluh tahun tapi kita melanjutkan perjalanan sambil tidur menuju masa depan kelam. Entah bagaimana caranya, kita tak mengindahkan apa itu artinya bagi anak-anak kita dan anak-anaknya anak-anak kita. Hampir semua penggambaran masa depan dunia kita dalam budaya populer adalah visi distopia suatu planet yang terbenam dalam sampah, tanah yang rusak parah. Itu gambaran akurat rasa takut dalam hati kita. Namun jika mimpi itu peta, dapatkah suatu impian besar akan masa depan kita membantu kita mencari jalan keluar dari mimpi buruk?

Di mana dasar saintifik impian itu? Bagaimana mungkin keyakinan akan masa depan manusia bisa melebihi keimanan keagamaan, atau kasus penyangkalan besar-besaran?

Itu suatu pertanyaan yang diajukan putra saya, Samuel Sagan, calon warga masa depan dan salah seorang kolaborator saya di seri televisi pendamping buku ini. Dia mirip ayahnya. Dia lebih suka realitas daripada hiburan. Pertanyaan Sam mengilhami saya untuk merenung. Bisakah ada alasan saintifik dan historis kuat untuk harapan bagi spesies kita? Atau apakah optimisme hanya mekanisme

Turis memenuhi bagian dalam gedung Pohon Kehidupan di New York Harbor, pada 30 April 2039. Dari sana bisa dilihat pemandangan terindah pembukaan World's Fair New York.

pertahanan, bentuk pemikiran muluk yang mestinya ditangkal sains?

Pada 1961, kawan akrab Carl, sesama ahli astronomi, Frank Drake, membuat persamaan untuk menghitung jumlah peradaban cerdas di galaksi:

$$N = R_* \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot L,$$

di mana

N = jumlah peradaban di galaksi kita yang mungkin diajak berkomunikasi,

R_* = rata-rata laju pembentukan bintang di galaksi kita,

f_p = proporsi bintang yang punya planet

n_e = rata-rata jumlah planet yang berpotensi menopang kehidupan per bintang yang punya planet,

f_l = proporsi planet yang berpotensi menopang kehidupan, dan kehidupan pernah benar-benar berkembang di sana,

f_i = proporsi planet berkehidupan yang kehidupannya benar-benar membangun kecerdasan (peradaban),

f_c = proporsi peradaban yang mengembangkan teknologi yang menyebar sinyal keberadaannya yang dapat dideteksi ke antariksa, dan

L = lama waktu peradaban seperti itu menyebar sinyal yang dapat dideteksi ke antariksa.

Frank dan Carl tahu ada banyak bintang di galaksi kita, dan bernalar dengan tepat, lebih daripada tiga dasawarsa sebelum penemuan eksoplanet pertama, bahwa jumlah planet kiranya besar juga. Mereka pikir sebagian kecil bisa menopang kehidupan, dan di sebagian kecil lagi dunia itu kehidupan cerdas bakal berevolusi sampai mengembangkan teknologi pengubah dunia.

Nilai terakhir, L , di persamaan Drake menandakan lama waktu peradaban semacam itu dapat diperkirakan bertahan melalui apa

yang Carl sebut “pendewasaan teknologi” (*technological adolescence*), periode berisiko ketika suatu peradaban muda mengembangkan cara teknis untuk menghancurkan dirinya sendiri, tapi belum meraih kedewasaan dan kebijaksanaan untuk mencegah bencana terjadi. Frank dan Carl tahu mereka memproyeksikan *L* berdasarkan kemungkinan suram peradaban kita sendiri di tengah perlombaan senjata nuklir yang sedang panas-panasnya. Ketika itu Manabe & Wetherald juga sedang membuat model iklim akurat pertama yang mempertimbangkan pelepasan gas rumah kaca berskala besar ke atmosfer.

Jadi mengapa saya pikir kita akan bisa melaluinya? Nah, satu alasannya, tunjukkan kepada saya satu orang yang tak tampak atau merasa putus asa selama setidaknya sebagian masa remaja.

Saya sendiri merasa demikian dan keputusan itu bertahan lama melebihi masa remaja. Saya sembrono dan tak bertanggung-jawab. Saya membuat orangtua saya susah tidur karena tidak menelepon atau datang seperti dijanjikan. Emosi saya tak bisa diprediksi. Kamar saya, dan kemudian apartemen saya, biasanya berantakan. Saya memulai hal-hal yang tak pernah saya selesaikan. Saya sering kehilangan barang-barang saya. Saya mencoba berbagai macam barang memabukkan, membahayakan otak dan nyawa saya. Saya serampangan dengan fakta. Saya mudah ditipu karena belum terbiasa berpikir kritis. Saya egois dan tak dapat dipercaya untuk memenuhi janji atau bekerja keras guna meraih masa depan yang saya inginkan. Masa depan tak nyata bagi saya. Malah, kenyataan tak nyata bagi saya. Saya tak dapat memahaminya sampai saya mulai tumbuh dewasa.

Dan saya belum mulai tumbuh dewasa sampai saya mengenal Carl. Awalnya perubahannya kecil. Kami saling kenal sebagai kolega dan kawan selama beberapa tahun pertama. Dia tak menguliahinya saya atau mengejek saya karena kepercayaan-kepercayaan yang tak saya pertanyakan. Dia mengajukan pertanyaan yang sem-



Dunia yang mungkin dibuat dua orang. Carl Sagan dan Ann Druyan berbagi tawa pada ulangtahun ke-40 Ann.

purna—jenis pertanyaan yang terus menempel di kepala saya dan belakangan bertindak sebagai pelepas pemikiran saya. Dia memberi saya standar bukti baru untuk menilai kepercayaan-kepercayaan yang saya paling sayangi. Kecerewetan yang sudah banyak membantu saya tidak lagi cukup. Carl benar-benar mendengarkan dan dia mengajukan pertanyaan lanjutan.

Ketika kami saling jatuh cinta, rasanya seperti menemukan dunia baru. Dunia yang saya harapkan bisa terwujud tapi belum pernah saya masuki. Di dunia baru itu, realitas melebihi fantasi dalam segala cara. Yang terutama, apa yang benar itu penting. Sebagaimana kita tak dapat berbohong untuk mencapai Bulan atau planet-planet karena tiap langkah dalam ribuan di semua misi harus benar agar berhasil, di dunia baru kami tidak bisa ada kebohongan. Kami sama-sama tahu bahwa kebahagiaan kami bergantung kepada persatuan antara kami dan kebohongan kecil pun kiranya merupakan

sebentuk pemisahan, sekecil apapun. Segala yang kami lakukan bersama menjadi bentuk lain bercinta.

Adakah persamaan untuk penyebaran pengaruh kebaikan dalam suatu hubungan cinta sejati? Carl membuat saya ingin menjadi manusia sebaik-baiknya. Tiap tindakan cinta yang dilakukan salah seorang di antara kami membuat pasangannya ingin melebihi itu. Tulisan saya, yang tadinya sedikit dan menyedihkan, terbebas dari rasa sadar diri saya yang seringkali membatasi. Saya tak lagi ingin membuat orang terkesan. Saya hanya ingin berkomunikasi, berhubungan dengan pembaca. Dan sejak *Cosmos: A Personal Voyage*, karya saya menjadi penawaran cinta harian kepada Carl. Ketika kami menulis bersama, saya biasa mengamati dia membaca hasil harian saya. Dia kadang tertawa, atau membuat gerakan seolah angkat topi, dan hati saya bakal mengangkasa. Saya tahu dia merasakan hal yang sama terhadap kesukaan saya kepada karyanya.

Pada satu malam berbintang, selagi kami berbaring bersama di geladak kapal di Pasifik, kami melihat sepasang lumba-lumba menunggang gelombang yang ditimbulkan lunas kapal. Kami amati mereka selama kira-kira 10 menit, kemudian dalam satu gerakan anggun mereka melepaskan diri dari gelombang itu dan lenyap ke kedalaman. Mereka bergerak selaras seolah berkomunikasi secara misterius. Carl memandang saya dan tersenyum: “Seperti kita, Annie,” katanya.

Kami bersama selama 20 tahun sampai kematiannya membuat saya terasing untuk seterusnya dari dunia yang kami temukan bersama. Saya sampai ingin mati menyusul dia. Tapi anak-anak kami masih kecil-kecil dan sebagai ibu, saya tak punya pilihan selain hidup terus. Jadi saya bawa apa yang saya pelajari bersama Carl dalam diri dan berusaha sebaik-baiknya untuk menjaga warisan Carl tetap hidup. Saya baktikan kembali hidup saya untuk melanjutkan karya yang telah kami kerjakan bersama.



