

# LAPISAN BUMI

KRISTA WEST

Buku ini diterbitkan dengan penuh kesungguhan, bukan kebetulan ada di hadapan Anda. Jika Anda menganggap buku ini mendatangi Anda dengan sendirinya, maka kami persilakan Anda membiarkan buku ini meninggalkan Anda dengan cara yang sama.

# **LAPISAN BUMI**

Krista West

## **Lapisan Bumi**

Copyright © 2009 Krista West

Diterjemahkan dari: *Layers of the Earth*

karangan Krista West

Chelsea House

Penerjemah : Didieu Drogboy

Penyunting : Gorev Leben

Penyerasi : Raie Arches

Penata sampul : Lari Masamuda

Karya ini diterbitkan oleh:

### **Sainstory**

Email : jsf.sainstory@gmail.com

Blog : sainstory.wordpress.com

Refray Library

### **Lapisan Bumi**

ID: Sainstory, Desember 2016

96 hlm; 15 x 22 cm

Penerjemahan : Januari-Maret 2012

Penyuntingan : Januari-Maret 2012

Publikasi : April 2012

Perbaikan : Desember 2016

Semua karya tercatat. Tak satupun bagian dari karya ini tertulis dengan sendirinya. Dilarang mempertanyakan maupun mempersoalkan seluruh atau sebagiannya, *apakah karya ini muncul dengan sendirinya secara kebetulan*, dalam bentuk dan cara apapun tanpa yakin ditulis oleh penulis.

Buku ini dipilih dengan maksud dan tujuan tertentu. Segala yang terjadi pada pemikiran dan kebijakan Anda akibat membaca buku ini, sepenuhnya bukan merupakan tanggungjawab kami.

Tidak termasuk dalam maksud dan tujuan tertentu penerbitan buku ini adalah membuat Anda melalaikan kewajiban kepada Allah.

Wassalam,  
**Sainstory**

***Catatan:** penerbitan karya terjemahan ini bukan untuk mengambil keuntungan.  
Mohon perhatikan dan hormati.*



# AYAH... KAKAK... MENGAPA MEROKOK?

Tembakau membunuh sekitar 6 juta orang setiap tahun, dimana lebih dari 5 juta orang yang meninggal merupakan perokok aktif, dan lebih dari 600.000 orang meninggal akibat menghirup asap rokok di sekitarnya. Hampir 80% dari 1 miliar jumlah perokok dunia hidup di negara-negara berpendapatan rendah dan menengah.

Sumber: WHO, Juli 2015

Tergantung pembatasan, Bumi punya lima lapisan:  
kerak, mantel atas, mantel bawah, inti luar, dan inti dalam.

# DAFTAR ISI

1. Bumi Dinamis .....	9
2. Kerak .....	20
3. Mantel Atas .....	30
4. Mantel Bawah .....	44
5. Inti Luar .....	59
6. Inti Dalam .....	68
7. Mempelajari Bumi .....	76
Daftar Istilah .....	85
Bibliografi .....	89
Bacaan Lanjutan .....	93
Kredit Foto .....	95
Tentang Penulis .....	96

# 1

## BUMI DINAMIS

**P**ada suatu pagi hening di bulan Januari 2006, gunung berapi raksasa di sebuah pulau sederhana tak berpenghuni di Alaska bangun dari tidur 20-tahunnya. Dan ia bangun dengan sebuah letusan.

Sekitar pukul 4.44, gunung berapi yang dikenal sebagai Gunung St. Augustine itu meletus, memuntahkan awan uap panas dan abu sejauh 45.000 kaki (13.716 meter) ke udara. Pilot pesawat yang sedang terbang di kawasan itu segera melaporkan letusan tersebut, dan Federal Aviation Administration melarang sementara penerbangan dalam radius 5 mil (8 kilometer) dari gunung



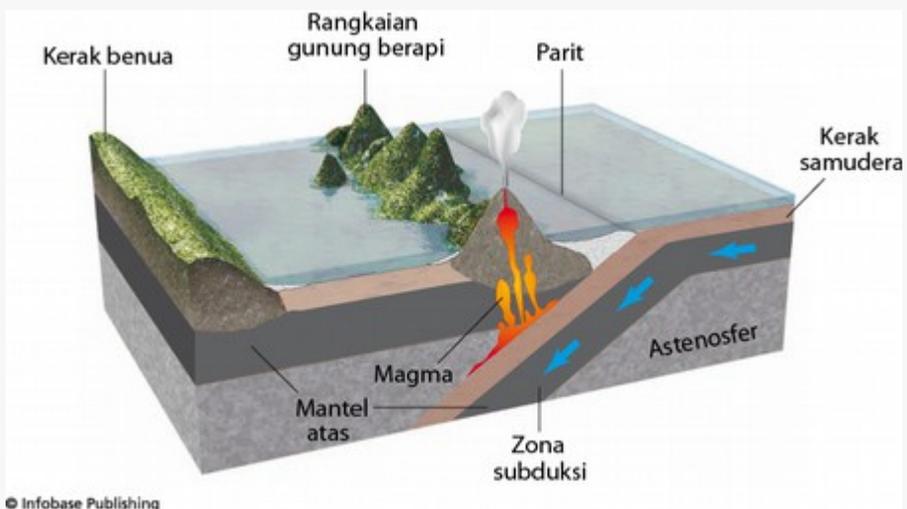
Zona subduksi gunung berapi St. Augustine di Alaska bangun dari tidur 20 tahunnya pada 2006.

yang keroncongan itu. Pada waktu yang sama, United States Geological Survey menggolongkan Augustine sebagai gunung berapi berlevel siaga merah, level kekhawatiran tertinggi. Semua orang mulai memperhatikan Augustine.

Gunung berapi itu terus meletus selama sehari-hari. Akhirnya, ia

memuntahkan awan uap panas ke tenggara, ke atas kawasan sepanjang 45 mil (75 kilometer). Ajaibnya, tak ada korban luka. Tak ada yang tinggal di pulau terpencil di Teluk Cook Alaska; awan uap panas tak pernah mencapai masyarakat yang tinggal di kota Anchorage yang berada tak jauh; ia juga tidak mengganggu mesin-mesin pesawat terbang yang melintas yang tak menaruh curiga. Kebanyakan orang bahkan belum pernah mendengar tentang gunung berapi Augustine. Letusan Augustine, bagaimanapun, adalah sebuah tanda bahwa dinamika Bumi masih aktif.

Gunung berapi St. Augustine, dinamai oleh penjelajah Captain James Cook pada tahun 1778, adalah gunung berapi **zona subduksi** klasik. Zona subduksi biasanya terletak di dasar laut; itu adalah area di mana sepotong permukaan Bumi bergelincir ke bawah potongan lain menuju interior planet ini. Ketika



Subduksi terjadi ketika potongan permukaan Bumi bergelincir ke bawah potongan lain menuju interior Bumi. Ini adalah salah satu dari banyak proses yang membantu membentuk lapisan dalam dan luar planet kita.

bergelincir ke bawah, potongan itu menyerap air laut. Begitu potongan tanah berair ini tenggelam di bawah permukaan Bumi, air bersentuhan dengan batu sekitar, menyebabkannya luluh. Alhasil, batu sekitar di kedalaman itu menjadi

lebih ringan dari biasa.

Kantong batu ringan ini naik kembali ke permukaan Bumi seperti es batu yang mengambang di dalam segelas air. Dalam perjalanannya menuju permukaan, ia meleburkan bebatuan sekitar dan membentuk gelembung batu cair bernama **magma**. Magma menyediakan lava yang membantu menciptakan gunung berapi baru. Dengan letusan lava, uap panas, dan debu secara berulang di permukaan Bumi, terlahirlah gunung berapi subduksi baru.

Subduksi adalah salah satu dari banyak proses Bumi yang telah membantu membentuk lapisan luar dan dalam planet ini sepanjang waktu. Proses-proses ini mungkin telah melambat sejak planet ini pertama kali terbentuk, tapi mereka belum berhenti. Para ahli bumi bekerja untuk memahami bagaimana permukaan planet ini berubah bentuk. Pekerjaan mereka tidak selalu mudah, dan masih banyak yang harus dipelajari.

## **MEMPELAJARI LAPISAN BUMI**

Semua lapisan Bumi punya pengaruh pada kehidupan manusia. Beberapa dari pengaruh itu sangat kentara, seperti letusan gunung berapi atau **gempa** yang mengancam kehidupan. Pengaruh lainnya tidak begitu kentara, misalnya medan magnet yang melindungi Bumi dari energi berbahaya di angkasa. Kentara atau tidak, kehidupan manusia secara langsung dipengaruhi oleh proses-proses yang berlangsung di bagian dalam Bumi.

Studi lapisan Bumi pada akhirnya membantu manusia untuk lebih memahami proses-proses planet ini, termasuk yang berlangsung di lapisan dalamnya. Umum dikenal sebagai **ilmu Bumi**, bidang ini mencakup banyak bidang riset ilmiah yang berbeda-beda. Contoh, seorang geolog yang mempelajari bebatuan di sebuah gunung adalah salah satu jenis ahli bumi; jenis lain adalah seismolog yang mencatat gelombang-gelombang energi yang berjalan di dalam Bumi setelah gempa.

## Lapisan Bumi

Tergantung pembatasan, Bumi punya lima lapisan: kerak, mantel atas, mantel bawah, inti luar, dan inti dalam. Namun, tak ada yang betul-betul pernah melihat lapisan dalam planet ini. Segala sesuatu yang kita ketahui tentang interior Bumi disimpulkan oleh para ilmuwan dengan mengumpulkan informasi di permukaan Bumi.

Berkat riset ilmiah ini, sekarang manusia mengetahui komposisi dasar dan ukuran umum masing-masing lapisan Bumi. Beberapa dari mereka padat seperti es batu, sementara yang lainnya setengah cair seperti es kocok. Setiap lapisan itu aktif dan terus berubah.

Pergerakan batu dan panas di dalam setiap lapisan menimbulkan proses Bumi yang berbeda-beda. Proses-proses ini membantu mem-bentuk planet yang kita kenal, seperti diindikasikan dalam tabel berikut:

<b>Lapisan Bumi</b>				
	<b>Komposisi</b>	<b>Perkiraan Presentase</b>	<b>Ketebalan</b>	<b>Pergerakan Proses</b>
Kerak	Basal dan granit	0,5%	3-43 mil (5-70 km)	Gempa
Mantel atas	Peridotit	13%	217 mil (350 km)	Tektonika lempeng
Mantel bawah	Silika, sejumlah besi	55%	1.553 mil (2.500 km)	Konveksi
Inti luar	Besi cair	30%	1.367 mil (2.200 km)	Medan magnet
Inti dalam	Besi padat	1,5%	746 mil (1.200 km)	Penghasilan panas

Namun, meski ilmu Bumi punya banyak bentuk, sebenarnya hanya ada dua cara untuk mempelajari Bumi: observasi langsung atau tak langsung. Karena Bumi tak dapat dengan mudah dilukiskan ulang di laboratorium, para ilmuwan harus melihat dunia sungguhan baik secara langsung (dengan mata mereka sendiri) ataupun tak langsung (melalui mata instrumen ilmiah).

## Sains Langsung

**Sains langsung** menggunakan contoh konkrit riil yang dapat diobservasi, diukur, dan dipelajari dengan mata manusia. Membedah seekor katak untuk mempelajari biologinya adalah sebetulnya sains langsung. Begitu pula dengan pengukuran kecepatan sebuah bola sewaktu jatuh menembus ruang. Dalam ilmu Bumi, geolog sering menggunakan sains langsung untuk memahami sejarah planet tersebut.

Geolog telah menetapkan umur permukaan Bumi, misalnya, dengan menggunakan radioisotop. **Radioisotop** ialah bentuk radioaktif sebuah **unsur**; dengan kata lain, atom-atom unsur tersebut secara perlahan kehilangan partikel—sebuah proses yang disebut pembusukan—sehingga berubah menjadi unsur yang sama sekali berbeda. Berbagai tipe unsur radioaktif membusuk pada laju yang bisa diprediksi.

Dengan langsung mengukur berapa banyak unsur tertentu yang telah membusuk di dalam bebatuan di permukaan Bumi, ilmuwan dapat menentukan umur batu tersebut. Ambil dua batu yang sama tapi berumur berbeda. Batu yang hanya mengandung setengah jumlah unsur semula adalah dua kali lebih tua dari batu berunsur utuh. Dengan mengukur pembusukan unsur-unsur, ilmuwan dapat menentukan umur bebatuan Bumi.

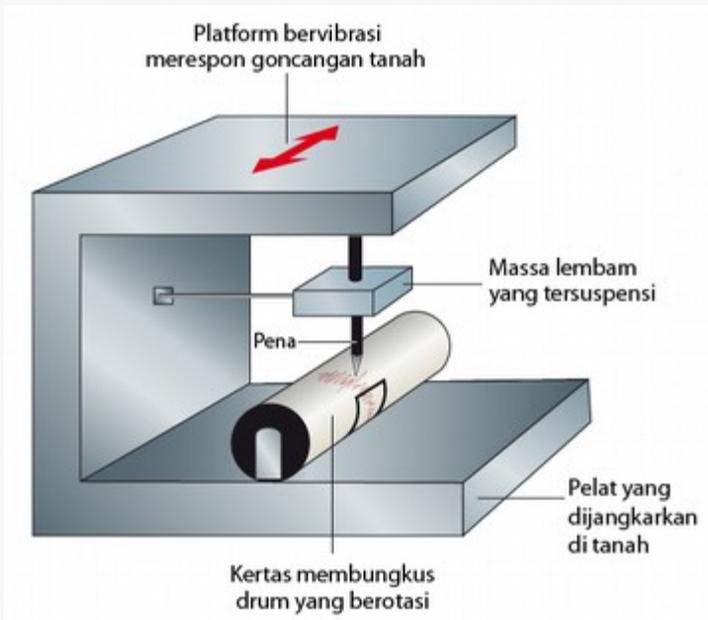
Metode sains langsung ini juga disebut penanggalan radioaktif atau penanggalan radiometrik, dan merupakan alat penting dalam bidang ilmu Bumi.

## Sains Tak Langsung

**Sains tak langsung** menggunakan alat dan instrumen untuk melihat dan

mendengar tanpa mengobservasi sesuatu secara langsung. Salah satu contoh sains tak langsung adalah penggunaan stetoskop oleh dokter untuk mendengarkan jantung. Jantung jarang dilihat secara langsung.

Banyak yang diketahui ilmuwan tentang lapisan dalam Bumi berasal dari sains tak langsung. **Seismologi**, contohnya, adalah studi gelombang energi yang berjalan di dalam Bumi, sebuah bidang yang memainkan peran penting dalam ilmu Bumi. Para seismolog menggunakan alat-alat seperti seismograf, yang mengukur gelombang ini, untuk mengetahui berbagai peristiwa pembentukan planet. Dengan mempelajari gelombang energi alami dan buatan manusia yang menembus lapisan Bumi, seismolog dapat mengetahui banyak tentang proses yang berlangsung di bagian dalam planet ini.



Seismograf, sepu tu seismometer modern, dahulu digunakan untuk mengukur gelombang energi yang berjalan di dalam Bumi.

## **KETIKA SEMUANYA BERMULA**

Sekitar 5 miliar tahun lampau, Matahari kita berkondensasi dari sebuah awan gas hidrogen dan debu. Berotasi di sekeliling bintang yang baru terbentuk tersebut adalah sebuah cakram material yang kaya unsur. Selama periode kira-kira 500 juta tahun, material di cakram tersebut menyebar dan mulai menggumpal membentuk planet-planet. Planet yang terbentuk dari unsur-unsur berat menggugus dekat Matahari, sedangkan planet yang terbentuk dari unsur-unsur ringan pergi jauh ke ruang angkasa. Selama masa ini, Bumi terbentuk menjadi salah satu dari empat planet lingkaran dalam yang berat.

Mulanya Bumi tak lebih dari sebuah bola batu raksasa yang panas, cair, dan kacau—tidak tersortir dan tidak teratur. Bumi muda ini tidak mempunyai udara yang bisa dihirup, tak ada kehidupan, tak ada lautan, dan tak ada satupun pemandangan familiar seperti yang kita lihat hari ini. Tapi seiring waktu berlalu, Bumi berubah.

Di bagian luar planet tersebut, atmosfer terbentuk dan lautan berkondensasi. Di bagian dalam planet, bebatuan mulai mendingin dan mengendap menjadi banyak lapisan teratur. Beberapa bebatuan cair mulai memadat. Yang lainnya secara alami mengelompok dengan bebatuan sejenis. Bebatuan paling padat dan berat terbenam ke pusat planet sedangkan bebatuan cair, lebih ringan, dan kurang padat mengapung ke permukaan. Setelah ratusan juta tahun, planet mulai mengeras dan berbentuk, sambil tersusun menjadi tiga lapisan utama: inti, mantel, dan kerak. Lapisan Bumi dapat dibayangkan sebagai telur yang direbus sampai keras. Lapisan familiar pada telur rebus adalah cangkang, bagian putih kenyal, dan kuning telur yang keras. Cangkang itu tipis, rapuh, dan mudah retak; bagian putih tebal, empuk, dan kenyal; dan kuning telur adalah bola padat dan rapat. Lapisan Bumi tidak berbeda.

## Apakah Bumi Sendirian

Bukti eksistensi planet tipe Bumi di luar angkasa mungkin bukan berbentuk alien hijau kecil, melainkan ditemukan pada bebatuan yang dikenal sebagai meteorit yang jatuh ke permukaan planet kita. Meteorit merupakan bukti adanya planet berbatu lain yang tidak mampu bertahan hidup seperti Bumi.

Secara umum, meteorit terdiri dari 3 bentuk: batu, besi, dan campuran batu-besi. Meteorit batu sering menyerupai bebatuan yang ditemukan di Bumi. Meteorit besi terbuat utamanya dari besi yang lambat-laun mendingin, seperti dijumpai di inti sebuah planet atau asteroid besar. Tipe meteorit ketiga, dikenal sebagai “besi berbatu”, memiliki bebatuan mirip Bumi dan besi yang perlahan mendingin. Meteorit langka ini tampaknya berasal dari perbatasan antara inti besi sebuah planet dan lapisan batu luarnya.

Bahan-bahan penyusun meteorit ini menyediakan petunjuk penting yang mengarah pada eksistensi planet dengan lapisan mirip Bumi, karena bahan-bahan ini tidak mungkin terbentuk sendiri di angkasa. Satu-satunya cara meteorit semacam itu bisa terbentuk, kata para ilmuwan, adalah di planet mirip Bumi. Bukti mengindikasikan bahwa planet kecil berbatu mungkin telah terbentuk di tempat lain dan kemudian hancur, menyebarkan potongan batu mirip Bumi ke angkasa. Ketika bebatuan ini jatuh ke Bumi, mereka menjadi meteorit.

Bumi, sepertinya, bukan satu-satunya planet berlapisan berbatu yang tercipta di tata surya kita. Tapi mungkin merupakan satu-satunya yang bertahan.

## Inti

Jika Bumi seperti telur rebus raksasa, maka inti Bumi adalah seperti kuning telur. Ketika planet ini mendingin, besi berat yang terkandung dalam campuran batu cair mulai memisah untuk berkumpul sebagai inti di pusat planet.

Menurut beberapa ahli bumi, pembentukan inti terjadi di awal sejarah Bumi, barangkali dalam ratusan juta tahun pertama setelah planet terbentuk. Selama

periode ini, inti dalam padat dan inti luar setengah cair memperoleh bentuk. Sebagian besar ilmuwan percaya bahwa inti dalam ini masih terpanaskan oleh kehangan yang tersisa dari tubrukan dan akresi banyak asteroid dan meteor (disebut **planetesimal**) yang dahulu membentuk planet.

Kini ilmuwan mengestimasi bahwa inti dalam berbesi padat adalah setebal 746 mil (1.200 km), hampir sama dengan ukuran bulan. Inti luar berbesi cair adalah setebal kira-kira 1.367 mil (2.200 km). Gabungan inti dalam dan luar menyusun sekitar 30% volume Bumi.

## **Mantel**

Menyamakan Bumi dengan telur rebus raksasa mengandung arti bahwa mantelnya seperti bagian putih kenyal yang tebal pada telur. Ketika planet mendingin dan besi berat jatuh ke pusat, bebatuan **silikat** ringan mengapung di mantel di atasnya. Silikat mencakup semua jenis bebatuan, biasanya mengandung unsur silikon dan oksigen. Mantel Bumi diyakini terbuat utamanya dari bebatuan silikat.

Bebatuan di mantel terlihat lebih seperti bebatuan yang biasa ditemukan permukaan Bumi. Namun, bebatuan ini tetap hangat oleh pembusukan radioaktif dan oleh panas dari inti. Karena mereka juga mengalami tekanan dari kerak di atas, mereka cenderung setengah cair, atau kental. Mantel, seperti inti, dianggap terbentuk di awal sejarah Bumi.

Kini ilmuwan mengestimasi bahwa mantel memiliki ketebalan sekitar 1.800 mil (2.900 km)—menyusun sekitar 70% volume Bumi. Banyak ahli bumi membagi mantel menjadi mantel atas dan bawah berdasarkan atribut dan perilaku berbagai bebatuan.

## **Kerak**

Jika Bumi adalah telur rebus raksasa, maka kerak Bumi adalah seperti cangkang telur yang rapuh dan tipis. Berbeda dari inti dan mantel, kerak Bumi tidak terbentuk dari unsur berat dan ringan yang memisahkan diri di awal sejarah

Bumi. Sebaliknya, kerak dibentuk, dihancurkan, dan dibentuk kembali secara terus-menerus oleh proses yang terjadi di dalam mantel.

