

**Agenda Ilmu Pengetahuan Indonesia
Menyongsong Satu Abad Kemerdekaan**

SAINS45:

Agenda Ilmu Pengetahuan Indonesia Menyongsong Satu Abad Kemerdekaan

Copyright ©2016 Akademi Ilmu Pengetahuan Indonesia

Oktober 2016

Dilarang memperbanyak, menyalin, menyebarluaskan, atau mengambil sebagian atau seluruh isi dokumen ini dalam bentuk apa pun tanpa izin tertulis dari penerbit, kecuali untuk keperluan review dan konsultasi yang memerlukan kutipan dokumen ini.

252 halaman, 17.5 x 24 cm

Diterbitkan oleh Akademi Ilmu Pengetahuan Indonesia

Akademi Ilmu Pengetahuan Indonesia

Kompleks Perpustakaan Nasional RI

Jl Medan Merdeka Selatan No. 11 Jakarta Pusat

Telp/Fax: 021-3521910

Email: aipi@aipi.or.id

www.aipi.or.id

ISBN 978-979-99097-7-0

Tidak untuk diperjualbelikan

Sampul depan: Heimlo Studio

Foto disediakan oleh *KOMPAS* dan kontributor

Seluruh ilustrasi gambar dalam dokumen ini dikerjakan oleh Heimlo Studio (Annisa Aprianinda, Artisa Tumiwa, Peter Christian Cung, Tommy Chandra)

UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 19 TAHUN 2002 TENTANG HAK CIPTA

Pasal 2

1. Hak Cipta merupakan hak eksklusif bagi Pencipta atau Pemegang Hak Cipta untuk mengumumkan atau memperbanyak Ciptaannya, yang timbul secara otomatis setelah suatu ciptaan dilahirkan tanpa mengurangi pembatasan menurut peraturan perundang-undangan yang berlaku.

KETENTUAN PIDANA

Pasal 72

2. Barangsiapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu Ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Barangsiapa dengan sengaja dan tanpa hak memperbanyak penggunaan untuk kepentingan komersial suatu Program Komputer dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Lahir dari penyusunan *SAINS45* ini:
Akademi Ilmuwan Muda Indonesia (ALMI)



Terima kasih



Knowledge Sector Initiative



KOMPAS

TIM PENULIS DAN SEKRETARIAT

TIM PENULIS

Jamaluddin Jompa—*Ketua*

Teguh Dartanto—*Wakil Ketua*

Ahmad Najib Burhani

Alan F. Koropitan

Aiyen B. Tjoa

Pri Utami

Roby Muhamad

Ronny Martien

Sudirman Nasir

Yanri Wijayanti Subronto

Yessi Permana

Yudi Darma

Budhi M. Suyitno

Daniel Murdiyarso

Mayling Oey-Gardiner

Sangkot Marzuki

Satryo Soemantri Brodjonegoro

SEKRETARIAT

Hasnawati Saleh—*Direktur Studi*

Uswatul Chabibah—*Editor*

Anggrita Desyani Cahyaningtyas—*Penulis dan Hubungan Media*

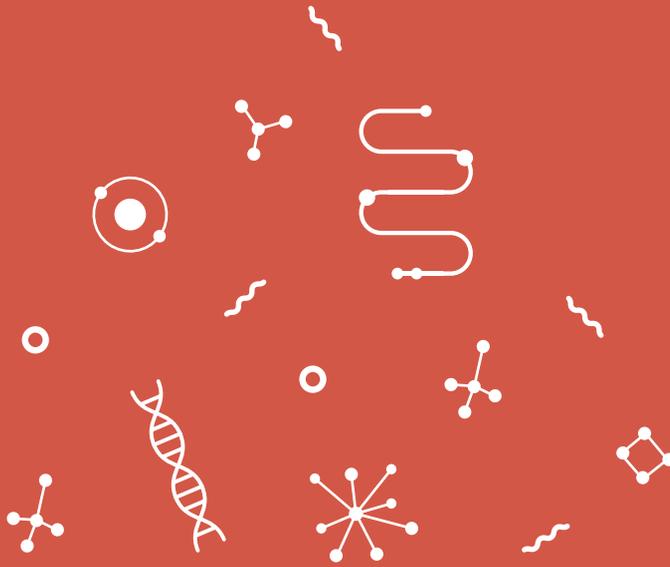
Endang Tjempaka Sari

Rahayu Dwi Sulistyowati

Nugraha Dian Putra

Pepi Octayani

Shita Azalia



DAFTAR ISI

Tim Penulis dan Sekretariat	4
Daftar Isi	6
Pengantar	12
Mukadimah	18

IDENTITAS, KERAGAMAN, DAN BUDAYA

1. Apa yang Menjadikan Indonesia "Indonesia"? **32**
2. *Torang Samua Basudara*: Satu Bangsa di Tengah Keragaman **36**
3. Nasionalisme di Era Transnasionalisme, Bagaimana Bertahan? **40**
4. Bagaimana Teknologi Akan Membentuk Ulang Kemanusiaan? **44**
5. Nusantara, Tapak Perjalanan Evolusi Manusia? **48**
6. Arsitektur Sains Berubah: Bagaimana Indonesia Menghadapinya? **53**

KEPULAUAN, KELAUTAN, DAN SUMBER DAYA HAYATI

7. Megabiodiversitas: Bagaimana 'Bahtera Nuh' Ini Akan Bertahan? **60**
8. Merawat Keragaman Hayati Laut adalah Merawat Masa Depan **64**
9. Di Laut Kita Jaya? **69**
10. Pada Lautan, Bisakah Kita Sandarkan Masa Depan? **74**
11. Kemiskinan Masyarakat Pesisir: Ironi dalam Kelimpahan **78**
12. Potensi Laut Dalam yang Serba Ekstrem **83**



KEHIDUPAN, KESEHATAN, DAN NUTRISI

- | | | |
|-----|---|-----|
| 13. | Apakah Kita Apa yang Kita Makan? | 90 |
| 14. | Kuman Mengalir Sampai Jauh:
Memahami Interaksinya dengan Hewan,
Manusia, dan Lingkungan | 94 |
| 15. | Tantangan Kini dan Masa Depan: Bagaimana
Melawan Infeksi Secara Cerdas? | 98 |
| 16. | Menyigi Nusantara, Mencari Obat | 102 |
| 17. | Panjang Umurnya Serta Mulia: Bagaimana
Tetap Sehat di Usia Tua? | 106 |
| 18. | Bagaimana Mengantisipasi Penduduk yang
Akan Menua? | 110 |
| 19. | Setelah Sel Punca, Apa Lagi? | 114 |



AIR, PANGAN, DAN ENERGI

- | | | |
|-----|--|-----|
| 20. | Air untuk Semua: Bagaimana
Mengamankannya? | 120 |
| 21. | Pertanian Lebih Pintar untuk Pangan
Lebih Banyak | 124 |
| 22. | Selain Pangan, Bisakah Vaksin dan Obat
Dipanen di Ladang Pertanian? | 128 |
| 23. | Panas Bumi Andalan Energi Kita | 132 |

V

BUMI, IKLIM, DAN ALAM SEMESTA

- | | |
|---|-----|
| 24. Memahami Pergolakan Perut Bumi Pertiwi | 138 |
| 25. Hutan Tropis: Cuma Ditebang, Sampai Kapan? | 142 |
| 26. Limbah Jadi Berkah, Caranya? | 146 |
| 27. Memaknai Benua Maritim Indonesia | 150 |
| 28. Karbon dan Perubahan Iklim: dari Bumi, Bagaimana Kembali ke Bumi? | 154 |
| 29. Dari Khatulistiwa Meneropong Semesta | 158 |

VI

BENCANA DAN KETAHANAN MASYARAKAT TERHADAP BENCANA

- | | |
|---|-----|
| 30. Hidup di Atas Bumi yang Terus Bergerak | 164 |
| 31. Menakar Bencana Laten di Pesisir dan Laut | 168 |
| 32. Hidup Serumah dengan Bencana | 172 |

VII MATERIAL DAN SAINS KOMPUTASI

- 33. Mengindra Bumi, Menghitung Kado Alam **178**
- 34. Mencari Teknologi Hijau Tambang: dari Alam hingga Ladang **180**
- 35. Menjaring Energi Matahari, Mari Mencari Jalanya! **186**
- 36. Industri Strategis: Perlu Desain Material Seperti Apa? **190**
- 37. Sains Komputasi dan Sistem Kompleks bagi Indonesia **194**

VIII EKONOMI, MASYARAKAT, DAN TATA KELOLA

- 38. Satu Nusa, Satu Bangsa, Satu Ekonomi, Mungkinkah? **200**
- 39. Dicari! Institusi yang Menjamin dan Mendorong Kemakmuran **204**
- 40. Orang Muda Akan Terus Menulis Sejarah Indonesia? **208**
- 41. Bagaimana Bentuk Baru Kemiskinan dan Ketimpangan di Masa Depan? **212**
- 42. Bagaimana Menapis Banjir Informasi? **216**
- 43. Kebijakan Publik dan Republik: Bagaimana Dirumuskan? **220**
- 44. Pendidikan yang Membangun Manusia **224**
- 45. Untuk Manusia dan Kemanusiaan, di mana Hukum Harus Berdiri? **229**

Glosarium	233
Lampiran 1: Tim Penyunting Tempo Institute	249
Lampiran 2: Forum Ilmuwan Muda Indonesia	250
Lampiran 3: Kontributor	252



PENGANTAR



Puji syukur ke hadirat Tuhan yang Maha Esa, Agenda Ilmu Pengetahuan Indonesia ini, *SAINS45*, yang merupakan buah pikir dan hasil karya ilmuwan muda Indonesia, akhirnya terbit. Merekalah yang berusaha keras untuk tetap dapat berkarya dan memberikan yang terbaik bagi negeri ini, meski gamang akan dukungan yang diberikan negara untuk mempertahankan keunggulan ilmiah mereka.

Mereka adalah alumni dari berbagai kegiatan *Frontiers of Sciences AIPI: Pertemuan Ilmuwan Muda Wallace* di Ternate (2010); *Indonesian-American Kavli Frontiers of Science Symposium* (Bogor, 2011; Surakarta, 2012; Bali, 2013; Medan, 2014; dan Makassar, 2015); serta *Indonesian Frontiers of Social Sciences Symposium* di Lombok (2013) dan *Indonesian Frontiers of Social Sciences and Humanities Symposium* di Bogor (2015). Ilmuwan muda peserta kegiatan tersebut dipilih berdasarkan keunggulan ilmiahnya setelah menyelesaikan program doktoral; aktif melakukan penelitian dan mempublikasikan karya ilmiahnya, tetapi masih berusia di bawah 45 tahun. Singkatnya, ilmuwan muda Indonesia yang telah menunjukkan prestasi sebagai bakal pemimpin dunia ilmiah kita di masa depan. Lebih dari 230 alumni kegiatan *Frontiers of Science* di atas terhubung melalui suatu jaringan ilmuwan muda yang hebat. Mereka bertanya, apa yang dapat diharapkan dengan bekerja sebagai seorang ilmuwan di Indonesia. Pertanyaan yang menusuk hati.

Sebagian besar dari mutiara-mutiara itu—para ilmuwan muda peserta kegiatan *Frontiers of Science AIPI*—menyelesaikan program doktoralnya di negara maju. Banyak dari mereka dapat dengan mudah bekerja di luar negeri tetapi memilih untuk tetap di Indonesia, menyumbangkan karyanya untuk bangsa dan negara.

Sebagian malah berhasil tetap mempertahankan satu kaki di lembaga penelitian di luar negeri. Namun kenyataan yang dihadapi di Indonesia menciutkan nyali.

Keluhan utama para peserta adalah tiadanya sistem pendanaan riset yang memungkinkan masa depan sebagai seorang ilmuwan berprestasi. Keberadaan sistem pendanaan riset yang berpijak pada kompetisi berdasarkan keunggulan, yang menjamin kesinambungan penelitian tahun jamak, disertai sistem pelaporan yang tidak menyita waktu berharga begitu dirindukan. Akan tetapi ada keluhan lain yang lebih mendasar: tidak adanya budaya ilmiah yang menginspirasi, mungkin sebagai akibat diabaikannya penelitian mendasar selama puluhan tahun.

Merasa tertantang, AIPI kemudian mengeluarkan laporan mengenai *Creating an Indonesian Science Fund* dengan dukungan Bank Dunia dan Australian Aid. Laporan yang terbit pada 2012 tersebut terus bergulir, dan akhirnya mewujudkan menjadi Dana Ilmu Pengetahuan Indonesia (DIPI) yang resmi beroperasi pada 29 Februari 2016. Namun upaya itu belum cukup. Peran ilmuwan muda dalam membangkitkan semangat dan budaya ilmiah di Indonesia sangat penting dan harus diutamakan. Agenda Ilmu Pengetahuan Indonesia ini adalah jawabannya, wujud dari mimpi mereka akan adanya kegiatan ilmiah di Indonesia yang dibangun berdasarkan keingintahuan akan gejala alam yang ada di sekitar kita. Agenda ini berisi pertanyaan-pertanyaan mendasar dalam batas-batas masalah yang merupakan tantangan untuk Indonesia. Pertanyaan-pertanyaan tersebut tak hanya penting untuk menjawab berbagai tantangan yang dihadapi Indonesia, tetapi juga mengangkat kemampuan ilmiah dan daya

saing Indonesia dalam ilmu pengetahuan.

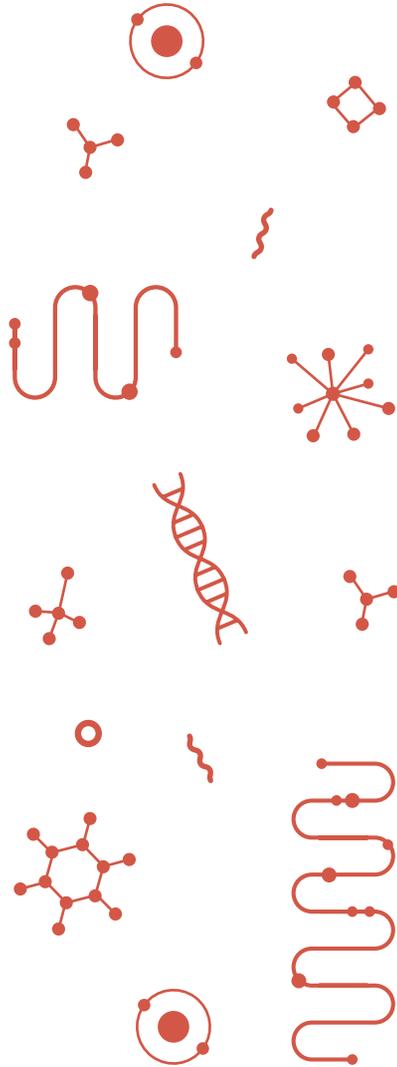
Bagian “Mukadimah” dari Agenda Ilmu Pengetahuan Indonesia ini menjelaskan mengapa dan bagaimana Agenda disusun, serta untuk siapa ditujukan. Penjelasan tersebut telah berbicara dengan lugas dan visioner, sehingga tidak ada komentar yang perlu ditambahkan. Namun, karya ilmuwan muda Indonesia ini tidak mungkin terwujud tanpa dukungan dari banyak pihak. AIPI beruntung telah bermitra dengan AAAS Fellow, dan USAID Indonesia, yang sejak awal dapat melihat dan percaya akan pentingnya pemberdayaan ilmuwan muda Indonesia. AIPI mengucapkan terima kasih kepada USAID Indonesia dan US National Academy of Sciences atas dukungan dana untuk penyusunan Agenda Ilmu Pengetahuan Indonesia oleh jaringan ilmuwan muda AIPI. Hibah dari Sekretariat Negara Republik Indonesia telah memungkinkan kegiatan ini berjalan disertai dengan terselenggaranya beberapa Forum Ilmuwan Muda Indonesia.

Terima kasih kepada Knowledge Sector Initiative dari DFAT Australia untuk dukungan yang telah memungkinkan dilaksanakannya kunjungan pengayaan Komite Studi Agenda Ilmu Pengetahuan Indonesia ini ke Australia, serta dukungan untuk peluncuran Edisi Konsultasi Agenda Ilmu Pengetahuan Indonesia pada rangkaian peringatan 25 Tahun AIPI pada akhir Mei 2015 lalu.

Terakhir dan terpenting tentunya, AIPI berterima kasih kepada lebih dari 160 ilmuwan muda yang telah menginspirasi lahirnya *SAINS45* ini selama lebih dari dua tahun. Sebagian telah memberikan kontribusi langsung terhadap isi dari Agenda ini melalui Forum

Ilmuwan Muda (Bogor, Mei 2013; Tangerang Selatan, September 2014; dan Jakarta, Mei 2015), serta sebagian lagi melalui ulasan internal dan proses *peer review*. Secara khusus, AIPi sangat berterima kasih kepada ketujuhbelas anggota Komite Studi Agenda ini, yang telah bekerja keras selama lebih dari dua tahun, mulai dari membuat rancangan awal program, memastikan bahwa Agenda ini bebas dari *conflict of interest*, mengumpulkan pertanyaan-pertanyaan awal melalui Forum Ilmuwan Muda dan menyimpulkan delapan pengelompokan, serta melakukan pertemuan hampir setiap bulan guna mengembangkan konsep awal melalui beberapa tingkat hingga menjadi buram akhir. AIPi juga berterima kasih kepada Tim Monitor *SAINS45* yang telah berkontribusi dalam menjamin mutu ilmiah Agenda ini dengan menilai tanggapan Komite Studi terhadap *peer reviewer* dan sebaliknya.

Hanya dengan tekad serta komitmen dari Direktur Studi, Editor, Penulis dan Hubungan Media, serta staf pendukung lainnya dari AIPi sehingga dokumen *SAINS45* dapat selesai pada waktunya: terima kasih sebesar-besarnya. Terima kasih kepada Tempo Institute yang telah membantu penyuntingan naskah dan *Kompas* yang telah menyediakan karya-karya fotografi sebagai ilustrasi di dalam Agenda. Kerjasama yang sangat baik ini berjalan hingga terbitnya edisi final *SAINS45*, yang kini menjadi rujukan utama area penelitian DIPI. Sekali lagi, terima kasih.





MUKADIMAH



APAKAH “AGENDA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA”?

*“Kita mencari cahaya yang jauh
padahal begitu dekat; cahaya itu selalu
bersama kita, di dalam diri kita.”*

— Kartini, 1902

Ilmu pengetahuan adalah cahaya yang menerangi peradaban manusia. Bagaimana dan untuk apa manusia memanfaatkan cahaya penerang tersebut bergantung pada konteks di mana dan kapan manusia itu berada. Misalnya pada era kolonialisme Belanda di Indonesia, ilmu pengetahuan dipakai hanya sebagai alat untuk kepentingan pemerintahan kolonial dalam meningkatkan produktivitas ekonomi dan mengontrol rakyat Indonesia agar tetap tunduk pada pemerintah kolonial.

Keadaan sekarang sudah berubah dan sangat berbeda. Indonesia telah merasakan kemerdekaan selama puluhan tahun dan sekarang memiliki tatanan negara dan masyarakat yang demokratis. Telah banyak yang kita capai, namun tak sedikit pula tujuan ideal pendirian bangsa sebagaimana termaktub dalam Pancasila dan Undang-Undang Dasar 1945 yang belum terwujud. Selain itu, kehidupan manusia saat ini semakin tidak dapat dilepaskan dari ilmu pengetahuan dan teknologi. Maka sudah sewajarnya jika kita menegaskan kembali peran ilmu pengetahuan pada era Indonesia masa kini. Kita perlu bertanya, bagaimana kita tetap menjaga cahaya ilmu pengetahuan tetap menyala, menerangi dan menuntun perjalanan bangsa? Apakah peran ilmu pengetahuan sekarang masih sama dengan perannya pada era kolonialisme yaitu semata-mata sebagai alat pendorong pertumbuhan ekonomi saja? Singkatnya, bagaimana kita

mengokohkan cahaya ilmu pengetahuan sebagai landasan peradaban Indonesia? Pertanyaan-pertanyaan inilah yang melatarbelakangi penyusunan dokumen ini dalam rangka menyongsong satu abad kemerdekaan Indonesia.

Eksistensi Indonesia dimulai dari sebuah proyek intelektual yang menjadikan pengajaran dan kebudayaan sebagai fondasinya. Maka untuk menjawab pertanyaan tersebut, ada baiknya kita menengok ke belakang lebih dari seratus tahun yang lalu untuk melihat pemikiran seorang intelektual muda bernama Kartini. Kartini tidak menyediakan jawaban akhir tapi memberikan petunjuk mengenai cara dan kerangka konseptual yang dapat dipakai oleh kita untuk mencari jawaban. Setidaknya ada dua hal penting di sini. Pertama, Kartini mencontohkan bahwa cahaya ilmu pengetahuan hanya dapat terus menyala jika kita memiliki semangat menyelidik (*spirit of inquiry*) yang kuat. Terus-menerus bertanya mengenai diri sendiri, manusia, dan alam di sekitar kita adalah modal dasar dalam membangun ilmu pengetahuan. Kedua, seperti kutipan di awal bahwa cahaya yang menjadi penerang bagi kita adalah cahaya yang berasal dari diri kita sendiri, maka kita perlu mengembangkan ilmu pengetahuan yang bersumber dan bermanfaat bagi usaha kita merealisasikan janji-janji kemerdekaan yang tercantum dalam Pembukaan Undang-Undang Dasar 1945. Karena itulah *SAINS45* berbentuk pertanyaan-pertanyaan yang terinspirasi dan dijiwai oleh identitas keindonesiaan dan ideologi Pancasila.

Dalam memandang ilmu pengetahuan, kami memilih untuk melihatnya secara menyeluruh dan terintegrasi. Setidaknya kami melihat ada tiga

karakter ilmu pengetahuan, yaitu ilmu pengetahuan sebagai metode atau alat untuk mencari solusi dari berbagai permasalahan kehidupan kita, ilmu pengetahuan sebagai kerangka berpikir yang menjadi pengangkat derajat dan kapabilitas manusia, dan ilmu pengetahuan sebagai budaya yang memberikan landasan nilai bagi peradaban manusia.

Ilmu pengetahuan sebagai alat atau metode adalah hal yang paling umum dikenal melalui kegiatan pengajaran yang mengajarkan metode ilmiah. Di sini sisi pragmatis ilmu pengetahuan diutamakan. Metode ilmiah ini, jika dikelola dan didukung oleh sistem yang baik, diharapkan dapat menghasilkan berbagai inovasi teknologi yang memberikan nilai tambah dan berujung pada peningkatan pertumbuhan ekonomi. Menyongsong tahun 2045, mau tidak mau, porsi ilmu pengetahuan dan teknologi dalam pendorong pertumbuhan ekonomi akan terus bertambah karena kompetisi global yang semakin tajam menuntut inovasi yang terus-menerus.

Lebih umum lagi, ilmu pengetahuan juga sudah seharusnya menjadi kerangka berpikir yang menjadi landasan pembangunan manusia Indonesia seutuhnya terutama dalam sistem pendidikan nasional. Di satu sisi kita perlu mengembangkan inovasi teknologi, tapi di sisi lain kita pun perlu meningkatkan terus kapasitas dan kapabilitas manusia sebagai penghasil dan pengguna teknologi baru tersebut. Khusus bagi Indonesia, ada tantangan mendesak yaitu jumlah penduduk Indonesia usia produktif sedang mencapai puncaknya. Kelompok usia produktif ini bisa menjadi kunci yang akan menentukan apakah Indonesia bisa keluar dari jebakan negara berpendapatan menengah (*middle-income trap*), suatu kondisi di mana negara berhasil

keluar dari kemiskinan tapi tidak bisa sepenuhnya menjadi negara maju karena terjebak dalam kelas negara berpendapatan menengah. Jika kita ingin keluar dari jebakan ini, kerangka berpikir, kapasitas dan kapabilitas manusia Indonesia perlu terus ditingkatkan terutama dengan penguasaan ilmu pengetahuan (*scientific literacy*).

Secara lebih fundamental, ilmu pengetahuan juga memiliki nilai-nilai budaya yang sangat cocok dalam konteks masyarakat dan ekologi yang sangat beragam seperti Indonesia. Nilai-nilai keterbukaan, rasionalitas serta komitmen kuat pada kemajemukan dan kebenaran adalah kunci untuk mempertahankan kesatuan Indonesia dalam bingkai Pancasila. Berbagai suku bangsa di Indonesia telah memiliki pengetahuan dan teknologi yang maju dalam berbagai bentuk kearifan dan keunggulan lokal. Bahasa ilmu pengetahuan dapat menjadi bahasa pemersatu yang menjadi komponen penting dalam merajut identitas kolektif Indonesia secara demokratis.

Dokumen ini adalah sebuah usaha untuk memaparkan ilmu pengetahuan sebagai metodologi, kerangka berpikir, dan budaya yang tumbuh dan perlu dikembangkan dalam konteks Indonesia. Dokumen ini kita namakan *SAINS45: Agenda Ilmu Pengetahuan Indonesia Menyongsong Satu Abad Kemerdekaan*. Penamaan ini didasari harapan ia dapat menjadi dokumen hidup yang inspiratif dan menatap jauh ke depan. Perumusan pertanyaan-pertanyaan serupa telah dilakukan di berbagai negara. Jurnal *Science* pada 2005 memformulasikan 125 pertanyaan penting yang dihadapi ilmuwan dan masyarakat Amerika Serikat. Akademi Ilmu

Pengetahuan Belanda (KNAW) telah merumuskan 49 pertanyaan penting yang dihadapi para ilmuwan dan masyarakat di negeri itu. Agenda ini juga berangkat dari kesadaran bahwa tidak ada masyarakat yang bisa bertahan tanpa ilmu pengetahuan. Sebaliknya, tidak ada ilmu pengetahuan yang bisa bertahan dan terus berkembang tanpa masyarakat. Hubungan timbal balik antara ilmu pengetahuan dan masyarakat merupakan keniscayaan: sebuah kenyataan yang membentuk masa lalu, menempa masa kini, dan menciptakan masa depan. Ilmu pengetahuan lahir dari kemampuan manusia menginterpretasikan alam dan lingkungan sekitarnya menjadi satu pemahaman yang mendasari setiap langkah dan tindakan, baik secara individual maupun kolektif.

Ilmu pengetahuan atau sains memang merupakan kunci menuju pintu masa depan. Ilmu pengetahuan menjadi kata kunci bagi setiap bangsa yang ingin bertahan dan berkembang dalam kompetisi global yang penuh gejolak dan dalam ekosistem dunia yang terus-menerus mengalami guncangan dari satu krisis ke krisis lain. Indonesia membutuhkan ilmu pengetahuan tak hanya sebagai perangkat pelengkap kebijakan, tapi justru menjadi inti dari cara berpikir tentang masyarakat, lingkungan, masa lalu, masa kini, dan masa depan. Indonesia memerlukan strategi yang tepat agar kunci itu dapat digunakan dengan baik untuk mengatasi berbagai hambatan, termasuk hambatan pengembangan sains dan budaya ilmiah, karena kuatnya dominasi negara dalam pengembangan dunia sains kita. Selama ini pun pengelolaan ilmu pengetahuan oleh negara, termasuk

pembiayaan penelitian, masih lebih menekankan aspek administratif, bukan aspek ilmiahnya. Dokumen inspirasi sains ini adalah jembatan menuju masa depan, masa ketika peran dan fungsi sains tak lagi dilihat secara terpisah, tapi menjadi bagian integral dari sistem politik, sosial, ekonomi, dan kebudayaan bangsa Indonesia.

BAGAIMANA “AGENDA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA” INI DISUSUN?

Agenda Ilmu Pengetahuan Indonesia ini digagas dan disusun oleh para ilmuwan muda Indonesia (berusia di bawah 45 tahun, telah menyelesaikan pendidikan doktoral, aktif meneliti dan memiliki rekam jejak akademik di jurnal-jurnal bereputasi dari berbagai disiplin ilmu pengetahuan). Mereka bekerja di berbagai perguruan tinggi dan lembaga penelitian, dan telah berpartisipasi dalam pertemuan-pertemuan akademik multidisiplin yang difasilitasi Akademi Ilmu Pengetahuan Indonesia (AIPI), yaitu Pertemuan Ilmuwan Muda Indonesia di Ternate (2010); Indonesian-American Kavli Frontiers of Science Symposium (Bogor, 2011; Surakarta, 2012; Bali, 2013; Medan, 2014; dan Makassar, 2015); serta Indonesian Frontiers of Social Sciences Symposium (Lombok, 2013) dan Indonesian Frontiers of Social Sciences and Humanities Symposium (Bogor, 2015). Melalui sejumlah lokakarya multidisiplin yang difasilitasi AIPI, ilmuwan-ilmuwan muda ini merumuskan delapan gugus masalah dan 45 pertanyaan ilmiah mendasar. Delapan gugus itu adalah: I. Identitas, Keragaman, dan Budaya; II. Kepulauan, Kelautan, dan Sumber Daya Hayati; III. Kehidupan, Kesehatan, dan Nutrisi; IV. Air, Pangan, dan Energi; V. Bumi, Iklim, dan Alam Semesta; VI. Bencana dan Ketahanan Masyarakat terhadap Bencana; VII. Material dan Sains Komputasi; serta VIII. Ekonomi, Masyarakat, dan Tata Kelola.

Kedelapan gugus pertanyaan itu diumpamakan sebagai sebuah titik yang terhubung satu sama lain dalam sebuah lingkaran, yang berpusat pada pencapaian cita-cita bangsa. Lingkaran ini menggambarkan perlunya pendekatan multidisiplin dalam menyelesaikan persoalan-persoalan bangsa, perlunya membangun budaya ilmiah lintas disiplin tanpa sekat-sekat keilmuan yang kaku. Contoh pertanyaan dalam dokumen ini, antara lain: Apa yang Menjadikan Indonesia "Indonesia"?; Bagaimana Teknologi Akan Membentuk Ulang Kemanusiaan?; Megabiodiversitas: Bagaimana 'Bahtera Nuh' Ini Akan Bertahan?; Panjang Umurnya Serta Mulia: Bagaimana Tetap Sehat di Usia Tua?; Hutan Tropis: Cuma Ditebang, Sampai Kapan?; Limbah Jadi Berkah, Caranya?; Satu Nusa, Satu Bangsa, Satu Ekonomi, Mungkinkah?; Orang Muda Akan Terus Menulis Sejarah Indonesia?; dan lain sebagainya.

Delapan gugus masalah dan 45 pertanyaan yang digagas para ilmuwan muda Indonesia itu kemudian dituliskan oleh Komite Studi yang beranggotakan 17 orang, terdiri atas 12 ilmuwan muda dan lima ilmuwan anggota AIPI. Kontribusi para ilmuwan ini secara simbolik menggambarkan hari kemerdekaan kita, tanggal 17, bulan delapan, tahun '45 (1945). Di balik 17 anggota Komite Studi ini, pemetaan masalah dan pengumpulan pertanyaan telah dilaksanakan melalui Forum Ilmuwan Muda pertama yang dihadiri 50 ilmuwan muda alumni simposium AIPI.

Pertanyaan-pertanyaan ilmiah mendasar itu merupakan pengejawantahan mimpi bersama akan Indonesia yang lebih baik dan kegelisahan akademik para ilmuwan muda ketika melakukan penelitian di bidang masing-masing. Mimpi ini sendiri lebih khusus diharapkan akan mengilhami para ilmuwan dan para pembuat kebijakan untuk mengambil kebijakan berdasarkan

sains (*science-based policy*). Dengan demikian *SAINS45* ini diharapkan dapat membantu dalam: (1) memilih, mengindikasikan, dan menunjukkan arah pembangunan sains yang dapat mengatasi tantangan masa depan bangsa; (2) mendorong berbagai upaya mempromosikan ilmu pengetahuan garda depan (*frontier sciences*); (3) menemukan solusi permasalahan fundamental dalam mempersiapkan bangsa yang makin inovatif dan kompetitif; (4) memperkuat eksistensi bangsa dan negara berbasis budaya ilmiah menyongsong kehidupan masa depan yang jauh lebih kompleks.

Lewat dialog-dialog multidisiplin tersebut, pertanyaan-pertanyaan ini disusun dalam bentuk tulisan ilmiah populer yang singkat, dalam bahasa yang mudah dipahami—bukan bahasa atau jargon-jargon teknis yang hanya bisa dipahami dalam disiplin ilmu tertentu. Formulasi pertanyaan kemudian dikonsultasikan kepada masyarakat akademik di berbagai perguruan tinggi dan lembaga penelitian di Tanah Air. Lewat konsultasi publik itu didapatkan banyak pertanyaan dan masukan untuk menajamkan formulasi akhir pertanyaan-pertanyaan sebagaimana yang akan kita temukan dalam buku ini.

KEPADA SIAPA AGENDA INI DITUJUKAN?

Dokumen ini ditujukan kepada banyak pihak; kepada komunitas ilmiah di perguruan tinggi dan lembaga penelitian; kepada masyarakat luas; dan juga tentu saja kepada para pengambil kebijakan. Pertanyaan-pertanyaan ilmiah ini bersifat mendasar, visioner, dan strategis untuk menantang pihak-pihak di atas berpikir jangka menengah dan panjang demi mengatasi berbagai masalah yang dihadapi bangsa Indonesia. Maklum, sering kita hanya berfokus pada masalah dan tantangan jangka pendek.

APA LANGKAH SELANJUTNYA?

Selain masalah-masalah mendasar yang disampaikan dalam agenda ini, masalah lain yang kita hadapi di antaranya adalah bagaimana mengembangkan bangsa kita menjadi bangsa inovatif dan bagaimana mengembangkan budaya ilmiah di negara kita. Kedua pertanyaan ini menunjukkan pentingnya memperkuat penelitian dan budaya ilmiah. Untuk memperkuat kedua hal dasar itu, para ilmuwan muda dan AIPI semakin merasakan pentingnya memperkokoh pijakan moral melalui penerapan etika dalam penelitian dan perilaku, sekaligus memperjuangkan keberadaan Dana Ilmu Pengetahuan Indonesia (DIPI), yang akhirnya resmi berdiri pada 29 Februari 2016. Lembaga ini bertujuan mengurangi keterkaitan langsung yang terlalu tinggi pada birokrasi pemerintahan dalam pembiayaan dan pengelolaan penelitian kita yang cenderung tak kondusif. Keberadaan DIPI merupakan salah satu langkah penting menuju penguatan budaya ilmiah di negara kita.

Ilmu pengetahuan dibutuhkan untuk menjawab berbagai tantangan yang dihadapi bangsa ini. Peran para ilmuwan muda amatlah krusial, sebagai pelaku aktif penelitian di masa kini dan masa depan. Di pundak mereka, budaya ilmiah diemban. Itulah sebabnya pembentukan suatu akademi ilmuwan muda menjadi langkah lanjutan yang sangat penting dalam menindaklanjuti penyusunan Agenda Ilmu Pengetahuan Indonesia ini. Harapannya, mereka akan menjadi ujung tombak pengembangan ilmu pengetahuan di Indonesia.

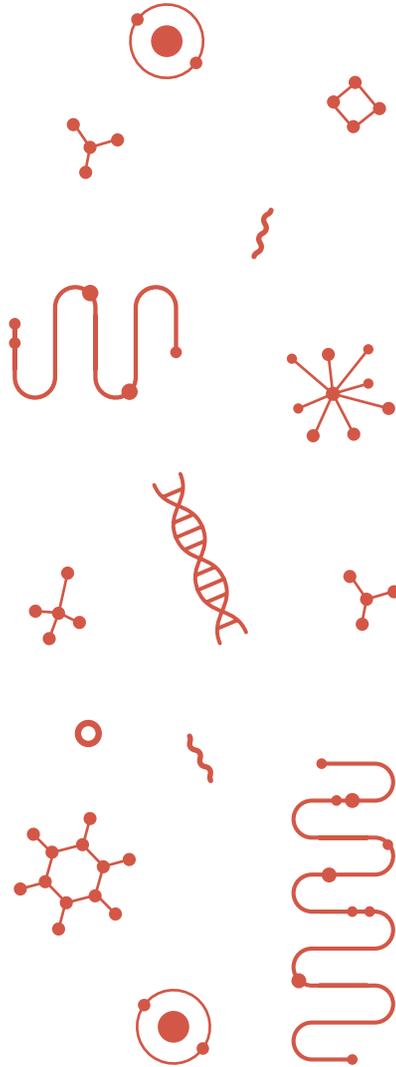
Ilmu pengetahuan dan budaya ilmiah yang dibawa para ilmuwan muda Indonesia, termasuk hasil berguru di sejumlah universitas terkemuka di negara-negara maju, merupakan modal yang selayaknya diberdayakan untuk menjawab berbagai tantangan di Tanah Air.

Ilmuwan muda yang umumnya lebih terbuka terhadap budaya kerja sama lintas disiplin berpotensi melahirkan inovasi-inovasi sains. Sifat yang dinamis dan progresif memudahkan mereka mempromosikan sains dan menginspirasi generasi selanjutnya untuk mencintai dan mengembangkan sains di Tanah Air, bahkan berkarir sebagai ilmuwan.

Ilmu pengetahuan senantiasa bersifat dinamis. Karena itu kita menyadari pertanyaan-pertanyaan ilmiah mendasar dalam *SAINS45* ini harus dilihat sebagai sebuah dokumen hidup. Ia haruslah terbuka terhadap pembaruan-pembaruan agar dapat terus menjadi sumber inspirasi bangsa untuk mengembangkan pengetahuan.

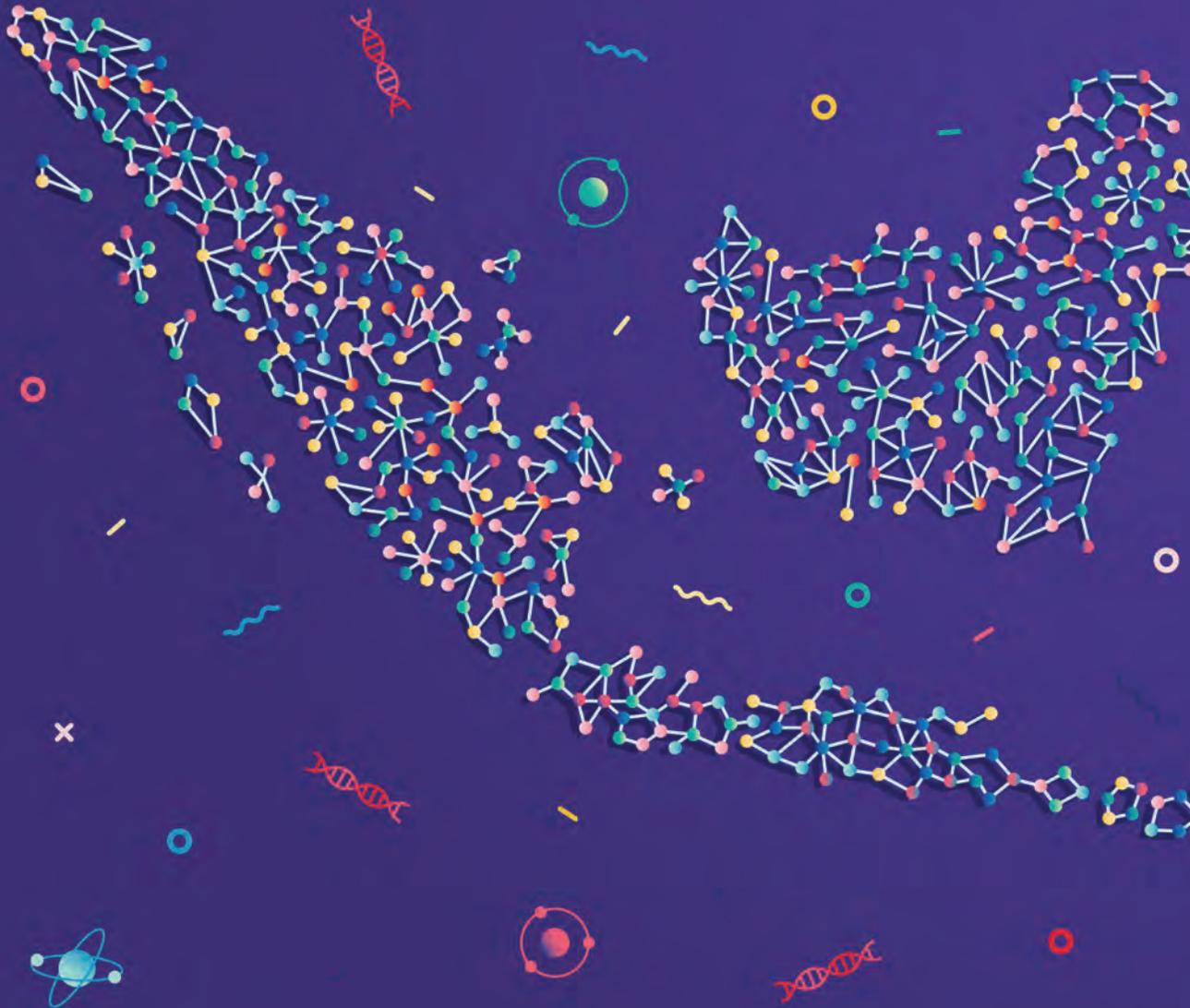
“Kodrat umat manusia kini dan kemudian ditentukan oleh penguasaannya atas ilmu dan pengetahuan. Semua, pribadi dan bangsa-bangsa akan tumbang tanpa itu. Melawan pada yang berilmu dan pengetahuan adalah menyerahkan diri pada maut dan kehinaan.”

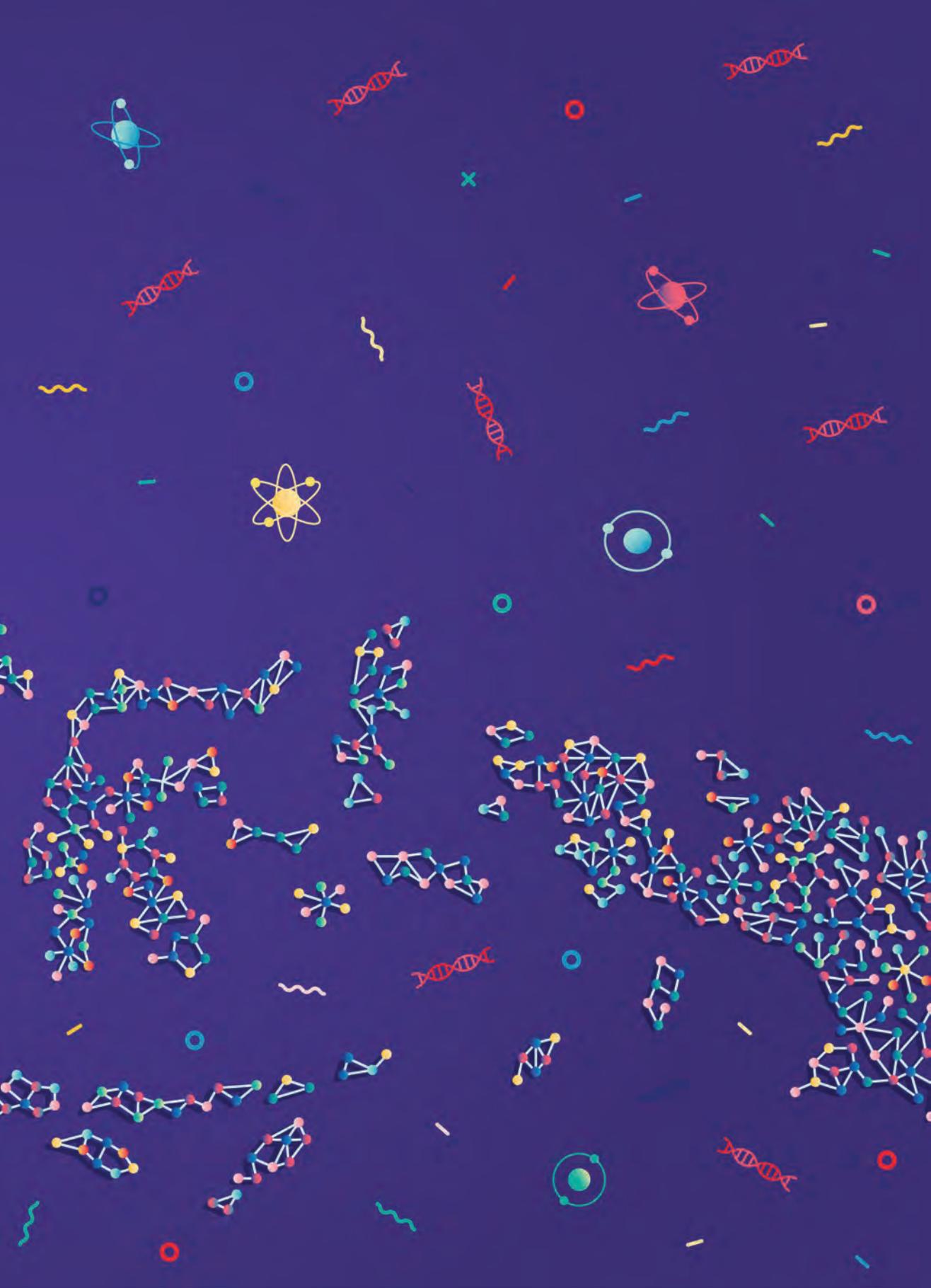
— **Pramoedya Ananta Toer**, *Bumi Manusia*



I

IDENTITAS, KERAGAMAN, DAN BUDAYA





1

Apa yang Menjadikan Indonesia “Indonesia”?

“Apa itu Indonesia?” dan

“Mengapa kita merasa sebagai orang Indonesia?”

adalah dua pertanyaan yang akan selalu relevan diperbincangkan. Jawaban atas kedua pertanyaan itu terus berkembang sesuai dengan perubahan zaman, sejak era prakemerdekaan hingga pascareformasi. Pada akhirnya, pemahaman tentang identitas keindonesiaan bisa menjadi pijakan untuk menentukan masa depan bangsa.



Para peserta Kongres Pemuda II (Batavia, 27-28 Oktober 1928), menegaskan ikrar cita-cita keindonesiaan yang kemudian disebut sebagai "Soempah Pemoeda"

Sebelum Soewardi Soerjaningrat menyebut "Indonesia" sebagai identitas politik pada awal abad ke-20, "Indonesia" hanya kata yang merujuk suatu wilayah geografis, bukan etnografis atau budaya, terlebih politik. *"Jika saya seorang Belanda... saya tidak akan merayakan kemerdekaan saya di tanah yang rakyatnya kita tolak kemerdekaannya..."*. Tulisan Soewardi Soerjaningrat yang menyindir perayaan seabad kemerdekaan Belanda dari Prancis tersebut secara gamblang menempatkan posisi Belanda dan "Hindia". Setelah 70 tahun Hindia merdeka, dan menjadi Indonesia—kata yang digunakan lebih dari seabad lalu—

bagaimana menjelaskan sekelompok masyarakat yang berbeda etnis, suku, agama, dan hidup terpisah secara geografis merasa memiliki identitas yang sama sebagai orang Indonesia?

Definisi dan makna tentang Indonesia selalu berubah sesuai dengan konteks dan zamannya. Pada awal masa berdirinya, Indonesia dimaknai sebagai modal politik untuk memobilisasi rakyat guna memerdekakan diri dari kolonialisme. Belanda menghindari kata "Indonesia" yang membawa semangat perlawanan sehingga lebih memilih "Hindia", "Hindia-Belanda", atau "Hindia Timur". Setelah kemerdekaan,

identitas Indonesia sebagai suatu bangsa lebih diarahkan sebagai bagian dari konstruksi ideologi politik dan untuk pembangunan ekonomi nasional.

