

**SUMBER DAYA ALAM
sebagai modal dalam
PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN**

PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN

**SUMBER DAYA ALAM
sebagai modal dalam
PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN**

Editor

Soenartono Adisoemarto

**LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA
1998**

KATALOG DALAM TERBITAN

Sumber daya alam sebagai modal dalam pembangunan berkelanjutan / editor, Soenartono Adisoemarto. -- Jakarta : Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, 1998
125 hal. -- (Pembangunan berkelanjutan)

1. Natural resources - Indonesia. 2. Indonesia - Economic policy. I. Adisoemarto, Soenartono. II. Seri. III. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

DDC 333.709598

ISBN 979-8958-40-3

Cetakan pertama

Dicetak oleh LIPI Press

KATA PENGANTAR

Berkelanjutan atau *sustainable* merupakan kata kunci yang sangat penting di negeri ini yang sedang menghadapi krisis pada penghujung Millenium Kedua ini. Oleh sebab itu, kata kunci inilah yang mengemuka pada topik buku yang diterbitkan oleh Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) dalam rangka menyambut ulang tahunnya yang ketiga puluh pada tahun 1998.

Gagasan mula buku ini merupakan hadiah dari para peneliti, terutama Para Ahli Peneliti Utama selaku pemuncak, sehingga kelima jilid buku ini merupakan hablur mutiara yang menggumpal pada perjalanan perkembangan kompetisi kepakarannya. Oleh sebab itu, akan kita dapatkan untaian mutiara kepakaran hasil kontemplasi para peneliti pada jelajah ruang seluas lingkup LIPI itu sendiri.

Walaupun pada garis besarnya pembangunan nasional adalah pembangunan berkelanjutan, dalam kenyataannya ekonomi menjadi fokus pembangunan, dengan manusia sebagai pelaku, alam sebagai objek dan lingkungan, teknologi sebagai perangkat utama proses peningkatan nilai tambah dengan metrologi sebagai salah satu komponen penentu produktivitas dan kualitas. LIPI dalam fungsi sebagai tangki pemikir Pemerintah dan masyarakat dituntut menghasilkan temuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang menjawab atau mengantisipasi permasalahan nyata dari pembangunan nasional dengan segala implikasinya, mempunyai komitmen untuk tetap menyumbang pada pembangunan ilmu dan teknologi itu sendiri.

Untuk itulah, untaian buku ini terdiri dari lima buku yang berdiri sendiri, tetapi erat terkait pada kata kunci pembangunan yang berkelanjutan. Masing-masing memperlihatkan skala keluasan dan kedalamannya yang sangat beragam karena mengikuti disiplin ilmu dan permasalahan yang dilingkapinya.

Sumber daya alam merupakan tema utama dari buku '*Sumber Daya Alam Sebagai Modal dalam Pembangunan Berkelanjutan*' yang membahas tentang air, pangan, sumber daya hewani, serta sumber daya hayati pesisir dan kelautan.

Pada buku '*Apresiasi Perkembangan dan Penerapan Teknologi*', dibahas perkembangan beberapa bidang teknologi yang sangat relevan dengan pembangunan nasional.

Dimensi manusia mengemuka pada buku '*Dimensi Manusia dalam Pembangunan Berkelanjutan*' yang membahas dampak globalisasi terhadap

perilaku tenaga kerja sebagai pelaku utamanya.

Sebagaimana halnya ilmu pengetahuan dan teknologi, kegiatan pengukuran atau metrologi dibahas dalam buku '*Peranan Metrologi dalam Pembangunan Berkelanjutan*', dengan penekanan pada aspek kegiatan dan institusinya guna menunjang industrialisasi melalui jaminan mutu.

Buku '*Pencapaian Ilmu LIPI Selama Pelita VI (1993–1997) (Suatu Model Evaluasi)*', mengemukakan evaluasi diri terhadap hasil pencapaian iptek LIPI, antara lain, ketahanan, keluasan, manfaat, serta skala dampaknya. Walaupun kerangka evaluasi ini dapat diterapkan pada pencapaian ilmu pengetahuan dan teknologi dari lembaga mana pun, pada buku ini diterapkan pada pencapaian iptek LIPI selama Pelita VI.

Pada kesempatan ini kami mengucapkan terimakasih kepada Dr. Yayah B. Mugnisjah Lumintaintang dari Pusat Pembinaan dan Pengembangan Bahasa yang telah membantu dalam penyuntingan bahasa buku-buku tersebut di atas.

Meskipun jauh dari sempurna, upaya awal penerbitan untaian buku ini patut dilaksanakan LIPI untuk menampilkan kegiatan yang berbobot ilmiah, sejalan dengan perkembangan ilmu dan teknologi serta tuntutan masyarakat yang mendambakan kemajuan dalam kehidupannya.

Jakarta, Oktober 1998

**Roestamsjah
Ketua Koordinator
Majelis Ahli Peneliti Utama LIPI**

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	iii
Pendahuluan	1
Antisipasi 'Krisis Air' di Awal Abad XXI	
<i>P.E. Hehanussa</i>	6
Sumber Daya Hayati untuk Ketahanan Pangan Indonesia	
<i>Setijati D. Sastrapradja.....</i>	17
Pengelolaan Satwa Nusantara: suatu Gagasan demi Peningkatan Mutu Kehidupan Bangsa	
<i>Soenartono Adisoemarto</i>	38
Keanekaragaman dan Peran Jasad Renik dalam Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia	
<i>Susono Saono</i>	58
Sumber Daya Hayati Pesisir dan Lautan dalam Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia	
<i>Kasjan Romimohtarto dan Subagjo Soemodihardjo</i>	87
Rangkuman	117

PENDAHULUAN

Paradigma pembangunan konvensional yang banyak diikuti dewasa ini menggambarkan berkesinambungannya pembangunan. Kesinambungan ini terdiri atas bermacam proses yang saling terkait, tanpa adanya hambatan yang berarti, baik yang bersifat sosial dan teknologi, maupun yang berasal dari alam sendiri. Proses-proses tersebut melibatkan berbagai unsur, di antaranya

- a. pasar, investasi swasta, dan kompetisi;
- b. perdagangan dan aliran modal bebas yang mendorong globalisasi produk serta pasar tenaga kerja;
- c. industrialisasi dan urbanisasi yang tinggi;
- d. individualisme sebagai daya dorong manusia dan dasar kehidupan yang makmur, dan
- e. negara bangsa dan demokrasi liberal sebagai bentuk pemerintahan modern.

Dalam gambaran tersebut faktor-faktor yang membentuk dunia pada Abad XXI yang dapat dilihat ialah globalisasi dan makin berkembangnya berbagai gejala. Revolusi informasi, penyatuan budaya skala dunia secara cepat, meluasnya nilai-nilai konsumerisme dan individu, konvergensi ekonomi, teknologi dan budaya negara-negara berkembang ke negara-negara industri, dominasi perusahaan-perusahaan raksasa internasional yang meningkat di bidang ekonomi dunia, serta lahirnya ekonomi tanpa batas merupakan beberapa di antara gejala yang diharapkan akan berkembang (IUCN, 1991; Raskin dkk., 1996).

Dari gambaran tersebut terlihat jelas diabaikannya/minimnya perhatian terhadap peranan sumber daya alam dan ekosistem dengan akibat merosotnya kondisi lingkungan. Pada gilirannya merosotnya kondisi lingkungan menyebabkan turunnya daya dukung mereka sehingga pembangunan tidak dapat berlangsung sebagaimana direncanakan, dan dengan demikian menjadi tidak berkelanjutan.

Pembahasan mengenai subjek pengelolaan sumber daya alam untuk pembangunan berkelanjutan tidak dapat dilepaskan dari asas pembangunan berkelanjutan. Asas ini bertumpu pada dua langkah yang saling berkaitan dan harus saling menunjang (komplementer)

1. peningkatan mutu kehidupan manusia, dan
2. kiat mempertahankan kemampuan bumi untuk tetap mempunyai vitalitas dan keanekaragamannya (IUCN, 1991).

Ditekankannya keterkaitan dan ciri komplementer kedua langkah tersebut dalam asas pembangunan berkelanjutan ialah karena adanya kecenderungan bahwa pembangunan yang dimaksudkan untuk meningkatkan mutu kehidupan manusia akan mengabaikan keberlanjutan lingkungan (IIDS, 1992). Oleh karena itu, penting sekali untuk berpegang pada pengertian bahwa pembangunan berkelanjutan ialah *upaya untuk meningkatkan mutu kehidupan manusia, sementara hidup di dalam daya dukung suatu ekosistem yang menunjang*.

Untuk meningkatkan mutu kehidupan manusia diperlukan strategi. Strategi ini haruslah yang memungkinkan masyarakat memperoleh di antaranya akses kepada sumber daya yang diperlukan bagi taraf hidup yang layak berdasarkan asas berkelanjutan. Keberlanjutan ini, selanjutnya, tidak dapat dilepaskan dari peningkatan produktivitas dan mutu lingkungan dan pemantapan konsumsi sumber daya (IUCN, 1991). Salah satu upaya dalam mengimplementasi strategi tersebut ialah pelestarian sumber daya alam. Sumber bahan kehidupan ini harus dilestarikan dengan menggabungkan langkah melindungi komponen-komponen individunya serta ekosistem dalam suatu kawasan pelestarian.

Kaidah bahwa kemampuan bumi harus dipertahankan untuk tetap mempunyai vitalitas dan keanekaragamannya sehingga daya dukung ekosistem akan tetap menunjang harus ditegakkan di atas dasar (IIDS, 1992) sebagai berikut

1. memperoleh hasil maksimum dari pemanfaatan sejumlah sumber daya tertentu;
2. menghindari proses produksi yang merusak lingkungan;
3. menjaga ekosistem tetap mampu menjalankan fungsinya, dan
4. menjaga integritas lingkungan dengan tetap mampu melaksanakan proses regenerasi secara wajar.

Kaidah tersebut, jika dilihat dari perspektif biofisik (masukan materi dan energi, serta keluaran berupa limbah produksi dan kegiatan konsumsi), mengartikan bahwa pembangunan berkelanjutan memberikan penekanan pada usaha mengurangi *throughput* pada tingkat yang sesuai dengan kemampuan ekosistem. Tingkat *throughput* ditentukan oleh pola konsumsi, besarnya jumlah penduduk, teknologi produksi, tata guna tanah serta faktor-faktor lain penyebab polusi. Berkelanjutan menyiratkan hidup dari 'bunga' (*interest*) alam dan bukan dari modal alam. Pada kenyataannya, peningkatan jumlah penduduk yang demikian besar, disertai tuntutan pemenuhan kebutuhan hidup yang terus meningkat, baik kuantitas maupun kualitasnya, telah banyak menguras sumber daya alam yang ada. Kegiatan manusia modern telah pula menimbulkan dampak lain yang menimbulkan kerusakan lingkungan, di antaranya karena pencemaran, sedimentasi, dan penyusutan sumber daya alam secara drastis.

Konsep tersebut makin berkembang dan menunjukkan dengan jelas keterkaitan kegiatan pembangunan dengan daya dukung sumber daya alam. Secara garis besar, keberlanjutan berarti kemampuan sistem sosio-ekologi bertahan secara utuh untuk jangka panjang. Sistem ini mempunyai ketahanan terhadap gangguan dan lentur dalam menghadapi perubahan kondisi lingkungan. Sistem sosio-ekologi mencakup tiga subsistem, yakni ekonomi, sosial, dan ekologi, serta interaksi antara ketiga subsistem tersebut. Subsistem ekonomi mencakup aspek-aspek konsumsi modal, produksi, dan tenaga kerja. Subsistem sosial meliputi segi-segi pola konsumsi, demografi, dan budaya. Subsistem ekologi mencakup hal-hal yang berkaitan dengan ekosistem, sumber daya alam, dan proses biofisik (Raskin dkk., 1996). Pada semua skala lokal, nasional, regional, dan global, sistem-sistem sosio-ekologi saling berinteraksi melalui kebudayaan, dampaknya terhadap lingkungan, perusahaan-perusahaan transnasional serta lembaga-lembaga keuangan, perdagangan, badan-badan dunia, dan sebagainya.

Memperoleh hasil maksimum dari sejumlah sumber daya tertentu, tanpa terlepas dari 4 dasar pemanfaatan, akan dapat diwujudkan hanya dengan teknologi yang sesuai dan tepat. Dengan bahan yang sesedikit mungkin akan diperoleh hasil yang sebesar mungkin. Penciptaan dan penerapan teknologi semacam ini merupakan dasar penting dalam pemanfaatan sumber daya alam secara berkelanjutan tanpa menimbulkan kerusakan pada lingkungan. Jika penggunaan bahan dapat ditekan sekecil mungkin dan kerusakan pada lingkungan dikurangi atau bahkan ditiadakan, teknologi andalan ini akan dapat menjaga fungsi ekosistem tetap berjalan, dan dengan demikian integritas lingkungan akan tetap dapat dipertahankan.

Teknologi semacam itu harus dilandasi ilmu pengetahuan yang cukup mengenai asas pemanfaatan sumber daya alam secara berkelanjutan. Untuk sumber daya alam, seperti yang kita tekankan pada permasalahan di sini, ilmu pengetahuan yang menjadi landasan teknologi yang dimaksud harus dapat memahami dan mengukur potensi/daya dukung sumber daya alam yang terdapat di tanah air kita. Ilmu pengetahuan ini juga harus dapat menjadi landasan teknologi untuk menentukan cara dalam menjaga kondisi dan kemampuan sumber daya tersebut sehingga pengelolaannya dapat dilakukan secara berkelanjutan.

Bagaimana kita mengetahui bahwa sumber daya dimanfaatkan secara berkelanjutan. Harus ada kriteria yang menjadi patokan bahwa empat dasar kaidah seperti yang diuraikan di atas itu dipenuhi. Setiap kriteria harus ditunjukkan dengan indikator bahwa kaidah keberlanjutan itu telah dipenuhi. Penentuan indikator terhadap kriteria yang diperlukan ini juga memerlukan landasan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Pemanfaatan sumber daya alam secara berkelanjutan tidak begitu saja dilaksanakan. Ada persyaratan yang harus dipenuhi. Persyaratan ini

tidak saja berupa kegiatan teknis lapangan berdasarkan ilmu pengetahuan dan teknologi tepat guna yang secara langsung berhubungan dengan sumber daya alam yang bersangkutan, tetapi juga pada asas yang harus dipenuhi. Asas ini berupa kebijakan yang mendukung dan kelembagaan yang siap mengimplementasi kebijakan yang telah digariskan itu. Mengenai kebijakan yang mendukung pemanfaatan sumber daya alam, secara nasional telah tersedia perangkatnya, yaitu strategi nasional serta peraturan dan perundang-undangan, dan pada taraf global telah tersedia pula berbagai konvensi, perjanjian dan persetujuan, baik yang mengikat maupun yang tidak terlalu mengikat, yang dapat diacu untuk kepentingan nasional. Dengan instrumen legal ini, rambu-rambu pemanfaatan sumber daya alam secara berkelanjutan telah dipasang, dengan harapan bahwa pemanfaatannya berdasarkan kaidah berkelanjutan.

Kebijakan saja tidak cukup karena dalam mengimplementasi kebijakan ini dengan menggunakan instrumen tersebut harus ada sistem kelembagaan yang mendukung. Sistem kelembagaan yang dipersyaratkan ini harus terwujud dalam visi dan misi yang diemban oleh lembaga pelaksana yang bersangkutan. Visi lembaga yang menangani sumber daya alam harus terfokus pada pemanfaatan sumber daya ini secara berkelanjutan, sedangkan misinya berupa upaya memberhasilkan pembangunan secara berkelanjutan. Visi dan misi ini harus diterjemahkan ke dalam pengembangan program yang terarah menuju keberhasilan pemanfaatan sumber daya alam secara berkelanjutan. Di sinilah perlunya kebijakan dan program kelembagaan dijabarkan ke dalam ilmu pengetahuan dan teknologi yang tepat guna.