Saya berharap apa yang saya pelajari dari dua dasawarsa di dunia itu menjadi bagian segala yang saya lakukan sekarang, lebih daripada dua dasawarsa kemudian. Sejak Bab 1, buku ini adalah cerita mengenai bagaimana kita, sebagai satu spesies, menciptakan pertanian untuk masa depan yang dahulu hanya berupa khayalan. Bagaimana sisi terburuk kita, seperti dalam kehidupan Asoka, bisa belajar berubah. Bagaimana kegigihan kehidupan memungkinkannya bertahan melalui tantangan besar yang dihadirkan lingkungan. Bagaimana kita bisa menanggung penderitaan berat, seperti Vavilov dan kolega-koleganya, untuk melestarikan masa depan yang bisa dinikmati keturunan kita. Bagaimana kita telah dengan berani menggunakan lensa sains untuk memandang diri sendiri tanpa ragu. Bagaimana sains menyapiah kita dari kebutuhan kekanak-kanakan untuk menjadi pusat alam semesta, memberdayakan kita untuk menerima keadaan sejati di satu titik biru pucat di antara setriliun dunia lain. Bagaimana kita telah mulai menyadari kesadaran bentuk kehidupan lain yang kita eksploitasi dan siksa. Bagaimana kita akhirnya keluar dari karantina kosmik panjang dan menjelajahi kedalaman samudra kosmik. Bagaimana sains mengajak kita hidup bersama misteri alam tanpa melompat ke penjelasan palsu yang nyaman. Bagaimana sains bisa membantu kita meramalkan bahaya yang akan datang ke habitat kita, lama sebelumnya, supaya kita bisa melakukan kerja keras yang akan memungkinkan kita pindah ke tempat lain pada masa depan yang jauh. Bagaimana sains bisa memberi kita kemampuan meramal untuk melindungi umat manusia. Dan akhirnya, bagaimana seorang anak kecil dari latar belakang bersahaja di planet di mana tak ada yang pernah lepas dari gravitasnya bisa bermimpi mengenai penerbangan antar-bintang dan tumbuh menjadi pemimpin misi pertama di planetnya menuju bintang-bintang.



Pohon Kehidupan akbar di New York Harbor. Dibangun dari batu gamping yang dibuat dengan menarik karbon dioksida dari atmosfer, bangunan itu menjadi lambang kemampuan manusia menghadapi tantangan terbesar.

Jadi mohon izinnya untuk optimis dan perkenankan saya menyampaikan impian masa depan.

Bayangkan tahun 2029. Ada seorang anak perempuan. Barangkali umurnya 10 tahun. Dia menghuni masa depan yang masih punya ruang untuk perbaikan. Mata batin saya mengarah ke apartemen tempat tinggalnya. Si anak perempuan sedang bersantai di atas karpet ruang keluarga, pada siang yang panjang. Dia menggambar visinya sendiri mengenai masa depan di sesuatu yang setara dengan buku gambar Carl sewaktu kecil. Kita bisa lihat dari sekelilingnya dan pakaiannya bahwa pada 2029 masih ada anak-anak yang ditinggal bekerja kedua orangtua. Dari bekas karpet di lengan dan sikunya, kita tahu si anak sudah lama menggambar, tapi dia benar-benar keasyikan.

Judul di puncak poster terbaca “BAGAIMANA BUMI MEMBAIK” dan gambarnya juga berupa kumpulan judul berita dan tahun dari masa depan yang dia khayalkan. Judul berita pertama adalah dari tahun 2033, “LUAS HUTAN HUJAN AMAZON BERLIPAT TIGA!”

Tahun dan judul berita dari situs web khayalan lain bertebaran di halaman itu, saling tumpang tindih sehingga beberapa kata tak lengkap.



Satu perayaan di Menara Eiffel pada 2034 menyatakan, “RE-AKTOR FUSI MULAI BEKERJA! SELURUH KOTA PARIS DIBERI TENAGA SESENDOK TEH AIR!”

2035: “KONTAK PERTAMA DENGAN PAUS BIRU! LAGU DITERJEMAHKAN! MEREKA MARAH!!”

2036: Bentang alam beku dengan struktur-struktur futuristik: “BANK BENIH ANTARPLANET DIBUKA DI KUTUB SELATAN BULAN!”

2037: “MUSEUM TRANSPORTASI MENDAPATKAN MESIN PEMBAKARAN DALAM TERAKHIR!”

2049: “TELESKOP KOSMIK MENEMUKAN BENDA BUATAN BERUKURAN AMAT BESAR!!”

2051: “POHON KE-1.000.000 DITANAM DI MARS!”

Semua judul berita itu disusun mengelilingi satu lingkaran besar dengan struktur asing di tengahnya. Struktur itu berdiri tinggi



World's Fair New York 2039 dengan paviliun-paviliun besarnya

di New York Harbor. Itulah Pohon Kehidupan kita, bangunan besar dari kalsium karbonat, dibuat dari bahan yang sama dengan yang digunakan alam membuat cangkang kerang dan mutiara. Namun struktur menakjubkan itu dibangun dari karbon dioksida yang diambil dari atmosfer planet kita dan diubah menjadi batu gamping putih. Segala bentuk kehidupan di planet ini ditampung seolah mendapat tempat di cabang-cabangnya yang luas. Pohon kehidupan besar itu berakar kuat di kedalaman Lembah Paparan Hudson di Samudra Atlantik.

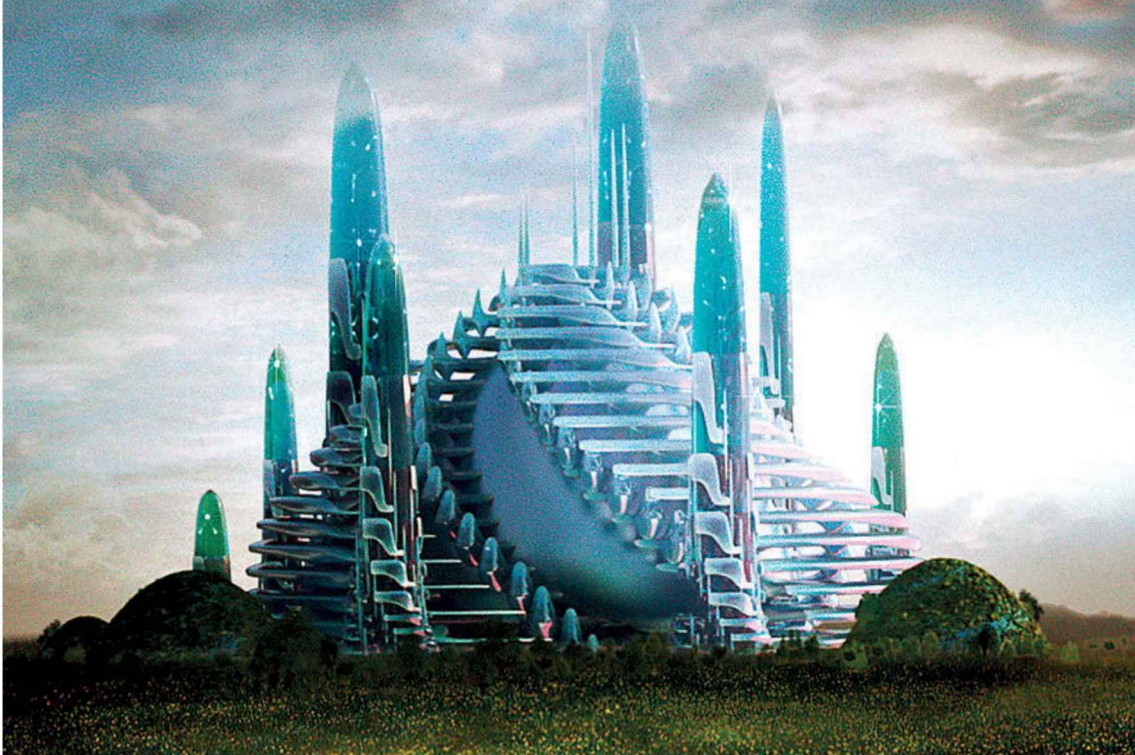
Bangunan besar itu adalah satu di antara banyak yang didirikan di tiap pelabuhan terbesar Bumi. Keajaiban-keajaiban dunia masa depan itu bukan hanya menandakan bahwa spesies kita sudah menemukan cara menggunakan sains dan teknologi canggih untuk menghindari konsekuensi terburuk perubahan iklim, melainkan

juga pengumuman ambisi kita untuk mencapai kebesaran manusia dalam kehidupan selaras dengan sesama penghuni Bumi. Patung Liberty adalah satu langkah ke arah sana, dan selama seabad lebih patung itu menyalakan harapan di dunia.

Air di bawahnya telah berubah juga. Banyak ikan, kuda laut, kepiting, lobster, cacing pipih, belut, cumi-cumi, lumba-lumba, dan anjing laut berenang di sela-sela akar pohon yang menjangkau ke Ngarai Hudson, di mana sekawanan paus bongkok bermain. Kelompok-kelompok pemburu jaring bekas di laut telah menyingkirkan jaring-jaring bekas nelayan yang mematikan banyak sekali spesies langka kehidupan laut. Penggantinya adalah banyak tali vertikal yang penuh kelompok kerang dan tiram. Pertumbuhan akuakultur kerang, yang bergantung kepada air bersih, sangat bermanfaat bagi laut. Kerang bertindak sebagai sistem penyaring air.

Di daratan, di tempat yang sama di mana Carl menemukan kebahagiaan sewaktu berumur lima tahun, diselenggarakan World's Fair New York 2039. Pengunjung berbondong-bondong masuk, terpukau oleh pemandangan lima paviliun besar futuristik mengelilingi kolam luas bening berbentuk elips. Semuanya mengandung semacam estetika biologis—masing-masing merupakan penghormatan bagi alam. Rasanya seolah kita memasuki dunia yang hilang, masa depan optimis yang sempat kita tinggalkan sejak hari-hari ketika manusia terakhir kali berjalan di Bulan.