Kini, pertanyaan mengenai identitas Indonesia kembali terasa mendesak, terutama dalam era pascareformasi yang demokratis dan terdesentralisasi. Dunia yang semakin terkoneksi baik secara ekonomi, politik, dan sosial, serta munculnya letupan konflik ideologis berbasis identitas membuat pemahaman mengenai identitas Indonesia semakin diperlukan. Melihat konteks nasional dan global yang semakin terfragmentasi tapi sekaligus terkoneksi, tampaknya konstruksi identitas kolektif kini lebih berfokus pada karakter dan perilaku manusia Indonesia, bukan lagi pada proyek politik dan ekonomi.

Keberhasilan dalam memahami identitas Indonesia akan membuat perencanaan masa depan Indonesia lebih mudah dilakukan. Sebaliknya, kegagalan dalam mengenali diri dapat menimbulkan berbagai masalah seperti terhambatnya proses pembangunan nasional hingga munculnya konflik sosial dan disintegrasi.

Usaha untuk menjabarkan identitas Indonesia harus selalu memperhatikan tingginya keragaman di Indonesia, baik secara geografi, biologi, budaya, nilai, bahasa, praktik, dan institusi

sosial. Tak hanya itu, Indonesia kini memiliki "keragaman temporal" dengan komunitas masyarakat digital yang bisa hidup berdampingan dengan kelompok masyarakat yang masih menggunakan teknologi pramodern, atau masyarakat individualis modern yang hidup bersandingan dengan komunitas kolektif tradisional. Tingginya keragaman lokal itulah yang menjadikan formulasi identitas kolektif "Indonesia" sudah tak sama lagi.

Sepanjang abad ke-20, identitas negara-bangsa identik dengan ideologi nasional yang bersifat politis, abstrak, dan menyeluruh. Indonesia, misalnya, memiliki Pancasila sebagai ideologi nasional. Ideologi politis dan komprehensif ini perlu diturunkan dan dijabarkan seiring dengan berkembangnya aktivitas transnasional, yang membentuk jejaring global dalam ranah ekonomi, sosial, dan budaya. Perubahan aktivitas dan perspektif ini membawa konsekuensi pada perlunya kita mengidentifikasi kembali identitas Indonesia, identitas yang memanusiakan manusia Indonesia.

Identitas memanusiakan manusia Indonesia bisa digali dengan usaha sistematis dan empiris untuk memahami kepercayaan, nilai, pikiran, karakter, dan perilaku manusia Indonesia. Pada akhirnya, usaha-usaha itu ditujukan guna merancang sebuah

kehidupan bersama yang harmonis dan membahagiakan individu-individu Indonesia. Apakah identitas Indonesia bersifat statis dengan sebuah esensi keindonesiaan yang dimiliki setiap orang Indonesia? Apakah terdapat kepercayaan inti, fondasi moral, dan kearifan kolektif yang menjadi perekat bagi beragamnya populasi di Indonesia? Apakah identitas keindonesiaan merupakan produk dari interaksi—misalnya konsensus dan negosiasi—sehingga selalu beradaptasi dengan perkembangan zaman dan tempat?

Pertanyaan ini perlu dijawab dalam beberapa level. Secara spesifik, di level mikro atau individu, kita perlu memahami karakter psikologis dan budaya manusia Indonesia. Sementara di level makro atau kolektif, kita perlu mengidentifikasi narasi Indonesia. Selanjutnya kita perlu memahami hubungan timbal balik antara keduanya. Bagaimana kumpulan manusia Indonesia saling berinteraksi membentuk narasi Indonesia bersama, dan bagaimana narasi Indonesia mempengaruhi karakter dan perilaku manusianya?

Humaniora Digital

Sains interdisipliner—terutama antara sains sosial budaya dengan sains komputasi—dapat digunakan untuk menjelaskan hubungan sebab-akibat dan hubungan makna

dari suatu fakta sosial. Misalnya, melakukan studi longitudinal untuk memahami evolusi makna “Indonesia” sejak prakemerdekaan hingga sekarang. Pemahaman sejarah dan historiografi Indonesia juga perlu terus dikembangkan untuk mengidentifikasi berbagai narasi tentang keindonesiaan.

Kita juga perlu membangun koleksi komprehensif tentang berbagai kepercayaan, karakter, perilaku, hingga kebiasaan yang umum di Indonesia dalam berbagai konteks, mulai dari pola pengasuhan anak, pola makan, hingga mekanisme penyelesaian konflik. Usaha digitalisasi budaya, baik budaya tulis, visual, maupun lisan perlu terus digalakkan dan diaplikasikan di berbagai bidang, termasuk dalam pengelolaan sumber daya hayati, kesehatan, ketahanan pangan hingga mitigasi bencana yang bersumber dari kekayaan budaya Indonesia. Dengan demikian kita dapat mengembangkan model-model dinamika untuk memahami dinamika narasi dan budaya keindonesiaan, serta cara kita melakukan hubungan sosial. Semua ini akan bermuara pada pengembangan budaya Indonesia yang adaptif dan berkelanjutan.

2

Torang Samua Basudara: Satu Bangsa di Tengah Keragaman

Kekayaan budaya Indonesia bisa menjadi sumber kekuatan bangsa jika dikelola dengan baik. Sayangnya, perbedaan, terutama agama dan suku, sering dipakai sebagai alasan untuk memobilisasi dukungan massa dan mengobarkan konflik. Adakah cara untuk memaksimalkan manfaat pluralitas budaya untuk kekuatan nasional dan meminimalkan potensi konfliknya?

Setelah lebih dari enam dasawarsa menjadi negara persatuan, Indonesia tetap kaya akan keragaman, baik dari sisi sejarah, agama, suku, bahasa, golongan, warna kulit, hingga genetik. Indonesia memiliki lebih dari 300 suku bangsa dengan karakter fisik dan budaya yang beragam, serta sekitar 700 bahasa daerah. Dalam hal agama, selain enam yang memiliki perwakilan di Kementerian Agama yaitu Islam, Katolik, Protestan, Hindu, Buddha, dan Konghucu, banyak agama maupun kepercayaan lain masih hidup hingga sekarang. Sebagian besar merupakan agama asli seperti

Kaharingan (Kalimantan), Ugamo Malim (Sumatera Utara), Aluk To Dolo (Sulawesi Selatan), dan Agama Djawa Sunda (Jawa Barat). Beberapa lainnya datang dari luar seperti Baha'i, Sikh, dan Yahudi.

Banyak hal baik bisa ditimba dari keragaman budaya bangsa Indonesia. Malah ada yang berpotensi menjadi solusi alternatif bagi berbagai masalah sosial yang dihadapi masyarakat dunia saat ini dan mendatang. Tradisi *pela*—sistem kekerabatan antarkelompok—di Maluku, misalnya, menawarkan model perekatan ikatan sosial yang dapat



Inter Religious Council Indonesia (IRCI) menyelenggarakan World Interfaith Harmony Week 2015 di Kompleks Gedung DPR/MPR RI, Jakarta, yang dihadiri para pemuka agama.

KOMPAS/Alif Ichwan

membantu memulihkan hubungan antara masyarakat dan kelompok masyarakat pascakonflik sosial. Di Jawa, budaya gotong-royong terbukti menjadi salah satu faktor utama cepatnya proses pemulihan pasca letusan Gunung Merapi di Yogyakarta pada 2010. Heterogenitas di Indonesia juga memungkinkan terjadinya interaksi sosial yang lebih berwarna, membuka peluang untuk saling belajar, serta memicu inovasi dan persaingan di antara masyarakat untuk menjadi yang terbaik.

Kita perlu mencari cara untuk memaksimalkan manfaat dari berbagai potensi baik tersebut, antara lain dengan menjawab pertanyaan: apa saja kekuatan budaya bangsa Indonesia yang perlu ditingkatkan dan bagaimana memanfaatkannya untuk menambah daya saing nasional?

Tentu saja, tidak mudah menjaga persatuan dalam keragaman. Dari sisi budaya, kemajemukan Indonesia kini terancam oleh dominasi budaya mayoritas di dalam negeri. Meski kita memiliki sekitar 300 suku bangsa, hanya sejumlah kecil yang menonjol, di antaranya suku Jawa dan suku-suku di Sumatera. Banyak bahasa daerah juga terancam atau telah punah karena ditinggalkan penutur aslinya. Sementara itu keputusan pemerintah

untuk hanya mengakui enam agama resmi, memunculkan diskriminasi terhadap penganut agama lain. Agama-agama lokal akhirnya sering dianggap bukan agama dan bahkan menjadi sasaran misionaris.

Dari luar, kita diserbu oleh budaya asing dan pop yang jika tidak diterima dengan hati-hati bisa menggoyahkan sendi-sendi kebudayaan dan identitas kita sebagai bangsa. Luruhnya sekat antarnegara sebagai implikasi dari kemajuan teknologi transportasi dan informasi yang mengubah dunia menjadi seolah-olah satu desa buana (*global village*), juga bisa menjadi ancaman. Idealnya fenomena ini mendorong masyarakat agar semakin terbuka dan toleran terhadap perbedaan. Kenyataannya, banyak kelompok dari luar seperti kelompok eksklusif dan teroris malah berusaha mempengaruhi masyarakat Indonesia untuk melihat sesuatu yang asing dan berbeda sebagai ancaman, sehingga harus dihancurkan.

Keberbagaian budaya terutama suku dan agama, kian sering dipakai sebagai alasan untuk memicu konflik. Kini pertikaian antaragama maupun intraagama seperti antara penganut Islam-Kristen, Sunni-Syiah, dan Sunni-Ahmadiyah kerap terjadi. Padahal dalam banyak kasus, akar masalah yang sebenarnya terletak

pada persoalan politik dan ekonomi, khususnya ketimpangan kesejahteraan dan kepentingan politik kelompok tertentu, seperti yang terjadi di Ambon, Poso, dan Sambas. Demikianlah, jika tidak dikelola dengan baik, pluralitas dapat menjadi sumber konflik dan perpecahan.

Di belahan dunia lain, cukup banyak negara berkarakter mirip Indonesia. Untuk menjaga persatuan dan memaksimalkan potensi kemajemukan mereka, sejumlah negara mencoba mengelola keragaman masyarakatnya dengan menggunakan konsep *melting pot* dan *salad bowl*. Beberapa yang lain dengan mempromosikan multikulturalisme dan kosmopolitanisme. Ada yang gagal lantas bubar seperti Yugoslavia dan Uni Soviet. Tapi banyak yang bertahan bahkan sukses mengoptimalkan potensi keberagamannya untuk keutamaan bangsa, misalnya Kanada dan Amerika Serikat.

Persatuan Indonesia pernah dirongrong oleh beberapa pemberontakan dan gerakan separatisme, seperti yang dilakukan Darul Islam/Tentara Islam Indonesia (DI/TII), Republik Maluku Selatan (RMS), Organisasi Papua Merdeka (OPM), atau Gerakan Aceh Merdeka (GAM). Tapi semua upaya pemisahan diri tersebut gagal. Pernah

pula ada prediksi, setelah Reformasi 1998, Indonesia akan terpecah-belah. Nyatanya hanya Provinsi Timor Timur yang memisahkan diri menjadi negara Timor Leste. Wilayah lain termasuk Aceh dan Papua tetap menjadi bagian dari Indonesia, meski persoalan di daerah-daerah tersebut belum sepenuhnya dituntaskan. Ini tentu berbeda dari negara-negara di Timur Tengah pasca Arab Spring yang terus mengalami gejolak, peperangan, dan perpecahan. Atau negara-negara Balkan yang tidak dapat menjadi satu negara karena keragamannya.

Alhasil, setelah 70 tahun mendeklarasikan diri sebagai negara merdeka, Indonesia masih merupakan bangsa yang berbeda-beda tapi satu. Pertanyaannya kemudian: apa yang membuat Indonesia bisa bersatu di tengah pluralitas? Faktor apa saja yang paling kuat mengikat persatuan itu? Adakah teori sosial baru yang dapat dimunculkan dengan melihat fenomena pengelolaan keragaman di Indonesia? Apakah federalisme bisa menjadi salah satu alternatif? Dan, adakah pola kebijakan sosial yang dapat diterapkan secara efektif untuk memanfaatkan keragaman dalam membangun kohesi sosial, serta meningkatkan produktivitas dan kemakmuran bangsa Indonesia?

3

Nasionalisme di Era Transnasionalisme

Nasionalisme bangsa ini menghadapi tantangan berat di masa-masa mendatang. Selain persoalan internal seperti keragaman etnik, agama, bahasa, warna kulit, dan geografis negara kepulauan, kita juga ditantang oleh masalah baru seperti terorisme, kewarganegaraan global, migrasi, dan transnasionalisme. Nasionalisme seperti apa yang diharapkan pada tahun 2045? Bagaimana memahami kewarganegaraan di era kewarganegaraan ganda dan mempertahankan kesatuan bangsa di masa tersebut?

Bung Karno, pada salah satu pidatonya yang dikumpulkan dalam buku *Di Bawah Bendera Revolusi*, menegaskan bahwa: "Nasionalisme itu ialah suatu itikad, suatu keinsyafan rakyat bahwa rakyat itu ada satu golongan, satu 'bangsa'!" Dengan kata lain, nasionalisme Bung Karno adalah keinginan untuk bersatu, yakni persatuan nasib serta persatuan antara orang dan tempat.

Sebagai ideologi, nasionalisme baru lahir pada abad ke-18 ketika konsep negara-bangsa (*nation-state*) muncul. Sebelumnya, seseorang akan mengidentifikasi diri dan memberikan loyalitas kepada agama atau suku atau individu tertentu. Setelah muncul negara-bangsa, banyak

orang lantas mengalihkan identitas dan loyalitasnya kepada negara-bangsa. Dalam konteks ini, nasionalisme Indonesia dipahami sebagai proses identifikasi diri dan kesetiaan kepada bangsa ini, serta kesadaran sebagai warga dari bangsa yang satu, bertanah air satu dan memiliki cita-cita yang sama.

Orang sering mengaitkan semangat nasionalisme dengan patriotisme atau kesediaan berjuang dan mati membela bangsa. Meski demikian, secara ontologis, nasionalisme merupakan konsep yang sulit didefinisikan dan mengandung banyak paradoks. Bagi sebagian besar bangsa, landasan yang membuat masyarakat bersatu untuk membangun sebuah bangsa adalah



imajinasi politik. Di Indonesia, faktor yang mendasari imajinasi kita sebagai sebuah bangsa adalah perasaan senasib dan sepenanggungan, kesamaan masa lalu dan cita-cita bersama, serta penjajahan di masa lalu.

Paradoks nasionalisme Indonesia adalah, meski memiliki sejarah dan cita-cita yang sama, terdapat banyak hal yang membedakan penduduk negeri ini satu dari yang lain. Bangsa ini memiliki ratusan suku yang tersebar di berbagai pulau yang terpisah-pisah dan berjumlah ribuan. Agamanya pun beragam. Dan meski memiliki bahasa nasional yang sama, dalam kehidupan sehari-hari banyak masyarakat Indonesia berbicara dengan bahasa daerah yang berbeda-beda. Warna kulit dan penampakan fisik penduduk bangsa ini juga tidak seragam.

Berbagai perbedaan tersebut membuat bangsa ini sangat rentan terpecah-belah. Terlebih bila distribusi pembangunan dan kesejahteraan dirasa sangat timpang oleh masyarakat. Ini semua merupakan tantangan dari dalam yang harus dihadapi oleh Indonesia untuk mempertahankan kesatuan dan nasionalismenya.

Dari luar, kebangsaan kita ditantang oleh berbagai gerakan dan ideologi transnasionalisme, atau nasionalisme lintas negara, serta fenomena

kewarganegaraan global. Abad ke-21 sering diprediksi sebagai awal dari era memudarnya negara-bangsa dan ideologi nasionalisme. Gelombang migrasi orang dari dan ke negara lain, serta kebijakan kewarganegaraan ganda di beberapa negara dipandang telah merancukan makna nasionalisme yang selama ini sering dipahami hanya dalam konteks satu negara. Padahal bagi sejumlah orang, misalnya yang menikah dengan warga negara lain, kebijakan kewarganegaraan ganda merupakan suatu kebutuhan.

Kemunculan organisasi multinasional, seperti Uni Eropa dengan mata uang tunggalnya Euro, juga mengurangi kedaulatan negara-bangsa terutama dalam hal ekonomi. MEA (Masyarakat Ekonomi ASEAN) juga merupakan tantangan lain terhadap nasionalisme. Lalu ada berbagai gerakan transnasionalisme seperti Hizb-ut-Tahrir yang aktif di berbagai negara namun tak mengakui keberadaan negara-bangsa. Hizb-ut-Tahrir memilih membangun jaringan solidaritas berdasarkan agama di bawah kepemimpinan khalifah (sistem khilafah Islamiyah) sebagai pengganti konsep negara-bangsa. Gerakan ini merevitalisasi kecaman terhadap nasionalisme bahwa ideologi tersebut merupakan bentuk dari *'asabiyya*, yaitu fanatisme sempit berdasarkan semangat

primordial.

Demikianlah, tak terhindarkan perkembangan dunia mengubah konsep kenegaraan dan nasionalisme. Banyak negara-bangsa bergeming, namun ada pula yang gagal mempertahankan nasionalismenya dan terpecah-belah. Bagaimana dengan Indonesia? Dalam kondisi seperti ini, apa saja tujuan bersama yang mengikat kita sebagai satu bangsa dan yang membuat kita merasa perlu untuk mempertahankan nasionalisme Indonesia? Nilai-nilai apakah yang dapat mendukung tercapainya tujuan bersama? Bagaimana formula nasionalisme yang relevan dalam konteks transnasionalisme dan

kewarganegaraan global? Bagaimana memahami berbagai perubahan dan evolusi makna nasionalisme itu sendiri? Apakah kebijakan mengadopsi kewarganegaraan ganda atau beberapa kewarganegaraan bisa diterapkan di Indonesia tanpa mengurangi nasionalisme bangsa ini? Apakah elemen-elemen yang mengikat kita sebagai satu bangsa dapat ditumbuhkan, dipelihara dan diperkuat seiring dinamika kehidupan berbangsa, bernegara dan bermasyarakat?

4

Bagaimana Teknologi Akan Membentuk Ulang Kemanusiaan?

Revolusi teknologi beberapa dekade belakangan ini membuat manusia mampu menaklukkan rintangan alam, waktu, dan ruang. Namun teknologi adalah pedang bermata dua; dapat melindungi atau mensukseskan pemegangnya, tapi juga dapat menghancurkan. Demikian juga teknologi komunikasi dan informasi. Dengan revolusi komunikasi yang terus berlangsung, peradaban seperti apa yang akan tercipta di masa yang akan datang? Hubungan kemanusiaan seperti apa yang akan kita temui di ujung perkembangan ini?



Transformasi di bidang teknologi komunikasi dianggap sebagai salah satu revolusi dunia karena menandai perbedaan besar antara peradaban manusia saat ini dan peradaban manusia sebelumnya. Televisi dan radio, misalnya, berpengaruh lebih luas dalam mengubah dunia ketimbang buku. Revolusi Iran pada 1979 merupakan contoh bagaimana kaset menjadi sarana paling penting dalam proses terjadinya revolusi. Pada dekade pertama abad ke-21, Arab Spring—gelombang demonstrasi, kerusuhan, dan perang sipil di negara-negara Arab—menunjukkan bagaimana besarnya peran media sosial. Aktivistis Arab Spring menggunakan Facebook untuk menjadwalkan protes dan demonstrasi, Twitter untuk melakukan koordinasi, dan YouTube untuk menyampaikan aksi kepada dunia. Internet dan media sosial memungkinkan persebaran data informasi dalam jumlah yang sangat besar tanpa sensor pemerintah, dan tentunya tanpa saringan. Pertanyaan yang timbul: masyarakat seperti apa yang diharapkan terwujud dengan teknologi informasi dan komunikasi yang akan terus berkembang ini?

Sebagai bagian dari peradaban manusia, teknologi komunikasi dan informasi memang memudahkan aktivitas manusia. Teknologi

mengefisienkan banyak hal dan menghilangkan sekat-sekat geografis serta administratif. Namun teknologi juga menimbulkan persoalan yang rumit pada, misalnya, institusi sosial, hubungan antarmanusia, kesehatan, pendidikan, dan kejiwaan. Bagaimana teknologi berpengaruh atau membentuk kemanusiaan kita pada masa-masa yang akan datang?

Dalam hubungan keseharian dan dunia pendidikan, teknologi tak hanya melunturkan "sentuhan manusia", yang merupakan salah satu karakteristik dan kebutuhan alami manusia, melainkan juga mempengaruhi durasi konsentrasi. Tantangan di era digital ini adalah menciptakan masyarakat melek teknologi komunikasi dan informasi namun tak menjadikan manusia terasing dari manusia lain serta dirinya sendiri.

Untuk menjadi bangsa yang kuat dan berdaya saing tinggi, bagaimanapun, Indonesia harus ikut dalam perkembangan dan menjadi bagian dari kemajuan teknologi. Tapi persoalan besarnya adalah bagaimana menyiapkan diri menjadi bangsa yang tetap memiliki karakter, nilai, dan kebersamaan sosial yang kuat di tengah arus revolusi teknologi masa depan. Bagaimana memanfaatkan teknologi dalam upaya mencerdaskan manusia

Indonesia untuk merawat keragaman dan keutuhan bangsa?

Dunia Tanpa Buku

Seorang penulis Amerika Serikat, Ray Bradbury, suatu kali berkata, "Tak perlu membakar buku untuk menghancurkan sebuah peradaban, tapi buatlah masyarakatnya berhenti membaca." Dengan kemampuan konsentrasi rata-rata kurang dari tiga menit dan tiap tiga menit pengguna aktif internet memeriksa telepon pintarnya, kemampuan seseorang membaca buku kini jauh berkurang, terlebih di masa depan. Mengapa membaca tetap penting sampai kapan pun?

Membaca merupakan kegiatan yang melibatkan otak, organ yang perlu terus dilatih. Kemampuan membaca tidak semata berarti melek huruf dan membaca tulisan. Lebih dari itu, membaca juga berarti kemampuan mengolah, mencerna, dan memilah banjir informasi dan gagasan, kemudian menyampaikannya kembali dalam berbagai wujud. Di masa depan justru diperlukan kemampuan membaca yang lebih mahir karena harus disertai kemampuan memilah bacaan terpercaya di antara serbuan informasi. Membaca juga membentuk kreativitas, daya imajinasi, dan kepribadian yang tak gagap menghadapi dunia yang

kompetitif. Apa yang akan terjadi pada masyarakat yang tak lagi membaca buku dan hanya mengandalkan informasi pada hasil media sosial dan pencarian di internet? Dalam berapa generasi kemampuan membaca pada masyarakat akan hilang dan bagaimanakah rupa dari generasi yang tidak membaca itu?

Pribumi Digital

Generasi yang lahir dan besar dalam dunia yang sepenuhnya digital merupakan penduduk pribumi masyarakat digital, dan masa itu niscaya segera tiba. Masyarakat transisi—yang menjalani dunia setengah digital—perlu beradaptasi di masa ini. Dunia akan mengikuti bentuk

dan nilai-nilai baru yang meliputi segala aspek kehidupan: ekonomi, politik, identitas, bangsa-negara, hubungan sosial, dan lembaga-lembaga kekerabatan seperti keluarga dan pernikahan. Bagaimana masyarakat transisi beradaptasi dan hidup berdampingan dengan generasi pribumi digital ini? Bagaimana masyarakat yang berada di wilayah pedalaman dan belum tersentuh teknologi memaknai perkembangan pesat teknologi digital? Dan bagaimana mereka dapat hidup berdampingan dengan generasi pribumi digital yang akan menjadi kelompok dominan dalam beberapa tahun lagi?

5

Nusantara, Tapak Perjalanan Evolusi Manusia?

Sekitar satu dekade terakhir, bumi Indonesia telah menjadi sumber inspirasi bagi sejumlah penemuan penting dalam bidang evolusi serta perkembangan peradaban dan kreativitas manusia. Siakah ilmuwan Indonesia menggali sejarah asal-usul manusia di halaman rumahnya sendiri?

Di penghujung abad ke-19, dunia ilmu pengetahuan terguncang oleh penemuan Eugene Dubois, peneliti asal Belanda, di Trinil, Jawa Timur. Dia menemukan fosil manusia purba yang memiliki karakteristik antara kera dan manusia modern: *Pithecanthropus erectus*, berarti manusia kera yang berdiri tegak, buah pertama dalam usaha pencarian rantai yang hilang dalam proses evolusi manusia. Namun, kiblat penelitian tentang evolusi dan peradaban kemudian bergeser. Fosil di Jawa gagal bersaing dengan banyaknya penemuan di Afrika dan Eropa, meski fosil di Trinil itu ternyata merupakan *Homo erectus* pertama yang ditemukan.

Dalam dekade terakhir, barulah penelitian di bumi Indonesia kembali menggeliat dan menghasilkan penemuan mencengangkan. Di antaranya penemuan fosil *Homo floresiensis* di Flores, Nusa Tenggara Timur; lukisan gua di Maros, Sulawesi Selatan, yang ternyata salah satu jejak seni *Homo sapiens* tertua di dunia; serta fosil kulit kerang di Trinil, Jawa Timur, yang menunjukkan pertanda kreativitas pada *Homo erectus*. Bagaimana ilmuwan Indonesia memanfaatkan "harta karun" di Nusantara ini?

Homo erectus adalah spesies paling awal di garis evolusi manusia yang menampilkan sejumlah sifat manusia

modern yang jelas sehingga amat menarik untuk dipelajari. Fosil-fosil yang ditemukan menunjukkan bahwa *Homo erectus* memiliki persebaran geografis yang sangat luas dan hidup dalam rentang waktu yang panjang. Fosil di Afrika berusia sekitar dua juta tahun, sementara fosil di Sangiran diduga hidup di akhir masa Pleistosen, hanya sekitar 100.000 tahun lalu. Penelitian di Indonesia menjadi amat penting dalam menyingkap teka-teki tentang pola evolusi *Homo erectus*.

Karakteristik apa yang membuat mereka mampu menyebar ke habitat yang sangat berbeda seperti Afrika, Eropa, dan Asia? Keterbatasan apa yang membuat spesies ini punah di akhir era Pleistosen? Dengan ditemukannya peralatan dari kulit kerang yang sudah dihias, diduga dibuat *Homo erectus* di Trinil, apa peran perilaku, teknologi, dan inovasi dalam pola evolusi *Homo erectus*? Apakah spesies ini sempat menyeberangi selat dalam yang memisahkan Paparan Sunda—yang dulu berujung di Borneo—dengan Sulawesi dan Nusa Tenggara? Lebih jauh misalnya, adakah fosil-fosil lain di Flores yang menguatkan bukti adanya spesies hominin, *Homo floresiensis*, hidup berdampingan dengan *Homo sapiens*, sampai sekitar 12.000 tahun lalu? Bagaimana hubungan evolusi



spesies hominin ini dengan *Homo erectus* di Jawa?

Kemampuan menyeberangi laut ini sebelumnya diketahui hanya dimiliki *Homo sapiens*. Jawaban pertanyaan-pertanyaan itu akhirnya akan membantu menyibak misteri tentang perkembangan manusia modern, yang kini mampu membuat pesawat ruang angkasa padahal dulu hidup dengan peralatan yang sama sederhananya dengan *Homo erectus*. Apa yang membuat *Homo sapiens* dapat

mengembangkan peradaban dengan sangat pesat hanya dalam rentang 150.000 tahun kehidupannya?

Diaspora Austronesia

Asia Tenggara, termasuk Indonesia, merupakan tempat penting untuk mempelajari perkembangan peradaban dan kreativitas *Homo sapiens*. Berbagai penelitian dunia tentang Asia, yang turut dipelopori ilmuwan Indonesia, menyimpulkan bahwa Asia Tenggara merupakan stasiun utama penyebaran manusia modern dari Afrika ke kawasan timur Asia hingga ke Papua,

Australia, bahkan Amerika.

Berdasarkan analisis variasi genetik, *Homo sapiens* muncul pertama kali di Afrika Timur sekitar 160.000-200.000 tahun lalu. Diperkirakan, mereka mulai menyebar keluar dari Afrika sekitar 100.000 tahun lalu, kemudian tiba di kawasan Nusantara sekitar 60.000 tahun silam. Saat itu Paparan Sunda belum tenggelam. Sumatera, Jawa, dan Kalimantan masih menyatu dengan daratan Asia. Dari situ, barulah mereka menyebar ke pulau-pulau lain. Bagaimana mereka mengembangkan teknologi untuk menyeberangi laut?

Temuan terbaru tentang lukisan gua di Maros, Sulawesi Selatan, yang ternyata paling tidak berusia 39.900 tahun, menunjukkan kreativitas pada *Homo sapiens* sudah muncul di Nusantara pada waktu hampir bersamaan dengan lukisan gua di El Castillo, Spanyol, yang selama ini diyakini sebagai lukisan gua tertua di dunia. Apa yang membuat kemampuan itu berkembang di lokasi yang terpaut jarak sangat jauh? Apakah kemampuan tersebut dipengaruhi oleh pola migrasi atau berkembang secara independen di lokasi yang berbeda-beda?

Sebagian besar populasi etnis Indonesia saat ini—di luar Papua, Maluku, dan bagian timur Nusa Tenggara—bertutur dalam bahasa serumpun,

yaitu Austronesia. Diperkirakan, ada penyebaran besar-besaran penutur rumpun bahasa Austronesia yang ditaksir terjadi sekitar 4.000 tahun silam. Jika terbukti benar, diaspora terbesar dalam sejarah umat manusia tersebut—melebihi separuh lingkaran dunia, mulai dari Madagaskar di Afrika hingga Pulau Paskah di Pasifik—sangat penting dalam menjelaskan asal-usul manusia Indonesia sekarang. Diaspora Austronesia ini pun menarik ilmuwan dunia, karena berbeda dengan sejarah perkembangan *Homo sapiens* selama sekitar 150.000 tahun sebelumnya, kali ini migrasi massal manusia terjadi melalui laut, bukan darat.

Lantas dari mana asal-muasal para penutur bahasa Austronesia ini dan bagaimana mereka menyebar? Masih gelap. Bahkan ada perbedaan mencolok tentang hasil studi linguistik dengan studi genetika tentang nenek moyang penutur bahasa Austronesia. Para ahli linguistik meyakini penuturnya berasal dari Taiwan, sementara ahli-ahli genetika berpendapat penuturnya berasal dari satu kepulauan di Nusantara.

Bagaimana menginterpretasikan perbedaan ini? Bagaimana pola penyebaran dari tempat asalnya? Juga, apakah ekspansi Austronesia benar-benar melibatkan migrasi massal?

Mungkinkah keragaman genetik populasi Indonesia merefleksikan pola migrasi pra-Austronesia yang diikuti perkembangan bahasa, misalnya karena perdagangan atau penguasaan wilayah? Bagaimana efek ekspansi Austronesia terhadap populasi pra-Austronesia? Berapa besar dampak ekspansi Austronesia terhadap keragaman genetik di Indonesia? Dan dari sudut antropologi dan arkeologi, bagaimana manusia beradaptasi dan berinovasi sehingga dalam waktu relatif singkat dapat menyebar begitu luas melalui lautan? Inilah tantangan bagi para ilmuwan Indonesia untuk menjawabnya.

6

Arsitektur Sains Berubah: Bagaimana Indonesia Menghadapinya?

Arsitektur sains dunia berubah pesat. Spesialisasi keilmuan makin menyempit, namun batas antar disiplin ilmu pengetahuan kian kabur. Lahirlah berbagai bidang keilmuan baru dan maraklah penelitian lintas disiplin untuk menjawab tantangan di masyarakat. Tantangan dalam sains kini berubah, terutama di era *big data*, seraya mempengaruhi perkembangan intelektualitas, sosial, dan budaya. Namun di tengah perubahan itu, Indonesia masih bergelut dengan rendahnya budaya ilmiah. Siap tak siap, Indonesia yang masih mencari pola pengembangan sainsnya, harus menghadapi perubahan itu.



Selama abad ke-19 dan awal abad ke-20, para ilmuwan dari berbagai negeri datang ke Hindia-Belanda untuk melakukan penelitian atau berkarier. Latar belakang bangsa dan ilmu yang beragam menunjukkan gambaran penting kerja sama internasional di bidang sains, yang memberikan sumbangsih besar dalam ilmu pengetahuan, khususnya di bidang kedokteran dan kesehatan masyarakat, pertanian, dan geologi terapan. Di masa itu, Hindia merupakan ladang yang subur untuk pertumbuhan ilmu pengetahuan, dan dari tanahnya lahir para pahlawan ilmu pengetahuan seperti, Alfred Russel Wallace, Franz Wilhelm Junghuhn, atau Christiaan Eijkman.

Namun ketika gagasan kemerdekaan dan keinginan membentuk pemerintahan sendiri muncul, ilmu pengetahuan pun tersisih. Atmosfer keilmuan kian memburuk selama pendudukan Jepang dan masa Revolusi. Dalam kecamuk perang, banyak cendekiawan dan ilmuwan pergi dari tanah Hindia dengan tergesa, tanpa rencana untuk masa depan ilmu pengetahuan, meninggalkan laboratorium dan penelitian yang sedang dilakukan. Sebagian beruntung dapat menyelamatkan tulisan dan buku-buku mereka; tapi sebagian lain tidak. Untunglah, Pieter Honing dan Frans Verdoorn berhasil menyusun *Science and Scientists in the Netherlands-Indies*

(1945), kumpulan karya luar biasa para ilmuwan di Hindia—termasuk daftar ilmuwan dan staf peneliti—sebagai catatan sejarah ilmu pengetahuan negeri ini.

Di Republik yang belia, sains terpaksa mengalah ketika berhadapan dengan pemikiran politik dan ekonomi yang mendominasi panggung nasional. Selama lebih dari tujuh dekade ketika Indonesia sibuk mengatasi tantangan pembangunan negeri, perkembangan dalam sains kian merana dan metode penelitian pun mandek. Selama masa itu, arsitektur sains global berubah dan berevolusi, jauh meninggalkan Indonesia yang tidak bersiap diri menghadapi perubahan-perubahan tersebut serta tidak bertindak mengubah bangunan sainsnya sendiri. Perkembangan sains di Indonesia jauh dari produktif, terlihat dari sepihnya publikasi ilmiah dan paten. Pendanaan untuk penelitian kian menurun, terutama penelitian dasar, akibat kesalahpahaman bahwa penelitian dasar membutuhkan biaya tinggi, dan bahwa perkembangan terkait industri hilir dapat dilompati tanpa keterampilan dan budaya ilmiah dalam penelitian dasar. Akibatnya, perkembangan intelektualitas, sosial, dan budaya pun terpengaruh.

Dalam dunia ilmiah saat ini, sebagian

besar penemuan penting dihasilkan dari penelitian multidisiplin. Perkembangan teknologi dan media sosial membuat data yang sebelumnya harus dicari untuk membuktikan hipotesis peneliti, kini tersedia dalam jumlah besar, hampir tak terbatas. Peneliti di era ini malah ditantang untuk memanfaatkan *big data*: mencari makna yang tersembunyi dalam ribuan *terabyte* data hasil kicauan manusia di dunia maya. Bagaimana memanfaatkan lautan data ini untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan kehidupan manusia?

Di sisi lain, kemajuan sains juga dapat menimbulkan berbagai masalah baru yang kompleks. Perkembangan pesat sains di bidang komunikasi dan informasi, biomedis, neurosains, nanoteknologi, maupun di bidang ilmu sosial dan humaniora, memang menghasilkan produk teknologi dan penafsiran. Namun perkembangan ini juga turut menimbulkan polemik di bidang etik, moral, sosial, politik, dan budaya. Siapkah kita menghadapi hasil perkembangan teknologi di berbagai bidang—misalnya perbaikan genetik manusia sebagai dampak kemajuan biomedis? Apa saja konsekuensi etik, moral, sosial, dan politik dari upaya perbaikan atau modifikasi genetik, dan bagaimana menghadapinya? Di tingkat yang lebih luas, bagaimana kita menghadapi perubahan arsitektur

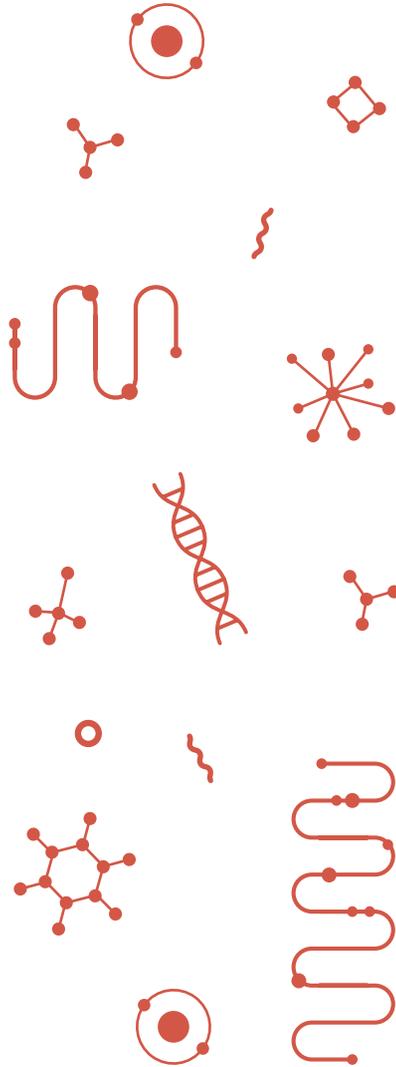
sains kini dan nanti? Bagaimana pula mengantisipasi bidang keilmuan yang cenderung semakin terspesialisasi namun di saat yang sama batas antar disiplin ilmu pengetahuan semakin kabur?

Perlu disadari, ketika begitu banyak masalah mendesak untuk dipecahkan, budaya ilmiah dan pendidikan di Indonesia masih lemah, sehingga sains juga belum banyak dimanfaatkan untuk perumusan kebijakan publik. Kebijakan dan program apa saja yang dibutuhkan untuk meningkatkan budaya ilmiah dan penguatan penelitian? Bagaimana mendorong produksi sains untuk memacu kemampuan dalam kompetisi global, misalnya dalam penguasaan teknologi strategis, sekaligus membangun kembali ilmu pengetahuan dasar? Bagaimana mengurangi birokratisasi dalam pengelolaan sains dan penelitian? Bagaimana membuat kebijakan publik berdasarkan pertimbangan sains, tak semata berdasarkan kepentingan politik maupun ekonomi jangka pendek?

Ada banyak pertanyaan yang pantas diajukan, namun patut diingat bahwa sains dan masyarakat (kebudayaan) bagaikan dua sisi uang logam alias tak terpisahkan. Nilai, etika, dan kemanusiaan merupakan bagian integral dalam sistem pengetahuan,

sementara sains juga menopang sistem sosial secara keseluruhan, termasuk dalam membentuk masyarakat. Sayangnya sekali, sampai saat ini kita belum mengetahui budaya sains yang ideal untuk Indonesia. Padahal budaya itulah yang harusnya menjadi panutan bagi peneliti Indonesia dalam berperilaku dan mengembangkan ilmu pengetahuan.

Sementara itu, pengetahuan juga belum banyak terserap dan dimanfaatkan untuk masyarakat. Kedua masalah tersebut berakar pada sistem dan institusi dalam produksi pengetahuan di Indonesia, yang turut dipengaruhi kondisi sosial dan politik. Masalahnya, bagaimana sains berinteraksi dengan berbagai kelompok sosial dalam masyarakat? Jika secara epistemologi pengetahuan yang valid dibangun melalui metodologi, asumsi, serta pertanyaan ilmiah, sistem epistemologi seperti apa yang dapat mengembangkan sains dan meminimalkan sekat antardisiplin dalam konteks Indonesia?





II

**KEPULAUAN,
KELAUTAN, DAN
SUMBER DAYA
HAYATI**



Megabiodiversitas: Bagaimana ‘Bahtera Nuh’ Ini Akan Bertahan?

Indonesia, rumah bagi sebelas persen spesies di Bumi, telah menjadi sumber inspirasi bagi naturalis tersohor, Alfred Russel Wallace, untuk meletakkan dasar dua teori besar abad ke-19, yaitu teori evolusi dan biogeografi. Di balik anugerah megabiodiversitas ini, terdapat sejumlah tantangan nyata akibat kerusakan lingkungan, baik karena ulah manusia maupun perubahan iklim. Bagaimana Indonesia mempertahankan anugerahnya?



Tarsius dentatus, primata terkecil, fauna khas Sulawesi

Jatna Supriatna

Seratus lima puluh tahun lalu, Alfred Russel Wallace menjelajah Nusantara yang tak ubahnya bagai bahtera Nuh, penuh sesak oleh aneka spesies. "Di kepulauan ini terdapat dua kelompok fauna yang perbedaannya sangat mencolok seperti halnya perbedaan fauna Afrika dan Amerika Selatan; dan lebih mencolok daripada fauna Eropa dan Amerika Utara. Namun tak ada penanda apa pun baik pada peta maupun di pulau-pulaunya yang menunjukkan batas-batas perbedaan itu," tulis Wallace dalam *Kepulauan Nusantara*.

Ia melanjutkan, "Saya yakin kepulauan

di bagian barat merupakan bagian dari benua Asia yang kemudian terpisah, sedangkan bagian timur merupakan bagian dari benua Pasifik yang memanjang dan kemudian terlepas. Pada burung dan mamalia, perbedaan itu terjadi pada tingkat genus, famili, dan bahkan ordo, yang hanya ditemukan pada satu wilayah."

Keragaman hayati negeri kita merupakan karya bersama dari banyak faktor: posisi geografis, iklim tropis, kompleksitas bentang alam, isolasi wilayah dalam waktu lama, pergerakan lempeng tektonik, luasnya wilayah, hingga proses evolusi. Beraneka

ragam spesies yang telah berevolusi jutaan tahun hidup di habitat tertentu, menciptakan suatu ekosistem yang memiliki fungsi kompleks yang menunjang keseimbangan alam dan manusia. Apa yang menentukan biodiversitas spesies di suatu tempat? Apa fungsi dan implikasi dari keragaman hayati ini? Sumatera, Jawa, dan Kalimantan membentuk kekhasan fauna Asia di wilayah barat Indonesia. Mamalia besar khas daratan Asia seperti badak, kera, gajah, dan harimau, mengalami spesiasi—pembentukan spesies baru—sendiri, yang menunjukkan bahwa tiga pulau yang berdekatan tersebut mengalami periode berbeda ketika terpisah, serta mengalami bencana geologi dan masa isolasi yang juga berbeda.

Kera, gajah, tapir, rusa, dan beruang madu dapat ditemukan di Kalimantan dan Sumatera, namun tidak di Jawa. Dari data persebaran burung, Sumatera dan Kalimantan juga memiliki lebih banyak kesamaan spesies dibandingkan Jawa. Dengan pola ini, Jawa diduga lebih dulu terpisah dari Asia dan mengalami isolasi lebih lama.

Kemiripan karakteristik fauna Papua di ujung timur Indonesia dengan fauna di Australia menunjukkan bahwa mulanya Papua menyatu dengan benua Australia. Australia-Papua juga

mengalami masa isolasi panjang yang menyebabkan keunikan fauna, seperti adanya hewan berkantung yang tidak ditemukan di bagian barat Indonesia.

Keistimewaan dari Kepulauan Nusantara adalah wilayah tengah, yang terdiri atas Pulau Sulawesi, Kepulauan Nusa Tenggara, dan Kepulauan Maluku, yang secara keseluruhan disebut sebagai kawasan Wallacea. Di kawasan Wallacea ini ditemukan biodiversitas tersendiri dengan komposisi terunik. Wilayah ini memiliki berbagai spesies khas yang tidak ditemukan di wilayah mana pun di muka Bumi, seperti anoa, komodo, dan babirusa. Rekonstruksi pergerakan lempeng tektonik yang menyebabkan terbentuknya pulau-pulau di kawasan Wallacea jutaan tahun lalu, serta isolasi yang berkepanjangan, menyebabkan keunikan spesies flora dan fauna di kawasan ini. Bagaimana memahami keunikan biodiversitas Indonesia? Dapatkah kita memprediksi laju kepunahan spesies, terutama spesies endemik, dan bagaimana mencegahnya? Apa implikasi kepunahan suatu spesies?

Perbedaan keragaman spesies di wilayah Indonesia merupakan tantangan untuk lebih memahami kompleksitas biodiversitas dan memanfaatkannya demi pembangunan yang selaras dengan alam serta

berkelanjutan, baik pada tataran dan fungsi sosial, ekonomi, maupun ekologi. Namun, masih banyak spesies yang belum teridentifikasi, termasuk mikroorganisme. Bagaimana mengembangkan teknologi yang dapat mengidentifikasi spesies tersisa secara aktual? Bagaimana memahami perubahan biodiversitas akibat antropogenik dan geodinamik dalam suatu kesetimbangan baru dan memperkirakan ekosistem masa depan?

Laboratorium Alam Evolusi

Kawasan Wallacea, terutama Pulau Sulawesi, merupakan laboratorium alam yang sangat unik untuk membantu menjawab pertanyaan-pertanyaan mendasar tentang evolusi. Misalnya, apakah spesiasi cenderung berlangsung perlahan dan ajek atau mengalami percepatan? Di Sulawesi, justru proses spesiasi ini terjadi cepat, dinamis, dan terus berlangsung hingga kini. Berbagai komponen yang berbeda dari barat, timur, dan utara (Filipina) pada periode yang berlainan dan datang dari tempat yang jauh muncul jadi satu, membentuk keunikan fauna Sulawesi. Posisi dan bentuknya yang juga istimewa menjadikan kepulauan ini sebagai tempat migrasi berbagai spesies. Proses pemisahan dan penyatuan berbagai habitat di Sulawesi

juga berlangsung berkali-kali.

Bagaimana evolusi memunculkan proses spesiasi yang lebih rumit? Selain isolasi yang lama, intergradasi sekunder—menyatunya habitat-habitat yang sebelumnya jauh terpisah—di bagian utara, selatan, tengah dan tenggara Sulawesi juga menyebabkan terjadinya spesiasi. Spesies baru hibrida ini sudah muncul pada monyet, kodok, dan reptil, yang memiliki perilaku dan materi genetik berbeda. Tampilan fisiknya pun mengalami penyimpangan, misalnya, jemari tangan berselaput pada primata. Spesies ini juga memiliki banyak penyakit karena gen-gen resesifnya muncul. Apa implikasinya bagi biodiversitas di masa depan jika spesies-spesies hibrida dengan berbagai kerumitannya ini terus muncul? Merugikan atau justru menguntungkan? Apakah terdapat tren dalam evolusi dan proses apa yang membentuk tren tersebut?

8

Merawat Keragaman Hayati Laut adalah Merawat Masa Depan

Memiliki keragaman hayati laut paling kaya di dunia, banyak spesies flora, fauna, dan mikroba pada ekosistem pesisir dan laut Indonesia yang belum teridentifikasi atau diketahui potensi manfaatnya. Sejumlah spesies justru teridentifikasi setelah dalam status langka atau hampir punah. Bagaimana bangsa ini dapat melindungi berbagai spesies di lautan kita yang berpotensi menjadi kekuatan ekonomi dan kebanggaan generasi mendatang?