Program kelembagaan yang dimaksud bukan saja dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang sepadan dan bentuk teknis penelitian ilmiahnya, tetapi juga dalam pembinaan sumber daya manusia yang mampu menunjang pelaksanaan dan keberhasilan program teknis tersebut. Pengembangan sumber daya manusia justru merupakan program kunci yang diharapkan dapat meningkatkan kemungkinan tercapainya usaha pemanfaatan sumber daya alam secara berkelanjutan. Pengembangan sumber daya manusia yang diperlukan akan melibatkan bukan saja jumlah dan mutu, tetapi juga nisbah taraf sumber daya manusia atau kualifikasinya sehingga akan terbentuk kelompok kerja yang tangguh dan memenuhi kebutuhan.

Pengembangan sistem kelembagaan juga harus memperhitungkan kemampuan lembaga. Kemampuan ini harus diperhitungkan dalam menyesuaikan sistem yang dianutnya dengan perkembangan yang terjadi dalam kondisi sumber daya alam dan pola pengelolaannya. Kemampuan ini sangat diperlukan karena untuk dapat mengelola sumber daya alam dengan komponen-komponennya secara berkelanjutan akan sangat diperlukan sistem kelembagaan yang sesuai dengan kondisi sumber daya alam yang

mutakhir. Pengembangan sistem kelembagaan dengan demikian dapat selalu diperbaharui sesuai dengan kebutuhan dalam pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan.

PUSTAKA

- IIDS, 1992. *Trade and Sustainable Development. Survey of the Issues and a New Research Agenda.* IIDS. International Institute for Sustainable Development.
- IUCN, 1991. *Strategies for National Sustainable Development.* IUCN/WWF/UNEP.
- Raskin, P., M. Chadwick, T. Jackson and G. Leach. 1996. 'The Sustainability Transition. Beyond Conventional Development'. *Polester Series Report No. 1.* SEI.

ANTISIPASI ‘KRISIS AIR’ DI AWAL ABAD XXI

oleh

P.E. Hehanussa
Puslitbang Limnologi, LIPI

KILAS BALIK

Di awal Abad XXI, Indonesia, terutama kawasan sekitar pusat-pusat pertumbuhan, akan mengalami krisis air yang mengkhawatirkan. Apakah sinyalemen ini benar ataukah hanya membesar-besarkan ancaman yang sebetulnya tidak ada? Berbagai pertanyaan lain muncul dalam pikiran kita. Apakah hanya ilusi bahwa wilayah tropika yang demikian kaya akan curah hujan dapat mengalami krisis air? Apakah benar bahwa sungai, danau, mata air, dan airtanah yang sedemikian banyaknya tidak mampu kita kelola untuk dimanfaatkan bagi pertanian, industri, dan pemukiman penduduk? Mungkinkah ada kelangkaan dalam kelimpahan?

Indonesia memang menempati posisi geografi yang istimewa dengan sinar matahari yang berlimpah, dua musim dengan curah hujan yang tinggi, dan tanah volkanik yang subur. Ribuan pulau membentuk dataran yang produktif dengan gunung dan hutan yang lebat, semuanya merupakan bukti bahwa Nusantara memiliki potensi sumber daya air yang sangat kaya sehingga sekali lagi patut kita bertanya apakah betul ancaman kelangkaan air itu mungkin menjadi kenyataan?

Air yang berlimpah memang telah akrab dan mewarnai budaya kita sejak awal perkembangannya. Mitos dan legenda sarat dengan ceritera air yang berlimpah. Sejak abad pertengahan berkembang pertanian tradisional di sekitar badan air, di Abad XVI tumbuh kerajaan-kerajaan, dan kemudian pusat-pusat pertumbuhan sejak pertengahan Abad XX, kebanyakan bersandar berat pada eksploitasi hasil hutan, pertanian, perikanan, dan kekayaan alam lainnya. Banyak pusat pengendali perdagangan, pusat pemerintahan, perdagangan, dan kota-kota besar mekar sekitar muara sungai dan sekitar teluk sebagai sumber air dan media transportasinya.

Selama berabad-abad didendangkan lagu indah bahwa alam kita kaya raya sehingga melarutkan kesadaran bahwa lingkungan alam sesungguhnya memiliki batas daya dukung. Kesadaran tenggelam menjadi kekhilafan,

masyarakat mengabaikan kenyataan bahwa sumber daya alam terutama air, merupakan bagian ekosistem yang punya batas, punya ambang untuk rehabilitasi dan purifikasi diri. Kekeliruan ini semakin berakar oleh perilaku kerajaan sebagai pusat kekuasaan, meniru para penjajah yang habis-habisan mengeksploitasi kekayaan alam wilayah yang dijajahnya. Para pandita, tetua, bapa-raja, serta masyarakat yang hidup tradisional yang penuh tabu dan *pamali* (yang justru sering selaras dengan hukum alam) dicibirkan sebagai masyarakat bodoh, terkebelakang, terasing, malas, sedangkan manusia yang giat mengeksploitasi alam identik dengan orang yang rajin dan berpikiran maju.

Perilaku mengeksploitasi alam tanpa batas dan kendali sejak akhir Abad XX di berbagai negara maju telah disadari merupakan 'kesalahan'. Akan tetapi, justru perilaku di negara berkembang masih laku keras sebagai rasionalitas kehidupan modern yang meremehkan kebijakan tradisional dan agama yang disetarakan dengan keterbelakangan dan kebodohan. Dalam penetapan tolok ukur serta evaluasi keberhasilan pembangunan, memiliki, dan menguasai sumber daya alam dianggap sebagai keberhasilan, sedangkan upaya memperhitungkan dampak akibat eksplorasi sumber daya alam dicap sebagai menghambat pembangunan.

Perilaku dan godaan untuk habis-habisan mengeksploitasi sumber alam Indonesia belum berhenti di akhir Abad XX ini dan masih terus berlangsung hingga sekarang. Suku Dayak dengan kebijakan tradisional teknik ladang berpindah (yang pada dasarnya ialah eksplorasi untuk mempertahankan hidup secara lestari) dikategorikan sebagai suku terkebelakang, bahkan dituding sebagai penyebab kebakaran hutan, sedangkan pembabat hutan yang membakar hutan dianggap sah sebagai bagian dari pembangunan. Orang Toraja yang hanya memakai pupuk organik di sawahnya dicap kolot tidak mampu menyerap teknologi. Orang Irian yang hanya menangkap ikan untuk keperluan hari ini saja dicap malas. Inilah pertentangan perilaku tradisional-modern yang secara ilmiah sering hanya dikemas dalam analisis dan retorika yang indah-menarik. Mencermati dan mengevaluasi ulang landasan etika interaksi antara manusia dan ekosistem kita adalah penting.

DIMENSI, SIFAT DAN GENESIS AIR

Dalam rutinitas kehidupan yang berkelimpahan hujan di Indonesia, keberadaan sumber daya air disederhanakan dan dinyatakan hanya dalam dua dimensi saja, yaitu *dimensi kuantitas* dan *dimensi kualitas*. Padahal, keberadaan air tidak sesederhana itu dan ada tiga dimensi lagi yang diabaikan. Namun, tidak kalah penting untuk sama-sama dikaji dimensi

ruang, dimensi waktu, dan dimensi sosial/budaya/ekonomi/agama. Pada saat air di suatu daerah mulai langka, kelima dimensi ini relevan untuk dibahas sebagai satu kesatuan yang utuh dan saling terkait. Dilihat dengan kacamata satu kesatuan wilayah, negara kesatuan Indonesia memang sangat kaya air. Tetapi, pengadaan air di suatu lokasi tertentu membutuhkan jawaban atas lima pertanyaan berikut

1. berapa banyak air dibutuhkan;
2. apa batasan kualitasnya;
3. wilayah geografi atau lokasi mana yang membutuhkan;
4. kapan atau pada bulan apa dibutuhkan, dan
5. berapakah biaya dan syarat-syarat pengadaannya.

Jawaban terinci atas lima pertanyaan ini untuk satu daerah dengan daerah lainnya tentu berbeda-beda karena tiap wilayah di Indonesia mempunyai karakteristik tersendiri (Tabel 1 dan 2).

Di samping lima dimensi yang disebutkan di atas, sifat lain dinamika peredaran air ialah tidak mengenal batas wilayah politik. Dalam skala regional air yang menguap dari daratan Australia mungkin menjadi hujan yang jatuh di Indonesia, air yang mengimbuh di Provinsi Jawa Barat dieksplorasi oleh penduduk DKI Jakarta. Hujan asam akibat polusi udara dari Singapura terbawa angin dan jatuh di kepulauan Riau. Batas wilayah politik tidak pernah dapat menghambat peredaran air. Dalam skala dunia dampak perubahan itu lebih luas lagi, misalnya penggunaan bahan bakar fosil dalam skala besar telah menghasilkan gas-gas rumah kaca yang menyebabkan anomali pola iklim global.

Perubahan pola iklim itu mempengaruhi daur hidrologi sehingga ikut mempermudah terjadinya kebakaran hutan besar-besaran di Indonesia. Terjadi perubahan pada pola hujan, yang biasanya jatuh di Indonesia justru jatuh di seberang Pasifik dalam jumlah yang sangat berlebihan. Gejala El Niño akibat produksi kumulatif gas-gas rumah kaca dan produk alami lainnya selain mengakibatkan kekeringan di Indonesia menyebabkan banjir besar di Amerika Selatan. Banjir di Peru ini mengakibatkan 250.000 orang kehilangan rumah, dan menimbulkan keajaiban dunia ‘kedelapan’, yaitu lahirnya danau air tawar baru di tengah Gurun Pasir Peru seluas 15.600 km², sama dengan sepuluh kali luas Danau Toba atau tiga kali luas Pulau Bali. Gejala ini kemudian disusul oleh La Niña yang memporakporandakan Korea, Cina, Hongkong, dan banyak negara lainnya. Menurut hukum termodinamika kedua jumlah air di bumi memang tetap, tetapi kini semakin sering terjadi bahwa air berada atau tidak berada di suatu tempat dan pada waktu yang ‘salah’.

TABEL 1
PROYEKSI KEBUTUHAN AIR DOMESTIK, PERKOTAAN,
DAN INDUSTRI
(dalam juta m³/tahun)

No.	Provinsi	1990	2000	2015
1.	DI Aceh	38	83	157
2.	Sumatera Utara	211	391	558
3.	Sumatera Barat	53	104	148
4.	Riau	54	120	233
5.	Jambi	25	59	104
6.	Sumatera Selatan	113	221	322
7.	Bengkulu	15	38	76
8.	Lampung	63	136	180
9.	DKI Jakarta	457	701	902
10.	Jawa Barat	784	1.619	2.622
11.	Jawa Tengah	436	820	1.122
12.	DI Yogyakarta	59	111	123
13.	Jawa Timur	547	1.007	1.365
14.	Bali	41	78	104
15.	Nusa Tenggara Barat	38	79	107
16.	Nusa Tenggara Timur	31	66	94
17.	Timor Timur	3	16	22
18.	Kalimantan Timur	38	85	126
19.	Kalimantan Barat	12	38	75
20.	Kalimantan Tengah	41	78	113
21.	Kalimantan Selatan	40	86	161
22.	Sulawesi Utara	32	63	92
23.	Sulawesi Tengah	15	44	92
24.	Sulawesi Selatan	102	20	82
25.	Sulawesi Tenggara	12	38	69
26.	Maluku	21	53	89
27.	Irian Jaya	21	47	78
	Jumlah	3.302	6.388	9.391

Sumber: Direktorat Bina Program, Dept. PU

TABEL 2
PROYEKSI KEBUTUHAN AIR IRIGASI
(dalam juta m³/tahun)

No.	Provinsi	1990	2015
1.	DI Aceh	2.293	3.328
2.	Sumatera Utara	4.307	5.755
3.	Sumatera Barat	2.495	3.012
4.	Riau	364	2.878
5.	Jambi	644	1.586
6.	Sumatera Selatan	933	5.169
7.	Bengkulu	729	982
8.	Lampung	2.022	2.597
9.	DKI Jakarta	148	148
10.	Jawa Barat	14.234	15.597
11.	Jawa Tengah	12.444	13.677
12.	DI Yogyakarta	865	933
13.	Jawa Timur	14.675	15.597
14.	Bali	1.464	1.528
15.	Nusa Tenggara Barat	2.404	2.635
16.	Nusa Tenggara Timur	999	1.300
17.	Timor Timur	95	426
18.	Kalimantan Barat	1.537	3.196
19.	Kalimantan Tengah	736	3.682
20.	Kalimantan Selatan	593	3.227
21.	Kalimantan Timur	96	2.237
22.	Sulawesi Utara	772	328
23.	Sulawesi Tengah	1.511	1.834
24.	Sulawesi Selatan	4.984	6.357
25.	Sulawesi Tenggara	469	774
26.	Maluku	155	1.041
27.	Irian Jaya	33	9.797
	Jumlah	72.003	110.102

Sumber: Direktorat Bina Program, Dept. PU

*) perhitungan didasarkan perkiraan kebutuhan air irigasi 31.536 m³/tahun/ha

Selain sifat dinamika air yang tak mengenai batas politik, yang juga perlu diketahui ialah genesisnya atau keterjadian air. Tiga genesis utama air ini ialah sebagai berikut

1. air yang menjadi bagian dari daur hidrologi sebagaimana yang terutama digunakan di Indonesia, yaitu air yang menjadi bagian dari gerak abadi air yang 'menguap, naik ke angkasa, lalu turun kembali sebagai hujan';
2. genesis kedua ialah air fosil yang merupakan bahan tambang, yang belum banyak digunakan di Indonesia, tetapi sangat penting di Saudi Arabia, Libya, dan beberapa negara timur tengah lainnya, dan
3. sumber atau genesa ketiga ialah air hasil desalinasi yang secara besar-besaran telah digunakan Kuwait dan negara kaya minyak lainnya.

Proses desalinasi memerlukan manajemen energi yang rumit. Ada ramalan futurolog yang menyatakan bahwa dalam tiga dekade datang ketika teknologi energi fusi sebagai sumber tenaga pembangkit listrik telah dikuasai, masalah desalinasi air laut dalam jumlah besar merupakan salah produk samping dari teknologi ini.

EKSPLOITASI DAN REHABILITASI SUMBER DAYA AIR

Pola eksploitasi sumber daya alam secara besar-besaran di Eropa dan Amerika Utara telah berlangsung sejak enam atau tujuh abad yang lalu. Dari kegiatan itu telah berhasil ditingkatkan kesejahteraan penduduknya dan memajukan ekonomi negaranya. Dalam perjalanan waktu, praktik eksploitasi sumber daya alam muncul kembali pada akhir Perang Dunia II ketika banyak negara baru yang lahir, yang tentu memiliki pemerintahan dan wilayah sendiri. Sejak beberapa dekade lalu, lahirlah kesadaran global yang semakin keras menyuarakan adanya keterbatasan daya dukung alam. Timbul rasa 'keprihatinan' sehingga diperlukan pengendalian yang menyeimbangkan antara kemampuan daya dukung alam dan kemampuan memenuhi kebutuhan pembangunan fisik. Para ahli memperingatkan akan keterbatasan sumber daya alam, dan untuk mengatasinya secara terencana perlu penetapan rambu-rambu yang disepakati secara global untuk mengatur tingkat eksploitasi sumber daya alam termasuk sumber daya air.