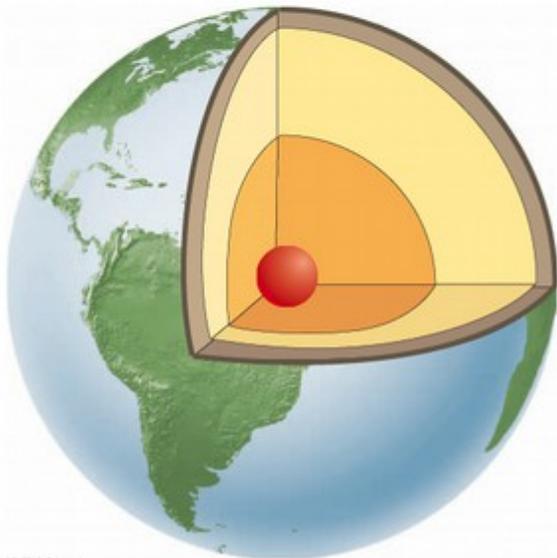
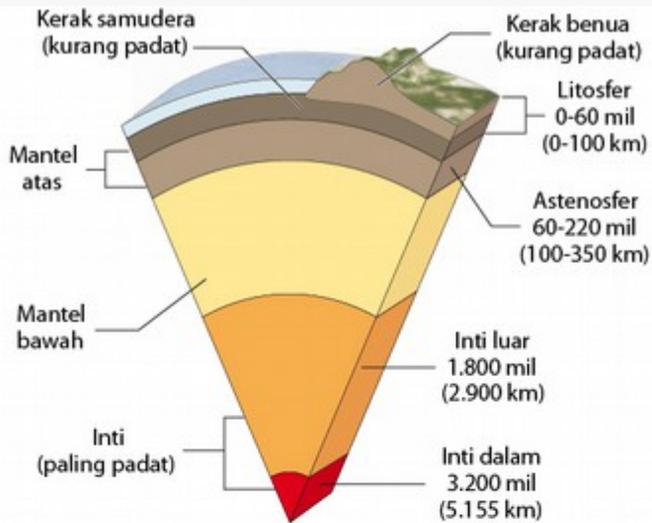
Bebatuan di kerak Bumi utamanya adalah basal dan granit. **Basal** ialah batu berat, bertekstur halus, berwarna hitam atau abu-abu. **Granit** ialah batu yang tidak begitu berat, berwarna pink, abu-abu, atau hitam. Kerak mengandung banyak unsur lain meliputi sodium, aluminium, potasium, dan besi.

Hari ini, ilmuwan mengestimasi bahwa kerak Bumi rata-rata hanya sedalam 22 mil (35 km) Pada titik tertebalnya, kerak memiliki kedalaman tak lebih dari 50 mil (70 km).



Jika membandingkan Bumi dengan telur, inti Bumi adalah kuning telur. Bumi tersusun dari lapisan-lapisan berketebalan berbeda.

Dengan pertama-tama memahami bagaimana Bumi terbentuk, lalu mempelajari proses-proses yang terus-menerus membentuk lapisan Bumi, ilmuwan menemukan semakin banyak hal mengenai planet ini. Dan masih ada banyak yang harus ditemukan. Tak ada, misalnya, yang tahu persis kapan sebuah gunung berapi akan meletus; seberapa keras sebuah gempa bumi akan bergoncang; atau mengapa kutub-kutub magnet planet ini berputar. Bagi ahli bumi, masih banyak misteri yang harus dipecahkan.



© Infobase Publishing

## 2 KERAK

**K**erak planet Bumi adalah, sebagaimana digambarkan dalam Bab 1, seperti cangkang telur rebus: amat tipis dan amat keras dibanding lapisan-lapisan dalam. Dan, seperti cangkang telur, kerak cukup mudah retak.

Ketika kerak Bumi retak, gempa terjadi. Seiring waktu, gempa-gempa ini telah membantu membentuk kerak planet ini. Mereka membantu membangun gunung, membentuk samudera, dan memahat semua daratan di antaranya. Gempa terjadi sepanjang waktu, di seluruh wilayah Bumi, bisa dilihat ataupun tidak bisa dilihat oleh manusia. Tapi gempa bukan peristiwa acak. Mereka terjadi karena suatu alasan.

Gempa adalah hasil akhir dari gaya-gaya dan proses-proses rumit yang berlangsung di dalam kerak. Di permukaan, kerak mungkin tampak lumayan stabil dan tenang sepanjang waktu. Sebuah gunung, contohnya, biasanya tidak banyak bergerak. Tapi di dalam kerak, bagian besar batu bergerak dan bergeser secara terus-menerus. Nyatanya, seluruh kerak terus berubah dan bergerak.

### **DASAR-DASAR TENTANG KERAK**

Untuk memahami bagaimana proses gempa membentuk kerak, pertama-tama perlu memahami sedikit tentang penyusun kerak.

#### **Ketebalan**

Kerak Bumi adalah lapisan batu yang relatif tipis yang merupakan bagian dari **litosfer** Bumi. Ketebalannya sedikit bervariasi tergantung pada lokasinya di permukaan planet. Kerak di bawah lautan berukuran tipis, dengan tebal antara 3 sampai 6 mil (5 sampai 10 km). Kerak di bawah daratan, khususnya di bawah gunung, jauh lebih tebal, antara 12 sampai 50 mil (20 sampai 70 km).

Di titik tertebal, sebuah mobil yang melaju cepat menuju pusat Bumi akan tiba di dasar kerak dalam waktu sekitar sejam. Perjalanan yang cepat.

Melaju dengan kecepatan yang sama menembus semua lapisan Bumi menuju pusat planet akan membutuhkan waktu lebih dari 76 jam. Perjalanan satu jam menembus kerak mengindikasikan bahwa kerak sangatlah tipis dibanding area yang ditempuh dalam perjalanan 76 jam menuju pusat planet.

## Komposisi

Bumi memiliki dua tipe kerak: kerak samudera dan kerak benua. **Kerak samudera**, lapisan yang ditemukan di bawah samudera, terbuat dari bebatuan yang disebut basal. Bebatuan berat, padat, bertekstur halus, dan berwarna hitam atau abu-abu ini terperas dari gunung berapi bawah laut. Meski gunung-gunung berapi ini tidak mudah terlihat, dasar laut dipenuhi oleh mereka.

**Kerak benua** adalah lapisan kerak yang menyusun daratan kering dan terbuat utamanya dari bebatuan yang disebut granit. Granit ialah bebatuan hitam, abu-abu, atau pink yang telah mencair dan memadat di permukaan Bumi seiring waktu. Dibandingkan dengan basal, granit sangat ringan dan longgar.

## Umur

Kerak samudera jauh lebih muda daripada kerak benua karena kerak samudera terus-menerus terbentuk dan hancur selagi gunung berapi bawah laut meletus sehingga menghasilkan basal samudera baru dan menambahkan bebatuan baru pada kerak samudera. Selama proses ini, area-area tertentu di dasar samudera, disebut zona subduksi, menarik kerak samudera yang berat dan tua kembali ke interior Bumi, lalu menghancurkannya.

Laju proses pembentukan dan penghancuran kerak samudera tanpa henti ini mengandung arti bahwa bebatuan ini tidak tua—tak ada basal lautan yang berumur lebih dari 100 juta tahun. Meski terdengar panjang menurut sejarah manusia, sebagian besar kerak lautan terbentuk pada masa 2% terakhir sejarah Bumi. Artinya seandainya Bumi baru berumur 5 tahun, umur basal-basal hanya beberapa jam saja.

## **Pelapukan Membentuk Ulang New Hampshire**

Pada Mei 2003, simbol negara bagian New Hampshire—batu alami setinggi 40 kaki (12 m) yang menyerupai raut muka manusia—tumbang dari sisi gunung di mana batu itu telah berdiri selama jutaan tahun. “Old Man of the Mountain” yang menghiasi pelat kendaraan, perempatan jalan, dan suvenir tidak ada lagi.

Kehancuran alami “Old Man of the Mountain” adalah salah satu contoh proses yang membentuk kerak Bumi. Namun, peristiwa ini bukan disebabkan oleh guncangan gempa dramatis tapi oleh proses pelapukan batuan secara perlahan dan terus-menerus.

Pelapukan adalah kerusakan bebatuan di permukaan Bumi oleh angin, air, panas, dan tekanan. Melalui proses ini, sebangkah batu besar, seperti wajah batu yang berubah menjadi “Old Man of the Mountain”, pecah menjadi kepingan batu kecil dan membantu membentuk kerak. Dalam sebagian kasus, pelapukan menghasilkan batu kali yang bundar dan lembut. Dalam kasus lain, pelapukan mengakibatkan perubahan bentuk gunung secara dramatis.

“Old Man of the Mountain” di New Hampshire terbentuk secara alami dari lima lapisan batu granit. Bangunan itu tumbang setelah proses pelapukan perlahan-lahan mengauskan lapisan dasar granit yang menopang struktur batu. Masyarakat sudah lama mengetahui bahwa pelapukan sedang memperlemah Old Man, tapi tak ada yang bisa menghentikan proses alami ini.

Hari ini banyak pengunjung meninggalkan bunga sebagai tanda kenangan atas “Old Man of the Mountain”.

Proses alami pelapukan batu perlahan memperlemah “Old Man of the Mountain” di New Hampshire. Gambar kiri (a) memperlihatkan gunung sebelum wajah batu jatuh; gambar kanan (b) bagaimana tampilannya setelah itu.



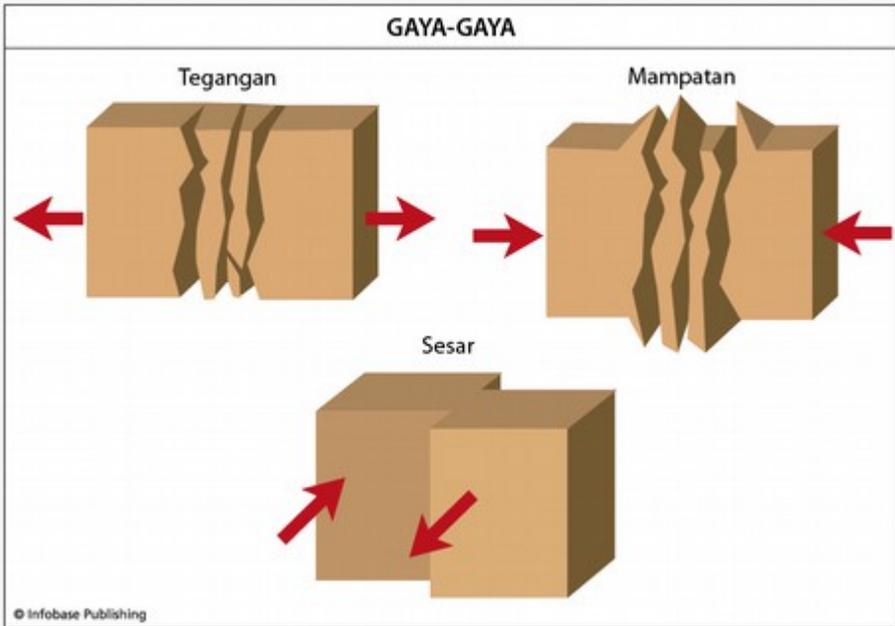
Kerak benua jauh lebih tua daripada kerak samudera. Sambil terus-menerus terbentuk, ia jarang dihancurkan. Batuan cair dari bawah kerak naik ke permukaan (baik melalui gunung berapi ataupun lubang lain di kerak Bumi) dan memadat menjadi granit, menambahkan batuan baru pada kerak benua. Tapi karena batuan ini begitu ringan, mereka jarang terbenam cukup dalam ke samudera untuk menjangkau zona subduksi di mana mereka akan dihancurkan.

Alhasil, batuan kerak benua jauh lebih tua. Mereka bisa berumur 3,8 miliar tahun (dengan kata lain, 38 kali lebih tua daripada batuan kerak samudera). Lagi, seandainya Bumi baru berumur 5 tahun, umur granit-granit hanya beberapa minggu saja. Itu jauh lebih tua daripada kerak samudera, tapi masih tetap muda bila dibandingkan dengan seluruh sejarah planet ini.

## **GAYA DI KERAK**

Semua batuan di kerak Bumi—baik samudera maupun benua—berada di bawah **tekanan** konstan, gaya yang menyebabkan kerak berubah bentuk, ukuran, dan lokasi. Besaran dan tipe persis tekanan tersebut bervariasi. Tekanan

terhadap permukaan Bumi datang dari lapisan-lapisan di bawah kerak, di mantel atas. Tekanan ini memiliki tiga bentuk dasar: peregangan, penubrukan, dan pengulitan.



Semua bebatuan di kerak bumi mengalami tekanan, yang menyebabkan kerak berubah dengan cara berlainan.

## Peregangan

**Tegangan** adalah gaya yang meregangkan kerak, menjadikan bagian tengahnya lebih tipis. Seiring berlalunya waktu, aksi ini bisa menciptakan lembah dan kolam raksasa. Great Basin, terdapat di antara Utah dan California, adalah contoh titik rendah di permukaan Bumi yang terbentuk oleh gaya tegangan.

## Penubrukan

**Mampatan** adalah gaya yang mendorong kerak, memerasnya hingga melipat atau retak. Aksi melipat ini membentuk pegunungan Bumi. Appalachian Mountains tengah di Pennsylvania, contohnya, terbentuk oleh gaya mampatan

yang melipat kerak Bumi.

## **Pengulitan/pencukuran**

**Sesar** adalah gaya yang mendorong sekeping batu ke dua arah berlawanan, menyebabkan keretakan atau perubahan bentuk. Area kerak Bumi yang terkuliti bisa membentuk area daratan yang datar, luas, dan naik yang disebut dataran tinggi. Contohnya adalah Dataran Tinggi Colorado, area daratan naik yang meliputi pelosok-pelosok Arizona, Utah, Colorado, dan New Mexico.

## **GEMPA DI KERAK**

Dengan peregangan, penubrukan, atau pengulitan yang cukup, bebatuan di kerak Bumi akan retak. Beberapa bebatuan padat dapat meregang dan meregang seperti sepotong gula-gula, tapi semua bebatuan pada akhirnya akan retak. Sekali retak, bebatuan di kerak akan bebas bergerak jauh lebih cepat dan menyebabkan gempa.

Para ilmuwan menyebut keretakan di kerak Bumi sebagai **patahan**. Ada tiga bentuk dasar patahan: patahan normal/turun, patahan naik/anjakan, dan patahan geser/mendatar.

## **Patahan Normal**

**Patahan normal** terjadi ketika gaya tegangan meregangkan kerak. Saat patahan meregang hingga mencapai titik retaknya, bebatuan secara mendadak bergerak sepanjang arah gaya dan menyebabkan gempa. Patahan normal meretakkan kerak dengan suatu sudut sehingga sepotong batu bergelincir ke atas dan sepotong batu bergelincir ke bawah. Bebatuan yang bergelincir ke atas bisa menjadi gunung atau dataran tinggi; bebatuan yang bergelincir ke bawah bisa menjadi **celah** atau lembah sungai.

Celah Rio Grande, meregang dari Meksiko sampai Texas dan New Mexico dan memasuki Colorado, adalah contoh patahan normal di lembah celah. Celah Rio Grande adalah lembah sungai rendah yang mengalami gaya tegangan yang

secara perlahan memisahkan bebatuan. Lembah tersebut diakibatkan oleh sisi patahan normal besar yang bergerak ke arah bawah yang membentuk kerak.

**Gunung *fault-block*** adalah tipe gunung yang terbentuk ketika dua patahan normal berbaris berdampingan. Ini menghasilkan dua retakan di kerak yang sejajar satu sama lain, membentuk blok batu longgar di antara retakan-retakan tersebut. Blok longgar bergerak ke arah atas untuk membentuk gunung, sedangkan bebatuan di sekitarnya bergerak ke arah bawah.

Contoh gunung *fault-block* adalah Franklin Mountains, yang membentang dari utara ke selatan, membelah barat kota El Paso (Texas) sampai wilayah tengah. Rangkaian *fault-block* sendiri adalah dorongan ke atas secara relatif terhadap unit-unit batu yang bersebelahan di antara timur dan barat rangkaian.

## **Patahan Naik**

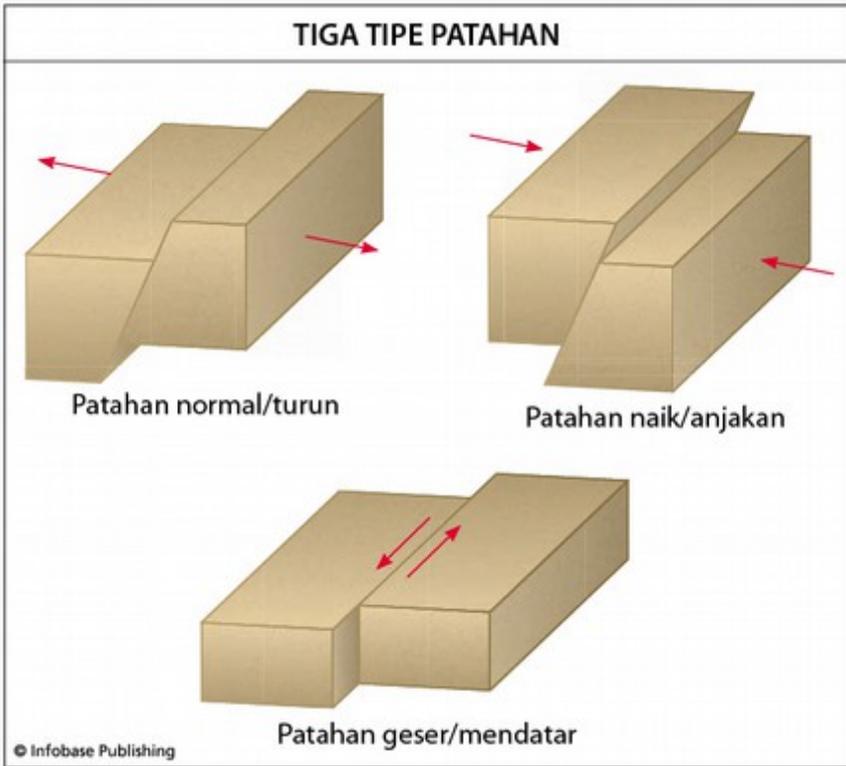
**Patahan naik** terjadi ketika gaya mampatan menubrukkan kerak. Saat batu retak, ia retak pada sudut yang serupa dengan patahan normal. Tapi dalam kasus ini, bebatuan bergerak naik dan turun dengan arah yang berlawanan dengan pergerakan patahan normal. Patahan naik, terkadang disebut patahan terbalik, juga menghasilkan gunung dan celah di permukaan Bumi.

Kebanyakan gunung di Southern California merupakan hasil dari pergerakan patahan naik. San Gabriel Mountains, contohnya, didorong ke atas melewati bebatuan San Fernando dan lembah San Gabriel oleh patahan naik. Bagian-bagian Rocky Mountains dan Appalachian Mountains juga terbentuk oleh patahan naik.

## **Patahan Geser**

**Patahan geser** terjadi ketika gaya pengulitan menggelincirkan unit-unit batu terhadap satu sama lain secara horizontal, dengan arah berlawanan. Dalam kasus ini, hanya terdapat sedikit gerak naik dan turun. Saat batu retak, dua potong tanah bergelincir terhadap satu sama lain dalam gerak berdampingan. Tak seperti patahan normal dan patahan naik, patahan geser tidak menghasilkan gunung dan

lembah yang kentara. Tapi ia menimbulkan beberapa gempa besar.



Tiga bentuk dasar patahan, atau retakan, di kerak Bumi diperlihatkan di atas.

### Mengukur Pergerakan Kerak: Mark Zoback, Geofisikawan

Peneliti Mark Zoback saat ini memimpin sebuah proyek penggalian lubang vertikal sedalam 1,9 mil (3 km) ke dalam Bumi. Sasaran proyek ini adalah untuk bisa mengukur gempa secara langsung dengan menempatkan instrumen di dalam patahan, tempat di Bumi di mana dua potong kerak retak dan saling berlawanan.

Zoback adalah seorang geofisikawan, ilmuwan yang mempelajari fisika Bumi, di Universitas Stanford di California. Proyeknya adalah bagian dari EarthScope, proyek lima tahun yang dirancang untuk mengetahui lebih banyak tentang gaya dan proses yang membentuk Amerika Utara.

Bilamana lubang galian selesai, ilmuwan akan bisa mengukur langsung gempa di sepanjang Patahan San Andreas di California yang terkenal, sebuah retakan sepanjang 800 mil (1.300 km) di kerak Bumi. Di salah satu sisi patahan ini, satu potong kerak Bumi bergerak ke utara. Di sisi lain, potongan kerak lainnya bergerak ke selatan. Begitu potongan ini bergelincir terhadap satu sama lain, timbul gempa.

Gempa ini, seperti gempa pada umumnya, hanya dapat diukur dan dipahami secara tak langsung. Ilmuwan dapat merekam dan mendengar-kan gelombang pergerakan di Bumi selama dan sesudah gempa, tapi tak pernah bisa mengukur pergerakan di patahan secara langsung. Lubang baru EarthScope, dikenal sebagai San Andreas Fault Observatory at Depth (SAFOD), akan mengubah semua itu.

Zoback mengatakan, SAFOD bisa merevolusi ilmu gempa, barangkali membantu masyarakat memprediksi kapan dan di mana gempa akan terjadi. “Pengetahuan mutakhir kita tentang proses-proses di zona patahan begitu rendah sehingga kita bukan cuma tak mampu membuat prediksi gempa andal dalam waktu singkat, tapi juga tak tahu apakah prediksi semacam itu memungkinkan,” kata Zoback dalam sebuah laporan berita Universitas Stanford. “SAFOD dapat merevolusi pemahaman kita akan fisika gempa. Dengan melakukan observasi berkelanjutan langsung di kedalaman zona Patahan San Andreas di mana gempa berawal, kita akan dapat menguji dan memperluas teori-teori mutakhir mengenai fenomena yang mendahului gempa mendatang.”

Patahan San Andreas, yang membentang kira-kira 800 mil (1.300 km) melintasi sebagian besar California, merupakan contoh bagus patahan geser besar. Di sana, kerak terbarat garis pantai California tergelincir perlahan ke utara sementara bagian timur kerak tergelincir ke selatan. Tak heran, area ini terkenal sering mengalami gempa.

Menurut website United States Geological Survey yang menguraikan Patahan San Andreas, dua potong kerak California ini telah saling berpapasan sekurangnya sejauh 350 mil (563 km) dalam 20 juta tahun terakhir dengan laju sekitar 2 inchi (5 cm) per tahun.

## **MEMAHAMI PROSES GEMPA**

Penyebab dasar gempa di kerak planet ini sudah dipahami dengan baik. Pengetahuan ini memungkinkan ilmuwan mengidentifikasi area rawan gempa dan menaksir potensi bahaya. Tapi ukuran dan waktu terjadinya gempa mustahil untuk diprediksikan.

Contohnya, ilmuwan yang mempelajari kerak di lokasi tertentu dapat memprediksikan apakah gempa mungkin untuk terjadi di abad berikutnya. Tapi mereka tidak bisa mengatakan kepada Anda apakah gempa akan terjadi minggu depan atau tahun depan. Untuk sementara ini, gempa masih tak terprediksi.

Meski demikian, ilmuwan mengetahui bahwa pergerakan di permukaan planet seringkali tergantung pada lapisan Bumi persis di bawah kerak, area yang dikenal sebagai mantel atas. Kerak Bumi terapung di atas mantel tersebut, mirip dengan perahu di atas air. Proses-proses yang terjadi di dalam mantel atas pada akhirnya menentukan kapan dan bagaimana gempa terjadi.