Tak ada yang tahu persis makhluk apa saja yang hidup sentosa di lautan kita. Meski ilmu pengetahuan sudah lama berkembang, para ilmuwan pun belum sepenuhnya memahami keanekaragaman hayati, baik di pesisir, permukaan, laut dangkal, dan laut dalam. Masih banyak spesies flora, fauna, dan mikroba pada ekosistem pesisir dan laut Indonesia yang belum teridentifikasi. Kita hanya tahu bahwa laut Indonesia kaya keanekaragaman hayati, tapi seberapa kaya? Perlu riset yang luar biasa untuk mendata dan memahami kekayaan lautan secara lebih memadai sehingga kita dapat memanfaatkannya untuk kesejahteraan rakyat dan kemajuan bangsa.

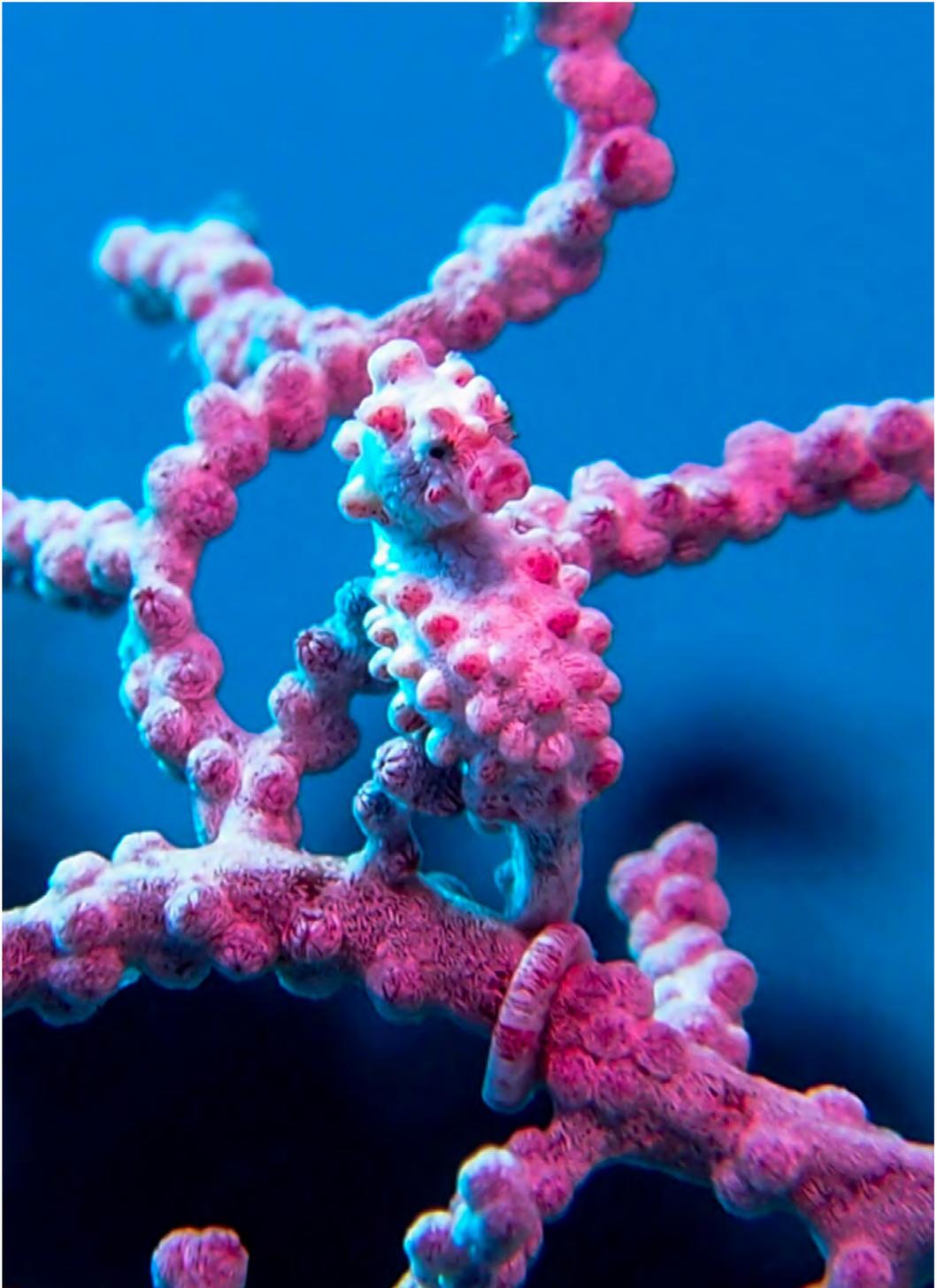
Sementara pemahaman kita tentang laut belum tuntas, eksploitasi berjalan terus. Beberapa spesies yang baru teridentifikasi ternyata sudah dalam status langka atau hampir punah. Banyak pula spesies langka lainnya yang semakin sulit untuk dilindungi karena eksploitasi berlebihan, penangkapan tidak selektif, juga efek dari ancaman perubahan iklim yang sulit diprediksi. Lalu, bagaimana bangsa ini dapat melindungi berbagai spesies di lautan kita yang berpotensi menjadi kekuatan ekonomi dan kebanggaan generasi mendatang?

Laut memang layak membuat Indonesia

berbangga. Sebagai jantung dari segitiga karang dunia, Indonesia berperan sangat penting bagi ekosistem laut. Perairan kita memiliki spesies karang keras dengan jumlah terbanyak di dunia—mencapai ratusan spesies. Tercatat 15 persen terumbu karang dunia terdapat di Indonesia, lengkap dengan ribuan jenis ikan karang, jauh melebihi kekayaan laut Australia, Hawai'i, dan Karibia.

Indonesia memiliki ekosistem pesisir yang luas dengan produktivitas sangat tinggi dan fungsi yang sangat penting, yakni ekosistem terumbu karang, padang lamun, mangrove dan estuaria. Faktor apakah yang menentukan tingginya keragaman hayati laut Indonesia? Apakah hal itu disebabkan oleh ribuan pulau yang membuat pola arus sangat bervariasi dan secara genetik memisahkan berbagai biota laut di tanah air? Sejauh mana posisi geografis Indonesia yang memisahkan sekaligus menghubungkan Samudra Pasifik dan Samudra Hindia memberi kontribusi kekayaan pada spesies lautnya?

Masih banyak kekayaan hayati laut Indonesia yang belum dieksplorasi, termasuk mikroba dan berbagai organisme laut dalam—baik dari sisi biologi, ekologi, kandungan kekayaan kimiawi, serta berbagai



Kuda laut pygmy, vertebrata terkecil, di perairan Sulawesi

Bali Diventure/AA Anom Sangku

potensi pemanfaatannya. Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi serta meningkatnya jenis kebutuhan manusia, maka penelitian untuk mengeksplorasi kekayaan spesies ini akan terus berkembang. Berapa jumlah spesies biota laut yang belum ditemukan? Berapa banyak yang mungkin telah punah sebelum sempat diidentifikasi dan dimanfaatkan? Lalu, bagaimana sains dan teknologi dapat dikembangkan untuk mengidentifikasinya secara tepat dan cepat? Bagaimana strategi perlindungan spesies laut akan dijalankan di Indonesia? Pemerintah merencanakan Kawasan Konservasi Laut seluas 20 juta hektar pada 2020. Dapatkah ini mengurangi ancaman rusaknya keanekaragaman hayati laut di Indonesia? Bagaimana model kawasan konservasi laut yang ideal dan berapa luasnya?

Terdapat alasan-alasan penting mengapa kita harus peduli pada keanekaragaman hayati laut. *Pertama*, ribuan spesies di laut dapat menjadi sumber pangan yang sehat untuk memenuhi kebutuhan protein, karbohidrat, lemak (minyak ikan, omega-3), vitamin, dan mineral lainnya. *Kedua*, kekayaan spesies laut berpotensi dikembangkan menjadi berbagai jenis obat, kosmetik, dan

biomaterial—termasuk biofuel. *Ketiga*, kesuburan perairan dan kekayaan spesies merupakan bagian dari ekosistem yang sangat penting bagi berbagai spesies kharismatik, seperti penyu, lumba-lumba, dan ikan hias. Hewan-hewan laut ini sangat memikat dan dapat digunakan sebagai ikon pariwisata bahari untuk memperkuat perekonomian. Sejauh mana tingkat kekayaan spesies ini juga mencerminkan tingkat ketahanan ekosistemnya? Apa strategi terbaik untuk memanfaatkan kekayaan keanekaragaman hayati laut secara berkelanjutan? Bagaimana memanfaatkan berbagai kekayaan keanekaragaman hayati laut untuk berbagai industri maritim?

Dampak Perubahan Iklim Global

Selagi kita berusaha memahami laut yang kaya namun misterius, perubahan iklim terus mendera dan terbukti menyebabkan kerusakan ekosistem laut. Dampaknya, antara lain, adalah pemutihan karang (*coral bleaching*) dan kematian karang akibat peningkatan suhu laut. Laju pemanasan global pun bakal meningkat seiring dengan aktivitas manusia yang semakin lama semakin tinggi. Bagaimana dampaknya terhadap organisme dan ekosistem

laut, struktur, dinamika populasi, serta evolusi?

Memahami lautan adalah hal yang perlu kita lakukan. Pemahaman yang lebih baik akan memungkinkan kita melakukan konservasi keanekaragaman hayati lautan, mengoptimalkan manfaat ekonomi dan sosial dari kehidupan yang bergantung pada ekosistem laut. Bagaimana memahami kompleksitas respons biologis, kimiawi, dan fisik organisme laut terhadap daya adaptasi dan kemampuannya bertahan hidup? Dapatkah kita memprediksi efek pemanasan global terhadap ekosistem laut dan bagaimana mengantisipasinya? Dan, pada lautan, bisakah kita sandarkan masa depan?

9

Di Laut Kita Jaya?

Sekitar dua pertiga wilayah Indonesia berupa lautan yang menghubungkan dua benua dan dua samudra. Oleh karena itu, seharusnya Indonesia menjadikan laut sebagai suatu sumber kekuatan dan kejayaan, seperti di masa lalu, ketika Sriwijaya dan Majapahit di puncak keemasan. Bagaimana ilmu pengetahuan dan teknologi dapat mengembalikan kejayaan maritim kita?



Indonesia memiliki laut seluas 5,8 juta kilometer persegi—termasuk Zona Ekonomi Ekseklusif—dengan garis pantai terpanjang kedua di dunia, dan lebih dari 17.504 pulau terentang. Bagaimana lautan bisa mewarnai Indonesia kini dan masa depan? Seberapa jauh kita bisa memanfaatkan kekayaan laut, hayati dan nonhayati, untuk kesejahteraan rakyat?

Serangkaian pertanyaan tersebut membutuhkan penelitian dan ikhtiar dari berbagai bidang melalui ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek). Sektor-sektor industri maritim terbesar, yakni energi, pangan, transportasi, serta pertahanan dan keamanan menuntut penguasaan iptek yang mumpuni

untuk pemetaan, pemantauan, eksplorasi, pendayagunaan, dan layanan operasional. Tanpa penguasaan iptek, kita akan terus menyaksikan ketidakikutsertaan kita dalam kegiatan kemaritiman bernilai tinggi di wilayah laut Indonesia. Bagaimana merumuskan pendekatan untuk membangun ilmu pengetahuan yang didasarkan pada kekhasan dan kerumitan laut Indonesia? Bagaimana memilih dan mengembangkan teknologi yang mampu menunjang pengukuran dan pengamatan secara detail dan akurat di pesisir pantai, permukaan laut, kolom air, dasar laut, dan lapisan di bawahnya sebagai informasi dasar bagi perumusan pendekatan tersebut? Laut dengan karakteristik pantai yang beragam,

yang menutupi perairan dangkal yang luas, dan di bawahnya terdapat palung dengan kedalaman ekstrem atau gunung api aktif berukuran raksasa, lalu di atasnya bertaburan ribuan pulau kecil. Bagaimana melahirkan pengetahuan dari dan tentang laut kita sendiri?

Pengembangan teknologi yang berpatutan dengan Indonesia membutuhkan upaya besar, sehingga harus bersifat strategis dengan didasari agenda penelitian dasar tentang perwatakan dan perilaku laut dengan karakteristik kepulauan. Selain itu, adakah kearifan lokal yang dapat memberikan ilham? Masihkah tersimpan kisah, kebiasaan, dan keterampilan turun-temurun pada masyarakat pesisir yang menyimpan pemahaman mendalam tentang laut?

Kedaulatan atas laut hanya terjadi saat kita menguasai pengetahuan akan laut kita sendiri. Teknologi peralatan, pengindra, wahana, serta pengelola data dan informasi akan menjadi pilihan untuk menjawab keingintahuan kita. Kita perlu memperkuat keahlian dalam pemetaan, pengukuran, pengamatan, pemantauan, dan eksplorasi laut. Untuk mengumpulkan data, kita perlu terus mengembangkan teknologi, misalnya, instrumentasi dan sensor, baik elektromagnetik maupun akustik,

yang disaranai oleh wahana luar angkasa (satelit), udara (pesawat terbang), apung (kapal), dan bawah air, berawak, nirawak, maupun nirkabel. Teknologi ini memungkinkan perolehan data yang lebih tepat, lengkap, dan terkini. Analisis lanjutan dan komprehensif diharapkan mampu menjawab pertanyaan-pertanyaan penting. Bagaimana sifat dan perilaku muka, badan air, dan dasar perairan di lautan Indonesia? Seperti apa dan berapa cadangan yang tersedia? Di mana sebaran kekayaan sumber daya kelautan Indonesia, termasuk keanekaragaman hayati dan nonhayati yang tersebar dari pesisir dangkal sampai laut dalam?

Sebaran sumber daya hayati di Kepulauan Indonesia dipengaruhi banyak faktor, dari dinamika lempeng bumi yang rawan gempa dan tsunami sampai aktivitas manusia seperti alih fungsi lahan, industrialisasi, dan peningkatan jumlah penduduk. Pemahaman pola sebaran sumber daya hayati, termasuk di lautan, dapat diperoleh melalui teknologi pemantauan dan eksplorasi, didukung teknologi komunikasi dan informasi untuk gambaran lebih komprehensif. Dengan begitu akan tersedia layanan operasional yang akurat untuk masyarakat luas seperti nelayan, petani, sistem transportasi, serta pertahanan

dan keamanan.

Teknologi pengindra berwahana satelit telah mampu memantau berbagai parameter permukaan laut, seperti warna, tinggi, gelombang, suhu, serta angin dan sifat lapisan udara di atas permukaan laut. Teknologi ini juga dapat memetakan pulau-pulau kecil di wilayah-wilayah terpencil. Menggunakan jenis sensor tertentu, teknologi ini bahkan dapat mencapai kedalaman kolom air untuk mengindra sifat fisik air dan dinamika gelombang internal, hingga mencapai dasar perairan untuk memetakan kedalaman laut beserta terumbu karang dan lamun. Teknologi satelit bahkan telah menghasilkan mikrosatelit yang biayanya relatif lebih murah.

Pemantauan muka laut bermanfaat, misalnya, untuk mempelajari sebaran warna permukaan laut. Penerapannya akan berupa pemahaman dinamika spasial dan temporal klorofil—turunannya, biomassa plankton, dan ikan—serta pencemaran laut. Pemantauan muka laut juga bermanfaat, misalnya, guna mempelajari perilaku gelombang permukaan laut untuk pendugaan potensi energi dan topografi perairan dangkal di bawahnya.

Peralatan akustik dapat menjangkau kolom air dan dasar perairan untuk

prediksi persediaan ikan, pendugaan kualitas air, pengukuran arus, pemetaan dasar laut beserta potensi geotermal, minyak dan gas, serta mineral laut dalam. Peralatan akustik bawah air juga dapat digunakan sebagai pendekatan untuk mendeteksi medan geomagnetik, ancaman gempa dan tsunami, hingga kepentingan militer. Dengan dukungan instrumentasi memadai, sensor, dan wahana yang tepat, tantangan pemantauan dan eksplorasi kelautan menjadi lebih mudah. Wahana yang dimaksud harus mampu bergerak bebas dalam kolom air dan permukaan, selain harus stabil di perairan lepas yang gerakan lautnya sangat dinamis. Pengembangan dan penggunaan wahana ini diharapkan mampu menjawab kebutuhan masa depan dalam hal pemanfaatan minyak dan gas bumi, penangkapan ikan, budidaya ikan lepas pantai, dan transportasi.

Sistem komunikasi termasuk untuk aplikasi kelautan telah berkembang pesat, misalnya, menggunakan teknologi GSM (*Global System for Mobile Communication*), radio, ataupun satelit komunikasi. Namun, kondisi topografi Indonesia yang sangat bervariasi, mulai dari dasar laut sampai ke pulau-pulau dengan dataran tinggi, menuntut teknologi komunikasi nonkonvensional. Bagaimana menghubungkan pemantauan dari dasar laut ke

permukaan secara *real time* dan akurat? Bagaimana mengatasi masalah terhalangnya sinyal karena dataran tinggi? Bagaimana mengembangkan sains dan menghasilkan teknologi yang bermanfaat serta sesuai dengan kondisi negara kepulauan Indonesia? Bagaimana mencegah terjadinya kerugian negara akibat lemahnya pemahaman kita tentang laut?

Pada Lautan, Bisakah Kita Sandarkan Pangan Masa Depan?

Kekurangan sumber pangan menjadi salah satu ancaman yang harus diantisipasi di masa depan. Mampukah kita menjawab tantangan ini dengan meningkatkan produksi pangan dari laut menjadi dua atau tiga kali lipat dan bahkan lebih, namun tetap secara lestari?

Dunia mengakui Indonesia merupakan “pusat keanekaragaman hayati laut” terkaya di planet Bumi. Tidak hanya kaya akan biodiversitas, Indonesia yang disusun oleh belasan ribu pulau namun dua pertiga wilayahnya berupa lautan juga memiliki potensi luar biasa sebagai lumbung pangan. Potensi ini sayangnya belum mampu dimanfaatkan dengan baik sehingga produksi hasil laut, khususnya perikanan, masih kalah dari negara lain yang potensinya lebih kecil.

Ada berbagai faktor yang menyebabkan pemanfaatan sumber daya laut kita belum optimal. Faktor itu antara lain kemampuan sumber daya manusia—khususnya nelayan dan pembudidaya ikan—yang relatif masih rendah, pemanfaatan teknologi yang masih sederhana, dan infrastruktur pendukung yang jauh dari cukup. Seperempat armada perikanan, misalnya, masih berupa kapal nelayan tanpa motor. Budi daya ikan juga masih didominasi sistem tradisional.

Ironisnya, walaupun teknologi budi daya dan perikanan tangkap masih sederhana, kerusakan lingkungan dan eksploitasi berlebih telah terjadi, khususnya di wilayah pesisir. Bagaimana model armada penangkapan ikan Indonesia yang

ideal untuk memacu produksi perikanan tangkap secara optimal, berkelanjutan, dan ramah lingkungan?

Total produksi perikanan dunia saat ini sekitar 160 juta ton per tahun. Indonesia sebetulnya berpotensi menyuplai lebih dari sepertiganya, terutama dari produk perikanan budi daya dan aneka jenis pangan laut berbasis bioteknologi, namun hingga kini belum dimanfaatkan secara optimal.

Saat ini perikanan tangkap telah banyak mengalami eksploitasi berlebih. Banyak pihak juga mempertanyakan potensi perikanan tangkap di Indonesia yang sesungguhnya. Apalagi, diperkirakan sekitar dua juta ton ikan per tahun tidak terhitung karena dicuri kapal asing. Berapa sebenarnya potensi lestari perikanan tangkap di Indonesia yang masih berada dalam kondisi baik?

Potensi laut yang masih terbuka luas untuk dikembangkan adalah budi daya berbagai jenis biota laut yang jumlahnya mencapai ribuan spesies, mulai dari aneka jenis ikan, crustacea, kerang-kerangan, hingga rumput laut. Masalahnya, sains dan teknologi belum banyak tersedia untuk menggarap bidang ini, khususnya sistem pembenihan,



Pasar ikan di Pelabuhan Paotere, Makassar

KOMPAS/Eddy Hasby

pembesaran, dan industri pakan ikan. Kita harus mengembangkan teknologi yang efisien dan tidak menimbulkan dampak lingkungan serius. Jika kita bisa mengatasi kendala di atas dengan baik, berapa potensi optimal yang lestari dan tetap ekonomis?

Terdapat sejumlah potensi budi daya ikan yang bisa dikembangkan di masa depan, seperti budi daya lepas pantai yang menggabungkan semua tingkatan trofik atau *integrated multi-trophic aquaculture* (IMTA) yang sudah biasa dilakukan pada budi daya ikan dekat pantai. Selain itu, budi daya skala besar ikan

karnivora seperti tuna juga dapat dikembangkan. Tantangannya adalah bagaimana menemukan pakan alternatif sehingga keberlanjutannya tetap terjaga? Kekayaan hayati laut Indonesia juga menyediakan banyak kandidat spesies ikan untuk dibudidayakan, termasuk di lepas pantai. Namun lagi-lagi pengetahuan mengenai pembenihan dan sistem budidayanya masih harus dikembangkan. Pemodelan berbasis sistem informasi geografis juga diperlukan untuk pemilihan lokasi spesifik budi daya terapung di laut lepas. Jenis ikan apa saja yang

layak dibudidayakan berdasarkan kecenderungan pasar global, desain budi daya, dan karakter perairan tropis Kepulauan Indonesia?

Bagaimana memanfaatkan wilayah lepas pantai secara efisien, baik untuk budi daya ikan lepas pantai secara terapung maupun tenggelam, serta menyesuaikan desainnya berdasarkan kondisi hidro-oseanografi yang kompleks dan dinamis? Bagaimana meminimalkan potensi dampak lingkungan, misalnya kotoran ikan dan sisa pakan yang terbawa arus dan/atau mengendap di dasar laut?

Isu lain yang harus diatasi terkait pemanfaatan laut lepas pantai yang sangat luas sebagai properti bersama, yaitu bagaimana mengelola keuntungan bersama tersebut. Jika potensi perikanan di laut Indonesia—perikanan tangkap, perikanan budi daya, dan pemanfaatan sumber daya hayati laut—dapat dioptimalkan melalui bioteknologi dan ilmu-ilmu lain secara lintas disiplin, potensi ini dapat menjadi penopang sumber ekonomi berkelanjutan dan mendukung ketahanan pangan Indonesia dan dunia. Apa saja upaya yang diperlukan untuk mewujudkannya?

Kemiskinan Masyarakat Pesisir: Ironi dalam Kelimpahan

Bak peribahasa "anak ayam mati di lumbung padi", demikianlah kehidupan banyak nelayan, di tengah berlimpahnya sumber daya lautan Indonesia. Mengapa paradoks itu terjadi?

Tak serta-merta alam yang kaya mendatangkan berkah bagi masyarakat di sekitarnya. Ironi ini terjadi di banyak tempat, terlebih pada masyarakat pedalaman dan pesisir. Di kedua kawasan ini, sumber daya alam yang kaya ternyata tidak otomatis mengangkat harkat dan martabat penduduknya dari keterpinggiran, ketertinggalan, dan kemiskinan.

Pada masyarakat pedalaman, kemiskinan biasanya disebabkan oleh rendahnya kepemilikan aset produktif, seperti penguasaan lahan. Berbeda dengan masyarakat pedalaman, warga pesisir hanya sepelemparan batu dari sumber-sumber daya laut. Masalahnya, akses terhadap sumber daya laut yang terbuka luas itu tidak mampu dimanfaatkan secara optimal oleh nelayan untuk meningkatkan pendapatan. Badan Pusat Statistik menyebutkan bahwa pada 2011, satu dari setiap empat penduduk miskin adalah nelayan.

Kegagalan sejumlah nelayan memanfaatkan potensi laut bisa disebabkan oleh kendala struktural, natural, kultural, atau kombinasi ketiganya. Kendala struktural dipicu oleh masalah klasik seperti lemahnya akses terhadap *input* usaha misalnya perahu, bahan bakar, permodalan, keterampilan dan teknologi, serta

buruknya infrastruktur dasar baik di sektor ekonomi, kesehatan, maupun pendidikan.

Di banyak wilayah, sektor perikanan laut tidak berkembang baik karena akses jalan yang buruk, tidak memadainya fasilitas dermaga/ pelabuhan, serta terbatasnya sarana transportasi laut. Lebih jauh menurut perspektif struktural ini, kemiskinan juga bisa disebabkan oleh rendahnya adopsi teknologi penangkapan dan budidaya perikanan modern oleh masyarakat pesisir dan nelayan. Musababnya, antara lain, karena masyarakat pesisir tidak mampu secara finansial untuk mengakses teknologi yang lebih baik dan tak memiliki kecakapan yang dibutuhkan untuk memanfaatkan aplikasi-aplikasi modern.

Berikutnya, kendala natural, biasanya berhubungan dengan daya adaptasi yang rendah terhadap tekanan dan dinamika sumber daya laut misalnya perubahan musim, degradasi ekosistem pesisir dan laut, serta pencemaran perairan. Musim merupakan salah satu faktor penting penyebab fluktuasi pendapatan masyarakat pesisir. Umpamanya, pada musim tangkap, jumlah ikan yang ditangkap seringkali melebihi daya serap pasar sehingga harga produk perikanan jatuh dan tidak



Seorang nenek bergelut mencari udang di Peukan Bada, wilayah pesisir Aceh Besar

Ishak Mutiara

stabil. Kondisi ini menyebabkan nelayan tidak memiliki daya tawar dalam transaksi ekonomi, sehingga harus pasrah menerima harga. Akibatnya, jumlah tangkapan tidak selalu berbanding lurus dengan kesejahteraan. Kalau saja nelayan melakukan aksi kolektif untuk mengatur dan menentukan jumlah tangkapan, misalnya melalui koperasi, hal semacam ini tentu dapat dikurangi.

Di sisi lain, persoalan budaya dan tingkat pendidikan yang rendah menyebabkan masyarakat pesisir dan nelayan hingga kini masih bertahan hidup pada taraf berburu dan meramu. Mereka bukan masyarakat produksi yang mampu mentransformasikan kelebihan hasil tangkap menjadi produk lain yang bernilai tambah tinggi. Sebagian besar masyarakat pesisir dan nelayan juga masih berpandangan jangka pendek. Mereka cenderung mengabaikan perubahan iklim dan lingkungan serta degradasi ekosistem laut, yang dalam jangka panjang akan mempengaruhi hasil tangkapan mereka.

Salah satu contohnya, keinginan untuk mendapat ikan sebanyak-banyaknya mendorong nelayan menggunakan bahan peledak dan merusak terumbu karang. Padahal dalam jangka panjang tindakan tersebut malah akan menurunkan hasil tangkapan. Lantaran

tidak mampu memitigasi perubahan, mereka seringkali menjadi korban perubahan.

Secara umum ketersediaan infrastruktur fisik, ekonomi, pendidikan dan kesehatan penting untuk pengentasan kemiskinan struktural, tetapi itu saja belum cukup. Perbaikan infrastruktur harus diiringi dengan adopsi teknologi, aksi kolektif, adaptasi dan mitigasi perubahan iklim dan ekosistem, serta transformasi budaya berburu-meramu menjadi budaya produksi.

Syarat-syarat ini memunculkan sejumlah pertanyaan penting berkaitan dengan upaya mengatasi persoalan kemiskinan masyarakat pesisir. Apa teknologi yang mudah diadopsi oleh masyarakat pesisir untuk meningkatkan penghasilan mereka? Bagaimana membentuk dan mendorong aksi kolektif yang kokoh, efektif dan berkelanjutan untuk meningkatkan daya tawar masyarakat pesisir dalam tata niaga perikanan?

Tanpa mengandalkan campur tangan dari pemerintah, bagaimana cara mendorong masyarakat pesisir untuk menyelesaikan permasalahan kelebihan tangkap secara efektif dan berkelanjutan? Bagaimana meningkatkan daya adaptasi dan ketahanan masyarakat pesisir, melalui kerangka sistem sosial-ekologis

perikanan yang adaptif, terhadap dinamika dan ketidakpastian alam? Intervensi sosial-ekonomi seperti apa yang mampu mendorong transformasi budaya masyarakat pesisir dari berburu-meramu menjadi produksi? Bisakah upaya seperti *sustainable income streaming*—mekanisme untuk mengurangi ketidakpastian pendapatan melalui penjaminan lewat *input* sains dan kebijakan yang tepat bagi nelayan—diterapkan pada nelayan? Dan akankah upaya ini membantu mereka?

Potensi Laut Dalam yang Serba Ekstrem

Laut dalam tak ubahnya seperti ruang angkasa. Segalanya serba asing dan ekstrem. Kadar oksigen super tipis. Suhu ekstra rendah. Tekanan ekstrem tinggi. Derajat keasaman amat tinggi. Hening. Tanpa suara. Tanpa cahaya.



Berbagai ikan dan udang laut dalam yang ditemukan di Laut Banda pada kedalaman 300 meter

PPLD LIPI/Salamena, dkk., 2013

Berbeda dengan ruang angkasa, eksplorasi laut dalam masih amat terbatas. Suatu ironi, manusia lebih paham tentang permukaan bulan dibanding dasar lautan. Para ilmuwan belum sepenuhnya paham hewan dan organisme apa saja yang bisa bertahan di lingkungan ekstra kejam itu. Bagaimana makhluk-makhluk itu sanggup beradaptasi di lingkungan serba ekstrem? Bisakah jurus adaptasi organisme yang hidup di dasar laut menjadi inspirasi manusia untuk memahami mekanisme adaptasi?

Usaha memetakan potensi laut Nusantara telah dimulai sejak masa kolonial, yakni dengan Ekspedisi Snellius, pada 1929-1930. Pada saat itu pemerintah Hindia-Belanda berusaha memetakan topografi dasar laut, khususnya wilayah Indonesia Timur. Upaya ini berlanjut dengan Ekspedisi Snellius II, pada 1989, kerja sama pemerintah Indonesia dan Belanda. Berdasar ekspedisi tersebut, kita mengetahui bahwa wilayah di antara Paparan Sunda dan Paparan Sahul merupakan perairan laut dalam, termasuk di sekitar Pulau Sulawesi, Halmahera, Seram, Buru, Aru, serta deretan Kepulauan Sunda Kecil. Di sana sedikitnya terdapat 26 basin dan palung, yang terdalam adalah Palung Weber dengan kedalaman 7.440 meter.

Selama ini eksplorasi laut dalam lebih

berfokus pada potensi sumber energi dan mineral. Cadangan minyak dan gas bumi Indonesia, misalnya, diketahui berada di dasar laut. Kolom air maupun dasar laut dalam berpotensi menyimpan kekayaan mineral seperti emas dan timah dalam jumlah besar. Perbedaan suhu antara lapisan dalam dan permukaan juga dapat menjadi sumber energi listrik terbarukan melalui konversi energi termal laut. Sejumlah negara, antara lain, Amerika Serikat dan Jepang, pun sudah melirik air laut dalam sebagai alternatif sumber air mineral untuk dikonsumsi.

Namun, laut dalam sebenarnya menyimpan misteri lebih besar yang belum terpecahkan oleh manusia. Laut dalam sama asingnya dengan, bahkan mungkin lebih asing dari, ruang angkasa.

Bioprospecting **Kehidupan di Laut Dalam**

Laut dalam dikenal sebagai zona afotik yang tidak terjangkau cahaya matahari. Bayangkan tempat di mana gelap terjadi sepanjang masa, lengkap dengan tekanan yang tinggi, dan suhu yang ekstrem. Lokasi pertemuan lempeng Eurasia, Indo-Australia, Pasifik, dan Filipina di Laut Indonesia membuat kita berpotensi memiliki banyak gunung api bawah laut. Kondisi ini memicu

terbentuknya celah hidrotermal, yakni celah akibat patahan kerak bumi yang menyemburkan air sangat panas—bisa mencapai 400°C—akibat pemanasan batu-batuan di bawahnya.

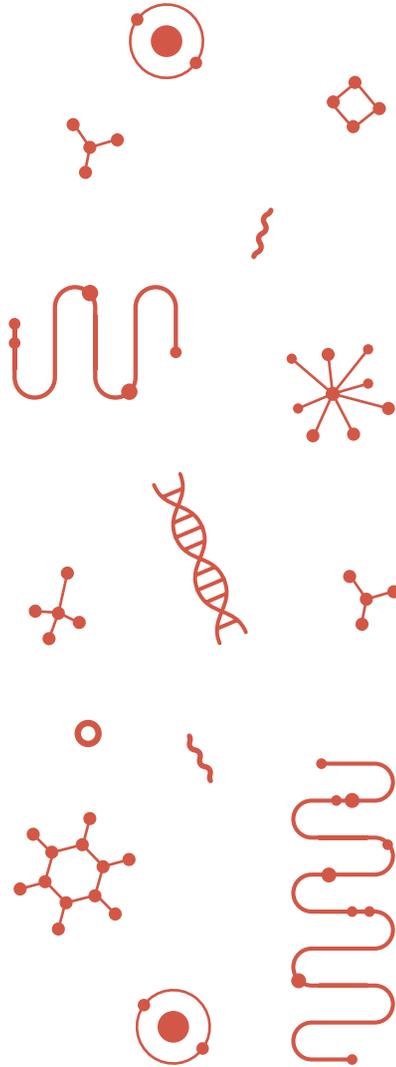
Manusia mustahil sanggup bertahan hidup dalam kondisi seperti itu. Namun, nyatanya masih banyak makhluk yang dapat beradaptasi di lingkungan ekstrem. Keberadaan gunung laut, beserta rangkaian proses sirkulasi dan turbulensi di sekitarnya, secara menakjubkan justru menunjang kehidupan makhluk penghuni laut dalam.

Di daratan, kehidupan manusia dan binatang sangat bergantung pada proses fotosintesis tumbuhan. Saat tumbuhan memasak inilah terjadi perubahan air dan karbondioksida menjadi gula sebagai sumber energi. Lalu, bagaimana halnya dengan laut dalam? Kehidupan organisme laut dalam yang anaerobik, tanpa cahaya, sangat dipengaruhi oleh hidrogen sulfat yang sangat beracun dan kadar garam yang tinggi. Pada laut dalam yang gelap gulita, yang tak terjangkau sinar matahari, bagaimana makhluk hidup dapat beradaptasi? Spesies apa saja yang menghuni laut dalam di Indonesia? Bisakah kita mempelajari dan mengembangkan sains baru dari mekanisme adaptasi ini untuk menunjang kehidupan manusia?

Dapatkah kita mencari, meneliti, dan mengeksplorasi bahan bernilai dari sumber daya genetik dari laut dalam yang bermanfaat untuk bahan pangan dan obat-obatan di masa depan (*bioprospecting*)?

Salah satu yang sudah terungkap, bakteri yang cukup melimpah di sekitar lubang hidrotermal menggunakan kemosintesis. Ini adalah proses kimia untuk mengubah air dan karbondioksida menjadi energi menggunakan metana dan sulfida. Dengan proses ini, bakteri tak memerlukan sinar matahari untuk hidup. Bakteri ini bahkan dapat ditemukan dalam tubuh makroorganisme yang hidup di laut dalam.

Mekanisme apa lagi yang digunakan untuk bertahan hidup dalam kondisi ekstrem? Bagaimana pengetahuan itu dikembangkan untuk mendukung kehidupan manusia? Gunung pengetahuan laut dalam masih menunggu untuk kita jelajahi lebih lanjut. Rahasia apa yang bakal kita singkap dari laut dalam?



III

KEHIDUPAN, KESEHATAN, DAN NUTRISI





Apakah Kita Apa yang Kita Makan?

Pemeo "*We are what we eat*" menyiratkan pentingnya makanan bagi kesehatan. Namun kenyataannya jauh lebih rumit. Makanan bersama latar belakang genetik dan mikroba yang hidup dalam tubuh ternyata berinteraksi dalam menentukan kesehatan. Indonesia, dengan beragam populasi etnis, pola makan, dan lingkungan dapat menjadi laboratorium hidup untuk memahami lebih dalam hubungan di antara ketiganya.



Masak besar merayakan Galungan di Batu Bulan, Gianyar

KOMPAS/Riza Fathoni

Slogan “Empat Sehat Lima Sempurna” pernah ramai didengungkan di Indonesia dalam kampanye perbaikan gizi rakyat. Setelah 70 tahun merdeka, kasus gizi buruk yang ekstrem seperti *kwashiorkor* sudah berkurang, tetapi kasus kekurangan zat gizi mikro atau mikronutrien masih jamak terjadi. Misalnya anemia pada perempuan dan ibu hamil, balita yang kerdil dan kurus, serta kekurangan vitamin A. Kekurangan gizi bisa mengakibatkan “kelaparan tersembunyi” yang dalam jangka panjang akan mempengaruhi perkembangan kecerdasan anak dan membuat penderitanya rentan terserang penyakit. Bersamaan dengan itu,

jumlah orang Indonesia dengan obesitas dan diabetes semakin meningkat, yang meningkatkan risiko sakit dan kematian akibat penyakit jantung vaskuler dan serebrovaskuler.

Pola makan dan genetik telah lama diketahui sebagai faktor penentu kesehatan manusia. Namun baru pada akhir 1990-an ditemukan bahwa populasi mikroba dalam usus manusia ternyata juga punya andil besar dalam menentukan sehat atau tidaknya seseorang. Kedua hal ini membawa kita pada pertanyaan: Bagaimana keterkaitan antara mikrobiom, pola makan, dan genetik dalam menentukan status gizi seseorang?

Apakah mikrobiom berperan dalam kasus anak yang kerdil dan kurus?

Mikroba dalam usus bagaikan sebuah organ tambahan dalam tubuh manusia. Beratnya dapat mencapai 200 gram dan jumlahnya melebihi jumlah sel dalam tubuh kita. Umumnya makhluk-makhluk mikroskopik ini tidak berbahaya dan sudah bersimbiosis dengan inangnya, yaitu saluran cerna manusia. Mereka malah berfungsi memasok berbagai zat gizi penting, mensintesis vitamin K, membantu pencernaan, hingga membantu terbentuknya pembuluh darah baru dan memastikan syaraf usus berfungsi dengan baik. Namun jika komposisinya abnormal, mikroba juga bisa membahayakan tubuh. Misalnya akibat penggunaan antibiotik, stres, dan pola makan yang buruk. Itulah sebabnya struktur populasi dan fungsi mikrobiom amat penting dipahami, bahkan dapat memunculkan revolusi di bidang kedokteran personal.

Studi mikrobiom pada binatang percobaan seperti mencit menunjukkan bahwa populasi mikroba dalam tubuh dapat mempengaruhi kondisi fisik. Misalnya, mencit yang pakannya terkontaminasi mikroba dari usus mencit obesitas akan ikut menderita obesitas. Selain itu keberadaan mikrobiom ikut mempengaruhi perilaku mencit, contohnya dalam merespons stres. Mikrobiom ternyata juga dapat menghasilkan zat

kimia pengantar impuls syaraf yang biasa ditemukan di otak. Bagaimana sebenarnya proses komunikasi antara mikroba dan sel-sel otak dalam mempengaruhi perilaku organisme? Apakah hal ini juga berlaku pada manusia?

Berdasarkan temuan itu, keberadaan mikroba di usus manusia dapat dikaitkan dengan sejumlah penyakit gaya hidup seperti obesitas dan diabetes, serta penyakit kronis seperti peradangan usus. Mikrobiom juga diduga terkait dengan penyakit mental dan ketidakseimbangan syaraf seperti schizoprenia, depresi, dan kepribadian ganda. Di masa depan, mungkinkah dunia medis menjadikan mikrobiom sebagai bagian dari pemeriksaan rutin dan membuat terapi atau pencegahan penyakit melalui manipulasi mikroba? Bagaimana komposisi ideal mikroba usus yang optimal untuk kesehatan?

Populasi Indonesia Sebagai Laboratorium Ideal

Percobaan pada mencit juga menunjukkan bahwa diet atau pola makan sangat mempengaruhi kondisi dan struktur populasi mikroba di saluran cerna. Jenis dan pola makan yang dinamis ternyata berpengaruh lebih baik terhadap tubuh inangnya. Penelitian tentang interaksi antara genetik, mikrobiom, dan pola makan memang

lebih banyak diketahui melalui studi pada binatang. Sementara itu interaksi ketiga faktor dalam tubuh manusia belum banyak dipahami. Indonesia, dengan beragam etnis, genetik, budaya, serta pola dan sumber pangan dapat menjadi laboratorium hidup yang baik untuk studi ini.

Berbagai pertanyaan mendasar tentang keterkaitan genetik, pola makan, dan populasi mikrobiom dapat dipelajari. Misalnya, apakah ada perbedaan mikrobiom usus pada berbagai populasi etnis di Indonesia? Apakah dua populasi etnis yang secara genetik berdekatan namun sangat berbeda pola makannya menunjukkan perbedaan mikrobiom? Apakah perubahan pola makan terkait migrasi mengubah struktur populasi mikrobiom? Kemudian, apakah individu berbeda etnis yang hidup berdampingan karena, misalnya perkawinan campur, struktur populasi mikrobiomnya beradaptasi? Apakah ritual terkait pola

makan di berbagai budaya dan agama, seperti puasa Senin-Kamis dan *mutih* pada saat-saat tertentu, berdampak pada ekologi mikrobiom dalam usus?

Lebih jauh lagi, apakah mungkin perbedaan pola makan berbagai etnis di Indonesia berkontribusi terhadap perbedaan kepribadian? Apakah perpindahan penduduk dan perkawinan antar etnis, beserta akulturasi budayanya memperkaya variasi interaksi antara genetik, mikrobiom, dan pola makan? Jika demikian, bagaimana mekanisme dasarnya?

Populasi Indonesia merupakan laboratorium ideal untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan di atas. Temuan-temuan tersebut diharapkan dapat memajukan ilmu pengetahuan kedokteran yang dapat meningkatkan derajat kesehatan manusia.

Kuman Mengalir Sampai Jauh: Memahami Interaksinya dengan Hewan, Manusia, dan Lingkungan

Laju deforestasi, pertumbuhan penduduk, dan perubahan iklim global, selain berperan dalam penyebaran berbagai kuman dari hewan ke manusia juga dapat memicu munculnya penyakit baru dan kembalinya penyakit lama. Untuk menanggulangi penyakit-penyakit tersebut kita harus memahami lebih baik interaksi antara kuman, hewan, manusia, dan lingkungan.

Wabah SARS dan flu burung yang melanda dunia beberapa tahun lalu terutama di negara-negara Asia telah menyebabkan banyak kematian dan kepanikan global. Penemuan bahwa kedua penyakit tersebut disebabkan oleh virus yang berpindah dari binatang ke manusia akibat kontak yang dekat, menunjukkan betapa interaksi antara manusia, hewan, dan lingkungan berperan penting dalam munculnya penyakit baru. Pertanyaannya, mengapa kuman-kuman tersebut yang alamiahnya hanya terbatas pada binatang berpindah ke manusia?

Zoonosis adalah penyakit infeksi yang ditularkan dari hewan, khususnya yang bertulang belakang, ke manusia, langsung maupun tidak langsung alias melalui vektor. Zoonosis merupakan masalah serius, karena banyak infeksi pada manusia seperti leptospirosis, pes, rabies, dan flu burung disebabkan oleh kuman (virus, bakteri, parasit, dan jamur) yang berasal dari binatang. Binatang dengan mobilitas tinggi seperti burung dan kelelawar memiliki potensi lebih besar untuk menyebarkan kuman penyebab zoonosis karena mereka dapat dengan mudah terbang memasuki area permukiman manusia. Binatang ternak atau binatang peliharaan juga merupakan sumber penularan kuman zoonotik karena kontak hewan-manusia

yang sangat dekat.

Kemunculan sejumlah penyakit baru dan penyakit muncul kembali tidak terlepas dari sejumlah faktor: tingginya laju urbanisasi, kerusakan ekologi atau degradasi lingkungan, dan globalisasi. Ketimpangan ekonomi dan kemiskinan, membengkaknya jumlah penduduk, serta tidak meratanya pembangunan menyebabkan penduduk hidup di permukiman yang sangat padat akibat keterbatasan ruang. Konsekuensinya, binatang peliharaan pun tinggal sangat dekat atau bahkan secepat sehingga kontak manusia dengan binatang selaku vektor kuman lebih intensif. Kepadatan penduduk semakin mempercepat penyebaran wabah.

Bagaimana mekanisme suatu kuman yang endemik pada binatang tertentu dapat menular ke manusia? Bagaimana kuman tersebut melampaui hambatan penularan antarspesies? Bagaimana virulensi suatu kuman meningkat sehingga dapat ditularkan dari manusia ke manusia? Tidak kalah pentingnya, bagaimana kita dapat memprediksi evolusi kuman, terutama virus penyebab zoonosis sehingga kita dapat memperkirakan kemungkinan terjadi wabah dan segera menciptakan vaksin untuk mencegahnya? Sebaliknya, apakah paparan dengan berbagai binatang tersebut justru membuat



Bocah Baduy dan monyet kesayangannya

Shri Chandra Satryotomo

kekebalan alamiah dan membuat individu tahan dari suatu penyakit?

Kerusakan lingkungan dan maraknya deforestasi dapat mengusik habitat hewan liar, memaksa mereka hidup lebih dekat dengan permukiman manusia, dan memperbesar peluang penularan kuman dari hewan ke manusia dan sebaliknya. Sementara itu, perubahan iklim memperparah hal tersebut sehingga zoonosis pun diperkirakan akan lebih sering terjadi di masa depan. Perubahan iklim juga mempengaruhi epidemiologi penyakit yang ditularkan melalui vektor, terutama nyamuk, misalnya malaria dan dengue. Penggabungan ilmu kesehatan dan informasi teknologi dengan menggunakan data epidemiologi yang lalu dan alat prediksi cuaca, dapat digunakan untuk memprediksi kapan dan dimana akan terjadi suatu wabah suatu infeksi. Di lain pihak, pengembangan kontrol vektor biologis perlu lebih dipikirkan. Misalnya, *Aedes aegypti* yang diinfeksi bakteri *Wolbachia* dapat menghambat perkembangan virus dengue di dalam nyamuk sehingga diharapkan dapat menekan penularan demam berdarah. Globalisasi telah menyebabkan dunia makin terkoneksi dan memungkinkan mobilitas manusia dan barang semakin tinggi. Hal ini

dapat menyebabkan penyebaran kuman semakin cepat dan luas. Bagaimana kita mengantisipasinya? Bagaimana kita dapat hidup lebih selaras dengan alam? Bagaimana kita dapat memelihara bahkan meningkatkan kualitas lingkungan? Bagaimana pula mencegah dan mengurangi laju kerusakan lingkungan serta dampaknya

Berburu Virus Baru

Wabah virus Nipah (NiV), yang menyebabkan infeksi pada otak, di Kampung Sungai Nipah, Malaysia, pada 1998, adalah salah satu contoh di mana kemampuan identifikasi cepat virus baru membantu penanggulangan penyakit. Indonesia sebagai negara tropis dengan keragaman fauna eksotik merupakan laboratorium bernilai tinggi untuk penemuan virus baru. Hal ini dapat memberikan sumbangan besar bagi kesehatan dunia. Perburuan virus baru dapat dilakukan dengan mencari virus yang berpotensi menyebabkan penyakit pada manusia di sejumlah binatang liar, misalnya kelelawar, atau binatang ternak dan peliharaan. Kita dapat mencari patogen baru penyebab penyakit dari kejadian-kejadian demam dan radang otak yang tidak dapat dijelaskan penyebabnya.