Pada saat itu, negara-negara berkembang, baru mulai meniru pola perkembangan negara-negara industri beberapa abad yang lalu, yang dianggap sebagai kunci menuju kemajuan. Sering perilaku itu justru disalahtafsirkan sebagai usaha untuk secara total mengeksplorasi sumber daya alam. Hal ini terlihat dalam empat dekade pembangunan di Indonesia yang menghasilkan perubahan lingkungan yang sangat hebat dan cepat. Namun, mulai dua dekade terakhir, lahir dan berkembang pula kesadaran

untuk menangani lingkungan yang lestari di Indonesia. Ada dua tahap perkembangan kesadaran lingkungan itu, yang diawali dengan era pertama yang dinamai era konvensional, yang memberikan perhatian hanya kepada pengendalian limbah atau *end of pipe treatment*. Era ini dapat dibagi ke dalam lima fase, yaitu

1. awal 1970-an, dengan mulai timbulnya kesadaran lingkungan;
2. pertengahan 1970-an, sibuk dengan penetapan kriteria baku mutu lingkungan dan limbah;
3. tahun 1980-an, dimulai dengan upaya-upaya pengendalian produksi dan kualitas limbah;
4. medio 1980-an, berkembang usaha ke arah menghasilkan teknologi pengolahan limbah, dan
5. sejak awal 1990-an, ada perubahan yang lebih nyata, yaitu kegiatan untuk memilah dan memilih teknologi yang lebih ramah terhadap lingkungan atau produk *green technology*.

Menyusul era pertama ini ialah era kedua atau era teknologi yang dimulai sejak awal tahun 1990-an. Era kedua ini bukan lagi hanya berkutat dengan penanganan limbah saja, melainkan lebih ke arah penggunaan teknologi dan manajemen produksi untuk mengembangkan cara-cara baru yang lebih meningkatkan produktivitas atau menjadi lebih efisien dalam menggunakan sumber daya alam (sehingga tentu lebih sarat pemakaian teknologi).

Satu contoh proses produksi yang cepat menghasilkan devisa tetapi juga menghasilkan banyak limbah dan boros dalam penggunaan air ialah industri tekstil. Proses produksi bukan hanya membutuhkan dan mencemari air tetapi juga pewarnaan masih memerlukan lagi air dalam jumlah yang besar. Contoh lain ialah industri pulp yang dibanggakan sebagai pabrik terbesar di dunia, meskipun limbahnya sangat menyengsarakan lingkungan sekitarnya. Teknologi produksi pulp yang menggunakan serat panjang tetap berada di negara maju. Keterbatasan disebabkan di antaranya oleh masih kurangnya perhatian para peneliti LIPI kepada penelitian biologi dan bioteknologi untuk seleksi jenis tumbuhan/tanaman hutan produksi dengan kayu cepat tumbuh dan berserat panjang.

Cara lain untuk penghematan penggunaan air dapat dilakukan dengan melakukan peningkatan efisiensi. Beberapa contoh dapat dikemukakan dari Jerman, yang berpola peningkatan produktivitas sehingga mampu menghemat penggunaan air, yaitu

1. pada awal Abad XX ini biaya produksi listrik 1 kWh setara dengan empat jam kerja/orang, yang menjelang akhir abad ini turun menjadi setengah menit kerja/orang;
2. pertanian setengah abad lalu menghasilkan 2,5 ton gandum/ha, kini rata-rata 6,25 ton/ha;

3. 40 tahun yang lalu induk ayam bertelur rata-rata hanya 140 telur/ayam/tahun kini meningkat menjadi 300 telur, dan
4. 40 tahun yang lalu seorang petani memberi makan lima orang, kini mampu untuk enam puluh orang.

Semua efisiensi produktivitas ini tentu berarti pula penghematan dalam konsumsi air. Era kedua inilah yang perlu lebih banyak disiasati secara bersama-sama oleh peneliti dari berbagai pusat penelitian dan pengembangan di LIPI agar bersama-sama menyusun kemampuan produksi yang berbasiskan sumber daya alam sehingga mengurangi ketergantungan kepada produk dan teknologi luar. LIPI perlu bersama-sama menentukan prioritas, kemudian didukung oleh komitmen yang nyata untuk melaksanakan penelitian antarpusat penelitian dan pengembangan di 'era teknologi' ini.

Masalah lain dalam pemanfaatan air ialah seleksi bioteknologi untuk proses produksi pertanian yang hemat air, mengingat bahwa lebih dari 80% air yang disediakan digunakan untuk kebutuhan pertanian. Dengan memetik pelajaran dari foto satelit yang diambil dari atas Saudi Arabia dan Libya, tampak bulatan-bulatan 'aneh' di tengah padang pasir yang ternyata adalah lahan pertanian yang hijau masing-masing seluas 92 ha yang diairi dari sumur bor yang digali dari kedalaman 300-1.200 m. Meskipun air itu berupa air fosil yang diperkirakan habis terkuras dalam 50 tahun, dengan perhitungan yang tepat, disiramkan air yang cukup hanya untuk diisap akar dan menguap oleh dedaunan, tidak ada kelebihan yang tergenang. Penggunaan teknologi sejenis untuk pertanian hortikultura di NTT yang beriklim kering mungkin dapat menghasilkan produk buah unggulan. Foto satelit lainnya dari Sungai Mahakam di Kalimantan Timur memperlihatkan warna air yang coklat pekat yang memperlihatkan erosi yang hebat. Kondisi ini menunjukkan bahwa semakin banyak air di musim hujan tidak tersimpan ke dalam tanah. Akibatnya ialah akan menurunnya dengan drastis jumlah air yang akan mengaliri Sungai Mahakam sewaktu musim kemarau. Akibat lebih lanjut ialah penyusupan air asin yang akan semakin menghantui kemampuan penyediaan air di kota Samarinda.

AIR: SUMBER DAYA YANG TERBATAS

Judul bab ini membingungkan dan mencerminkan pengertian kita tentang sumber daya alam di bumi yang hanya satu ini. Pada Abad XVIII dan XIX, ketika eksploitasi sumber daya alam masih belum terlalu berlebihan, dikenal dua kelompok sumber daya alam, yaitu yang 'terperbarukan' (*renewable*) dan 'tak terperbarukan' (*non-renewable*). Kebanyakan sumber daya hayati, termasuk air, dinyatakan sebagai 'sumber daya yang terperbarukan' dan sumber daya alam nirhayati, terutama mineral yang sekali ditambang habis,

terpakai dinyatakan sebagai 'sumber daya alam yang tak terperbarukan'. Penilaian ini masih sah (*valid*) ketika tingkat eksploitasi masih belum tinggi, dan yang lebih penting ialah dampak akibat produksi berbagai jenis limbah (*modern*) masih belum terlalu menimbulkan kegawatan. Pembagian di atas hanya benar ketika ekosistem masih memiliki kemampuan untuk melakukan purifikasi diri.

Kecepatan laju peningkatan eksploitasi mengubah dan merusak lingkungan. Kenaikan dalam kuantitas dan kualitas limbah yang dihasilkan, bertambah dengan kecepatan yang jauh lebih pesat dibandingkan pengetahuan dan kedulian kita tentang komponen ekosistem dan interdepensi antar komponen. Rasionalitas yang kita pelajari dari barat untuk mengeksplorasi sumber daya alam sering mengalahkan kebijakan tradisional dari rakyat Indonesia yang hidup di pedalaman yang sering dikategorikan sebagai kurang pendidikan. (Ada kecenderungan baru, yaitu pendewaan kepada gelar akademis sebagai pengganti gelar kebangsawan, bukan kepada produk penelitian seseorang yang dapat diukur dari kemampuan fungsionalnya. Di masyarakat penelitian dan pengembangan, hal ini sedang berkembang, yaitu idiom bahwa orang dengan gelar akademis paling panjang di depan dan di belakang namanya ialah mereka yang terutama, yang paling tahu, dan paling benar).

Sumber daya air yang dulu dikelompokkan sebagai sumber daya terbarukan, kini sudah tidak sah lagi. Komponen daur hidrologi (*the hydrologic cycle*) sebagai mata rantai abadi yang menyediakan air telah mengalami putus rantai. Berbagai perubahan antropogen terjadi sedemikian besarnya sehingga sumber daya air tidak mampu lagi melaksanakan fungsiannya dengan sempurna. Pencemaran air secara kimia demikian dahsyatnya sehingga konon 1/2 massa H₂O dunia sudah tidak dapat diperbarukan kembali. Krisis air datang lebih awal karena pengelolaan lingkungan hanya disandarkan kepada konsep eksploitasi (logika ratio dari barat ialah pandai = rajin = hebat = modern).

Daur hidrologi melibatkan berbagai komponen, yaitu energi matahari - penguapan - angin - konsensasi - hujan - *runoff* - imbuhan - *groundwater recharge* - *seepage* - evaporasi - transpirasi. Pengertian/konsep hidrologi diawali oleh Homer, Thales, Plato dari zaman Junani Kuno, yang menganggap (atau berfantasi) bahwa air berasal dari terowongan bawah tanah, di bawah jalur pegunungan. Aristoteles mengira bahwa udara memasuki gua yang gelap yang kemudian berubah menjadi mataair. Perkembangan konsep ini tidak berubah banyak hingga Bernard Palissy (1510-1589) yang berteori mengenai imbuhan air hujan, tetapi diabaikan kebanyakan orang. Johann Kepler (1596-1630) berimajinasi bahwa ada hewan raksasa yang menghirup air laut dan menyemburkan air tawar sebagai air tanah dan mata air. Pierre Perrault (1608-1680) mulai mengukur curah hujan dan bersamaan dengan

itu selama tiga tahun mengamati debit Sungai Seine di Perancis. Dari penelitian yang agak ilmiah ini ia menyimpulkan bahwa jumlah curah hujan enam kali lebih besar daripada debit sungai. Barulah oleh Edmund Halley (1656-1742) dinyatakan bahwa evaporasi dari laut cukup besar untuk mengisi seluruh aliran air sungai dan mata air. Distribusinya kini telah dapat diperkirakan (Tabel 3).

TABEL 3.
DISTRIBUSI AIR DUNIA, MENURUT RAYMOND NACE, USGS, 1964

Lokasi	Luas km ²	Volume Air km ³	Volume Total %
<i>Di daratan</i>			
Danau air tawar	860.000	125.000	0,009
Danau asin dan laut tertutup	700.000	104.000	0,008
Di sungai	-	1.250	0,0001
Air bawah permukaan		130.000.000	
Airtanah antar-butir		67.000	0,005
Airtanah kedalaman < 800m		4.170.000	0,31
Airtanah kedalaman > 800m		4.170.000	0,31
<i>Total air di daratan</i>		8.637.000	0,635
Glasier dan salju	18.000.000	29.200.000	2,15
Di atmosfir	510.000.000	13.000	0,001
Di samudera	360.000.000	1.322.000.000	97,2
Jumlah air seluruhnya		1.360.000.000	100,00

PENUTUP

1. Dalam melaksanakan pembangunan berkelanjutan harus ada prinsip etika, apa yang menjadi aturan, tentukan apa yang cukup dan rasional, apa yang tradisional, bagaimana hubungan manusia dan Tuhan sebagai 'kendali'nya.
2. Konsep terperbarukan jangan dilihat dari air atau sumber daya saja tetapi lihat ekosistem, atau daya dukung untuk keberadaan air. Memang jumlah air di dunia menurut hukum termodinamika tidak mungkin berkurang tetapi 'daya dukung' lingkungannya untuk rehabilitasi dan pemurnian diri sudah terubah.
3. Penetapan topik riset hendaknya bukan hanya berdasar komoditi atau salah satu sumber daya tetapi berdasar rekayasa lingkungannya,

- umpama bioteknologi bibit tanaman padi hemat air dan berumur pendek tetapi tetap enak dan lingkungan yang cocok.
4. Masalah air ialah masalah manajemen, agar yang kurang menjadi cukup.

PUSTAKA

Hehanussa, P.E., B. Machbub dan Sri Suwasti Susanto. 1994. *Kebutuhan Riset dan Koordinasi Pengelolaan Sumber Daya Air di Indonesia*. Jakarta: Dewan Riset Nasional, Kelompok II Sumber Daya Alam dan Energi.

Shiklomanov, I.A. 1998. *World Water Resources: A New Appraisal and Water Assessment for the 21st Century*. Paris: UNESCO

Todd, D.K. 1961. *Groundwater Hydrology*. Toppan Co. Ltd. Japan

Young, R.O. (Editor). 1990. *Global Environmental Change: Understanding the Human Dimensions*. Washington DC: National Research Council, US National Academy of Sciences.

SUMBER DAYA HAYATI UNTUK KETAHANAN PANGAN INDONESIA

oleh

Setijati D. Sastrapradja
Puslitbang Bioteknologi, LIPI, Cibinong

PANGAN DALAM PEMBANGUNAN NASIONAL

Indonesia tengah menyelesaikan Pembangunan Nasional Jangka Lima Tahunan yang ke-6. Dalam kurun waktu 30 tahun itu, mencukupi pangan yang dibutuhkan semua warga Indonesia tetap merupakan masalah nasional yang berkelanjutan. Sejak dicanangkannya Rencana Pembangunan Lima Tahun (Repelita I/1968--1973), Pemerintah mengupayakan peningkatan produksi pangan melalui program intensifikasi dan ekstensifikasi pertanian. Dalam program intensifikasi, pemanfaatan paket teknologi masa kini berupa bibit unggul, pengolahan lahan, pemberian pupuk yang mencukupi, pengairan yang memadai, dan pemanfaatan obat-obatan pembasmi hama dan penyakit diterapkan secara besar-besaran di tempat-tempat yang memungkinkan. Secara inilah, swasembada beras yang merupakan pangan pokok sebagian besar rakyat Indonesia dicapai pada tahun 1984 (Sutrisno, 1998).

Salah satu indikator yang dipakai untuk mengukur keberhasilan suatu negara dalam mencukupi pangan warganya adalah kecilnya jumlah penduduk yang mengalami kelaparan. Kecukupan kalori rata-rata orang dewasa Indonesia adalah 2.700 kal/orang/hari [Widya Karya Pangan dan Gizi (WKPG), 1998]. Mereka yang mengosumsi kurang dari 2.200 kal/orang/hari dikategorikan pada penderita lapar (Conway, 1997). Asia termasuk negara yang penderita laparnya paling banyak jika dibandingkan dengan kalori yang dikonsumsi oleh mereka yang tinggal di Amerika Utara, yaitu sebesar 3.200 kal/orang/hari. Keadaan kelaparan ini berkaitan dengan tidak adanya ketahanan pangan, yang pada gilirannya menimpa mereka yang menderita kemiskinan (Jalil, 1998). Mereka yang berpendapatan kurang dari US \$ 1/hari dikategorikan ke dalam golongan miskin. Jumlah yang tergolong miskin di dunia ini mencapai 1,3 miliar orang pada tahun 1985. Asia memiliki penduduk yang tergolong miskin terbesar jumlahnya. Oleh karena itu, salah satu komitmen negara-negara yang tergabung dalam *Food and Agriculture Organization* (FAO) pada Pertemuan Puncaknya tahun, yaitu 1996, membasmi kemiskinan di mana pun mereka berada.

Mereka yang miskin pada umumnya tidak memiliki daya beli untuk menjangkau pangan yang tersedia di pasar. Daya beli ini diterjemahkan dalam jumlah uang yang diperoleh suatu keluarga tiap tahunnya. Pada tahun 1997, pendapatan rata-rata rakyat Indonesia ialah US\$ 1,300.- (US\$ 1 = Rp2.300,00. Pada tahun itu, Pemerintah mengumumkan bahwa rakyat Indonesia yang berada di bawah garis kemiskinan menurun jumlahnya dari 27 juta menjadi 17 juta. Penurunan jumlah penduduk miskin itu diusahakan Pemerintah melalui program khusus Instruksi Presiden untuk Daerah Tertinggal (IDT).