Persinggahan pertama di wisata kita adalah Pavilun Pencari. Kita masuk melalui bukaan yang tampak seperti mata raksasa membelalak ke serambi yang penuh kawan lama—para pahlawan terbesar dalam sejarah sains yang hidup kembali di dunia maya, masing-masing siap bercerita mengenai bagaimana mereka mengungkapkan rahasia alam. Mereka bukan hanya robot yang kepalanya diisi pesan rekaman. Kita telah menemukan cara untuk mereproduksi jejaring syaraf di otak mereka—gagasan, ingatan, dan hubungan—konektom mereka. Tanpa kenal lelah mereka menjawab semua pertanyaan yang terpikir oleh kita. Tak ada pertanyaan bo-



Istana Kehidupan dari kristal di World's Fair New York 2039,
kuil yang dibangun untuk keragaman kehidupan yang sinambung
secara heroik selama empat miliar tahun.

doh di sana, tak ada yang malu menanyakan apapun yang kita benar-benar ingin ketahui.

Bayangkan suatu dunia di mana cerita alam semesta yang masih berlangsung disampaikan kepada semua anak seperti dongeng-dongeng kita sekarang. Berapa banyak syaraf segar dan waktu berharga yang kita buang-buang ketika kita menyibukkan akalbudi anak-anak kita dengan nonsens selama masa ketika mereka paling mudah menerima?

Berikutnya Paviliun Dimensi Keempat—waktu. Keseluruhan Kalender Kosmik bisa dijelajahi. Di tempat itu siapapun bisa memilih koordinat di ruang dan waktu, dan mengunjungi saat manapun dalam 13,8 miliar tahun sejarah evolusi kosmik. Kita baru mulai melakukan sains secara sistematis empat abad lalu, tapi kita sudah bisa merekonstruksi banyak hal yang terjadi miliaran tahun sebelum kita ada.

Bagian atas ruang interior luas itu berisi benda-benda astronomi dinamis di alam semesta—komet beterbangan, bintang-bintang bergabung menjadi galaksi, dunia-dunia terbentuk dari cakram akresi di sekeliling bintang baru. Seluruh lantai bangunan besar itu adaah Kalender Kosmik, dibagi menjadi bulan dan hari, dengan satu perbedaan mencolok: Semua tanggal dan waktu adalah portal menembus lantai untuk memasuki pengalaman mendalam akan peristiwa-peristiwa evolusi kosmik.

Peristiwa apa dalam sejarah alam semesta yang Anda paling ingin saksikan? Kita dapat menuju waktu ketika bintang-bintang pertama menyala. Atau ke hari terakhir zaman dinosaurus, makhluk-makhluk yang telah menguasai planet ini selama ratusan juta tahun. Atau mengunjungi Hawa mitokondrial, ibu kita semua yang berhubungan dengan garis keturunan semua manusia yang ada sekarang. Atau bagaimana dengan melancong sehari ke Yerikho untuk melihat menara di sana diselesaikan? Pilih saja.

Paviliun berikutnya adalah Istana Kehidupan dari kristal. Menara-menaranya, penuh air laut, mencapai awan. Seluruh strukturnya transparan, tapi selagi kita masuk, kegelapan terjadi. Dan di tengah kegelapan ada sesuatu yang besar dan menakutkan. Tampaknya sesuatu itu adalah sebagian hewan, sebagian keajaiban arsitektur: Mulut Keabadian, gerbang masuk istana tersebut.

Sosoknya begitu asing, begitu mengerikan, tapi kita mengenalinya sebagai *Saccorhytus coronarius*, leluhur bersama tertua kita yang sudah dikenal, yang menghubungkan kita dengan semua hewan lain. Kita bisa menelusuri evolusi DNA kita sendiri sampai mundur 500 juta tahun. Itulah setengah miliar tahun perjuangan kehidupan bertahan menghadapi apapun yang diberikan lingkungan. Menemukan hubungan langsung kita dengan leluhur itu adalah salah satu prestasi besar sains. Bentuk apa yang akan dicapai kejeniusan kehidupan dalam ratusan juta tahun ke depan? *Saccorhytus coronarius* yang asli sebenarnya kecil, hanya satu titik

hitam di mata kita, tapi besar sosoknya dalam cerita pribadi kita. Sejauh yang kita ketahui sekarang, “Sacco” ialah bentuk kehidupan pendiri kingdom hewan. Jadi bagaimana caranya kehidupan, sang pemahat, membuat kita dari *situ*? Evolusi, jika diberi cukup dunia dan waktu, memungkinkan terjadinya ciri-ciri makin kompleks dan tak terduga dari yang sederhana.



“Rahang” bawah Mulut Keabadian pelan-pelan turun, memperlihatkan jalur yang menuju ke dalam Istana Kehidupan, di mana keragaman alam yang menakjubkan ditampilkan. Anggrek dan kupu-kupu dan burung kolibri menghadirkan suasana hidup penuh bahana.

Kehidupan, suatu kesinambungan sepanjang empat miliar tahun, telah bertahan dari setidaknya lima peristiwa kepunahan massal dan pulih ke keadaan lebih kuat dan beragam daripada sebelumnya. Kehidupan menunjukkan bahwa kita bukan sekadar penjumlahan bagian-bagian kita, dan bahkan ketika kita mendapati diri terpojok, kehidupan selalu bisa menemukan jalan ke masa depan.

Masalah-masalah yang tampak tak bisa diselesaikan pun bisa diselesaikan jika kita menerapkan pengetahuan kita dengan bijak ke alam. Dunia dipenuhi 110 juta ranjau darat sisa berbagai konflik yang kini terlupakan. Tiap tahun ranjau-ranjau itu membunuh atau membuat cacat ribuan warga sipil, di antaranya para petani dan anak-anak yang sedang bermain. Jadi apa yang bisa dilakukan? Pikirkan mengenai upaya global yang bakal diperlukan untuk menemukan dan mematikan 110 juta peledak yang terkubur di bawah tanah. Tak ada harapan, kan?

Di Istana Kehidupan ada padang bunga liar. Di antara bunga-bunga itu ada tumbuhan thale-cress (*Arabidopsis thaliana*) dengan

bunga halus putih. Terdapat dua atau tiga tumbuhan berdaun merah cerah di antara tetumbuhan berdaun hijau. Para ahli botani telah melakukan rekayasa biologis untuk menunjukkan keberadaan bahan peledak berbahaya di bawah kaki kita. Mereka merekayasa *thale-cress*, yang akarnya bisa mendeteksi gas nitrogen dioksida yang dikeluarkan ranjau darat dan bom rakitan. Jika tumbuhan itu berdaun merah, hati-hati: ada ranjau di bawahnya. Namun jika daun-daunnya hijau, silakan bermain di dekatnya bersama kawan-kawan. Kita bisa menggunakan pemahaman kita akan alam untuk membereskan jebakannya yang kita pasang untuk diri sendiri.

Karena perang dan gaya hidup, kita telah membuang banyak sampah di dunia ini. Bukan hanya ranjau darat dan bom rakitan, melainkan juga racun dari bahan bakar fosil, sampah peradaban konsumen, pembangkit listrik tenaga nuklir, senjata, dan mainan elektronik yang kita buang-buang, penuh logam berat berbahaya—timbal, kadmium, berilium, dan sampah elektronik lainnya. Saya kadang putus asa ketika mencoba memikirkan besarnya masalah itu. Namun kehidupan dan sains bahkan menyediakan jalan keluar bagi mimpi buruk itu. Namanya bioremediasi.

Pohon poplar secara alami mengubah trikloroetana—atau TCE, pelarut karsinogenik yang biasa menjadi hasil sampingan industri—menjadi ion-ion klorida yang tak berbahaya. Garam sederhana. Ahli mikrobiologi menemukan bahwa dua spesies pohon poplar bisa disilangkan untuk memperkuat kemampuan menetralkan TCE. Penanaman besar-besaran pohon poplar bukan hanya menghilangkan ancaman racun di tanah terhadap manusia dan kehidupan lain, melainkan juga menambah pohon yang mengonsumsi gas rumah kaca terkuat, karbon dioksida, dan mengeluarkan oksigen.

Khamir, yang telah memberi kita roti dan bir, bisa membantu membersihkan dunia, sebagai sarana menetralkan sampah paling berbahaya yang kita hasilkan. Satu jenis khamir, *Rhodotorula taiwanensis*, dan tumbuhan *Deinococcus radiodurans* sangat efektif

melawan radiasi gamma, asam, dan logam berat beracun. Semua racun itu mereka serap agar tak lepas ke pasokan air dan lingkungan. Alam menawari kita kesempatan kedua, cara memulihkan kerusakan yang sudah terjadi.

Namun bagaimana supaya kita tak mengulanginya lagi? Adakah sesuatu di Bumi yang disiapkan manusia untuk melindungi masa depan yang jauh? Kita tak punya satu lembaga yang bahkan mengakui bahaya jangka panjang yang kita timbulkan kepada diri sendiri, apalagi dirancang untuk merencanakan penanganannya. Cakrawala waktu kita berakhir tiga bulan ke depan, kuartal fiskal berikut—atau empat tahun ke depan, pemilu berikut. Namun sains berkata bahwa skala waktu kehidupan adalah dalam hitungan miliaran tahun. Bagaimana cara kita menjaga kesadaran akan kesinambungan kehidupan sejak masa lalu, dan peran pribadi kita sebagai mata rantainya ke masa depan, supaya benar-benar membuat perubahan?