### 3 MANTEL ATAS

**M**antel atas planet Bumi terletak persis di bawah kerak. Ia dianggap tidak padat, melainkan lebih seperti cairan fleksibel, lambat, dan sangat kental.

Berjalan di atas cairan ini adalah tanah di mana semua kehidupan dijumpai. Tanah tersebut, atau kerak, dihasilkan oleh bebatuan cair di mantel yang naik ke permukaan planet sewaktu mereka mendingin. Saat mantel atas mengalir, itu juga menggerakkan kerak mengelilingi permukaan Bumi dalam sebuah proses yang dikenal sebagai **tektonika lempeng**.

Tektonika lempeng merupakan sebuah *teori* ilmiah, atau ide yang bisa diuji, yang menjelaskan bagaimana benua-benua di permukaan Bumi bergerak. Proses tektonika lempeng bertanggungjawab atas bentuk benua, ukuran samudera, dan pada akhirnya, lokasi gempa di kerak. Seperti banyak proses Bumi lainnya, tektonika lempeng tidak dapat dengan mudah dilihat dalam kehidupan sehari-hari, tapi ia merupakan kekuatan yang terus membentuk planet ini.

#### **DASAR-DASAR TENTANG MANTEL ATAS**

Untuk memahami peranan penting yang dimainkan oleh tektonika lempeng, mempelajari sedikit lebih banyak tentang komposisi mantel atas dan proses-proses yang berlangsung di dalamnya akan membantu sekali.

#### **Ketebalan**

Mantel atas mempunyai tebal 217 mil (350 km), mengandung dua tipe batu berbeda, dan terbagi menjadi dua bagian yang disebut litosfer dan **astenosfer**. Litosfer kaku tersusun dari kerak berbatu setebal 40 mil (64 km) dan mengapung di atas astenosfer. Astenosfer mempunyai tebal 124 mil (200 km), temperaturnya hangat (2.640 °F atau 1.449 °C), lebih lunak daripada litosfer, dan merupakan bagian mantel atas yang lebih plastik. (Namanya berasal dari kata Yunani

*asthenes*, yang berarti “lemah”.) Lantaran temperatur dan tekanan yang terdapat di kedalaman ini, astenosfer berperilaku seperti cairan amat kental.

## Komposisi

Litosfer tersusun utamanya dari batuan kerak familiar yang dikenal sebagai **peridotit**. Peridotit mengandung *mineral olivine*, batu hijau kekuningan yang mengandung banyak besi dan magnesium. Karena peridotit lebih berat daripada kebanyakan batu lainnya yang dijumpai di kerak Bumi, ia cenderung terbenam ke dasar kerak dan memasuki mantel atas.

Astenosfer mantel atas berbeda dari mantel bawah. Sebab semakin dalam menuju lapisan Bumi, semakin tinggi tekanan dan temperturnya. Tekanan dan temperatur tinggi di mantel bawah menyebabkan bebatuan di sana kurang kokoh. Dengan kata lain, mereka cenderung mudah berubah bentuk. Tak ada yang tahu persis seperti apa bebatuan astenosfer, tapi mereka cenderung mengandung, utamanya, silikon dan magnesium, bersama dengan sejumlah kecil besi, aluminium, kalsium, dan sodium.

## Umur

Sampai sekarang, tak ada yang mampu menggali cukup dalam ke mantel atas dan menetapkan umur akurat bebatuannya. Tapi terkadang bebatuan mantel atas naik ke permukaan Bumi. Contohnya berlian; ia lebih dari sekadar perhiasan bernilai—ia menyediakan informasi tentang umur bebatuan di mantel atas.

Berlian merupakan batu karbon murni yang terbentuk secara alami dalam kondisi tekanan tinggi dan sangat panas di mantel tersebut. Permata ini dapat terbentuk di kedalaman setidaknya 93 mil (150 km) di bawah kerak benua, tapi biasanya berasal lebih dalam lagi di mantel atas.

Di lokasi tertentu, berlian (dan bebatuan lain) meletus ke permukaan Bumi dari dalam mantel atas melalui lubang vulkanik khusus yang disebut **pembuluh kimberlite**. Sebagian besar dari pembuluh ini ditemukan di daratan yang umurnya lebih dari 1,5 miliar tahun.

Tapi berlian yang ditambang dari pembuluh-pembuluh ini jauh lebih tua dari daratan tersebut. Beberapa dari mereka dapai mencapai umur 3,3 miliar tahun—lebih dari 2/3 umur Bumi sendiri. Permata lain berumur antara 1 miliar sampai 3 miliar tahun.

Walaupun para ilmuwan tidak bisa menetapkan umur akurat mantel atas secara langsung, berlian dan bukti lain mengindikasikan bahwa mantel atas hampir setua planet ini sendiri.

## **Gaya di Mantel**

Mantel atas mendidih seperti panci berisi cokelat cair. Di mantel atas maupun bawah, **konveksi** merupakan gaya penggerak yang bekerja. Konveksi adalah pergerakan panas dan materi dalam cairan.

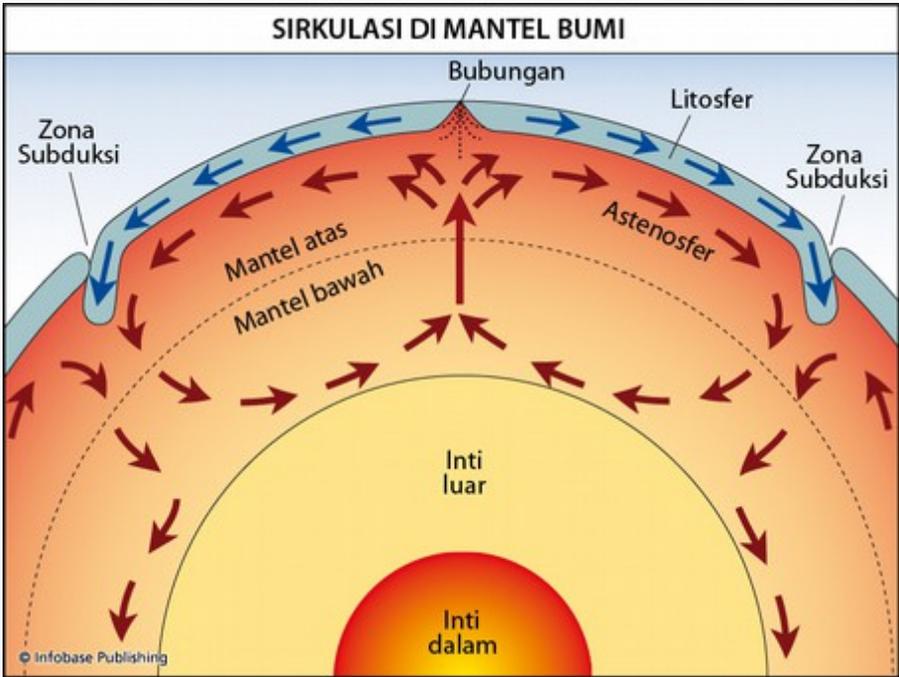
Contohnya, saat cokelat cair memanaskan di dasar panci, ia menjadi kurang padat dan lebih ringan, dan naik ke permukaan. Di permukaan, ia mendingin, menjadi padat dan berat lagi, dan terbenam kembali ke dasar. Penambahan panas berketerusan menghasilkan siklus atau arus konveksi, memutar-mutar cokelat dalam gerak sirkuler dalam panci seraya cokelat memanaskan dan mendingin.

Proses yang sama terjadi di mantel atas, yang terus-menerus dipanaskan oleh mantel bawah dan inti cair di pusat Bumi. Saat mantel atas memanaskan, bebatuan menjadi kurang padat dan naik ke atas. Persis di bawah kerak, bebatuan tersebut mendingin dan menjadi padat lagi, lalu perlahan-lahan terbenam kembali ke bagian bawah mantel atas. Seiring waktu, arus konveksi terbentuk sehingga memutar-mutar batuan dalam gerak sirkuler di mantel atas. Arus konveksi berlanjut selama panas bertambah ke sistem tersebut.

Nah bayangkan menambahkan potongan cokelat padat ke permukaan panci. Pada akhirnya, potongan cokelat tersebut akan tertepikan (atau mungkin tertarik turun) oleh arus konveksi dalam panci. Proses yang sama terjadi di permukaan Bumi.

Di atas mantel atas terdapat kerak Bumi. Sebagaimana potongan cokelat padat yang terdorong dan kemudian tertarik turun ke dalam cokelat mendidih

oleh arus konveksi dalam panci, demikian pula halnya dengan kerak Bumi, yang terdorong dan kemudian tertarik turun ke mantel atas oleh siklus arus konveksi yang bergerak di bawah kerak.



Arus konveksi di bawah kerak Bumi mendorong kerak dan menariknya ke dalam mantel atas.

### TEKTONIKA LEMPENG

Tektonika lempeng menjelaskan pergerakan dan lokasi benua-benua saat ini. Pada akhirnya, tektonika lempeng dijelaskan oleh arus konveksi di mantel atas yang memutar-mutar kerak di planet ini untuk membentuk benua-benua sebagaimana yang kita ketahui sekarang.

Jauh sebelum ahli bumi memahami tektonika lempeng, sudah diketahui bahwa bongkahan-bongkahan daratan Bumi tampak tersusun pas seperti puzzle. Tapi tak ada yang punya penjelasan tentang proses tersebut untuk menunjukkan bagaimana kepingan-kepingan itu terhubung di masa lalu. Namun, sejak bukti

andal tektonika lempeng berkembang, semakin banyak yang telah dipelajari mengenai peranan mantel atas dalam pembentukan permukaan planet.

## Sejarah Tektonika

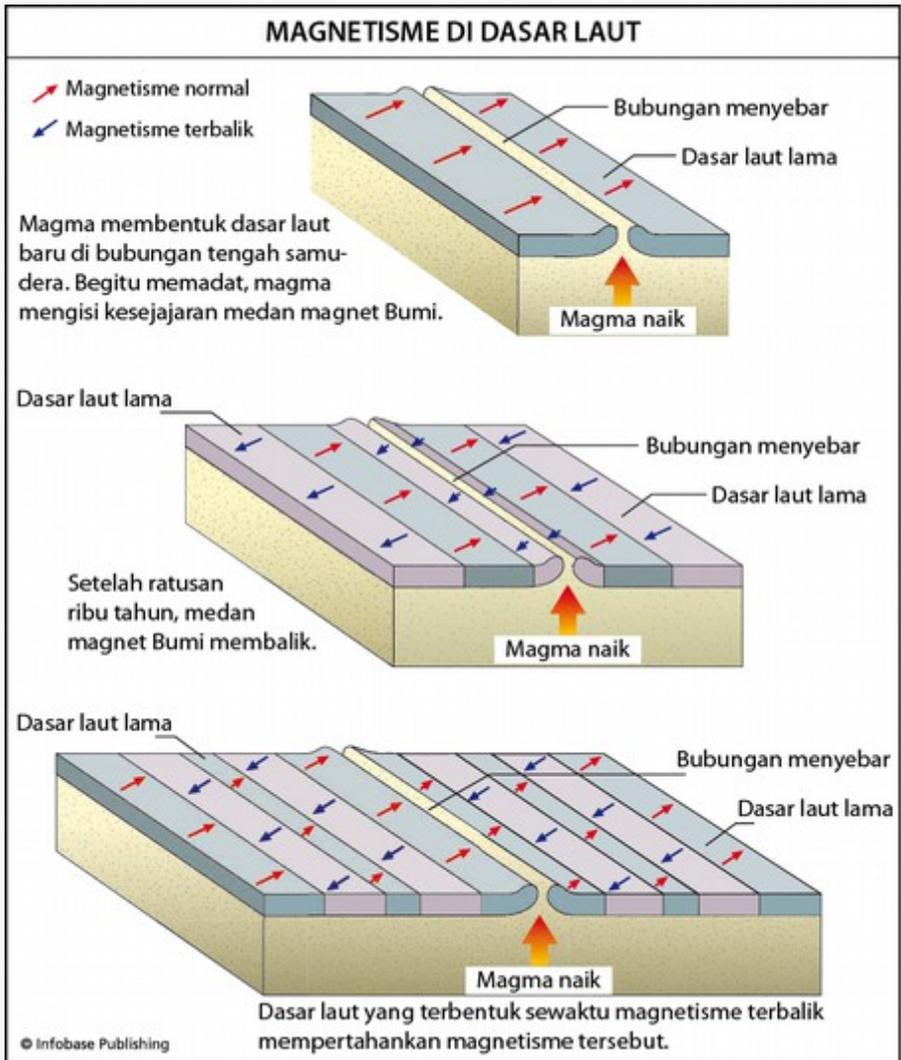
Sejak tahun 1700-an lalu, banyak orang telah memperhatikan tepi benua-benua Bumi yang tampak bercocokan. Benjamin Franklin, contohnya, adalah salah satu pengamat tersebut, tapi dia tidak punya bukti untuk membuktikan bahwa benua-benua pernah saling terhubung, atau bergerak dalam bentuk bongkahan besar di atas permukaan planet.

Baru pada tahun 1915 bukti riil pertama tektonika lempeng diperoleh. Seorang ilmuwan Jerman bernama Alfred Wegener mengumpulkan informasi mengenai fosil-fosil, bentuk daratan, dan iklim untuk menopang ide yang dia sebut sebagai **hanyutan benua**. Ide ini menyatakan bahwa benua-benua Bumi pernah tergabung dalam bongkahan tunggal sebelum retak berpisah dan mengapung di permukaan planet. Tapi meski mempunyai beberapa bukti bahwa benua-benua bergerak, dia tidak memiliki penjelasan tentang bagaimana dan mengapa ini terjadi; dengan kata lain, tidak ada mekanisme untuk menjelaskan hanyutan benua. Akibatnya, ide tersebut tak pernah diterima luas oleh komunitas ilmiah.

Alfred Wegener wafat pada tahun 1930. Tapi 30 tahun kemudian, sebuah mekanisme untuk menjelaskan pergerakan benua ditemukan, ketika para ilmuwan mulai memetakan variasi magnet pada bebatuan yang berderet di bubungan tengah samudera yang berlokasi di dasar samudera. **Bubungan tengah samudera** adalah punggungan bawah laut di mana kerak Bumi bergerak memisah sedangkan bebatuan samudera naik ke permukaan Bumi dari bawah. **Variasi magnet**, dalam hal ini, ialah arah tunjuk mineral magnet dalam sebuah batu.

Mineral magnet selalu mengarah ke utara, tapi seiring waktu, kutub utara Bumi bergeser. Nyatanya, kutub utara dan selatan telah berulang kali bertukar tempat akibat perubahan medan magnet Bumi. Batu magnet yang terbentuk

ketika kutub magnet utara berada di posisi sekarang, akan menunjuk ke arah yang kita kenal sebagai utara. Batu magnet yang terbentuk ketika kutub magnet utara berada di selatan sekarang, akan menunjuk ke arah yang kita kenal sebagai selatan.



Magnetisme di dasar laut mengindikasikan pembalikan medan magnet Bumi seiring waktu.

Pada 1960-an, ilmuwan mengembangkan peta pertama bebatuan magnet—dan arah tunjuknya—yang berada di dasar samudera. Peta ini memperlihatkan pola garis simetris mirip zebra di tiap sisi bubungan tengah samudera. Satu garis mengandung bebatuan yang mineral magnetnya menunjuk ke arah utara sekarang. Garis berikutnya mengandung bebatuan dengan mineral magnet yang menunjuk ke arah selatan sekarang. Pola belang sempurna ini meliputi seluruh dasar samudera.

Untuk menjelaskan penemuannya, para ilmuwan mengembangkan ide yang dikenal sebagai **penyebaran dasar laut**. Saat kerak Bumi menyebar di bubungan tengah samudera, bebatuan baru terbentuk oleh magma penyelundup yang naik dari mantel atas. Saat bebatuan yang baru muncul ini mendingin, mineral magnet yang terkandung di dalamnya menunjuk ke arah mana saja yang utara. Seiring waktu, dasar laut menyebar. Saat magnet utara bertukar tempat di Bumi, arah bebatuan yang baru terbentuk dan mengarah ke utara juga berubah. Tiap-tiap garis zebra menahan magnetisme yang diperolehnya ketika terbentuk semula. Pada akhirnya, pergerakan ini menciptakan belang-belang bebatuan, beserta mineral magnet yang menunjuk ke arah berbeda-beda.

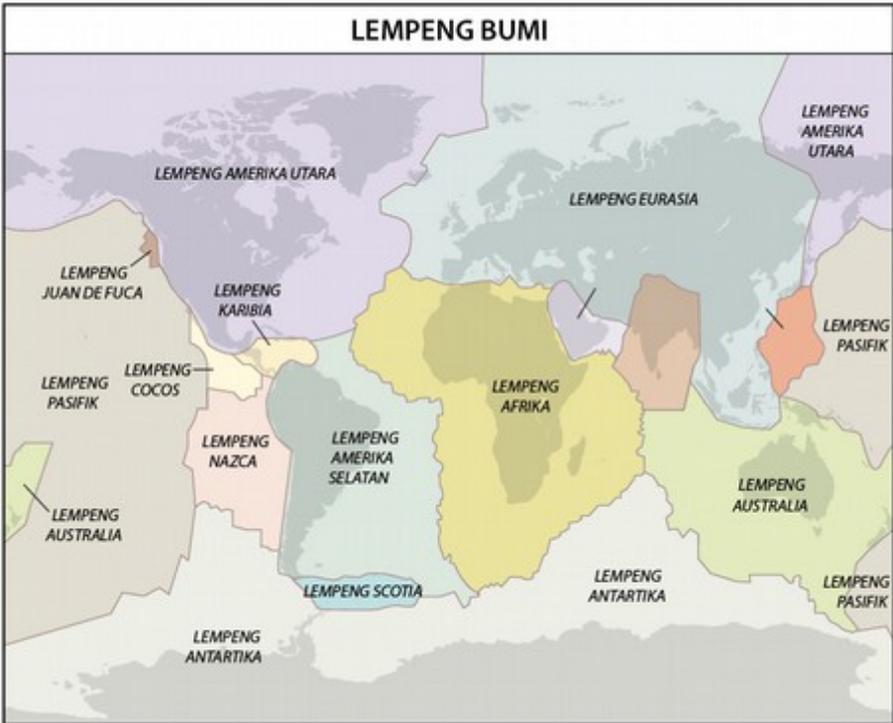
Bersenjatakan peta magnet dan penjelasan penyebaran dasar laut, para ilmuwan kini mempunyai bukti untuk membuktikan bahwa benua-benua bergerak di sepanjang permukaan Bumi dan sebuah mekanisme untuk menunjukkan caranya. Tapi jika bebatuan baru terus-menerus tertambahkan pada dasar laut, di suatu tempat di planet ini bebatuan lama pasti hancur (atau, kalau tidak, planet ini akan meletus seperti balon). Ini membawa pada penemuan tektonika lempeng—proses terpenting di keseluruhan planet ini—sebuah proses yang didorong oleh pergerakan arus konveksi di mantel atas.

## Lempeng

Dengan penemuan bahwa bebatuan baru terus-menerus terbentuk di bubungan tengah samudera, para ilmuwan menyadari bahwa kerak Bumi retak menjadi kepingan-kepingan yang disebut **lempeng**. Untuk menggambarkan lempeng

Bumi, pertama-tama bayangkan telur yang direbus hingga keras dan retak.

Ketika seseorang menjatuhkan telur rebus, cangkangnya retak menjadi kepingan, tapi kepingan-kepingan tersebut masih disatukan oleh putih telur yang kenyal. Demikian pula, litosfer kerak Bumi retak menjadi lempengan yang terpisah namun disatukan oleh mantel atas. Masing-masing lempeng mengangkut daratan, dasar samudera, atau keduanya.



Lempeng-lempeng Bumi tersusun pas seperti puzzle.

Menurut website United States Geological Survey, Bumi mempunyai lebih dari selusin lempeng berbeda. Jumlah persis lempeng tergantung pada lokasi di mana ilmuwan menarik batas atau tepi lempeng. Kebanyakan peta dunia memasukkan Lempeng Afrika, Lempeng Arab, Lempeng Antartika, Lempeng Australia, Lempeng Karibia, Lempeng Cocos, Lempeng Eurasia, Lempeng

India, Lempeng Juan de Fuca, Lempeng Nazca, Lempeng Amerika Utara, Lempeng Pasifik, Lempeng Filipina, Lempeng Scotia, dan Lempeng Amerika Selatan.

Beberapa lempeng berukuran besar, seperti Lempeng Eurasia dan Amerika Utara. Yang lainnya kecil, seperti Lempeng Juan de Fuca yang amat kecil (namun destruktif). Saat lempeng-lempeng ini bergerak, mereka mengalami dorongan dan tarikan di perbatasannya, seringkali menimbulkan masalah bagi orang-orang yang tinggal di dekatnya.

## Pergerakan Lempeng

Tak seperti kepingan retak telur rebus, lempeng-lempeng Bumi terus-menerus bergerak perlahan di permukaan planet ini. Sebagian besar geolog percaya bahwa arus konveksi di mantel atas menciptakan gaya utama yang mendorong pergerakan lempeng di permukaan Bumi.

Lempeng Bumi terletak di atas bebatuan cair mantel atas. Saat bebatuan cair ini mendingin dan terbenam, mereka menarik tepi lempeng turun ke dalam mantel. Bagian sisa lempeng ikut terseret secara perlahan. Arus konveksi mantel atas terus menyeret dan menggerakkan lempeng di permukaan Bumi.

Masing-masing lempeng bergerak dengan kecepatan berbeda, tapi mereka semua bergerak sangat perlahan menurut standar manusia—sekitar 0,4 sampai 9,5 inchi (1 sampai 24 cm) per tahun. Lempeng Amerika Utara dan Eurasia, contohnya, bergerak memisah dengan laju hampir 1 inchi (2,4 cm) per tahun, hampir sama dengan laju pertumbuhan kuku tangan manusia.

## Batas Lempeng

Tepi lempeng di permukaan Bumi disebut sebagai **batas lempeng**. Para ilmuwan mengelompokkan batas-batas lempeng ke dalam tiga kategori berbeda berdasarkan caranya bergerak secara relatif terhadap satu sama lain: batasan konvergen, batas divergen, dan batas transform.

## Liburan di Batas Lempeng

Ada beberapa tempat di Bumi di mana kita bisa betul-betul melihat mantel atas menarik dua potong kerak Bumi hingga memisah. Negara pulau Islandia adalah salah satunya.