Untuk menyoroti masalah gizi di Indonesia dikemukakan bahwa penduduk yang miskin tidak mampu mencukupi mutu gizi yang dibutuhkannya, dengan mengingat daya beli mereka yang rendah untuk menjangkau harga pangan yang mencukupi (Salim, 1979). Padahal, tingkat kecukupan gizi dalam pertumbuhan manusia menentukan kualitasnya (Syarieff, 1991). Meskipun pada umumnya masyarakat Indonesia mulai sadar akan pentingnya gizi untuk kesehatan dan kecerdasan anak, untuk mencukupi pangan yang dibutuhkan keluarga saja banyak tantangannya, apalagi jika gizi harus diperhitungkan. Indikator yang diusulkan untuk mengukur kemiskinan ialah jumlah pangan tertentu yang dikonsumsi (Khomsan dkk., 1998).

Berkurangnya persediaan pangan di pasaran dapat mudah menggo- yang stabilitas keamanan. Hal ini terlihat jelas dari keadaan yang dialami rakyat Indonesia dalam masa krisis moneter yang mulai berlangsung pada bulan Juli, 1998. Melenyapnya beras, gula, minyak goreng, dan susu di pasar bebas yang sejalan dengan turunnya nilai rupiah terhadap mata uang asing menyundut masyarakat untuk berbondong-bondong mendatangi pasar swalayan dan pasar tradisional agar tandon pangan di rumah-rumah terjamin. Seluruh kekuatan negara terpaksa dikerahkan untuk menangani masalah melangkanya bahan pangan di pasar. Operasi pasar pun dilakukan dengan mengikuti kerusuhan-kerusuhan yang terjadi, yang menjurus pada penjarahan toko-toko di beberapa kota. Pangan memang menjadi kunci kekuasaan (Brown, 1996). Barang siapa mengusai pangan akan memiliki kekuasaan dan pada gilirannya akan mengendalikan orang. Amerika, misalnya, menguasai setengah pasar pangan dunia. Sebagai pengekspor biji-bijian pangan utama dunia, Amerika menjadi pengendali percaturan politik dunia pula.

WKPG VI diselenggarakan pada bulan Maret 1998, menjelang berakhirnya Repelita VI dan dimulainya Repelita VII tahun 1999 nanti. Dalam Widya Karya ini berbagai aspek pangan dan gizi Indonesia disajikan dan dibahas. Tidak dilupakan saran-saran kebijakan yang dapat dan perlu diambil oleh Pemerintah untuk menangani masalah-masalah pangan dan gizi yang dihadapi Indonesia dalam Repelita VII nanti. Proyeksi-proyeksi akan ketersediaan dan permintaan akan pangan didasarkan tentunya pada

keadaan yang berlangsung seperti tahun-tahun sebelum 1998 (*business as usual*). Belum pernah dikembangkan suatu proyeksi dengan skenario berdasarkan perkiraan seandainya keadaan tiba-tiba menjadi tidak normal, seperti halnya yang dikembangkan kelompok *Global Scenario Group* mengenai *Sustainable Development* (Raskin dkk., 1996). Mungkin dalam WKPG VII nanti berbagai skenario mengenai pangan dan gizi perlu dikembangkan sehingga semua sektor yang menangani pangan siap menghadapi kenyataan yang terkadang meyimpang dari proyeksi-proyeksi normal (Gallopin dkk., 1997).

Pengalaman krisis monoter yang dialami Indonesia pada tahun 1997 mengajarkan bahwa ketahanan pangan kita sangat rawan. Padahal, Undang-Undang mengenai Pangan baru saja diumumkan keberadaanya (UU. RI No. 7, tahun 1996). Dalam undang-undang tersebut dinyatakan bahwa ketahanan pangan adalah kondisi terpenuhinya pangan bagi rumah tangga, yang tercermin dari tersedianya pangan yang cukup, baik jumlah maupun mutunya terjangkau. Jika kecukupan jumlah pangan saja masih belum dapat dipenuhi secara nasional, terlebih-lebih lagi pada tingkat rumah tangga, yang tersebar di kawasan-kawasan terpencil. Dari 244 kabupaten di Indonesia, 155 kabupaten tergolong memiliki ketahanan pangan yang tinggi, 17 kabupaten berketahanan pangan cukup, sedangkan 72 kabupaten kurang memiliki ketahanan pangan (Sumarwan dkk., 1998). Mutu pangan sangat erat kaitannya dengan jumlah mencukupi yang dikonsumsi. Pihak UNICEF melalui televisi pada tanggal 24 Juli 1998 malam 'Berita Nasional' menjelaskan bahwa mutu gizi yang dikonsumsi Balita Indonesia merupakan yang paling rendah di Asia Tenggara. Padahal, perkembangan kecerdasan anak bergantung pada mutu gizi sewaktu Balita. Jika keadaan ini terus berlangsung, bukan tidak mungkin nantinya mutu sumber daya manusia Indonesia terendah juga di Asia Tenggara. Persaingan antarnegara menjadi semakin keras menjelang terbukanya pasar bebas di Asia Tenggara sebentar lagi. Memenangkan persaingan mutu sumber daya manusia merupakan kuncinya sehingga peran pangan dalam pembangunan manusia Indonesia tidak dapat dinomorduakan. Masalah pangan tidak terlepas dari keanekaragaman hayati yang Indonesia milikinya secara berlebihan.

KETERGANTUNGAN PADA BERAS

Pangan pokok sebagian besar rakyat Indonesia ialah beras. Jagung dan ketela pohon menduduki peringkat kedua dan ketiga; ubi jalar dan sagu memiliki sebaran konsumen yang lebih terbatas. Jika dilihat dari segi rasa dan kualitas gizi, serta kemudahan pengolahannya, nasi yang berasal dari beras memiliki kelebihan jika dibanding dengan pangan yang berasal dari bahan-bahan

lainnya. Oleh karena itu, mudahlah dipahami jika orang cepat beralih dari pangan pokok lain ke beras begitu beras mudah diperoleh di pasaran. Jadi, peningkatan permintaan terhadap beras dari tahun ke tahun tidak saja disebabkan oleh pertambahan jumlah penduduk tetapi juga disebabkan oleh peralihan dari pangan pokok nonberas ke beras.

Sejak Repelita I, Indonesia telah berusaha berswasembada dalam memproduksi beras. Jalan yang ditempuh untuk mencapai tujuan tersebut amat panjang. Program Bimas (Bimbingan Massal) diterapkan di pusat-pusat produksi beras dengan mempergunakan teknologi yang dikenal dengan nama Pancausaha Tani. Pemakaian benih unggul, yang disertai pengolahan lahan yang benar, yang didukung jaringan irigasi, pupuk kimia, dan obat-obatan pembasmi hama/penyakit berhasil meningkatkan produksi gabah dari 2,24 ton/ha dalam tahun 1969 menjadi 4,34 ton/ha pada tahun 1995 (Fagi dan Arifin, 1998). Benih unggul berumur pendek dapat ditanam dua sampai dengan tiga kali per tahun, asalkan unsur usaha tani lainnya mengikutinya.

Keberhasilan penerapan Pancausaha Tani itu tidak terlepas dari adanya keterpaduan antara kebijakan yang diambil Pemerintah, keterpaduan kerja aparatnya, pelibatan petani di lapangan, serta kesiapan lembaga penelitian dan pengembangan pertanian untuk mendukung kebijakan yang digariskan. Kerja sama dengan lembaga penelitian pertanian internasional, yaitu *The International Rice Research Institute* (IRRI) mempercepat proses pengembangan kemampuan Indonesia dalam mengalihkan teknologi Revolusi Hijau seperti negara-negara berkembang lainnya (Conway, 1997). Tersedianya plasma nutfah padi varietas tradisional dan tenaga pemulia yang tangguh menjamin keberlanjutan perakitan benih unggul padi secara *lumintu*. Mengikuti diperkenalkannya varietas IR 5 dan IR 8 pada tahun 1970-an dari IRRI ke Indonesia, sejumlah benih unggul padi baru hasil lembaga penelitian pertanian Indonesia sendiri dapat dilepas ke petani. Di beberapa lokasi, pertanaman padi pun dapat dipacu menjadi 2-3 kali setiap tahunnya. Karawang-Bekasi (Jawa Barat), Klaten-Sragen (Jawa Tengah), Madiun-Kediri (Jawa Timur), Sulawesi Selatan, Lampung, dan Sumatera Barat merupakan lumbung-lumbung padi nasional.

Seperti negara-negara yang sedang berkembang lainnya, penduduk Indonesia bertambah dengan cepat. Jika pada tahun pertama kemerdekaan, Indonesia memiliki 60 juta rakyat, 50 tahun kemudian jumlah tersebut berlipat lebih dari 3 kali sehingga mendudukkan Indonesia pada peringkat ke-4 dunia setelah Cina, India, dan Amerika Serikat. Program Keluarga Berencana yang dianut Indonesia memang berhasil menurunkan angka laju pertumbuhan penduduk dari 2,5% per tahun menjadi 1,6%. Pada tahun 1998 ini, penduduk Indonesia telah mencapai angka lebih dari 200 juta. Secara mutlak, penambahan orang sejumlah 1,6% per tahun dari 200 juta

jiwa adalah sangat besar. Jika penambahan ini dikaitkan dengan kebutuhan pangan, setiap penambahan orang menuntut penambahan tersedianya pangan, yang di Indonesia utamanya berarti beras.

Menyimak permintaan akan beras dalam periode 1986–1996, data BPS dan SUSENAS menunjukkan menurunnya konsumsi beras di tingkat nasional, dari 116,58 kg per kapita per tahun pada tahun 1987 menjadi 111,48 kg pada tahun 1996 (Purwoto dkk., 1998). Jika konsumsi beras ini dikaitkan dengan pendapatan per tahun, mereka yang masuk dalam golongan berpendapatan menengah mengonsumsi beras lebih banyak daripada mereka yang berpenghasilan lebih rendah atau lebih tinggi. Golongan berpendapatan rendah mengkonsumsi hanya 1/3 jumlah beras yang dikonsumsi golongan berpendapatan menengah dan 1/2 dari golongan berpendapatan tinggi. Untuk memenuhi kebutuhan kalorinya golongan berpendapatan rendah mengkonsumsi jagung dan ubi-ubian lebih daripada kedua golongan lainnya. Pada golongan berpendapatan tinggi, kebutuhan kalori tambahan diperoleh dari tepung terigu. Semakin tinggi pendapatan mereka, semakin banyak mereka mengonsumsi tepung terigu.

Penambahan penduduk menuntut pula pembangunan permukiman dengan semua fasilitasnya, jaringan jalan, tempat rekreasi, pabrik-pabrik, dan sebagainya. Sudah barang tentu, semua itu memerlukan lahan yang cocok dan biaya pengembangan yang tidak murah. Kenyataan pahit yang harus kita hadapi ialah bahwa lahan-lahan pertanian kelas satu terpaksa diubah peruntukannya menjadi lahan nonpertanian. Untuk memperoleh gambaran akan besaran perubahan ini, diberikan angka satu juta hektar lahan sawah di Jawa dan Bali yang telah berubah fungsi selama 10 tahun terakhir ini (Kasryno, 1998). Yang terlebih dulu menjadi korban pengembangan ialah lahan-lahan pertanian di sekitar perkotaan. Kota-kota seperti Kairo dan Jakarta berlokasi di sekitar daerah pertanian dan pengembangannya menggeser lahan-lahan pertanian (Conway, 1997).

Sejalan dengan berubahnya fungsi lahan pertanian itu, persawahan baru pun perlu dicetak di kawasan-kawasan yang memungkinkan. Selama periode 10 tahun terakhir ini di Sumatera lahan sawah telah bertambah sebesar 452.000 ha, di Sulawesi 244.000 ha, di Kalimantan 78.000 ha, dan di Nusa Tenggara Timur 237.000 ha (Adiningsih dkk., 1998). Tidak jarang, perluasan lahan sawah ini mengonversikan lahan di kawasan hutan, terutama di luar Jawa, yang pada umumnya dipadukan dengan program transmigrasi. Seiring dengan pengembangan sawah itu, dibangun pula waduk dan jaringan irigasi, yang sudah barang tentu mahal biayanya. Tidak jarang perluasan sawah ini dilaksanakan di kawasan yang sebenarnya tidak cocok untuk tujuan itu. Sebagai contoh, pengembangan sawah di daerah transmigrasi Delta Upang (Conway, 1997). Tanah gambut yang dikonversikan menjadi sawah itu cepat sekali menurun mutunya sehingga rencana untuk dapat

berpanen ganda hanya berhasil secara terbatas. Pengembangan yang serupa terjadi di kawasan Sumatera lainnya, Kalimantan, Sulawesi, dan Irian Jaya. Pada umumnya lahan yang diubah menjadi sawah tidak sesuai untuk tanaman karena sifatnya yang asam dengan kadar organik dan mineral rendah, kurang baiknya drainase, serta mudahnya tererosi berat.

Sementara laju produksi padi berkejalan dengan pertambahan penduduk di Indonesia, sementara itu pula ada keinginan Pemerintah untuk menganekaragamkan pangan agar permintaan akan beras dapat diperkecil. Program penganekaragaman pangan ini dicanangkan sejak Repelita II. Macam-macam kegiatan dilakukan oleh Departemen Pertanian, Bulog, PKK, Dharma Wanita, dan sebagainya untuk mewujudkan program tersebut melalui pemanfaatan teknologi tepat guna, penganekaragaman menu makanan rakyat, dan makanan olahan dari bahan nonberas. Semua kegiatan yang sudah dilakukan ternyata belum mampu menggeser beras dari peringkat pangan utama. Padahal, dari segi potensi, jenis-jenis hayati Indonesia beranekaragam, yang dapat dikembangkan di berbagai ekosistem yang beraneka ragam pula. Maka, tantangan utama dalam menganekaragamkan pangan ini ialah kebisaan menciptakan macam-macam pangan olahan yang disantap tanpa lauk pauk tradisional. Mengganti nasi dari beras dengan berbagai bahan pangan lain agaknya hanya akan menemui kegagalan sementara lauk tradisional, seperti rendang, sayur lodeh, dan pepes ikan peda tetap dipertahankan sebagai pengiring pangan utama.

Berkaitan dengan program penganekaragaman pangan itu, sejak 10 tahun terakhir ini mereka yang mampu membeli pangan siap santap mulai menikmati produk pangan luar negeri. Bermacam roti, jajanan, dan mie yang terbuat dari gandum telah memasyarakat di Indonesia. Di kota-kota besar Indonesia waralaba, seperti Mc Donald, Kentucky Fried Chicken, dan Dunkin Donat, menjadi bagian tak terpisahkan dari pusat-pusat perbelanjaan. Secara ini penganekaragaman pangan terjadi dan konsumsi akan beras menurun di kawasan perkotaan. Di pedesaan pun ragam pangan mulai berubah. Mie baso telah merakyat sebagaimana halnya rujak dan gado-gado. Demikian pula, mie siap santap dapat dibeli di mana pun di Indonesia. Bahan pokok mie adalah gandum, yang belum bisa ditumbuhkan di Indonesia. Sebagai akibat pesatnya proses merakyatnya mie dan roti bakar, impor gandum semakin hari semakin membengkak, yang pada tahun 1997 telah mencapai 40 juta ton (WKPG VI).

Jika program penganekaragaman pangan itu ditujukan hanya untuk mengurangi ketergantungan Indonesia pada pangan pokok beras, penerimaan pangan dengan gandum sebagai bahan mentahnya merupakan sebuah keberhasilan. Tetapi, jika program penganekaragaman ini dikaitkan dengan ketahanan pangan nasional, impor gandum akan menambah beban ketergantungan pangan Indonesia pada pihak luar sebab sampai sekarang perco-

baan penanaman gandum di Indonesia belum membawa hasil yang nyata. Memang benar sampai saat ini di pasar dunia masih tersedia gandum dan beras yang dapat dibeli oleh Indonesia sehingga selama Indonesia mampu membeli, beras dan gandum yang dibutuhkannya dapat diimpor. Tetapi, menurut perhitungan, pasar pangan dunia akan semakin melemah (Brown, 1996). Vietnam, sebagai pengekspor beras, pada tahun 1995 mulai membatasi ekspor berasnya karena kenaikan harga beras di Cina. Pada tahun yang sama Perserikatan Eropa (*European Union*) menaikkan harga gandumnya di pasar dunia dengan cara menaikkan pajak eksportnya. Jadi, meskipun beras dan gandum akan tetap tersedia di pasar, Indonesia harus membayarnya dengan harga yang tinggi, yang kemungkinannya di pasar dalam negeri, rata-rata warganya tidak akan dapat menjangkau harga yang ditawarkan tanpa subsidi Pemerintah.