Bagaimana Melawan Infeksi Secara Cerdas?

Vaksin terbukti dapat melindungi masyarakat dari berbagai penyakit infeksi seperti cacar, polio, pertusis, tifus, dan hepatitis. Namun, beberapa penyakit belum ada vaksinnya, misalnya malaria, HIV, dan lain-lain. Bagaimana perkembangan sains vaksin dapat membebaskan Indonesia dari penyakit infeksi?



Sekitar 200 tahun lalu, Edward Jenner bereksperimen menggunakan cacar sapi untuk mencegah penyakit cacar pada manusia. Ilmu tentang imunitas dan vaksinologi modern pun mulai berkembang dan memberikan sumbangan besar dalam upaya mengatasi penyakit infeksi. Hasilnya, pada 1980, penyakit cacar, salah satu penyakit paling menghancurkan dalam sejarah umat manusia, dinyatakan berhasil dibasmi dari muka Bumi. Hasil kampanye imunisasi global Organisasi Kesehatan Sedunia (WHO) itu menumbuhkan harapan besar terhadap kemampuan vaksin dalam mengatasi berbagai penyakit infeksi lain.

Program imunisasi memang sangat berhasil mengatasi banyak penyakit infeksi mematikan seperti difteria, polio, dan kolera sehingga kini sudah semakin jarang ditemui. Tapi, tidak semua penyakit berhasil diatasi dengan vaksin. Kendati bakteri penyebab tuberkulosis, *Mycobacterium tuberculosis*, sudah diidentifikasi pada 1882, hingga kini belum ada vaksin yang efektif untuk mengatasinya. Begitu pula malaria dan demam berdarah dengue (DBD) yang masih merupakan masalah kesehatan masyarakat utama.

Selain itu, infeksi HIV yang berkembang sejak 1980-an serta munculnya infeksi baru seperti SARS

(sindrom pernapasan akut berat), flu burung, MERS (sindrom pernapasan Timur Tengah), dan ebola akan terus menjadi ancaman kini dan di masa depan.

Vaksin baru yang diproduksi ke depan diharapkan merupakan vaksin ideal, yaitu yang aman, murah, stabil di suhu ruang, mudah dibawa, dan sebisa mungkin hanya diberikan satu kali untuk proteksi sepanjang hidup. Namun, tantangannya adalah menemukan vaksin yang dapat "memperdaya" agen penyebab infeksi seperti tuberkulosis dan malaria, sekaligus memicu daya tahan tubuh yang tepat. Tantangan lain misalnya menemukan pendekatan baru untuk mempercepat pengenalan agen penyakit baru pada saat pecahnya pandemi dan merekayasa vaksin yang efektif dalam waktu sesingkat-singkatnya.

Kuman penyebab penyakit, baik bakteri, virus, jamur, atau parasit, secara alamiah mempunyai kemampuan menghindari respons imun inangnya. Usia, status kesehatan, status gizi, riwayat vaksinasi, genetik, dan mikrobiom pada manusia sebagai inang juga mempengaruhi keberhasilan respons imun terhadap suatu patogen. Berbagai pertanyaan dapat diajukan untuk pengembangan vaksin. Bagian mana dari suatu kuman penyebab

penyakit yang dapat menjadi target berbagai respons imun? Jika virus memiliki berbagai tipe atau galur, seperti virus demam berdarah dengue atau flu, bagian protein mana yang harus menjadi target agar dapat dibuat vaksin yang efektif untuk seluruh galur virus tersebut? Bagaimana menemukan target respons imun pada suatu mikroorganisme yang sesuai dengan siklus hidupnya? Misalnya, untuk mengatasi parasit malaria yang masih bersifat dorman pada saat berada di hati, sebelum menginfeksi sel darah merah. Bagaimana dan bagian apa dari suatu mikroorganisme yang membuatnya menghindari respons imun inang dan bagaimana mengatasinya?

Di era modern, pengembangan vaksin menghadapi tantangan baru karena munculnya banyak penyakit baru akibat kerusakan lingkungan, kepadatan penduduk, serta meningkatnya lalu lintas manusia antardaerah dan negara. Sebagian besar virus penyebab penyakit infeksi baru tersebut berasal dari binatang. Laju mutasinya yang relatif tinggi membuatnya mudah berubah sehingga dapat menginfeksi manusia. Hal ini memerlukan kecepatan dalam mengenali virus baru dan kemampuan merekayasa vaksin dengan cepat.

Pengenalan virus baru dengan cepat sebenarnya sangat mungkin dilakukan

asalkan disertai kemampuan dan pengetahuan virologi yang memadai. Terlebih teknologi biologi molekuler, seperti kemampuan menguraikan genom makhluk hidup, telah berkembang pesat dalam dekade terakhir. Dua dekade lalu penguraian satu genom manusia saja memakan waktu sepuluh tahun dengan biaya lebih dari tiga miliar dolar Amerika Serikat dan memerlukan kerjasama internasional yang besar. Kini, penguraian satu genom yang sama hanya membutuhkan waktu lima hari dengan biaya kurang dari tiga ribu dolar Amerika Serikat sebagai kegiatan rutin sebuah laboratorium.

Dapatkah dukungan bioinformatika, termasuk imunoinformatika, membantu mempercepat penemuan vaksin untuk kuman baru dan membantu seleksi protein yang membuat kita

memiliki imunitas? Apakah pemodelan dan simulasi bioinformatika dapat digunakan untuk memprediksi interaksi inang-patogen guna meningkatkan produksi dan protokol vaksin? Bagaimana pengetahuan tentang respons imun individu yang pernah terinfeksi namun selamat dapat mempercepat penemuan vaksin melalui pendekatan terbalik? Selain itu, kemajuan teknologi informasi dapat dimanfaatkan untuk memetakan kasus secara *real time* sehingga dapat mencegah terjadinya wabah di suatu daerah.

Ada banyak kemajuan yang telah dicapai, tapi tidak sedikit tantangan yang masih harus dijawab.



Menyigi Nusantara, Mencari Obat

Keanekaragaman hayati dan manusia Nusantara merupakan sumber daya luar biasa untuk pengembangan obat. Dengan pendekatan penapisan massal berdaya tinggi (*high throughput screening*) dan kearifan lokal sebagai pemandu, pemanfaatan kekayaan alam yang khas ini untuk medis memerlukan pengertian mendalam mengenai proses terjadinya sakit sampai tingkat molekul, serta pemahaman lebih mendasar mengenai kekayaan sumber daya hayati Indonesia.

Penemuan penisilin pada tahun 1928 dan produksi secara massal pada akhir Perang Dunia II berhasil menyelamatkan banyak nyawa. Hal ini membuat masyarakat dunia begitu yakin dengan kemampuan antibiotik. Bahkan, lima puluh tahun lalu pernah ada pernyataan di Amerika Serikat bahwa sudah tiba saatnya untuk “menutup buku tentang penyakit infeksi”.

serta proses penuaan dan degeneratif.

Tanaman, hewan maupun mikroorganisme merupakan perpustakaan berjuta senyawa kimia yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan obat. Masalahnya, bagaimana menemukan senyawa yang bermanfaat di antara jutaan molekul itu? Rasio keberhasilan menemukan molekul yang bisa dikembangkan menjadi obat hanya sekitar 1:10



Hingga kini, kita belum juga menutup buku itu. Penyakit infeksi masih menjadi persoalan besar dan antibiotik ternyata bukanlah obat ajaib. Itulah mengapa pencarian obat baru hingga kini tak pernah berhenti. Tidak hanya obat untuk infeksi—guna mengatasi timbulnya kekebalan terhadap obat lama dan belum efektifnya obat antivirus—tapi juga obat berbagai penyakit terkait pola hidup, kanker,

ribu. Ini sama seperti mencari jarum di tumpukan jerami. Tantangan lainnya, bagaimana menjaga kualitas lingkungan untuk mendapatkan sumber obat yang berkualitas?

Salah satu cara untuk memperbesar rasio itu adalah dengan memanfaatkan pengetahuan masyarakat tentang tanaman obat (etnobotani). Banyak obat yang ditemukan karena masyarakat telah lama memakai tanaman tersebut

untuk mengobati penyakit, seperti yang dilakukan suku Dayak, Batak, Jawa, dan suku-suku lain di Indonesia. Salah satunya adalah kina (*Cinchona pubescens*). Masyarakat Quechua di Amerika Selatan telah memanfaatkan obat itu sebelum dikenal oleh dunia. Contoh lainnya adalah Artemisinin, obat antimalaria paling mutakhir yang berasal dari tanaman qing hao (*Artemisia annua*), yang telah digunakan secara tradisional di Cina untuk pengobatan malaria selama lebih dari dua ribu tahun.

Permasalahannya, sebagian besar obat tradisional bekerja berdasarkan interaksi dan sinergi beberapa senyawa. Ini berbeda dengan obat modern yang berdasar pada senyawa aktif. Di sinilah kesulitan membuat obat tradisional menjadi obat modern. Jadi, pengembangan obat herbal tradisional harus memilih, antara mengisolasi senyawa aktifnya untuk obat modern; tetap menjadikannya obat tradisional namun dengan kaidah pengobatan modern; atau mengarahkannya menjadi suplemen kesehatan. Bagaimana memperoleh indikasi dini untuk memutuskan arah pengembangan obat tradisional tersebut?

Selain memakai informasi dari masyarakat tradisional, pencarian obat dari sumber alam hayati juga

bisa dilakukan secara lebih agresif. Namun seperti membeli lotere, rasio keberhasilannya amat kecil. Tingkat keberhasilan cara ini amat ditentukan oleh jumlah sampel yang dapat diteliti per hari. Dibutuhkan kemampuan penapisan massal berdaya tinggi untuk menyaring ratusan ribu sampel.

Penapisan massal berdaya tinggi jauh lebih efektif untuk pencarian obat dari sumber daya alam di luar jangkauan obat tradisional, seperti dari lingkungan ekstrem dan laut. Penemuan antibiotik baru dari dasar laut, misalnya, berdasar pada simbiosis antara mikroorganisme yang menempel pada koral maupun spons. Hal ini tidak mungkin didapat dari kearifan lokal, karena masyarakat tradisional biasanya memanfaatkan tumbuhan atau hewan yang ada di sekeliling tempat tinggal mereka.

Dalam dekade terakhir, jumlah molekul target untuk penapisan massal berdaya tinggi yang dipublikasikan sudah meningkat pesat. Tantangan terbesar saat ini bukan lagi mencari molekul target, melainkan mengidentifikasi target yang berpotensi paling besar untuk mendapatkan bakal obat. Berapa besar variasi gen penyandi molekul target dan bagaimana dampaknya terhadap efisiensi pencarian bakal obat? Apakah peran molekul target dalam proses terjadinya penyakit cukup

besar, sehingga intervensi obat akan bermanfaat?

Dalam negara multietnik seperti Indonesia, sangat penting untuk mengetahui apakah suatu obat sama mujarabnya pada semua etnis. Sejumlah obat hanya bekerja maksimal pada genetic tertentu. Contohnya BiDil, obat gagal jantung kongestif yang hanya efektif untuk populasi Afrika di Amerika. Banyak bakal obat yang ditolak di negara maju pada tahap akhir pengembangan karena kurang efektif terhadap populasi Kaukasoid. Bakal obat seperti ini seharusnya tidak masuk ke keranjang sampah, tapi dapat diperiksa kembali untuk populasi lain, termasuk Indonesia. Karenanya, studi keragaman genetik berbagai populasi etnis Indonesia penting dilakukan, baik untuk mengoptimalkan target dalam pencarian obat maupun menghadapi era pengobatan personal yang akan segera berkembang.

Sebagian besar target obat adalah molekul protein. Itulah sebabnya pengetahuan tentang struktur protein tiga dimensi sangat penting untuk memahami mekanisme fungsionalnya, sehingga obat dapat didesain sesuai target. Pemodelan molekul dan simulasi bioinformatik semakin penting untuk mendampingi penapisan massal berdaya tinggi dalam sains penemuan obat.

Berbagai pusat penelitian berusaha membuat model dan simulasi berbagai proses di dalam sel untuk mendapat gambaran menyeluruh tentang sel hidup. Pembuatan model sel hidup di komputer alias *in silico* memang masih membutuhkan proses panjang, namun sejumlah model seluler telah berhasil dibuat.

Panjang Umurnya Serta Mulia: Bagaimana Tetap Sehat di Usia Tua?

*Panjang umurnya, panjang umurnya,
panjang umurnya serta mulia...*

Semua orang berharap dan berdoa agar dapat hidup sampai tua dalam keadaan tetap sehat, bisa terus berkarya, bermanfaat lebih lama, dan melihat anak cucu "menjadi orang". Agar harapan tersebut terwujud, kita perlu memahami lebih jauh tentang faktor-faktor yang mempengaruhi proses penuaan. Bagaimana menyiasati kunci-kunci jam biologis sehingga manusia bisa bertahan hidup lebih lama dan tetap afiat?

Kita semua ingin hidup lebih lama, menua dengan sehat, dengan kondisi hidup yang berkualitas. Secara alamiah, proses penuaan pasti terjadi. Itu ditandai dengan penurunan fungsi-fungsi tubuh yang juga biasanya memicu berbagai penyakit, menurunkan kualitas hidup, bahkan menyebabkan kematian. Semakin tua manusia, berbagai penyakit degeneratif seperti demensia, diabetes melitus, osteoarthritis, osteoporosis, penyakit jantung koroner, dan kanker semakin sering ditemukan. Dapatkah sains dan teknologi membantu memperlambat atau mencegahnya? Atau jika tidak dapat dihindari, dapatkah sains dan teknologi menawarkan terapi yang efektif dan efisien sehingga kualitas hidup dan kemandirian dapat dipertahankan? Kita semua ingin sehat hingga akhir hayat, atau walaupun jatuh sakit, tidak perlu menderita berkepanjangan.

Penuaan dan degenerasi terjadi akibat akumulasi kerusakan pada materi genetik dan komponen sel lainnya dalam tubuh kita. Ditandai dengan penurunan kemampuan sel tubuh untuk tetap menjaga kondisinya sehat dan normal sehingga terjadi kegagalan fungsi sel atau organ. Keinginan manusia untuk hidup lebih lama, lebih sehat, dan awet muda, membuat ilmuwan-ilmuwan dunia

tertarik meneliti masalah penuaan. Mereka terus berusaha menemukan kunci jam biologis pada manusia agar dapat "mengakali" usia. Berbagai mekanisme genetic dan lingkungan yang mungkin saling berinteraksi mulai diretas. Berbagai teori telah ditelurkan, di antaranya teori akumulasi mutasi, menurunnya kemampuan sel tubuh untuk mengolah energi, pemendekan protein pelindung DNA (telomer), dan sebagainya.

Mekanisme dasar berbagai penyakit terkait proses penuaan perlu dikaji lebih jauh agar dapat dicegah. Misalnya kebutaan, kerusakan ginjal, saraf, dan jaringan dan lain-lain. Begitu pula dengan patah tulang yang disebabkan osteoporosis. Kesehatan tulang amat penting diperhatikan karena berfungsi menopang segala aktivitas tubuh. Penuaan yang merupakan sebuah fenomena kompleks serta interaksi dari faktor genetik dan lingkungan, masih menyisakan banyak pertanyaan mendasar. Faktor genetik apa saja yang mendasari proses penuaan? Gen dan jalur biokimia apa saja yang mendasari kerusakan organ tubuh pada proses penuaan? Bagaimana cara mencegah atau memperlambatnya? Bagaimana faktor genetik ini berinteraksi dengan lingkungan? Bagaimana memahami lebih baik faktor genetik dan mekanisme molekuler dari penyakit-



Merayakan umur yang panjang bersama keluarga dan kerabat

Anggrita D. Cahyaningtyas

penyakit degeneratif yang sering menyertai penuaan ini? Pola makan, nutrisi, dan pola hidup seperti apa yang dapat memperlambat proses penuaan? Bagaimana memahami penyakit-penyakit mental dan kondisi psikologis yang menyertai penuaan sehingga kita dapat menua dengan tetap sehat dan bahagia? Geropsikologi, yang menggunakan metode dan ilmu psikologi selama proses penuaan dan masa tua perlu semakin dikembangkan.

Jawabannya mungkin bisa didapat melalui kedokteran regenerasi, bidang ilmu kedokteran yang melakukan pendekatan biomedis untuk terapi klinis yang melibatkan proses penggantian, rekayasa dan regenerasi sel manusia, jaringan, atau organ untuk mengembalikan fungsi normal tubuh. Melalui pendekatan molekuler dan teknologi nano, mungkin kita dapat mengidentifikasi protein dan enzim yang mengatur kunci-kunci jam biologis, dan dengan demikian dapat mendeteksi dini suatu gejala penyakit dan mengobatinya sebelum penyakit itu bermanifestasi.

Bagaimana Mengantisipasi Penduduk yang Akan Menua?

Dapat hidup lebih lama, tetap sehat, produktif, dan bahagia ketika mencapai usia lanjut merupakan harapan setiap manusia. Kabar gembiranya, usia harapan hidup penduduk Indonesia terus meningkat dan jumlah penduduk lanjut usia semakin bertambah. Namun struktur penduduk yang menua melahirkan banyak tantangan baru. Bagaimana ilmu pengetahuan dapat berkontribusi untuk mengantisipasi dan mempersiapkan hal ini?



Para relawan bernyanyi menghibur penghuni Panti Sosial Tresna Werdha, Jakarta

KOMPAS/Lasti Kurnia

Peningkatan usia harapan hidup merupakan salah satu wujud keberhasilan pembangunan. Tapi meningkatnya umur harapan hidup, yang juga berarti bertambahnya jumlah penduduk lanjut usia, membawa berbagai tantangan dan perubahan dari sisi kedokteran, kesehatan masyarakat, hingga sosial, ekonomi, dan budaya, termasuk dalam hal ini ikatan keluarga inti dan keluarga besar. Gangguan kesehatan memang cenderung meningkat seiring bertambahnya usia dan sebagai konsekuensinya biaya

perawatan kesehatan pun makin mahal. Kualitas hidup juga cenderung menurun ketika usia menua. Dengan demikian peningkatan usia harapan hidup atau struktur penduduk yang menua juga memunculkan sejumlah persoalan pelik. Bagaimana, misalnya, membuat berbagai upaya kesehatan perorangan dan masyarakat yang dapat membantu penduduk lanjut usia dalam menghadapi proses penuaan, supaya bisa tetap hidup

sehat, baik fisik maupun mental, dan tetap produktif serta bahagia?

Pendekatan Lintas Disiplin Terhadap Penuaan

Selain banyak pertanyaan dari sudut pandang ilmu biomedis, kedokteran, dan kesehatan masyarakat, kita juga menghadapi sejumlah pertanyaan krusial mengenai berbagai aspek sosial, ekonomi, dan budaya terkait penuaan. Misalnya, mengapa umur harapan hidup manusia berbeda-beda berdasarkan kelas sosial-ekonomi? Mengapa terdapat perbedaan umur harapan hidup antarnegara dan antardaerah di Indonesia? Bagaimana mengatasi kesenjangan dalam umur harapan hidup? Karena itulah, upaya-upaya dalam mengantisipasi struktur penduduk yang akan menua sangat membutuhkan sumbangan ilmu sosial, bukan hanya melibatkan bidang kedokteran dan kesehatan masyarakat.

Di bidang sosial dan ekonomi, berbagai pertanyaan mendasar mengenai menuanya penduduk Indonesia dapat dikelompokkan ke dalam tiga domain. Domain pertama menyangkut partisipasi kerja dan aktivitas produktif penduduk yang bakal menua. Diketahui, sebagian besar penduduk Indonesia yang bekerja berada di

sektor informal yang tidak memberikan jaminan hari tua atau pensiun. Sebagian besar dari mereka bekerja sampai lanjut usia karena tidak mampu memenuhi kebutuhan hidup jika tidak bekerja.

Sementara itu, di sektor formal akan semakin banyak pekerja berusia lanjut yang sebenarnya masih produktif akan berhadapan dengan usia pensiun di tempat kerjanya. Bagaimana penduduk lanjut usia seperti ini dapat terus bekerja dan menyumbangkan keahlian serta kekayaan pengalaman yang telah mereka akumulasikan? Jika mereka berhenti dari pekerjaan karena usia pensiun, seberapa mudah mereka bisa masuk ke pasar tenaga kerja kembali?

Domain kedua menyangkut dukungan hari tua. Sebagaimana di banyak negara berpendapatan menengah, sistem formal perlindungan hari tua di Indonesia masih dalam proses pengembangan. Itu berarti, penduduk lanjut usia masih akan tergantung dari tabungan atau akumulasi aset yang mereka miliki. Sejauh apa kelompok lanjut usia ini untuk tergantung pada dukungan informal dari anak serta kerabat, baik dukungan finansial maupun waktu? Dengan semakin sedikitnya jumlah anak yang bisa memberi dukungan hari tua bagi orangtua, dari mana sumber dukungan lain bisa diperoleh? Apakah secara sosial dan budaya, pergeseran

pola perawatan penduduk berusia lanjut dari pola perawatan berbasis keluarga menjadi pola perawatan berbasis institusi negara dapat diterima? Apakah dukungan atau tunjangan hari tua dari negara akan melengkapi atau malah mendatangkan efek negatif terhadap dukungan informal dari keluarga?

Domain ketiga menyangkut penyediaan sarana-prasarana kesehatan. Kita dapat membuat pemodelan matematis untuk memperkirakan jumlah orang yang akan memasuki usia tua, berapa yang mungkin akan menderita penyakit degeneratif, dan lain-lain, sehingga negara siap menghadapi populasi yang menua. Dari sini dapat ditentukan apa saja pelayanan kesehatan yang harus disediakan khusus untuk memenuhi kebutuhan spesifik penduduk lanjut usia? Bagaimana merancang kota, fasilitas umum, lingkungan

permukiman dan lingkungan kerja yang lebih ramah bagi penduduk lanjut usia? Bagaimana kerangka regulasi untuk menjamin hak pelayanan publik untuk penduduk lanjut usia?

Untuk menjawab berbagai pertanyaan di atas, pendekatan lintas disiplin yang melibatkan banyak ilmu seperti biomedis, kedokteran, kesehatan masyarakat, psikologi, geropsikologi, sosiologi, antropologi, ekonomi, arsitektur dan tata kota serta kebijakan publik sangat penting. Selain itu, kita perlu belajar dari negara lain yang telah memiliki kemajuan dalam menghadapi masalah penuaan penduduk.

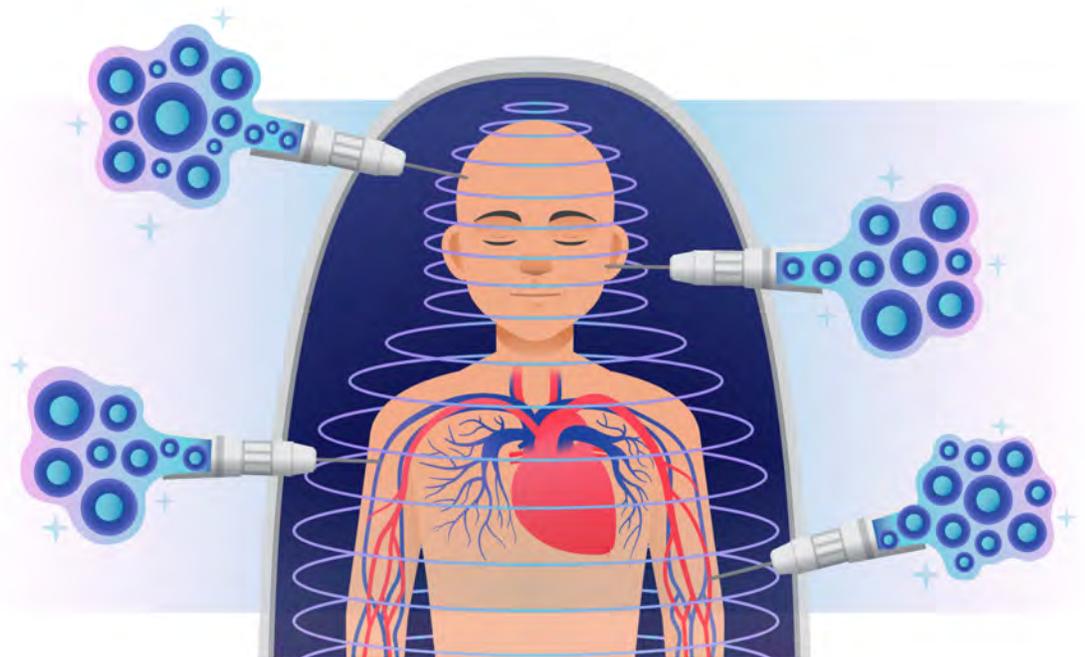
19

Setelah Sel Punca, Apa Lagi?

Perkembangan sains dan teknologi di bidang biomedis dan kedokteran berlangsung sangat pesat sejak penemuan DNA dan perkembangan luar biasa dalam bidang rekayasa genetik. Salah satu terobosan ilmiah adalah penemuan sel punca yang memungkinkan untuk terapi berbagai penyakit degeneratif. Bagaimana memanfaatkan riset lintas disiplin untuk membuat terobosan baru dalam memanfaatkan sel punca?

Dunia terbelah menjadi dua kubu ketika isu etik dalam teknologi kloning dibawa ke Sidang Umum Perserikatan Bangsa-Bangsa pada 2005. Pengembangan sains sel punca terancam terhambat meski menjanjikan masa depan cerah di dunia pengobatan. Saat itu, sel punca yang mampu berdiferensiasi menjadi berbagai macam sel (*pluripotent*) dianggap hanya bisa didapat dari embrio, dengan kloning sebagai jembatannya, membuatnya sarat akan komplikasi etik karena dianggap memusnahkan hidup. Namun dalam sepuluh tahun terakhir diperoleh sejumlah terobosan besar dalam sains sel punca.

Sel dewasa ternyata dapat “diprogram ulang” menjadi sel punca dengan kemampuan serupa sebagaimana sel yang berasal dari embrio. Sel punca juga ternyata ditemukan pada setiap organ maupun jaringan, meski dalam jumlah kecil, termasuk di permukaan usus. Implikasinya, kita dapat menumbuhkan sel punca sendiri di laboratorium untuk keperluan terapi. Berbagai terobosan ini dapat menjadi solusi dalam transplantasi organ. Bayangkan jika kita dapat mencetak organ baru dari sel punca, lengkap dengan sistem saraf dan pembuluh darahnya. Penderita penyakit jantung, ginjal, atau hati yang



memerlukan transplantasi, sebentar lagi tak perlu pasrah menunggu donor organ yang amat langka.

Saat ini masih banyak hal perlu dipahami mengenai sel dan bagaimana sel-sel tersebut berinteraksi untuk menghasilkan organisme multisel seperti kita, termasuk interaksi sel punca dengan lingkungan mikronya, yaitu interaksi dengan sel lain dan molekul sinyal yang terlibat. Perbaikan dan pemeliharaan jaringan atau organ juga memerlukan pemahaman akan kompleksitas sinyal kunci dalam proses regenerasi sel punca. Tapi, di masa depan, terapi berbasis sel punca mungkin hanya berupa campuran molekul atau protein kuncinya, tanpa melibatkan sel punca secara utuh. Mimpi akan masa depan sains biomedis ini tentu tidak bisa diwujudkan hanya melalui perkembangan sains sel punca, melainkan membutuhkan penelitian multidisiplin sebagai tulang punggungnya.

Persinggungan Ilmu Biologi dan Fisika

Revolusi di bidang kedokteran tak bisa dipisahkan dari kerja sama lintas disiplin seperti ilmu biologi, kimia, fisika, dan komputasi. Seperti persinggungan antara biologi dan ilmu komputasi melahirkan bioinformatika,

ketika biologi bertemu fisika, lahirlah biomaterial. Di masa depan, riset biomaterial sungguh penting dan dapat menjawab sejumlah pertanyaan mendasar. Bagaimana menciptakan organ di laboratorium yang dapat tumbuh dan berkembang sesuai usia penerimanya? Bagaimana menciptakan material yang dapat terurai secara biologis dalam tubuh tanpa efek toksik? Bagaimana menciptakan material yang sesuai untuk berbagai organ tubuh (*biocompatible material*)? Bagaimana sebetulnya interaksi molekuler antara material dan permukaan biologis jaringan tubuh manusia?

Aplikasinya dapat sangat luas. Contohnya, sains biomaterial dapat diaplikasikan untuk membuat darah sintetis yang mengandung hemoglobin sebagai pembawa oksigen. Atau tulang dan gigi sintesis yang tumbuh seiring bertambahnya usia pengguna, begitu juga dengan organ buatan seperti jantung dan liver.

Belajar dari Alam

Alam menyediakan berbagai fenomena yang dapat menginspirasi kita untuk mengembangkan ilmu pengetahuan. Dengan keanekaragaman hayatinya, Indonesia memiliki modal untuk menjadi pionir riset dasar dan terapan pasca sel punca yang berbasis peniruan

pada alam atau biomimikri.

Sejumlah hewan memiliki kemampuan meregenerasi dirinya sendiri, termasuk bintang laut. Beberapa jenis bintang laut mampu menumbuhkan lengannya yang terputus, bahkan ada yang potongan lengannya dapat tumbuh menjadi bintang laut utuh. Bagaimana sebenarnya proses regenerasi organ pada bintang laut?

Mengapa lengan yang terpotong dapat terganti pada satu hewan dan tidak pada hewan lainnya? Kemungkinan segala perangkat vital yang dibutuhkan untuk pembuatan lengan baru terdapat pada lengan tersebut. Perangkat vital apa saja yang memungkinkan regenerasi mengagumkan pada bintang laut dan informasi genetik apa yang hilang antar bintang laut ini sehingga berbeda kemampuan regenerasinya? Proses evolusi apa yang hilang pada manusia dan makhluk lain yang tidak mampu meregenerasi diri? Pemahaman akan proses regenerasi organ pada bintang laut dapat membantu kita memahami proses dasar dari regenerasi organ tubuh, sehingga di masa depan dapat diaplikasikan untuk pembuatan organ tubuh manusia. Jadi, setelah penemuan sel punca, apa lagi?

IV

AIR, PANGAN, DAN ENERGI



Air untuk Semua: Bagaimana Mengamankannya?

Kelestarian sumber daya air di masa depan perlu mendapat prioritas di tengah tekanan pertumbuhan penduduk yang sangat tinggi. Kuantitas dan kualitas menjadi dua kriteria kelestarian air yang tak terpisahkan. Bagaimana ilmu pengetahuan dan teknologi dapat membantu memperoleh kecukupan air untuk kelangsungan kehidupan?

Setelah 70 tahun merdeka, lebih dari 35 juta rakyat Indonesia masih tidak memiliki akses terhadap air bersih. Ke depannya keadaan bisa kian buruk. Badan Kesehatan Perserikatan Bangsa-Bangsa (WHO) memperkirakan pada 2025 penduduk dunia yang kekurangan air bersih akan mencapai sekitar 1,8 miliar manusia—dua kali lipat dari sekarang!

Kekurangan dan kelebihan air dapat menjadi bencana, sehingga air perlu dikelola. Penerapan ilmu pengetahuan secara lintas disiplin sangat vital dalam pengelolaan air, mencakup pencarian sumber-sumber air, pengambilan, penyimpanan, pemanfaatan, remediasi, serta konservasi air. Namun pengelolaan air hanya akan sukses menjamin kecukupan jika dilaksanakan sebagai bagian integral dari upaya besar untuk menjaga kelestarian daya dukung alam bagi kehidupan.

Wilayah Indonesia memiliki karakteristik geografi, geologi, dan klimatologi yang bervariasi, sehingga secara alamiah ketersediaan, kuantitas, dan sifat-sifat air bakunya juga bervariasi. Tantangan ketersediaan air kini terutama bukan lagi terletak pada pencarian sumber-sumber air baku, melainkan pada distribusi air baku yang keberadaannya secara alamiah tidak merata. Penataan

peruntukan lahan, intervensi teknologi dalam penyimpanan dan distribusi air, hanyalah sebagian jawaban bagi tantangan tersebut. Masih terbuka ruang yang lebar bagi ilmu pengetahuan dan teknologi untuk membantu mengamankan ketersediaan air, seiring berkembangnya kebutuhan manusia dan ancaman kelangkaan air. Ilmu kebumiharian diperlukan untuk mengeksplorasi sumber-sumber air alternatif. Antara lain dengan memetakan sungai-sungai bawah tanah seperti pada bentang alam karst, serta memetakan air formasi yang letaknya jauh lebih dalam dari yang selama ini dapat dijangkau untuk memperoleh air tanah secara konvensional. Selanjutnya, dibutuhkan pengembangan teknologi yang murah, hemat energi, dan ramah lingkungan untuk mengambil dan mengolah air dari potensi-potensi alternatif tersebut.

Dua pertiga wilayah kita berupa laut, sehingga pada kondisi kelangkaan air yang ekstrem, air laut juga dapat dipandang sebagai air baku. Proses *reverse osmosis* dapat digunakan untuk menghilangkan kadar garam dalam air laut (desalinasi), meski belum efisien dan relatif mahal. Penelitian untuk menemukan teknologi membran yang lebih canggih, serta teknologi yang mampu menurunkan kebutuhan energi



Penjual air bersih melintasi proyek bangunan superblok di Jakarta

KOMPAS/Heru Sri Kumoro

pada tahap pengasupan air laut, masih harus dikembangkan.

Sebagian besar tubuh tanaman terdiri dari air, sampai 70-90 persen, sehingga juga berpotensi menjadi sumber air minum. Teknologi apa yang harus dikembangkan agar dapat memanen air minum dari tanaman secara berkelanjutan? Ketersediaan dan kebutuhan air sangat dinamis, namun selama ini kita belum memiliki data neraca air yang terpercaya sebagai modal bagi penyusunan strategi pengelolaan sumber daya alam, penataan lingkungan, dan

mitigasi bencana. Untuk itu, teknologi informasi perlu diterapkan untuk mengembangkan sistem informasi air berbasis waktu yang mengakomodasi kondisi spesifik geografi, geologi, dan klimatologi serta pemanfaatan air di tiap-tiap daerah.

Swasembada Air

Sebagai negara beriklim tropis basah, seluruh wilayah Indonesia mendapatkan pasokan air hujan walaupun dengan kuantitas berbeda-beda. Bagaimana kita berkecukupan dengan air yang tercurah dari langit? Terobosan ilmu

pengetahuan dan teknologi diperlukan untuk menyelamatkan setiap tetes air yang kita miliki, agar dapat digunakan secara berkelanjutan, dengan biaya yang murah. Teknologi pengolahan air perlu dikembangkan—agar lebih efisien dan ekonomis—untuk memperoleh kualitas air yang sesuai bagi berbagai jenis kebutuhan manusia.

Kota-kota perlu ditata ulang menjadi *water sensitive city* agar dapat berswasembada air bersih dan memiliki sistem pengelolaan air yang baik. Sebagai negara tropis dengan sinar matahari melimpah, dapatkah kita mengandalkan metode fitoremediasi, menggunakan tanaman untuk mengurangi pencemaran oleh zat organik maupun anorganik? Mampukah kita menggunakan teknologi bio dan nano untuk mengembangkan tanaman super, yang mampu menyaring ion-ion logam berat dan mengurangi pencemaran organik dengan cepat pada air yang kotor?

Lalu bagaimana dengan kebutuhan air untuk pertanian? Terdapat fakta yang menarik yaitu penggunaan air untuk pertanian di Indonesia lebih besar dibanding untuk kebutuhan rumah tangga dan industri, namun efisiensinya sulit dikontrol. Irigasi dan penyiraman kerap tidak dilakukan berdasarkan suhu makro ataupun mikro tanaman,

serta jenis dan umur tanaman, sehingga tidak efisien. Akibatnya, kita kehilangan air bersih dalam jumlah besar. Mampukah kita mengembangkan sensor nano pada jaringan tanaman yang dapat mendeteksi kebutuhan air secara aktual, sehingga pemberian air dapat dilakukan tepat waktu dan tepat sasaran?



Pertanian Lebih Pintar untuk Pangan Lebih Banyak

Pertanian Indonesia sedang dalam berbagai tekanan. Tekanan mencukupi kebutuhan pangan sebagai akibat pertumbuhan penduduk, tekanan memberikan kesejahteraan bagi para petani, meningkatnya daya beli, serta kerentanan menghadapi isu lingkungan dan perubahan iklim. Bertani lebih pintar adalah solusinya.

Lebih dari 200 tahun lalu Thomas Robert Malthus berdalil bahwa kecepatan pertumbuhan populasi manusia akan jauh melampaui kemampuan Bumi menghasilkan pangan. Saat ini, ada lebih dari 250 juta penduduk Indonesia, pada seabad Indonesia merdeka akan menembus 300 juta. Tak mudah memberi makan ratusan juta perut, tetapi dengan ilmu dan teknologi, "celah ketidakmampuan" dapat diminimalkan. Untuk beras saja, menurut perhitungan Kementerian Pertanian, setiap orang Indonesia makan 130 kilogram per tahun. Tentu, dengan semakin meningkatnya jumlah penduduk, semakin banyak pula pangan yang dibutuhkan.

Meningkatnya kebutuhan pangan ini tidak bisa diselesaikan dengan cara sederhana: menambah luas sawah. Membuka sawah baru menghadapkan kita pada masalah lain, seperti deforestasi. Hutan akan semakin tergerus karena dibuka untuk lahan pertanian. Akibatnya, gas emisi akan meningkat dan kualitas lingkungan hidup merosot. Perubahan iklim pada jangka panjang akan mempengaruhi pola, kapasitas, dan produktivitas hasil pertanian. Perlu terobosan baru untuk mengubah pertanian konvensional, hingga peningkatan produk pangan tidak harus diselesaikan dengan membuka lahan baru.

Tantangan sektor pertanian saat ini adalah bagaimana mengembangkan pertanian pintar yang menyelaraskan tiga isu besar: produktivitas, kemandirian dan kedaulatan pangan, serta kelestarian lingkungan. Ketahanan pangan harus dicapai melalui kemandirian dan kedaulatan pangan, bukan dengan impor. Kata kunci dalam pertanian pintar adalah efisiensi dalam penggunaan *input* yang meliputi lahan pertanian, air, pupuk, dan benih, dengan tujuan menjaga ketahanan pangan dan meminimalkan emisi gas rumah kaca serta dampak lingkungan lainnya. Peranan mikroba perlu dipelajari lebih intensif dan diintegrasikan untuk melengkapi konsep pertanian pintar.

Pertanian pintar bukanlah hal yang sulit untuk dilakukan di Indonesia, karena kita memiliki modal yang cukup baik: tanah yang relatif subur, kekayaan genetik, curah hujan dan sinar matahari berlimpah, kultur bertani serta sumber daya manusia yang besar. Hanya sentuhan inovasi dari ilmu pengetahuan dan teknologi dalam pengembangan pertanian yang belum serius dikembangkan.

Di sisi lain, pertanian merupakan sektor tumpuan pendapatan masyarakat perdesaan, sehingga sektor pertanian memiliki tantangan besar untuk meningkatkan pendapatan masyarakat perdesaan. Pada konteks nasional,



Keanekaragaman sumber pangan Nusantara

Aiyen B. Tjoa

sektor pertanian juga diharapkan menjadi salah satu mesin pertumbuhan ekonomi nasional melalui ekspor hasil pertanian. Peningkatan produktivitas pertanian di masa kini dan di masa depan akan bergantung pada kemampuan kita memahami bahwa kesuburan lahan pertanian bersifat heterogen dengan penyangga yang rendah, tanaman juga tidak dapat diperlakukan seragam. Dengan demikian, dasar pengembangan lahan pertanian harus bersifat spesifik, memperbaiki, dan berkelanjutan. Kemampuan memperlakukan tanaman sebagai mitra produksi dan kemampuan mempertahankan luas lahan pertanian

juga diperlukan.

Teknologi pertanian tanpa media tanah juga harus dikembangkan karena kita tidak dapat mengadopsi model rumah kaca secara total sebagaimana di negara beriklim sedang. Kekayaan genetik, harus dimanfaatkan untuk meningkatkan ketahanan pangan dan kesejahteraan petani. Bagaimana membuat varietas pertanian yang dikembangkan sesuai dengan karakteristik lokasi (spesifik lokasi), efisien dalam pemakaian *input* pertanian, dan mencapai produktivitas tinggi?

Sains dan teknologi diperlukan untuk perbaikan kuantitas dan kualitas hasil pertanian, misalnya untuk menghasilkan benih yang tahan serangan hama, tanaman yang tangguh menghadapi kondisi ekstrem dan perubahan iklim, ataupun tanaman dan pangan olahan yang kandungan gizinya lebih tinggi. Teknologi lain yang juga perlu dikembangkan adalah mekanisasi dengan mesin-mesin pertanian, mekatronik (robot), teknologi bio dan nano, termasuk di dalamnya rekayasa genetik untuk menghasilkan benih yang unggul dan spesifik lokasi di mana Indonesia masih sangat tertinggal.

Nanokapsul dapat masuk ke dalam kutikula atau dalam jaringan tanaman untuk menyalurkan nutrisi atau memicu pembungaan dan pematangan biji/buah. Teknologi ini juga bisa dipakai untuk menyalurkan herbisida secara tepat pada sel target. Nanosensor dapat mengenali tingkat kebutuhan air dan nutrisi pada tingkat jaringan dan sel sehingga efisien dan menurunkan dampak buruk terhadap lingkungan. Nanoenzim dapat lebih efektif diterapkan pada manajemen limbah pertanian dan produksi biofuel. Sedangkan nanopartikel dapat mengatur hormon, fotosintesis, respirasi, dan sebagainya. Bagaimana kita mengejar semua ketertinggalan ini dan menjadikan Indonesia lebih efisien dalam berproduksi, berkecukupan

pangan, dan menjadi negara pengekspor hasil pertanian?

Rantai Fotosintesis

Fotosintesis merupakan penghasil energi utama bagi tanaman yang sangat penting untuk menunjang pertumbuhan tanaman. Terobosan untuk menguasai sistem kompleks rantai fotosintesis secara lebih terperinci sangat memungkinkan untuk meningkatkan produktivitas pertanian secara fenomenal. Pemanfaatan lebih banyak spesies sebagai sumber pangan juga merupakan upaya sederhana untuk efisiensi hasil fotosintesis.

Kita juga tidak boleh melupakan cara menghitung kebutuhan pangan secara tepat. Kemampuan pemodelan kuantitatif yang dapat menghasilkan skenario alternatif masa depan pangan Indonesia sangat penting dikembangkan. Ini harus mengintegrasikan faktor sosio-ekonomi dan biofisik yang merefleksikan faktor yang mempengaruhi penawaran dan permintaan pada skala geografis yang berbeda dari beragam produk pangan. Akses universal pangan yang cukup secara jumlah dan kandungan gizi, serta aman dari pencemaran dari sistem pertanian yang efisien, berkelanjutan, dan memberdayakan petani berdampak penting bagi ketahanan dan keberlanjutan pembangunan nasional.

Selain Pangan, Bisakah Vaksin dan Obat Dipanen di Ladang Pertanian?

Selain air dan oksigen, produk pertanian merupakan penyokong utama kehidupan manusia. Indonesia memiliki sumber daya lahan, air, sinar matahari melimpah, dan populasi penduduk yang besar. Apa yang dapat dihasilkan dari pertanian selain pangan?

Bumi Indonesia pernah menjadi ladang pertanian besar untuk obat. Berkat Franz Wilhelm Junghuhn—ahli botani dan naturalis Belanda asal Jerman—pemerintah Hindia-Belanda sukses membudidayakan dan membuka perkebunan kina besar-besaran di Jawa Barat, meski dimulai dengan sekitar 70 bibit selundupan dari negeri asalnya, Bolivia. Sebelum Perang Dunia II, bumi Indonesia merupakan pemasok lebih dari 90% kina dunia, obat antimalaria utama pada saat itu. Demikian juga dengan karet, sebagai sumber terbesar dunia saat itu, sebelum karet sintetis ditemukan akibat hilangnya akses dunia Barat kepada sumbernya di Indonesia dan Malaysia selama perang.

Tantangan meningkatnya harga minyak di dua dekade terakhir telah membangkitkan ketertarikan pemerintah dan dunia industri di Indonesia terhadap potensi pertanian di luar pangan sebagai sumber energi alternatif. Biofuel seperti biodiesel, bioetanol, dan biogas dapat dihasilkan dari biomassa tanaman pangan seperti umbi-umbian dan kelapa sawit maupun tanaman nonpangan seperti jarak dan biji ketapang.

Melalui sains katalisis, industri bahan bakar nabati juga dapat menghasilkan produk sampingan bernilai ekonomi yang jauh lebih tinggi, seperti material



ramah lingkungan untuk bahan baku serat karbon, plastik, hingga zat kimia peningkat hasil pengeboran minyak bumi. Melalui teknologi masa kini, tanaman dapat dimodifikasi dan didesain untuk menghasilkan produk dengan kecepatan dan kemampuan produksi sesuai keinginan kita, seperti halnya pabrik. Hasilnya, akan didapat "produk" berupa karbohidrat, protein nabati, serat, minyak, mineral, hingga zat fitokimia.

Kendati demikian, seperti di era pemerintahan Hindia-Belanda, pengembangan pertanian di luar pangan selalu memicu kontroversi karena dikhawatirkan mengambil lahan untuk produksi pangan yang amat penting dan tak tergantikan. Pembukaan lahan baru tak selalu menjawab permasalahan, selain tak ramah lingkungan. Dapatkah sains membantu memecahkan masalah ini, misalnya mengoptimalkan produksi minyak per hektar dari tanaman dengan biaya energi dan pencemaran lingkungan rendah? Integrasi teknologi pada pertanian media nontanah perlu dikembangkan. Atau dapatkah sains membantu memanfaatkan tanaman yang sudah banyak dibudidayakan petani namun kontroversial, seperti tembakau, agar lebih bernilai tinggi—misalnya untuk menghasilkan minyak dan produk biofarmasi?

Pertanian Molekuler: Memanen Vaksin Dan Obat di Ladang

Sejak zaman Neolitikum, tanaman telah digunakan sebagai bahan baku obat tradisional. Alkaloid yang dihasilkan tanaman dapat digunakan sebagai penghilang rasa sakit, detoksifikasi, antibiotik, laksatif, mengobati rematik, malaria, jantung, hingga kanker. Di era modern, rekayasa genetik membuka peluang pemanfaatan tanaman sebagai pabrik berbagai produk biofarmasi. Misalnya, memproduksi protein antigen kuman untuk vaksin (*subunit vaccine antigens*) dan protein untuk terapi. Sel tanaman adalah bioreaktor ideal untuk produksi vaksin dan obat berbasis protein.

Penggunaan tanaman menawarkan alternatif produksi vaksin dan obat berbiaya relatif murah, salah satunya karena berbasis biomassa. Ketersediaan vaksin berbiaya murah cukup relevan untuk memecahkan masalah daya beli masyarakat Indonesia yang masih rentan penyakit infeksi. Tanaman juga berpotensi menghasilkan vaksin dan obat yang dapat diberikan secara oral, melalui rekayasa pada tanaman pangan seperti padi, kentang, dan wortel.