Samudera-samudera Bumi penuh dengan bubungan tengah samudera, tempat di mana lempeng-lempeng berdivergensi dan terbentuklah kerak baru. Kebanyakan bubungan ini tersembunyi di dasar samudera, ribuan kaki di bawah permukaan. Tapi Islandia adalah salah satu pengecualian.

Bubungan Tengah Atlantik melintasi pusat Islandia dari utara ke selatan. Di sini, lempeng-lempeng divergen Bumi bisa dengan mudah dilihat berupa retakan dramatis raksasa. Di dalam retakan, bebatuan cair menggelembung ke permukaan untuk membentuk kerak baru.

Islandia juga berdiri di atas *hot spot*. *Hot spot* adalah tempat di kerak Bumi yang berposisi persis di atas luapan magma di mantel atas. Ketika *hot spot* menerobos kerak, aliran magma menciptakan banyak kerak baru. Berkat aktivitas *hot spot*—termasuk banyak gunung berapi aktif dan lubang air panas yang menyembur lewat batu—Bubungan Tengah Atlantik timbul ke atas permukaan laut di tempat ini dan menghasilkan pulau Islandia.

Tapi jika Islandia terlalu dingin untuk menjadi tempat liburan geologis, Hawaii adalah pilihan lain. Ia juga merupakan pulau yang dihasilkan oleh *hot spot* yang menggelembung di mantel atas. Satu hal yang pasti: Hawaii lebih hangat ketimbang Islandia.

**Batas konvergen** adalah di mana dua lempeng bergerak menuju satu sama lain, atau berkonvergensi. Satu lempeng dapat bergelincir ke bawah yang lain, atau mereka bertubrukan, tergantung pada densitas lempengnya.

Sebuah lempeng bergelincir ke bawah lempeng lain karena ia lebih padat dan lebih berat. Jika sebuah lempeng yang mengangkut kerak benua bertubrukan dengan lempeng yang mengangkut kerak samudera, misalnya, lempeng kerak samudera (yang lebih padat) terbenam ke bawah lempeng kerak benua (yang lebih ringan). Lempeng yang terbenam ini bergelincir ke bawah menuju mantel atas. Temperatur yang naik di mantel melelehkan lempeng yang terbenam

tersebut, lalu menghancurkannya. Area di mana keterbenaman dan pelelehan ini terjadi disebut zona subduksi.

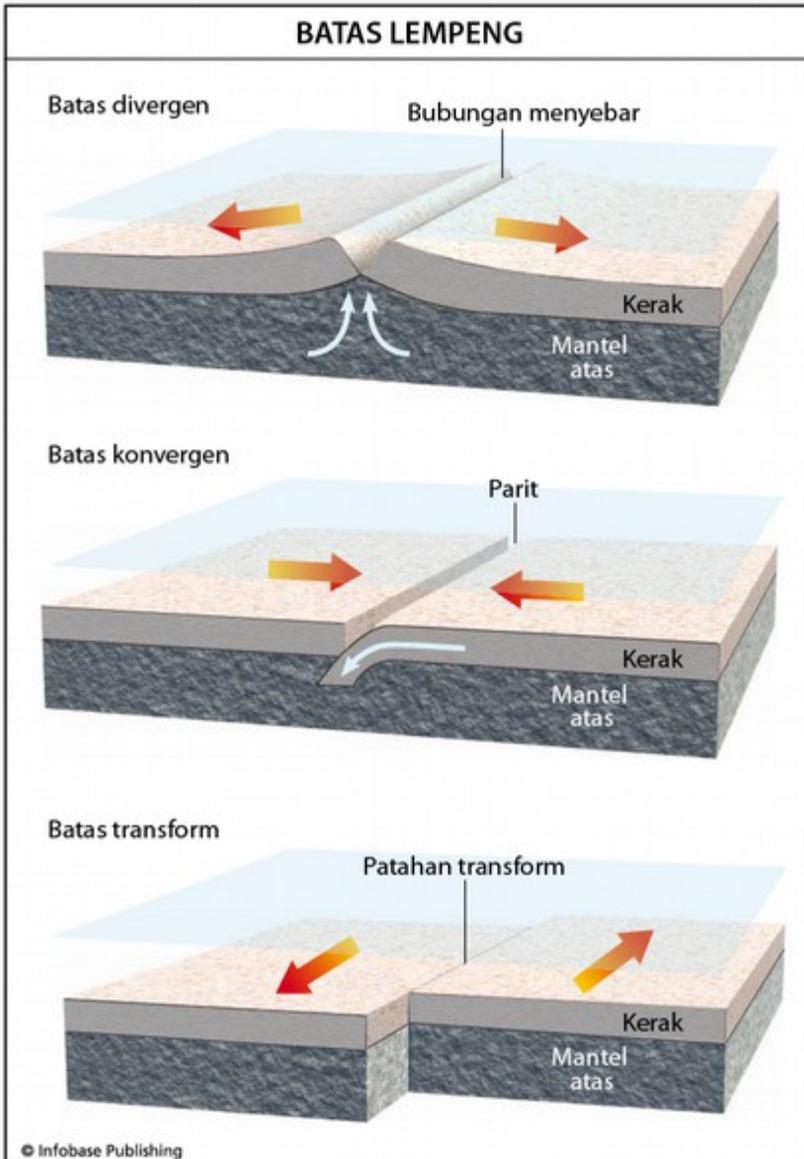


Diagram ini memperlihatkan tiga kategori batas lempeng berdasarkan cara mereka bergerak terhadap satu sama lain.

Dalam kasus di mana lempeng-lempeng berdensitas sama bertubrukan—misalnya dua lempeng benua—mereka akan bertubrukan hingga membentuk segundukan kerak berkerut yang disebut pegunungan. Satu contoh sederhana dari tubrukan ini adalah tubrukan Lempeng benua India dengan Lempeng benua Eurasia hingga membentuk Pegunungan Himalaya di Asia, rumah bagi beberapa gunung terbesar di dunia—termasuk Gunung Everest setinggi 29.060 kaki (8.850 m).

**Batas divergen** adalah di mana dua lempeng bergerak saling menjauh, atau berdivergensi, menghasilkan kerak baru yang naik untuk mengisi celah. Banyak batas divergen ditemukan di sepanjang bubungan tengah samudera di mana penyebaran dasar laut terjadi. Saat dasar samudera menyebar terbuka, kerak baru terbentuk begitu magma cair mengisi retak terbuka tersebut. Ketika penyebaran dan pengisian berlanjut, pengerutan di kerak baru itu seringkali menghasilkan bubungan gunung bawah laut.



Patahan San Andreas yang terkenal adalah batas transform di mana Lempeng Pasifik bergelincir terhadap Lempeng Amerika Utara.

Jika batas divergen terdapat di daratan, mereka sering menghasilkan lembah dalam yang dikenal sebagai lembah celah. Saat dua lempeng benua berdivergensi, kerak baru terbentuk untuk mengisi celah. Lembah Celah Besar di timur Afrika, contohnya, merupakan hasil dari Lempeng Afrika dan Lempeng Arab yang bergerak memisah lalu terbentuklah kerak baru. Kedalaman Lembah Celah Besar bervariasi, dari hampir 1.000 kaki (305 meter) sampai 10.000 kaki (3.000 meter) jauh di bawah Kenya.

**Batas transform** terdiri dari dua lempeng yang bergelincir melewati satu sama lain dalam arah berlawanan. Dalam tipe batas ini, kerak tidak hancur ataupun terbentuk. Justru, ia hanya terdorong dengan cara yang tidak terprediksi. Akibatnya, gempa cukup umum terjadi di sepanjang batas transform.

Patahan San Andreas di California, contohnya, merupakan batas transform di mana Lempeng Pasifik bergelincir melewati Lempeng Amerika Utara. Patahan San Andreas adalah salah satu fitur daratan yang paling terkenal dan paling diamati dengan cermat di planet ini, sebagian besar lantaran dampaknya terhadap populasi California.

## Memahami Lempeng Tektonik: Julie Elliott Mengukur dengan GPS

Mahasiswi di Universitas Alaska-Fairbanks, Julie Elliott, mempelajari pergerakan lempeng tektonik di tengah dan tenggara Alaska. Di sini, beberapa lempeng tektonik saling bertubrukan hingga menghasilkan rangkaian gunung yang dramatis dan banyak gunung berapi. Yang menjadi misteri, tak ada yang tahu di mana atau bagaimana persisnya lempeng-lempeng ini berawal dan berakhir.

Untuk membantu memahami pergerakan Bumi di kawasan ini, Elliott melakukan pengukuran **Global Positioning System (GPS)** di sekitar 70 lokasi. Instrumen ini merekam pengukuran setiap lokasi di permukaan Bumi dengan amat akurat.

Dengan melakukan banyak pengukuran selama bertahun-tahun, Elliott bisa melihat arah pergerakan lempeng dan mencoba menjelaskannya dengan memakai model matematis.

Elliott, yang sedang mengejar gelar doktor (Ph.D.), mengawali karirnya dengan menyelesaikan pendidikan sarjana bidang fisika. Dia jadi ketagihan pada tektonika lempeng saat mengambil kelas geologi semasa tahun ketiga kuliahnya dan memutuskan menerapkan keahlian fisiknya pada bidang ini.

Hari ini, kebanyakan lokasi pengukuran GPS Elliott di Alaska hanya dapat diakses oleh helikopter, pesawat, atau perahu. Dia menghabiskan musim panas dengan mengunjungi lokasi dan melakukan pengukuran baru. Selain mencapai lokasi, “tantangan terbesar dalam melakukan kerja lapangan ini adalah mencegah margasatwa mendekati peralatan. Beruang Alaska sering mengunyah kabel dan panel surya, mencopot baterai, dan memukul-mukul dudukan antena GPS,” ujarnya. “Mereka sepertinya berpikir saya membawakan mereka mainan baru.”

Pada 1906, sebuah gempa di sepanjang Patahan San Andreas menghantam keras kota San Fransisco, menewaskan hampir 3.500 orang dan menghancurkan ratusan bangunan. Sejak saat itu, area tersebut mempersiapkan diri dengan lebih baik terhadap gempa seraya tumbuhnya populasi penduduk

## **MEMAHAMI PROSES TEKTONIKA LEMPENG**

Para ilmuwan telah menghabiskan waktu penelitian berabad-abad untuk memahami proses dasar tektonika lempeng. Seperti banyak hal lainnya dalam ilmu Bumi, penyebab dan efek pergerakan lempeng telah diketahui, namun detil persisnya masih menjadi misteri. Semakin banyak detil mantel atas yang dipahami, para ilmuwan semakin dapat membantu mengembangkan alat untuk membuat kehidupan di tempat-tempat tektonik aktif dan rawan gempa lebih aman.

Untuk betul-betul memahami tektonika lempeng, ilmuwan harus menyelidiki lebih dalam ke lapisan Bumi, turun melewati mantel atas. Mantel bawah, level bawah berikutnya, memiliki tebal lebih dari 1.500 mil (2.500 km). Gaya konveksi di lapisan ini mempengaruhi dua lapisan di atasnya, akhirnya membantu membentuk permukaan Bumi terkadang secara destruktif.

## 4 MANTEL BAWAH

**P**ersis di bawah mantel atas terdapat mantel bawah. Area ini juga mirip putih telur rebus yang kenyal. Mantel bawah lebih padat daripada mantel atas, masih bergerak sangat lambat seperti cairan amat kental. Dua proses utama yang membentuk planet kita terjadi di mantel bawah—salah satunya bisa dilihat manusia, sedangkan satu laginya tidak.

Pertama, mantel atas memainkan peran besar dalam membentuk dan mentenagai gunung berapi. Gaya konveksi panas di lapisan ini lambat-laun merebus bebatuan cair dan mineral hingga meledak melalui kerak Bumi sebagai gunung berapi. Itulah bagian yang terlihat.

Kedua, bagian terendah mantel bawah—bagian yang bersinggungan dengan inti luar—mungkin merupakan kuburan benua-benua lama. Di sini, para ilmuwan telah mendeteksi lapisan misterius setebal ratusan mil yang oleh beberapa orang diduga terbuat dari lemping-lemping batu mirip benua—tapi tak ada yang yakin. Inilah bagian yang tak terlihat: mata manusia tidak bisa mengintip ke dalam “kuburan” ini atau apapun di mantel bawah. Justru, ilmuwan “melihat” proses di mantel bawah dengan seismologi, studi gelombang energi dan bagaimana ia berjalan di dalam Bumi.

### **DASAR-DASAR TENTANG MANTEL BAWAH**

Meski mantel bawah merupakan misteri, seismologi telah membantu menyediakan beberapa petunjuk yang dibutuhkan ilmuwan untuk memecahkannya.

#### **Ketebalan**

Mantel bawah adalah lapisan tertebal di dalam Bumi, menyusun lebih dari 50% planet ini dalam hal ukuran, dan lebih dari 70% dalam hal massa (atau berat). Mantel bawah memiliki ketebalan sekitar 1.550 mil (2.500 km) dan temperatur 4.000 °F (2.204 °C).

## **Komposisi**

Ilmuwan percaya bahwa mantel bawah terbuat dari utamanya magnesium, silikon, dan oksigen, serta sedikit besi, kalsium, dan aluminium.

Magnesium, silikon, dan oksigen membentuk mineral mantel bawah yang dikenal sebagai perovskit, barangkali salah satu bahan mineral paling lazim di dalam Bumi. Mineral ini bisa pula ditemukan di kerak Bumi, tapi amat langka.

## **Umur**

Umur persis bebatuan mantel bawah sulit ditetapkan sebab bebatuan tersebut tak bisa dicapai untuk pengambilan sampel. Tapi karena kita tahu lapisan ini terbentuk sangat awal dalam sejarah Bumi, berarti bebatuan itu barangkali berumur miliaran tahun.

Pada waktu bersamaan, bebatuan mantel bawah berubah bentuk secara perlahan dan teratur seraya lapisan tersebut berkonveksi dan mendidih. Batuan lama dapat diubah menjadi bebatuan baru dan muda lewat proses konveksi. Semua bebatuan di kedalaman ini amat mudah terkonveksi.

## **GAYA DI MANTEL BAWAH**

Sebagaimana di mantel atas, konveksi adalah gaya utama yang mendorong pergerakan panas dan bebatuan di mantel bawah. Nyatanya, ilmuwan menduga bahwa mantel bawah mengandung satu lapisan raksasa berisi bebatuan yang berkonveksi.

## **Integrated Ocean Drilling Program**

Bayangkan menusukkan sedotan ke dalam irisan semangka yang tebal, mengawasi ujung sedotan, lalu menyedot keluar kerat tipis semangka. Kerat tipis adalah *teras* semangka, yang menjadi sampel buah tersebut pada kedalaman berbeda-beda. Dengan cara serupa, ilmuwan mengambil teras dari dasar samudera untuk mengetahui tentang proses-proses di mantel bawah, tapi mereka memakai sedotan yang jauh lebih besar—pengeboran samudera terdalam.

Integrated Ocean Drilling Program (IODP) adalah program internasional yang mengirim kapal-kapal ke laut yang, sederhananya, mengebor lubang ke dalam dasar laut dan menyuling teras kerak Bumi yang kemudian mereka labeli dan simpan untuk dipelajari.

Masing-masing inti ini mengandung segala jenis informasi yang berguna bagi ilmuwan; pada dasarnya menyediakan sejarah kondisi di permukaan Bumi. Wilayah teras yang lebih dalam mengandung lumpur dan sedimen yang tersimpan di masa lampau. Wilayah teras yang lebih dangkal mengandung sampel Bumi yang lebih baru. Teras-teras mungkin menyimpan petunjuk tentang iklim Bumi dan letusan gunung berapi di masa lampau, dan bahkan mungkin menyediakan riwayat fosil makhluk laut secara detail.

Ilmuwan mengumpulkan petunjuk tentang apa yang terjadi di dalam mantel bawah dengan menyuling dan mempelajari sampel teras di area-area dekat gunung berapi bawah laut. Karena proses di mantel bawah mentenagai gunung berapi di kerak Bumi, sampel teras dari area ini mengandung bebatuan dan mineral dari mantel bawah. Dengan mempelajari teras-teras vulkanis ini, ilmuwan dapat tahu tentang apa yang terjadi di dalam mantel bawah yang tak terjangkau mata.

Ingat, konveksi adalah pergerakan panas dalam cairan, seperti panci berisi cokelat cair yang mendidih. Karena cokelat (atau batuan) kurang padat dan ringan, ia naik ke bagian atas panci. Cokelat (atau batu) cair yang dingin lebih padat dan lebih berat sehingga turun ke dasar panci di mana ia perlahan-lahan memanaskan. Selama panas ditambahkan pada sistem di dalam Bumi, bebatuan panas akan naik dan bebatuan dingin akan turun, menciptakan lingkaran bebatuan cair yang keruh.

Di tepi atas mantel bawah, terdekat dengan permukaan Bumi, gaya-gaya konveksi ini membentuk dan mentenagai banyak gunung berapi dunia. Di tepi bawah, terdekat dengan inti Bumi, konveksi menarik bongkahan daratan ke bawah di mana mereka tersimpan seperti sendok tenggelam di dasar panci cokelat cair.

## **GUNUNG BERAPI**

Gunung berapi adalah lubang di atas titik-titik lemah di kerak Bumi di mana bebatuan cair panas naik ke permukaan. Terkadang bebatuan cair itu meledak keluar gunung dengan letusan dramatis. Di lain waktu, gunung berapi memercikkan abu dan uap. Pada esensinya, gunung berapi eksis untuk melepaskan panas dan batu dari mantel bawah. Alhasil, gunung berapi di permukaan Bumi menyediakan cara bagi ilmuwan untuk mempelajari mantel bawah.

Tidak semua gunung berapi bekerja dengan cara yang sama. Ilmuwan mengklasifikasikan berbagai tipe gunung berapi menurut cara pembentukan dan pentenagaannya. Pakar-pakar ilmu Bumi saat ini percaya bahwa sebagian besar gunung berapi terbentuk ketika batuan luar biasa panas di mantel bawah terdorong melewati mantel atas menuju permukaan Bumi.

### **Gunung Berapi Perisai**

Gunung berapi perisai tidak tampak dan tidak bertingkah seperti gunung berapi tipikal. Mereka lebih seperti benjolan di bawah permukaan Bumi, dengan sisi-sisi landai berjenjang yang dapat merentang sejauh bermil-mil. Mereka meletus perlahan-lahan dan terus-menerus selama waktu tertentu, ketimbang dengan ledakan besar dan mendadak.

Gunung berapi perisai ditenagai utamanya oleh basal cair yang keluar perlahan-lahan dan terus-menerus dari sebuah tempat di mantel bawah. Meletus bisa berlangsung dan berhenti, perlahan-lahan, selama bertahun-tahun. Lava, atau bebatuan cair, merembes keluar dan mendingin untuk lambat-laun menciptakan gunung-gunung landai raksasa.

Mauna Loa di Hawaii adalah gunung berapi perisai terbesar di Bumi. Menurut website Hawaii Center for Volcanology, Mauna Loa sudah meletus hampir 40 kali sejak awal 1800-an dan memiliki panjang 60 mil (97 km) dan lebar 30 mil (48 km). Seperti gunung berapi perisai lainnya, Mauna Loa tidak menimbulkan banyak bahaya mendadak bagi manusia sebab sifat lembam dan

tetap aliran lavanya memberi banyak waktu peringatan kepada penduduk sekitar untuk mengungsi.

Gunung berapi perisai juga lazim di planet lain. Venus, misalnya, punya lebih dari 150 gunung berapi perisai besar yang tampak mirip dengan gunung berapi perisai di Bumi. Mars adalah rumah bagi Olympus Mons, gunung berapi perisai terbesar di tata surya—ia jauh lebih besar daripada negara bagian Colorado.

## **Kerucut Sinder**

Kerucut sinder adalah tumpukan abu dan kepingan batu yang seringkali mengandung gelembung gas vulkanis yang terperangkap. Kerucut sinder biasanya terlihat lunak dan bundar, dengan kawah-kawah besar di tengahnya. Sisi-sisi kerucut sinder terlalu lemah sehingga gelembung lava besar di dalam seringkali mengalir keluar lewat sisi-sisi tersebut.

Kerucut sinder biasanya ditemukan dekat lubang vulkanis, area-area di permukaan Bumi di mana mantel melepaskan panas dan gas. Kerucut sinder paling sering menyembul di sisi-sisi gunung berapi perisai besar, di mana mantel bawah memerlukan tempat lain untuk melepaskan panasnya. Tapi kerucut sinder juga bisa timbul di tempat tak terduga.

Contoh kerucut sinder tak terduga yang paling dikenal adalah gunung kecil di Meksiko bernama Paricutin. Paricutin tak disangka-sangka menyembul dari sebuah ladang jagung Meksiko pada 1943 dari lubang vulkanis baru. Letusan berketerusan selama sembilan tahun, membangun kerucut sinder hingga ketinggian 1.391 kaki (2424 km), dan menghasilkan aliran lava yang menempuh 16 mil (25 km).

## **Gunung Berapi Strato**

Gunung berapi strato mirip gunung berapi klasik berpuncak runcing yang digambar anak-anak. Ia tersusun dari lapisan abu, lava mengeras, dan bebatuan lain yang terbentuk selama waktu tertentu.

Gunung berapi strato juga disebut gunung berapi campuran sebab mereka ditenagai oleh dua bahan dari mantel: letusan eksplosif lava dan letusan hening abu dan uap. Seraya bergantian antara letusan lava dan letusan abu, gunung berapi ini perlahan-lahan membangun tumpukan lapisan material. Karena meletus dengan berbagai cara, gunung berapi strato bisa menghasilkan kejutan tak menyenangkan bagi manusia.

Gunung St. Helens di Negara Bagian Washington adalah contoh klasik gunung berapi strato. Pada 1980, Gunung St. Helens meniup puncaknya dan merusak hampir 230 mil<sup>2</sup> (595 km<sup>2</sup>) hutan dan menyemburkan awan abu sejauh ribuan kaki ke udara, menurut website Mount St. Helens National Volcanic Monument. Letusan besar tahun 1980 itu berlangsung selama 9 jam. Sejak saat itu, gunung berapi tersebut memuntahkan abu dan uap secara hening, terus-menerus dan perlahan-lahan membangun kembali puncaknya. Pada 2004, lava meletus dari gunung tersebut, membawa pada periode penambahan lava baru-baru ini. Periode letusan lava dan letusan abu yang bergantianlah yang membuat gunung berapi strato tumbuh.