Melihat potensi keanekaragaman hayati yang tersedia di Indonesia, sebenarnya program penganekaragaman pangan yang dicanangkan sejak Repelita II seharusnya telah dapat diwujudkan. Tetapi, penanganan pelaksanaannya yang tidak terpadu, menyebabkan program ini belum mencapai sasarannya. Menyimak mudahnya mie siap santap memasyarakat tanpa harus diperlukannya kegiatan penyuluhan, para pengambil keputusan dapat mempelajari unsur-unsur kunci yang memerankan penyerapannya. Dengan potensi keanekaragaman hayati yang dimilikinya, Indonesia dapat segera menganekaragamkan pangannya, asalkan saja ada tekad bulat untuk memanfaatkan potensi itu dengan memperhatikan keunggulan setiap kawasan. Perlu disadari bersama bahwa program penganekaragaman pangan tidak dapat berdiri sendiri karena sifatnya yang kompleks. Program ini menuntut bukan saja tersedianya bahan pangan setempat secara berkelanjutan, melainkan juga penyajian dalam bentuk pangan olahan yang rasanya mengena dan harganya terjangkau oleh masyarakat. Secara demikian, penganekaragaman pangan akan berjalan tanpa imbauan dan instruksi dari atas. Berlainan dengan mie siap santap, yang teknologinya dapat dibeli di pasar dunia, sajian siap santap yang khas setempat hanya dapat dikembangkan oleh sumber daya manusia setempat pula. Tantangan inilah yang harus kita hadapi bersama jika penganekaragaman pangan tetap menjadi agenda pembangunan Indonesia.

PELUANG INDONESIA UNTUK MANDIRI DALAM PANGAN

Untuk memproduksi tanaman pangan agar hasilnya dapat diandalkan, diperlukan tanah yang berkualitas baik, air tawar yang berkecukupan, sinar matahari yang berkelanjutan sepanjang musim tanam, dan benih terpilih

yang sesuai dengan lahan yang ada. Indonesia berkecukupan dalam pemilikan unsur-unsur tersebut. Lahan pertanian dengan kualitas tanah yang baik, yang sesuai untuk persawahan terdapat di seputar deretan gunung berapinya. Sebagian besar kawasan Indonesia bercerah hujan 2.000--3.000 mm/tahunnya. Dengan ditampungnya aliran sungai dalam dam-dam, pada musim kemarau air tersebut dapat dialirkan ke sawah-sawah yang memerlukannya. Matahari bersinar setahun penuh karena Kepulauan Indonesia tersebar di sekitar garis khatulistiwa. Akan halnya jenis tanaman pangan, Indonesia memiliki bermacam sumber karbohidrat, selain padi dan jagung, sumber protein nabati selain kedele, dan sumber vitamin mineral yang berupa sayur-sayuran dan buah-buahan. Yang sering dilupakan orang jika membahas soal pangan ialah kebutuhan energi untuk mengolah pangan, yang berupa kayu bakar. Dalam soal kayu bakar pun, Indonesia memiliki sumber yang melimpah.

Keanekaragaman budaya di Indonesia menyuguhkan keanekaragaman pula dalam membudidayakan tanaman dan mengolahnya menjadi sajian siap santap dari bahan pangan yang tersedia. Kelimpahan akan bambu, kelapa, daun pisang dan beras ketan dimanfaatkan masyarakat Sumatera Barat dan Sumatera Utara untuk mengolahnya menjadi lemang. Rebung rotan merupakan bahan pangan khas di Tapanuli dan Kalimantan. Bubur Manado, yang di dalamnya mengandung bermacam sayuran dan ikan, menjadi kebanggaan masyarakat Sulawesi. Kombinasi sajian papeda, dari sagu, dan ikan cakalang merupakan ciri khas Maluku, sedangkan gudeg dari nangka merupakan ciri oleh-oleh dari Yogyakarta. Kekhasan masing-masing makanan ini menggambarkan eratnya kaitan antara budaya dan bahan pangan setempat.

Meskipun masyarakat Indonesia memiliki budaya yang beranekaragam, ada kesamaan pada pangan utamanya, yaitu beras. Oleh karena itu, bermacam-macam varietas lokal padi telah berkembang di kawasan Indonesia sejak ratusan tahun lalu. Sebelum Indonesia ikut serta dalam program Revolusi Hijau dengan Panca Usaha Taninya, IRRI bersama Lembaga Penelitian Pertanian, Departemen Pertanian, berhasil mengumpulkan 10.000 nomor contoh padi lokal dari berbagai macam habitat di seluruh Indonesia. Tiap daerah memiliki varietas andalannya, seperti Jawa Barat dengan beras Cianjurnya, Jawa Timur dengan beras mentiknya, dan Jawa Tengah dengan beras Rojo Lelenya. Ada padi yang tumbuh di daerah pasang surut, ada yang di tegalan, ada pula yang di sawah. Masyarakat setempat telah memilih dan memilih varietas yang sesuai dengan selera rasanya dan yang dapat tumbuh baik di sekitarnya. Lauk-pauk pengiring sajian nasi, juga berbeda dari satu tempat ke tempat lainnya. Jawa Barat terkenal dengan lalapan segarnya karena kesuburan wilayahnya memungkinkan bermacam-macam jenis tumbuhan hidup subur di sana. Sumatera Barat terkenal dengan

masakan daging dan ikannya, tetapi kurang dalam penyajian sayur-sayuran. Bermacam soto dapat dijumpai di Jawa Timur, yang disesuaikan dengan jenis ternak dan bumbu yang tersedia di tempat. Meskipun soto enak dimakan tanpa nasi, lontong merupakan pengganti nasi. Bahan mentah lontong tidak lain ialah beras. Untuk mengubah budaya makan nasi dan sejenisnya, bagi sebagian besar rakyat Indonesia tentu saja tidak mudah. Tantangannya ialah bagaimana Indonesia memanfaatkan peluang yang tersedia untuk tetap mempertahankan kenaikan produksi beras seperti yang diproyeksikan sehingga berlarut-larutnya pengimporan beras dapat dikurangi.

Di tingkat internasional mulai ada kekhawatiran akan menurunnya hasil panen padi di pertanaman intensif. Pada akhir-akhir ini, ada indikasi penurunan produktivitas lahan (Brown, 1996). Pada tahun 1995 hasil panen rata-rata adalah 2,52 ton/ha, tidak berbeda dari hasil panen tahun 1990 yang mencapai 2,54 ton/ha. Sebenarnya, secara teori kenaikan panen serealia, termasuk padi, sebesar 2%/tahun atau lebih dapat dicapai karena dari segi fisiologi, genetika, ataupun agronomi tidak ada kendala yang berarti (Conway, 1997). Tetapi, dari percobaan-percobaan yang dilakukan di beberapa lokasi, ada indikasi bahwa hasil panen pada pertanaman intensif menurun. Salah satu sebab menurunnya hasil panen ini diduga berasal dari kekurangan dan keracunan unsur-unsur mikro yang sebelumnya tidak pernah diperhitungkan. Petani-petani di Thailand yang menanami sawahnya dua atau tiga kali setahun, menanami lahan yang produksinya tidak naik lagi meskipun diberi banyak pupuk, lahan yang 'tanpa kehidupan'. Tanah di lahan-lahan demikian mengalami perubahan besar pada sifat fisik dan kimianya, di samping hilangnya tanah lapisan atas. Kecenderungan penurunan produktivitas yang sama terjadi di lahan-lahan irigasi Indonesia (Adiningsih dkk., 1998).

Di Indonesia, peningkatan produksi padi untuk kebutuhan nasional diusahakan melalui intensifikasi dan ekstensifikasi seperti yang telah dilakukan dalam beberapa Repelita. Pengembangan sawah baru sudah tidak dimungkinkan lagi di Jawa karena lahan yang cocok untuk dijadikan sawah sudah tidak tersedia lagi, bahkan setiap tahunnya menurun luasnya (Kasryno, 1998). Tetapi, di luar Jawa, tersedia luas lahan potensial yang dapat diubah menjadi lahan sawah seperti yang terdapat di Kalimantan, Sumatera, dan Sulawesi. Hanya saja kalau pengembangannya itu dikaitkan dengan program transmigrasi, pernyataan Conway (1997) mengenai rendahnya mutu tanah untuk tanaman padi patut diperhatikan.

Usaha intensifikasi padi di lahan irigasi dengan memanfaatkan teknologi yang tersedia, berhasil meningkatkan panenan padi dari 2,24 ton/ha pada tahun 1969 menjadi 4,34 ton/ha pada tahun 1995 (Fagi dan Arifin, 1998). Agar keberhasilan intensifikasi ini dapat diberlanjutkan, mereka menganjurkan penggunaan varietas-varietas baru yang ideal, tabur benih

langsung, serta efisiensi penggunaan pupuk fosfat dan kalium. Di samping itu, teknologi tata air mikro di lahan pasang surut dan pencegahan erosi tanah di lahan kering untuk padi gogo memberikan harapan untuk masa datang.

Menyimak penyajian potensi lahan dan air untuk pengembangan sawah, serta kemungkinan terakitnya benih unggul dalam Repelita VII nanti (WKPG VI), tampaknya Indonesia memiliki peluang besar untuk memberlanjutkan kenaikan produksi berasnya. Dengan demikian, impor yang terjadi sejak 3 tahun terakhir ini diharapkan dapat dikurangi bahkan dihilangkan. Tetapi, jika kita simak kekhawatiran beberapa ilmuwan internasional, sudah sepatutnya pendapat mereka kita perhitungkan agar harapan untuk tidak mengimpor beras itu benar-benar dapat menjadi kenyataan.

Sementara itu, pengembangan wilayah pertanaman pangan berdasarkan agroekosistem juga telah diusahakan (Kasryno, 1998). Bahkan, pendirian Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) di sebelas lokasi dan Loka Pengkajian Teknologi Pertanian (LPTP) pada enam lokasi di Indonesia dalam tahun 1996 dimaksudkan untuk mempercepat penyerapan teknologi pertanian yang efektif yang dihasilkan Pusat Penelitian Pertanian oleh masyarakat. Sementara itu pula, masih dalam pemikiran ialah pertanian yang berkelanjutan (Dimyati dkk., 1998). Hanya saja orientasi pemikirannya masih berfokus kepada komoditi-komoditi utama pertanian pangan kita selama ini. Yang perlu digagaskan adalah pemanfaatan keunggulan komparatif tiap kawasan agroeksistem yang ditinjau bukan saja dari komoditi utama melainkan juga dari komoditi setempat yang potensial untuk dikembangkan menjadi komoditi pangan atau untuk sumber pendapatan.

Desentralisasi penelitian berdasarkan kawasan agroekologi di Departemen Pertanian telah dimulai. Agar desentralisasi ini berjalan lebih cepat, pengikutsertaan berbagai lembaga di luar Departemen Pertanian perlu ditingkatkan. Di tingkat internasional pengikutsertaan petani dalam penelitian pertanian dan pihak swasta oleh lembaga-lembaga penelitian di lingkup *Consultative Group on International Agricultural Research* (CGIAR) merupakan kecenderungan baru. Di Indonesia, hal yang serupa telah pula dimulai. Satu hal yang terasa belum terwujud ialah berkembangnya suatu sistem nasional penelitian pertanian. Hubungan antarberbagai lembaga penelitian yang bergerak di bidang pertanian masih perlu dibina secara sungguh-sungguh sehingga universitas yang tersebar di seluruh Indonesia dapat berdaya untuk menangani masalah pangan setempat. Dalam menangani krisis pangan yang terjadi dalam tahun 1998 ini, tampak bahwa sistem penelitian pertanian nasional belum berkembang sehingga masing-masing pihak menanganinya berdasarkan visi dan misinya. Sebagai akibatnya, dana penelitian yang dialokasikan secara khusus untuk menghasilkan 'sembako' dalam jangka

pendek, dikelola sebagaimana halnya mengelola penelitian biasa, tanpa kejelasan koordinasi antarlembaga.

Untuk menanggapi pentingnya pengadaan sembako dalam waktu dekat ini, tidak kurang dari Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) yang menggerakkan stafnya untuk menanganinya melalui program dadakan dengan payung Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Daerah (Iptekda). Peneliti-peneliti LIPI dapat mengajukan usulan kegiatan penelitian mengenai pangan di daerah-daerah yang sudah ditentukan terlebih dulu dengan dana yang jumlahnya tertentu pula. Secara ini, LIPI mengharapkan bahwa dalam waktu singkat LIPI akan dapat memberikan kontribusinya secara nyata. Tentunya dalam melaksanakan program ini LIPI telah mengacu kepada keunggulan komparatif daerah-daerah yang ditanganinya, termasuk dukungan Pemerintah dan masyarakat setempat, potensi agroekologinya, peluang pasar, lapangan kerja baru, teknologi yang ramah terhadap lingkungan, dan koordinasi dengan lembaga lain yang memang berwenang menangani pangan. LIPI juga harus berani membuat kriteria keberhasilan kegiatannya, selain penyerapan dana dari segi administratif saja. Kriteria ini diperlukan untuk mengevaluasi diri sehingga LIPI berani memberikan contoh bahwa penelitian dalam masa krisis ini benar-benar menghasilkan sembako sebagaimana diharapkan Pemerintah. Tambahan pula, keberhasilan penelitian seperti dilakukan dalam masa krisis ini dapat dijadikan landasan LIPI untuk merencanakan kegiatan penelitiannya dalam Repelita VII. Satu hal yang perlu digarisbawahi ialah perlunya lembaga penelitian mengalokasikan dananya untuk penelitian mendadak yang dituntut dilakukan karena tidak direncanakan terlebih dulu.

Membahas usaha Indonesia untuk mandiri dalam bidang pangan, WKPG VI (1998) menyoroti enam bidang permasalahan pangan, yaitu

1. sumber daya pangan dan lingkungan hidup;
2. agroindustri pangan;
3. penyediaan, permintaan dan konsumsi pangan;
4. ketahanan pangan;
5. gizi dan kualitas hidup, dan
6. kelembagaan pangan.

Peserta WKPG ialah para pengambil putusan, peneliti, mahasiswa, dan usahawan. Sebagaimana layaknya suatu pertemuan ilmiah, WKPG menghasilkan sejumlah rekomendasi yang ditujukan kepada Pemerintah untuk ditindaklanjuti dalam melaksanakan Repelita VII. Pihak yang mana yang harus memantau diserap atau tidaknya rekomendasi-rekomendasi tersebut oleh Pemerintah? Dengan mengingat kelembagaan pangan yang ada sekarang belum berfungsi seperti yang diharapkan dalam WKPG VI (Winarno dkk., 1998), yang berkemampuan dan yang seyogianya berkepedulian untuk memantau secara proaktif ialah para asosiasi profesi yang

menjadi mitra LIPI dalam penyelenggaraan WKPG. Pemantauan yang dilakukan oleh lembaga-lembaga independen, seperti asosiasi profesi ini, akan tidak berpihak kepada salah satu pelaku dalam pemerintahan.