Sejumlah studi menunjukkan hasil menggembirakan meski masih lebih banyak diujikan pada hewan daripada

manusia. Dalam tubuh tikus yang diberi makan wortel mengandung vaksin anti *Eschericia coli*, bakteri penyebab diare, menunjukkan perlindungan terhadap infeksi *E. coli*. Begitu pula tikus yang diberi makan beras yang mengandung vaksin antikolera. Kentang yang mengandung vaksin antivirus Hepatitis B juga mampu menstimulasi kekebalan spesifik untuk menangkal infeksi ketika diujicobakan pada relawan manusia sehat. Namun, pengembangan vaksin dan obat berbasis tanaman menghadapi kendala dalam uji klinis. Setelah lebih dari dua dekade, belum ada bakal vaksin yang melewati fase I uji klinis, yaitu pengujian pada manusia sehat.

Masih banyak pertanyaan yang perlu dipecahkan. Bagaimana menghasilkan protein yang terekspresi secara stabil dalam jumlah yang signifikan untuk produksi massal? Bagaimana mempertahankan jumlah dan kualitas protein sejak panen hingga pengolahan selanjutnya? Bagaimana menekan perbedaan variasi produksi jumlah dan kualitas protein (vaksin atau obat) pada setiap panen? Bagaimana menghasilkan protein yang berfungsi dengan baik?

Terlepas dari berbagai kendalanya, potensi tanaman selaku pabrik vaksin dan obat layak untuk dikembangkan, terutama bagi Indonesia yang memiliki tanah subur dan sinar matahari

melimpah serta masih berkuat melawan penyakit infeksi. Di masa depan, dapatkah sains dan teknologi membuat kita sehat melalui panen vaksin dan obat di ladang?

Panas Bumi Andalan Energi Kita

Posisi geografis dan kondisi geologi Indonesia membuat negeri ini kaya akan beragam jenis energi bersih dan terbarukan, seperti panas bumi. Ironisnya, kita masih mengandalkan sumber energi fosil untuk memenuhi kebutuhan energi. Bagaimana ilmu pengetahuan membantu mengembangkan sumber daya energi panas bumi untuk mencukupi kebutuhan energi kita?



Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Darajat, Garut, Jawa Barat

Asosiasi Panas Bumi Indonesia

Manusia pada dasarnya adalah makhluk yang “lapar energi”. Sayangnya kita masih sangat bergantung pada sumber energi fosil yang tak terbarukan. Kurang dari seperlima energi dunia dihasilkan dari sumber energi terbarukan seperti tenaga surya, angin, arus laut, nuklir, biomassa, dan panas bumi. Indonesia sebenarnya bisa menjadi pelopor dalam penggunaan energi terbarukan. Dengan jumlah gunung berapi terbanyak di dunia, Indonesia merupakan bagian dari Sabuk Api Pasifik yang sesungguhnya menyimpan berkah berupa gradien panas bumi yang tinggi di bawah telapak kaki kita. Dapatkah kita memanfaatkannya dan meninggalkan

ketergantungan terhadap energi fosil?

Saat ini kita baru memproduksi sebagian kecil potensi panas bumi secara konvensional. Cara konvensional ini mengekstraksi energi panas yang tersimpan di kerak bumi pada kedalaman 2-3 kilometer dengan memanfaatkan fluida (air meteorik) yang bersirkulasi dalam batuan reservoir sebagai media pembawa energi panas ke permukaan. Fluida yang telah diekstraksi panasnya kemudian dikembalikan ke dalam batuan reservoir.

Energi panas bumi terkandung dalam sistem panas bumi yang kompleks, baik dari variasi batuan, kandungan panas,

maupun komposisi kimia fluidanya. Sistem panas bumi juga bersifat dinamis karena di dalamnya terjadi perpindahan panas dan massa secara temporal dan spasial. Kedua karakter ini membuat eksplorasi energi panas bumi lebih rumit ketimbang energi fosil, sehingga belum banyak dilirik sebagai sumber energi meski lebih ramah lingkungan.

Untuk mengembangkan energi panas bumi, kita perlu lebih dulu mengatasi persoalan di hulu, yakni ketidakpastian sumber daya. Kualitas eksplorasi harus ditingkatkan dengan menerapkan ilmu kebumihan terpadu (geologi, geofisika, geokimia) dengan resolusi tinggi. Pemodelan kuantitatif empat dimensi (ruang dan waktu) diperlukan untuk memperkecil kesalahan dalam menentukan target potensial di bawah permukaan.

Agar dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan, energi panas bumi perlu diekstraksi sesuai laju aliran panas dari dalam Bumi dan laju pengisian ulang air meteorik ke dalam sistem panas bumi. Untuk itu, perlu dilakukan pengelolaan reservoir melalui pemodelan numerik guna menentukan laju produksi yang optimal. Sifat ramah lingkungan energi panas bumi juga dapat dipertajam dengan mengembangkan teknologi pembangkit listrik yang efisien dan bebas emisi.

Potensi energi lebih besar diduga terdapat pada sistem panas bumi nonkonvensional di kedalaman 4-7 kilometer dengan temperatur lebih dari 400 derajat Celcius. Untuk dapat memanfaatkannya, diperlukan pengembangan teknologi prospeksi resolusi tinggi yang mampu menjangkau kedalaman besar, teknologi pengeboran dalam, serta teknik pengukuran sifat fisik dan kimiawi fluida dengan kondisi temperatur dan tekanan yang besar. Pemodelan seperti apakah yang diperlukan untuk menduga potensi panas bumi di kedalaman dan lingkungan yang belum terjangkau pengeboran?

Sains Material untuk Mendukung Ekstraksi Energi Panas Bumi

Fluida panas pada sistem panas bumi di daerah vulkanik seperti Indonesia sering bersifat korosif sehingga membutuhkan material fasilitas produksi yang jauh lebih tahan korosi dibandingkan dengan yang digunakan pada ekstraksi minyak dan gas bumi. Bagaimana menciptakan material yang tahan korosi untuk fasilitas produksi fluida panas bumi? Dapatkah material itu tahan korosi tanpa bergantung pada proteksi katodik dan pelapisan?

Pemanfaatan energi panas bumi tak melulu dilakukan terhadap reservoir yang memiliki kandungan fluida panas. Generasi terbaru dalam peningkatan pemanfaatan panas bumi adalah dengan membuat *Engineered Geothermal System* (EGS). EGS memungkinkan terjadinya esktraksi panas dari batuan yang secara alamiah tidak mengandung air. Cara kerjanya, air dingin dialirkan ke dalam batuan panas yang berada jauh di bawah permukaan melalui sumur injeksi. Air bergerak melalui rekahan buatan, menangkap panas batuan, dan akhirnya keluar dari sumur produksi sebagai air atau uap panas yang energinya akan diubah menjadi listrik. Salah satu kunci keberhasilan EGS terletak pada pengembangan ilmu dan teknologi materialnya. Batuan di kedalaman besar bersifat plastis atau liat, sehingga diperlukan mata bor yang sesuai untuk menembusnya.

V

BUMI, IKLIM, DAN ALAM SEMESTA





Memahami Pergolakan Perut Bumi Pertiwi

Pertemuan lempeng Indo-Australia, Eurasia dan Pasifik, serta beberapa fragmen lempeng lainnya menjadikan Indonesia sebuah busur kepulauan terpanjang di dunia, dengan konsekuensi positif dan negatif bagi kehidupan di atasnya. Seberapa jauh pemahaman kita akan geodinamika kawasan yang kita tempati? Bagaimana ilmu pengetahuan dapat meningkatkan pemahaman tersebut demi kehidupan yang lebih baik di masa depan? Apa kontribusi pemahaman geodinamika wilayah Indonesia bagi dunia?

Hampir 70 tahun yang lalu, R.W. van Bemmelen untuk pertama kalinya memaparkan kondisi geologi Indonesia dalam bukunya *Geology of Indonesia* (1949). Paparan mengenai proses dinamika Bumi tersebut sangat penting karena Bumi yang kita kenal sekarang memiliki sejarah yang panjang dan kompleks, serta bersifat dinamis. Setiap bagiannya telah, sedang, dan akan terus mengalami perubahan. Selain membantu memperkirakan ketersediaan sumber daya mineral, minyak dan gas bumi, energi panas bumi, serta air, wawasan geologi dalam buku tersebut dapat dijadikan panduan untuk

mendeteksi karakter lingkungan hidup serta potensi bencana seperti gempa bumi, tsunami, letusan gunung berapi, dan gerakan tanah.

Sejak zaman Van Bemmelen, studi dinamika Bumi memang menerapkan prinsip geologi: *"the present is the key to the past"* dan *"the past and the present are the keys to the future"*. Maksudnya, hasil pengamatan atas aktivitas Bumi masa kini bisa dipakai sebagai dasar untuk menduga kejadian di masa lampau. Sedangkan berbagai jejak peristiwa yang dialami Bumi, yang terekam pada batuan, fosil dan lapisan



Memandang Gunung Gamalama dari sebuah kapal di Selat Pagemahera, Maluku Utara

KOMPAS/Priyombodo

es, jika dirangkai dan dibandingkan dengan kejadian masa kini, dapat dipakai untuk mengetahui masa lalu serta meramalkan masa depan Bumi.

Saat ini penelitian geologi dan ilmu kebumihan di Indonesia telah berkembang amat pesat sebagai implikasi dari perkembangan ilmu geologi modern, serta kemajuan teknologi pengambilan data lapangan dan analisis laboratorium. Karena itu sekarang merupakan waktu yang tepat untuk merevisi wawasan geologi Indonesia versi Van Bemmelen.

Kita bisa mulai dengan memetakan ulang keadaan permukaan dan dekat permukaan Bumi, menggunakan teknik penginderaan jauh, pengamatan geologi di lapangan, pengukuran geodesi dan geofisika, pengeboran, penanggalan umur, serta analisis geokimia bebatuan. Selanjutnya, kondisi di bawah permukaan yang tak terjangkau pengeboran dan geofisika, dapat kita pelajari melalui eksperimen laboratorium dan pemodelan.

Kunci untuk memahami geodinamika wilayah Indonesia secara lebih baik terletak pada peningkatan resolusi atau keakuratan penelitian; pengembangan teknologi pengamatan/pengukuran, teknologi analisis laboratorium, dan teknologi simulasi/pemodelan;

integrasi hasil penelitian; serta revisi konsep geologi yang telah ada berdasarkan penemuan baru. Selain itu, agar mendapatkan gambaran yang lebih komplet mengenai kondisi Bumi dari permukaan hingga interior, studi geodinamika perlu melibatkan berbagai disiplin ilmu kebumihan.

Rekaman yang lebih sempurna tentang proses bumi Indonesia di masa lampau dan masa kini tak hanya bermanfaat bagi bangsa Indonesia, tetapi juga akan menjadi sumbangan besar bagi dunia. Pemahaman atas geodinamika Nusantara akan melengkapi pengetahuan tentang sejarah pembentukan planet Bumi dan tata surya, beserta implikasinya bagi kelangsungan hidup manusia di alam semesta.

Khusus bagi Indonesia, peningkatan pengetahuan tentang geodinamika melalui penelitian terpadu dengan tingkat ketelitian yang tinggi akan menjadi basis informasi yang penting. Manfaatnya untuk memperbaiki konsep-konsep eksplorasi dan pengelolaan sumber daya; memperbaiki pemahaman akan potensi bencana geologi beserta langkah mitigasinya; serta merumuskan konsep penataan wilayah yang selaras dengan karakter alam dan pembangunan berkelanjutan. Lebih jauh lagi, dapat memperkuat

strategi pertahanan dan keamanan negara.

Bumi adalah sebuah kesatuan antara litosfer, barisfer, hidrosfer, atmosfer, dan biosfer. Karena itu penting pula untuk mempelajari lebih jauh interaksi antara proses-proses di dalam perut Bumi dengan iklim. Misalnya, apa konsekuensi klimatologis dari aktivitas magmatisme dan vulkanisme yang memindahkan sejumlah besar panas dan massa ke permukaan Bumi dan atmosfer? Dan apa dampak dari proses endogenik lain yang mengubah bentang alam?

Memindai Tubuh Bumi

Tomografi seismik merupakan teknologi geofisika untuk memindai bagian dalam Bumi. Pencitraan tubuh Bumi secara keseluruhan akan membantu kita memahami sifat fisik dan kimia interior Bumi. Bahkan dengan pemindaian empat dimensi (ruang dan waktu) kita bisa mengetahui struktur dan pergerakan komponen-komponen interior Bumi, setidaknya sejak saat pemindaian. Tentu saja, untuk mendapatkan gambaran yang lebih utuh, hasil pengamatan atas interior Bumi perlu dilengkapi dengan informasi dari berbagai penelitian yang dilakukan menggunakan teknologi kebumihan yang lain.

Kita membutuhkan gambaran yang lengkap mengenai geologi Bumi Indonesia untuk dapat beradaptasi secara dinamis terhadap kondisi Bumi yang terus berubah. Persoalannya sekarang, teknologi pemindaian masih membutuhkan perbaikan, terutama dalam hal daya tembus dan resolusi. Dapatkah kita mengembangkan teknologi tomografi seismik yang memiliki tingkat resolusi lebih tinggi?

Hutan Tropis: Hanya Ditebang, Sampai Kapan?

Hutan tropis Indonesia telah lama memberi manfaat ekonomi secara signifikan, bukan hanya dari kayu tetapi juga dari hasil hutan non-kayu. Manfaat ini makin lama makin menyusut dengan menurunnya kualitas hutan itu sendiri. Sementara itu jasa ekosistem hutan, seperti pengatur siklus air, konservasi biodiversitas, dan pengendali iklim lokal maupun global belum sepenuhnya dieksplorasi dan dimanfaatkan. Mengapa potensi jasa ekosistem belum dapat dimanfaatkan secara optimal dan berkelanjutan? Ilmu dan teknologi seperti apa yang perlu dikembangkan untuk menjawab tantangan ini?

Indonesia merupakan salah satu pemilik hutan tropis terbesar di dunia setelah Brasil di Amerika Selatan dan Republik Demokratik Kongo di Afrika Tengah. Namun hutan kita mengalami deforestasi dengan laju tertinggi dengan kisaran antara 0,5 hingga 1,0 juta hektar per tahun.

Usaha konservasi hutan melalui penetapan kawasan Hutan Lindung dan mengontrol akses ke kawasan serta mempertahankan status legal kawasan konservasi ternyata tidak efektif. Penguasaan hutan oleh negara tidak berkorelasi positif dengan kelestarian hutan. Jika dibiarkan, bukan tidak mungkin anak dari cucu kita hanya mengenal hutan tropis sebagai cerita.

Pada dasarnya masalah kerusakan hutan kita berakar pada peningkatan jumlah penduduk, kebutuhan lahan pertanian, dan kegiatan ekonomi berbasis lahan. Manfaat hutan lebih banyak dinilai secara ekonomis, dibandingkan dengan fungsi hakikinya sebagai ekosistem yang unik dan sangat rentan terhadap pengaruh manusia.

Hubungan antara hutan dan air serta kelestariannya sudah lama dipahami meskipun masih dijumpai persepsi yang salah. Hutan tidak memproduksi air tetapi justru mengkonsumsinya untuk pertumbuhan dan perkembangannya. Bagaimana mencari keseimbangan

antara luas hutan dengan peruntukan lainnya agar produksi air tetap lestari? Bagaimana distribusi hutan diatur dan dipertahankan dalam bentang alam tertentu? Tata ruang yang komprehensif harus melestarikan air dan menghindarkan kawasan dari bencana hidrometeorologis, seperti kekeringan, banjir dan tanah longsor?

Hutan bukan sekadar wilayah yang tertutup pepohonan, tetapi merupakan habitat berbagai makhluk hidup makro dan mikro yang terintegrasi pada lingkungan abiotik secara kompleks. Hilangnya hutan alam telah mengerosi biodiversitas kita. Dapatkah kita mengembangkan metode baru untuk mempelajari fungsi spesies dalam sebuah ekosistem? Bagaimana keberadaan atau ketidakberadaan spesies tertentu mempengaruhi keseimbangan ekosistem? Pemahaman mengenai fungsi spesies tersebut diharapkan dapat membantu merestorasi struktur dan fungsi ekosistem hutan yang terdegradasi.

Jasa ekosistem hutan tropis untuk mitigasi perubahan iklim global karena kemampuannya menyerap dan menyimpan karbon atmosfer sudah mendapat perhatian dunia. Namun penurunan laju deforestasi dan degradasi hutan yang disertai dengan emisi karbon yang selama ini tersimpan



Anak-anak Suku Sasak, Lombok, bermain di hutan

KOMPAS/Iwan Setiyawan

di dalam ekosistem hutan tidak mendapatkan insentif yang memadai ketimbang penurunan emisi di sektor energi. Bagaimana jasa ekosistem hutan tropis dan peran mitigasi perubahan iklim dapat diarusutamakan dalam sistem pendanaan yang melestarikan hutan dan manfaat lainnya?

Bagaimana agar keuntungan tersebut dilipatgandakan ketika hutan juga memberikan peran adaptasi terhadap iklim yang berubah? Tata ruang dan tata kelola seperti apa yang dapat meningkatkan ketahanan masyarakat?

Hutan alam dapat terjaga kelestariannya ketika hutan tanaman memiliki produktivitas tinggi dan

memberikan penyangga terhadap kawasan konservasi. Rencana tata ruang yang baik dan terkendali, disertai sistem tata kelola dan kepemilikan yang jelas dan kuat, merupakan prasyarat terwujudnya pengelolaan hutan secara berkelanjutan. Ambang batas tutupan hutan alam tropis perlu ditetapkan, dikelola, dan dilindungi dengan hukum yang kuat dan mengikat, sehingga kerusakan lebih lanjut dapat dikendalikan. Pembangunan hutan tanaman industri pun sebaiknya didorong untuk lokasi dan kawasan yang sesuai, bukan untuk menggusur hutan alam yang perannya tak tergantikan.

Ilmu dan teknologi perlu dieksplorasi dan diuji untuk mendorong pentingnya jasa lingkungan. Hutan yang dilindungi harus dapat memberikan manfaat lingkungan maupun ekonomi kepada masyarakat luas. Kuantifikasi jasa lingkungan yang diberikan oleh hutan tropis perlu terus dikembangkan serta dipadukan dengan kegiatan ekonomi lainnya, sehingga memperbesar nilai ekosistem keseluruhan (*total ecosystem values, TEV*). Hal ini akan memperkuat posisi tawar jasa lingkungan, baik untuk pasar lokal, nasional, maupun global.

Jasa ekosistem hutan tropis sebagai pengendali dan mitigasi perubahan iklim global sudah mendapat perhatian dunia, namun upaya pengurangan emisi selain dengan memberikan insentif juga harus memberikan efek pengganda bagi jasa-jasa lain yang belum dieksplorasi. Bagaimana kita menyesuaikan pengelolaan hutan untuk menghadapi iklim yang berubah? Di samping peran mitigasi, bagaimana mencari dan mempromosikan fungsi lain hutan yang bisa dirasakan langsung oleh masyarakat dalam penyusunan strategi dan aksi adaptasi terhadap perubahan iklim? Bagaimana mengintegrasikan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam pengelolaan hutan untuk menentukan ambang batas konversi hutan, agar ekosistem hutan

tropis dapat memberikan jasanya secara optimal dan tetap memiliki daya dukung yang tinggi?

Generasi mendatang harus disiapkan untuk dapat mengambil manfaat lebih besar dari hutan tropika basah, ekosistem unik yang harus kita wariskan.



Limbah Jadi Berkah, Caranya?

Industri masih menjadi ironi peradaban: ia memainkan peran penting dalam kemajuan ekonomi, tapi dalam kadar berbeda-beda ia jelas menjadi agen perusak lingkungan karena limbahnya. Bagaimana kita bisa melindungi Bumi dari berbagai bentuk pencemaran industri? Dapatkah sains dan teknologi mengubah limbah menjadi bahan baku?

Revolusi Industri yang bermula pada pertengahan abad ke-18 telah mengubah bidang pertanian, manufaktur, transportasi, pertambangan, hingga aspek sosial, dan ekonomi dunia. Kemajuan perekonomian suatu negara ikut ditentukan oleh perkembangan teknologi dan industrinya. Namun industri menghasilkan limbah gas, cair, maupun padat dalam jumlah besar, yang mengandung bahan kimia berbahaya yang mencemari lingkungan, bahkan berperan negatif dalam perubahan iklim Bumi.

Sebagian besar limbah gas, misalnya, mencemari atmosfer Bumi dan

menimbulkan efek rumah kaca yang membahayakan iklim global. Sementara itu limbah cair dan limbah padat mencemari permukaan tanah, air tanah, bahkan lautan. Plastik, misalnya. Program Lingkungan Perserikatan Bangsa-Bangsa (United Nations Environment Programme, UNEP) memproyeksikan pada pertengahan abad mendatang, produksi plastik global dapat mencapai milyaran ton. Limbah plastik akan berakhir di lautan, yang tak bakal terurai melainkan pecah menjadi potongan-potongan kecil yang terus terombang-ambing oleh gelombang laut.



TPA Piyungan, Bantul, ini tempat bermainku

KOMPAS/Ferganata Indra Riatmoko

Bahan kimia kini mendapat stigma sebagai perusak lingkungan. Namun pada saat yang sama bahan kimia industri telah menjadi bagian manusia. Sebutlah bahan kimia yang menyusun perkakas plastik, kaca, logam, pakaian, bahkan makanan dan air. Bagaimana kita bisa melindungi lingkungan dari pencemaran industri?

Tantangan yang harus dipecahkan bukan hanya mereduksi limbah yang dihasilkan industri, melainkan mencari cara mengubah limbah menjadi bahan baku bernilai ekonomi tinggi dan menciptakan produk ramah lingkungan. Di sinilah sains berperan memberikan perspektif baru tentang limbah sebagai bahan baku industri lain maupun dalam merancang berbagai produk ramah lingkungan. Kemampuan manusia menangkap dan mengubah limbah gas, misalnya, diharapkan dapat mengurangi kadar gas rumah kaca hingga ke tingkat pra-industri. Sementara kemampuan mengkonversi limbah cair dan padat serta menciptakan produk ramah lingkungan akan meminimalkan pencemaran lingkungan. Seberapa ramah lingkungankah suatu produk dapat diciptakan?

Gas rumah kaca seperti CO_2 (karbon dioksida) dan CO (karbon monoksida) sering dipandang sebagai penyebab utama perubahan iklim. Namun sains

telah menemukan sejumlah metode fiksasi gas tersebut menjadi produk lain yang berguna. Hidrogenasi CO melalui logam tertentu dapat menghasilkan senyawa hidrokarbon setingkat bahan bakar cair, sementara hidrogenasi CO_2 dapat menghasilkan metanol—bahan baku industri petrokimia. Selain itu, CO_2 dikenal sebagai bahan baku polikarbonat, polimer transparan pengganti kaca.

Selain proses fiksasi gas rumah kaca, pemutusan molekul (disosiasi) gas CO_2 melalui proses fotokatalisis yang diikuti oleh proses fiksasi produk hasilnya, merupakan sains penting yang diprediksi dapat menjadi rute produksi senyawa hidrokarbon yang lebih besar, termasuk bahan bakar cair. Mampukah teknologi fiksasi dan disosiasi gas rumah kaca mengendalikan kadar gas tersebut di atmosfer? Dapatkah teknologi ini menurunkan kadar gas CO_2 hingga setingkat masa pra-industri? Bahan seperti apa yang mampu menyerap—dan melepaskan ketika diperlukan—gas rumah kaca dengan kapasitas sangat besar untuk memenuhi berlangsungnya proses fiksasi dan fotodisosiasi gas rumah kaca dari atmosfer?

Selain limbah gas, industri juga menghasilkan limbah cair dan padat. Sains telah membantu manusia

menetralisasi komponen toksik dalam limbah cair melalui konversi senyawa toksik menjadi senyawa nontoksik. Bagaimana desain proses konversi limbah cair yang sekaligus dapat mengisolasi senyawa-senyawa penting di dalamnya?

Sains dan teknologi juga telah membantu manusia mengkonversi limbah-limbah padat menjadi barang baru yang lebih berguna bahkan mengisolasi kembali beberapa unsur logam penting dalam komponennya. Dapatkah manusia menggunakan 100% komponen limbah padat menjadi barang baru dengan nilai ekonomi yang setara atau lebih tinggi?

Limbah Padat

Ketergantungan manusia akan plastik menyebabkan melimpahnya limbah padat. Plastik digunakan secara massif oleh industri produk konsumen, perangkat elektronik, rumah tangga, bangunan, hingga otomotif. Namun ketersediaan bahan baku fosil untuk plastik semakin menipis. Plastik konvensional yang sulit terurai juga menimbulkan masalah kesehatan, ekosistem, hingga kerusakan lingkungan. Penggunaan zat pengurai dalam plastik hanya bersifat semu karena pada dasarnya plastik hanya berubah menjadi serpihan kecil yang baru terurai setelah puluhan tahun. Pemutusan rantai

karbon penyusun plastik menggunakan temperatur tinggi (pirolisis) juga tidak efisien untuk mengubahnya menjadi senyawa hidrokarbon yang lebih kecil setara bahan bakar cair. Mampukah fotodisosiasi mengubah limbah plastik menjadi senyawa yang lebih kecil?

Sains telah menemukan alternatif plastik yang lebih mudah terurai dari bahan baku pangan, yang sayangnya mengundang kontroversi. Sumber daya hayati nonpangan apa yang dapat tersedia dalam jumlah besar dan berkelanjutan sebagai bahan baku plastik? Plastik tersebut juga harus memiliki karakter yang unggul, yaitu kuat dan tidak mudah meleleh, waktu urainya dapat diatur, adesif terhadap logam dan konduktif terhadap aliran elektron. Bagaimana manusia mendesain plastik yang ramah lingkungan, berkelanjutan, dan ekonomis dari sumber daya alam hayati namun lebih unggul dibandingkan plastik berbahan dasar fosil?



Memaknai Benua Maritim Indonesia

Berada di khatulistiwa, tersusun dari belasan ribu pulau namun dua pertiganya lautan, diapit dan sekaligus menjadi jembatan air Samudra Hindia dan Pasifik, dinamika iklim Indonesia mempengaruhi iklim global. Karakteristik ini menjadikan Kepulauan Nusantara sebuah benua, satu-satunya benua maritim di dunia. Persoalannya, iklim global terlihat berubah ke arah yang tak menguntungkan. Untuk menghadapinya kita perlu lebih memahami peran Benua Maritim Indonesia dalam proses perubahan iklim dan meningkatkan kemampuan memprediksi iklim.



Peristiwa ini tengah berlangsung: musim kemarau makin panjang, lebih panas, dan hujan yang turun kian berkurang; musim hujan, sebaliknya, jumlah curah hujan naik tajam. Bagi petani, kondisi itu berarti produksi pertanian turun drastis. Di musim kemarau tanaman mereka terancam mati kekeringan, di musim hujan membusuk karena terendam. Penyakit mengancam tanaman sepanjang tahun. Demikian pula penyakit pada manusia. Suhu yang lebih hangat menyebabkan penyebaran penyakit seperti malaria dan demam berdarah dengue makin meluas.

Ada alasan mengapa masalah itu bakal kian memburuk di masa depan. Penyebabnya, pemanasan global yang mengakibatkan perubahan iklim sejauh ini tak terhentikan. Pada skala yang lebih luas, dampak dari perubahan iklim ini misalnya mencairnya es di kutub atau, yang dampaknya segera terasa, kemunculan badai tropis yang makin sering, kian sulit diprediksi, dan semakin kuat intensitasnya.

Jika biasanya pengaruh badai tropis tak sampai Indonesia yang berada tepat di ekuator, kini ekor badai itu bisa mencapai negeri kita. Karena

badai tropis umumnya dibangkitkan oleh proses oseanik ketimbang proses atmosfer, keterkaitan peristiwa ini dengan Benua Maritim Indonesia (BMI) harus dipelajari. Telah diketahui bahwa BMI merupakan bagian dari Kolam Hangat Indo-Pasifik (*Indo-Pacific Warm Pool*) dan berperan besar dalam mengontrol iklim global. Siklus hidrologi di BMI juga diduga kuat mempengaruhi Arus Lintas Indonesia (*Indonesian Through-Flow, ITF*) sebagai penghubung Samudra Pasifik-Samudra Hindia dan berperan membawa bahang dan salinitas di antara kedua samudra. Oleh karena itu, perubahan pada siklus hidrologi di BMI akan berdampak terhadap kesetimbangan bujet bahang global.

Peran BMI yang besar terhadap iklim global membuat pemahaman akan dinamika laut dan atmosfer di BMI amat penting. Begitu pula memahami perannya dalam telekoneksi antara Samudra Pasifik dan Samudra Hindia. *El Niño* dan *La Niña* di Samudra Pasifik juga akan mempengaruhi iklim di BMI. Ketika *El Niño* terjadi, kita akan mengalami musim panas yang panjang, sementara *La Niña* menyebabkan musim hujan yang panjang. Samudra Hindia juga memiliki fenomena serupa *El Niño* dan *La Niña*, yang dikenal sebagai *Indian Ocean Dipole* (IOD). Ketika suhu permukaan laut di Samudra Hindia

bagian barat memanas dan curah hujan tinggi disebut IOD positif, sebaliknya jika terjadi pendinginan dan curah hujan rendah pada lokasi yang sama disebut IOD negatif.

Ada pula fenomena lain, misalnya Madden-Julian Oscillation (MJO), yang juga memiliki peran penting dalam dinamika iklim dan dampaknya di Indonesia, khususnya berkaitan dengan anomali curah hujan. Bagaimanakah kita memahami berbagai dinamika iklim dan interaksinya dengan perubahan iklim yang akan terus terjadi di masa mendatang? Mungkinkah muncul mode variabilitas iklim baru yang bersumber di BMI dan mempengaruhi variabilitas iklim tidak hanya di Indonesia, tetapi juga di wilayah lain yang lebih luas?

Bagaimana Memaknai Benua Maritim Indonesia di Masa Depan?

Kita perlu memahami tren fenomena alam di kedua samudra yang mengapit Indonesia. Apakah Samudra Hindia bersifat melemahkan atau malah memperkuat fenomena yang terjadi di Pasifik? Apakah IOD negatif selalu berasosiasi dengan *La Niña* dan IOD positif selalu berasosiasi dengan *El Niño*? Mungkinkah IOD bersifat independen terhadap ENSO (*El Niño Southern Oscillation*), fenomena

memanasnya suhu permukaan laut di Samudra Pasifik bagian timur, mengingat pada 2007 pernah terjadi IOD positif yang tumbuh bersama dengan *La Niña*?

Pemahaman terhadap tren iklim Indo-Pasifik amat dibutuhkan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan di atas. Perlu studi lanjutan yang didukung oleh observasi dan pemodelan, untuk memahami proses fisis dan variabilitas iklim di BMI. Misalnya, apakah pengaruh periode *glacial-interglacial* era purba terhadap iklim BMI; basah atau kering? Tantangan ini dapat ditemukan melalui perekaman alam di sedimen dasar danau purba yang usianya lebih dari satu juta tahun, contohnya Danau Towuti di Sulawesi Selatan. Implikasinya adalah bagaimana dampak variabilitas antar tahunan terhadap BMI di era perubahan iklim saat ini. Hasil pemodelan dalam hal ini dapat dipakai untuk memprediksi keadaan di masa depan dalam hal neraca pangan, energi, air, serta isu lintas perbatasan, yang mencakup material, polutan, biota, dan manusia. Tentu saja, pemodelan ini pun bermanfaat bagi hampir semua aktivitas sektoral di BMI, dari mulai layanan operasional untuk perikanan, pertanian, pelayaran, hingga pariwisata. Ini dapat

juga mendukung riset multidisiplin untuk memperkuat peranan BMI di dunia.

Namun untuk dapat memahami BMI dengan baik, kita perlu lebih dulu mengatasi sejumlah tantangan. Saat ini data kelautan dalam periode waktu yang panjang masih terbatas. Selain itu di perairan BMI dan sekitarnya hampir tidak ada stasiun pengamatan atau *buoy*, padahal ini penting sebagai data dasar. Kemampuan model laut-atmosfer pun masih terbatas dan model resolusi tinggi untuk kondisi topografi yang kompleks di BMI sulit diterapkan. Oleh karena itu, keberadaan sistem observasi laut dan pengembangan model laut-atmosfer resolusi tinggi menjadi kebutuhan di masa depan.

Karbon dan Perubahan Iklim: dari Bumi, Bagaimana Kembali ke Bumi?

Prediksi iklim masa depan memerlukan pemahaman siklus dari unsur-unsur gas rumah kaca dalam sistem kebumihan, sejak gas ini diyakini bertanggung jawab dalam pemanasan global. Bagaimana proses-proses pelepasan, pertukaran dan aliran, penyerapan dan penyimpanan gas rumah kaca, serta implikasinya terhadap perubahan iklim, baik di masa lampau, saat ini, maupun waktu mendatang? Skenario pemanasan global seperti apa yang kita harapkan?

Aktivitas manusia pasca Revolusi Industri menghasilkan emisi karbon (antropogenik) sangat besar. Global Carbon Project melaporkan bahwa sektor industri, selama periode 2004-2013 saja, menghasilkan sekitar 8,8 gigaton karbon (GtC) per tahun, sementara alih fungsi lahan menyumbangkan setidaknya 0,9 GtC per tahun. Dengan menjumlahkan volume itu, butuh lebih dari 400 juta peti kemas untuk mengangkut karbon yang kita hasilkan setiap tahunnya. Hampir separuh emisi karbon itu akan tertinggal di atmosfer, sementara hutan dan lautan masing-masing hanya mampu menyerap kurang dari sepertiganya.

Selama sekitar lima dasawarsa terakhir, emisi karbon antropogenik yang tertinggal di atmosfer dan diserap lautan cenderung meningkat. Sementara itu, persentase karbon yang diserap hutan lebih bervariasi. Sayangnya, kemampuan laut dan hutan dalam menyerap karbon menurun akibat meningkatnya suhu dan berkurangnya luasan hutan. Bagaimana nasib distribusi emisi karbon antropogenik ini di waktu mendatang? Apakah laut dan hutan akan selamanya mampu menyerap karbon? Apakah perubahan iklim yang diakibatkannya dapat berbalik atau tetap?

Siklus biogeokimia amat penting dipahami terkait pertanyaan di atas. Sebab, daur itu melibatkan proses-proses

kimiawi yang berdampak terhadap proses biologi di Bumi, termasuk di lapisan geosfer maupun atmosfer, hidrosfer, dan litosfer. Dalam proses itu terjadi perpindahan berbagai unsur, termasuk karbon, baik dalam lingkup (*sphere*) yang sama atau transformasi lintas *sphere*: berupa gas, larutan, ataupun sedimen. Misalnya, perpindahan karbon dari atmosfer ke hidrosfer atau litosfer.

Secara umum, seiring dengan meningkatnya aktivitas industri, laut global yang semula berperan sebagai pelepas karbon kini menjadi penyerap karbon antropogenik dari atmosfer. Memang ada beberapa laut regional yang berfungsi sebagai pelepas atau penyerap karbon, seperti perairan timur ekuator Pasifik yang merupakan pelepas karbon terbesar dan Lautan Selatan sebagai penyerap karbon terbesar. Namun saat ini secara total laut berperan sebagai penyerap. Adapun fungsi perairan pesisir dan perairan kontinen dalam siklus ini belum diketahui dengan pasti. Kita juga perlu mengidentifikasi lokasi perairan yang memiliki mekanisme "*continental shelf pump*", yang mampu mendistribusikan karbon dari perairan dangkal ke lapisan bawah perairan dalam. Untuk itu diperlukan pemahaman tentang proses fisis laut dan kaitannya dengan dinamika biogeokimiawi laut.



Hujan sebagian di Pahawang

Vegetasi pesisir seperti bakau dan padang lamun, estuaria, dan rawa asin juga berpotensi menjadi penyerap karbon. Sejumlah ilmuwan meyakini bahwa dibandingkan dengan kolom laut, vegetasi pesisir dapat menyerap karbon secara lebih stabil dalam rentang waktu lebih panjang dan menyimpannya di sedimen. Namun, aktivitas manusia di sekitar pesisir mengeksport karbon organik ke laut lewat sungai. Begitu juga dengan pembukaan lahan gambut yang dapat melepaskan karbon ke atmosfer.

Satu planet, satu model?

Model-model yang dihasilkan dari kajian proses biogeokimia global kini

belum memuaskan karena masih tersekat-sekat berdasarkan lingkungannya. Ada model yang menggunakan laut sebagai domain utama dengan pengaruh gaya pembangkit proses-proses di atmosfer. Ada pula model dengan atmosfer sebagai domain utama dan memasukkan proses interaksi udara-laut sebagai penunjang, atau model yang hanya memperhitungkan sistem vegetasi dan atmosfer. Sampai saat ini belum ada model yang memperhitungkan faktor laut, atmosfer, dan vegetasi secara seimbang. Penggabungan seluruh *sphere* dalam satu sistem pemodelan memang menjadi persoalan tersendiri, khususnya dalam pemahaman proses-proses di dalam



Harits Hadi

sphere maupun dalam kapasitas komputasi numerik. Tantangan semakin kompleks jika kita ingin menggabungkan sistem sosial-ekonomi untuk mengembangkan strategi mitigasi dan adaptasi dengan pendekatan multidisiplin.

Masyarakat juga masih meragukan pendekatan model numerik dalam memprediksi perubahan iklim di masa depan. Itulah sebabnya sangat penting mempelajari iklim masa lampau atau *paleoclimate*. Jika model itu bisa merekonstruksi perubahan iklim mendadak di masa lampau, model yang sama diharapkan mampu memprediksi perubahan di masa depan. Kita juga perlu mengembangkan metode baru

dalam memahami variabilitas dinamika proses fisis dan ekosistem untuk memperbaiki prediksi penyimpanan karbon di seluruh lapisan geosfer. Untuk itu dibutuhkan data observasi yang kuat, melalui penambahan jumlah stasiun observasi pertukaran karbon udara-laut dan udara-vegetasi daratan; pengendapan partikel organik di laut; serta serapan karbon oleh vegetasi pesisir dan penyimpanannya di sedimen. Upaya ini akan memberikan pemahaman baru akan dinamika spasial dan temporal bujet karbon serta unsur gas rumah kaca lainnya di lapisan geosfer. Pada akhirnya kita dapat menerapkannya dalam penyusunan strategi ketahanan pangan dan energi.

Dari Khatulistiwa Meneropong Semesta

Planet Bumi—kini berumur sekitar 4,5 miliar tahun—hanyalah bagian amat kecil dari jagat raya dengan interrelasi yang sangat kompleks. Manusia telah berusaha memahaminya sejak awal peradaban, namun baru mengirim wahana penyelidik ke antariksa pada pertengahan abad lalu. Bagaimana manusia menjelaskan perilaku jagat raya dan Indonesia berperan dalam usaha memahaminya?

Tahun 1922. Perhimpunan Ahli Astronomi Hindia-Belanda (Nederlandsch-Indische Sterrenkundige Vereeniging) memutuskan membangun Bosscha Sterrenwacht, kini Observatorium Bosscha, di Lembang, Bandung. Kala Bosscha didirikan, sejumlah negara kolonial tengah berlomba mendirikan stasiun pengamatan langit di Bumi bagian selatan, untuk mendapatkan gambaran angkasa yang lebih menyeluruh.

Peluncuran wahana antariksa dari ekuator mempermudah dicapainya titik lari untuk meninggalkan gaya tarik Bumi. Dengan begitu, bahan bakar lebih hemat dan wahana antariksa bisa membawa muatan yang lebih besar. Berbekal kelebihan geografis serta cuaca yang baik dan stabil secara astronomik, Indonesia bisa melakukan berbagai kerja sama internasional untuk mengembangkan astronomi dan sains antariksa. Bagaimana cara memanfaatkan kelebihan geografis Indonesia agar dapat berkontribusi secara signifikan terhadap bidang astronomi dan sains antariksa dunia?

Astronomi dan sains antariksa merupakan gerbang utama untuk menyingkap misteri alam semesta. Penelitian di bidang ini berdampak besar pada kehidupan sehari-hari. Misalnya dalam penentuan kalender

yang akurat, navigasi satelit, aplikasi penentuan posisi, penentuan *celestial reference frame* untuk satelit-satelit GPS, serta pasang-surut laut yang terkait aktivitas bulan. Aktivitas matahari pun kian penting diamati secara rutin. Selain berdampak besar terhadap cuaca dan iklim Bumi, dinamika matahari mempengaruhi penggunaan teknologi canggih untuk komunikasi berbantuan satelit. Namun jagat raya juga amat menggelitik imajinasi untuk mencari tahu apa yang terjadi di masa lalu, demi membantu “meramalkan” masa depan; mempelajari batas ekstrem alam semesta; dan mempelajari asal-usul, evolusi, dan pengembangan galaksi beserta bintang dan planet di dalamnya. Manusia juga mencari tahu keberadaan exoplanet atau planet-planet di luar tata surya kita serta kehidupan di luar Bumi.

Berikut ini adalah beberapa—dari banyak sekali—pertanyaan tentang jagat raya yang masih dicari jawabannya: apa yang terjadi sebelum jagat raya terbentuk; bagaimana awal mula kehidupan muncul di planet Bumi; bagaimana alam semesta bekerja dan apa konsekuensinya terhadap Bumi dan kehidupan di masa depan? Dengan mempelajari ledakan atau embusan supernova dan sinar gamma sebagai akhir dari evolusi bintang,



seperti itukah masa depan tata surya kita?

Kita juga masih mencari jawaban atas pertanyaan mendasar lain: adakah kehidupan lain di luar Bumi? Selain itu, melanjutkan pendapat Stephen Hawking, fisikawan dan ahli kosmologi Inggris, bahwa manusia pada suatu titik mesti hijrah ke ruang angkasa jika ingin tetap bertahan, adakah planet yang dapat dihuni manusia ketika Bumi sudah tak bisa ditempati?

Untuk berperan aktif di bidang astronomi dan antariksa, pengamatan maupun penjelajahan antariksa mutlak diperlukan. Pengamatan di observatorium dibutuhkan untuk mempelajari dan menganalisis informasi, sinyal, dan gelombang dari ruang angkasa yang sampai ke Bumi. Hal ini memerlukan pengembangan sains dan teknologi di bidang optika dan elektronika untuk meneliti pancaran ultraviolet dan gelombang elektromagnetik lainnya, serta pengembangan detektor untuk merekam perilaku dan jejak energi. Sementara itu, mendesain dan mengirim wahana dengan awak maupun nirawak untuk mengetahui kondisi dan potensi objek luar angkasa juga harus menjadi fokus kegiatan eksplorasi. Oleh karena itu, kita harus terus mengembangkan material

untuk pesawat ulang-alik dan bahan bakar yang paling efisien serta terus mendesain robot cerdas.

Pada saat data yang lengkap dan terstruktur tentang jagat raya sudah diperoleh, tantangan selanjutnya adalah menerjemahkan makna di dalamnya. Ilmu matematika, fisika teori, astrofisika, ilmu komputer, dan teknik informasi kian penting, karena ada begitu banyak data yang dapat ditafsirkan dengan berbagai pendekatan untuk menjawab misteri perilaku jagat raya. Contohnya, untuk mempelajari waktu yang membelok dan memilin, serta untuk mempelajari materi dan radiasi dalam berbagai domain energi. Atau untuk mempelajari *dark matter* dan *dark energy* yang mendukung dugaan mengembangnya alam semesta dan penemuannya diganjar penghargaan Nobel Fisika pada 2011. Bagaimana cara kita memanfaatkan dan memberi makna kumpulan data tentang alam semesta untuk, dalam hal ini, mendukung maupun mematahkan teori mengenai jagat raya yang mengembang? Ilmu dan pemahaman baru apa yang bisa diusulkan untuk menjelaskan perilaku jagat raya ini?

VI

BENCANA DAN KETAHANAN MASYARAKAT TERHADAP BENCANA



Hidup di Atas Bumi yang Terus Bergerak

Kondisi geologi yang dinamis membuat berbagai bencana seperti letusan gunung berapi, gempa bumi, tsunami, dan tanah longsor kerap terjadi di Indonesia. Sebagai penghuni "laboratorium bencana geologi", seharusnya bangsa kita menjadi contoh ketahanan terhadap bencana bagi bangsa lain. Mitigasi bencana menjadi salah satu kunci dari seluruh rangkaian penanggulangan bencana. Bagaimana ilmu pengetahuan dapat membantu menyusun strategi untuk hidup selaras dengan alam?

Pada 26 Desember 2004, pukul 00.58, sebuah gempa menggetarkan dasar laut Hindia. Dengan kekuatan 9,3 Mw, ini adalah gempa terbesar ketiga yang tercatat oleh seismograf. Energi yang dilepaskannya setara dengan 26 megaton TNT atau 1.500 bom atom Hiroshima. Seluruh planet Bumi bergetar 1 sentimeter. Lempeng Indo-Australia menunjam di bawah Lempeng Eurasia. Tunjaman itu membuat air laut di atasnya bergolak. Berjam-jam kemudian, sebuah gelombang besar sampai di pantai-pantai Aceh hingga Thailand. Tsunami menyapu semua

yang ada di depannya hingga berkilo-kilometer. Hampir 200 ribu orang tewas.

Tsunami yang terjadi di Aceh adalah bencana alam terbesar yang pernah terjadi setelah kemerdekaan. Dan tampaknya hal itu tak akan bisa kita hindari. Organisasi Pendidikan, Keilmuan, dan Kebudayaan Perserikatan Bangsa-Bangsa (UNESCO) mencatat Indonesia sebagai negara yang paling sering dilanda bencana alam. Hal ini menjadikan Indonesia sebagai "laboratorium bencana geologi", karena memiliki fenomena geologi destruktif



Seorang pengunjung mengambil foto di antara nama-nama korban di Museum Tsunami, Aceh

KOMPAS/Riza Fathoni

yang lengkap. Berbagai bencana alam seperti letusan gunung berapi, gempa bumi, tsunami, dan tanah longsor selalu terjadi di negeri ini.

Kita tentu tak dapat menghentikan Bumi yang terus bergerak. Tapi, di saat yang sama, kita juga tak ingin ada begitu banyak korban jiwa setiap kali Bumi "menggeliat". Satu-satunya hal yang bisa kita lakukan adalah mitigasi untuk mengurangi risiko bencana yang timbul karena peristiwa geologis.

Untuk lebih memahami konsep di atas, kita harus memahami arti bencana. Sebuah peristiwa alam—sedahsyat apa pun itu—tak akan menjadi bencana selama tidak menimbulkan kecelakaan, korban jiwa, gangguan psikologis, hilangnya harta benda, dan kerusakan sarana dan prasarana. Sewajar apa pun sebuah peristiwa geologis, kalau menimbulkan korban jiwa atau material bagi manusia, maka itu disebut bencana. Mitigasi bencana sangat penting dilakukan dalam mengelola risiko bencana agar kita dapat memperkecil atau meniadakan jumlah korban dan kerugian lainnya.

Sejauh ini ilmu kebumihuman dan teknologi telah membantu mengidentifikasi lokasi yang berpotensi mengalami bencana, memperkirakan frekuensi dan intensitas kejadiannya. Yang bisa diperkirakan bukan hanya peristiwa geologi di masa

lalu, tapi juga di masa depan. Sebagai rangkaian fenomena yang senantiasa memiliki keterhubungan di masa lalu, masa kini, dan masa depan, akurasi perkiraan potensi bencana masih menjadi tantangan yang perlu dijawab.