Sekarang sains belum punya cara untuk membuat kita bijaksana dan berpandangan jauh ke depan. Namun sains bisa menciptakan pengingat mengenai betapa panjangnya masa depan.

Di toko oleh-oleh Istana Kehidupan, dijual perhiasan kuantum, arloji, dan liontin kalung yang berisi kisi sinar laser tiga dimensi yang mengurung atom-atom unsur strontium. Atom-atom itu sempurna selaras dengan irama kuantum alam semesta sehingga akan mampu mengukur waktu tanpa kehilangan satu detik pun selama 15 miliar tahun ke depan. Dan 15 miliar tahun hanyalah sebagian kecil dalam selamanya.

Berapa banyak peradaban telah kalah dalam pertempuran yang kita lakukan sekarang? Berapa banyak dunia yang terkubur di bawah permukaan dunia sekarang? Barangkali kita tak akan pernah tahu. Namun di impian saya, ada satu paviliun tempat peradaban-peradaban yang sudah lama mati hidup kembali: Paviliun Dunia Hilang.

Pada abad ke-5 SM, di Yunani, Herodotos, bapak ilmu sejarah, menulis mengenai gaya hidup mewah orang-orang Tartessos di Semenanjung Iberia. Kekayaan mereka berasal dari perak dan emas yang mereka ambil dari dalam tanah. Mereka punya bahasa, budaya, tarian, musik—tapi sedikit sekali yang bertahan dari mereka selain sejumlah benda dengan rancangan mengagumkan. Dunia mereka adalah salah satu dunia yang hilang di planet Bumi. Namun di paviliun, kita bisa berjalan di dunia orang Tartessos sewaktu mereka mengalami puncak peradaban.

Kita bisa bertemu bangsa tanpa nama yang pernah hidup di Nok di tempat yang sekarang Nigeria. Selama 1.500 tahun, para insinyur mereka berada di garis depan teknologi, menemukan cara-cara baru untuk menggarap besi. Seperti orang Tartessos, mereka punya peradaban unik, tapi peninggalan mereka tinggal beberapa patung keramik dengan gaya tak menyerupai yang lain. Di paviliun, cara hidup mereka yang lama ditelan waktu dimunculkan kembali.

Ketika peradaban Lembah Sungai Sindhu mencapai puncaknya pada 2500 SM, ada jejaring besar kota-kota dengan populasi lima juta jiwa. Pada masa ketika bangsa Yunani masih berkelana dalam kelompok-kelompok kecil sebagai pedagang keliling, orang-orang Lembah Sindhu merencanakan dan membangun kota paling terkenal mereka, Mohenjo Daro. Mereka bahkan memasang sistem pipa air ledeng di rumah, sesuatu yang sebagian besar orang belum miliki sampai akhir abad ke-20. Mereka juga menguasai bentuk-bentuk lain rekayasa air—pipa bawah tanah, pengelolaan limbah, dapur dengan keran air. Mereka punya kedokteran gigi, dan ukuran standar sampai jumlah terkecil. Mereka pemahat ahli yang menghadirkan realitas alami ke penggambaran bentuk manusia dalam tiga dimensi.

Penduduk Lembah Sindhu punya tulisan, dan memasang tanda di bangunan, tapi kita belum tahu cara membacanya. Mereka menggunakan dadu untuk bermain dan menghabiskan sore dengan

permainan papan. Ada sesuatu yang aneh. Mereka tak meninggalkan gambar perang di karya seni, juga tidak meninggalkan banyak senjata. Tak ada bukti bahwa kota-kota mereka yang direncanakan cermat pernah dibakar habis oleh musuh yang menyerbu. Kalau dibandingkan dengan masyarakat lain yang sezaman, dan sejarah manusia secara umum, itu amat tak lazim.

Di Paviliun Dunia Hilang saya, para ibu Mohenjo Daro membuka jendela rumah lalu memanggil anak-anak mereka untuk pulang dan makan. Anak-anak berlari pulang selagi Matahari terbenam di salah satu dunia yang hilang. Mereka sama nyata dengan kita. Momen mereka sama nyata dengan momen kita.



Di seberang Paviliun Dunia Hilang, ada paviliun lain, Paviliun Aneka Ragam Dunia, berisi dunia-dunia yang akan datang. Seolah galaksi Bimasakti dibawa turun ke Bumi, suatu struktur besar berbentuk roda yang pelan-pelan berputar, penuh cahaya dan kabut warna-warni yang menggambarkan gas dan debu antarbintang. Di pusatnya ada inti bercahaya terang. Rotasinya lembut, dan di sekelilingnya ada parit. Selagi berputar, lengan-lengan spiralnya bersambungan dengan jembatan-jembatan untuk pejalan kaki di atas parit.

Pada zaman kita sendiri, kita sudah meluncurkan lima kapal ke bintang-bintang. Kapal-kapal itu adalah wahana primitif dan terbelakang, bergerak lambat dan tak sebanding dengan jarak antarbintang mahaluas yang ditempuh. Namun pada masa depan kita akan melakukannya dengan lebih baik. Kita akan menemukan jalan ke bintang-bintang dengan kecepatan jauh lebih tinggi. Kita sudah menemukan dan mulai mempelajari ribuan dunia yang mengelilingi matahari-matahari lain—dari keterkungkungan terpencil kita di Bumi—semuanya dalam 400 tahun saja sejak Galileo pertama

kali mengamati dengan teleskop. Bimasakti punya ratusan miliar bintang, dan mungkin lebih banyak lagi dunia.

Ketika Carl menulis *Kosmos*, dia membayangkan suatu *Ensiklopedia Galaktika*—karya referensi yang mencakup semua dunia di semua bintang. Dia menulis dengan berani pada zaman sebelum ada eksoplanet ditemukan dan lama sebelum internet. Dalam puluhan tahun sesudahnya, kita sudah menemukan ribuan planet yang mengelilingi bintang-bintang lain. Impian *Ensiklopedia Galaktika* makin dekat dengan kenyataan sekarang.

Persepsi dan inferensi kurang jelas kita atas beberapa ribu eksoplanet kelak akan berganti pengetahuan lebih lengkap mengenai sekitar setengah juta dunia. Bayangkan, seperti Carl dulu, suatu pusat data galaktik besar, Perpustakaan Alexandria Bimasakti, cara dunia kecil kita meraih status warga kosmik.

Bayangkan kita melangkah ke dalam salah satu lengan spiral Paviliun Aneka Ragam Dunia yang berputar. Ternyata gelap. Ada cahaya di ujung koridor. Selagi mendekat, kita menyadari bahwa cahaya itu berasal dari bintang, anggota satu sistem biner. Selagi tayangan holografis berputar, dunia pertama tampak. Planet es tanpa tanda-tanda kehidupan atau peradaban. Dunia lain muncul. Ketika melihat sisi gelapnya, kita menyadari ada jejaring cahaya di sana, jelas tanda peradaban cerdas. Dan di depan kita tampil lah entri dunia itu di ensiklopedia, variasi visi Carl di buku *Kosmos* asli. Mereka, yang menyebut diri sendiri “Kami yang Selamat”, hanya sedikit lebih maju daripada kita. Jika kita dapat berkomunikasi dengan mereka, barangkali mereka dapat memberitahu kita bagaimana caranya melalui masa remaja penuh gejolak.

Untuk buku *Kosmos* yang asli, Carl Sagan membuat entri buku khayalan yang paling ingin dia baca, *Ensiklopedia Galaktika*. Isinya ringkasan saintifik mengenai peradaban di berbagai dunia, termasuk dunia kita sendiri. Di sini dikutip dua entri buatan Carl di *Kosmos*, ditambah satu entri baru.

ENSIKLOPEDIA GALAKTIKA

“Kami yang Berkembang Dalam Gelap”

Tipe Peradaban: 1.1 R.

Kode Masyarakat: 2Y6, komunitas bawah tanah antarplanet, filsafat kerja sama emergen

Umur peradaban: $4,4 \times 10^{11}$ detik.

Kontak pertama yang diprakarsai secara lokal: $6,3 \times 10^{10}$ detik lalu.

Kode tersarang pertama diterima: 3,1 $\times 10^{10}$ detik lalu. Peradaban sumber, semburan saluran neutrino berenergi tinggi, polilog Grup Lokal

Biologi: C, H, O, N, Fe, Ge, Si. Litotrof noktosintetik.

Genom: 5×10^{14} (bit semi non-redundan/ rata-rata genom: $\sim 3 \times 10^{17}$).

Probabilitas kelangsungan hidup (per 1000 tahun): 72,1%

“Kami yang Selamat”

Tipe Peradaban: 1.8 L.

Kode Masyarakat: 2A11

Bintang: F0V, spektrum bervariasi, $r = 9,717$ kpc, $\theta = 00^\circ 07' 51''$, $\phi = 210^\circ 20' 37''$.