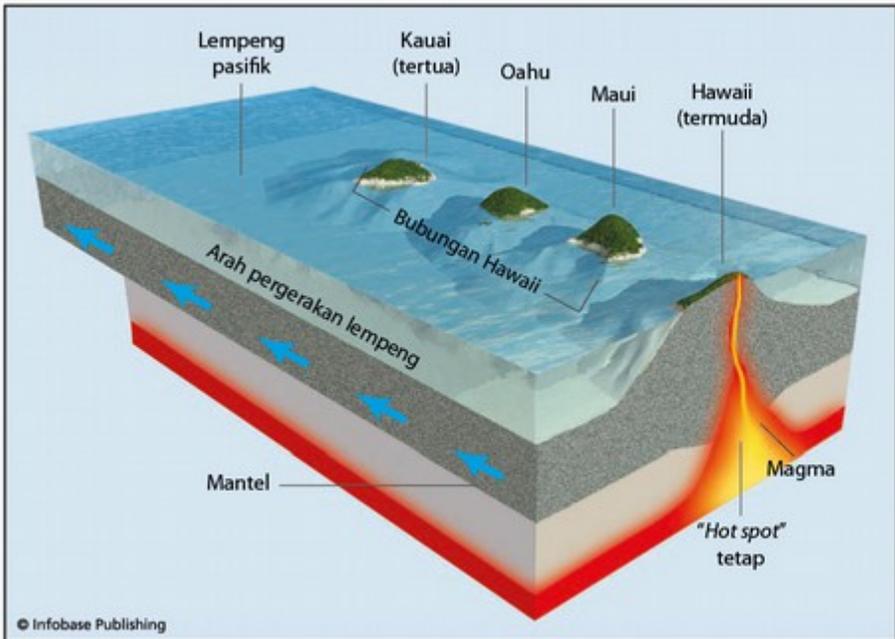
## **Gunung Berapi *Hot Spot***

Gunung berapi *hot spot* bisa terdapat di daratan atau lautan, dan acapkali memuntahkan lava secara dramatis. Ia terbentuk ketika gelembung bebatuan cair mantel menembus kerak Bumi.

Gunung berapi *hot spot* juga dikenal sebagai bulu-bulu mantel. Ilmuwan menduga bulu-bulu mirip pipa menetap di satu tempat di dalam planet ini, seperti semacam sedotan tak bergerak, sementara lempeng-lempeng bergerak sepanjang permukaan di atasnya. Selagi lempeng-lempeng bergerak di atas bulu-bulu mantel, bebatuan cair mantel naik untuk menciptakan rangkaian gunung berapi.

Yellowstone National Park di Wyoming, contohnya, adalah *hot spot* di bawah Lempeng Amerika Utara. Seraya lempeng bergerak perlahan ke barat dan baratdaya, *hot spot* tak bergerak di mantel bawah meletuskan jalur lubang

vulkanis melewati kerak Bumi. Letusan besar terakhir di Yellowstone terjadi sekitar 600.000 tahun lampau. Yellowstone merupakan salah satu dari beberapa *hot spot* yang dikenal di dunia. Contoh lainnya adalah rangkaian Kepulauan Hawaii, deretan gunung berapi perisai yang terbentuk di atas *hot spot* dikenal yang berawal di mantel bawah.



Kepulauan Hawaii, deretan gunung berapi perisai, terbentuk di atas hot spot yang berawal di mantel bawah.

## MEMAHAMI GUNUNG BERAPI

Walaupun ilmuwan tahu banyak soal gunung berapi, tentu saja masih ada banyak hal yang harus dipelajari. Bagaimana memprediksi secara tepat kapan sebuah gunung berapi akan meletus, misalnya, sama sekali belum dipahami. Ketika letusan terjadi, ilmuwan belum bisa memprediksi seberapa besar itu dan siapa saja yang akan terpengaruh di daratan atau udara. Dua pertanyaan besar ini sebagian besar belum terjawab. Jika mantel bawah membuat gunung berapi

berdetak, maka memahami lebih banyak tentang mantel bawah dapat membantu ilmuwan semakin memahami proses-proses vulkanis yang terlihat di permukaan Bumi.

Saat ini tak ada alat ilmiah untuk langsung mempelajari mantel bawah sebab ia begitu jauh di dalam Bumi. Namun, ilmuwan umumnya menggunakan instrumen seismologi dan Global Positioning System (GPS) untuk menarik kesimpulan tentang lapisan-lapisan dalam Bumi, termasuk mantel bawah. Dengan mempergunakan alat-alat ini di lokasi gunung berapi seperti Gunung St. Augustine di Alaska, ilmuwan berharap suatu hari nanti dapat memprediksi waktu dan besaran letusan.

## **Seismologi Augustine**

Seismologi adalah studi gelombang energi yang berjalan menembus Bumi. Instrumen bernama seismometer mencatat gelombang-gelombang energi ini, dan seismolog mempelajari catatan gelombang yang dihasilkan oleh gunung berapi, gempa, dan ledakan buatan manusia. Pola dan perilaku gelombang saat menembus mantel bawah dapat memberitahu ilmuwan tentang lapisan tersebut. Gelombang tertentu, misalnya, hanya menembus bebatuan padat dan tidak bisa menembus bebatuan cair. Ilmuwan memanfaatkan informasi semacam ini untuk menarik kesimpulan tentang komposisi mantel bawah yang tak terlihat.

Saat Augustine meletus pada 2006, para seismolog dan Alaska Volcano Observatory (AVO) di Universitas Alaska-Fairbanks sudah punya 15 seismometer untuk mencatat gemuruh gunung tersebut dan bebatuan sekitar. Memanfaatkan informasi yang dikumpulkan seismometer, ilmuwan sudah mengawasi gunung berapi Augustine selama bertahun-tahun.

Augustine meletus pada 1986 dan kemudian hening selama hampir 20 tahun. Pada 2005, seismolog AVO mencatat peningkatan lambat gempa di Augustine—sebuah isyarat jelas bahwa gunung tersebut sedang bersiap meletus lagi. Menurut data AVO, Augustine mengalami satu atau dua gempa dalam sehari pada awal Mei 2005. Pada Oktober, ada tiga sampai empat gempa dalam

sehari. Dan pertengahan Desember, ada sebanyaknya 15 gempa dalam sehari.

Ketika Augustine akhirnya meletus pada Januari 2006, ilmuwan AVO tidak terkejut. Mereka sedang menunggu Augustine meletus. Tapi mereka tak tahu seberapa besar letusan itu dan siapa saja yang terancam. Untungnya, letusan tahun 2006 itu tidak memakan korban jiwa. Tapi lain kali mungkin berbeda.

Kini seismolog sedang mempelajari letusan 2006 untuk mengetahui lebih banyak mengenai aktivitas dalam Augustine.

## **GPS di Augustine**

GPS menggunakan jaringan satelit di antariksa untuk berkomunikasi dengan instrumen GPS di Bumi guna menetapkan lokasi persis di permukaan planet. Instrumen-instrumen ini seringkali dijangkarkan secara permanen di sisi-sisi sebuah gunung berapi, misalnya, di mana mereka dapat mengkomunikasikan lokasi tepat mereka kepada satelit antariksa. Kapanpun tanah bergerak, instrumen bergerak bersamanya. Satelit di antariksa merekam pergerakan kecil ini. Instrumen GPS tidak langsung mempelajari mantel bawah. Tapi dengan merekam pergerakan di permukaan Bumi, ilmuwan berharap dapat memahami lebih banyak mengenai gaya-gaya yang mendorong pergerakan ini.

## **Mendengarkan Pergerakan Bumi: Maya Tolstoy, Seismolog Laut**

Seismolog laut Maya Tolstoy sedang menggali cara baru untuk mendengarkan letusan gunung berapi bawah laut dan gempa. Dia terutama fokus pada bubungan tengah samudera, tempat di laut dalam di mana lempeng-lempeng samudera saling memisah dan kerak baru terbentuk. Di tempat-tempat ini, aktivitas vulkanis dan gempa adalah hal lumrah—tapi seringkali sulit dilihat dan didengar.

Tolstoy adalah seismolog laut, ilmuwan yang mempelajari gelombang energi saat berjalan di dalam dan di bawah samudera, di Lamont Doherty Earth Observatory Universitas Columbia di New York City. Baru-baru ini dia memulai studi gelombang energi spesifik di samudera yang dikenal sebagai gelombang suara.

Ketika sebuah gunung berapi meletus di bubungan tengah samudera, itu hampir selalu disertai gempa. Bersama-sama, letusan dan gempa menghasilkan gelombang seismik—disebut **gelombang P** dan **gelombang S**—yang sering diteliti oleh ilmuwan untuk mempelajari lapisan-lapisan Bumi. Tapi peristiwa itu juga menghasilkan gelombang energi suara yang hanya dijumpai di samudera; gelombang ini disebut gelombang T, atau gelombang tersier.

Tolstoy merekam gelombang-gelombang T ini menggunakan mikrofon bawah laut yang dikenal sebagai hidrofon. Gelombang T dapat menempuh ribuan mil di bawah laut, jadi hidrofon sering menangkap suara semua gempa yang terjadi samudera. Pada waktu yang sama, hidrofon merekam semua suara lain di samudera—termasuk mesin kapal dan nyanyian paus—menghasilkan kumpulan campur-aduk suara rekaman.

Salah satu tantangan terbesar Tolstoy adalah memisahkan gelombang T yang dihasilkan oleh gunung berapi dan gempa dari semua suara lain yang terekam. Begitu dia memperoleh informasi seismik yang diinginkan, itu bisa membantunya dan ilmuwan lain untuk memahami apa yang terjadi di bubungan tengah samudera.

Di masa mendatang, Tolstoy ingin mendengarkan gelombang seismik di samudera secara *real time* (ketimbang merekamnya pada hidrofon lalu mendengarkannya setelah peristiwa terjadi). Tolstoy berkata: “Kita akan bisa melihat segala peristiwa di dasar laut saat betul-betul sedang berlangsung. Itu akan membuat perbedaan besar pada pemahaman kita. Dan memang sudah terwujud di area-area di mana kita memiliki pemantauan seismik *real time*.”

Saat ini ilmuwan mengoperasikan lima instrumen GPS di gunung Augustine untuk memonitor pergerakan permukaannya. Berdasarkan informasi yang direkam oleh instrumen GPS tersebut sejauh ini, ilmuwan AVO menduga bahwa bilik magma Augustine sedang tumbuh. Sisi-sisi gunung berapi itu perlahan meluas, mengindikasikan bahwa bilik magma sedang menambah bahan bakar—menambah suplai lava baru—untuk letusan berikutnya.

Di masa lalu, Augustine meletus secara bertahap. Satu letusan besar hampir mengosongkan bilik magmanya, dan kemudian diikuti oleh banyak letusan kecil

yang membantu membangun kembali dan menambah bahan bakar gunung tersebut. Sekarang, ilmuwan sedang mengawasi gunung berapi ini secara harian untuk melihat perilaku berikutnya.

Seorang ilmuwan, Jeff Freymueller dari AVO, berkata bahwa “menangkap secara harian, bahkan jam, pergerakan gunung berapi dalam *real time* menghadirkan dimensi baru pada penelitian gunung berapi.” Harapannya, pemantauan mendalam seperti itu akan membantu ilmuwan lebih memahami Bumi yang aktif. Augustine hanyalah salah satu dari tempat-tempat yang dipelajari para ilmuwan untuk mempelajari lebih banyak mengenai gunung berapi.

## **EarthScope: Memahami Lapisan Bumi**

Instrumen GPS di gunung berapi Augustine hanyalah bagian kecil dari proyek sains besar bernama EarthScope. Sasaran utama EarthScope, menurut websitenya, adalah “menggali struktur dan evolusi benua Amerika Utara dan memahami proses-proses yang mengendalikan gempa dan gunung berapi.” Proyek miliaran dolar yang didanai pemerintah federal itu adalah upaya terbesar dalam memahami lapisan-lapisan Bumi kita yang aktif.

Untuk memenuhi sarannya, para ilmuwan EarthScope menggunakan alat berbeda-beda untuk menyelidiki Bumi di Amerika Utara. Masing-masing alat memiliki maksud riset berbeda. EarthScope terbagi ke dalam tiga proyek utama yang menggunakan tiga alat berbeda ini: SAFOD, PBO, dan USArray.

SAFOD adalah singkatan dari San Andreas Fault Observatory at Depth. Sasaran proyek ini adalah mengebor lubang sedalam 1,9 mil (3 km) ke dalam kerak Bumi lewat zona gempa sepanjang 800 mil (1.300 km) di California. Dengan membuat lubang semacam itu di kerak, ilmuwan dapat mengukur langsung perubahan di permukaan Bumi selama gempa untuk pertama kalinya dalam sejarah.

PBO adalah singkatan dari Plate Boundary Observatory. Proyek ini dirancang untuk mengukur pergerakan skala milimeter tanah dekat gunung berapi dan di zona gempa menggunakan instrumen GPS. Bilamana rampung, PBO akan mencakup lebih dari 900 instrumen di seantero barat AS dan Alaska. Bersama-sama, instrumen-instrumen ini akan

mengukur bagaimana tanah di kawasan ini bergeser dan meregang. PBO mengukur pergerakan di kerak Bumi untuk mempelajari proses di mantel Bumi.

USArray (United States Array) adalah jaringan seismometer yang dibangun seperti selimut di atas Amerika Serikat yang dapat dipindah-pindah. Seismometer akan merekam gelombang energi yang berjalan jauh di dalam lapisan Bumi, termasuk yang melintasi mantel bawah. Pada musim panas 2007, ilmuwan USArray telah memasang hampir 400 seismometer (dari sekitar total 1.000 yang direncanakan) pada jaringan di atas wilayah barat negara. Selama 15 tahun ke depan, banyak dari instrumen ini akan “berguling” di atas negeri, bergerak dari tempat ke tempat dan menghasilkan jaringan informasi yang diambil dari seantero benua. USArray fokus mempelajari proses-proses di mantel atas dan bawah.



*Terlihat di sini adalah San Anfreas Fault Observatory at Depth, atau SAFOD—salah satu alat yang dipakai oleh EarthScope.*

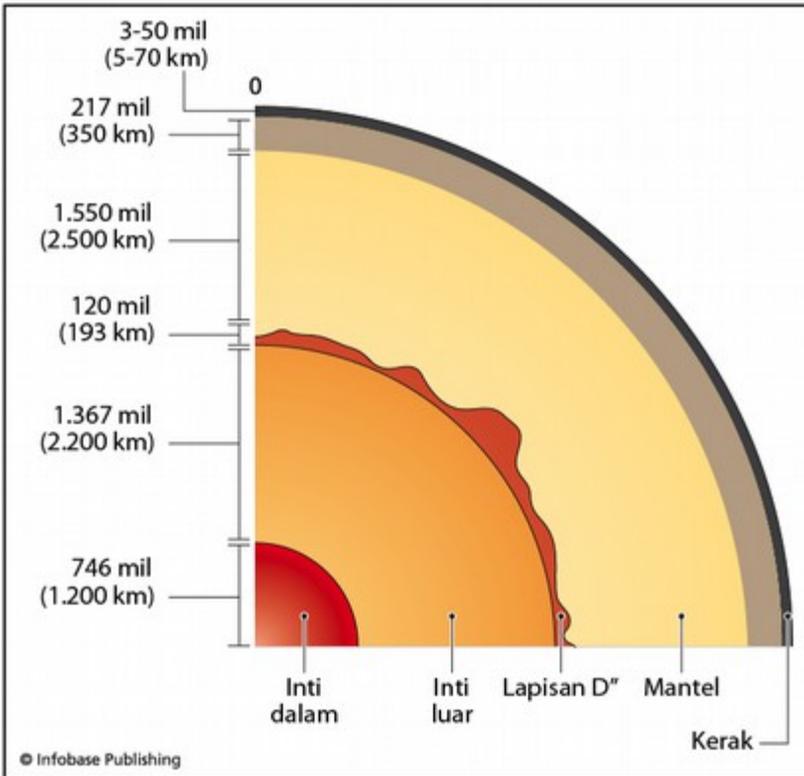
## **KUBURAN KERAK**

Di bawah mantel bawah terdapat apa yang dikenal sebagai kuburan kerak—lapisan misterius di bagian terbawah mantel bawah. Kuburan kerak seperti terbuat dari lempingan batu besar setebal ratusan mil. Ilmuwan menyebutnya lapisan D” (singkatan dari “D double prima”).

Lapisan D” setebal 120 mil (193 km) itu pertama kali terdeteksi dan disebutkan oleh para seismolog di akhir 1940-an. Sejak saat itu, ilmuwan sudah

mencoba memahami terbuat dari apa persisnya ia dan mengapa ada di sana.

Salah satu gagasan adalah bahwa lapisan D'' terbuat dari kerak benua tua yang disubduksi oleh mantel tapi tak pernah meleleh, akhirnya tenggelam dan terperangkap di dasar mantel bawah. Lapisan D'' boleh jadi terbuat dari material yang mencecer dari inti pusat Bumi. Ia boleh jadi merupakan suatu batu baru yang terbentuk di dalam Bumi. Atau boleh jadi merupakan kuburan kerak benua.



Teka-teki lapisan D'' masih menjadi misteri bagi ilmuwan.

Tak ada yang tahu jawabannya, tapi tak diragukan lagi suatu proses sedang berlangsung di dalam mantel bawah yang membentuk dan memelihara lapisan D'' tersebut. Barangkali suatu hari nanti ilmuwan akan memecahkan misteri ini.

## GELOMBANG P DAN S

Sebetulnya segala hal yang diketahui tentang kuburan kerak dan mantel bawah berasal dari ilmu seismologi. “*Seismos*” adalah kata Yunani yang berarti “guncangan”. Seismologi secara harfiah adalah studi “guncangan” Bumi.

Hanya beberapa hal yang dapat menyebabkan Bumi bergoncang: hantaman meteorit besar, ledakan buatan manusia, gempa, dan gunung berapi. Masing-masing kejadian ini seperti melemparkan kerikil ke kolam: mereka mengeluarkan gelombang energi yang berjalan dari sumbernya dengan cara yang bisa diprediksi.

Dengan mempelajari gelombang-gelombang energi ini dan cara mereka berjalan di dalam Bumi, ilmuwan mengetahui lebih banyak tentang bebatuan apa yang ada dan apakah bebatuan itu cair ataukah padat. Ada dua bentuk gelombang energi utama yang berjalan melintasi Bumi: gelombang P dan gelombang S.

Ketika peristiwa yang menggoncang Bumi terjadi, gelombang energi pertama dan tercepat yang berjalan melintasi planet ini adalah gelombang primer, atau gelombang P. Gelombang P memampatkan dan meregangkan Bumi dari sisi ke sisi seperti akordeon ke arah perjalanannya. Gelombang P bergerak melewati benda padat dan cair. Gelombang suara yang berjalan di udara adalah contoh gelombang P.

Gelombang energi kedua dan rendah yang berjalan melintasi planet setelah peristiwa goncangan adalah gelombang sekunder, atau gelombang S. Gelombang S bergerak ke dua arah: dari sisi ke sisi dan atas-bawah. Gelombang S juga dikenal sebagai gelombang sesar. Gelombang di lautan beraksi seperti gelombang S.

Sementara gelombang P dapat berjalan melewati benda padat maupun cair, gelombang S tidak dapat melewati benda cair. Ketika mengenai cairan di dalam planet, gelombang S tidak dapat dideteksi oleh seismometer. Ilmuwan memakai gelombang P dan S untuk mempelajari tempat-tempat menarik di lapisan Bumi. Lapisan D”, kantung magma di bawah gunung berapi, dan inti Bumi ditemukan

(dan kini dipelajari) dengan memanfaatkan seismologi.

Para seismolog juga telah mempelajari area di pusat Bumi, di bawah mantel bawah. Ini adalah area yang sebagian padat, sebagian cair, dan berotasi seperti laher di dalam Bumi. Ia disebut inti Bumi.

## 5 INTI LUAR

**I**nti luar planet Bumi terletak persis di bawah mantel bawah dan mirip lingkaran tebal kehijauan yang terkadang mengelilingi kuning telur rebus. Tapi tak seperti material di mantel yang menyusunnya sampai permukaan Bumi, material di inti luar tidak menuju ke manapun. Walaupun begitu, meski jauh di dalam Bumi sana, material dan proses yang berlangsung di dalam inti luar masih memiliki dampak besar terhadap kehidupan manusia. Nyatanya, inti luar melindungi kehidupan di permukaan Bumi.

### **DASAR-DASAR TENTANG INTI LUAR**

Inti luar terbuat dari logam cair yang terus bergerak. Gerakan ini membantu menghasilkan **medan magnet** planet—medan gaya tak tampak yang membuat kompas menunjuk ke utara dan menolong burung terbang ke selatan. Barangkali yang lebih penting daripada sekadar menyediakan alat navigasi, medan magnet melindungi Bumi dari objek-objek berbahaya di angkasa.

Matahari, misalnya, bisa berbahaya. Ia memancarkan lebih dari sekadar kehangatan dan cahaya; bintang planet kita tersebut terus memancarkan arus partikel energi yang disebut angin surya. Kebanyakan partikel angin surya mengangkut muatan listrik yang bisa berbahaya bagi manusia dan benda-benda buatan manusia.

Medan magnet, dihasilkan oleh inti Bumi, melindungi permukaan planet dari angin surya tersebut. Ketika angin surya mengenai medan magnet sekeliling planet, itu terdefleksi seperti air yang mengalir di sekitar haluan kapal. Partikel energi berbahaya ini mengalir melewati Bumi. Tanpa medan magnet, Bumi akan menjadi tempat yang tak menarik untuk ditinggali.

### **Ketebalan**

Inti luar bertebal sekitar 1.367 mil (2.200 km). Sedikit lebih tipis dibanding

mantel bawah, tapi masih merupakan salah satu lapisan tertebal di planet ini. Bumi sebagian besarnya tersusun dari mantel bawah dan inti luar.

## Komposisi

Dengan temperatur antara 4.000 °F sampai 9.000 °F (2.204 °C sampai 4.982 °C), inti luar, berbeda dari lapisan Bumi lainnya, adalah logam cair. Ia utamanya mengandung besi—bahan utama baja yang dipakai untuk membuat mobil dan kapal—serta sedikit nikel. Sekitar 10% adalah unsur-unsur lain, kemungkinan besar oksigen dan sulfur.

Belum ada yang betul-betul mengambil sampel material di inti Bumi. Komposisinya disimpulkan dari dua hal: informasi seismologi tentang ukuran dan densitas inti, dan informasi meteorit tentang pembentukan planet.

Besi adalah logam berat dan padat yang memperlambat perjalanan gelombang seismik melintasi planet. Sebagian besar planet-planet padat di tata surya kita dipercaya memiliki inti padat yang terbuat dari besi dan nikel, bahan utama pada meteorit besi. (Besi dan nikel adalah unsur terakhir yang dihasilkan oleh bintang-bintang besar sebelum meledak.)