Hal ini bisa dilakukan dengan menggali konsep-konsep geologi yang baru disertai dengan pengembangan teknologi citra penginderaan jauh, geofisika, dan geokimia. Upaya tersebut akan menghasilkan peta dan model geosaintifik terperinci yang dapat dipakai untuk mengelola, mencegah, dan mempersiapkan tanggapan diri dalam menghadapi bencana.

Sebagian pertanyaan umum sebenarnya sudah terjawab, meski belum terlalu akurat. Misalnya, kapan dan di mana tsunami akan terjadi? Besarkah gempanya? Akankah terjadi bencana susulan? Apa yang harus dilakukan jika muncul tanda-tanda gunung akan meletus? Apa sajakah tanda-tandanya? Apa yang harus dilakukan setelah bencana?

Pertanyaan-pertanyaan itu bisa terjawab jika kita telah mampu memprediksi bencana. Prediksi terjadinya bencana dihasilkan dengan menggabungkan metode probabilistik (berdasarkan rekaman kejadian pada bentang alam dan batuan) dan metode deterministik (berdasarkan deteksi

tanda-tanda sebelum kejadian bencana), namun hasilnya tetap belum akurat. Upaya pembuatan sistem peringatan dini juga telah dilakukan, dengan tingkat keberhasilan yang berbeda-beda pada berbagai jenis bencana geologi.

Memahami kompleksitas geodinamika Bumi dan menggambarkan heterogenitas komponen penyusunnya berikut respon terhadap dinamika Bumi itu sendiri merupakan tantangan yang amat besar bagi ilmu kebumihan. Harapannya, hasil yang dicapai dapat memprediksi secara akurat waktu terjadinya bencana geologi. Semakin tepat perkiraan kita, semakin sedikit pula kerugian yang dialami.

Menangkap Tanda-Tanda Bencana

Sistem peringatan dini wajib dimiliki Indonesia mengingat wilayah kita amat rentan akan bencana geologi yang sulit diprediksi waktu kejadiannya. Menangkap tanda-tanda alam adalah bagian penting dari sistem peringatan dini. Sensitivitas hewan dan tumbuhan terhadap tanda-tanda kejadian bencana seperti letusan gunung api dan gempa misalnya, perlu kita pelajari. Dengan begitu kita dapat menciptakan sensor yang mampu menangkap tanda-tanda lemah yang dikirim oleh alam sebelum bencana terjadi. Melalui teknologi

informasi, tanda-tanda yang tertangkap oleh sensor dapat dihubungkan dengan sistem peringatan dini yang mudah menjangkau masyarakat sehingga dampak bencana bisa dikurangi.

Menakar Bencana Laten di Pesisir dan Laut

Di pesisir laut, mimpi buruk bukan hanya datang dari gelombang raksasa tsunami. Ada bahaya laten yang tidak kalah serius, bersumber dari pembangunan ekonomi dan pertumbuhan penduduk di dekat pantai serta akibat perubahan iklim global. Bagaimana memahami prosesnya, seperti apa mitigasinya?



Alga laut mengampung di atas koloni landak laut di hamparan dasar laut yang koralnya telah rusak di perairan Panggang, Kepulauan Seribu

KOMPAS/Lasti Kurnia

Lokasi dan kondisi geografis Kepulauan Indonesia memang unik, ada berkah dan risiko di sana. Berada di tengah pertemuan tiga lempeng tektonik, negeri ini subur, kaya, dan sekaligus rawan gempa dan berpotensi besar mengalami tsunami. Belum lepas dari ingatan bahwa sehari sesudah Natal 2004, gempa menggebrak Samudra Hindia, menimbulkan gelombang besar yang menyapu Aceh dan menewaskan lebih dari 100.000 jiwa di wilayah itu. Bencana dahsyat ini tidak hanya meluluhlantakkan Aceh, tetapi juga pantai barat Semenanjung Malaysia, Thailand, Sri Lanka, pantai timur India,

bahkan pantai timur Afrika.

Para ahli paham benar bahwa tsunami bukanlah satu-satunya ancaman, masih ada ancaman serius yang bersifat laten. Pembangunan ekonomi dan pertumbuhan penduduk yang sangat cepat membawa tekanan tinggi pada ekosistem pesisir. Tekanan yang terus menguat dalam beberapa dekade mendatang. Pada saat bersamaan, dampak perubahan iklim akibat peningkatan gas rumah kaca di atmosfer secara perlahan juga terjadi. Proses ini menyebabkan kenaikan muka dan suhu permukaan laut serta

meningkatkan kadar asam laut. Lalu, bagaimana kita memahami proses ini dan menyiapkan skenario mitigasinya?

Indonesia memiliki sebaran permukiman, aktivitas industri, dan lahan pertanian di sepanjang wilayah pesisir. Berbagai pusat aktivitas itu menghasilkan sampah padat maupun cair, organik dan anorganik, yang belum dikelola dengan baik. Dengan demikian, ancaman meluasnya hypoxia—turunnya kadar oksigen terlarut sampai pada level yang tidak dapat ditoleransi biota laut—di pesisir menjadi isu global yang serius. Hypoxia terjadi secara perlahan sebagai akumulasi meningkatnya muatan nutrisi dari darat atau secara mendadak akibat banjir. Peristiwa ini berdampak pada turunnya jumlah spesies plankton tertentu sehingga dapat mengubah struktur komunitasnya. Akumulasi polutan yang bersifat toksik dalam biota laut, misalnya logam berat, yang akan sangat berbahaya ketika masuk dalam sistem rantai makanan.

Terkait dengan dampak perubahan iklim yang sifatnya perlahan-lahan, saat ini terjadi kenaikan muka laut dengan laju rata-rata dunia sekitar 3,2 mm/tahun. Kondisi ini berpotensi mengubah sebaran vegetasi pesisir dan mendorong intrusi air laut. Intrusi inilah yang kemudian mengganggu

kestabilan pantai, khususnya pulau-pulau kecil. Banjir pun melanda kota-kota pesisir bila kenaikan muka laut berinteraksi dengan penurunan muka tanah di pesisir—lantaran pemanfaatan air tanah berlebihan untuk keperluan perumahan dan industri. Intrusi air laut yang masuk terlalu jauh ke daratan ini juga bersifat korosif bagi bangunan perkotaan di pesisir.

Efek kenaikan suhu permukaan laut secara langsung atau cepat dapat menyebabkan cuaca ekstrem. Anomali suhu permukaan laut di suatu perairan akan memicu konveksi lokal. Inilah yang menjadi sumber energi siklon tropis pada skala regional, atau setidaknya menimbulkan cuaca ekstrem di beberapa wilayah pesisir. Dalam jangka panjang dan secara perlahan kenaikan suhu permukaan laut dapat memicu perubahan struktur komunitas plankton, pemutihan karang, dan mempengaruhi kualitas kematangan gonad ikan di daerah pemijahan.

Secara global, kenaikan suhu permukaan laut dapat menurunkan kemampuan laut dalam menyerap CO₂ (karbondioksida) dari atmosfer. Akibatnya, kadar CO₂ meningkat dengan cepat dan memicu kenaikan suhu Bumi ke tingkat yang lebih mengkhawatirkan.

Peran laut global sebagai pelepas CO₂

ke atmosfer telah berubah seiring dengan dimulainya Revolusi Industri. Kadar emisi CO₂ yang terus meningkat di atmosfer membuat kesetimbangan karbonat di laut maupun pesisir berubah sehingga laut global kini berubah fungsi sebagai penyerap CO₂ dari atmosfer. Kadar karbon anorganik terlarut semakin tinggi, sementara kadar oksigen terlarut berkurang, dan akibatnya laut semakin asam. Hal ini mengganggu pertumbuhan terumbu karang dan cangkang plankton tertentu karena proses kalsifikasi mereka terganggu.

Pada akhirnya ekosistem laut ikut terkena dampak. Perubahan struktur komunitas plankton mempengaruhi rantai makanan, sementara fungsi ekologis terumbu karang sebagai daerah pemijahan dan pembesaran terganggu. Laju rangkaian proses ini dapat mengancam persediaan ikan di masa depan.

Benar, masih banyak hal yang belum kita pahami terkait proses ini. Misalnya, bagaimana perubahan siklus biogeokimia terjadi? Bagaimana respons ekosistem laut dari trofik level terendah sampai predator teratas terhadap perubahan iklim dan bencana akibat ulah manusia? Apakah respon ini bersifat satu arah atau dua arah?

Adakah kemungkinan gangguan pada struktur komunitas di seluruh trofik level serta ancaman spesies invasif? Bagaimana proses adaptasi terjadi di ekosistem pesisir dan laut?

Perubahan iklim dan peningkatan aktivitas manusia di pesisir saling berinteraksi. Keduanya memperparah dampak bagi ekosistem laut. Saat ini kita memang masih sulit membedakan dampak langsung perubahan iklim dan bencana akibat ulah manusia. Tetapi yang pasti, akibat yang ditimbulkan keduanya merupakan potensi bencana di pesisir pada waktu mendatang. Proses ini menjadi bahaya laten yang sulit untuk diprediksi kapan menjadi bencana. Apa saja yang harus kita siapkan ketika sewaktu-waktu bencana itu menyerang?

Hidup Serumah dengan Bencana

Bencana—siapa yang tidak akrab dengan peristiwa ini? Kadang itu datang berupa amok gunung berapi, kali lain gempa bumi dan tsunami, atau bencana akibat kegagalan teknologi. Bagaimana menyiapkan masyarakat yang adaptif dan tangguh terhadap berbagai bencana?

10 April 1815. Suara gemuruh dilaporkan terdengar di Sumatera, Jawa, dan bagian utara Australia. Adalah letusan Gunung Tambora asal-muasalnya. Belakangan diketahui, letusan gunung berapi di Pulau Sumbawa itu tak hanya menewaskan 11 ribu jiwa seketika. Abu vulkanisnya bahkan tersebar sampai Eropa dan Amerika.

Demikian dahsyatnya letusan itu, hingga menyebabkan perubahan iklim yang berujung pada gagal panen di berbagai belahan dunia. Kelaparan tak hanya terjadi di Indonesia, melainkan juga di Tiongkok, Eropa, dan Amerika.

Letusan Tambora pada akhirnya mengakibatkan lebih dari 70 ribu orang meninggal. Kejadian alam di satu wilayah secara langsung berpengaruh terhadap kehidupan di belahan dunia lain.

Kini, 200 tahun setelahnya, kehidupan manusia masih dan akan senantiasa diintai berbagai bencana—baik yang disebabkan oleh alam maupun karena ulah manusia. Gunung meletus, angin puting beliung, tanah longsor, dan gempa bumi sebenarnya merupakan peristiwa alam yang jamak terjadi sepanjang sejarah alam semesta.



Litografi "Gunung Gede op Java" yang menggambarkan dekatnya aktivitas masyarakat dengan gunung berapi

Tropenmuseum/FW Junghuhn

Namun seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dan perubahan perilaku manusia, peristiwa alam biasa dapat menjadi bencana. Bencana yang diakibatkan peristiwa alam dan perubahan iklim, seperti banjir, tsunami, atau gempa bumi, juga berpotensi menimbulkan rentetan bencana lain seperti kebakaran, ledakan, maupun hancurnya berbagai infrastruktur publik yang membahayakan manusia.

Bencana yang mengancam kehidupan manusia tidak hanya datang dari peristiwa alam. Bencana juga bisa datang karena ulah kita. Pada hakikatnya manusia juga selalu ingin berkreasi menciptakan berbagai produk dan inovasi untuk mempermudah kehidupannya. Namun keinginan untuk membuat sesuatu yang “lebih”—misalnya, lebih murah, mudah, besar, tinggi, atau panjang—terkadang menyimpan potensi bencana. Contohnya adalah ambisi memproduksi lebih banyak bahan pangan menggunakan pupuk kimia dan pestisida justru mengganggu keseimbangan ekosistem dan menjadi bumerang yang mengancam kehidupan. Pembangunan berbagai infrastruktur berkat kemajuan teknologi juga berisiko menimbulkan bencana, baik karena alam maupun kegagalan teknologi itu sendiri.

Bencana akibat manusia ini juga bisa terjadi akibat kerusakan atau kesalahan prosedur dalam menerapkan dan memanfaatkan teknologi. Misalnya, kebakaran akibat hubungan arus pendek listrik atau kecelakaan kereta karena masalah sinyal. Kita tidak dapat menghentikan kejadian alam penyebab bencana. Yang dapat kita lakukan adalah menyiapkan masyarakat untuk menghadapinya agar dapat meminimalkan kerugian dan korban jiwa.

Adapun bencana yang terjadi karena ulah manusia, maka ada banyak penyempurnaan yang bisa kita lakukan—dengan bantuan ilmu dan teknologi. Pengembangan material dan sistem yang mampu memperbaiki diri sendiri dari kerusakan-kerusakan kecil akan memperpanjang masa pemakaian dan mengurangi risiko kegagalan. Bagaimana membuat sistem dan material pintar yang adaptif, organik—memperbaiki diri sendiri—serta tahan menghadapi kondisi ekstrem? Itulah yang menjadi pekerjaan rumah kita bersama.

Bencana—baik yang terjadi secara alami maupun disebabkan ulah manusia—berakibat sama bagi manusia, yaitu kerusakan ekonomi, sosial, dan lingkungan. Untuk menciptakan masyarakat yang tangguh menghadapi

bencana, paradigma pengelolaan bencana perlu diubah menjadi pengelolaan risiko. Masyarakat dan pemerintah didorong melakukan mitigasi bencana yang memadai untuk mengurangi dampak negatifnya.

Mitigasi bencana dimulai dari persiapan menghadapi bencana, salah satunya dengan menciptakan struktur bangunan yang tahan gempa menggunakan bahan yang mudah didapat, murah, dan tahan lama. Sistem pengelolaan bantuan kemanusiaan berperan penting dalam mengurangi kerugian dan kerusakan akibat bencana, yaitu bagaimana memanfaatkan semua informasi tentang kebencanaan untuk mempersiapkan, mengatur, dan menempatkan sistem logistik bantuan kemanusiaan secara tepat dan optimal. Selain itu, pengelolaan risiko bencana harus menciptakan sistem pencegahan berlapis sehingga ketika satu sistem gagal dapat digantikan oleh sistem pencegahan dan perlindungan lain.

Kesiapsiagaan bencana sangat dipengaruhi oleh perilaku manusia sendiri. Bagaimana mendorong dan mempengaruhi perilaku masyarakat agar mereka memiliki kekuatan untuk tetap tenang dan rasional, tetap memiliki kepedulian kepada sesama, mampu menyelesaikan masalah dalam kondisi kritis, serta

memiliki keyakinan untuk bertahan hidup secara bermartabat? Kolaborasi bidang psikologi dan *brain science* sangat dibutuhkan untuk menciptakan masyarakat yang tahan terhadap bencana.

Selain itu, Indonesia memiliki berbagai kearifan lokal yang dapat dikembangkan untuk mendorong ketahanan masyarakat terhadap bencana. Kearifan lokal dalam tradisi *pikukuh* (ketentuan adat), menjadikan masyarakat Baduy mampu memitigasi bencana dengan baik. Meskipun masyarakat Baduy melakukan tebang-bakar hutan untuk membuka ladang tetapi tidak terjadi kebakaran hutan dan tanah longsor. Bagaimana mengembangkan praktik-praktik berbasis kearifan lokal untuk menciptakan masyarakat yang adaptif dan tangguh terhadap berbagai perubahan, guncangan, dan bencana?

VII

MATERIAL DAN SAINS KOMPUTASI





Mengindra Bumi, Menghitung Kado Alam

Generasi mendatang memiliki hak atas kekayaan sumber daya alam, tapi berapa banyak lagi yang tersisa—di mana berada? Bagaimana sains dapat membantu memetakan potensi sumber daya alam Indonesia secara lengkap, cepat, dan akurat, yang penting untuk menyusun strategi pengelolaan kekayaan alam di masa depan?

Seratus juta lebih kendaraan bermotor, hampir 300 juta telepon seluler, lebih dari 45 juta rumah tinggal; ini adalah sebagian kecil benda yang bahannya berasal dari hasil rekayasa sumber daya alam. Angkanya dikutip dari sumber-sumber resmi pemerintah sepanjang 2014. Sebagian bahan baku itu berupa sumber daya alam yang bisa diperbaharui, sebagian lainnya—bahkan sebagian besarnya—berupa sumber daya alam sekali pakai. Berapa banyak lagi benda yang harus dibuat, berapa sumber daya alam yang tersisa?

Undang-Undang Dasar 1945 mengamatkan bahwa bumi, air, dan kekayaan yang terkandung di dalamnya dikuasai oleh negara dan dipergunakan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat. Namun, sejauh mana bangsa Indonesia mengetahui potensi kekayaan yang dikandung ibu pertiwi?

Sebagai negara kepulauan dengan kondisi geografis yang unik, Indonesia memiliki kekayaan sumber daya alam yang berlimpah, namun terdistribusi di daratan, di dalam perut Bumi, di bawah permukaan laut, dan di atmosfer. Sumber daya alam itu tersedia dalam bentuk yang terbarukan maupun yang hanya "sekali pakai". Sumber daya alam tidak terbarukan, antara lain, mineral, minyak, dan gas alam. Adapun sumber daya alam yang terbarukan atau berkelanjutan, seperti biomineral, biomassa, panas bumi, cahaya matahari, angin, arus laut, unsur alami atmosferik, gas rumah kaca, dan bahkan material sampah. Berapa banyak dan di mana saja sumber daya alam kita yang terbarukan dan tidak terbarukan?

Ketiadaan mekanisme yang jelas terkait indentifikasi dan pemetaan sumber daya alam membuat Indonesia kehilangan kemampuan untuk mempersiapkan



rencana-rencana strategis masa depan. Kompleksitas kondisi geografis, luas wilayah, akses ke daerah terpencil, ketersediaan informasi di tiap wilayah, dan keragaman kondisi sosial kemasyarakatan, merupakan hambatan sekaligus tantangan dalam upaya pemetaan dan elaborasi potensi sumber daya alam. Sudah seharusnya Indonesia memanfaatkan bantuan pengindraan yang bekerja dari langit (pengindraan jauh).

Perangkat teknologi seperti pengindraan jauh dapat membantu proses pemetaan tanpa bergantung pada aksesibilitas geografis. Perkembangan sains pengindraan jauh telah memungkinkan manusia mengetahui informasi infrastruktur atau suatu objek dengan tingkat ketelitian pada orde sub-meter persegi maupun yang ada di bawah permukaan Bumi pada orde kilometer.

Perkembangan sains pengindraan jauh juga terus melibatkan perkembangan sains dan teknologi pendukungnya, seperti satelit, pesawat, pemancar dan pembangkit sinyal gelombang elektromagnetik, pesawat nirawak, perangkat penerima sinyal, dan sains pemrosesan sinyal. Karakteristik yang berbeda dari informasi yang diperoleh juga memerlukan suatu perangkat sistem terintegrasi, yaitu sistem informasi

geografis yang membantu membaca, menggabungkan, menganalisis, memvisualisasikan, menstandarisasi, bahkan menyebarkan beragam hasil olahan sinyal pengindraan jauh menjadi satu kesatuan sistem. Sistem informasi geografis tersebut tidak hanya diperlukan oleh para ahli tetapi juga oleh para pengambil keputusan atau kebijakan dan siapa saja yang membutuhkan. Penerapan sains pengindraan jauh dan sains informasi geografi untuk proses pemetaan keseluruhan sumber daya alam di wilayah Indonesia memungkinkan proses ini berjalan secara berkesinambungan, terstruktur, dan terhubung pada setiap wilayah.

Mengindra Bumi

Sains dan teknologi pengindraan jauh berkembang pesat memenuhi kebutuhan proses pemetaan. Pengindraan jauh dapat mengindra objek permukaan maupun menembus permukaan air dan tanah, menggunakan sinyal gelombang elektromagnetik optik dan radar. Dibandingkan dengan optik, radar memiliki kelebihan dapat menembus awan dan mengindra objek di bawah permukaan Bumi pada kedalaman tertentu. Sinyal balik yang diterima kemudian diolah untuk diubah menjadi suatu informasi. Hasil olahan informasi yang diperoleh tersebut dapat

memetakan wilayah beserta potensi sumber daya alamnya. Untuk itu, sains dan teknologi penginderaan jauh menuntut kemajuan sains pembangkit dan pemancar sinyal gelombang elektromagnetik, pengembangan wahana satelit, pesawat maupun alat lapangan, serta perangkat lunak pengolahan sinyal untuk menerjemahkan dan menampilkan informasi dalam berbagai bentuk, seperti video, audio, dan citra digital.

Bagaimana sains dan teknologi ini dapat membantu proses penginderaan beragam jenis objek? Tidak hanya infrastruktur suatu wilayah di permukaan Bumi, namun juga potensi sumber daya alam terbarukan dan tidak terbarukan pada bagian permukaan dan dalam perut Bumi secara kuantitatif, cepat dan akurat. Dan mampukah sains dan teknologi ini mendeteksi objek dengan ketelitian lebih baik dari orde submeter persegi untuk di atas permukaan Bumi dan dengan kedalaman lebih dari orde kilometer untuk di bawah permukaan perut Bumi? Seperti apa desain gelombang elektromagnetik yang harus dipancarkan, wahana yang efisien untuk karakteristik wilayah Indonesia serta perangkat lunak dengan kemampuan seperti apa untuk memenuhi tuntutan tersebut?

Mencari Teknologi Hijau Tambang: dari Alam hingga Ladang

Merusak lingkungan, tidak efisien, dan belum optimal merupakan beberapa kelemahan sistem penambangan konvensional. Karena menipisnya sumber daya mineral dan rusaknya alam akibat penambangan, Indonesia ditantang untuk memperbaiki sistem penambangan dan ekstraksi bahan mineral. Sains dan teknologi seperti apa yang dapat menjawab tantangan tersebut?



Bentang alam di areal pertambangan di Kolonodale, Sulawesi Tengah

Aiyen B. Tjoa

Sejak abad ke-7, perut bumi Nusantara sudah tersohor dengan kekayaannya. Pulau Sumatera mendapatkan nama "Swarna Dwipa" karena kekayaan emasnya yang pada abad itu sudah diperdagangkan dengan saudagar-saudagar dari Cina dan India. Jauh pada Zaman Perunggu, nenek moyang kita dengan cara sederhana sudah mengolah berbagai bijih logam dan membuat perkakas sederhana. Setelah Belanda datang, kekayaan bumi Hindia-Belanda mulai dieksplorasi besar-besaran. Di wilayah yang ditemukan rembesan minyak atau di tanah-tanah

yang mengandung bijih-bijih mineral, Belanda membangun kota-kota tambang.

Kini, setelah lebih dari 70 tahun merdeka, meski telah berkurang, kekayaan bumi Indonesia masih melimpah. Menambang merupakan cara umum yang dilakukan untuk memanfaatkan dan mengolah kekayaan bumi itu. Meskipun proses penambangan dan ekstraksi ini bertujuan untuk memenuhi kebutuhan manusia akan bahan tambang, kerusakan lingkungan yang justru

merugikan manusia tidak dapat diabaikan. Berubahnya bentang alam, terganggunya sistem drainase dan struktur tanah serta batuan, merupakan contoh dampak negatif dari sistem penambangan konvensional. Proses ekstraksi dan pemurnian cadangan bijih juga menghasilkan limbah dalam jumlah yang besar. Di sisi lain, reklamasi lahan dan antisipasi terhadap dampak negatif dari limbah yang membahayakan tidak berjalan baik. Hasil penambangan dengan cara tersebut pun tidak optimal, sedangkan cadangan mineral kian menipis.

Dengan keadaan tersebut, Indonesia dituntut untuk secara serius mengembangkan sains dan teknologi untuk mengatasi tantangan-tantangan di atas. Guna mencapai tujuan ini, terdapat dua upaya yang dapat dilakukan. Pertama, memaksimalkan hasil produksi. Kedua, mengurangi dampak negatif proses penambangan terhadap lingkungan.

Eksplorasi cadangan mineral yang terdapat di perut Bumi yang sangat dalam atau pada kondisi lingkungan yang sulit dijangkau dengan cara konvensional dapat dilakukan tanpa merusak lingkungan. Terbentuknya rekahan alami dalam batuan dapat dimanfaatkan, sehingga bahan mineral terurai dan terbebas dengan pengaruh

gravitasi, bukan dengan bahan peledak.

Untuk memaksimalkan hasil produksi pertambangan, perlu dikembangkan sains dan teknologi baru. Teknologi mutakhir itu mencakup penerapan sains penginderaan jauh untuk memprediksi sifat batuan dan kandungan mineralnya, penerapan cara penambangan nonkonvensional, dan otomatisasi sistem penambangan.

Ilmu kebumih berperan penting dalam menelusuri masalah teknis yang dihadapi pada operasi pertambangan, juga untuk memahami jenis mineral dan jumlah sumber daya serta karakteristik batuan yang menjadi induknya. Pasca proses penambangan, proses reklamasi lahan guna memulihkan fungsi lahan harus segera dilakukan. Lahan bekas tambang juga dapat dikonversi menjadi bioreaktor raksasa yang diatur secara anaerob untuk pengelolaan sampah.

Teknologi buih mengapung— menggunakan gelembung untuk memisahkan partikel mineral berukuran halus dari batuan kasar— dapat mengurangi energi yang diperlukan, biaya produksi, dan meningkatkan efisiensi. Kita juga harus mengembangkan teknologi ekstraksi dan pemurnian cadangan bijih secara lebih luas, sehingga nilai ekonomi mineral yang semula berkualitas rendah

dan tidak terpakai menjadi meningkat.

Untuk mengurangi dampak negatif pada lingkungan akibat proses penambangan dan ekstraksi cadangan mineral, maka sains dan teknologi yang ramah lingkungan di bidang ini perlu diciptakan. Teknologi dan sains tersebut, antara lain, pembuatan zat aditif yang dapat dengan mudah mengikat logam tambang sekaligus melepaskannya dari padatan mineral nontambang; pengembangan bioekstraksi menggunakan tanaman pengekstrak logam; dan pengembangan teknologi transmudasi unsur melalui reaksi inti dengan bantuan partikel radioaktif di dalam sistem tertutup untuk mengubah suatu isotop unsur yang relatif murah dan mudah diperoleh.

Memanen Logam di Ladang

Secara alami, tanaman adalah penambang mineral. Dengan ilmu pengetahuan, bakat tanaman spesies tertentu untuk menambang mineral tertentu dapat kita kenali, bahkan dapat dimodifikasi melalui rekayasa genetik tanaman. Saat ini dikenal sekitar 400 spesies tanaman super akumulator penambang logam dan semilogam (*metaloid*), seperti tanaman penambang kadmium (Cd), seng (Zn), nikel (Ni),

timbal (Pb), mangan (Mn), tembaga (Cu), perak (Ag), selenium (Se), merkuri (Hg), dan arsenik (As). Suatu tanaman super dapat mengakumulasi, misalnya, nikel hingga 40.000 ppm atau lebih. Bijih nikelnya kemudian dapat diisolasi melalui teknik ekstraksi kering. Cara ini memungkinkan pertambangan di masa depan menjadi kegiatan pertanian biasa atau disebut *agromining*.

Menjaring Energi Matahari, Mari Mencari Jalanya!

Sinar matahari berpotensi menjadi sumber energi alternatif yang tersedia berlimpah. Gratis. Kunci utamanya adalah penemuan material baru yang lebih maju untuk menangkap dan mengubah energi surya menjadi listrik secara lebih efisien.

Berapa total energi yang dikonsumsi manusia selama setahun? Jumlahnya sudah pasti luar biasa besar, tapi itu masih belum seberapa jika dibandingkan potensi energi sinar matahari. Energi yang dipakai manusia per tahun cuma setara dengan energi surya yang jatuh ke Bumi selama satu jam.

Indonesia yang terletak pada garis khatulistiwa memiliki akses melimpah terhadap sinar matahari sepanjang tahun. Oleh karena itu Indonesia harus memacu pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi utama di samping tenaga angin, panas bumi, energi berbasis hidrogen, dan baterai. Bayangkan, jika dalam sehari matahari bersinar intensif selama 8-10 jam, dan itu terjadi sepanjang tahun, berapa terawatts listrik yang dapat dihasilkan? Pasti jumlahnya lebih dari cukup untuk memenuhi kebutuhan energi seantero negeri.

Tenaga surya dapat dipanen dari panasnya ataupun spektrum sinarnya. Masalahnya, saat ini efisiensi konversi spektrum dan panas sinar matahari menjadi energi listrik masih rendah, sehingga masih belum kompetitif untuk dikembangkan menjadi sumber energi utama. Tersedianya akses maksimal terhadap sinar matahari seharusnya memicu upaya-upaya

untuk meningkatkan efisiensi konversi tersebut.

Penemuan dan perkembangan di bidang sains material diharapkan mendorong produksi sel surya dan teknologi penyimpanan listrik tenaga sinar matahari yang lebih maju. Sasarannya adalah meningkatkan efisiensi konversi langsung tenaga surya menjadi tenaga listrik atau fotovoltaik; memaksimalkan pemanfaatan panas sinar matahari melalui *concentrating solar power* (CSP); serta mengembangkan media penyimpanan listrik hasil konversi.

Sebenarnya dalam satu dekade terakhir kemampuan fotovoltaik untuk mengkonversi tenaga matahari menjadi tenaga listrik telah meningkat signifikan. Saat ini terdapat empat jenis struktur dan bahan utama material fotovoltaik berbiaya rendah dan efisien, yaitu fotovoltaik berbasis Kristal silikon, film tipis, sistem multifungsi dengan konsentrator surya, dan molekul organik fleksibel seperti polimer atau sel berbasis nanopartikel.

Dari keempat jenis struktur dan bahan tersebut, yang saat ini dominan adalah sel surya berbasis silikon. Tapi justru di situ masalahnya. Kemampuan silikon menyerap spektrum sinar matahari ternyata sangat terbatas. Silikon tidak dapat menangkap spektrum inframerah dan ultraviolet, padahal setengah dari



total spektrum energi surya terdiri dari keduanya. Sebenarnya telah ditemukan teknologi baru selain silikon yang dapat mengkonversi spektrum inframerah dan ultraviolet. Namun masalahnya sama, belum stabil dan efisien. Lantas, material apa dan bagaimana mendesainnya agar stabil dengan efisiensi tinggi?

Penelitian untuk mengembangkan media penyimpanan besar sebagai lumbung energi listrik dari tenaga surya juga perlu dilakukan. Terutama, sistem dan desain material baru seperti apa yang dapat memperbaiki efisiensi konversi dan bagaimana memaksimalkan sistem penyimpanan energi listrik yang dihasilkan? Lalu material baru serta maju seperti apa yang dapat diciptakan dari bahan yang berlimpah, murah, dan tidak beracun untuk produksi sel surya secara massal? Mungkinkah memanfaatkan sumber daya alam Indonesia sebagai material untuk memanen energi surya?

Berbeda dengan cara memanen spektrum sinar matahari, panas matahari dapat dikonversi menjadi energi listrik dengan cara lain yakni menggunakannya untuk memanaskan cairan hingga menguap. Uap yang dihasilkan bisa menggerakkan turbin sehingga menghasilkan listrik. Dalam hal ini diperlukan CSP

yang menggunakan reflektor untuk mengumpulkan sinar matahari. Alat tersebut dapat berupa palung parabola, piringan, dan sistem menara listrik yang memanfaatkan cermin reflektif untuk memfokuskan sinar matahari pada cairan seperti minyak, air, gas, atau garam cair. Lagi-lagi sains material diperlukan untuk meningkatkan sifat optik bahan, mengembangkan bahan penyalur panas dan sistem pelapisan bahan sehingga penyerapan sinar surya lebih efisien dengan daya pancar termalnya yang tinggi, mengembangkan bahan untuk penyimpanan energi termal, serta meningkatkan daya tahan bahan terhadap korosi.

Jalan ke arah material yang lebih maju itu sudah terbuka. Kemajuan dalam ilmu dan teknologi material kini memungkinkan pembuatan bahan berstruktur khusus seperti kawat nano, tabung nano karbon dan bahan berstruktur maju lainnya untuk meningkatkan efisiensi konversi energi surya, dan membuat media penyimpanan besar yang memadai dan aman.

Di masa depan, permukaan bangunan hingga jembatan dapat dilapisi material penangkap energi surya, sehingga dapat sekaligus berfungsi sebagai penangkap spektrum cahaya dan panas matahari untuk dikonversi

menjadi listrik. Tentu saja, untuk itu dibutuhkan sel surya murah misalnya yang berbahan plastik atau panel fleksibel yang dapat dipasang sesuai bentuk permukaan bangunan fasilitas publik ataupun rumah tinggal. Rumah warga juga dapat dilengkapi dengan sistem penyimpanan tenaga surya, sehingga mereka tidak hanya memanen listrik untuk pemanfaatan skala rumah tangga, tapi dapat menyimpan dan memanfaatkannya untuk komunitas atau menggunakannya untuk kepentingan lain yang lebih besar dan strategis. Pertanyaannya, mampukah kita memanfaatkan sumber energi bersih dan terbarukan ini di masa depan?

Industri Strategis: Perlu Desain Material Seperti Apa?

Sebagai negara besar, Indonesia perlu membangun banyak fasilitas. Sebagai negara kepulauan, kita juga perlu sistem pertahanan dan transportasi yang mumpuni untuk menjamin konektivitas antarpulau. Industri strategis untuk memenuhi aneka ragam kebutuhan tersebut mutlak dikembangkan. Desain material apa yang akan dibutuhkan oleh industri strategis ini?



Karyawan PT. Pindad, Bandung, sedang menyelesaikan perakitan kendaraan tempur, Panzer Anoa 2

KOMPAS/
Rony Ariyanto Nugroho

Dengan jumlah penduduk bakal menembus angka 300 juta jiwa pada 2050, ada banyak hal yang mesti disiapkan, baik di darat, laut, udara; dari transportasi hingga energi. Belasan ribu pulau yang terangkai di Nusantara membuat upaya untuk mencukupi kebutuhan ratusan juta penduduk sangat menantang. Industri strategis apa yang paling dibutuhkan di masa depan untuk Indonesia yang besar dan berpulau-pulau?

Saat ini, Indonesia sudah memiliki sejumlah daftar industri strategis, antara lain, industri pertahanan, transportasi laut dan udara, serta

industri komunikasi. Pengembangan industri ini memang belum sesuai harapan seperti terlihat dari neraca perdagangan Indonesia. Ekspor Indonesia masih didominasi bahan baku dasar, sementara impor terbanyak berupa bahan jadi. Galibnya, bila industri strategis sudah maju, posisi neraca perdagangan menjadi terbalik.

Industri strategis memerlukan asupan dan penguasaan material pendukung. Terlebih lagi di masa depan. Dengan demikian, penyediaan bahan siap pakai berbasis teknologi bagi penguatan industri strategis nasional sangat dibutuhkan. Material dengan karakter

apa yang penting bagi industri strategis masa depan? Bagaimana kita mendesain material tersebut?

Di bidang industri transportasi, material ringan dan kuat bagi peralatan mutlak dikembangkan. Baik untuk transportasi darat, laut, dan udara. Kombinasi antara material jenis ini dan mesin yang super efisien dapat mengurangi konsumsi bahan bakar hingga rasio bahan bakar dan jarak tempuh yang sangat fantastis, misalnya 1 L:200 km, tanpa mengurangi aspek keselamatan. Salah satu moda transportasi alternatif adalah penggunaan prinsip pengembangan magnetik (*magnetic levitation*). Prinsip ini merupakan suatu upaya untuk mengefisienkan gaya dorong kendaraan dengan cara menghilangkan gesekan yang dihasilkan dari alat transportasi pada jalur transportasinya. Desain material yang muncul adalah material yang memiliki karakteristik superkonduktor. Namun material jenis ini umumnya hanya berfungsi baik pada temperatur jauh di bawah minus seratus derajat celcius. Bagaimana mendesain komposisi atom dan memilih unsur yang tepat untuk menciptakan superkonduktor yang dapat bekerja pada temperatur tropis Indonesia?

Material yang ringan dan kuat juga memegang peranan sentral dalam mendukung industri pertahanan

nasional, selain pengembangan teknologi material pertahanan yang lain untuk keperluan radar, sensor, dan peluru. Material itu, contohnya, aerogel yang alot namun super ringan karena 99 persen volumenya berupa rongga seperti spons namun sangat tahan terhadap panas ekstrem hingga lebih dari 1.000 derajat celcius dan carbon *nanotube* yang strukturnya puluhan kali lebih kuat dibanding Kevlar, suatu polimer antipeluru, dan ratusan kali lebih kuat dari baja. Bagaimana material seperti itu didesain?

Dalam bidang teknologi informasi, kompleksitas sistem data menuntut industri informasi dan komunikasi terus mengembangkan material yang efisien dari segi volume, namun tetap dapat menyimpan informasi berkapasitas besar. Adakah batasan jumlah data yang dapat disimpan oleh manusia pada suatu material tertentu dengan durabilitas waktu penyimpanan yang tidak terbatas?

Di bidang industri energi, kesiapan pelaku industri pada penyediaan bahan siap pakai yang dapat menyimpan dan mengonversi energi secara efisien merupakan isu sentral. Misalnya untuk diaplikasikan pada energi yang bersumber dari gas, seperti energi gas hidrogen maupun yang sudah berbentuk arus listrik. Ilmuwan telah mengetahui

sebagian perilaku penyerapan dan pelepasan gas hidrogen dari beragam jenis material. Namun desain bahan siap pakai seperti apa yang dapat membuat gas hidrogen dalam jumlah besar dapat diserap dan dilepaskan secara efisien?

Selain itu, industri berbasis energi surya juga masih terhalang oleh kesiapan bahan penyimpan arus listrik yang murah. Energi surya yang berlimpah belum bisa diakses secara luas akibat mahalnya material penyimpan listrik yang dihasilkan oleh sel surya.

Sains material memerlukan inovasi tinggi untuk menjawab tantangan masa depan yang terkait dengan pengembangan industri strategis. Pilihan untuk Indonesia di masa depan hanya satu: mengembangkan desain material ini.

Sistem Komputasi dan Sistem Kompleks bagi Indonesia

Indonesia sungguh unik lagi kompleks: manusianya, alamnya, persoalannya, dan—bagi sains komputasi—datanya. Melalui pemodelan yang tepat, sains komputasi menawarkan alternatif solusi untuk menyelesaikan bermacam persoalan khas Indonesia. Persoalannya, pemodelan apa saja yang dibutuhkan Indonesia, serta apa tantangannya?

Hutan tropis, laut, kondisi geologis, dan letaknya yang unik di Sabuk Api Pasifik, membuat Indonesia berlimpah oleh sumber daya alam. Modal ini dapat memakmurkan bangsa. Namun deforestasi, eksploitasi sumber daya alam terus-menerus, serta perubahan iklim global dalam jangka panjang akan mengganggu keseimbangan dan daya dukung alam. Keberlangsungan bangsa bisa terancam. Bagaimana mengantisipasi terjadinya skenario terburuk itu bagi generasi sekarang dan yang akan datang?

Untuk ketahanan pangan, misalnya, wilayah Indonesia yang luas dan berlimpah oleh keragaman spesies pangan akan memerlukan pemodelan cuaca dan iklim yang akurat untuk menentukan kalender tanam dan zonasi tanaman. Munculnya penyakit-penyakit baru dan kembalinya penyakit lama membutuhkan pemodelan perilaku penyakit menular dan identifikasi obat. Dalam mengatasi berbagai konflik sosial, perlu dianalisis secara akurat keragaman budaya dan perilaku masyarakat setiap etnis, sehingga diperoleh masukan untuk menentukan kebijakan pencegahan dan penyelesaian konflik. Sebagai negara dengan populasi besar, model kependudukan yang akurat diperlukan Indonesia untuk memprediksi laju pertumbuhan penduduk.

Sains komputasi—bagian dari ilmu kompleksitas—adalah salah satu alternatif solusi untuk berbagai macam persoalan multidimensi yang khas Indonesia demi mendukung keberlanjutan. Saat ini, sains komputasi telah digunakan dalam banyak penelitian, termasuk eksperimen yang memerlukan waktu lama, biaya mahal, dan mungkin berbahaya. Sebutlah, reaksi berantai untuk menghasilkan energi, eksplorasi ruang angkasa, pengembangan material baru dan maju, atau *superconducting super collider*. Namun pada dasarnya, sains komputasi dapat digunakan untuk menangani nyaris semua jenis data.

Bahkan, data yang tersedia untuk dianalisis, jumlahnya telah meningkat tajam dan kini telah melebihi kemampuan kita untuk memprosesnya. Data tersebut termasuk data genom, web, rekam medis, hingga data atmosfer. Walaupun banyak data dan teknik pemodelan yang telah dikembangkan para peneliti sains komputasi, data yang tersedia untuk pemodelan berbagai fenomena yang khas Indonesia masih sangat sedikit.

Kekhasan persoalan Indonesia memberikan banyak ruang untuk pengembangan metode komputasi dan pemodelan baru. Saat ini masih banyak data mentah yang belum diproses menjadi informasi dan



pengetahuan yang berarti. Oleh karena itu keberadaan pusat data dan fasilitas komputasi untuk berbagi dan berkolaborasi menyelesaikan persoalan pemodelan yang khas Indonesia merupakan kebutuhan penting. Pusat data ini yang bertanggungjawab untuk mengumpulkan, memilah, mencatat, dan mengelola data yang diperoleh dari berbagai sumber. Mengingat kemungkinan sensitivitas sebagian aktivitas komputasi, harus disiapkan akses ke fasilitas komputasi yang keamanannya terjamin, selain berkecepatan tinggi dan berkapasitas data besar.

Terdapat beberapa pertanyaan mendasar untuk memenuhi tantangan ini. Jenis data apa saja yang perlu mulai segera dikumpulkan dan dianalisis? Bagaimana menyusun data tersebut sehingga mudah diakses oleh beragam sistem dari waktu ke waktu? Perangkat baru generik apa saja yang dapat mempermudah proses dari pengumpulan sampai pengarsipan data? Untuk setiap persoalan pemodelan yang teridentifikasi, bagaimana menganalisis, memodelkan, dan menampilkan hasil pemodelan dalam tampilan yang mudah dimengerti? Jika sudah melibatkan analisis dengan jumlah data yang

sangat besar, bagaimana melakukan optimasi agar proses komputasi menjadi lebih efisien tanpa mengorbankan akurasi dan efektivitasnya?

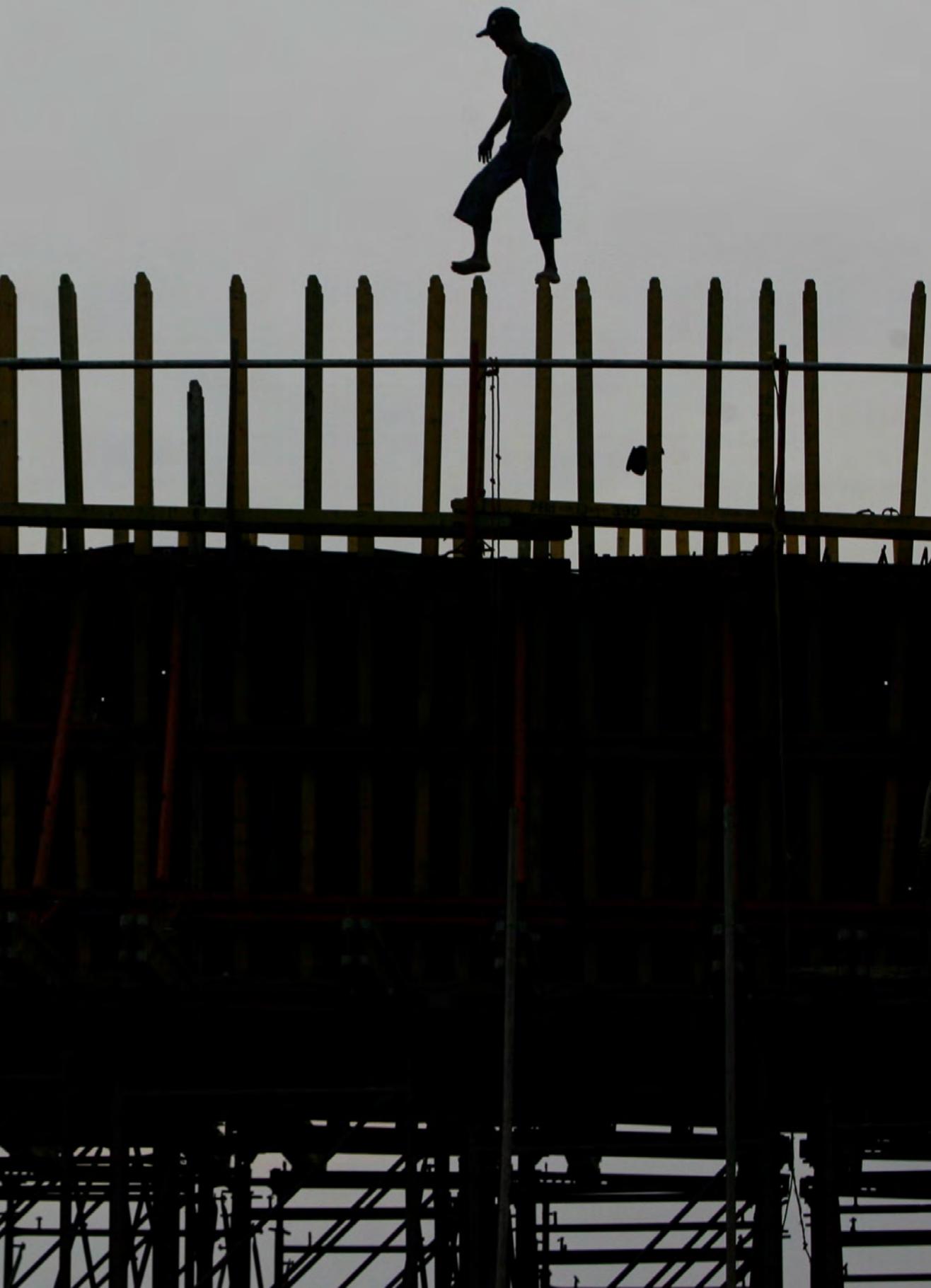
Transformasi Mendasar Ilmu Sosial

Era data besar atau *big data* ini menjanjikan transformasi fundamental dalam berbagai bidang ilmu pengetahuan, termasuk ilmu-ilmu sosial. Saat ini, metodologi ilmu sosial masih didominasi oleh metode observasi skala kecil, misalnya etnografi. Adapun metode eksperimen dan observasi skala besar masih relatif jarang. Observasi skala besar yang melibatkan jutaan individu kini dimungkinkan karena semakin banyak perilaku manusia yang terekam secara digital. Diperlukan pengembangan teori dan metodologi untuk menganalisis data digital skala besar.

Untuk menyaingi kendala eksperimen skala besar dibutuhkan simulasi komputer dari berbagai proses sosial, seperti penyebaran tren, konflik, hingga aksi kolektif. Pengembangan ilmu sosial komputasi ini merupakan langkah awal untuk meningkatkan kemampuan prediksi dalam ilmu-ilmu sosial, yang akan berkontribusi besar untuk menjawab persoalan khas Indonesia.

VIII

EKONOMI, MASYARAKAT, DAN TATA KELOLA



Satu Nusa, Satu Bangsa, Satu Ekonomi, Mungkinkah?