Planet: keenam, $a = 2,4 \times 10^{13}$ cm, $M = 7 \times 10^{18}$ g, $R = 2,1 \times 10^9$ cm, $p = 2,7 \times 10^6$ detik, $P = 4,5 \times 10^7$ detik.

Koloni ekstraplanet: tidak ada.

Umur planet: $1,14 \times 10^{17}$ detik.

Kontak pertama yang diprakarsai secara lokal: $2,6040 \times 10^8$ detik lalu.

Kode tersarang pertama diterima: $1,9032 \times 10^8$ detik lalu.

Biologi: C, N, O, H, S, Se, Cl, Br, H_2O , S_8 , poliaromatis sulfonil halida. Autotrof fotokemosintetis bergerak dalam atmosfer yang mereduksi lemah. Politaksis, monokromatis. $m \sim 3 \times 10^{12}$ g, $t \sim 5 \times 10^{10}$ detik. Tidak ada protesis genetis.

Genom: $\sim 6 \times 10^7$ (bit non-redundan/ genom: $\sim 2 \times 10^{12}$).

Teknologi: bereksponensial, mendekati limit asimtotik.

Budaya: global, tidak senang hidup berkelompok, polispesifik (2 genus, 41 spesies); syair aritmetika.

Pralahir/pascalahir: 0.52 [30],

Individual/komunal: 0.73 [14],

Seni/teknologi: 0.81 [18].

Probabilitas kelangsungan hidup (per 100 tahun): 80%

“Umat Manusia”

Tipe Peradaban: 1.0 J.

Kode Masyarakat: 4G4

Bintang: G2V, $r = 9,844$ kpc, $\theta = 00^\circ 05' 24''$, $\phi = 206^\circ 28' 49''$.

Planet: ketiga, $a = 1,5 \times 10^{13}$ cm, $M = 6 \times 10^{27}$ g, $R = 6,4 \times 10^8$ cm, $p = 8,6 \times 10^4$ detik, $P = 3,2 \times 10^7$ detik.

Koloni ekstraplanet: tidak ada.

Umur planet: $1,45 \times 10^{17}$ detik.

Kontak pertama yang diprakarsai secara lokal: $1,21 \times 10^9$ detik lalu.

Kode tersarang pertama diterima: penerapan ditunda.

Biologi: C, N, O, S, H_2O , PO_4 , asam deoksiribonukleat. Tidak ada protesis genetis. Heterotrof bergerak, bersimbiosis dengan autotrof fotosintesis. Tinggal di permukaan, monospesifik, menghirup O_2 polikromatis, tetrapirola terkelat-Fe dalam fluida mengalir. Mamalia seksual. $m \sim 7 \times 10^4$ g, $t \sim 2 \times 10^9$ detik.

Genom: 4×10^9 .

Teknologi: bereksponensial/bahan bakar fosil/senjata nuklir/ perang terorganisasi/polusi lingkungan.

Budaya: ~ 200 negara, ~ 6 kekuatan global; homogenitas kebudayaan dan teknologi sedang dituju.

Pralahir/pascalahir: 0.21 [18],

Individual/komunal: 0.31 [17],

Seni/teknologi: 0.14 [11].

Probabilitas kelangsungan hidup (per 100 tahun): 40%

Selagi dunia jaring laba-laba berlalu dari pandangan, kita berjalan terus menyusuri lengan spiral sampai mencapai satu bintang oranye tipe-K dengan beberapa dunia di sekelilingnya. Kita pusatkan perhatian ke yang keempat, dengan atmosfer ungu tua, dan aurora menyala-nyala di atas kutub utara.

Bagaimana dengan peradaban yang lebih canggih daripada peradaban kita? Boleh jadi ada dunia-dunia dengan rekayasa di skala yang jauh lebih besar daripada prestasi-prestasi yang paling kita banggakan. Kita berjalan makin jauh ke dalam aula itu, melewati bintang-bintang dan dunia-dunia dan bulan-bulan lain, sampai ke satu bintang biru-putih tipe-F yang sedikit lebih besar daripada Matahari. Dunia-dunia di sistem itu lewat di depan kita, sampai akhirnya tiba satu dunia dengan massa daratan hijau dan samudra oranye terang di cakrawala. Dunia itu bercincin.

Selagi planet bercincin itu mendekat, kita menyadari bahwa, tak seperti Saturnus, cincinnya berupa struktur solid buatan. Tampaknya bahan cincin adalah platinum, dengan jendela dan pelabuhan. Boleh jadi ada kebudayaan yang membongkar planet lain di sistemnya dan menyusun bahan yang didapat menjadi cincin sekeliling dunia, untuk menambah ruang dan sumber daya. Kita sudah cukup dekat ke permukaan dunia itu sehingga bisa melihat panggung-panggung raksasa mengambang di atas ombak besar oranye.

Masa depan mereka tampak cerah. Kita berjalan terus ke bintang katai merah dengan sedikit planet dan bulan yang mengorbit di dekatnya, semuanya punya titik-titik cahaya dan penuh struktur. Sedikit daratan yang tak dibangun memiliki kawah aneh. Makhluk-makhluk malang di dunia itu hanya punya peluang 1 banding 3 untuk bisa hidup. Sesuatu terjadi di bintang mereka: wahana antarkiksa besar di dekat bintang tampak sedang membangun struktur raksasa. Mungkinkah itu upaya mereka untuk menyelesaikan krisis energi tingkat sistem bintang? Mereka bergantung kepada tenaga surya, tapi bintang mereka hanya katai merah lemah yang tak mampu menyediakan cukup energi untuk peradaban multiplanet.

Barangkali mereka sudah menghabiskan semua bahan bakar. Kita lihat bangunan buatan di sekeliling bintang itu lebih cermat: suatu benda yang tak dikenal, bintang yang sebagian tertutup cangkang buatan. Mereka mesti membangun cangkang untuk mengelilingi bintangnya dan memanen tiap foton cahaya bintang.



Bagaimana kita bakal membingkai entri kita sendiri di *Ensiklopedia Galaktika*? Barangkali sekarang seseorang di suatu tempat di galaksi kita sudah menuliskannya untuk kita—berkas planet yang disusun berdasarkan siaran televisi atau misi survei rahasia. Boleh jadi mereka membuka indeks dunia biru di wilayah Bimasakti kita sampai menemukan entri Bumi, yang mencakup statistik “Probabilitas kelangsungan hidup (per 100 tahun): 40 persen”.

Saya melihat 40 persen itu, yang tentu saja hanya tebakan, dan saya mendengar dadu bergulir di tepi jalan Mohenjo Daro pada senja hari, dengung lebah-lebah yang menari memperdebatkan di mana rumah mereka berikutnya akan dibangun. Saya merasakan laparnya Vavilov dan para koleganya, dan beban segala pemikiran, dari stromatolit sampai Einstein dan kita. Kata-kata yang Einstein pilih untuk membuka World’s Fair 1939 bergema dalam otak saya: “Jika sains, seperti seni, hendak melaksanakan misinya dengan sungguh-sungguh dan utuh, maka pencapaiannya bukan hanya harus dipandang saja, melainkan masuk membawa makna batin ke dalam kesadaran orang.”

Berikut adalah apa yang saya anggap arti *makna batin* menurut Einstein.

Alam semesta kita berawal sekitar 14 miliar tahun lalu ketika zat, energi, waktu, dan ruang muncul.

Kegelapan itu dingin, sedangkan cahaya itu panas, dan persamaan kedua kutub itu membentuk zat sehingga terjadilah struktur.

Dan ada bintang-bintang besar dengan massa ratusan kali Matahari kita. Bintang-bintang itu meledak, mengirim oksigen dan karbon ke dunia-dunia yang akan datang, memberi emas dan perak. Dalam kematian, bintang-bintang itu menjadi kegelapan dan beratnya kegelapan mereka mengikat cahaya. Bintang-bintang baru lahir dari puing kematian bintang lama. Bintang-bintang baru berhimpun dan terjadilah galaksi.

Galaksi-galaksi membentuk bintang. Bintang-bintang membentuk dunia-dunia. Dan di setidaknya satu dunia, ada masa ketika panas menyembur dari inti lelehnya, lalu menghangatkan air. Dan zat yang telah jatuh dari bintang-bintang menjadi hidup, zat bintang menjadi sadar.

Dan kehidupan itu dipahat oleh Bumi serta pergulatannya dengan kehidupan lain.

Dan tumbuhlah satu pohon besar, dengan banyak cabang, lima kali hampir tumbang. Namun tetap saja pohon itu tumbuh dan kita hanya satu cabang kecil, yang tak bisa hidup tanpa pohon.

Pelan-pelan, kita belajar membaca buku alam, mempelajari hukumnya, untuk memelihara pohon itu. Menemukan di mana dan kapan kita berada di samudra besar, agar menjadi cara kosmos mengenal dirinya sendiri dan kembali ke bintang-bintang.

Kita bukan pencari pertama yang berdiri di pantai. Generasi demi generasi leluhur kita di seantero planet ini memberi kita dasar pengetahuan.

Dan generasi demi generasi saintis membangun di atas pencapaian itu dengan menganut lima aturan sederhana: *Uji gagasan dengan percobaan dan pengamatan. Kembangkan gagasan yang lulus ujian. Tolak gagasan yang tak lulus ujian. Ikuti bukti ke manapun mengarah. Dan pertanyakan semuanya, termasuk otoritas ... karena kita tak akan menemukan jalan sampai kebenaran menjadi penting.*

Kesinambungan purba kehidupan ada di tangan Anda.