TANPA IPTEK, PELUANG BERLALU

Kenyataan bahwa Indonesia kaya akan sumber daya hayati (MNLH, 1993) dan sumber tanaman pangan (Zeven dan Zhukovsky, 1975) sering menyebabkan kita terlena seakan kekayaan tersebut tidak akan ada habisnya. Baru sebagian kecil masyarakat Indonesia menyadari bahwa proses penyusutan kekayaan hayati, termasuk sumber pangannya, tengah berlangsung di kawasan ini. Padahal, banyak jenis yang berpotensi masih tumbuh secara alami di hutan-hutan. Pembudidayaan jenis-jenis tanaman asli memang telah dimulai, tetapi boleh dikatakan belum tersentuh teknologi pembudidayaan masa kini. Sementara Indonesia sibuk mengurusi krisis ekonominya, sementara itu menyusutnya kekayaan alam berjalan sangat cepat. Perbenturan kepentingan antara para pelaku pembangunan untuk memanfaatkan kawasan hutan bersama isinya telah dikupas (Barber, 1998). Penelitian dan pengembangan pangan selama enam Repelita memfokuskan diri pada pangan utama nasional, yaitu padi dan jagung. Meskipun komoditas pangan lainnya ditangani penelitiannya, pengembangannya di lahan petani belum bisa menyamai intensitas padi dan jagung. Sebagai akibatnya pengetahuan dan keterampilan petani dalam menangani komoditas non-utama belum banyak beranjak dari yang diturunkan oleh para pendahulunya.

Di beberapa kawasan di Indonesia tumbuh jenis-jenis palem penghasil tepung. Sagu, misalnya, telah dimanfaatkan sebagai sumber karbohidrat di kawasan timur Indonesia. Bahkan, salah satu varietas sagu ini telah menyebar ke kawasan Indonesia bagian barat yang memiliki habitat untuk pertumbuhan sagu. Di samping sagu, siwalan menjadi tumpuan hidup warga Indonesia yang bermukim di kawasan semi-ringkai di Nusa Tenggara Timur dan Nusa Tenggara Barat. Siwalan juga dijumpai di kawasan Sulawesi Selatan yang memungkinkan siwalan berkembang karena habitat yang serupa dengan di NTT dan NTB. Di kawasan hutan hujan Indonesia tumbuh secara alami pohon aren yang penyebarannya lebih luas dari sagu dan siwalan. Pohon aren banyak ditebang karena menghasilkan tepung yang bernilai komersial. Meskipun telah dimanfaatkan secara luas, pembudidayaan ketiga palem tersebut di Indonesia belum tertangani secara baik. Di Sarawak, sagu telah dibudidayaan secara perkebunan sejak tahun 1976. Beberapa tahun lalu penelitian dan pengembangan sagu memang digalakkan oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). Tetapi, pada kenyataannya, sampai dengan sekarang belum terdengar berkembangnya perkebunan sagu

sebagaimana di Sarawak. Sementara itu, populasi alami aren di hutan hujan menurun sejalan dengan eksploitasi hutan. Meskipun penelitian dasar mengenai aren telah dimulai sejak dimulainya Repelita I, pengembangannya menjadi tanaman perkebunan masih belum menjadi kenyataan.

Ketiga palem yang merupakan tanaman asli Indonesia itu merupakan sumber karbohidrat yang potensial. Pembudidayaannya memerlukan perhatian yang sungguh-sungguh jika agroindustrinya akan diagendakan, sebab untuk kebutuhan industri pasokan bahan mentah harus terjamin. Populasi alami yang semakin menurun memberikan isyarat lampu kuning kepada kita bahwa jika eksploitasi hutan berjalan seperti sekarang tidak lama lagi palem-palem ini akan hanya berada di kebun-kebun koleksi. Dari pengalaman gagalnya para transmigran mengembangkan padi di Kalimantan, Conway (1997) mencatat keberhasilan mereka mengganti padi dengan kelapa. Bukan tidak mungkin pembudidayaan ketiga palem ini dimulai di daerah-daerah yang telah dibuka dan tidak sesuai untuk padi. Catatan Conway itu patut diperhatikan dalam usaha membudidayakan jenis-jenis palem asli.

Penelitian ubi-ubian sebagai sumber karbohidrat telah pula dikerjakan, terutama pada ketela pohon dan ubi jalar. Di samping kedua ubi-ubian utama itu, Indonesia memiliki pula jenis-jenis asli seperti ubi tiang dari marga *Dioscorea*, suweg dari marga *Amorphophalus* dan talas bogor (*Colocasia esculenta*). Seperti juga aren, penelitian dasar pada ubi-ubian asli ini telah dimulai sejak Repelita I. Sampai dengan sekarang, petani di Irian jaya, Siberut, Malang dan Bogor yang telah membudidayakan talas ini secara turun-temurun untuk pangan utama atau jajanan masih belum menikmati teknologi budidaya yang baru. Demikian pula gadung dan sebangsanya, yang masih juga ditanam secara tradisional, bahkan di beberapa tempat masih dikumpulkan dari populasi alami di hutan.

Akan halnya buah-buah tropika, Indonesia merupakan pusat penyebaran pisang, rambutan, manggis, durian, jeruk besar, salak, dan sebagainya. Dalam lima tahun terakhir ini, sebelum krisis moneter menimpa Indonesia, jenis buah-buahan asli kita terdesak oleh buah impor, seperti anggur, pir, apel, jeruk mandarin, melon, bahkan buah kiwi. Buah impor lebih disenangi pembeli karena kualitas yang seragam, warna yang menarik, dan harga yang terjangkau. Krisis moneter membawa berkah kembalinya buah-buahan asli ke meja para penjual buah. Berlainan dengan buah impor, mutu buah-buahan asli sangat beraneka ragam, karena buah-buahan tersebut berasal dari kebun-kebun petani yang bibitnya memang tidak seragam.

Di zaman Belanda, Pasar Minggu merupakan kawasan buah terpilih. Dari kebun percobaan Belanda yang terletak di kawasan tersebut, rakyat setempat menanam rambutan, apukat, sawo, pepaya, dan lain-lainnya. Lima puluh tahun setelah Indonesia merdeka, kawasan Pasar Minggu mengalami perubahan cepat, bukan hanya sebagai kebun percobaan buah-buahan yang

berubah fungsinya melainkan juga kawasan permukimannya. Pekarangan dengan pohon-pohon buah-buah khas yang dulunya dapat menopang kehidupan pemiliknya tidak lagi dapat bertahan. Menghilangnya pekarangan untuk kebutuhan permukiman berakibat pada menghilangnya plasma nutfah buah-buah terpilih. Yang tersisa di Pasar Minggu sekarang hanyalah sisa sejarah. Koleksi pohon kebun percobaan Pasar Minggu dicoba diselamatkan oleh Komisi Nasional Plasma Nutfah di kebun koleksi Paseh, Subang. Tetapi, karena kurangnya dana untuk pemeliharaan, tidak semua yang dipindahkan berhasil tumbuh dan berkembang.

Berbicara soal buah-buahan asli Indonesia, Thailand memiliki jenis-jenis buah yang sama dengan Indonesia. Bedanya ialah bahwa Thailand berhasil mengembangkan mutu pada setiap jenis buah yang dijual di pasarnya sehingga ada perbedaan yang nyata antara buah-buah dari jenis yang sama, yang ditawarkan di sekitar Bogor dan Jakarta jika dibandingkan dengan yang berasal dari Bangkok. Di negara tersebut rambutan, mangga, durian, manggis, jeruk, dan belimbing menampakkan ukuran yang seragam, warna yang menarik, dan rasa yang terjamin. Indonesia boleh bangga sebagai pusat alami jenis buah-buah tersebut, tetapi Thailandlah yang berhasil membubuhkan nama 'bangkok' pada setiap buah yang sama jenisnya dengan yang kita miliki. Nama bangkok merupakan jaminan mutu buah-buahan yang berasal dari kawasan Malesia. Hasil penelitian lembaga-lembaga di Indonesia belum mampu memenuhi kebutuhan warganya akan buah-buahan sebagai sumber vitamin dan mineral, apalagi untuk menyaingi Thailand di pasar dunia.

Indonesia juga kaya akan sumber protein hewani (MNLH, 1993). Tetapi, taraf penelitian dan pengembangannya tidak jauh berbeda dengan buah-buahan. Terbukanya peluang mengembangkan ternak sapi dan unggas yang memanfaatkan bibit dari luar, mendorong tumbuhnya peternak-peternak berskala kecil dan besar. Selama beberapa tahun, rakyat dapat menikmati susu segar, telur, dan daging dengan harga yang terjangkau. Penelitian dan pengembangan pun mengacu kepada peternakan yang intensif. Krisis moneter membukakan mata kita semua akan rawannya usaha peternakan di Indonesia, yang disebabkan oleh besarnya ketergantungan pada pihak luar. Baik bibit maupun pakan, kedua-duanya berasal dari impor, seakan di Indonesia hanya tempat untuk membesarkan dan menggemukkan. Padahal, sumber daya hayati kita cukup tersedia untuk diramu menjadi pakan pengganti, seandainya hasil penelitian di lembaga-lembaga penelitian kita siap pakai. Kasus robohnya usaha peternakan ini seyogianya menjadiajaran bahwa kekayaan hayati yang ada perlu ditangani melalui Iptek sendiri. Salah satu jalan yang ingin ditempuh masyarakat ilmiah Indonesia dalam usaha memberikan nilai tambah pada kekayaan hayatinya ialah dengan memanfaatkan teknik-teknik bioteknologi. Pemerintah meyakini bahwa para

ilmuwan Indonesia dapat menyejajarkan diri dengan para koleganya di tingkat internasional dalam usahanya menguasai bioteknologi, yang baru saja berkembang di permulaan tahun 1980. Untuk usaha ini, Pemerintah memberikan komitmennya mendirikan pusat-pusat unggulan bioteknologi di universitas dan di lembaga-lembaga penelitian, dengan jalan berutang kepada World Bank. Secara ini, prasarana, sarana, dan sumber daya manusia yang berpendidikan tinggi dapat disediakan.

Dalam bidang pangan, bioteknologi berhasil dimanfaatkan untuk merekayasa benih dengan berbagai sifat yang diingini (Hawtin, 1998). Teknik-teknik mutakhir yang berkembang di negara-negara maju memungkinkan seseorang untuk memindahkan gen dari jenis yang satu ke jenis yang lainnya secara tepat. Bahkan, melalui bioteknologi pengembangan dari ternak dewasa telah pula dimungkinkan. Pengembangan dan aplikasi bioteknologi mensyaratkan padat ilmu dan padat modal. Oleh karena itu, di negara-negara maju, pengembangan bioteknologi pada umumnya berada di tangan pihak swasta. Sebaliknya, di Indonesia, peran pihak swasta dalam pengembangan bioteknologi jika ada pun belum berarti.

Pemerintah menyadari pentingnya koordinasi dalam bidang penelitian dan pengembangan. Oleh karena, itu sebuah kantor menteri negara urusan riset dan teknologi pun didirikan untuk pelaksanaan koordinasi ini 25 tahun lalu. Sementara itu, Dewan Riset Nasional dibentuk oleh menteri negara tersebut untuk mengembangkan program-program riset dan teknologi. Kelembagaan ilmiah baru lainnya ialah Akademi Ilmu Pengetahuan Indonesia (AIPI) yang fungsinya memberikan nasihat kepada pemerintah. Dalam bidang penelitian dan pengembangan pertanian, khususnya pangan, Departemen Pertanian memiliki Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, yang fungsi utamanya ialah menyediakan data penelitian Departemen Pertanian. Penelitian dan pengembangan pangan juga diselenggarakan oleh beberapa lembaga penelitian di lingkup universitas. Jadi, sebenarnya lengkapnya lembaga di Indonesia untuk menangani sumber pangan Indonesia untuk mandiri dalam bidang pangan sudah cukup tersedia. Yang perlu diperhatikan sekarang ialah alasan mengapa hasil penelitian-penelitian kita belum mampu mendukung kemandirian kita dalam pangan. Kemandirian ini merupakan unsur yang paling hakiki dalam kehidupan manusia. Tanpa kemandirian ini kekayaan hayati yang kita bangga-banggakan menjadi mubazir adanya.

KETAHANAN PANGAN DAN KETIDAKPASTIAN

Perkembangan terakhir pembangunan nasional Indonesia mengalami perubahan politik mendadak, yang salah satunya berakibat pada turunnya

ekonomi Indonesia dan langkanya persediaan pangan di pasar. Perubahan seperti ini tidak pernah diharapkan dapat terjadi dan skenario ke arah itu belum pernah dibicarakan secara terbuka. Jumlah penduduk miskin bertambah tajam dalam waktu yang sangat singkat, dari 17% pada tahun 1997 menjadi 40% pada tahun 1998. Jika keadaan ekonomi tidak segera membaik, Pemerintah memperhitungkan jumlah penduduk miskin pada akhir tahun 1998 akan bertambah dan mencapai angka 50%. Kebutuhan akan pangan tidak lagi terjangkau oleh daya beli mereka sehingga kehidupan mereka menjadi tergantung pada pihak lain. Apa yang kita alami tahun ini membuktikan secara nyata bahwa pangan merupakan kekuasaan. Secara nyata pula, kita melihat bahwa siapa menguasai pangan, merekalah yang menguasai orang. Harapan Indonesia untuk dapat terus memiliki ketahanan dalam pangan nasionalnya buyar berantakan dalam tahun 1998.

Perubahan politik yang terjadi di Indonesia mengajarkan kepada kita semua bahwa masa depan penuh ketidakpastian. Ketidakpastian ini pula yang mendorong kelompok *Global Scenario Group* (GSG) di *Stockholm Environment Institute* (SEI) untuk membuat skenario pembangunan berkelanjutan (1996) yang menjangkau masa depan yang panjang. Dalam mengembangkan skenarionya, kelompok ini menekankan masa depan yang penuh ketidakpastian. Satu hal pasti dalam kehidupan manusia ialah berlakunya perubahan. Enam varian yang selalu berubah yang berpengaruh pada pembangunan berkelanjutan ialah penduduk, ekonomi, lingkungan hidup, keadilan, teknologi, dan perbenturan kepentingan (Gallopin dkk., 1997). Dari analisis keenam varian itu, ada tiga skenario yang ditawarkan kelompok SEI ini, yaitu Dunia yang Konvensional (*Conventional World*), barbarisasi (*Barbarization*) dan Transisi Besar (*Great Transition*). Pada setiap skenario, kecenderungan masa depan keenam varian berbeda. Proyeksi kebutuhan pangan dunia dibicarakan dalam kaitan dengan keenam varian tersebut. Jumlah orang yang menderita kelaparan di Asia Selatan dan Asia Tenggara, Indonesia termasuk di dalamnya, akan semakin membesar. Skenario menawarkan kebijakan yang perlu diambil di tingkat dunia untuk memperbaiki keadaan agar angka-angka yang diproyeksikan tidak terjadi.

Dalam membicarakan ketahanan pangan dunia, pertemuan puncak bangsa-bangsa di FAO-Roma (1997) berbulat tekad untuk mengusahakan terpenuhinya kebutuhan pangan setiap individu yang hidup di dunia. Berkaitan dengan usaha mengembangkan ketahanan pangan ini, Swaminathan (1998) menekankan pentingnya ketersediaan pangan, keterjangkauannya oleh daya beli, dan yang tidak boleh dilupakan ialah tingkat absorpsi pangan oleh tubuh. Ketersediaan pangan mencakup produksi dan distribusi sampai ke rumah tangga. Di tingkat dunia, penyediaan pangan sampai saat ini berhasil dilipatgandakan melalui Revolusi Hijau (Brown, 1996).

Semua pihak menyadari bahwa Revolusi Hijau tidak selalu menguntungkan petani meskipun ditinjau dari segi peningkatan persediaan pangan, dampak positifnya sangat dirasakan. Petani-petani gurem dan buruh-buruh tani terpojok oleh proses revolusi ini karena fungsi mereka tergantikan oleh mesin-mesin dan bahan kimia. Dampak negatif revolusi ini pada lingkungan hidup pun dipertanyakan. Tetapi, paket teknologi yang diterapkan perlu terus diperbaiki untuk mengantisipasi pertambahan penduduk dunia yang tidak terelakkan itu. Oleh karena itu, *Doubly Green Revolution* (Conway, 1998) atau *Ever Green Revolution* (Swaminathan, 1998) harus selalu diusahakan agar tersedianya pangan dunia dapat mengimbangi pertumbuhan penduduknya.