## Umur

Inti luar kemungkinan setua planet Bumi sendiri, barangkali sekitar 4,5 miliar tahun. Walaupun tak ada yang tahu pasti, beberapa ilmuwan menyatakan bahwa inti ini terbentuk di masa 100 juta tahun pertama sejarah Bumi.

## GAYA DI INTI LUAR

Ada dua hal utama yang berpengaruh terhadap logam cair di inti luar: **panas** dan **gravitasi**. Ketika panas dan gravitasi berinteraksi dengan rotasi alami Bumi di angkasa, logam di inti luar bisa mengalir dan bergerak ke semua arah.

Panas adalah bentuk energi yang dihasilkan oleh pergerakan kecil partikel di dalam unsur-unsur. Sebuah objek menjadi panas saat banyak partikel di dalamnya bergerak dengan energi besar. Sebuah objek menjadi dingin ketika

hanya ada sedikit pergerakan dan sedikit energi. Panas di dalam inti luar menjaga logam tetap cair, memungkinkannya untuk bergerak.

Gravitasi adalah gaya tarik di antara dua objek yang memiliki massa. Gravitasi adalah yang membuat air mengalir menuruni bukit dan bola jatuh ke tanah. Di inti luar Bumi, gravitasi juga membuat logam bergerak.

Bersama-sama, panas dan gravitasi dipengaruhi oleh rotasi alami planet. Bumi terus berotasi, atau berputar, seperti gasing yang bergerak lambat. Waktu yang dibutuhkan planet ini untuk menyelesaikan satu putaran penuh disebut oleh manusia sebagai sehari.

Rotasi harian Bumi mempengaruhi segala sesuatu di planet—contohnya, itu menghasilkan malam dan siang dan berefek terhadap angin dan gelombang—tapi beberapa efeknya tidak begitu mudah terlihat atau dijelaskan, di antaranya adalah dampak rotasi Bumi terhadap gaya-gaya di inti luar. Tapi dampaknya nyata.

## **MEDAN MAGNET**

Bumi sendiri merupakan magnet raksasa. Sebagian besar orang akrab dengan magnet kecil—kepingan logam yang sering menghiasi pintu kulkas. Tapi tidak banyak orang menyadari bahwa Bumi adalah magnet raksasa dengan medan magnetnya sendiri.

### **Jejak Medan Magnet**

Manusia harus berterima kasih kepada medan magnet Bumi atas penampakan aurora borealis dan aurora australis, yang juga dikenal sebagai cahaya utara dan cahaya selatan. Aurora adalah penampakan cahaya bergerak di langit malam. Mereka bisa berwarna merah, hijau, biru, atau campuran warna, dan umumnya terlihat dekat kutub utara dan selatan.

Aurora terjadi ketika partikel-partikel angin surya mengenai medan magnet Bumi lalu dialihkan ke arah kutub planet kita. Di kutub, partikel angin surya ini berinteraksi dengan gas-gas di atmosfer Bumi dan melepaskan energi sebagai partikel cahaya, yang disebut **photon**.



Aurora penuh warna, seperti yang di atas, terjadi ketika tubrukan gas dan partikel angin surya terjadi di atmosfer Bumi.

Berbagai warna cahaya dihasilkan, tergantung tipe gas yang ada dan di ketinggian berapa tubrukan terjadi di atmosfer. Aurora merah terjadi ketika tubrukan berlangsung di ketinggian amat tinggi; cahaya hijau terjadi di ketinggian pertengahan; dan cahaya biru terjadi ketika tubrukan berlangsung di ketinggian rendah. Menurut beberapa kalkulasi, sekurangnya harus terjadi 100 juta tubrukan antara partikel angin surya dan gas atmosfer agar aurora bisa terlihat dari permukaan Bumi.

Tapi karena Bumi bukanlah satu-satunya planet yang memiliki medan magnet, ia juga bukan satu-satunya planet yang mengalami penampakan aurora. Sepanjang sebuah planet memiliki medan magnet dan atmosfer, ia akan mempunyai aurora yang tidak berbeda dari yang ada di Bumi.

Yupiter dan Saturnus, misalnya, memiliki penampakan auroranya sendiri. Juga, seperti Bumi, aurora ini cenderung berbentuk oval mengelilingi kutub di planet-planet tersebut. Aurora oval bisa dilihat pada foto-foto yang diambil di angkasa sebagai lingkaran-lingkaran cahaya kecil, seperti halo raksasa yang melingkungi tiap kutub. Dalam banyak kasus, aurora-aurora ini tidak berwarna merah, hijau, dan biru seperti di Bumi. Justru, mereka seringkali tersusun dari cahaya ultraviolet yang hanya dapat dilihat dalam foto khusus.

Untuk melihat aurora bumi, sebaiknya pergi ke ujung utara atau selatan planet kita ketika malam sangat gelap dan Matahari sangat aktif, yakni memancarkan banyak partikel angin surya yang ditimbulkan oleh badai surya dan suar surya. Semakin banyak partikelnya, semakin besar kesempatan melihat penampakan aurora yang dramatis dan besar.

Medan magnet planet ini belum dipahami sepenuhnya, tapi diperkirakan merupakan lapisan muatan listrik yang bergerak yang mengelilingi Bumi. Medan magnet menyebabkan partikel-partikel di dalam unsur-unsur berbaris dengan cara yang bisa diprediksi dan berpola. Semua magnet memiliki medan magnet, tapi beberapa medan jauh lebih kuat daripada yang lain. Medan magnet memungkinkan magnet hiasan kulkas menempel, membuat kompas menunjuk ke utara, dan melindungi planet-planet dari arus energi berbahaya di angkasa. Medan magnet Bumi eksis berkat proses yang berlangsung di dalam inti luar. Tanpa medan magnet, planet ini tidak akan seperti sekarang.

## Geodinamo

Inti luar Bumi sebetulnya merupakan **geodinamo**, mekanisme yang menghasilkan medan magnet planet. Hari ini di Bumi, geodinamo membuat utara menunjuk ke utara dan selatan menunjuk ke selatan.

Perlu tiga gaya untuk membuat geodinamo Bumi bekerja: gerakan, listrik, dan medan magnet. Kapanpun gerakan dan listrik hadir, medan magnet akan tercipta. Inti luar planet kita punya ketiganya.

Besi cair di inti luar terus bergerak. Gaya panas dan gravitasi planet ini, berkombinasi dengan rotasi alami planet, menjaga logam cair itu tetap bergerak.

Besi cair di inti luar juga mengandung listrik. Secara teknis, listrik sebetulnya hanyalah partikel bermuatan yang bergerak. Partikel-partikel yang menyusun besi di inti luar tentu saja bermuatan—yakni, mempunyai muatan positif atau negatif—dan mereka bergerak.

Alhasil, inti luar menghasilkan medan magnet dan, karena inti luar begitu

besar, medan magnet tersebut juga sangat besar: cukup besar hingga membentang jauh melewati planet dan menembus ruang angkasa. Medan magnet Bumi melakukan dua hal: menyediakan cara bagi manusia untuk menyatakan arah, dan melindungi planet dari benda berbahaya di angkasa.

## **Menunjuk Arah**

Ketika medan magnet berkasi, partikel-partikel di medan tersebut akan selalu menunjuk ke arah tertentu, biasanya disebut utara. Terkadang arah medan magnet jelas dan bermanfaat, dan terkadang tidak.

Kompas adalah alat yang menjadikan medan magnet Bumi jelas dan bermanfaat untuk navigasi berkat jarumnya yang selalu menunjuk ke kutub utara planet. Manusia sudah memanfaatkan kompas (dan medan magnet inti luar) untuk menentukan arah sejak sekurangnya abad 12.

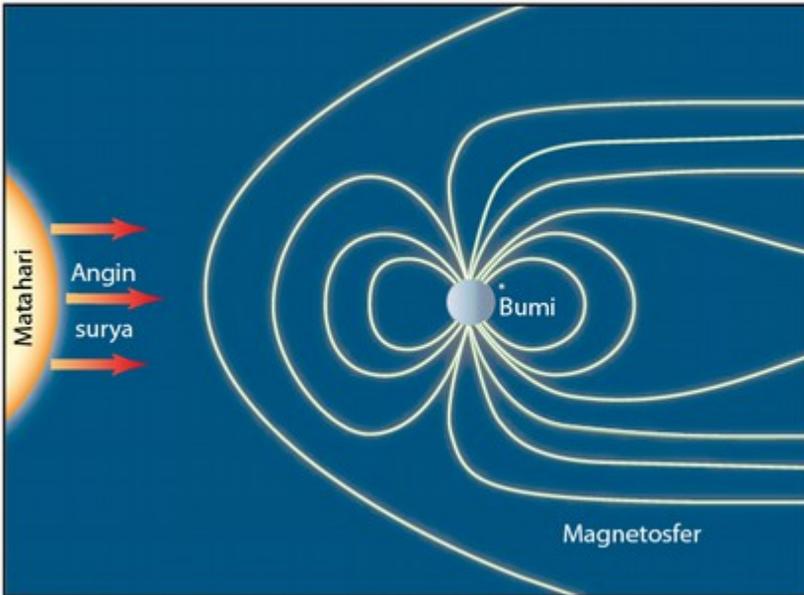
Yang kurang jelas, tapi tetap bermanfaat, setidaknya bagi geolog, adalah arah material logam di dalam bebatuan. Ketika batu baru naik ke permukaan Bumi sebagai magma, semua logam di dalam batu tersebut berbaris menunjuk ke utara, dan mereka terus menunjuk ke utara selama batu tersebut kokoh. Informasi ini bisa membantu ilmuwan memahami kapan sebuah batu mencapai permukaan Bumi.

## **Melindungi Planet**

Arus listrik yang menyusun medan magnet Bumi bertindak sebagai perisai yang melindungi planet dari angin surya Matahari, arus partikel tetap yang membombardir segala sesuatu di angkasa. Ketika angin surya mencapai Bumi, medan magnet mendefleksikan partikel berbahaya itu ke kutub Bumi. Sebagian besar partikel angin surya tak pernah mencapai permukaan planet ini.

Tanpa perisai pelindung yang dihasilkan medan magnet inti luar, kehidupan di Bumi akan lain. Arus angin surya yang mengenai Bumi dapat melakukan banyak hal: dapat mempengaruhi sistem listrik manusia di permukaan Bumi, mengacaukan komunikasi satelit di angkasa, dan secara temporer memperlebar

lubang di lapisan pelindung sekeliling Bumi, dikenal sebagai lubang ozon.



Medan magnet Bumi melindungi planet kita dari angin surya Matahari, yang dapat berefek merusak jika mengenai Bumi secara langsung.

## Bertukar Kutub

Secara rata-rata, kutub utara dan selatan Bumi bertukar tempat setiap 250.000 tahun. Selama periode ini, medan magnet Bumi membalik diri selama ribuan tahun sehingga utara menjadi selatan dan selatan menjadi utara.

Pembalikan kutub terakhir terjadi sekitar 780.000 tahun lampau. Tapi ini bukan berarti manusia akan menyaksikan pertukaran mendadak. Di masa lampau, Bumi pernah menjalani hidup selama 35 juta tahun tanpa bertukar kutub. Tak ada yang tahu persis mengapa pertukaran terjadi—tapi itu semua terkait dengan proses di inti luar.

Satu gagasan yang mungkin menjelaskan pembalikan medan magnet berfokus pada perbatasan antara mantel bawah dan inti luar. Di situ, kata beberapa ilmuwan, kantung-kantung besi terperangkap. Jika magnetisme

kantung-kantung besi ini diarahkan ke arah yang berbeda dari magnetisme Bumi, itu bisa menyebar dan mempengaruhi seluruh inti. Akhirnya ini dapat menimbulkan pembalikan medan magnet. Tapi tak ada yang yakin.

Banyak ilmuwan sedang mempelajari dan mengukur medan magnet Bumi untuk diketahui lebih banyak. Kekuatan medan pertama kali diukur pada 1830-an, menggunakan kombinasi observasi magnet dan persamaan matematika, oleh Carl Friedrich Gauss. Gauss pertama kali menetapkan satuan magnetisme yang mengukur kekuatan medan magnet (gauss), lalu mengembangkan metode matematis untuk mengukur magnetisme medan Bumi. Hari ini, medan magnet Bumi sekitar 10% lebih lemah dibanding pengukuran pertama oleh Gauss. Tapi karena kemungkinan besar perlu ribuan tahun untuk berbalik, ilmuwan tak khawatir.

## **Memodelkan Bumi: Gary Glatzmaier, Pemodel Komputer**

Pemodel komputer, Gary Glatzmaier, mengembangkan model-model bumi tiga-dimensi dengan komputer untuk mempelajari planet dan bintang. Model komputer adalah program komputer besar di mana ilmuwan bisa menginput informasi yang diketahui dan memprediksi apa yang mungkin terjadi di masa mendatang untuk situasi tertentu. Model-model komputer digunakan untuk mensimulasikan peristiwa di benda langit, di langit, dan di Bumi.

Glatzmaier adalah profesor ilmu Bumi dan planet di Universitas California-Santa Cruz (UCSC) dan merupakan orang pertama yang membuat model komputer yang berhasil menyimulasikan geodinamo Bumi.

Dengan menggunakan model geodinamo Glatzmaier, para ilmuwan mengetahui banyak hal baru tentang Bumi. Model itu memperlihatkan suatu cara pembentukan medan magnet Bumi oleh inti luar dan juga menunjukkan bahwa medan magnet mungkin membalik kutub-kutubnya. Model itu juga memprediksi bahwa inti dalam bumi mungkin berotasi lebih cepat daripada keseluruhan planet kita. Prediksi ini kemudian dikonfirmasi oleh observasi seismik dan data.

Saat ini penelitian Glatzmaier fokus pada planet-planet raksasa, termasuk Saturnus, dan pada Matahari. Model-model bagian dalam Matahari telah menunjukkan bagaimana gelombang gravitasi di interior Matahari bisa terpengaruh oleh tepi luar Matahari. Dalam penelitian lain, Glatzmaier sedang menciptakan model-model letusan gunung berapi di permukaan Bumi dan di mantel.

Glatzmaier berharap tiap model akan membantu ilmuwan sedikit lebih memahami lapisan-lapisan Bumi dan cara kerjanya.

## **MEMAHAMI MEDAN MAGNET**

Manfaat medan magnet Bumi—dan kemungkinan pembalikan kutub—mengingatkan manusia bahwa sesuatu yang jauh dan tak terlihat semisal inti luar masih bisa mempengaruhi kehidupan di permukaan planet ini.

Karena inti luar Bumi tidak mudah dilihat atau diukur, ilmuwan menggunakan metode tak langsung untuk mempelajari proses-prosesnya. Model-model komputer, program komputer rumit yang mensimulasikan proses di Bumi, umum dipakai untuk memprediksi dan memahami perilaku inti. Seismologi, tulang punggung ilmu Bumi tak langsung, digunakan untuk mempelajari inti luar maupun inti dalam.

## 6 INTI DALAM

**I**nti dalam planet Bumi terletak di bawah inti luar, dan mirip kuning telur rebus yang padat. Di sini, di pusat Bumi, temperatur mencapai 9.000 °C (5.000°C), hampir sepanas permukaan matahari. Para ilmuwan menduga sebagian besar panas ini tersisa dari pembentukan planet, dan telah tersimpan di inti dalam selama miliaran tahun.

Walaupun manusia sebagian besar tersekat dari panas hebat inti dalam, inti ini masih memainkan peran besar dalam membentuk planet dalam kehidupan sehari-hari. Panas inti dalam menentagai gaya konveksi di mantel, membantu proses-proses pembentukan permukaan seperti gunung berapi dan tektonika lempeng. Tanpa panas inti dalam, kata beberapa ilmuwan, Bumi akan membeku padat sejak berribu-ribu tahun lampau.

### **DASAR-DASAR TENTANG INTI DALAM**

Baru-baru ini terdapat bukti bahwa inti dalam lebih dari sekadar pemanas Bumi. Rupanya inti dalam berotasi sendiri di dalam planet, seperti planet kecil di dalam planet besar. Ilmuwan menyatakan bahwa rotasi inti dalam barangkali memiliki efek terhadap medan magnet planet ini, tapi belum ada yang tahu dampak atau signifikansi persisnya.

### **Ketebalan**

Inti dalam adalah bola padat berdiameter sekitar 746 mil (1.200 km), hampir seukuran dengan bulan. Tak seperti lapisan Bumi lainnya, inti dalam merupakan bola logam padat. Tak ada lapisan lain di dalamnya. Inti dalam betul-betul pusat planet ini.

## **Komposisi**

Inti dalam memiliki komposisi dasar yang sama dengan inti luar: ia mengandung utamanya besi serta sedikit nikel, 10% sisanya adalah unsur lain.

Inti dalam tidak cair, melainkan padat. Ini karena ia berada di bawah tekanan besar—tepatnya sekitar 930 pon per kaki kubik (15 gram per centimeter kubik). Itu sekitar 14 juta kali tekanan yang dirasakan manusia di permukaan Bumi. Di bawah tekanan sebesar ini, molekul-molekul di inti tidak dapat bebas bergerak seperti cairan.

## **Umur**

Inti dalam, seperti inti luar, sama tuanya dengan planet Bumi. Beberapa ahli bumi menyatakan bahwa inti ini terbentuk di masa 100 juta tahun pertama sejarah Bumi. Menurut penaksiran ini, inti dalam berumur sekitar 4,5 miliar tahun.

## **GAYA DI INTI DALAM**

Gaya-gaya yang bekerja di inti dalam sebagian besar masih misteri. Karena inti dalam merupakan bola logam padat, ia jauh berbeda dari lapisan Bumi lainnya. Tak ada pergerakan benua, konveksi bebatuan, atau gunung berapi *hot spot* (atau belum ditemukan sejauh ini). Inti dalam adalah lingkungan yang jelas berbeda dari seluruh lapisan Bumi.

Ilmuwan menduga ada dua gaya yang bekerja di situ: panas dan listrik. Meski panas yang tersisa dari pembentukan planet membantu memanaskan Bumi hari ini, itu timbul sebagai rembesan lambat yang keluar dari inti dalam menuju permukaan. Di samping itu, arus listrik, yang sebagian besar dihasilkan oleh pergerakan logam di inti luar, mungkin merupakan gaya yang menggerakkan rotasi inti dalam. Akan tetapi kedua gaya belum dipahami dengan baik. Belum saja.

## MESIN PANAS INTI DALAM

Semua lapisan Bumi di bawah kerak melepas panas, termasuk inti dalam. Menurut Chris Marone, profesor ilmu bumi di Pennsylvania State University, lapisan-lapisan di bawah kerak menghasilkan panas yang cukup untuk memasak sekitar 200 cangkir kopi panas setiap jam untuk seluruh 6,2 miliar orang di planet ini. Panas ini bukan kebetulan berada di sana.

Beberapa ilmuwan percaya bahwa panas Bumi berasal dari empat sumber. Dua sumber pertama berasal dari mantel: radioaktivitas dan panas gravitasi. Selain dua sumber ini, ada panas sisa dari pembentukan Bumi, dan panas dari inti yang mengembang. Walaupun sebagian besar panas planet berada di mantel, inti dalam juga merupakan sumber penting.

### Radioaktivitas di Mantel

Sekitar 90% panas yang datang dari dalam Bumi, disebut panas **geotermal**, disebabkan oleh unsur-unsur radioaktif di mantel. Unsur-unsur tersusun dari atom; masing-masing atom memiliki pusat yang disebut nukleus.

Nukleus tipe atom radioaktif melepas energi hingga mencapai titik stabil. Di titik stabil ini, energi atom seimbang dan ia berhenti bergerak. Unsur-unsur di mantel—meliputi tipe potasium, uranium, dan thorium tertentu—bersifat radioaktif. Saat melepas energi, mereka memanaskan mantel dan seluruh planet. Radioaktivitas bertanggungjawab atas penghasilan sebagian besar panas planet ini.

### Panas Gravitasi

Panas gravitasi di dalam mantel menyediakan sekitar 5% sampai 10% panas Bumi. Ia dihasilkan oleh pergesekan dan pergelinciran batu-batu di dalam Bumi, seperti ketika logam bergesek di atas jalan hingga menghasilkan percikan.

Gaya di balik pergesekan ini adalah gravitasi (inilah sebabnya disebut panas gravitasi). Gravitasi menarik bebatuan padat dan berat menuju inti Bumi. Bebatuan ini bergesekan dan bergelincir melewati bebatuan lain dalam per-

jalanannya. Pergesekan, atau friksi, ini menyumbang bagian kecil panas planet.

## **Ketika Bumi Menjadi Bulan**

Bulan milik Bumi adalah satelit dingin dan mati. Ia kemungkinan besar terbentuk miliaran tahun lampau ketika sebangkah puing seukuran planet Mars menghantam Bumi dan menghasilkan potongan batu besar. Batu itu akhirnya menetap di orbit sebagai bulan tunggal Bumi.

Lantaran bersumber dari Bumi ini, bulan mengandung banyak bebatuan yang sama dengan Bumi dan bahkan memiliki kesamaan struktur dalam berlapisan dan dasar yang terdiri dari kerak, mantel, dan inti. Tapi bulan tidak memiliki hal lain yang membantu mewujudkan kehidupan di Bumi, meliputi atmosfer, air, oksigen layak hirup, dan—meski tak terlihat oleh kita yang tinggal di atas kerak—panas inti.

Bulan tidak punya cukup panas internal untuk memelihara lingkungan tinggal seperti Bumi. Temperatur di permukaan bulan jatuh ke angka  $-243^{\circ}\text{F}$  ( $-153^{\circ}\text{C}$ ) di malam hari. Inti bulan diperkirakan sama dinginnya, tapi tak ada yang mengetahui temperaturnya.

Begitu Bumi perlahan kehilangan panas inti sampai mantel, dan inti padat bertumbuh, beberapa pihak mengatakan planet ini akan menghadapi masa depan yang dingin. Beberapa ahli bumi berspekulasi bahwa, miliaran tahun di masa depan, inti Bumi akan mendingin dan tumbuh cukup besar hingga mengambilalih mantel dan menemui kerak Bumi. Pada masa itu, kata mereka, Bumi akan sedingin dan semati bulan.