Untaian embun. Biologi, kimia, dan fisika bekerja sama menciptakan perhiasan alami.



UCAPAN TERIMA KASIH



Ketika Carl Sagan meninggal pada 1996, itu bukan hanya tragedi bagi saya dan keluarga saya, melainkan juga pukulan berat bagi planet kita. Kita kehilangan seorang pemandu dalam sains, pujangga yang dapat berhubungan dengan tiap jenis orang, warga planet bertanggungjawab yang tanpa kenal takut membela masa depan kita, orang yang tak kenal lelah mencari kebenaran. Saya sangat sadar betapa besar peran yang coba saya gantikan. Saya tak berani melakukannya tanpa bantuan banyak orang.

Seperti dulu, buku dan seri televisi *Cosmos* terikat erat sehingga utang budi saya mengarah ke kedua sisi keluarga *Cosmos*.

Saya pertama-tama ingin berterimakasih kepada Steven Soter, yang bersama Carl dan saya menulis seri asli *Cosmos: A Personal Voyage* pada 1980, dan *Nucleus*, satu proyek yang tak pernah diproduksi, dan diadaptasi menjadi Bab 10 buku ini. Saya juga berutang budi kepada dia karena memperbarui pengetahuan saya mengenai letusan Gunung Pelée. Ada gema kolaborasi saya dengan Carl dan Steve di semua *Cosmos* yang dibuat kemudian. Keahlian, keaslian, dan kebaikan mereka bergaung di seantero buku dan seri ini.

Sepanjang karier, saya telah terus-menerus diberkahi mitra kreatif yang brilian dan murah hati. Brannon Braga banyak berkontribusi untuk *Cosmos: A SpaceTime Odyssey*, seri yang saya tulis

bersama Steve. Sekarang, untuk seri televisi *Cosmos* ketiga, saya telah mendapat kebahagiaan besar bisa duduk seruangan dengan Brannon, berpikir dan menulis selama beberapa tahun, lalu menyutradarai dan memproduksi episode-episodenya bersama dia. Saya menikmati masa-masa itu dan berterima kasih kepadanya untuk kesabarannya yang besar dengan saya dan banyak sumbangannya bagi *Cosmos*.

Selama beberapa waktu ruang penulis kami juga dihadiri Andre Bormanis dan Samuel Sagan. Andre, yang juga bertindak sebagai penasihat sains di lokasi, adalah teladan kecermatan dan kemurahan hati. Sam menunjukkan beberapa cerita terbaik di kedua musim, mengilhami kami dengan pengetahuannya mengenai peradaban-peradaban kuno, dan melakukan berbagai peran dalam produksi.

Pada minggu terakhir pengambilan gambar, Sam mengalami pendarahan otak yang nyaris fatal. Saya sangat banyak berutang budi kepada Dr. Nestor Gonzalez serta para dokter dan perawat di Unit Rawat Intensif Neurologi Cedars-Sinai untuk sembuhnya Sam dan tetap bertahannya sifat Sam yang tak tergantikan. Saya berterima kasih khususnya kepada Dr. Ron Benbassat yang mengawasi Sam dan memberi berbagai kebaikan kepada kami selama beberapa minggu Sam dirawat intensif. Jennice Ontiveros dan Sasha Sagan membuat minggu-minggu berat itu terasa bisa ditanggung. Jonathan Noel dan Laurie Robinson yang selalu penuh cinta memungkinkan Sasha hadir bersama kami.

Jika bukan karena Seth McFarlane, kiranya tak bakal ada lagi musim baru *Cosmos* di televisi sesudah yang pertama. Segala *Cosmos* sesudahnya mengalir dari komitmen penuh semangat Seth untuk menghadirkannya bagi generasi baru. Usaha Seth meyakinkan Peter Rice, ketika itu CEO Fox Networks Group, dan visi Peter mengenai apa yang mungkin dilakukan jejaring televisi komersial pada *prime-time*, menghasilkan sarana dan kebebasan untuk mem-

buat *Cosmos: A SpaceTime Odyssey* pada 2014. Saya juga ingin berterimakasih kepada Shannon Ryan, Rob Wade, dan Alex Piper di Fox. Kesediaan National Geographic Channel bergabung dengan Fox membantu membuat musim kedua kami mendapat debut terbesar dalam sejarah televisi global. National Geographic telah terus bersama Fox sebagai mitra terbaik. Atas dukungan National Geographic sepanjang waktu, saya merasa berutang budi kepada Gary Knell, Courteney Monroe, dan Chris Albert. Mereka telah berbuat banyak.

Cosmos: Possible Worlds, seri televisi 13 episode, barangkali adalah karya seribu orang dalam periode lima tahun.

Jason Clark, sesama produser eksekutif, telah menjadi mitra berharga sejak hari-hari pertama dua musim *Cosmos* terbaru sampai selesai dan didistribusikan secara global. Kara Vallow ialah kolaborator kreatif untuk animasi di periode yang sama dan sumber ketenteraman di tengah kegelisahan nasional kami.

Keluarga *Cosmos* yang amat kreatif dan bekerja keras mencakup antara lain Andrew Brandou, Ruth E. Carter, Marjorie Chodorov, Ryan Church, Kimberly Beck Clark, Alexandria Corrigan, Jane Day, Hannah Dorsett, John Duffy, Jack Geist, Lucas Gray, Coby Greenberg, Zack Grobler, Rachel Hargraves-Heald, Mara Herdmann, Julia Hodges, Matthew Keller, Tony Lara, Karl Walter von Linden Laub, Joseph Micucci, Jeff Okun, Scott Pearlman, Nick Sagan, Safa Samiezade'-Yazd, Eric Sears, David Shapiro, Max Votolato, dan Brent Woods.

Yang menjadi inti pemenuhan misi kami adalah kesediaan para saintis terkemuka menerima pertanyaan-pertanyaan dari kami untuk buku dan acara televisi. Kesalahan-kesalahan yang boleh jadi masih tersisa adalah dari saya. Saya berterima kasih kepada Jonathan Lunine, David C. Duncan Professor in the Physical Sciences, direktur Cornell Center for Astrophysics and Planetary Scien-

ce, Cornell University; Michael Allen, profesor emeritus patologi tumbuhan dan profesor biologi, direktur Center for Conservation Biology, University of California, Riverside; Dr. Kenneth Carpenter, saintis proyek Hubble Operations, NASA Goddard Spaceflight Center; David Anderson, Seymour Benzer Professor of Biology, California Institute of Technology; Toby Ault, asisten profesor ilmu bumi dan atmosfer, Cornell University; Peter Bellwood, profesor emeritus, School of Archaeology and Anthropology, Australian National University; Robert Byer, profesor di School of Humanities and Sciences, Department of Applied Physics, salah seorang direktur Stanford Photonics Research Center, Stanford University; Sean Carroll, dosen kosmologi teoretis, teori medan, dan gravitasi, California Institute of Technology; Alexander Hayes, asisten profesor astronomi, Cornell University; Lisa Kaltenegger, profesor muda astronomi, direktur Carl Sagan Institute, Cornell University; Barrett Klein, profesor muda biologi, University of Wisconsin; Peter Klupar, Director of Engineering, Breakthrough Starshot; Abraham (Avi) Loeb, Frank B. Baird, Jr. Professor of Science, kepala Astronomy Department, direktur Institute for Theory and Computation, direktur pendiri Black Hole Initiative (BHI), kepala Breakthrough Starshot Advisory Committee, wakil ketua Board on Physics and Astronomy, National Academies, Harvard University; David A.B. Miller, W.M. Keck Foundation Professor of Electrical Engineering, profesor fisika terapan, Stanford University; Dr. E.C. Krupp, direktur Griffith Observatory; Mason Peck, profesor muda teknik mesin dan dirgantara, Cornell University; Thomas D. Seeley, Horace White Professor in Biology, Cornell University; Pete Worden, direktur eksekutif Breakthrough Starshot, mantan direktur NASA Ames Research Center; dan Stephen Zinder, profesor mikrobiologi, Cornell University.

Saya sangat berterima kasih kepada Dario Robleto, seniman dan sahabat, karena memberitahukan cerita Angelo Mosso, Giovanni

Thron, dan Hans Berger, serta persahabatan yang menyenangkan. Sam Sagan-lah yang punya gagasan untuk menyertakan cerita Asoka. Karya tulis Gita Mehta mengenai kehidupan Asoka membuat saya sadar kembali mengenai kehebatannya. Saya berterima kasih kepada Gita untuk tanggapannya terhadap minat saya menceritakan ulang Asoka.

Saya punya utang istimewa kepada Pam Abbey untuk dua dasawarsa penuh dedikasi dan kerajinan, kepada Vanessa Goodwin untuk bantuan keahliannya dalam mempersiapkan naskah buku ini dan kebaikan dia sepanjang produksi seri, kepada Kathy Cleveland karena menjaga gawang dan persahabatannya, dan kepada Patty Smith atas bantuannya. Kepercayaan saya terhadap mereka telah memungkinkan saya memusatkan perhatian ke karya ini.