Peran lembaga-lembaga penelitian pertanian dunia yang tergabung dalam CGIAR dalam menciptakan teknologi yang diterapkan dalam Revolusi Hijau itu sangat besar. Oleh karena itu, jika konsep the *Ever Green Revolution* dapat diterima, Swaminathan (1998) mengemukakan perlunya penelitian yang sifatnya

1. antisipatif, yaitu yang berkaitan dengan iklim dan pasar;
2. partisipatif, dengan pengikutsertaan petani dan perempuan;
3. strategik, penilitian dasar, misalnya penentuan genom dan fungsi-fungsi yang tepat, dan
4. integratif, yaitu yang memperhatikan pendekatan holistik.

Hasil penelitian lembaga-lembaga dunia itu tidak akan berarti banyak pada tingkat nasional jika Sistem Lembaga Penelitian Pertanian Nasionalnya tidak siap untuk menjadi mitranya. Yang dimaksud dengan sistem nasional itu bukan saja lembaga-lembaga di lingkup Departemen Pertanian, melainkan mencakupi juga lembaga-lembaga penelitian universitas, swasta, dan sebagainya. Di Indonesia, lembaga-lembaga di lingkup LIPI dan BPPT sebenarnya termasuk dalam sistem kelembagaan pertanian ini pula.

Bericara mengenai ketahanan pangan dan ketidakpastian di Indonesia, pertanyaannya menjadi penelitian apa saja yang seharusnya dapat mendukung pengembangan ketahanan pangan, mengingat beranekaragamnya ekosistem, budaya, tingkat pendidikan, dan sosial masyarakatnya? Selama ini, kegiatan-kegiatan penelitian yang berkaitan dengan pangan di Indonesia mengacu kepada penyediaan pangan utama, yang diperlukan masyarakat banyak. Sebagai akibatnya, semua daya dan dana dicurahkan untuk mengusahakan tersedianya beras pada tingkat nasional. Berkaitan dengan usaha tersebut, pencetakan sawah beririgasi menjadi obsesi Pemerintah sehingga tercetus gagasan untuk mengubah satu juta lahan gambut di Kalimantan Tengah menjadi lahan sawah beririgasi. Gagasan politik ini tidak didasari pertimbangan ilmiah yang matang.

Dengan mengacu kepada goyahnya ketahanan pangan yang terjadi

di Indonesia pada tahun 1998, ketidakpastian politik, ekonomi, dan sosial yang tengah berlangsung, mungkinkah Indonesia merencanakan untuk mencapai kembali tingkat ketahanan pangan pada tahun 1984? Jika yang dituju hanya mengusahakan produksi beras di seluruh Indonesia, Menteri Pertanian dalam Kabinet Reformasi Pembangunan bertekad agar Indonesia dapat berswasembada kembali dalam kurun waktu tiga tahun. Dengan melihat proyeksi-proyeksi yang dibuat oleh Badan Litbang Pertanian (Kasryno, 1998) tekad itu ada dasarnya. Tetapi, krisis pangan seperti yang terjadi pada tahun 1998 ini dapat saja terulang kembali dengan mengingat masalah pangan tidak terlepas dari masalah pembangunan nasional lainnya. Oleh karena itu, yang perlu dibahas secara sungguh-sungguh ialah kebijakan tentang produksi pangan.

Berkaitan dengan pengembangan kebijakan produksi pangan ini, CGIAR, lembaga penelitian pertanian internasional harus mampu mendorong tercapainya ketahanan pangan di negara-negara yang sedang berkembang (Strong, 1998). Tantangan yang dihadapi lembaga-lembaga penelitian pertanian di Abad XXI nanti ialah pemberian kepastian kepada penduduk dunia yang termiskin untuk memperoleh pangan dengan harga yang terjangkau. Di negara-negara yang sedang berkembang investasi dalam penelitian dan pengembangan pertanian pada umumnya perlu ditingkatkan kalau ketahanan pangan dalam negeri ingin dicapai (Reeves dkk., 1998). Tercapainya ketahanan pangan menunjukkan sekaligus peningkatan pendapatan rakyat, yang berarti dapat diperkecilnya kemiskinan. Di Indonesia dana untuk kegiatan penelitian dan pengembangan pertanian memang masih terbatas dengan mengingat banyaknya masalah yang harus dipecahkan. Maka keberanian untuk menentukan prioritas yang benar-benar dapat mendukung segera terciptanya ketahanan pangan merupakan tantangan buat para pembuat keputusan di semua tingkatan.

Mereka yang menghuni daerah-daerah pertanian marginal pada umumnya tergolong miskin. Belum banyak teknologi pertanian yang tersedia sekarang cocok untuk menangani daerah-daerah seperti itu. Itulah sebabnya Reeves dkk. (1998) menekankan perlunya mengagihkan dana penelitian lebih banyak lagi pada kawasan yang kurang tertangani pada saat ini, yaitu yang berpotensi pertanian, lahan-lahan yang cepat tererosi, yang bercurah hujan rendah, dan yang beresiko tinggi untuk penurunan mutu lingkungan. Mereka yang tinggal di kawasan-kawasan seperti itu pada umumnya miskin dan pangannya tidak terjamin. Di Indonesia, kegiatan penelitian untuk kawasan marginal juga masih jauh dari memuaskan.

Dengan mengacu kepada berbagai anjuran di tingkat internasional, usaha Indonesia menuju ke ketahanan pangan untuk seluruh rakyatnya dapat ditempuh melalui dua jalur beikut

- a. jalur konvensional: pemenuhan kebutuhan pangan nasional dan pengembangan ketahanan nasional. Di jalur ini, pemasakinian teknologi *Green Revolution* perlu terus dikembangkan di lahan-lahan yang memang sesuai. Kelemahan sosial budaya dan dampak negatifnya pada lingkungan hidup perlu memperoleh perhatian sungguh-sungguh di masa datang. Penyerapan teknologi dari luar yang benar-benar memberikan terobosan baru dapat dilaksanakan untuk mempercepat keberhasilan. Pengikutsertaan swasta nasional merupakan keharusan, dan
- b. jalur nonkonvensional: memanfaatkan keunggulan keanekaragaman hayati setempat. Untuk mengembangkan jalur ini kebijakan politik yang jelas, yang didukung oleh tindakan politik yang nyata perlu dikembangkan. Jika ada jaminan kebijakan dan tindakan politik, berikutnya ialah kemampuan, kemauan, dan komitmen masyarakat ilmiah setempat. Keterpaduan antara kemauan politik dan kemampuan masyarakat ilmiah ini sangat diperlukan agar keikutsertaan petani dalam menggarap lahannya benar-benar dapat diwujudkan.

Pada akhirnya, perlu kita sadari bahwa kekayaan hayati yang melimpah di Indonesia, yang pada saat ini mengalami penyusutan deras, tidak akan berarti banyak untuk kehidupan kita berbangsa jika kita tidak dapat memberikan nilai tambah kepada kekayaan tersebut. LIPI, yang memiliki aset lembaga-lembaga penelitian yang bergerak dalam bidang keanekaragaman hayati dan teknologi, seyogianya menjadi 'roda gendeng', motor penggerak bagi lembaga-lembaga penelitian lainnya, untuk mengerahkan daya dan dana bagi pengembangan kekayaan tersebut, terutama untuk ketahanan pangan. Bukankah LIPI yang selalu menjadi sponsor utama setiap WKPG selama 30 tahun ini? Dalam menangani masalah pangan ini komitmen LIPI harus tercermin pada komitmen staf penelitiya.

PUSTAKA

- Adiningsih, J.S., I. Las, S. Silitonga, dan S. Nurhalim, 1998. Ketersediaan dan tren sumber daya pangan. Dalam *Prosiding Widya Karya Nasional Pangan dan Gizi VI*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Edisi Percobaan.
- Barber, Ch.V., 1998. Forest Resource Scarcity and Sosial Conflict. *Environment* 10 (40).
- Brown, L.R., 1996. *Tough Choices: Facing the Challenge of Food Scarcity*. W.W. Norton and Co. New York.
- Conway, G., 1997. *The Doubly Green Revolution*. Penguin Books.
- Dimyati, A., Sumarno, and S. Bachrein, 1998. Pembangunan Pertanian Pangan Berkelanjutan. Dalam *Prosiding Widya Karya Nasional Pangan dan Gizi VI*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

- Fagi, A.M. dan S. Arifin, 1998. Ketersediaan dan pemanfaatan iptek pertanian pangan. Dalam *Prosiding Widya Karya Nasional Pangan dan Gizi VI*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Edisi Percobaan.
- Gallopin, G., Al Hammond, P. Raskin and R. Swart, 1997. *Branch Points: Global Scenarios and Human Choice*. Stockholm Environment Institute.
- Hawtin, G., 1998. 'Biotechnology in the Maintenance and Use of Crop Genetic Resources'. Dalam *NABC Report 9. Resource Management In Challenged Environments*.
- Jalil, A.W., 1998. Food security: global trend. Dalam *Prosiding Widya Karya Nasional Pangan dan Gizi VI*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Edisi Percobaan.
- Kasryno, F., 1998. Sumber Pangan dan Lingkungan Hidup. Dalam *Prosiding Widya Karya Nasional Pangan dan Gizi VI*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Khomsan, A., D. Sukandar, U.Sumarwan dan D. Briawan, 1998. Pangan sebagai Indikator Kemiskinan. Dalam *Prosiding Widya Karya Nasional Pangan dan Gizi VI*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- MNLH, 1993. *Indonesian Country Study on Biological Diversity*.
- Purwoto, A., Sri Hartoyo dan A. Suryana, 1998. Penawaran, Permintaan, dan Konsumsi Pangan Nabati di Indonesia. Dalam *Prosiding Widya Karya Nasional Pangan dan Gizi VI*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Raskin, P., M. Chadwick, T. Jackson and G. Leach, 1996. *The Sustainability Transition: Beyond Conventional Development*. Stockholm Environment Institute.
- Reeves, T., Per Pinstrup-Anderson dan R. Pandya-Lorch, 1998. Food Security and the Role of Agricultural Research. Dalam *NABC Report 9. Resource Management In Challenged Environments*.
- Salim, E., 1979. *Komunikasi Pribadi*.
- Strong, M., 1998. Dalam *CGIAR Mid-Term Meeting 1998*.
- Syarief, H., 1991. *Studi indikasi daerah rawan pangan*. Laporan Proyek Pengembangan Diversifikasi Pangan.
- Sumarwan, U., D. Sukandar, A. Khomsan, E. Sunarti, dan H. Ryadi, 1998. 'Studi penentuan Ketahanan Pangan'. Dalam *Prosiding Widya Karya Nasional Pangan dan Gizi VI*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Sutrisno, N., 1998. 'Ketahanan Pangan'. Dalam *Prosiding Widya Karya Nasional Pangan dan Gizi VI*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Swaminathan, M.S., 1998. *The Ever Green Revolution*. Staf Seminar 12 May, 1998, ICARDA, Syria.

- Winarno, F.G., M. Amin, H.M.A.Wirakartakusumah, S. Sastrapradja, Sukirman, W. Katam dan A. Suparto, 1998. 'Pengkajian Kelembagaan Pangan Indonesia'. Dalam *Widya Karya Nasional Pangan dan Gizi VI*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Zeven A.C., and P.M. Zhukovsky, 1975. *Dictionary of Cultivated Plants and Their Centres of Diversity*. Wageningen: Centre for Agriculture Publishing and Documentation.

PENGELOLAAN SATWA NUSANTARA

SUATU GAGASAN DEMI PENINGKATAN MUTU

KEHIDUPAN BANGSA

oleh

Soenartono Adisoemarto
Puslitbang Bioteknologi, LIPI

PENDAHULUAN

Istilah *satwa* diartikan sebagai binatang pada umumnya. Jika kita mendengar kata *binatang*, yang terbayang di mata kita ialah binatang menyusui berukuran besar, seperti kerbau, sapi, kijang, rusa, kambing, babi, badak, dan gajah. Tetapi, jika kaidah ilmiah kita ikuti, yang tergolong ke dalam binatang ialah semua jenis yang tercakup dalam kelompok *animal kingdom*. Secara keseluruhan, binatang meliputi deretan dari Protozoa sampai Metazoa dan Mammalia (Hyman, 1940; Mayr dkk., 1953; Colbert, 1951). Dalam klasifikasi secara konvensional, binatang atau satwa, sesuai pengertian yang kita sepakati dikenal dalam dua kelompok, *invertebrata* atau binatang tidak bertulang belakang, dan *vertebrata* atau binatang bertulang belakang.

Dengan ketentuan seperti tersebut di atas, satwa yang akan kita bahas dalam uraian ini akan meliputi Metazoa pada taraf rendah sampai binatang menyusui, termasuk Primata atau binatang menyusui yang paling tinggi tingkatannya dalam evolusi. Walaupun demikian, pembatasan akan diterapkan pada bahasan ini, yaitu hanya mencakup binatang yang hidup di luar ekosistem kelautan dan pesisir. Pembatasan ini diterapkan untuk menghindari duplikasi pembahasan yang akan dicakup dalam bahasan lain. Akan tetapi, jika ada hal, aspek atau kebijakan yang tidak dapat dipisahkan, kedua kelompok daratan dan bahari akan dicakup sebagai satu kesatuan.

Satwa mengandung nilai yang tinggi bagi kehidupan manusia. Manfaat ini dapat berbentuk barang dan/atau layanan (jasa). Selain itu, manfaat satwa juga dapat diambil dari sebaran atau distribusinya. Berhubung dengan manfaat satwa bagi manusia, perlu dilakukan pengelolaan. Untuk dapat mengelola satwa Nusantara dengan baik, diperlukan pengetahuan mengenai keadaannya di Indonesia.

MANFAAT SATWA DALAM BARANG DAN JASA

Penghasil Produk dan Jasa

Satwa dapat memberikan daging, kulit, tulang, bulu, dan bagian-bagian tubuh lainnya, susu, telur, minyak/lemak, dan produk lainnya yang dapat dimanfaatkan, baik sebagai sumber pangan maupun sebagai sumber penghasilan (mendatangkan pendapatan). Satwa juga dapat menyediakan dirinya dalam bentuk tenaga, kegiatan, atau bentuk nonfisik lain, untuk memberikan jasa yang dapat dimanfaatkan manusia.

Peran satwa dalam menunjang kehidupan manusia sudah ditunjukkan sejak makhluk yang disebut manusia atau *Homo sapiens* (makhluk yang bijaksana) muncul di atas bumi, sekitar satu sampai dengan dua juta tahun yang lalu (Cole, 1963; Barnett, 1964; Brodrick, 1964; Cornwall, 1964) Pada mulanya, hanya satwa besar yang terdapat di daratan, seperti gajah, mamud, kijang, banteng, sapi, dan binatang-binatang liar yang besar lainnya yang diburu manusia untuk dimakan dagingnya (Childe, 1951). Keuntungan memburu binatang besar ini juga diperoleh dari kulit binatang yang dapat dijadikan penutup tubuh di kala cuaca tidak bersahabat. Lama-kelamaan mengikuti perkembangan kemampuan manusia dalam mengembangkan alat dan teknologi, manfaat satwa makin meningkat, bukan saja bagian tubuhnya yang digunakan melainkan juga tenaga yang tersimpan di dalam tubuh satwa menjadi produk yang digunakan manusia.