Seperti halnya kesatuan politik, kesatuan ekonomi nasional merupakan sumber kekuatan untuk mewujudkan kesejahteraan bangsa, yang berperan sebagai salah satu fondasi dan perekat kesatuan politik. Bagaimana mengintegrasikan perekonomian daerah menjadi sebuah kesatuan ekonomi nasional yang kuat, kompetitif, dan tahan guncangan untuk mendorong terciptanya kemakmuran bangsa?

Dengan beragam suku, budaya, kepercayaan, dan derajat pembangunan, Indonesia telah berikrar secara politik menjadi sebuah negara kesatuan sejak 1945. Tapi, meski Undang-Undang Dasar 1945 telah mengamanatkan terwujudnya kesatuan ekonomi nasional untuk mendukung pemerataan ekonomi dan kemakmuran, Indonesia belum sepenuhnya bersatu secara ekonomi. Dalam kenyataannya sebagian besar perjalanan dan energi bangsa ini dipenuhi dan lebih banyak dicurahkan untuk memperkuat kesatuan politik sebagai modal utama membangun bangsa. Perekonomian Indonesia hingga kini masih terkotak-kotak dan belum sepenuhnya terintegrasi. Ketimpangan ekonomi dan ketidakmerataan dalam pembangunan ekonomi masih terlihat jelas di seluruh penjuru negeri.

Dalam praktik, yang bisa diperhatikan adalah para pemangku kepentingan belum sepenuhnya memahami pentingnya membangun kesatuan atau integrasi ekonomi sebagai sumber kekuatan bangsa. Padahal berbagai isu politik dan disintegrasi bangsa diakibatkan, salah satunya, oleh

ketimpangan dan ketidakmerataan pembangunan ekonomi. Karena itu, jika melihat masa depan, pertanyaan absahnya adalah mungkinkah mengintegrasikan ekonomi daerah-daerah menjadi satu kesatuan ekonomi nasional yang kuat, kompetitif, dan tahan guncangan?

Indikasi perekonomian yang belum terintegrasi adalah terbatasnya perdagangan antarwilayah, perbedaan harga komoditas dan upah yang mencolok antardaerah, adanya hambatan dalam pengangkutan dan distribusi, serta belum adanya sinergi antardaerah dalam memajukan perekonomian. Belum terintegrasikannya perekonomian dalam satu kesatuan menimbulkan berbagai akibat, seperti harga komoditas yang tak seragam—tidak tercapainya keseragaman harga (*the law of one price*)—bahkan terkadang perbedaannya sangat mencolok. Spesialisasi daerah dalam berproduksi juga belum terlihat secara jelas. Hambatan distribusi membuat daerah cenderung memproduksi barang kebutuhannya sendiri daripada

¹ Undang-undang Dasar 1945, Pasal 33 Ayat 4 berbunyi, "perekonomian nasional diselenggarakan berdasar atas demokrasi ekonomi dengan prinsip kebersamaan, efisiensi berkeadilan, berkelanjutan, berwawasan lingkungan, kemandirian, serta dengan menjaga kemajuan dan kesatuan ekonomi nasional."



Aktivitas perdagangan di Pasar Beringharjo, Yogyakarta

Diana Tri Budi Setiasih

melakukan perdagangan antardaerah. Kelebihan produksi di satu wilayah tak dapat mencukupi kelebihan permintaan di wilayah lainnya secara mudah dan murah. Fenomena ini memunculkan paradoks bahwa produktivitas tinggi justru menurunkan kesejahteraan masyarakat, seiring turunnya harga barang akibat kelebihan produksi dan penawaran. Perangkat hukum, sistem administrasi, dan teknologi informasi seperti apa yang mampu mendorong dan mempercepat integrasi perekonomian daerah?

Tidak terintegrasinya perekonomian

dan ketiadaan hubungan perdagangan antarwilayah yang erat membuat perkembangan ekonomi di suatu kawasan sulit dinikmati wilayah lain. Contohnya, perkembangan ekonomi di Batam dan Riau yang justru lebih menguntungkan Singapura dan Malaysia, bukan Jawa dan Kalimantan. Sistem pasokan dan logistik seperti apa yang lebih efektif dan efisien dalam konteks integrasi pasar lokal, nasional, dan internasional?

Tanpa kesatuan ekonomi nasional, Indonesia dapat kehilangan kesempatan untuk memanfaatkan jumlah penduduk

dan pasar domestik yang besar. Padahal tingginya jumlah penduduk yang memiliki daya beli merupakan potensi pasar yang besar, serta akan menjadi sumber kemakmuran dan kesejahteraan bangsa jika dimanfaatkan secara optimal. Menjadi penting adanya intervensi sosial-ekonomi-politik yang tepat untuk mendorong integrasi perekonomian daerah dalam kerangka satu perekonomian Indonesia.

Perekonomian yang belum terintegrasi juga menyebabkan sebagian besar penduduk tak memperoleh manfaat maksimal dari pertumbuhan dan pembangunan ekonomi. Penyebabnya, perkembangan di suatu wilayah tak banyak memberikan dampak positif (*spillover*) terhadap wilayah lain, bahkan ada kalanya menimbulkan persaingan yang saling merugikan. Belum terintegrasinya ekonomi domestik akan menghambat kesempatan untuk meningkatkan kesejahteraan dan lapangan kerja, juga mendorong ketimpangan antarwilayah. Dalam jangka panjang kondisi ini dapat menumbuhkan benih-benih frustrasi sosial dan memicu terjadinya disintegrasi. Masyarakat yang mengalami ketimpangan ekonomi dapat tersisih dan merasa bukan bagian dari Indonesia. Bagaimana dampak integrasi perekonomian domestik terhadap dinamika kesejahteraan dan ketahanan

perekonomian nasional?

Integrasi, *Spillover*, dan Inovasi

Integrasi perekonomian nasional akan mendorong munculnya *spillover* atau dampak tak langsung positif dari satu daerah ke daerah lainnya. Selain itu, akses pasar yang sebelumnya terbatas juga semakin luas. Hal ini dapat mendorong inovator di berbagai daerah untuk berkreasi memunculkan beragam produk baru tanpa khawatir pada skala pemasaran. Bagaimana mendorong inovasi baru dan kolaborasi antarkelompok masyarakat Indonesia untuk menciptakan integrasi perekonomian antardaerah?

Kolaborasi dan sinergi dari berbagai bidang ilmu dibutuhkan untuk menjawab berbagai pertanyaan di atas. Integrasi ekonomi domestik akan mengurangi ketimpangan harga antarwilayah, menjadi motor penggerak peningkatan kesejahteraan masyarakat, dan menjadi katalis untuk mengurangi ketimpangan antarkelompok masyarakat maupun antarwilayah. Kelak Indonesia bukan hanya dimaknai sebagai sebuah kesatuan politik, tapi juga satu kesatuan ekonomi sebagaimana diamanatkan konstitusi.

Dicari! **Institusi yang Menjamin dan Mendorong Kemakmuran**

Tujuan hidup dan kepentingan setiap bangsa dan masyarakat memang berbeda-beda, demikian pula institusi sosial-ekonomi-politik yang berlaku. Tapi mengapa sebuah bangsa atau daerah dengan karakteristik sama memiliki tingkat kemakmuran yang berbeda? Apa yang membedakan nasib keduanya?



Para buruh bangunan mengecat dinding Surabaya Wholesale Center

KOMPAS/Bahana Patria Gupta

Dua daerah yang berdekatan tak selalu bernasib sama. Penduduk Serawak menikmati kemakmuran, fasilitas kesehatan, dan pendidikan yang jauh lebih layak dibandingkan jirannya, Kalimantan Barat. Warga Bojonegoro mendapatkan fasilitas publik yang lebih baik ketimbang tetangganya, Tuban. Kelompok usaha kecil dan menengah di Surakarta memperoleh kemudahan dan insentif usaha yang lebih menarik dibandingkan kelompok yang sama di Karanganyar, yang letaknya hanya "sepelemparan batu".

Perbedaan-perbedaan itu mengisyaratkan

ada kondisi dan faktor institusional yang jadi penyebabnya. Faktor-faktor ini berkaitan dengan tujuan hidup dan kepentingan yang tak sama di antara bangsa-bangsa atau daerah-daerah yang berbeda. Ilmuwan sosial, termasuk ekonom, meski berbeda-beda pendapat, sebenarnya sama-sama menyoroti apa yang disebut sebagai "institusi yang baik". Institusi ini dapat didefinisikan sebagai hukum dan praktik yang memotivasi orang untuk bekerja keras, menjadi produktif secara ekonomi, dan karena itu menjadikan diri dan negaranya sejahtera.

Dalam kenyataannya, setiap wilayah memiliki institusi sosial-ekonomi-politik yang tak sama. Begitu pun tata hukum dan perundangan yang mempengaruhi mekanisme ekonomi dan insentif bagi masyarakat. Selain itu, tak kalah pentingnya adalah karakteristik pemimpin. Pemimpin yang visioner, transformatif, dinamis, dan berpihak kepada rakyat serta didukung oleh institusi sosial-ekonomi inklusif akan menumbuhkan daya kreasi dan inovasi, mendorong kegiatan ekonomi, meningkatkan produktivitas, dan pada akhirnya mendorong kemakmuran sebuah bangsa.

Yang menjadi pertanyaan pokok: seperti apakah institusi sosial-ekonomi-politik inklusif, yang tak memilih-milih masyarakat yang pantas dilibatkan, yang dapat menjamin dan mendorong kemakmuran?

Pada prinsipnya, institusi sosial-ekonomi-politik yang inklusif memungkinkan segenap lapisan masyarakat berpartisipasi dalam berbagai kegiatan sosial, ekonomi, dan politik tanpa banyak hambatan. Institusi ini harus didukung oleh pelayanan publik yang mendorong ajang persaingan yang adil bagi siapa pun untuk berniaga dan bermitra; membuka kesempatan seluas-luasnya bagi usaha baru untuk bersaing; serta

memberikan kebebasan bagi seluruh masyarakat untuk menentukan jalur karier dan melakukan mobilitas sosial. Institusi sosial-ekonomi-politik inklusif seperti apa yang sesuai dengan karakter bangsa Indonesia dan bagaimana membangunnya?

Ada banyak aspek yang dapat diwujudkan melalui institusi sosial-ekonomi-politik inklusif, dan sekaligus pekerjaan rumah negara ini. Akses fasilitas dan jaminan kesehatan semesta memberikan ketenangan bagi seluruh masyarakat. Pendidikan inklusif memberikan kesempatan seluas-luasnya kepada seluruh rakyat untuk meningkatkan kualitas sumber daya manusia sehingga terjadi mobilitas vertikal. Proses perizinan yang cepat, mudah, dan murah akan mendorong individu dengan daya kreasi, inovasi, dan menyukai risiko, menjadi pengusaha tangguh.

Akses keuangan inklusif memberikan kemudahan pinjaman dana, baik untuk usaha maupun konsumsi. Jaminan keamanan hak hidup dan kepemilikan properti memberikan ketenangan dan mendorong masyarakat untuk bekerja, menanamkan modal, dan meningkatkan produktivitas. Risiko pencurian, perampasan, dan pajak yang tinggi akan mengurangi minat berinvestasi dan berinovasi.

Hak kepemilikan aset, kepastian hukum, pelayanan publik, kebebasan mengikat kontrak dan berniaga serta perlindungan akan hak hidup—termasuk bagi kaum minoritas dan difabel—hanya dapat dijamin oleh kekuasaan yang memiliki kredibilitas dan lahir dari sistem yang demokratis. Sejauh mana sistem, norma, dan tata nilai masyarakat Indonesia dapat mendukung institusi sosial-ekonomi-politik inklusif ini?

Meski setiap kelompok masyarakat memiliki kepentingan dan tujuan hidup berbeda sehingga kebijakan pembangunan masyarakatnya pun berbeda, institusi sosial-ekonomi sangat tergantung institusi politik dalam masyarakat itu sendiri. Institusi politik mengatur siapa saja yang dapat mempunyai kekuasaan, untuk apa dan bagaimana kekuasaan itu didistribusikan. Jika distribusi kekuasaan tidak merata dan tidak terkontrol, akan muncul institusi politik eksploitatif yang pada akhirnya mengarah pada institusi sosial-ekonomi yang juga eksploitatif. Institusi seperti ini menempatkan kekuasaan di tangan segelintir orang dan mendorong terbentuknya institusi ekonomi yang cenderung merampas aset masyarakat, menghambat partisipasi warga dalam proses pembangunan, serta melahirkan kebijakan yang dapat mendistorsi

ekonomi pasar. Bagaimana membangun institusi sosial-ekonomi-politik inklusif yang tahan terhadap gejolak internal maupun eksternal, sekaligus dinamis mengikuti perkembangan sosial-ekonomi kemasyarakatan

Pemimpin Transformatif

Dalam sistem masyarakat paternalistik, peran kepala daerah dalam menciptakan sistem sosial-ekonomi-politik inklusif sangat dominan. Beberapa kepala daerah mampu membawa perubahan mendasar dan menciptakan institusi politik-sosial-ekonomi inklusif. Di lain tempat, banyak kepala daerah justru gagal mentransformasi rakyat dan membawa perubahan. Bagaimana menciptakan pemimpin yang transformatif, dinamis, dan visioner? Bagaimana membentuk lingkungan yang dapat melahirkan dan memilih pemimpin semacam itu?

Orang Muda Akan Terus Menulis Sejarah Indonesia?

Perubahan struktur umur penduduk dan turunnya angka ketergantungan ekonomi memunculkan fenomena bonus demografi. Fenomena ini tak sekadar menumbuhkan harapan baru akan kemakmuran berkelanjutan, tetapi juga diam-diam mencemaskan jika kita gagal mengelolanya. Siapkah pemuda menghadapinya?



Para pemuda Indonesia melakukan upacara bendera pada masa awal-awal kemerdekaan

KITLV/Cas Oorthuys

“Beri aku sepuluh pemuda niscaya akan kuguncangkan dunia.” Petikan pidato Bung Karno itu menunjukkan bahwa di pundak pemuda dipercayakan harapan besar untuk mengantarkan Indonesia menuju kemakmuran. Sejarah mencatat peran penting mereka sebagai pelopor perubahan, dari masa kolonialisme

hingga Reformasi di abad ke-20. Mereka inilah yang menulis sejarah Indonesia. Masa Revolusi 1944-1946 bahkan disebut sebagai “Revoloesi Pemoeda” yang sekaligus menyematkan identitas politik pemuda. Bagaimana pemuda abad ke-21 berkontribusi mewujudkan cita-cita Indonesia sejahtera?

Indonesia saat ini sedang menghadapi ancaman jebakan pendapatan kelas menengah (*middle income trap*), yaitu ketika perekonomian mengalami stagnasi pada periode yang sangat panjang. Pertumbuhan ekonomi Indonesia tak bersifat inklusif dan berkelanjutan. Pertumbuhan masih didominasi oleh konsumsi masyarakat dan bertumpu pada harga komoditas pertanian, pertambangan, dan sektor jasa. Sebagian besar manfaat pertumbuhan tersebut hanya dinikmati oleh kelompok kelas atas sehingga rentan terhadap gejolak internal dan eksternal. Jika dibiarkan, Indonesia dapat mengalami jebakan pendapatan kelas menengah seperti yang pernah dialami Brasil dan Afrika Selatan.

Gejala jebakan pendapatan kelas menengah, antara lain adalah rendahnya investasi dalam perekonomian. Investasi infrastruktur sangat rendah, pertumbuhan industri manufaktur pun melambat. Diversifikasi industri di Indonesia juga sangat terbatas. Tak ada industri baru yang mengandalkan teknologi unggul. Proses inovasi yang lahir dari aktivitas manufaktur minim. Kondisi pasar tenaga kerja Indonesia buruk, dengan penentuan upah yang tak merujuk pada produktivitas tenaga kerja. Tenaga kerja terampil kurang. Pendidikan seperti apa yang harus dikembangkan untuk

meningkatkan daya saing nasional?

Gejala-gejala di atas bukannya tak bisa diatasi. Indonesia justru memiliki potensi besar masuk dalam kelompok negara berpendapatan tinggi jika mampu melakukan berbagai reformasi. Beberapa perubahan yang harus ditempuh, antara lain, investasi di sektor infrastruktur secara merata dan berkualitas; investasi sektor pendidikan untuk memenuhi kekurangan tenaga kerja terdidik serta memberikan akses pendidikan berkualitas ke seluruh lapisan masyarakat, khususnya kelompok usia muda; perbaikan program jaminan sosial; dan mendorong proses inovasi serta kreativitas masyarakat. Intervensi sosial-ekonomi seperti apa yang dapat mendorong kreativitas dan inovasi para pekerja dan golongan muda?

Meski banyak yang harus dilakukan, Indonesia memiliki modal yang tak banyak dinikmati negara lain, yaitu bonus demografi. Badan Perencanaan Pembangunan Nasional memproyeksikan penduduk Indonesia pada 2020 akan menduduki peringkat kelima terbanyak dunia. Sebanyak 70 persennya adalah penduduk usia produktif.

Besarnya struktur penduduk muda membuat kita berpeluang menikmati bonus demografi yang diperkirakan

berlangsung selama 23 tahun (2012-2035). Perubahan struktur umur penduduk dan menurunnya angka ketergantungan hingga titik terendah memunculkan fenomena ini. Produktivitas dan tingkat kesejahteraan nasional dapat didorong karena berkurangnya jumlah individu yang harus ditanggung secara ekonomi. Korea Selatan, Taiwan, dan Cina merupakan contoh negara yang telah menikmati keuntungan optimal dari bonus demografi. Itu tercermin dari tingkat produktivitas dan kesejahteraan mereka. Namun, bonus demografi tak serta-merta meningkatkan pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat. Bagaimana strategi mengoptimalkan bonus demografi ini?

Penduduk usia muda dengan akses terbatas pada layanan kesehatan, pendidikan, keterampilan, dan lapangan kerja justru merupakan kombinasi mengkhawatirkan. Struktur penduduk muda yang tak dikelola dengan baik akan menimbulkan frustrasi sosial, perilaku berisiko, kriminalitas, dan kekerasan.

Untuk memanfaatkan bonus demografi, diperlukan investasi dalam perbaikan derajat kesehatan masyarakat; peningkatan peluang, akses dan kualitas pendidikan; peningkatan keterampilan dan penyediaan

lapangan kerja; pengendalian laju pertumbuhan penduduk; dan dukungan kebijakan ekonomi.

Prasyarat lain adalah mendorong ekonomi berbasis pengetahuan yang mampu memanfaatkan sumber daya, seperti pengetahuan, keterampilan, dan inovasi. Dengan demikian akan tercipta produktivitas dan pertumbuhan ekonomi yang tinggi tanpa disertai inflasi.

Jika selama ini masyarakat bertumpu pada kekuatan agraris dan maritim—dengan mengandalkan petani dan pelaut, ke depan yang menjadi aktor utama adalah kekuatan ekonomi yang berbasis pengetahuan melalui penelitian. Penemuan dan inovasi serta sumber daya manusia yang berkualitas hanya dapat dihasilkan dari sistem pendidikan dan universitas yang mengedepankan budaya ilmiah, penelitian, dan pembangunan sumber daya manusia. Keberhasilan Indonesia mengelola bonus demografi jelas sangat bergantung pada kualitas pendidikan—keberhasilan ini juga akan membawa Indonesia terhindar dari jebakan negara berpendapatan menengah.

Bagaimana Bentuk Baru Ketimpangan dan Kemiskinan di Masa Depan?

Ketimpangan dan kemiskinan merupakan isu yang selalu dihadapi oleh peradaban, meski dipahami secara beragam dan bersifat dinamis. Di tengah masyarakat yang plural dengan perubahan sosial dan ekonomi yang dinamis, bentuk-bentuk baru kemiskinan dan ketimpangan harus diantisipasi dan diatasi.



Pengemis menunggu derma pengunjung di pelataran sebuah pusat perbelanjaan di Bandung

KOMPAS/
Rony Ariyanto Nugroho

Tambora—namanya mengingatkan orang pada satu gunung di Pulau Sumbawa yang letusannya pada 1815 menimbulkan perubahan cuaca di Amerika utara dan Eropa setahun kemudian. Di Jakarta, ini adalah nama kecamatan dengan penduduk terpadat di Asia Tenggara. Sebagian besar jalan di sini berupa gang yang hanya cukup dilalui satu orang. Deretan permukiman yang rapat menjadikan kawasan ini paling sering dilanda kebakaran. Ironisnya, hanya beberapa ratus meter dari sana berdiri kompleks apartemen yang menyatu dengan pusat perbelanjaan. Tambora, juga wilayah serupa di berbagai daerah, menunjukkan betapa ketimpangan dan

kemiskinan masih membelit Indonesia.

Sejak masa kolonialisme hingga pascareformasi, isu ketimpangan dan kemiskinan selalu ada meski wujudnya berbeda-beda. Pergulatan antara kaum buruh tani dan tuan tanah serta antara kelas pekerja dan pemilik modal berlangsung tanpa henti.

Seiring perkembangan zaman, masalah ketimpangan dan kemiskinan turut berubah sesuai dengan perubahan kebutuhan dan keinginan manusia. Wajar jika kemudian timbul pertanyaan ini: seperti apa bentuk-bentuk baru ketimpangan dan kemiskinan di masa depan?

Ketika kondisi sosial-ekonomi masyarakat belum berkembang, isu kemiskinan dan kerawanan pangan menjadi masalah yang menonjol. Pada konteks itu, kemiskinan masih dinilai secara absolut. Seseorang dianggap miskin ketika ia tidak dapat mencukupi kebutuhan makannya. Swasembada pangan pun dianggap sebagai solusi terbaik.

Berkembangnya kebutuhan dan kualitas hidup membuat persepsi tentang kemiskinan berubah. Konsep kemiskinan meluas ke bidang pendidikan, kesehatan, dan perumahan. Kemiskinan kemudian diasosiasikan dengan kehidupan yang tak layak—yang definisinya pun selalu diperdebatkan. Akibatnya hal-hal yang sebelumnya tidak dianggap sebagai kebutuhan utama dapat “naik pangkat” menjadi kebutuhan utama.

Ketika kebutuhan dasar serta kebutuhan sosial telah terpenuhi, masyarakat mulai mempertanyakan kebahagiaan dan kesejahteraan. Kemudian timbul pertanyaan tentang esensi kehidupan dan apakah hal-hal yang mereka capai dalam hidup telah membuat mereka bahagia. Pertanyaannya, kondisi sosial-ekonomi-politik seperti apa yang mampu mengubah persepsi masyarakat tentang kemiskinan dan ketimpangan? Kapan dan kondisi seperti apa yang membuat

masyarakat mulai mempertanyakan kebahagiaan dan kesejahteraan? Pertanyaan-pertanyaan ini harus dijawab agar masalah ketimpangan dan kemiskinan dapat diatasi.

Ketika perekonomian membaik dan kondisi sosial-ekonomi masyarakat berubah, persepsi terhadap kemiskinan bergeser dari ukuran absolut menjadi ukuran relatif, yaitu membandingkan apa yang dimilikinya dengan orang lain. Seseorang yang berpenghasilan tujuh juta rupiah sebulan, misalnya, bisa merasa miskin jika tinggal bersama tetangga yang berpenghasilan rata-rata 25 juta rupiah per bulan. Tapi ketimpangan dan ketidakmerataan tidak hanya diukur berdasarkan ukuran moneter. Ketimpangan juga dapat terjadi antarkelompok rumah tangga, kelompok etnis, dan antardaerah.

Kondisi Indonesia yang memiliki beragam etnis, kepercayaan, dan tingkat sosial-ekonomi membuat masalah kemiskinan semakin kompleks. Di satu sisi ada masyarakat yang sudah mempertanyakan kebahagiaan dan mengalami kemiskinan relatif, di sisi lain masih ada yang belum mampu memenuhi kebutuhan kalorinya. Usaha penanggulangan kemiskinan melalui berbagai intervensi sosial-ekonomi juga terhambat karena masih banyak yang beranggapan kemiskinan adalah

nasib dan cobaan yang harus diterima. Masalahnya, benarkah kemiskinan diturunkan dari generasi ke generasi?

Selama sepuluh tahun terakhir, indikator kemiskinan absolut terus menurun namun ketimpangan sosial-ekonomi meningkat tajam, bahkan sampai tahap membahayakan. Ketimpangan akses terhadap pendidikan, kesehatan, kredit, dan informasi menyebabkan ketimpangan pendapatan dan kepemilikan aset semakin lebar. Apa prasyarat agar masyarakat bisa keluar dari kelompok miskin? Intervensi sosial-ekonomi-politik seperti apa yang efektif mengatasi masalah kemiskinan dan ketimpangan?

Di sisi lain, isu ketimpangan dan kemiskinan ternyata mendorong sejumlah inovasi dalam keuangan mikro, sosial bisnis, dan bantuan sosial-kemasyarakatan. Perkembangan teknologi informasi—terutama media sosial—memungkinkan masyarakat berperan dalam menyelesaikan kedua masalah itu. Kini masyarakat dapat dengan mudah berkolaborasi mengumpulkan donasi untuk membantu masyarakat yang kekurangan, baik dalam skala regional, nasional, maupun internasional. Dengan begitu, apakah selain menimbulkan masalah, kemiskinan dan ketimpangan juga dapat memicu perubahan sosial yang positif?

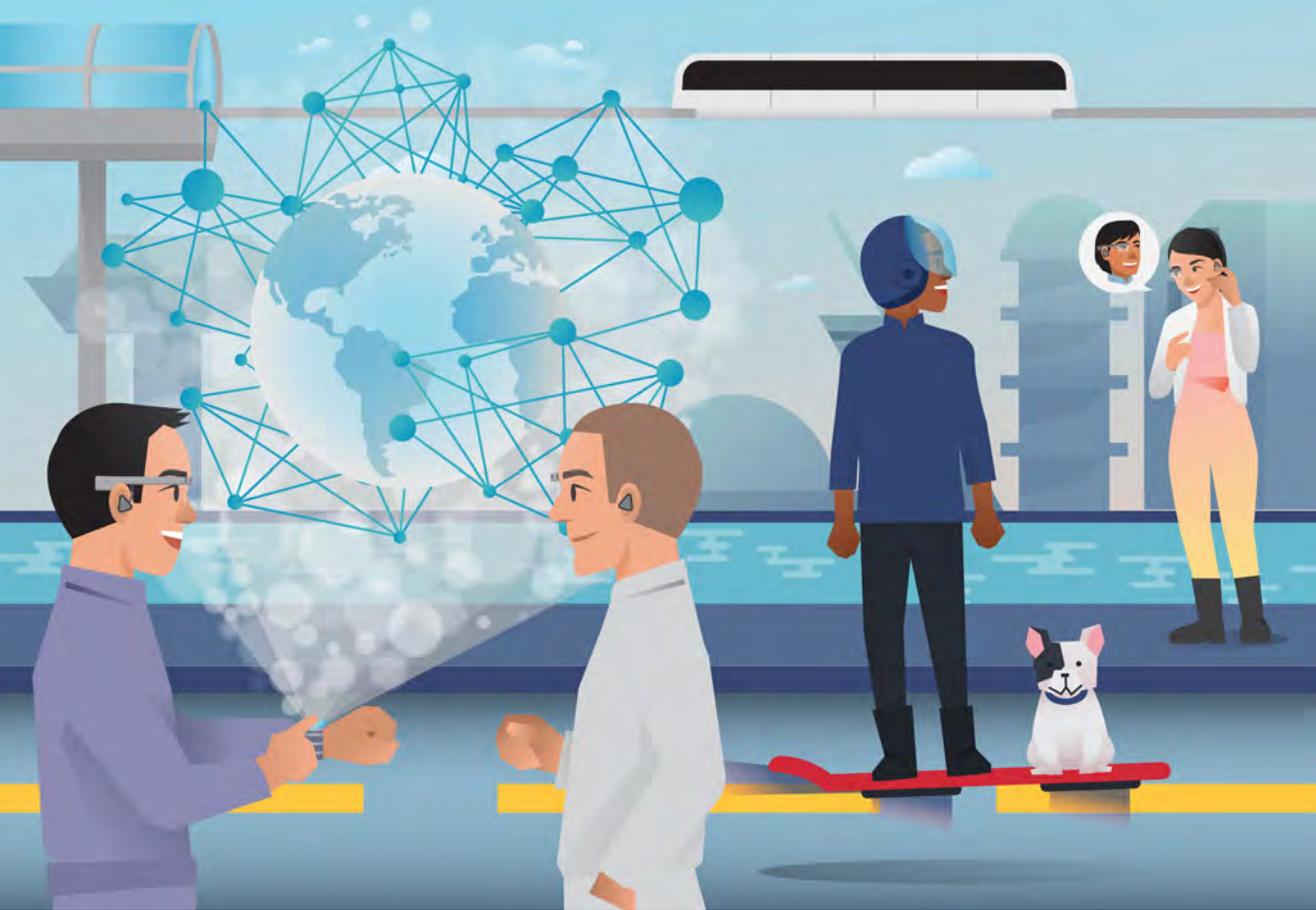
Teknologi vs Ketimpangan

Perkembangan teknologi mempengaruhi berbagai aspek kehidupan, termasuk dunia industri dan pertanian. Sebagian besar proses kini dikerjakan mesin yang serba-otomatis. Jika hanya diperhitungkan secara ekonomi, hal ini tentu lebih efisien bagi pengusaha. Namun otomatisasi juga dapat memunculkan masalah sosial baru seperti pengangguran dan ketimpangan antarkelompok masyarakat.

Tanpa intervensi sosial-ekonomi yang konsisten dan terukur, ketimpangan dapat kian melebar, bahkan menyebabkan polarisasi dalam masyarakat, yaitu terciptanya kelompok kaya dan miskin tanpa kelompok kelas menengah. Hal ini sangat membahayakan stabilitas politik dan sosial dalam masyarakat. Bagaimana cara memitigasi dan mengantisipasi bentuk-bentuk baru kemiskinan dan ketimpangan? Kemampuan mengenali dan mengantisipasi bentuk baru kemiskinan dan ketimpangan diharapkan dapat membuat strategi penanggulangan ketimpangan dan kemiskinan lebih efektif dan efisien.

Bagaimana Menapis Banjir Informasi?

Jika informasi merupakan benda nyata, kita akan melihat berita, pesan, dan gagasan datang bertubi-tubi, tanpa penapis, dari berbagai penjuru. Informasi yang sebelumnya terpinggirkan atau bahkan salah bisa menjadi populer. Akibatnya, gagasan yang populer belum tentu berkualitas atau sahih. Untuk memastikan kredibilitas informasi, kita perlu memahami proses penerimaan informasi oleh manusia serta bagaimana informasi teramplifikasi dan menyebar.



Ketika Samuel F.B. Morse menemukan telegraf pada pertengahan abad ke-19, mesin pesannya hanya mengirim 30 huruf per menit, sejauh 61 kilometer, dari Washington ke Baltimore, Amerika Serikat. Pada 2015, menurut IBM, per hari kita menghasilkan data 2,5 *quintillion byte*—sekitar 2,5 juta triliun huruf—yang dikirim dari dan ke seluruh dunia. Di masa depan, jumlahnya bakal terus meningkat seiring kemajuan teknologi informasi.

Teknologi informasi bersama teknologi transportasi telah membuat dunia semakin terkoneksi. Kemajuan transportasi membuat mobilitas individu

semakin tinggi dan efisien, sementara itu perkembangan jejaring digital global membuat aliran informasi mengalir sangat cepat. Kini manusia dapat dengan cepat mengetahui apa yang terjadi di seluruh penjuru dunia.

Perkembangan teknologi informasi juga membuat wilayah yang sebelumnya terisolasi—baik secara geografis maupun nongeografis—kini saling terhubung. Berbagai bidang seperti ekonomi, sosial, politik, dan budaya pun semakin terkoneksi secara global.

Tingginya konektivitas itu tentu membawa konsekuensi, yaitu segala

informasi—baik yang bersifat positif maupun negatif—dapat dengan cepat menyebar dan mempengaruhi wilayah lain. Selain itu terjadi pula amplifikasi ide atau nilai. Ini berarti gagasan, informasi, dan nilai yang sebelumnya tidak populer kini memiliki kesempatan untuk tampil dan diterima oleh khalayak yang lebih besar.

Salah satu hal yang mendorong proses amplifikasi adalah mekanisme keuntungan kumulatif. Mekanisme itu membuat berbagai informasi atau nilai diterima lebih karena popularitasnya. Semakin banyak orang menerima sebuah ide atau informasi tertentu, maka itulah yang akan dianggap benar. Jika tidak diiringi dengan filter yang baik, nilai, ide, atau informasi yang salah sangat mungkin dianggap benar karena menjadi ide dominan dan dipercaya banyak orang. Dengan demikian timbul pertanyaan, apakah pada akhirnya kualitas sebuah gagasan atau informasi menentukan kesuksesan atau popularitasnya?

Mekanisme kumulatif juga dikenal sebagai efek “yang kaya semakin kaya, yang miskin semakin miskin”. Mekanisme ini telah terjadi di berbagai domain, seperti produksi pengetahuan, produk budaya, ukuran perusahaan, hingga dinamika di jejaring internet. Misalnya, budaya yang berasal dari

negara adidaya kerap dianggap lebih baik dan modern hingga akhirnya mendominasi kebudayaan lain. Riset-riset terkini mencoba mencari tahu faktor apa saja yang dapat memulai proses amplifikasi melalui mekanisme keuntungan kumulatif. Misalnya, pengaruh sosial diketahui turut memicu mekanisme keuntungan kumulatif, yang akhirnya memperlebar kesenjangan di masyarakat. Selain itu berkembang juga penelitian lintas disiplin menggunakan eksperimen, analisis data skala besar dan simulasi komputer, mengenai implikasi struktural dari proses keuntungan kumulatif ini. Pertanyaannya, faktor apa lagi yang memicu mekanisme ini? Apa saja konsekuensi yang belum kita ketahui? Riset-riset di bidang ini semakin penting dilakukan untuk memahami struktur fundamental dan implikasi dinamika dunia global yang semakin terkoneksi.

Menyaring Miliaran Informasi

Penerimaan suatu ide atau informasi pada individu atau masyarakat tidak hanya ditentukan oleh struktur jejaring informasi, tetapi juga oleh proses kognitif di level individu. Hal itu disebut dengan penalaran termotivasi. Dalam proses itu, mekanisme kognitif yang mempengaruhi nilai

atau kepercayaan seseorang akan mempengaruhi proses seleksi terhadap informasi atau fakta yang dia terima.

Seseorang biasanya lebih mudah menerima informasi yang sesuai atau mengkonfirmasi kepercayaannya. Sebaliknya, ia bersikap skeptis terhadap informasi yang bertentangan dengan kepercayaannya. Sebuah eksperimen juga menunjukkan individu berpendidikan tinggi cenderung lebih bias karena terlalu yakin akan kepercayaan dan opininya. Untuk memastikan kebenaran dan kredibilitas informasi yang beredar di masyarakat, sejumlah pertanyaan harus dijawab: bagaimana penalaran termotivasi ini terbentuk? Apa saja implikasi dari proses penalaran termotivasi terhadap seleksi dalam banjir informasi yang kini terjadi? Bagaimana caranya agar nilai-nilai luhur kita sebagai bangsa juga teramplifikasi dan bukannya punah, justru menjadi bagian dari nilai-nilai global?

Kebijakan Publik dan Republik: Bagaimana Dirumuskan?

Jika demokrasi dipercaya sebagai sistem dari rakyat, oleh rakyat, dan untuk rakyat, tata kelola pemerintahan dalam berbagai tingkat dan ranah harus bisa menghasilkan kebijakan publik yang baik untuk masyarakat sekaligus untuk demokrasi. Karena itu, perlu dikembangkan sistem tata kelola yang efektif sekaligus memiliki legitimasi demokratis dengan memanfaatkan keragaman informasi, pengetahuan, dan budaya yang ada.

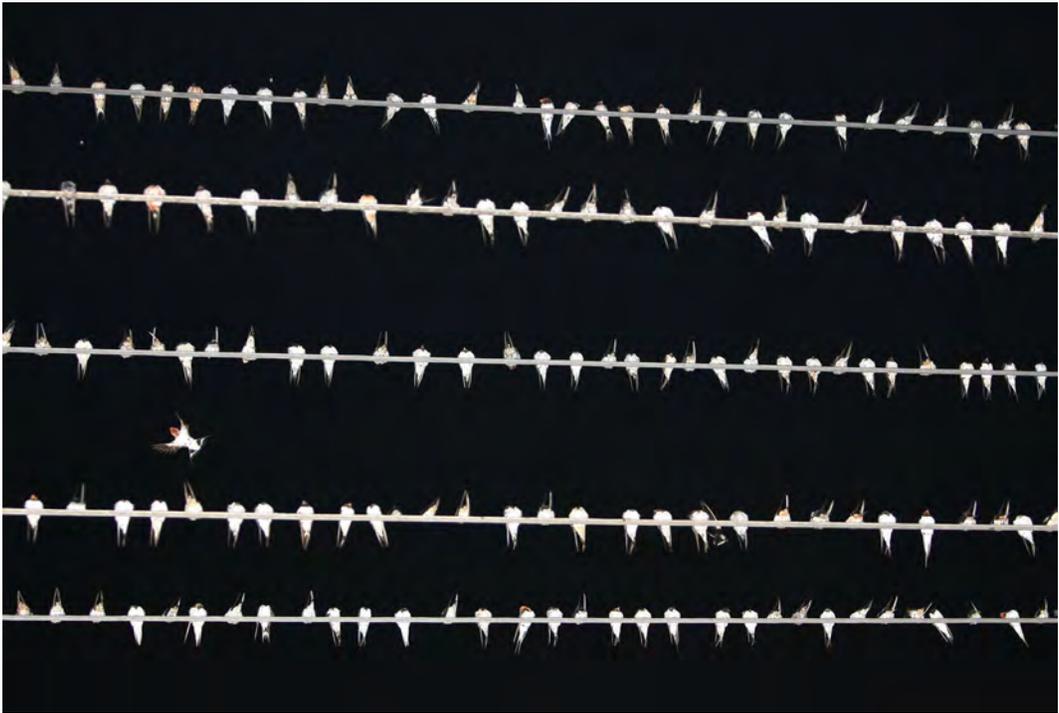
Sejak proklamasi kemerdekaan dikumandangkan pada 17 Agustus 1945, Indonesia telah melalui berbagai perubahan sistem politik dan pemerintahan. Hingga kini pun kita masih berupaya memperbaiki demokrasi yang kita anut. Berbagai bentuk demokrasi yang pernah diterapkan di Indonesia, seperti sistem demokrasi parlementer, demokrasi terpimpin, hingga demokrasi ala Barat yang kini dijalankan, kerap mendapat kritik. Pemerintahan demokratis dinilai tak selalu membawa kebaikan dan kesejahteraan bagi masyarakat. Pertanyaan yang terus-menerus mengusik: benarkah sistem pemerintahan demokratis lebih sulit menghasilkan kebijakan publik yang efektif dan menyejahterakan?

Berbagai tantangan yang dihadapi bangsa Indonesia seperti masalah kemiskinan, lingkungan, pendidikan, pemberantasan korupsi, hingga epidemi global, perlu dipecahkan melalui kebijakan publik. Idealnya setiap kebijakan yang dihasilkan lembaga negara, baik eksekutif, legislatif, maupun yudikatif, harus berdampak positif bagi masyarakat. Namun, dalam sistem pemerintahan demokratis, kebijakan publik yang absah juga harus memenuhi kaidah demokrasi. Kebijakan yang salah dan tidak memperoleh legitimasi dari publik malah dapat

menggerus kepercayaan terhadap pemerintahan demokratis yang telah susah payah diperjuangkan.

Membuat kebijakan yang efektif sekaligus memiliki legitimasi demokratis yang kuat merupakan tantangan tersendiri. Bayangkan ada dua kondisi ekstrem dalam struktur tata kelola. Pertama, sistem yang sangat hierarkis dengan pucuk pimpinan berperan menentukan segala kebijakan tanpa masukan dari bawahan dan konstituennya. Sistem komando yang sangat tersentralisasi ini—seperti pada masa Orde Baru—memang minim ongkos koordinasi sehingga kebijakan dapat dilaksanakan secara efisien dan efektif. Namun proses pengambilan keputusannya sangat elitis sehingga tidak absah dari kacamata demokrasi.

Di ekstrem yang lain terdapat sistem tata kelola yang sangat terdesentralisasi dan demokratis. Setiap kebijakan diambil dengan konsultasi penuh dengan seluruh pemangku kepentingan dan konstituen sehingga memiliki legitimasi demokratis yang kuat. Namun berbagai kepentingan, pandangan, dan nilai yang dimiliki para aktor di dalamnya akan membuat proses pengambilan keputusan cenderung panjang dan berbelit. Misalnya interaksi antara lembaga eksekutif dan legislatif untuk menentukan sebuah kebijakan.



Sekawanan burung walet membentuk suatu komposisi yang indah

KOMPAS/Priyombodo

Tarik-menarik kepentingan dan kompromi juga akan terjadi dalam proses implementasi kebijakan. Akibatnya kebijakan itu tak dapat menyelesaikan masalah secara efektif. Tantangannya adalah bagaimana menemukan struktur optimal di antara kedua kondisi ekstrem itu—untuk menghasilkan keputusan yang baik untuk rakyat maupun demokrasi.

Salah satu faktor yang menentukan kualitas keputusan dalam sistem demokrasi adalah kualitas informasi. Dalam hal itu, soal-soal ini akan terus dihadapi: Bagaimana mengelola

informasi dan pengetahuan agar sampai kepada orang atau kelompok yang tepat, pada waktu dan tempat yang tepat? Bagaimana membangun otoritas berdasarkan persuasi, bukan berdasarkan kekuasaan semata? Metode apa yang dapat dikembangkan untuk mengetahui preferensi publik selain melalui pemilihan umum? Apakah keragaman budaya tata kelola yang kita miliki bisa dijadikan alternatif untuk menjangkau preferensi publik, misalnya lewat metode musyawarah?

Tarik-menarik kepentingan dan kompromi juga akan terjadi dalam proses implementasi kebijakan. Akibatnya kebijakan itu tak dapat menyelesaikan masalah secara efektif. Tantangannya adalah bagaimana menemukan struktur optimal di antara kedua kondisi ekstrem itu—untuk menghasilkan keputusan yang baik untuk rakyat maupun demokrasi.

Salah satu faktor yang menentukan kualitas keputusan dalam sistem demokrasi adalah kualitas informasi. Dalam hal itu, soal-soal ini akan terus dihadapi: Bagaimana mengelola informasi dan pengetahuan agar sampai kepada orang atau kelompok yang tepat, pada waktu dan tempat yang tepat? Bagaimana membangun otoritas berdasarkan persuasi, bukan berdasarkan kekuasaan semata? Metode apa yang dapat dikembangkan untuk mengetahui preferensi publik selain melalui pemilihan umum? Apakah keragaman budaya tata kelola yang kita miliki bisa dijadikan alternatif untuk menjaring preferensi publik, misalnya lewat metode musyawarah?

Demokrasi Kognitif

Selama ini sistem demokrasi lebih banyak dimaknai secara normatif, sebatas perannya dalam menjaga nilai kebebasan dan kesetaraan. Namun

untuk membangun sistem yang demokratis dan efektif, kita perlu melihat aspek kognitif atau praktis dari sistem demokrasi. Aspek itu melihat demokrasi sebagai alat menyelesaikan masalah, terutama dalam mengelola keragaman.

Selama ini riset pemanfaatan keragaman kognitif dalam pengambilan keputusan publik banyak dilakukan dengan simulasi komputer. Bagaimana informatika sosial atau ilmu sosial komputasi dapat menghasilkan ide-ide baru dalam tata kelola pemerintahan? Apakah bentuk kognisi sosial baru seperti media sosial dapat dijadikan sumber informasi dalam proses perumusan kebijakan publik? Jika iya, bagaimana caranya? Eksperimen seperti apa yang harus dilakukan untuk mendapat gambaran proses pengambilan keputusan publik yang memiliki bukti empiris?

Pendidikan yang Membangun Manusia

Pendidikan merupakan kunci utama pembangunan manusia dan kemajuan suatu bangsa. Budaya berpikir kritis, ilmiah, dan inovatif hanya dapat tumbuh melalui pendidikan yang baik, seperti halnya pembangunan karakter, peningkatan pengetahuan, keterampilan, dan daya saing individu maupun bangsa. Tapi realisasinya tidak gampang, terkendala luas dan keragaman wilayah. Bagaimana mewujudkan pendidikan yang bertumpu pada kebutuhan lokal? Bagaimana mengintegrasikan kearifan lokal, budaya ilmiah, dan teknologi?



Anak kelas lima belajar di tenda

KOMPAS/Rony Ariyanto Nugroho

Jauh sebelum Indonesia merdeka, dr. Wahidin Sudirohusodo telah menyadari pentingnya memberikan pendidikan untuk masyarakat. Ia mewujudkan impiannya itu dengan mendirikan organisasi Boedi Oetomo pada 20 Mei 1908. Hingga kini, tanggal tersebut diperingati sebagai Hari Kebangkitan Nasional. Di setiap peringatan hari lahir Boedi Oetomo itu kita bisa merasakan kaitan erat antara kesadaran pendidikan dengan bangkitnya nasionalisme dan semangat memperjuangkan kemerdekaan Indonesia.

Kini, setelah lebih dari 70 tahun merdeka, kita bisa menyaksikan sektor

pendidikan yang berkembang kian baik. Ihtwal tingkat buta aksara di masyarakat, misalnya, telah menurun tajam. Badan Perserikatan Bangsa-Bangsa untuk bidang Pendidikan dan Kebudayaan (UNESCO) memberikan penghargaan kepada Indonesia atas capaian dalam bidang kemampuan membaca dan menulis (literasi), yaitu sebesar 95 persen pada 2012. Itu artinya angka buta huruf tinggal 5 persen atau hampir mendekati Singapura. Angka tersebut tentu tak punya makna apa-apa jika Indonesia tak bisa menghadapi masalah kesenjangan kualitas dan kuantitas sumber daya pendidikan di perkotaan dan perdesaan.

Tak hanya itu, kesenjangan akses pendidikan akibat perbedaan kelas sosial-ekonomi juga terjadi di wilayah yang sama. Jika tak lekas dipecahkan, masalah ini dapat memperburuk ketertinggalan ekonomi, frustrasi sosial, bahkan memicu disintegrasi. Sistem pendidikan seperti apa yang mampu menjangkau masyarakat berbagai wilayah Indonesia yang luas? Bagaimana merancang sistem pendidikan yang sesuai dengan kebutuhan lokal di wilayah dengan karakter yang beragam?

Dalam matra yang lain, pendidikan juga perlu berfokus pada penguatan karakter. Misalnya, membiasakan perilaku positif seperti berlaku jujur, tertib, menghargai orang lain, mampu menerima perbedaan, dan menjauhi kekerasan. Pembangunan karakter ini sangat bergantung pada sinergi antara pendidikan di rumah dan sekolah. Sayangnya tak sedikit orangtua di Indonesia yang cenderung melimpahkan tanggung jawab mendidik anak-anak ke lembaga sekolah. Bagaimana menyeimbangkan aspek kognitif dan nonkognitif sehingga lebih efektif mendorong pembangunan karakter, peningkatan pengetahuan, dan keterampilan? Rancangan dan proses pengajaran seperti apa yang sesuai dengan kebutuhan, kepribadian, dan kekuatan masing-masing peserta didik?