Kiranya saya tak menulis buku ini jika tidak mengalami dua pertemuan yang mengilhami, pertama dengan Susan Goldberg, pemimpin redaksi majalah *National Geographic*, kedua dengan Lisa Thomas, penerbit National Geographic Books. Saya ingin berterima kasih kepada mereka berdua atas masukan editorial berguna dan segala dedikasi untuk memastikan buku ini selesai. Bekerja bersama Lisa sejak bab pertama sampai halaman ini sungguh menyenangkan. Saya juga ingin berterima kasih kepada Susan Tyler Hitchcock, editor senior; Hilary Black, deputy editor; Allyson Johnson; manajer proyek editorial senior; Melissa Faris, direktur kreatif; Susan Blair, direktur fotografi; Jill Foley, editor foto; Jennifer Thornton, editor pengelola; dan Judith Klein, editor produksi senior. Naskah ini telah melalui tangan-tangan terbaik, dan saya berterima kasih kepada mereka juga untuk keindahan visual dan perhatian dalam pemilihan gambar-gambar untuk buku ini.

Saya berutang budi kepada dua kawan sepanjang hidup, Jonathan Cott dan Ernie Eban, untuk beberapa kutipan paling provokatif dan cocok di buku ini. Saya juga beruntung mendapat saran David Nochimson dan Joy Fehily yang selalu bijaksana.

Terakhir, saya sampaikan rasa cinta dan kagum kepada Lynda Obst. Kedalaman dan kejenakaan semua percakapan di banyak balkon dengan dia membuat waktu saya di Los Angeles selama pembuatan acara televisi dan penulisan buku ini sungguh menyenangkan.

BACAAN LEBIH LANJUT

BAB 1

- *Catal Huyuk: A Neolithic Town in Anatolia* karya James Mellaart (McGraw-Hill, 1967).
- Çatalhöyük: The Leopard's Tale: Revealing the Mysteries of Turkey's Ancient "Town" karya Ian Hodder (Thames and Hudson, 2011).
- *Inside the Neolithic Mind: Consciousness, Cosmos and the Realm of the Gods* karya David Lewis-Williams & David Pearce (Thames and Hudson, 2005).

BAB 2

- *Ashoka: The Search for India's Lost Emperor* karya Charles Allen (Overlook Press, 2012).
- *Shadows of Forgotten Ancestors: A Search for Who We Are* karya Carl Sagan & Ann Druyan (Random House, 1992; Ballantine Books, 2011).

BAB 3

- *The Vital Question: Energy, Evolution, and the Origins of Complex Life* karya Nick Lane (W. W. Norton, 2015).

BAB 4

- *Lysenko and the Tragedy of Soviet Science* karya Valery N. Soyfer, diterjemahkan oleh Leo Gruliov & Rebecca Gruliov (Rutgers University Press, 1994).
- *The Murder of Nikolai Vavilov: The Story of Stalin's Persecution of One of the Great Scientists of the Twentieth Century* karya Peter Pringle (Simon and Schuster, 2008).
- *The Vavilov Affair* karya Mark Popovsky (Archon Books, 1984).

BAB 5

- *Angelo Mosso's Circulation of Blood in the Human Brain*, diedit Marcus E. Raichle & Gordon M. Shepherd, diterjemahkan oleh Christiane Nockels Fabbri (Oxford University Press, 2014).
- *Broca's Brain: Reflections on the Romance of Science* karya Carl Sagan (Random House, 1979; Ballantine Books, 1986).
- *Fatigue* (1904) karya Angelo Mosso, diterjemahkan oleh Margaret Drummond (Kessinger Publishing, 2008).
- *Fear* karya Angelo Mosso (Forgotten Books, 2015).

BAB 6

- *Solar System Astronomy in America: Communities, Patronage, and Interdisciplinary Science 1920-1960* karya Ronald E. Doel (Cambridge University Press, 1996; 2009).

BAB 7

- *The Dancing Bees: An Account of the Life and Senses of the Honey Bee* karya Karl von Frisch (Harcourt Brace, 1953).
- *Honeybee Democracy* karya Thomas D. Seeley (Princeton University Press, 2010).
- *The Power of Movement in Plants* karya Charles Darwin (CreateSpace Independent Publishing Platform, 2017).

BAB 8

- *The Saturn System Through the Eyes of Cassini* oleh NASA, termasuk Planetary Science Division, Jet Propulsion Laboratory, serta Lunar and Planetary Institute (e-book, <https://www.nasa.gov/ebooks>, 2017).

BAB 9

- *The New Quantum Universe* karya Tony Hey & Patrick Walters (Cambridge University Press, 2003).
- *The Quantum World* karya J.C. Polkinghorne (Longman, 1984; Princeton University Press, 1986).

BAB 10

- *Joseph Rotblat: Visionary for Peace* oleh Reiner Braun, Robert Hinde, David Krieger, Harold Kroto, dan Sally Milne, eds. (Wiley, 2007).
- *The Making of the Atomic Bomb* karya Richard Rhodes (Simon and Schuster, 1987; 2012).

BAB 11

- *First Islanders, Prehistory and Human Migration in Island Southeast Asia* karya Peter Bellwood (Wiley-Blackwell, 2017).
- *Polynesian Navigation and the Discovery of New Zealand* karya Jeff Evans (Libro International, 2014).
- *Polynesian Seafaring and Navigation: Ocean Travel in Anutan Culture and Society* karya Richard Feinberg (Kent State University Press, 1988; 2003).

BAB 12

- *The Sixth Extinction: An Unnatural Extinction* karya Elizabeth Kolbert (Henry Holt, 2014).

BAB 13

- *Cosmos* karya Carl Sagan (Random House, 1980; cetak ulang Ballantine, 2013).
- *The Demon-Haunted World: Science as a Candle in the Dark* karya Carl Sagan bersama Ann Druyan (Random House, 1996; Ballantine Books, 1997).
- *Pale Blue Dot: A Vision of the Human Future in Space* karya Carl Sagan (Random House, 1994; Ballantine Books, 1997).

KREDIT ILUSTRASI

Cover, Courtesy of Cosmos Studios, Inc.; endpapers, Rogelio Bernal Andreo, DeepSkyColors.com; 1, NASA/Ames/SETI Institute/JPL-Caltech; 2-3, Nathan Smith, University of Minnesota/NOAO/AURA/NSF; 6, Howard Lynk—VictorianMicroscopeSlides.com; 8-9, Courtesy of Democritus Properties, LLC; 10, Courtesy of Cosmos Studios, Inc.; 14, Poster by Joseph Binder, photo by Swim Ink 2, LLC/CORBIS/Corbis via Getty Images; 16, Model designed by Norman Bel Geddes for General Motors, photo by Library of Congress/Corbis/VCG via Getty Images; 21, David E. Scherman/The LIFE Picture Collection/Getty Images; 22 (BOTH), NASA; 24, Tony Korody, Courtesy of Druyan-Sagan Associates; 28, NASA/JPL-Caltech/SSI; 30, Babak Tafreshi/National Geographic Image Collection; 34, Frans Lanting/National Geographic Image Collection; 35, Copyright Carnegie Institute, Carnegie Museum of Natural History/Mark A. Klingler; 39, Stephen Alvarez/National Geographic Image Collection, used with permission of Dr. Christopher Henshilwood; 40, Album/Alamy Stock Photo; 43, Vincent J. Musi/National Geographic Image Collection; 44, Courtesy of Cosmos Studios, Inc.; 47 (LE), Ann Ronan Pictures/Print Collector/Getty Images; 47 (RT), Courtesy of Dr. Rob van Gent/Utrecht University; 52, Eric Isselee/Shutterstock; 53, Craig P. Burrows; 55, The Simulating eXtreme Spacetimes (SXS) project (<http://www.black-holes.org>); 56, Illustration courtesy Tatiana Plakhova at www.complexitygraphics.com, created for Stephen Hawking's project in Breakthrough Initiatives (a flight of nano-spacecraft to Alpha Centauri); 60, The doors to the Zoroastrian fire temple, Chak Chak (photo)/Chak Chak, Iran/© Julian Chichester/Bridgeman Images; 62, John Reader/Science Source; 64-5, SATourism/Greatstock/Alamy Stock Photo; 68, Courtesy of Cosmos Studios, Inc.; 71, David Mack/Science Source; 74 (UP LE), The Natural History Museum, London/Science Source; 74 (UP CTR), Lawrence Lawry/Science Source; 74 (UP RT), Francisco Martinez Clavel/Science Source; 75 (UP LE), Francisco Martinez Clavel/Science Source; 75 (UP CTR), Francisco Martinez Clavel/Science Source; 75 (UP RT), The Natural History Museum, London/Science Source; 80, Chronicle/Alamy Stock Photo; 83, Album/Alamy Stock Photo; 84, Asif Ali Khan/EyeEm/Getty Images; 85, The Art Archive/Shutterstock; 86, Insights/UIG via Getty Images; 88, Memory, 1870 (oil on mahogany panel), Vedder, Elihu (1836-1923)/Los Angeles County Museum of Art, CA, USA/Bridgeman Images; 90, NASA/CXC/JPL-Caltech/STScI; 93, Bob Gibbons/Science Source; 97, Danna Delimont/Getty Images; 98 (ALL), John Sibbick/Science Source; 102, Science & Society Picture Library/SSPL/Getty Images; 104, Gary Ombler/Dorling Kindersley/Getty Images; 108, NASA/JPL-Caltech/SETI Institute; 112, Courtesy of Cosmos Studios, Inc.; 114, sbayram/Getty Images; 116, DEA Picture Library/De Agostini/Getty Images; 120, Fine Art Images/Heritage Images/Getty Images; 123, Universal History Archive/Getty Images; 128, Mario Del Curto; 131, From *Where Our Food Comes From* by Gary Paul Nabhan. Copyright © 2009 by the author. Reproduced by permission of Island Press, Washington, DC.; 132, Russia/Soviet Union: "There Is No Room in Our Collective Farm for Priests and Kulaks," Soviet propaganda poster, Nikolai Mikhailov, 1930/Pictures from History/Woodbury & Page/Bridgeman Images; 136, akg-images/Universal Images Group/Sovfoto; 142, Courtesy of Cosmos Studios, Inc.; 144, Pasieka/Science Source; 146, Dan Winters; 151, Marble relief depicting Asclepius or Hippocrates treating ill woman, from Greece/De Agostini Picture Library/G. Dagli Orti/Bridgeman Images; 152, The Print Collector/Alamy Stock Photo; 155, Apic/Getty Images; 159, Photo: Photographic collections, Scientific and Technologic Archives, University of