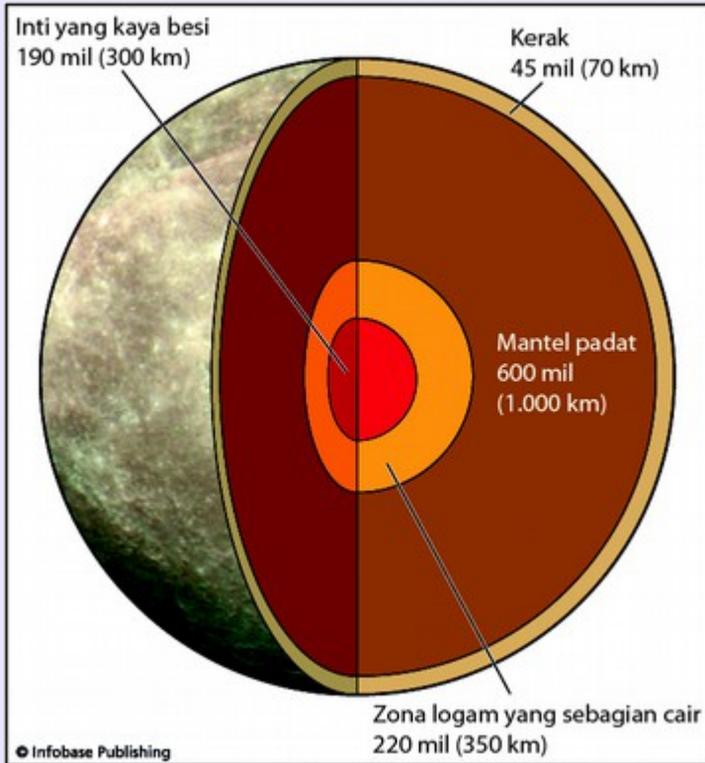
## **Panas Sisa dari Pembentukan Bumi**

Sekitar 5% sampai 10% panas Bumi tersisa dari pembentukan Bumi. Ini terkadang disebut sebagai “panas asal” Bumi. Ketika terbentuk sekitar 4,5 miliar tahun lampau, planet kita merupakan bola gas dan batu mendidih yang terus mendingin sejak saat itu.

Lapisan luar kerak Bumi mendingin dan mengeras lebih duluan (sebagaimana air di baki es batu ketika diisi penuh dan air mulai membeku; lapisan luar es batu membeku dan mengeras lebih duluan). Kerak memperangkap sisa panas

asal di dalam planet. Karena inti terbentuk lebih duluan, ia menyimpan sebagian besar panas asal.

## BULAN



Bulan mengandung banyak bebatuan yang sama dan struktur dalam berlapis-lapis dan dasar yang sama—kerak, mantel, dan inti—dengan Bumi.

### Perluasan Inti

Sisa panas Bumi datang dari perluasan inti dalam. Inti dalam tumbuh sekitar 5 inchi (1 cm) setiap 1.000 tahun. Pertumbuhan ini disebabkan oleh mendinginnya

inti luar, yang melepas panas, dan menambah lapisan padat pada pusat Bumi.

Sebagaimana air berubah menjadi es padat ketika mendingin melampaui titik [beku] tertentu, logam cair di inti luar juga menjadi padat begitu mendingin. Logam padat yang baru mendingin ini tersimpan di bagian luar inti dalam, perlahan-lahan mengembangkan ukuran inti dalam. Inti dalam tumbuh sekitar 0,01 inchi (0,3 mm) per tahun. Pada waktunya, inti dalam dan inti luar bisa bergabung menjadi bola logam padat dan dingin.

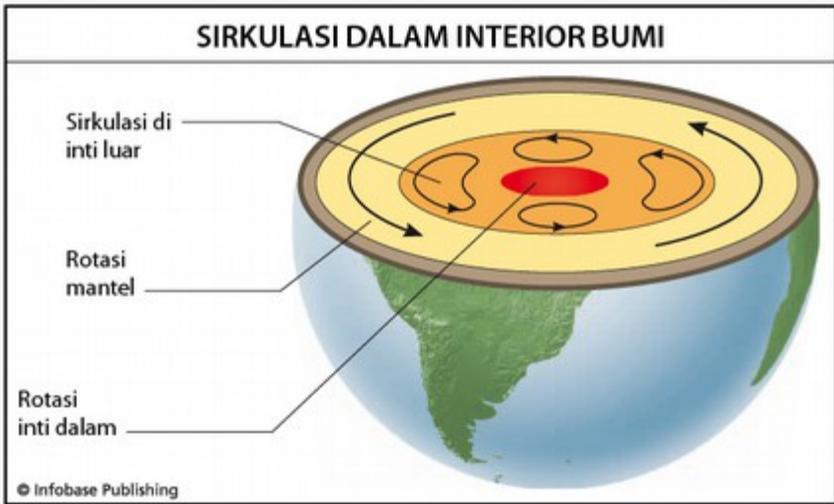
## LISTRIK INTI DALAM

Inti dalam berotasi sendiri, lebih cepat daripada planet ini, tapi tak ada yang mengetahui sebabnya. Pada 1990-an ilmuwan menemukan bahwa inti dalam berotasi lebih cepat daripada planet ini. Bumi berputar utuh ( $360^{\circ}$ ) dalam sehari, sedangkan inti dalam berotasi agak lebih cepat—sekitar 3 derajat tambahan dalam setahun. Artinya dalam sekitar 120 tahun, inti dalam menyelesaikan satu putaran lebih banyak dibanding planet Bumi. Apa buktinya bahwa inti dalam berotasi lebih cepat daripada planet ini? Jawabannya, sebagaimana informasi lain mengenai inti dalam, berasal dari, sekali lagi, ilmu seismologi.

Besi di inti dalam mempunyai struktur mirip kristal. **Kristal** adalah benda padat teratur yang bagian-bagiannya tersusun dalam pola spesifik. Gelombang seismik di Bumi berjalan menembus kristal-kristal inti dalam secara lebih cepat ke satu arah (utara ke selatan) dibanding ke arah lain (barat ke timur).

Dengan mengukur kecepatan gelombang seismik yang berjalan menembus inti dalam selama berdekade-dekade, ilmuwan menyadari bahwa inti dalam bergerak secara terpisah dari seluruh planet ini. Pergerakan ini boleh jadi disebabkan oleh medan magnet inti luar yang merembes ke inti dalam dan menghasilkan arus listrik. Jika begitu, arus tersebut bisa menggerakkan rotasi inti dalam.

Tapi tak ada yang tahu apa yang membuat inti dalam berotasi sendiri, dan mengapa ia berputar lebih cepat daripada planet ini. Boleh jadi ada gaya listrik sedang bekerja, atau faktor lain.



Inti dalam berotasi lebih cepat daripada Bumi sendiri, tapi tak ada yang tahu penyebabnya.

## Mempelajari Planet: David J. Stevenson, Ahli Planet

Ahli planet, David J. Stevenson, mempelajari awal-mula, evolusi, dan struktur planet-planet. Dia sering memanfaatkan informasi yang dikumpulkan oleh robot dan satelit di luar angkasa untuk menarik kesimpulan mengenai tampilan dan planet lain dan cara terbentuknya. Tapi adakalanya dia juga memikirkan ide-ide gila tentang bagian dalam Bumi—termasuk bagaimana mengirim satelit ke inti dalam.

Stevenson merupakan profesor ilmu planet di California Institute of Technology di Pasadena, juga dikenal sebagai Caltech. Pada 2003, Stevenson menerbitkan sebuah *paper*—sebagian besar, katanya, untuk mengajak orang berpikir—tentang pengiriman satelit ke inti dalam Bumi.

Dalam *paper* itu, Stevenson menyatakan bahwa satelit dapat “ditanamkan pada campuran besi cair yang mengalir ke inti sepanjang retakan yang menjalar di bawah pengaruh gravitasi.” Dengan kata lain, tancapkan satelit di gelembung besi cair, dan biarkan gelembung besi mengangkut satelit melewati retakan di Bumi menuju inti dalam. Menurut ide ini, satelit akan perlu sekitar dua minggu untuk mencapai inti Bumi, di mana ia dapat mengirim informasi ke permukaan planet menggunakan gelombang seismik.

Para pengkritik, tentu saja, menemukan banyak persoalan potensial dalam ide pengiriman satelit ke inti dalam Bumi. Satelit boleh jadi membeku, memanas, pecah bekeping-keping akibat tekanan, gagal menemukan “retakan” yang benar untuk ditempuh, atau tersesat di interior Bumi.

Memang ide tersebut terdengar amat gila, tapi seperti kata Stevenson, “hal yang sama dikatakan pada rancangan misi antariksa bertahun-tahun silam sebelum terbang.”

Philip N. Froelich, direktur School of Earth and Atmospheric Sciences di Georgia Institute of Technology, pernah berkata kepada majalah Scientific American, “Saya menduga bahwa jika Anda mengajukan pertanyaan ini [mengapa inti dalam berotasi lebih cepat daripada Bumi] kepada 100 geofisikawan, Anda akan mendapatkan 99 jawaban berlainan, dan setidaknya satu di antaranya akan benar!”

## MEMPELAJARI BUMI

**M**empelajari dan memahami lapisan luar dan dalam planet Bumi bukanlah tugas mudah. Perbandingan dengan telur rebus berakhir di sini.

Mempelajari detil dan proses di dalam telur rebus mudah sekali. Sebutir telur bisa dipegang, diamati, diukur, dimanipulasi, dan diuji dengan beragam cara. Ia dapat diperbandingkan dengan telur rebus lain. Ia dapat dibelah dan dipotong tanpa takut merusak apapun yang tak bisa digantikan oleh telur rebus lain. Suplai telur rebus untuk sains hampir tak terbatas.

Sedangkan studi detil-detil dan proses-proses di dalam Bumi sungguh sukar. Meski beberapa bagian planet ini dapat dipegang, diamati, diukur, dimanipulasi, dan diuji secara langsung, sebagian besar sisanya sama sekali tak terjangkau dan tak terlihat. Alhasil, ilmuwan acapkali harus mengambil pendekatan kreatif dalam ilmu Bumi.

Secara umum, ahli bumi adalah seseorang yang mempelajari Bumi. Tapi ada banyak disiplin berbeda dalam ilmu Bumi, masing-masing fokus pada lapisan-lapisan Bumi berbeda. Kaidah penamaan ini mungkin terasa tak familiar, tapi ini biasa saja. Dokter medis, contohnya, bisa melakukan banyak hal berbeda. Satu dokter bisa berspesialisasi dalam pembedahan jantung terbuka sedangkan dokter lain berspesialisasi mengobati jerawat remaja; dokter lain hanya menangani hewan yang terluka. Masing-masing dokter ini memiliki pendidikan dan tujuan amat berbeda. Tapi mereka semua disebut dokter.

Kategori-kategori yang sama berlaku pada ilmu Bumi. Seorang ahli bumi bisa berspesialisasi mempelajari bebatuan di kerak, mengukur kandungan besi air laut di permukaan planet, atau mengukur energi jauh di inti Bumi. Masing-masing ahli bumi ini memiliki pendidikan dan tujuan amat berbeda. Tapi mereka semua dikenal sebagai ahli bumi.

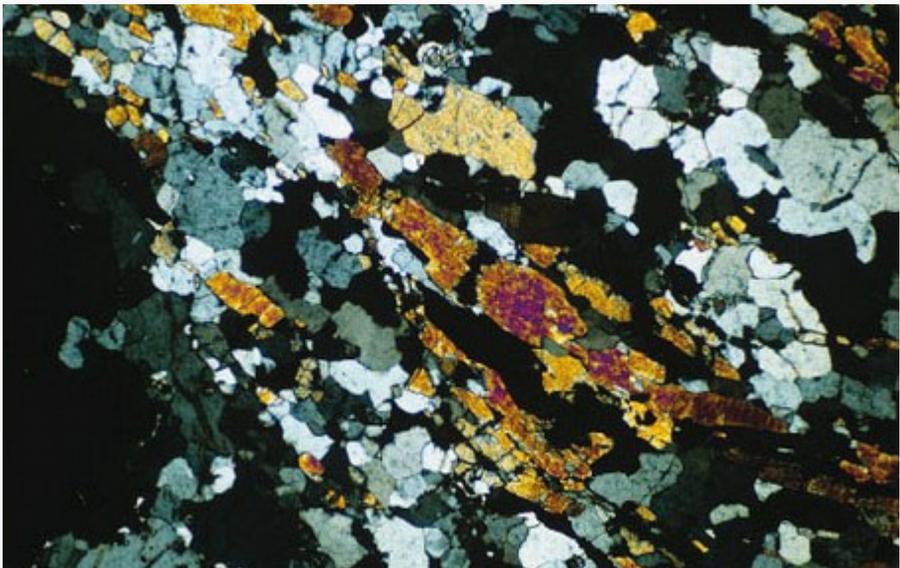
Seseorang yang tertarik menjadi ahli bumi mesti terlebih dahulu merasakan

banyak disiplin ilmu di bidang tersebut. Disiplin tertentu mengurus lapisan Bumi tertentu. Kebanyakan fokus pada kerak Bumi, sebab itu adalah lapisan termudah untuk dipelajari. Dan sebagian besar disiplin memiliki kata *geo* (artinya “Bumi”) dalam sukukata pertama namanya.

## **GEOLOGI**

Geologi adalah studi materi padat di Bumi, meliputi sejarah dan proses yang membentuk bebatuan, tanah, minyak, dan permata yang terkandung di kerak Bumi. Kebanyakan geolog menghabiskan sebagian besar waktu mereka dengan mempelajari bebatuan sungguhan di laboratorium.

Untuk mempelajari sebuah batu, geolog seringkali terlebih dahulu mengambil bagian batu yang tipis dan hampir transparan yang hendak dipelajari. Selanjutnya, mereka menamatkannya pada kaca dan memandangnya di bawah mikroskop sambil menyorotkan berbagai jenis cahaya melewatinya.



Geolog memotong bagian tipis sebuah batu dalam rangka mempelajarinya. Tergambar di sini adalah bagian tipis *garnet schist* (batu tulis akik), batu yang lazim ditemukan di New England.

Berbagai jenis batu tampak berlainan warna ketika dilihat di bawah berbagai jenis cahaya. Bagian tipis kaca vulkanis dari gunung berapi yang meletus, misalnya, bisa terlihat berwarna cokelat kekuningan, cokelat, atau hitam manakala dilihat dengan cahaya berbeda-beda.

Geolog juga menggunakan cahaya, selain alat lain, untuk membantu mengklasifikasi bebatuan menurut struktur dan cara pembentukannya.

## **GEOARKEOLOGI**

Geoarkeologi adalah studi bebatuan dan bentuk daratan di kerak Bumi yang mempengaruhi situs arkeologis, sisa-sisa tempat di mana manusia pernah di hidup di masa lampau. Kebanyakan geoarkeolog mengumpulkan bebatuan atau mineral dari situs-situs ini, lalu memeriksanya di laboratorium untuk mempelajari sesuatu tentang masyarakat dan budaya yang pernah tumbuh subur di sana.

Seorang geoarkeolog tipikal, misalnya, mempelajari bagaimana tanah mengubur artefak kuno, bagaimana tanah melestarikan atau menghancurkan sisa-sisa manusia, atau bagaimana tanah membantu menyebarkan atau menyimpan artefak di kerak Bumi seiring berjalannya waktu.

Dalam sebuah studi mutakhir yang dipublikasikan dalam jurnal *Geoarchaeology*, contohnya, ilmuwan mengumpulkan abu dari situs-situs arkeologis di Skotlandia. Mereka lalu mempelajari abu itu untuk menetapkan sumber bahan bakar jenis apa—batu bara, tanah gemuk, atau minyak—yang digunakan oleh manusia kuno. Dalam hal ini, bebatuan sisa di area itu membantu menjelaskan bagaimana orang-orang hidup. Para peneliti menemukan bahwa bermacam-macam sumber bahan bakar digunakan oleh orang-orang di kawasan itu.

## **GEOKIMIA**

Geokimia adalah studi komposisi kimiawi Bumi dan banyak bagiannya. Kebanyakan geokimiawan mengukur dan mempelajari bahan kimia yang diambil dari bebatuan yang ditemukan di permukaan Bumi. Tapi bebatuan ini

mungkin terbentuk di mantel bawah, mantel atas, atau di kerak itu sendiri. Lapisan Bumi yang dipelajari tergantung pada lokasi terbentuknya bebatuan.

Seorang geokimiawan isotop, misalnya, menggunakan **isotop** pada bebatuan untuk mempelajari kerak Bumi. Sebuah unsur bisa memiliki berbagai bentuk yang disebut isotop. Tiap isotop mengandung jumlah partikel berlainan di pusat unsur, yang dilepaskan oleh unsur dengan cara yang bisa diprediksi. Penghitungan jumlah partikel dalam bentuk isotop sebuah unsur membantu ilmuwan menetapkan umur unsur tersebut.

Geokimiawan menggunakan isotop pada bebatuan untuk menetapkan umur kerak Bumi. Isotop yang ditemukan pada es membantu menetapkan jumlah polusi di masa lampau. Isotop pada artefak-artefak arkeologis membantu menetapkan umur reruntuhan. Isotop pada air tanah membantu mengukur umurnya.

## **GEOKRONOLOGI**

Geokronologi adalah ilmu penetapan umur bebatuan, mineral, fosil, dan sedimen kerak dan mengurutkannya dalam sejarah Bumi guna menghasilkan deret waktu yang detil dan andal. Kebanyakan geokronolog mengumpulkan sampel-sampel di permukaan Bumi, menetapkan umur sampel di laboratorium, dan kemudian merangkai sejarah peristiwa tertentu.

Teprokronolog, contohnya, adalah geokronolog yang berpsesialisasi dalam bidang endapan abu vulkanis. Ketika meletus, gunung berapi seringkali mengeluarkan bebatuan dan abu hingga ribuan mil jauhnya.

Seorang teprokronolog dapat mengumpulkan dan menentukan umur abu ini untuk membantu menetapkan bagaimana dan kapan gunung berapi tertentu meletus.

Geokronolog memakai banyak metode untuk menetapkan umur bebatuan. Geokimia isotop, informasi fosil, dan orientasi magnet mineral pada bebatuan hanyalah di antaranya. Geokronologi sering menggunakan ilmu kimia, tapi selalu menggunakan pengukuran waktu.

## GEODESI

Geodesi, juga disebut geodetika, adalah studi bentuk Bumi dan titik-titik di permukaannya. Ahli geodesi betul-betul mempelajari semua lapisan Bumi; mereka tidak begitu tertarik pada perbedaan proses di dalam lapisan-lapisan tersendiri, melainkan pada struktur interior dan bentuk Bumi secara keseluruhan. Geodetika terdahulu menggunakan teleskop dan matematika untuk melakukan observasi dan pengukuran Bumi. Hari ini, sebagian besar geodetika modern memakai instrumen GPS.

Instrumen GPS berkomunikasi dengan jaringan satelit yang mengorbit Bumi. Satelit membantu menetapkan lokasi persis sebuah instrumen GPS yang dijangkarkan di satu titik di permukaan planet ini. Seiring waktu, pergerakan kecil instrumen dapat dideteksi dan direkam oleh satelit. Sistem GPS digunakan secara luas hari ini.



Para geolog ini sedang bekerja memasang peralatan GPS dan seismometer dekat gunung Erebus, gunung berapi teraktif di Antartika. Peralatan pemantauan jenis ini memungkinkan ilmuwan mempelajari aktivitas seismik, serta mendapatkan peringatan dini letusan.

Contoh, Departemen Pertahanan AS, sebuah lembaga federal AS yang bertugas mempertahankan negara, mengoperasikan 21 satelit GPS di antariksa. Menurut USGS, sistem GPS federal memonitor pergerakan lempeng-lempeng tektonik di Samudera Pasifik agar ilmuwan bisa lebih memahami peristiwa-peristiwa yang mengarah pada gempa dan letusan gunung berapi.

## **GEOHIDROLOGI**

Geohidrologi, atau hidrogeologi, adalah studi pergerakan air tanah di kerak Bumi. Oleh sebab itu kebanyakan geohidrolog adalah ahli di dua bidang sains: geologi kerak Bumi dan fisika pergerakan air.

Tugas tipikal seorang geohidrolog adalah memprediksi perilaku akuifer. **Akuifer** adalah kumpulan air bawah tanah yang bisa dikeduk untuk dipakai manusia. (Sumur memiliki akses ke akuifer tapi bukan merupakan jenis akuifer.)

Banyak akuifer tersusun dari batu berpori, atau batu yang punya banyak lubang, seperti sepon. Pekerjaan geohidrolog adalah memahami bagaimana air, dan terkadang kontaminan, bergerak di bebatuan bawah tanah dan bagaimana cara terbaik mengeduk air itu untuk dipakai manusia.

## **GEOMORFOLOGI**

Geomorfologi adalah studi bentuk daratan di permukaan kerak Bumi. Kebanyakan geomorfolog menghabiskan waktu dengan menatap peta Bumi, mempelajari bentuk daratan, dan memeriksa bebatuan yang terkandung di daratan tersebut.

Seorang geolog struktural, misalnya, adalah geomorfolog yang mempelajari bagaimana bebatuan terdistribusi di permukaan Bumi—bagaimana mereka berlapisan, melipat, memipih, atau berbentuk. Itu membantu menjelaskan penyebab bentuk sepetak tanah, dan apa yang bersembunyi di bawah kerak.

Bebatuan dan mineral yang bernilai ekonomis sering ditemukan di kerak. Minyak dan batu bara sering ditambang dan dijual, untuk dipakai sebagai sumber energi. Seorang geolog struktural bisa membantu menemukan endapan

bebatuan bernilai ekonomis seperti batu bara, dan memberi saran kepada perusahaan tentang cara terbaik mengeluarkannya dari tanah.

## **GEOFISIKA**

Geofisika menggunakan fisika untuk mempelajari lapisan dalam Bumi yang meliputi mantel atas dan bawah dan inti dalam dan luar. Geofisikawan mempelajari bagaimana gelombang energi berjalan menembus Bumi, termasuk gelombang yang diasosiasikan dengan gempa dan gunung berapi. Ada dua tipe seismologi yang dipakai oleh kebanyakan geofisikawan: aktif dan pasif.

Seismolog aktif menciptakan peristiwa-peristiwa guncangan untuk sengaja mengirim energi menembus Bumi di lokasi spesifik. Seorang seismolog aktif dapat menyalakan ledakan kecil, contohnya, untuk mengguncang Bumi dan merekam gelombang seismiknya.

## **Pemetaan GIS**

Begitu para ahli Bumi semakin tahu tentang planet Bumi, tantangannya adalah terus mengikuti segala informasi dan penemuan baru. Teknologi Geographic Information System, atau GIS, adalah bidang sains yang sedang tumbuh yang berupaya memahami semua itu.