Perlu diakui, masyarakat kita belum terbiasa berpikir kritis terhadap berbagai fenomena alam maupun sosial. Contohnya, ibu yang mengalami gangguan kestabilan emosi setelah melahirkan kerap dianggap diganggu oleh roh jahat, bukannya mengalami gejala psikologis terkait kesehatan. Masyarakat juga belum punya budaya ilmiah yang kompetitif. Lihatlah jumlah publikasi ilmiah dan paten kita yang rendah, itu pun masih sering dinodai kasus plagiarisme. Apa yang salah dengan sistem pendidikan di Indonesia hingga menimbulkan persoalan moral seperti ini? Cara apa yang paling efektif untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis? Bagaimana merevitalisasi atau bahkan merevolusi sistem pendidikan yang konsisten menanamkan pribadi kritis yang haus pada pertanyaan dan pencarian solusi berbasis sains?

Budaya ilmiah maupun kearifan lokal Indonesia sebenarnya amat potensial untuk diintegrasikan ke dalam sistem pendidikan. Berbagai nilai positif terkandung dalam keduanya, seperti kemampuan observasi dan berpikir logis serta kritis, keberanian bertanya, ketangguhan, dan kemampuan menerima perbedaan pendapat tanpa konflik. Kearifan lokal juga dapat menjadi inspirasi bagi pembangunan manusia. Suku Bugis, misalnya, memiliki semboyan *resopa temangingi*

*namalomo naletei pammase dewata*¹ yang mengajarkan ketangguhan. Adapun orang Minang sangat mengutamakan menggali inspirasi dari alam dengan prinsip *alam takambang jadi guru*². *Ing ngarsa sung tuladha, ing madya mangun karsa, tut wuri handayani*³ dari Suku Jawa yang menunjukkan pentingnya keteladanan dipopulerkan tokoh pendidikan Ki Hadjar Dewantara juga merupakan contoh kearifan lokal lain yang amat berharga. Kekayaan kearifan lokal kita juga dapat dilihat pada sistem dan lembaga pendidikan tradisional seperti pesantren, yang telah bertahan dan berkembang melewati berbagai zaman.

Bagaimana mengintegrasikan budaya ilmiah maupun kearifan lokal ke dalam sistem pendidikan agar dapat diajarkan sedini mungkin untuk membangun karakter siswa? Selain dari kearifan lokal, Ki Hadjar juga mengingatkan kita untuk belajar aspek- aspek positif dari bangsa lain. Berkaca dari negara-negara maju, perbaikan sektor pendidikan tak bisa dilakukan secara instan

melainkan membutuhkan perencanaan dan investasi yang besar serta berkelanjutan. Investasi pada bidang-bidang strategis seperti penguatan sekolah pendidik, peningkatan kualitas guru, dan berbagai penelitian mengenai pendidikan sangat perlu dilakukan.

Pendidikan di Era Digital

Perkembangan dunia modern, terutama di bidang digital pasti akan mempengaruhi dunia pendidikan. Kini ada kecenderungan sekolah berlomba-lomba memperbaiki infrastrukturnya, terutama yang berhubungan dengan teknologi agar dipandang lebih berkualitas. Penggunaan internet, komputer, laptop, dan berbagai gawai untuk mendukung aktivitas pendidikan kini sudah tak asing lagi, terutama di kota-kota besar. Apa dampak positif maupun negatif dari berkembangnya era digital bagi pendidikan?

Penggunaan berbagai gawai tentu mempermudah penyebaran informasi. Namun penggunaan gawai dan

¹“Hanya kerja keras tanpa henti yang dapat mengantarkan pada keberhasilan dan berkah Tuhan” yang menggambarkan kekokohan dan ketangguhan.

²“Belajar dari alam lingkungan” yang menggambarkan salah satu bentuk budaya ilmiah dalam mempelajari fenomena alam dan fenomena sosial.

³“Di depan memberi contoh, di tengah memberi semangat, di belakang memberi dorongan” yang mencerminkan salah satu metode penting pembangunan karakter.

teknologi mutakhir tentu tak dapat menggantikan "sentuhan manusia" seperti interaksi antara guru dan murid. Sejauh mana perangkat digital mengambil alih peran manusia dalam pendidikan? Seberapa besar berkurangnya interaksi sosial akan mempengaruhi karakter manusia Indonesia? Haruskah kita mencari sistem baru untuk mempertahankan interaksi manusia dalam pendidikan di era digital?

Untuk Manusia dan Kemanusiaan, di Mana Hukum Harus Berdiri?

Ilmu pengetahuan dan teknologi telah dan akan terus menjadi pendorong utama kemajuan masyarakat, tapi juga membuat masalah kemasyarakatan makin kompleks. Pelaku hukum harus dapat melakukan pemaknaan kontekstual terhadap peraturan, sebab bukankah hukum tak sekadar bangunan peraturan, melainkan bangunan ide, budaya, dan cita-cita bangsa?

Di trotoar Malioboro, Yogyakarta, seorang pedagang asongan rokok terlihat membuka telepon seluler sambil berjongkok. Di bilangan Lebak Bulus, Jakarta, seorang buruh penggali tanah melakukan hal serupa saat menunggu pengguna jasa datang. Di banyak sudut Indonesia, di rumah dan kantor, dalam sedan mewah atau omprengan, pada orang kaya dan biasa, hal serupa gampang dilihat. Mereka bisa melakukan apa saja dengan gawainya: sekadar membaca kabar dari rumah, namun bisa pula mengeja dengan takzim pesan ideologis dari negeri seberang yang asing, menikmati materi pornografi, atau mengunggah ke media sosial serangkaian umpatan yang di dunia nyata bisa kena pasal penghinaan.

Berikut ini kisah lainnya. Di rumah sakit-rumah sakit di negeri tetangga yang menyediakan layanan cangkok organ, pasien dari Indonesia antre menunggu donor, dari mana pun asal organnya. Di negara tetangga lainnya, jasa sewa rahim sedang marak. Operasi mengubah kelamin juga sudah jamak. Apakah hukum kita bisa menyelesaikan semua efek ikutan dari kemajuan sains dan teknologi di atas?

Indonesia adalah negara hukum. Hubungan antarindividu dan dengan

negara tidak berdasarkan kekuasaan, melainkan berdasarkan suatu norma objektif. Undang-Undang Dasar 1945 merupakan hukum dasar tertulis yang menjadi landasan berbagai peraturan di Indonesia. Namun sebagai sebuah negara yang penuh keanekaragaman, ada bermacam norma hukum yang juga berlaku. Selain norma hukum negara, ada norma hukum adat, norma hukum agama, dan norma hukum internasional.

Keempat norma hukum itu tidak selalu seiring, ada kalanya tumpang tindih atau malah bertentangan. Gabungan norma hukum ini juga dapat menimbulkan pluralisme hukum yang berujung pada ketidakpastian hukum. Padahal dunia modern menuntut adanya sentralisme hukum, yaitu kepastian dan standar dalam norma hukum yang berlaku. Jika terjadi konflik antara kedua pendekatan ini, keberadaan hukum justru dapat menjadi faktor penghambat peningkatan kesejahteraan umat manusia.

Pemaksaan satu hukum negara terhadap hukum yang lain juga dapat menimbulkan gejolak sosial. Misalnya, undang-undang pemilu yang mengharuskan pemilihan langsung dapat memicu masalah jika dipaksakan di masyarakat Papua



Nenek Asyani bersimpuh di hadapan Majelis Hakim di PN Situbondo setelah persidangan atas tuduhan pencurian kayu jati

KOMPAS/
Siwi Yunita Cahyaningrum

yang menerapkan hukum adat, yaitu sistem noken. Selain itu gejala fundamentalisme agama dengan pemaksaan hukum satu agama tertentu sebagai dasar pengaturan kehidupan masyarakat yang beragam dapat menimbulkan goncangan sosial. Konsep patriarki dan matriarki dalam konsep keturunan dan hukum waris di Indonesia juga bisa menimbulkan friksi. Bagaimana cara menyelaraskan keempat norma hukum tersebut? Mungkinkah muncul bentuk norma hukum yang baru, sebagai hasil interaksi dari keempat sumber hukum?

Menciptakan Hukum yang Progresif

Berbagai perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi seperti produksi obat dan makanan dengan memanfaatkan medium hewan, donor sperma, sewa rahim, kloning, teknologi DNA, sel punca, media sosial, transaksi keuangan virtual, dan *big data* membutuhkan tafsir baru atas hukum dan peraturan. Kebutuhan ini menuntut adanya norma hukum dan peraturan yang progresif dan responsif terhadap perubahan, serta tidak mengharamkan tafsir ulang atas hukum adat, agama, negara dan internasional. Bagaimana

membangkai berbagai norma hukum untuk mendorong perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di Indonesia?

Progresivitas hukum memiliki sejumlah fondasi, yaitu, (1) hukum ada untuk manusia dan tidak untuk dirinya sendiri; (2) hukum selalu berproses dan tidak bersifat final; (3) hukum adalah institusi yang bermoral kemanusiaan. Sifat responsif hukum dan peraturan dapat diartikan melayani kebutuhan dan kepentingan sosial di masyarakat. Penciptaan dan penerapan hukum tidak lagi menjadi tujuan hukum itu sendiri melainkan untuk tujuan-tujuan sosial yang lebih besar.

Hukum yang progresif akan membuat proses perubahannya tidak lagi berpusat pada peraturan, melainkan pada kreativitas pelaku dalam mengaktualisasikan hukum pada ruang dan waktu yang tepat. Para pelaku hukum progresif dapat membuat perubahan dan menghadirkan keadilan dengan melakukan penafsiran yang baru dan kreatif, tanpa harus menunggu perubahan peraturan. Ini karena hukum sesungguhnya bukan hanya bangunan peraturan, melainkan juga bangunan ide, budaya, dan cita-cita, sehingga harus berorientasi pada kesejahteraan, kebahagiaan, dan kemuliaan manusia. Hukum juga harus mendukung perwujudan keadilan dan berusaha menghilangkan diskriminasi

akibat latar belakang etnik, agama, kelas sosial-ekonomi, maupun orientasi seksual. Hukum sendiri akan berkualitas sebagai ilmu jika senantiasa mengalami proses pembentukan.

Pertanyaannya, bagaimana menyiapkan perangkat hukum yang bersifat progresif, responsif, dan visioner mengikuti perkembangan masyarakat serta sains dan teknologi? Kondisi sosial-ekonomi seperti apa yang ideal untuk menciptakan hukum yang progresif dan responsif akan perkembangan zaman? Pada akhirnya, bagaimana memformulasikan hukum yang tetap memanusiakan manusia?



GLOSARIUM



'Asabiyya

Atau ta'ashub, yang artinya fanatik buta. Perilaku ini merujuk pada solidaritas sosial yang menekankan pada persatuan dan persaudaraan, yang awalnya muncul pada masa pra-Islam dalam konteks klan dan suku. Di masa modern, istilah ini bermakna semangat solidaritas sempit terhadap satu kelompok.

Agromining

Penambangan mineral dengan memanfaatkan tanaman hiperakumulator yang dapat mengakumulasi mineral tertentu dan memanen bijihnya seperti pertanian biasa.

Antisosial

Sikap dan perilaku yang tidak mempertimbangkan keadaan orang lain dan lingkungan sekitarnya, tidak bertanggung jawab serta tidak menyesali kerugian-kerugian akibat perilakunya. Pelaku secara persisten melakukan pelanggaran-pelanggaran aturan dan norma hukum.

Antropogenik

Pencemaran atau kerusakan yang terjadi akibat campur tangan dan aktivitas manusia. Antropogenik terbagi dua, yaitu statis dan dinamis.

Air Baku

Air yang dapat berasal dari sumber air permukaan, cekungan air tanah dan/atau air hujan yang memenuhi baku mutu tertentu sehingga dapat digunakan untuk air minum.

Air Formasi

Air yang ikut terproduksi bersama minyak dan gas. Air ini terjebak dalam bebatuan sedimen, namun juga mengandung komponen mineral.

Aluk Todolo

Aturan tata hidup yang dianut oleh Suku Toraja, Sulawesi Selatan, yang mencakup sistem pemerintahan, kemasyarakatan, dan kepercayaan.

Arab Spring

Gelombang unjuk rasa, kerusuhan, dan perang sipil di negara-negara Arab yang diawali dengan revolusi di Tunisia dan Mesir pada 2010, dan menjalar ke negara-negara lain dalam bentuk perang sipil dan demonstrasi menuntut perubahan pemerintahan dan berlangsung hingga sekarang. Aktivis Arab Spring menggunakan media sosial untuk mengorganisasi segala aktivitasnya.

Arus Lintas Indonesia

Lintasan arus di perairan Indonesia yang membawa massa air hangat dari Samudra Pasifik menuju Samudra Hindia yang relatif lebih dingin.

Baha'i

Agama monoteis termuda, ditemukan oleh Baha'ullah di Iran pada 1844 dan dideklarasikan pada 1863. Dasar ajaran Baha'i adalah asas keesaan Tuhan, kesatuan agama, dan persatuan umat manusia. Penganut agama ini tersebar di seluruh dunia.

Bahang

Panas, hawa panas

Basin

Cekungan di bawah laut

Bioekonomi

Mencakup kegiatan ekonomi yang mengolah sumber daya hayati terbarukan dari daratan dan lautan menjadi bahan pangan, material, dan energi dengan bioteknologi yang inovatif dan efisien.

Biofarmasi

Cabang ilmu farmasi yang mempelajari hubungan antara sifat-sifat fisiko-kimia dari bahan baku obat dan bentuk sediaan dengan efek terapi sesudah obat tersebut digunakan.

Biogeografi

Cabang dari biologi yang mempelajari persebaran spesies dan keanekaragaman hayati berdasarkan ruang dan waktu. Cabang ilmu ini bertujuan mengungkapkan kehidupan suatu organisme dan apa yang mempengaruhi keberadaan, persebaran, dan variasinya, berdasarkan, antara lain, perubahan gerak dinamika bumi, isolasi, dan perubahan iklim.

Bioinformatika

Bidang ilmu multidisiplin yang menerapkan teknik komputasi untuk mengelola dan menganalisis informasi dan data biologis menggunakan metode-metode matematika, statistika, dan informatika.

Biomaterial

Semua bahan yang telah direkayasa sehingga sesuai dengan tubuh (tidak ditolak atau menimbulkan penyakit/meracuni) untuk keperluan pengobatan, penggantian atau rehabilitasi organ dan jaringan tubuh.

Biomedis

Cabang ilmu kedokteran yang menerapkan prinsip-prinsip biologi dan ilmu alam dalam praktik klinis.

Biomimikri

Peniruan model, sistem, dan elemen alam untuk kebutuhan dan mengatasi permasalahan manusia.

Bioprospecting

Eksplorasi senyawa kimia baru dari makhluk hidup di alam secara sistematis untuk mendapatkan sumber-sumber baru senyawa kimia, gen, dan produk alamiah lain untuk tujuan ilmiah dan/atau komersial.

Bioreaktor

Peralatan atau sistem yang mampu menyediakan lingkungan biologis yang dapat menunjang terjadinya reaksi biokimia yang melibatkan organisme atau substansi biokimia aktif, untuk menghasilkan produk yang bermanfaat.

Badai Tropis

Pusaran angin kencang dengan diameter sampai 200 km dan kecepatan lebih dari 200 km/jam serta mempunyai lintasan sejauh 1000 km. Badai tropis di darat dapat mengakibatkan kerusakan

hebat dan dapat menimbulkan korban jiwa.

Big Data

Istilah untuk himpunan data yang sangat besar, rumit, kompleks yang tidak memungkinkan diproses dan diolah dengan perkakas pemroses data tradisional saat ini. Akurasi dalam pengolahan *big data* menambah akurasi keputusan, yang dapat mengurangi biaya dan risiko.

Celah Hidrotermal

Celah atau retakan pada permukaan Bumi tempat keluarnya air panas, umumnya terjadi di daerah yang berdekatan dengan gunung api aktif, lempeng tektonik yang bergeser, atau pada cekungan laut di kedalaman 1.200 meter di bawah permukaan laut atau lebih. Rentang suhu berkisar 5-100 derajat Celcius, sedangkan di laut—disebut asap hitam—suhunya berkisar 250-400 derajat Celcius.

Continental Shelf Pump

Mekanisme untuk diterapkan di perairan dangkal landas kontinen untuk memindahkan karbon dari perairan permukaan ke perairan dalam terdekat.

Deforestasi

Proses penghilangan hutan dengan cara penebangan atau pembakaran untuk diambil kayunya atau mengubah peruntukan lahan hutan menjadi nonhutan, misalnya pertanian, peternakan, industri, atau permukiman.

Desalinasi

Proses menghilangkan kadar garam berlebih

dalam air untuk mendapatkan air yang dapat dikonsumsi.

Disosiasi

Pemecahan molekul dalam proses kimia yang menghasilkan satu atau lebih molekul lain.

Dark Energy

Atau energi gelap adalah energi yang belum diketahui bentuknya dan menjadi hipotesis mengapa alam semesta memuai tetapi tidak melambat oleh gravitasi, justru semakin cepat dan mengalami akselerasi.

Dark Matter

Atau materi gelap, materi yang tidak memancarkan sinar maupun radiasi, tidak memantulkan atau menyerap cahaya maupun radiasi. Keberadaannya dapat dideteksi dari efek gravitasi yang mereka miliki, yang menarik materi-materi di sekitarnya.

Desa Buana

Keterhubungan dan berkurangnya sekat-sekat geografis dan administratif karena komunikasi modern, migrasi, perdagangan, dan komunitas global, melalui televisi, teknologi komunikasi, dan internet. Semua negara dan warga dunia merasakan saling ketergantungan satu sama lain sebagai satu masyarakat.

Djawa Sunda

Dikenal juga sebagai agama Sunda Wiwitan, kepercayaan tradisional masyarakat yang tersebar di sejumlah tempat di Jawa Barat dan Banten, misalnya di Kuningan, Cirebon, Lebak,

dan Kabupaten Bandung.

Eksoplanet

Atau planet luar surya, adalah planet di luar sistem Tata Surya.

Endemi

Terjadinya infeksi pada suatu populasi yang berlangsung di dalam populasi tersebut tanpa adanya pengaruh dari luar.

ENSO—El Niño Southern Oscillation

Penyimpangan variasi pada angin dan suhu permukaan di Samudra Pasifik bagian timur tropis, yang banyak mempengaruhi iklim tropis dan subtropik.

Epidemiologi

Ilmu yang mempelajari dan menganalisis pola, faktor penyebab, dan efek penyakit serta kondisi kesehatan di suatu populasi. Epidemiologi membantu mengembangkan metodologi dalam penelitian klinis dan kajian kesehatan masyarakat.

Estuaria

Badan air setengah tertutup di wilayah pesisir dengan satu sungai atau lebih yang terhubung langsung dengan laut bebas. Estuaria adalah zona transisi antara sungai dan laut yang membawa karakter kedua lingkungan tersebut dan menjadikan estuaria sebagai salah satu habitat alami paling produktif.

Etik

Nilai mengenai benar atau salah yang dianut

suatu golongan atau masyarakat.

Etika

Cabang filsafat yang melakukan sistemasi dan rekomedasi konsep perilaku benar atau salah; seperangkat kepercayaan moral dan peraturan akan hal yang benar dan salah, atau bisa juga kajian mengenai hal benar, salah, baik, buruk, dan tanggung jawab.

Etnobotani

Bidang ilmu yang mempelajari hubungan antara manusia dan tumbuhan. Tujuannya mendokumentasikan, menggambarkan, dan menjelaskan hubungan yang kompleks antara budaya dan tanaman, terutama akan manfaat, pengelolaan, dan pelestariannya; dalam berbagai kegunaan tanaman sebagai bahan pangan, obat, kosmetik, bahan ritual dan praktik keagamaan, dan sebagainya.

Efek Spillover

Atau efek limpahan, kelebihan, atau efek samping, yang terjadi akibat sesuatu yang sepertinya tidak berkaitan.

Ekspedisi Snellius

Ekspedisi oseanologi di perairan Indonesia bagian timur yang dilakukan Belanda pada 27 Juli sampai 25 November 1930. Daerah yang diteliti seluas tiga juta kilometer persegi, yang mencakup kedalaman, suhu, salinitas, kadar oksigen, alkalinitas, dan pengukuran lain di bidang geologi laut. Nama ekspedisi ini diambil dari nama ahli matematika Belanda, Prof.

Willerbrord Snellius yang banyak berjasa di bidang pelayaran.

El Niño

Dari bahasa Spanyol yang artinya "anak laki-laki", yaitu fenomena yang berkebalikan dari *La Niña*, yaitu meningkatnya suhu permukaan laut di Samudra Pasifik sekitar ekuator, khususnya di bagian tengah dan timur secara berkala.

Federalisme

Pembagian negara atas bagian-bagian yang berotonomi penuh mengenai urusan dalam negeri/negara bagian masing-masing.

Fitoremediasi

Upaya pemulihan lingkungan yang rusak menggunakan tanaman untuk membersihkan tanah, air, dan udara yang tercemar bahan kimia. Sejumlah tanaman dapat mengakumulasi ataupun menguraikan bahan pencemar.

Fluida

Zat/bahan yang tidak menolak perubahan bentuk dan memiliki kemampuan untuk mengalir mengikuti wadahnya.

Fotovoltaik

Teknologi dan studi yang berhubungan dengan aplikasi panel surya untuk mengubah sinar matahari menjadi energi listrik.

Genom

Keseluruhan informasi genetik yang dimiliki suatu sel atau organisme.

Geropsikologi

Pengetahuan dan metode ilmu psikologi untuk memahami dan membantu orang lanjut usia dan keluarganya untuk menjaga ketenteraman dan kelayakan hidup, mengatasi masalah, serta berdaya di usia tua.

Gizi Buruk

Kondisi medis yang disebabkan oleh diet yang tak tepat, tak cukup, atau bahkan berlebihan sehingga menimbulkan masalah kesehatan.

Global Carbon Project (GCP)

Didirikan pada 2011 dengan kegiatan mengkuantifikasi emisi karbon global dan penyebab-penyebabnya. Tujuan utama GCP adalah memahami siklus karbon untuk menangani berbagai masalah akibat efek gas rumah kaca.

Hominin

Kelompok manusia modern, spesies manusia yang telah punah, termasuk anggota genus *Homo*, *Australopithecus*, *Paranthropus*, dan *Ardipithecus*.

Hypoxia

Berkurangnya kadar udara di dalam udara atau air sehingga merugikan organisme.

Hizbut Tahrir

Partai politik berideologi Islam yang mencita-citakan berdirinya suatu Khilafah Islamiyah untuk menegakkan hukum-hukum Islam dalam segala aspek kehidupan dan mengemban dakwah

ke seluruh dunia. Hizbut Tahrir berdiri pada 1953 di Palestina dan terus berkembang di seluruh dunia, termasuk di Indonesia sejak 1980-an.

Hukum Waris

Hukum yang mengatur peninggalan harta seseorang yang telah meninggal dunia kepada pihak yang telah ditentukan.

Humaniora Digital

Area penelitian, pengajaran, dan pengelolaan yang menggabungkan material-material digital dan nondigital yang telah didigitalisasi, serta menggunakan berbagai metodologi dari disiplin ilmu humaniora (sejarah, filsafat, linguistik, sastra, arkeologi, musik, dan kajian budaya), ilmu sosial, dengan peranti dari ilmu komputasi (*hypertext*, *hypermedia*, visualisasi data, pemetaan digital, dan lain-lain) serta penerbitan digital.

Hutan Rawa Gambut

Hutan dengan lahan basah dengan aliran air yang buruk, sehingga daun-daun dan kayu mati tidak sepenuhnya membusuk dan terurai. Dalam jangka waktu yang lama, tumpukan ini menebal dan membentuk tanah gambut asam. Tumbuhan berdaun lebar dan tanaman berbunga banyak tumbuh di lahan ini membentuk hutan.

Imunoinformatika

Cabang informatika yang berkait dengan imunologi—ilmu yang mempelajari sistem kekebalan tubuh.

interglasial

Periode di antara dua periode glasial dengan suhu udara lebih hangat.

In Silico

Dari bahasa Latin yang berarti “di dalam silicon—komputer”, yaitu eksperimen menggunakan simulasi atau pemodelan komputer.

Indian Ocean Dipole (IOD)

Gejala penyimpangan cuaca yang dihasilkan akibat interaksi suhu permukaan dua wilayah kutub (dipole), yaitu di bagian barat Samudra Hindia (Laut Arab) dan bagian timur Samudra Hindia (selatan Indonesia). IOD mempengaruhi iklim di Australia dan negara-negara di sekitar Samudra Hindia.

Intrusi Air Laut

Masuk atau menyusupnya air laut ke dalam pori-pori batuan dan mencemari air tanah sebagai sumber air minum.

Jasa Ekosistem

Manfaat yang diperoleh manusia dari suatu ekosistem, termasuk jasa penyediaan, seperti pangan dan air, jasa pengaturan seperti pengaturan terjadinya banjir, kekeringan, degradasi lahan dan penyakit; jasa pendukung seperti pembentukan tanah dan siklus hara; serta jasa kultural seperti rekreasi, budaya, ritual keagamaan, dan manfaat nonmaterial lainnya.

Jebakan Negara Pendapatan

Kelas Menengah

Perekonomian sebuah negara yang sudah mencapai tingkat pendapatan per kapita yang tergolong kelas menengah, tetapi sulit naik kelas ke status pendapatan tinggi selama jangka waktu tertentu (23 tahun).

Kaharingan

Kepercayaan tradisional suku Dayak di Kalimantan, yang artinya "tumbuh" atau "hidup".

Konveksi

Pergerakan molekul-molekul fluida dan *rheid* sebagai salah satu cara perpindahan panas dan massa utama. Konveksi tidak dapat terjadi pada benda padat.

Korosi

Kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi suatu logam dengan berbagai zat di lingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki, atau biasa disebut perkaratan.

Kosmopolitanisme

Paham yang menyatakan bahwa seluruh umat manusia merupakan satu komunitas tunggal sebagai warga dunia dengan moralitas inklusif yang sama, sehingga batas negara dan budaya tak lagi relevan.

Kedokteran Regenerasi

Cabang ilmu interdisiplin dari bidang biomedis, biologi molekuler, dan rekayasa jaringan yang

berhubungan dengan proses penggantian, rekayasa, atau memperbarui sel tubuh, jaringan, atau organ, untuk memulihkan fungsinya.

Konservasi Air

Perilaku atau kegiatan pengelolaan air dengan mengurangi pemakaian dan kehilangan air, sehingga berkurang juga limbahnya; mencegah kerusakan kualitas air, serta meningkatkan praktik pengelolaan air untuk pemanfaatan air yang berkelanjutan.

Kolam Hangat Indo-Pasifik

Kolam air hangat dengan temperatur permukaan laut terpanas, yaitu sekitar 28 derajat Celcius. Kolam besar ini terentang dari Samudra Hindia tropis bagian timur sampai Samudra Pasifik tropis bagian barat.

Kontrol Vektor Biologis

Metode untuk mengurangi atau memberantas agen pembawa penyakit seperti burung, serangga, mamalia supaya tidak menular kepada manusia menggunakan hewan lain yang berfungsi sebagai pemangsa, parasit, atau pesaing, sehingga dapat mengurangi populasi vektor pembawa penyakit atau mencegah penularan.

Linguistik

Ilmu yang mempelajari bahasa, yang meliputi bentuk bahasa, makna bahasa, dan bahasa dalam konteks. Linguistik terbagi-bagi dalam beberapa sub-ilmu, antara lain fonologi, morfologi, semiotika, sintaksis, dan fonetik.

La Niña

Dari bahasa Spanyol yang artinya “gadis kecil”, yaitu fenomena menurunnya suhu permukaan laut di kawasan timur ekuator di Lautan Pasifik. *La Niña* tidak dapat dilihat secara fisik, periodenya pun tidak tetap.

Laboratorium Hidup

Sebuah konsep penelitian dalam sebuah wilayah, menggabungkan riset dan proses inovasi dalam kemitraan dengan masyarakat dan/ atau institusi-institusi di dalamnya, melalui eksplorasi, evaluasi gagasan, konsep, dan skenario dalam kehidupan nyata. Masyarakat atau institusi di dalamnya tidak hanya sebagai objek penelitian, namun juga sumber kreasi dan penemuan.

Lempeng Tektonik

Terbentuk oleh kerak benua atau kerak samudra, dan lapisan batuan teratas dari mantel bumi.

Mekatronika

Cabang ilmu multidisiplin yang menggabungkan sistem rekayasa, teknik mekanika, teknik elektro, teknik telekomunikasi, dan informatika. Mekatronika awalnya merupakan gabungan dari mekanika dan elektronika, namun berkembang seiring kompleksitasnya.

Mikrobiom

Mikroorganisme (bakteri dan fungi, bukan virus dan parasit) yang menghuni bagian-bagian tubuh tertentu, misalnya usus, vagina, kulit, dan mulut. Mikrobiom berperan penting

dalam kehidupan individu, sebagian bahkan menguntungkan.

Mikronutrien

Zat gizi yang dibutuhkan tubuh secara terus-menerus dalam jumlah sedikit namun mempunyai peran sangat penting dalam menunjang aktivitas, pembentukan hormon, enzim, dan mengatur fungsi sistem imun serta sistem reproduksi. Mikronutrien tidak dapat dihasilkan sendiri oleh tubuh, melainkan dari makanan.

Mitigasi

Tindakan mengurangi dampak bencana.

Multikulturalisme

Suatu penerimaan dan penghargaan atas berbagai perbedaan, misalnya ras, suku, budaya, agama, bahasa, orientasi seksual, dan sebagainya. Multikulturalisme merupakan pandangan politik dan kebijakan di banyak negara untuk menyikapi perbedaan agama dan budaya.

Madden-Julian Oscillation (MJO)

Fluktuasi musiman atau variasi intraseasonal (30-90 harian) di daerah tropis, yang umumnya berakibat pada anomali air, suhu permukaan laut, awan, dan intensitas hujan.

Masa Revolusi

Rangkaian konflik bersenjata dan diplomasi sejak proklamasi kemerdekaan hingga pengakuan kemerdekaan Indonesia oleh Kerajaan Belanda pada 29 Desember 1949.

Melting Pot

Atau kualiti peleburan, yaitu metafora yang digunakan untuk menyebut suatu negara atau wilayah yang penduduknya terdiri dari berbagai latar belakang bangsa, budaya, agama, dan ras, membentuk masyarakat yang melebur membentuk satu identitas baru.

Molekul Sinyal

Molekul yang bertanggung jawab untuk transmisi informasi antara sel-sel dalam tubuh. Ukuran, bentuk, dan fungsi berbagai jenis molekul sinyal berbeda-beda.

Naturalis

Seseorang yang mempelajari hewan dan tumbuhan serta aspek-aspek perubahannya langsung di alam.

Pela

Sistem perjanjian hubungan antara satu negeri/kampung dengan negeri/kampung lainnya di dalam masyarakat Maluku. Perjanjian ini dianggap sebagai ikatan persaudaraan yang dianggap suci dan membuat negeri/kampung yang terikat dalam tradisi ini harus saling menjaga dan membantu meskipun berbeda agama.

Narsisme

Mengagumi dan mencintai diri sendiri secara berlebihan, termasuk salah satu kelainan mental dan masalah sosial serta budaya. Narsisme diambil dari kisah pemuda Narcissus yang jatuh cinta pada dirinya sendiri ketika melihat bayangannya sendiri di air.

Negara-bangsa

Konsep kenegaraan di mana warga yang tinggal di suatu negara juga merupakan bangsa dari negara tersebut. Misalnya, Jepang dan Korea.

Nilai Ekosistem Keseluruhan

Adalah konsep analisis nilai manfaat moneter yang dihasilkan manusia dari sumber daya alam, sistem infrastruktur, atau sumber daya warisan karya manusia, dibandingkan bila sumber daya tersebut tidak dimiliki.

Osmosis Terbalik

Metode penyaringan air menggunakan penyaring semipermeable, dengan memaksa pelarut dari konsentrasi zat terlarut tinggi ke konsentrasi zat terlarut rendah dengan menerapkan tekanan melebihi tekanan osmosis.

Paleoclimate

Iklm dari waktu geologis yang telah lampau.

Pandemik

Wabah penyakit menular yang tersebar di wilayah yang sangat luas, dapat meliputi beberapa benua atau bahkan seluruh dunia.

Paranoia

Kelainan mental serius, penderita merasa orang lain dan lingkungannya berkonspirasi untuk melakukan kejahatan terhadap dirinya, atau mengira semua orang tidak menyukainya.

Patogen

Agen biologis yang menyebabkan penyakit pada inangnya.

Padang Lamun

Ekosistem khas laut dangkal di perairan dangkal (kurang dari tiga meter) yang didominasi lamun (rumpun laut). Padang lamun dapat dianggap sebagai bagian dari ekosistem mangrove, walaupun juga dapat berdiri sendiri. Lamun sering disalahartikan sebagai gulma laut (biasa disebut rumput laut juga, padahal jenisnya alga/ganggang). Lamun adalah tumbuhan sejati yang memiliki akar, batang, daun, bunga, dan biji. Lamun merupakan sumber makanan bagi banyak spesies dari invertebrata mini, ikan, sampai mamalia laut dan burung.

Pirolisis

Perubahan secara kimiawi yang terjadi karena panas.

Pleistosen

Kala dalam skala waktu geologi 2.588.000 sampai 11.700 tahun lalu, yang dibagi menjadi tiga periode lagi, yaitu Pleistosen Awal, Pleistosen Tengah, dan Pleistosen Akhir. Pada masa Pleistosen ini muncul *Homo sapiens* pertama dan kepunahan *Pithecanthropus erectus*.

Pluralitas

Kemajemukan, keragaman.

Pemanasan Global

Proses meningkatnya suhu rata-rata atmosfer, laut, dan daratan Bumi. Sebagian besar ilmuwan menyimpulkan bahwa peningkatan suhu global ini akibat aktivitas manusia.

Pemutihan Karang

Perubahan warna pada jaringan karang dari warna alaminya menjadi putih pucat. Pemutihan karang terjadi karena hilangnya alga simbiotik zooxanthellae yang hidup di jaringan karang. Tanpa alga ini, karang tidak akan hidup lama.

Penyakit Baru

Penyakit menular yang sebelumnya tidak dikenal dan baru diidentifikasi keberadaannya yang menyebabkan masalah kesehatan masyarakat baik regional maupun internasional.

Penyakit Degeneratif

Penyakit yang mengiringi proses penuaan akibat proses berkelanjutan atas sel yang menua, sehingga mempengaruhi jaringan dan organ. Contoh penyakit degeneratif adalah jantung, stroke, dan osteoporosis.

Penyakit Gaya Hidup

Penyakit yang terkait gaya hidup—kebiasaan merokok, minuman beralkohol, olahraga, pola makan dan diet—misalnya, stroke, kanker, penyakit jantung, kegemukan, dan diabetes tipe 2.

Penyakit Infeksi

Serangan dari agen penyebab penyakit dalam jaringan tubuh, seperti virus, bakteri, atau parasit. Penyakit infeksi juga disebut penyakit menular.

Periode Glasial

Ketika suhu udara menurun dalam jangka waktu yang lama sehingga menyebabkan peningkatan

luas es di kawasan kutub dan gletser gunung. Periode ini dapat terjadi berkali-kali dengan diselingi masa dengan temperatur lebih hangat.

Pertanian molekuler

Pertanian yang menggunakan organisme tingkat rendah (mikroba) atau organisme tingkat tinggi (tanaman/hewan) yang sudah mengalami perlakuan khusus (direkayasa secara genetik) untuk berproduksi.

Pluralisme Hukum

Situasi di mana terdapat lebih dari satu sistem hukum dalam kehidupan sosial.

Pribumi Digital

Generasi yang lahir dan dibesarkan dalam dunia yang sepenuhnya digital, yang berbeda dengan generasi sebelumnya, misalnya dalam hal komunikasi, interaksi sosial, budaya, transaksi ekonomi, dan lain-lain.

Proses Kalsifikasi

Proses pembentukan kalsium pada jaringan lunak dan membuatnya menjadi keras.

Penyakit Muncul Kembali

Penyakit menular yang pernah dikenal dan kejadiannya telah turun drastis sehingga tidak lagi dianggap sebagai masalah kesehatan, namun kemudian muncul kembali dengan jumlah kejadian yang semakin meningkat.

Remediasi

Kegiatan untuk membersihkan permukaan tanah

atau lingkungan yang tercemar (aksi untuk membersihkan/menghilangkan zat tercemar bisa pada tanah, air dan udara).

Rekayasa Genetik

Manipulasi langsung untuk mengubah susunan genetik suatu organisme untuk mencapai manfaat tertentu menggunakan bioteknologi. Pemuliaan tanaman dan hewan merupakan salah satu penerapan rekayasa genetik.

Reklamasi Lahan

Kegiatan untuk meningkatkan manfaat sumber daya lahan ditinjau dari sudut lingkungan dan sosial ekonomi dengan cara pengurangan atau pengeringan lahan, biasanya dilakukan di kawasan yang berair sehingga perlu dikeringkan untuk menambah luas daratan.

Revolusi Industri

Terjadinya perubahan besar-besaran pada rentang waktu 1750-1850, yaitu transisi dalam proses manufaktur dari produksi menggunakan tangan menjadi tenaga mesin, efisiensi tenaga air, penggunaan tenaga uap dan bahan kimia, serta munculnya sistem pabrik. Revolusi Industri diawali di Britania Raya dan menyebar ke Eropa Barat, Amerika, dan Jepang, meliputi bidang pertanian, manufaktur, pertambangan, transportasi, dan teknologi serta berdampak besar pada kondisi sosial, ekonomi, dan budaya secara global.

Revolusi Iran

Disebut juga Revolusi Islam, mengubah Iran dari

monarki di bawah kekuasaan Shah Mohammad Reza Pahlavi menjadi Republik Islam di bawah Ayatullah Khomeini, pemimpin revolusi dan pendiri Republik Islam Iran. Revolusi Iran berlangsung Januari 1978 sampai Februari 1979. Republik Islam Iran resmi berdiri pada 1 April 1979.

Revolusi Komunikasi

Ledakan teknologi komunikasi yang ditandai dengan meningkatnya penggunaan satelit, mikroprosesor, komputer, internet, radio, dan perubahan-perubahan yang terjadi di bidang sosial, ekonomi, politik, budaya, dan gaya hidup serta perilaku manusia. Revolusi komunikasi merupakan salah satu dari sekian revolusi dalam sejarah manusia, di antaranya Revolusi Industri dan revolusi pertanian.

Separatisme

Paham atau gerakan untuk memisahkan diri, membentuk suatu negara atau pemerintahan baru

Sikh

Atau disebut juga Sikhisme, yaitu agama monoteis yang muncul pada abad ke-15 di wilayah Punjab, Asia Selatan. Penganut Sikh—disebut kaum Sikh—mempercayai Tuhan yang tunggal dan ajaran 10 Guru. Agama Sikh dipengaruhi ajaran-ajaran Hindu dan Islam Sufi.

Sphere

Ranah, lingkup, lingkungan.

Supernova

Ledakan besar suatu bintang di galaksi yang menandai berakhirnya riwayat suatu bintang. Ledakan ini akan terlihat seperti bintang baru yang sangat cemerlang, sebelum akhirnya redup dalam hitungan minggu atau bulan.

Salad Bowl

Atau mangkuk gado-gado, suatu metafora untuk menyebut negara atau wilayah yang penduduknya terdiri dari berbagai latar belakang bangsa, budaya, agama, dan ras. Keragaman ini dibiarkan hidup berdampingan dengan tetap mempertahankan identitas dan budaya asal, diakomodasi dan dianggap sebagai kontribusi kekayaan negara.

Sel Punca

Sel yang belum berdiferensiasi dan memiliki potensi sangat tinggi untuk berkembang menjadi berbagai jenis sel. Sel punca juga berfungsi sebagai sistem perbaikan untuk mengganti sel-sel tubuh yang telah rusak demi kelangsungan hidup organisme.

Sel Surya

Perangkat yang mampu mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan mengikuti prinsip fotovoltaik.

Siklus Biogeokimia

Perputaran unsur kimia di antara lapisan biotik (bisofer) dan abiotik (atmosfera, hidrosfer, dan litosfer). Sesuai namanya, yang terlibat dalam siklus ini adalah faktor biologi, geologi, dan

kimia. Contoh siklus biogeokimia adalah siklus air, siklus oksigen, atau siklus nitrogen.

Siklus Hidrologi

Sirkulasi air yang tidak pernah berhenti dari atmosfer ke Bumi dan kembali ke atmosfer melalui kondensasi, presipitasi, evaporasi, dan transpirasi.

Spesies Endemik

Spesies khas yang hanya ada di wilayah tertentu. Misalnya, anoa dan babirusa hanya ditemukan di Sulawesi; atau komodo hanya ditemukan di Pulau Komodo, NTT.

Sabuk Api Pasifik

Daerah di cekungan Samudra Pasifik yang sering mengalami gempa bumi dan letusan gunung berapi. Wilayahnya menyerupai bentuk tapal kuda sepanjang 40.000 km meliputi Selandia Baru sampai Nikaragua, termasuk Kepulauan Indonesia.

Transnasionalisme

Fenomena sosial yang muncul karena manusia semakin terhubung, sehingga batas negara dan ekonomi semakin kabur. Teknologi komunikasi, transportasi, perdagangan, dan migrasi merupakan beberapa penyebab pemicu fenomena ini.

Tunikata

Hewan invertebrata laut, anggota filum Chordata. Tunikata yang umum dikenal antara lain babi laut dan tulip laut.

Tingkat Trofik

Posisi organisme dan hubungannya dalam rantai makanan, dari produsen hingga predator.

Tomografi Seismik

Metode untuk merekonstruksi struktur bawah permukaan Bumi menggunakan data berupa gelombang atau data waktu tempuh dari gelombang seismik. Metode ini digunakan untuk memperoleh profil sebaran batu-batuan, sifat fisik, dan kecepatan perambatan.

Ugamo Malim

Agama tradisional suku Batak di Sumatera Utara. Penganut terbesarnya adalah subetnik Batak Toba.

Virulensi

Tingkat kerusakan yang dapat disebabkan oleh suatu mikroba terhadap inangnya; kemampuan suatu mikroorganisme untuk menimbulkan penyakit.

Virus Nipah (NiV)

Penyakit zoonosis baru yang menyebabkan gangguan pernafasan akut dan ensefalitis, baik pada hewan maupun pada manusia. NiV pertama kali muncul sebagai wabah di Kampung Sungai Nipah, Malaysia, pada 1998, dengan perantara babi. Namun pada kasus berikutnya di Bangladesh tahun 2004, virus menular melalui getah buah nipah yang terkontaminasi kelelawar yang telah terinfeksi NiV. Penularan langsung antarmanusia tanpa perantara hewan juga terjadi.

Zoonosis

Penyakit yang dapat ditularkan dari hewan yang terinfeksi bakteri, virus, parasit, dan jamur ke manusia ketika terjadi kontak antara hewan dan manusia, baik kontak langsung atau melalui udara.

Zat Aditif

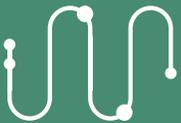
Suatu zat yang ditambahkan untuk mengubah atau menambah kualitas suatu materi atau mengurangi bagian-bagian yang tak diinginkan.

Zona Afotik

Zona tanpa cahaya matahari, atau hanya mendapatkan penetrasi cahaya matahari kurang dari 1%.



LAMPIRAN



LAMPIRAN 1: TIM PENYUNTING TEMPO INSTITUTE

1. Yosep Suprayogi
2. Mardiyah Chamim
3. Purwanto Setiadi
4. Yos Rizal Suriaji
5. S. Qaris Tajudin
6. Philipus Parera
7. Idrus F. Shahab
8. Dodi Hidayat

LAMPIRAN 2

FORUM ILMUWAN MUDA

INDONESIA:

1. Achmad Dinoto
2. Adlin Sila
3. Agus Haryono
4. Ahmad Faqih
5. Ahmad Helmy Fuady
6. Ahmad Rusdan Handoyo Utomo
7. Ali Akbar
8. Andika Widya Pramono
9. Andria Agusta
10. Andy Bangkit Setiawan
11. Anto Satryo Nugroho
12. Aprina Murwanti
13. Arif Nuryawan
14. Arli A. Parikesit
15. Asmi Citra Malina
16. Bagus Aryo
17. Berry Juliandi
18. Corina D. S. Riantoputra
19. Diah Permata
20. Dodi Safari
21. Dwi Hendratmo Widyantoro
22. Dwi Susilaningsih
23. Edvin Aldrian
24. Eko Yulianto
25. Elvi Restiawaty
26. Emi Roslinda
27. Eniya Listiani Dewi
28. Fatma Sri Wahyuni
29. Fenny Martha Dwivanny
30. Firman Witoelar
31. Fitria Rahmawati
32. Gietty Tambunan
33. Gino Valentino Limmon
34. Hadiyanto
35. Hagi Yulia Sugeha
36. Harjoni Desky
37. Harry Susianto
38. Heni Rachmawati
39. Hermansyah
40. Husin Alatas
41. Imam Kambali
42. Inaya Rakhmani
43. Iqbal RF Elyazar
44. Irmanida Batubara
45. Is Helianti
46. Ismunandar
47. Jajah Fachiroh
48. Jajang Rohmana
49. Jonatan Lassa
50. Ketut Wikantika
51. Kiki Vierdayanti
52. Kundharu Saddhono
53. Kurniawati Hastuti Dewi
54. Lisman Suryanegara
55. Lukman Hakim
56. Luky Adrianto
57. Lutfi Firdaus
58. M. Basyuni

59. M. Chalid
60. M. Ikhlasul Amal
61. M. Sayuti
62. Manneke Budiman
63. Maria Meinita
64. Marlina Ardiyani
65. Mirra Noor Milla
66. Mirwan Ushada
67. Mochamad Chalid
68. Muh. Aris Marfai
69. Neni Nurainy
70. Nur Arfiyah Febriani
71. Ocky K. Radjasa
72. Ofita Purwani
73. Poerbandono
74. Puspita Lisdiyanti
75. Rajesri Govindaraju
76. Retno Supriyanti
77. Rika Raffiudin
78. Rinovia Simanjuntak
79. Rintis Noviyanti
80. Rohani Ambo Rappe
81. Roma Ulinnuha
82. Sahiron Syamsuddin
83. Samsul Maarif
84. Satya Nugroho
85. Siana Halim
86. Sonny Mumbunan
87. Sri Fatmawati
88. Sri Widiyantoro
89. Sulfikar Amir
90. Topik Hidayat
91. Tuswadi
92. Utut Widyastuti
93. Uyi Sulaeman
94. Vanny Narita
95. Wahyu W. Pandoe
96. Wignyo Adiyoso
97. Yodi Mahendradhata
98. Yosmina Tapilatu
99. Zaki Suud
100. Zakiyuddin Baidhawiy

TERIMA KASIH

1. Armida S. Alisjahbana
2. Emil Salim

LAMPIRAN 3

KONTRIBUTOR

1. Anna Erliyana Chandra
2. Augy Syahailatua
3. Bambang Hidayat
4. Bruce Alberts
5. Djamaster Simarmata
6. Jatna Supriatna
7. Muhammad Nur Heriawan
8. Taufiq Hidayat
9. Tika Y. Sukarna