Torino. Reference: Sandrone, S.; Bacigaluppi, M.; Galloni, M. R.; Cappa, S. F.; Moro, A.; Catani, M.; Filippi, M.; Monti, M. M.; Perani, D.; Martino, G. Weighing brain activity with the balance: Angelo Mosso's original manuscripts come to light. *Brain* 137 (2), 2014: 621-33; 164, Courtesy Ann Druyan; 167, Wild Wonders of Europe/Solvin Zankl/naturepl.com; 168 (LE), David Liittschwager; 168 (RT), Jurgen Freund/NPL/Minden Pictures; 169 (BOTH), Jurgen Freund/NPL/Minden Pictures; 172, Pasiaka/Science Source; 174, NASA, ESA, H. Teplitz and M. Rafelski (IPAC/Caltech), A. Koekemoer (STScI), R. Windhorst (Arizona State University), and Z. Levay (STScI); 176, Babak Tafreshi/National Geographic Image Collection; 179, The Print Collector/Alamy Stock Photo; 180, Carl Iwasaki/The LIFE Images Collection/Getty Images; 183, Courtesy of Cosmos Studios, Inc.; 185, Haitong Yu/Getty Images; 186, David Parker/Science Source; 188, Bettmann/Getty Images; 190, Courtesy of Druyan-Sagan Associates; 195, Sovfoto/UIG via Getty Images; 196, NASA; 198, Babak Tafreshi/National Geographic Image Collection; 200, Imaginechina via AP Images; 203, Emmanuel Lattes/Alamy Stock Photo; 205, Amy Toensing/National Geographic Image Collection; 206, vlapaev/Getty Images; 209 (BOTH), SPL/Science Source; 212, Dirk Wiersma/Science Source; 215, Jack Garofalo/Paris Match via Getty Images; 218, Tim Graham/Robert Harding World Imagery; 222 (LE), Science Source; 222 (RT), The Natural History Museum, London/Science Source; 223 (LE), The Natural History Museum, London/Science Source; 223 (RT), Science Source; 224, Courtesy of Cosmos Studios, Inc.; 226, NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute; 228, Courtesy of Cosmos Studios, Inc.; 231, Courtesy of Cosmos Studios, Inc.; 232, NASA/Science Source; 237, The British Library/Science Source; 243, Album/Alamy Stock Photo; 245, NASA/LARC/Bob Nye/PhotoQuest/Getty Images; 247, NASA/JPL-Caltech/USGS; 248-9, NASA/JPL-Caltech; 252, Eric Heller/Science Source; 254, David Parker/Science Photo Library/Getty Images; 257, Leiden University Libraries, sgn. HUG 10, fol. 76v; 260, Russell Kightley/Science Source; 262, Science & Society Picture Library/Getty Images; 263, Science & Society Picture Library/Getty Images; 267, From *Flatland: A Romance of Many Dimensions* by Edwin Abbott Abbott, 1884. London: Seeley and Co.; 269, David Parker/Science Source; 273, CERN PhotoLab; 274, David Nadlinger, Ion Trap Quantum Computing group, University of Oxford; 277, Universal History Archive/Universal Images Group/Shutterstock; 278, U.S. Army; 280, Henrik Sorensen/Getty Images; 283, Courtesy of Cosmos Studios, Inc.; 286, Science History Images/Alamy Stock Photo; 289, Image copyright © The Metropolitan Museum of Art. Image source: Art Resource, NY; 292, De Agostini/M. Fantin/Getty Images; 293, Universal History Archive/UIG via Getty Images; 295 (UP), © CORBIS/Corbis via Getty Images; 295 (LO), MPI/Getty Images; 299, RBM Vintage Images/Alamy Stock Photo; 304-305, Library of Congress/Corbis/VCG via Getty Images; 306, NASA/CXC/SAO; 308, NASA-JPL/Caltech; 310, Courtesy of Cosmos Studios, Inc.; 313, Courtesy of Cosmos Studios, Inc.; 314, Kees Veenenbos/Science Source; 317, NASA/JPL/USGS; 321, Walter Meayers Edwards/National Geographic Image Collection; 322, Frans Lanting/National Geographic Image Collection; 326, Mark Garlick/Science Source; 328-9, Mikkel Juul Jensen/Science Source; 332, NOAA via AP; 334, Sisse Brimberg/National Geographic Image Collection; 337, Courtesy of Cosmos Studios, Inc.; 340, Colección Banco Santander/HIP/Art Resource, NY; 343, AP Photo/FILE; 346, Rainer von Brandis/Getty Images; 348, Scientific Visualization Studio/NASA; 350, Courtesy of Cosmos Studios, Inc.; 354, Courtesy of Druyan-Sagan Associates; 357, Courtesy of Cosmos Studios, Inc.; 358-9, Courtesy of Cosmos Studios, Inc.; 361, Courtesy of Cosmos Studios, Inc.; 371, Thomas Marent/Minden Pictures/National Geographic Image Collection.

Whirlpool galaxy art used throughout the book courtesy Cosmos Studios, Inc.

TENTANG PENULIS



Ann Druyan dulu ialah direktur kreatif Voyager Interstellar Message Project NASA dan direktur program misi antariksa dengan layar surya pertama yang diluncurkan dengan rudal balistik antarbenua Rusia pada 2005. Bersama mendiang suaminya, Carl Sagan, dia menulis seri TV *Cosmos: A Personal Voyage* yang meraih Emmy Award dan Peabody Award pada 1980-an, dan enam buku laris versi *New York Times*. Druyan juga turut membuat dan memproduksi film Warner Bros. *Contact*, dibintangi Jodie Foster dan disutradarai Bob Zemeckis. Druyan adalah produser eksekutif utama, sutradara, dan salah seorang penulis *Cosmos: A SpaceTime Odyssey*, diproduksi untuk Fox and National Geographic Channel, yang meraih Peabody Award, Producers Guild Award, dan Emmy Award pada 2014. Acara itu, yang mendapat 13 nominasi Emmy, telah ditonton di 181 negara. Dia produser eksekutif, penulis, sutradara, dan kreator *Cosmos: Possible Worlds*, yang pertama kali tayang pada 2020. Asteroid Sagan (2709) dan Druyan (4970) berada dalam orbit abadi berbentuk cincin kawin mengelilingi Matahari.

**KOSMOS ADA DALAM DIRI KITA.
KITA TERBUAT DARI BAHAN BINTANG.
KITA ADALAH CARA ALAM SEMESTA
MENGENAL DIRI SENDIRI.**
—COSMOS: A PERSONAL VOYAGE

Cosmos: Possible Worlds adalah saga lanjutan petualangan besar yang diawali bersama oleh Carl Sagan dan Ann Druyan. *Cosmos: A SpaceTime Odyssey* Druyan yang meraih Emmy Award dan Peabody Award merupakan fenomena global, ditayangkan di 181 negara di seantero planet ini. Kini, dengan *Possible Worlds*, Druyan melanjutkan perjalanan menarik yang akan membawa Anda melintas 14 miliar evolusi kosmik dan berbagai rahasia alam.

Inilah kisah-kisah para penanya tanpa takut yang belum pernah disampaikan, yang pencariannya—bahkan kadang dengan biaya setinggi-tingginya—memberi kita gambaran alam semesta luas yang baru kita mulai kenali. Dalam buku memukau ini, Druyan membayangkan masa depan penuh inspirasi yang kita masih bisa dapatkan di dunia ini—jika kita sadar pada waktunya untuk menggunakan sains dan teknologi canggih dengan kebijaksanaan.

Siap-siap berlayar ke bintang-bintang!

Penerbit
Gramedia Pustaka Utama
Kompas Gramedia Building
Blok I, Lt. 5
Jl. Palmerah Barat 29–37
Jakarta 10270

@bukugpu @bukugpu www.gpu.id

SCIENCE 16+



620220002

9 786020 639222
978-602-06-3923-9

Harga P. Jawa Rp158.000