Teknologi GIS mengelola informasi dan menampilkannya secara visual, biasanya dalam bentuk peta. Ketika diterapkan pada ilmu Bumi, GIS mengkombinasikan informasi, atau data, ilmu Bumi dengan kemampuan komputer dalam menampilkan dan mencari data tersebut, menghasilkan alat penelitian yang sangat hebat.

Ilmu Bumi dan GIS berkolaborasi dalam berbagai cara. Salah satunya adalah melalui penggunaan satelit antariksa yang dirancang untuk observasi Bumi. Informasi yang dikumpulkan oleh satelit dapat diumpan langsung ke software GIS untuk menghasilkan peta-peta permukaan Bumi, atmosfer, atau subpermukaan, akhirnya membuahkan peta yang didasarkan pada pengukuran ilmiah akurat.

Seiring waktu, ilmuwan dapat membandingkan peta-peta ini untuk mengetahui bagaimana Bumi berubah. Pertumbuhan vegetasi di kawasan tertentu di Bumi, contohnya, bisa dipetakan selama musim tumbuhnya. Dari peta GIS semacam itu, ahli Bumi bisa tahu bagaimana musim kemarau dan musim hujan mempengaruhi suatu kawasan dan memperoleh ukuran kasar pertumbuhan tanaman.

Teknologi GIS terus berkembang dan digunakan dalam hal-hal baru. Nyatanya, orang-orang berketerampilan GIS biasanya tak punya masalah mendapatkan pekerjaan menarik bergaji bagus yang bertalian dengan ilmu Bumi.

Seismolog pasif menunggu peristiwa guncangan alami terjadi. Seismolog pasif bisa menunggu gempa di California, misalnya, untuk mempelajari lebih banyak tentang Patahan San Andreas.

Seismolog aktif mempunyai keuntungan yakni dapat menciptakan gelombang energi di manapun dan kapanpun mereka suka. Tapi ini mahal, dan hanya mencakup wilayah terbatas. Seismolog pasif harus menanti terjadinya peristiwa guncangan di lokasi tertentu untuk menjalankan studi mereka. Tapi peristiwa ini tidak perlu mengeluarkan uang atau membutuhkan kerja tambahan untuk dihasilkan. Masing-masing peristiwa ini berguna bagi seismolog secara berbeda-beda.

## **PENDIDIKAN ILMU BUMI**

Untuk bersiap menjalani karir mempelajari lapisan Bumi perlu suatu perencanaan. Beberapa sekolah tinggi menawarkan kelas ilmu Bumi atau lingkungan yang bisa menjadi tempat memulai yang bagus. Kesempatan untuk bergabung dalam proyek-proyek ilmu Bumi semakin tersedia bagi mahasiswa dan dosen.

Peranan proyek EarthScope yang didanai pemerintah federal, misalnya, adalah membuat penelitian ilmu Bumi semakin bisa diakses di sekolah. EarthScope telah mengembangkan sekumpulan alat pengajaran yang membahas

gunung berapi dan gempa. Contoh, sebuah program animasi tentang gunung berapi St. Augustine di Alaska menunjukkan proses-proses yang berlangsung di gunung itu dan bagaimana mereka berkaitan dengan tektonika lempeng. Di masa depan, EarthScope berharap dapat menjadikan instrumen pemantauan dan penemuannya bisa diakses langsung secara online oleh mahasiswa.

Proyek ilmu Bumi sespesifik itu sangat menyenangkan, tapi tidak menggantikan pendidikan sains dasar. Julie Elliott, mahasiswi Ph.D. di Universitas Alaska-Fairbanks, menganjurkan mahasiswa yang meminati karir ilmu Bumi “untuk mengambil banyak kelas matematika, fisika (terutama mekanika), geologi, dan ilmu komputer.” Elliott juga bilang, “Belajar bagaimana menulis. Kemampuan menulis dengan baik adalah alat tak ternilai bagi seorang ilmuwan.”

## **SASARAN TERTINGGI: MEMAHAMI LAPISAN BUMI**

Lapisan-lapisan dinamis Bumi tidak bergerak dan berubah tanpa alasan. Ada gaya, proses, dan penjelasan tentang mengapa planet kita berperilaku seperti ini. Dalam dekade-dekade belakangan, ilmuwan telah menemukan banyak hal tentang lapisan Bumi, tapi gempa kerak, gunung berapi berakar di mantel, dan pembalikan magnet inti Bumi masih menjadi misteri tak terpecahkan bagi ilmuwan modern.

Solusi mendatang atas misteri-misteri ini akan membantu ilmuwan memprediksi perubahan di lapisan-lapisan Bumi yang dapat membantu menyelamatkan nyawa. Sebuah kota bisa diperingatkan sebelum gempa besar terjadi; penduduk desa bisa bersiap menghadapi letusan gunung berapi di sekitarnya; dan satelit bisa disetel untuk memantau perubahan medan magnet Bumi. Ada alasan bagus untuk memahami dan mempelajari lapisan-lapisan dinamis Bumi.

# DAFTAR ISTILAH

**Aquifer:** Kumpulan air bawah tanah yang dapat disuling untuk digunakan manusia.

**Astenosfer:** bagian terbawah mantel; terbuat dari batu cair.

**Basal:** Bebatuan berat, bertekstur halus, dan berwarna abu-abu atau hitam yang terperas keluar dari gunung berapi bawah laut.

**Mampatan:** Tekanan yang mendorong kerak Bumi menyatu, memerasnya hingga melipat atau retak.

**Kerak benua:** Lapisan kerak yang membentuk daratan dan sebagian besar terbuat dari bebatuan bernama granit

**Hanyutan benua:** Ide bahwa benua-benua Bumi mengapung di permukaan planet dan dahulu merupakan daratan tunggal. Pembuka ide tektonika lempeng.

**Konveksi:** Pergerakan panas di dalam cairan.

**Batas konvergen:** Area di mana dua lempeng saling mendekati, atau berkonvergensi, dan kerak Bumi terhancurkan.

**Kristal:** Benda padat dan kokoh yang bagian-bagiannya terpadatkan dalam pola-pola tertentu.

**Sains langsung:** Jenis sains yang menggunakan contoh riil dan konkret yang bisa diamati, diukur, dan dipelajari dengan mata manusia.

**Batas divergen:** Area di mana dua lempeng saling menjauh, atau berdivergensi, lalu tercipta kerak baru.

**Ilmu Bumi:** Studi planet Bumi.

**Gempa:** Ketika kerak Bumi bergerak dan retak.

**Unsur:** Zat yang tak bisa direduksi menjadi zat lebih sederhana oleh metode kimia normal.

**Patahan:** Retakan pada kerak Bumi.

**Gunung *fault-block*:** Tipe gunung yang terbentuk ketika dua patahan normal berbaris berdampingan.

**Geoarkeologi:** Studi bebatuan dan bentuk daratan yang mempengaruhi

situs-situs arkeologis, tempat di mana manusia hidup di masa lampau.

**Geokimia:** Studi komposisi kimiawi Bumi dan banyak bagiannya.

**Geokronologi:** ilmu penetapan umur bebatuan, mineral, fosil, dan sedimen kerak dan mengurutkannya dalam sejarah Bumi guna menghasilkan deret waktu yang detil dan andal.

**Geodesi:** Studi bentuk Bumi dan titik-titik di permukaannya; juga disebut geodetika.

**Geodinamo:** Mekanisme di inti Bumi yang menghasilkan medan magnet Bumi.

**Geohidrologi:** Studi pergerakan air tanah di kerak Bumi; juga disebut hidrogeologi.

**Geologi:** Studi materi padat di Bumi, meliputi sejarah dan proses yang membentuk bebatuan, tanah, minyak, dan permata Bumi.

**Geomorfologi:** Studi bentuk daratan.

**Geofisika:** Penggunaan fisika untuk mempelajari pergerakan Bumi, termasuk pergerakan lempeng yang berkaitan dengan gempa dan gunung berapi.

**Geotermal:** Panas yang datang dari dalam Bumi.

**GPS (Global Positioning System):** Jaringan satelit di angkasa yang dipakai untuk menetapkan lokasi presisi di permukaan Bumi.

**Granit:** Batuan pink, abu-abu, atau hitam yang telah mencair dan memadat di permukaan Bumi seiring berjalannya waktu.

**Panas gravitasi:** Panas yang tercipta ketika bebatuan bergesekan dan bergelincir melewati satu sama lain di dalam Bumi akibat gaya gravitasi.

**Gravitasi:** Gaya tarik di antara dua benda yang memiliki massa, atau berat.

**Panas:** Bentuk energi yang tercipta oleh pergerakan kecil partikel-partikel di dalam unsur.

**Hot spot:** Area di mana banyak kerak baru terbentuk.

**Sains tak langsung:** Jenis sains yang menggunakan alat dan instrumen untuk melihat dan mendengar tanpa observasi langsung.

**Isotop:** Isotop mengandung jumlah partikel berbeda-beda di inti unsur, yang dilepaskan oleh unsur dengan cara yang dapat diprediksi.

**Pipa Kimberlite:** Gunung berapi khusus yang sering membawa berlian dan bebatuan lain dari mantel atas ke permukaan Bumi.

**Litosfer:** Cangkang padat Bumi yang terluar.

**Magma:** Batu cair yang memasok lava untuk gunung berapi.

**Medan magnet:** Gaya yang menyebabkan partikel-partikel kecil di dalam unsur berbaris dengan cara yang bisa diprediksi dan berpola.

**Variasi magnet:** Arah tunjuk mineral magnet di dalam sebuah batu.

**Meteorit:** Objek dari luar angkasa yang menghantam Bumi.

**Bubungan tengah samudera:** pegunungan bawah air di mana kerak Bumi bergerak memisah dan bebatuan samudera baru muncul ke permukaan.

**Patahan normal:** Ketika gaya tegangan meregangkan kerak.

**Kerak samudera:** Lapisan kerak di bawah samudera yang terbuat dari basal.

**Peridotit:** Bebatuan kerak yang menyusun litosfer mantel atas.

**Photon:** Partikel cahaya.

**Planetesimal:** Unsur-unsur batu yang berkumpul membentuk planet besar dan asteroid setelah terciptanya alam semesta.

**Batas lempeng:** Tepi lempeng-lempeng di permukaan Bumi.

**Tektonika lempeng:** Teori ilmiah untuk menjelaskan lokasi benua-benua di permukaan Bumi dan cara mereka bergerak.

**Lempeng:** Potongan kerak Bumi yang bergerak.

**Gelombang P:** Gelombang seismik yang memampatkan dan meregangkan Bumi dari sisi ke sisi seperti akordeon ke arah tujuannya; juga dikenal sebagai gelombang primer.

**Radioisotop:** Bentuk khusus unsur yang bersifat radioaktif.

**Celah:** Tempat di mana kerak Bumi berpisah.

**Penyebaran dasar laut:** Penyebaran kerak Bumi di bubungan tengah samudera untuk membentuk bebatuan baru.

**Seismologi:** Studi gelombang energi yang berjalan di dalam Bumi.

**Sesar:** Tekanan yang mendorong sepotong batu menuju dua arah berlawanan, menyebabkan retakan atau perubahan bentuk.

**Silikat:** Jenis batu, biasanya mengandung unsur silikon dan oksigen.

**Tekanan:** Gaya yang beraksi terhadap kerak hingga mengubah bentuk, ukuran, dan lokasinya.

**Patahan geser/mendatar:** Ketika gaya sesar menarik batu ke arah berlawanan.

**Zona subduksi:** Area di mana kerak samudera padat terhisap kembali ke dalam Bumi, menghancurkan kerak lama.

**Gelombang S:** Gelombang seismik yang bergerak ke dua arah, dari sisi ke sisi dan dari atas-bawah; juga dikenal sebagai gelombang sesar.

**Tegangan:** Tekanan yang meregangkan kerak, menjadikan bagian tengahnya lebih tipis.

**Patahan naik/anjakan:** Ketika gaya mampatan menubrukkan kerak.

**Batas transform:** Tempat di mana dua lempeng bergelincir melewati satu sama lain, bergerak ke arah berlawanan. Di sini, kerak tidak terhancurkan ataupun terbentuk.

**Pelapukan:** Kerusakan bebatuan di permukaan Bumi oleh angin, air, panas, dan tekanan.

## BIBLIOGRAFI

- American Museum of Natural History. "The Nature of Diamonds," Situs AMNH. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: <http://www.amnh.org/exhibitions/diamonds/index.html>.
- Anuta, Joe. "Probing Question: What Heats Earth's Core?" Situs Penn State University. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: <http://www.rps.psu.edu/probing/earth.html>.
- Arizona State University. "New Picture of Earth's Lower Mantle," Situs *ScienceDaily*. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: <http://www.sciencedaily.com/releases/2007/06/070621140813.htm>.
- British Broadcasting Corporation News. "Legendary US Landmark Falls Down," Situs BBC News. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: <http://news.bbc.co.uk/1/hi/world/americas/2999233.stm>.
- Broad, William J. "Earth's Inner Core Rotates At Faster Rate Than Surface," Situs *New York Times*. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: <http://query.nytimes.com/gst/fullpage.html?res=9D05E2DB1F39F93BA25754C0A960958260&sec=&spon=&pagewanted=print>.
- Broecker, Wallace. *How to Build a Habitable Planet*. New York: ELDIGIO Press, 1985.
- California Geological Survey. "California Has Its Faults," Situs CGS. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: [http://www.consrv.ca.gov/cgs/information/publications/teacher\\_features/faults.htm](http://www.consrv.ca.gov/cgs/information/publications/teacher_features/faults.htm).
- Church, M.J., C. Peters, and C.M. Batt. "Sourcing fire ash on archaeological sites in the Western and Northern Isles of Scotland, using mineral magnetism," Situs *Geoarchaeology*. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: <http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/abstract/116310342/ABSTRACT>.
- EarthScope. "Observatories," Situs EarthScope. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: [http://www.earthscope.org/index.php/es\\_obs](http://www.earthscope.org/index.php/es_obs).

- EarthScope Education and Outreach Bulletin. "Activity at Augustine Volcano," Situs EarthScope. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: [http://www.earthscope.org/es\\_doc/eno/TM1.pdf](http://www.earthscope.org/es_doc/eno/TM1.pdf).
- Elliott, Julie. Komunikasi personal. 4–7 Oktober 2007.
- Fortey, Richard. *Earth: An Intimate History*. New York: Vintage Books, Random House, 2005.
- Glatzmaier, Gary A. "Gary A. Glatzmaier," Situs University of California Santa Cruz. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: <http://www.es.ucsc.edu/~glatz/index.html>.
- Hawaii Center for Volcanology. "Mauna Loa Volcano," Situs HCV. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: <http://www.soest.hawaii.edu/GG/HCV/maunaloa.html>.
- Ince, Martin. *The Rough Guide to The Earth*. New York: Rough Guides, The Penguin Group, 2007.
- Integrated Ocean Drilling Program. "IODP Brochure," Situs IODP. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: <http://www.iodp.org/media-kit/>.
- International Union of Pure and Applied Chemistry. "IUPAC Periodic Table of the Elements," Situs IUPAC. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: [http://www.iupac.org/reports/periodic\\_table/IUPAC\\_Periodic\\_Table-3Oct05.pdf](http://www.iupac.org/reports/periodic_table/IUPAC_Periodic_Table-3Oct05.pdf).
- Situs Mount St. Helens National Volcanic Monument. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: <http://www.fs.fed.us/gpnm/mshnvm/>.
- Nordlys, Northern Lights. "What Causes Them?" Situs Nordlys. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: <http://www.northern-lights.no/english/what/cause.shtml>.
- Reed, Christina. "Old Man of the Mountain," Situs *Geotimes*. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: <http://www.geotimes.org/may03/WebExtra050503.html>.
- Roach, John. "Earth's Magnetic Field is Fading," Situs *National Geographic*. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: [http://news.nationalgeographic.com/news/2004/09/0909\\_040909\\_earthmagfield.html](http://news.nationalgeographic.com/news/2004/09/0909_040909_earthmagfield.html).

- Schwartz, Mark. Stanford University News. "Stanford, U.S. Geological Survey team up to get inside scoop on quake zone," Situs Stanford University. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: <http://news-service.stanford.edu/news/2003/december3/safod-123.html>.
- Scientific American. "Ask the Experts: Geology," Situs *Scientific American*. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: [http://www.sciam.com/askexpert\\_question.cfm?articleID=00006E21-C156-1C71-9EB7809EC588F2D7](http://www.sciam.com/askexpert_question.cfm?articleID=00006E21-C156-1C71-9EB7809EC588F2D7).
- Stevenson, David. "A Modest Proposal: Mission to Earth's Core," Situs California Institute of Technology. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: <http://www.planetary.caltech.edu/faculty/stevenson/coremission/index.html>.
- Stevenson, David J. "David J. Stevenson," Situs California Institute of Technology. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: <http://www.planetary.caltech.edu/faculty/stevenson/>.
- Than, Ker. "Earth's Core Rotates Faster than Surface, Study Confirms," Situs LiveScience. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: [http://www.livescience.com/environment/050825\\_earthcore.html](http://www.livescience.com/environment/050825_earthcore.html).
- United States Geological Survey. "Cinder Cones," Situs USGS. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: <http://volcanoes.usgs.gov/Products/Pglossary/CinderCone.html>.
- United States Geological Survey. "Inside the Earth," Situs USGS. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: <http://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/inside.html>.
- United States Geological Survey. "Understanding Plate Motions," Situs USGS. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: <http://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/understanding.html>.
- United States Geological Survey. "USGS Announces that Augustine Volcano in Alaska Erupted Today," Situs USGS. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: <http://www.usgs.gov/newsroom/article.asp?ID=1427>.
- United States Geological Survey. "What Kind of Movement Has Occurred

Along the Fault?,” Situs USGS. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: <http://pubs.usgs.gov/gip/earthq3/move.html>.

United States Geological Survey. “Yellowstone Caldera, Wyoming,” Situs USGS. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: [http://vulcan.wr.usgs.gov/Volcanoes/Yellowstone/description\\_yellowstone.html](http://vulcan.wr.usgs.gov/Volcanoes/Yellowstone/description_yellowstone.html).

University of Alaska-Fairbanks. “Augustine Eruption Leads to Updated Model,” Situs UAF. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: <http://www.uaf.edu/news/featured/07/augustine/>.

University of Texas at El Paso. “The Landscape, the Animals, the Plants,” Situs UTEP. Tersedia secara daring. Diakses 24 Juli 2008. URL: <http://museum.utep.edu/chih/theland/landscape/landscape.htm>.

# BACAAN LANJUTAN

## BUKU

- Erickson, John. *Plate Tectonics: Unraveling the Mysteries of the Earth*. New York: Facts on File Science Library, 2001.
- Gates, Alexander. *Encyclopedia of Earthquakes and Volcanoes*. New York: Facts on File Science Library, 2006.
- Goldberg, Jan. *Earth Imaging Satellites*. New York: Chelsea House, 2003.
- Krysac, L.C. *Gravitational, Electric and Magnetic Forces: An Anthology of Current Thought*. New York: Rosen Central, 2005.
- Lambert, David. *The Field Guide to Geology*. New York: Checkmark Books, 2006.
- Monier, Eric M. *How Life on Earth Is Affected by Earth's Unique Placement and Orientation in Our Solar System*. New York: Rosen Central, 2006.
- O'Neil Grace, Catherine. *Forces of Nature: The Awesome Power of Volcanoes, Earthquakes, and Tornadoes*. Washington D.C.: National Geographic Children's Books, 2004.
- Vogel, Carole G., dan Michael Wyssession. *Science Explorer: Inside Earth*. Boston: Pearson Prentice Hall, 2007.

## SITUS

American Museum of Natural History: Our Dynamic Planet

<http://www.amnh.org/education/resources/rfl/web/earthmag/index.htm>

*Tinjauan akurat tentang beberapa proses Bumi yang menyenangkan bagi pembaca muda.*

CNN: Layers of the Earth

<http://www.cnn.com/interactive/nature/9903/earth.layers/frameset.exclude.html>

*Tur animasi interaktif menuju lapisan-lapisan Bumi.*

EarthScope: Did You Know?

[http://www.dpc.ucar.edu/earthscopeVoyager/JVV\\_Jr/didyouknow/index.html](http://www.dpc.ucar.edu/earthscopeVoyager/JVV_Jr/didyouknow/index.html)

*Menyajikan latarbelakang ilmiah tentang beberapa fitur geologis di benua Amerika Utara.*

KidsGeo.com

<http://www.kidsgeo.com/index.php>

*Situs ramah anak yang fokus pada geologi dan geografi.*

National Aeronautics and Space Administration, Jet Propulsion Laboratory  
The Southern California Integrated GPS Network Education Module

<http://scign.jpl.nasa.gov/learn/index.htm>

*Situs akademis yang fokus pada pemahaman gerakan lempeng Bumi.*

Public Broadcasting Service: Savage Earth

<http://www.pbs.org/wnet/savageearth/animations/hellscrust/main.html>

*Animasi beberapa fitur struktur di dalam Bumi.*

U.S. Geological Survey: USGS Volcano Hazards Program

<http://volcanoes.usgs.gov>

*Laman USGS Volcanic Hazards Program. Mencakup informasi mengenai aktivitas vulkanis terbaru di Bumi.*

# KREDIT FOTO

## Halaman

- 9: Alaska Volcano Observatory/U.S. Geological Survey, Michelle Coombs, AP Images
- 10: © Infobase Publishing
- 14: © Infobase Publishing
- 18: Michael Rosenfeld/Getty Images
- 19: © Infobase Publishing
- 23: Kiri: AP Images; Kanan: Jim Cole, AP Images
- 24: © Infobase Publishing
- 27: © Infobase Publishing
- 33: © Infobase Publishing
- 35: © Infobase Publishing
- 37: © Infobase Publishing
- 40: © Infobase Publishing
- 41: James Balog/Getty Images
- 50: © Infobase Publishing
- 55: Copyright © National Science Foundation/Photo Researchers, Inc.
- 56: © Infobase Publishing
- 62: Daisy Gilardini/Getty Images
- 65: © Infobase Publishing
- 72: © Infobase Publishing
- 74: © Infobase Publishing
- 77: Albert Copley/Visuals Unlimited, Inc.
- 80: © George Steinmetz/Corbis

## TENTANG PENULIS

Krista West telah menulis tentang ilmu Bumi untuk pembaca tua dan dewasa selama hampir 10 tahun. Tumbuh di kaki Gunung Cascade di Negara Bagian Washington, Krista selalu menyadari gunung yang bergerak dan daratan yang hidup di sekelilingnya. Tapi baru ketika memasuki sekolah sarjana di New York, dia mulai memahami lapisan-lapisan dalam planet ini. Dia memperoleh gelar M.A dalam ilmu Bumi dan M.S dalam jurnalisme, keduanya dari Universitas California.