Perkembangan pengetahuan manusia mengenai satwa memperluas cakrawalanya dalam memanfaatkan satwa. Binatang kecil di dalam tanah dan air, binatang terbang, binatang yang terdapat pada pepohonan pun tidak luput dari pencarian manusia untuk menjadi sumber pangan dan pemenuhan kebutuhan lainnya. Ikan di sungai, larva serangga yang terdapat di dalam tanah, burung yang sedang bertengger di pepohonan atau yang sedang terbang, dan binatang lainnya yang dapat ditangkapnya, kemudian menjadi bagian dari menunya. Setelah manusia memahami lautan dan dapat menguasai lingkungan ini, pantai dan lautan pun menjadi daerah pencarian makanannya, dengan memanfaatkan ikan dan binatang lautan lainnya seperti kepiting, udang, cumi-cumi dan ubur-ubur (Childe, 1951).

Untuk meningkatkan pengetahuannya, manusia tidak saja memanfaatkan daging atau bagian tubuh binatang yang ditangkapnya, melainkan kemudian mengembangkan upaya untuk memperoleh produk lainnya, seperti susu, telur, dan madu sebagai sumber bahan untuk memenuhi kebutuhan pangannya, bukan lagi terbatas pada kebutuhan pangan melainkan juga kebutuhan lain, misalnya pemanfaatan laki dari kutu laki. Kebutuhan manusia yang dipenuhi dari produk yang dihasilkan oleh satwa tidak terbatas

pada pangan. Pakaian yang dikembangkan dari kebutuhan untuk menutupi tubuh dari cuaca yang tidak bersahabat berkembang menjadi sarana untuk memenuhi etika. Kebutuhan ini berkembang menjadi kebutuhan sandang, yang sebagian dipenuhi dari produk satwa. Kulit untuk sepatu dan sutera untuk baju merupakan produk satwa yang dimanfaatkan manusia untuk memenuhi kebutuhan sandangnya.

Perkembangan kebudayaan manusia membuat manusia mampu mengetahui adanya penyakit dan cara mengobatinya. Begitu pula, dalam hal pengobatan ini, manusia telah menggunakan satwa untuk menanggulangi berbagai penyakit. Bagian-bagian dalam tubuh satwa seperti hati, empedu, dan ginjal beberapa jenis satwa telah digunakan untuk menyembuhkan penyakit. Di beberapa negara seperti Vietnam telah tercatat sejumlah jenis binatang dan tumbuhan yang bermanfaat sebagai ramuan obat untuk berbagai penyakit (Weitzel, 1993). Selain bagian tubuh satwa, produk satwa, seperti madu, lilin, sutera dan laks, serta produk lainnya, juga telah dimanfaatkan manusia.

Jasa satwa juga telah digunakan untuk berbagai tujuan pengobatan atau langkah menuju pengobatan. Penggunaan lintah tertentu --*Herudo medicinalis*-- untuk mengisap darah yang diperlukan dalam diagnose suatu penyakit merupakan contoh klasik jasa yang dinikmati manusia dari satwa. Yang lebih jelas lagi mengenai jasa satwa ialah sumbangannya dalam bentuk tenaga. Kerbau, sapi, kuda, dan keledai merupakan jenis-jenis satwa yang telah memberikan jasanya bagi manusia untuk dapat menyelesaikan tugasnya dengan lebih ringan.

Pengaturan Lingkungan

Satwa mempunyai aneka ragam peran dalam lingkungan. Ada pemangsa, mangsa, pemarasit, penyerbuk, pemencar biji, perombak dan penghasil bahan organik, indikator, dan sebagainya.

Untuk memenuhi kebutuhan hidupnya, satwa juga harus mencari pakan. Tergantung pada jenis satwa, pakan ini dapat berupa binatang lain, baik yang hidup maupun yang mati, dihabiskan atau dibiarkan tetap hidup, serta tumbuhan dan bagian-bagiannya. Proses mencari pakan dan proses makan yang dilakukan oleh satwa itu sendiri merupakan produk yang dapat bermanfaat bagi lingkungan. Proses mencari pakan seperti yang dilakukan oleh lebah madu dalam memperoleh serbuk sari dan nektar memungkinkan terjadinya penyerbukan pada tumbuhan dan terjadinya pembuahan. Dari proses makan, seperti yang terjadi pada burung pemakan biji, terjadilah pemencaran biji dari satu tempat ke tempat lain, yang mungkin berjauhan letaknya. Peristiwa ini akan menguntungkan jenis tumbuhan yang disebarluaskan dengan melalui proses makan karena cakupan sebarannya akan lebih luas.

Pemakan bangkai akan membersihkan sisa-sisa tubuh binatang yang mati karena sebab-sebab alami atau karena tidak habis dimakan pemangsa atau parasit. Satwa yang hidup dari sisa-sisa tumbuhan pun, misalnya buah yang membusuk, daun yang gugur, serta ranting yang patah, mempunyai sumbangsih yang sama terhadap lingkungan. Dengan adanya satwa pemakan bangkai dan sisa tumbuhan ini, lingkungan akan selalu bersih dari sisa-sisa organik.

Selain membersihkan lingkungan, perombakan bahan organik akan menghasilkan bahan organik lain yang selanjutnya dimanfaatkan oleh kelompok biota lain untuk menjadi bahan-bahan kimia yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan. Perangai satwa dalam hal ini merupakan juga jasa yang diberikan oleh satwa.

Penjaga Keseimbangan Hidupan Liar

Hubungan mangsa-pemangsa, inang-parasit dan hama-inang, merupakan sistem dan mekanisme dalam mengendalikan keseimbangan hidupan liar.

Pemangsa dan parasit akan berperan sebagai pengendali jenis, baik satwa maupun tumbuhan di dalam suatu lingkungan. Secara alami, pamangsaan dan pemarasitan akan menekan berlebihan populasi suatu jenis. Jika mangsa berlebihan, populasi pemangsa akan bertambah besar dan mangsa akan dikurangi. Jika jumlah pemangsa berlebihan, mangsa akan menurunkan populasinya; sebagai akibatnya pemangsa pun akan menurunkan populasinya. Keseimbangan antara mangsa dan pemangsa atau antara parasit dan inang merupakan sasaran terakhir proses hubungan mangsa-pemangsa, inang-parasit, dan hama-inang.

Rekreasi dan Kepariwisataan

Satwa dapat menjadi sumber rekreasi alam dan pengembangan industri kepariwisataan.

Bentuk, warna, dan ukuran satwa dapat menimbulkan rasa pesona pada manusia. Selain itu, satwa juga dapat menunjukkan kelakuan atau perilaku yang unik. Keindahan dan keunikan ini membuat satwa menjadi objek rekreasi dan kepariwisataan untuk dinikmati manusia. Satwa juga menyediakan dirinya sebagai objek olahraga. Lomba dan adu beberapa jenis juga telah lama berkembang pada manusia, dengan berbagai latar belakang budayanya. Memancing dan berburu merupakan kegiatan rekreasi olahraga yang dilakukan manusia dengan menggunakan satwa. Mengumpulkan serangga indah seperti kupu-kupu atau serangga lain yang berwarna-warni juga merupakan bagian yang penting dalam rekreasi dan pariwisata manusia.

Penyedia Bahan atau Sebagai Sumber Pendidikan dan Penelitian

Satwa menyediakan peluang bagi pendidik dan peneliti dalam melakukan kegiatannya di alam terbuka.

Penelitian zoologi tidak dapat terlaksana tanpa adanya objek berupa satwa. Dengan adanya satwa dan segala perangai, ciri, dan sifatnya, penelitian untuk mengungkap keadaan satwa ini tersedia secara tak terbatas. Penelitian ini tidak ada artinya, jika hasilnya tidak diterapkan untuk pemanfaatannya secara berkelanjutan. Pemanfaatan ini bukan saja dalam bentuk penggunaan langsung untuk keperluan memenuhi kebutuhan hidup manusia, melainkan juga untuk keperluan berlangsungnya proses alami yang terjadi di lingkungan agar lingkungan dapat tetap menjalankan fungsinya.

Selain hal dikemukakan di atas, satwa juga mampu menyediakan dirinya untuk keperluan pendidikan, baik secara formal maupun nonformal. Semua sifat dan perangai, keterdapatkan dan perilaku, serta ciri-ciri lainnya merupakan sumber untuk dapat dijadikan bahan pendidikan. Penambahan pengetahuan mengenai lingkungan, makhluk hidup pada umumnya, misalnya dalam memantau perkembangan lingkungan dari kondisi satwa di dalam lingkungan yang bersangkutan diperoleh dari adanya satwa. Di samping itu, ilmu dan teknologi yang tidak langsung berkenaan dengan satwa, misalnya, mekanisme terbang oleh burung dan kelelawar dan mekanisme loncat oleh belalang dan serangga ekor pegas dapat dikembangkan sebagai asas dalam pengembangan teknologi pemanfaatan energi secara efisien. Pendidikan secara umum juga dapat memanfaatkan satwa dari perilaku lain; misalnya, dalam melindungi diri dari gangguan cuaca atau pertahanan dari serangan musuh.

Pelestarian Warisan Budaya

Sebagai bagian dari kekayaan alam, satwa merupakan bagian dari kekayaan budaya bangsa yang memberikan sumbangan dalam pengembangan adat-istiadat dan kebudayaan setempat.

Keberadaan satwa di sekeliling kita merupakan warisan budaya yang diperoleh dari alam. Hubungan satwa dengan masyarakat sudah terjalin dari awal manusia menghuni bumi ini. Bagi manusia, satwa bukan hanya sumber bahan pangan, pakaian, dan sumber pemenuhan kebutuhan dasar lainnya, melainkan juga merupakan sumber inspirasi bagi perkembangan kebudayaan manusia. Legenda rakyat yang berkaitan dengan kehidupan satwa merupakan jalinan emosi antara manusia dan satwa. Kepercayaan yang didasarkan perilaku satwa juga merupakan petunjuk, betapa budaya manusia dipengaruhi oleh satwa.

Di dalam kehidupan ritual masyarakat *primitif*, satwa merupakan tokoh pusat yang memperoleh kedudukan tertentu. Upacara adat berbagai suku bangsa masih menggunakan satwa sebagai komponen yang tak dapat ditinggalkan. Dalam adat perkawinan, satwa merupakan bagian yang sangat menentukan untuk terjadinya atau batalnya proses perkawinan ini.

Sumber Keindahan dan Inspirasi

Banyak jenis satwa yang dapat dijadikan sumber bahan penciptaan seni dan keindahan, baik yang berupa barang yang dapat dipegang, maupun dalam bentuk pelayanan dan sumber inspirasi.

Tidak asing lagi kegunaan satwa dalam memberikan ilham dalam seni. Pola dan komposisi warna yang terdapat pada tubuh satwa merupakan sumber ilham dalam penciptaan pola dan komposisi warna pada rancangan bahan pakaian, lukisan, atau karya seni lain. Bentuk potongan tubuh satwa bahkan dijadikan bentuk arsitektur, seperti arsitektur minang yang mengikuti bentuk kepala kerbau. Struktur kuda-kuda sebagai pendukung didasarkan atas posisi kaki-kaki kuda yang dapat menopang bobot tubuh kuda. Masih banyak lagi kiranya yang dapat dicari dalam ciri-ciri satwa untuk memberikan inspirasi dalam seni dan arsitektur.

Cadangan Potensi

Cadangan ini merupakan simpanan untuk penggunaan lebih lanjut dan pilihan di masa datang.

Jumlah satwa yang sudah dimanfaatkan manusia masih terbatas, baik jenisnya maupun bentuk pemanfaatannya. Yang tersedia di alam masih banyak yang menunggu untuk digarap. Oleh karena itu, satwa yang ada di bumi ini merupakan cadangan yang masih perlu digarap untuk penggunaannya lebih lanjut. Dengan makin berkurangnya populasi dan bahkan jenis satwa, pencadangan untuk pemanfaatan di masa datang sangat diperlukan.

Dari yang sudah diketahui saja masih banyak yang belum dimanfaatkan secara efisien dan berkelanjutan. Jadi, cadangan ini selain berupa yang sudah diketahui juga berupa jenis-jenis yang masih belum terungkap keberadaannya oleh ilmu pengetahuan dan teknologi. Baik yang berupa barang maupun yang berupa jasa, kemampuan satwa masih belum sepenuhnya didayagunakan. Dengan demikian, kemampuan satwa untuk menjadi cadangan merupakan jasa yang dapat diharapkan dari keberadaannya. Karena berupa simpanan, satwa yang belum dimanfaatkan dan berfungsi dan berperan sebagai cadangan perlu mendapat perhatian, terutama dari segi ilmu dan teknologi agar keberadaannya dapat benar-benar berfungsi sebagai cadangan.

DISTRIBUSI DAN PEMANFAATANNYA

Satwa tidak tersebar secara seragam, tetapi menunjukkan pola dan keanekaragaman kepadatan (Darlingkton, 1957). Jika dilihat dari segi geografi fisik, ada kelompok satwa yang tersebar luas, misalnya, buaya *Crocodylus porosus*; ada pula yang hanya terbatas di suatu kawasan khusus, misalnya zebra yang hanya terdapat di Afrika, binatang berkantung yang hanya terdapat di sudut tenggara bumi, yaitu Irian dan Australia serta Benua Amerika bagian tenggara, bekantan yang hanya terdapat di Kalimantan bagian selatan, biawak Komodo di Pulau Komodo dan sekitarnya, dan jalak Bali yang hanya di Bali Barat.

Dari segi ekologi pun satwa tidak tersebar merata. Kehadiran satwa bergantung pada tipe habitatnya. Ada satwa yang hanya terbatas pada habitat akuatik, misalnya ikan, tetapi ada yang dapat hidup di lingkungan perairan dan lingkungan daratan, seperti katak dengan berudu di dalam air dan dewasa di daratan, berbagai kelompok serangga seperti capung, lalat sehari, lalat ikan, nyamuk dan beberapa jenis lalat lainnya, serta kelompok yang baik taraf pradewasa maupun dewasanya hidup di dua macam lingkungan, seperti kura-kura, buaya, kumbang bibis, dan kepik belonte.

Ketidakmerataan sebaran satwa juga ditunjukkan oleh kepadatannya. Ada satwa yang populasinya tinggi, ada pula yang jarang atau langka secara alamiah. Karakter persebaran ini sering dikombinasikan dengan keluasan sebaran. Ada satwa yang luas sebarannya, tetapi jarang populasinya, ada yang terbatas di suatu lokasi, tetapi dengan populasi yang padat. Sebaliknya, ada yang umum terdapat di mana-mana dengan populasi yang padat dan ada pula yang terbatas dalam sebaran dan populasinya pun jarang. Setiap kombinasi sebaran ini membawa karakter khas pada kelompok yang bersangkutan. Kekhasan inilah yang perlu mendapat perhatian dalam pemanfaatannya karena masing-masing memerlukan penanganan tersendiri. Kekhasan ini juga berkaitan dengan lingkungan atau habitatnya. Oleh karena itu, penanganan kelompok-kelompok satwa ini tidak dapat dipisahkan dari ketergantungannya pada lingkungan atau habitat masing-masing.

Kaitan satwa dengan habitat atau lingkungannya mempunyai kaidah tersendiri. Satwa bersama lingkungannya membentuk suatu sistem hubungan timbal-balik antara komponen-komponen yang ada di dalamnya, atau yang disebut sistem ekologi-ekosistem, yang khas. Jalinan di dalam sistem ini peka terhadap perubahan sehingga perubahan pada salah satu komponen akan menggoncang kemantapan ekosistem yang bersangkutan. Besar atau kecilnya goncangan ini bergantung pada besar atau kecilnya perubahan dan derajat kepekaan komponen dalam menjalin hubungan dengan komponen lainnya. Pemanfaatan potensi satwa harus mengingat kaidah ini.

Keanekaragaman keterdapatannya atau distribusinya bukan tidak mengandung peran dalam kehidupan satwa. Kondisi lingkungan tempat satwa hidup akan mempunyai pengaruh terhadap satwa yang bersangkutan, yang dicerminkan oleh karakternya. Keadaan ini dapat dimanfaatkan, misalnya, bagi tumbuhnya bulu tebal pada binatang yang hidup di cuaca dingin. Pola sebaran, dengan demikian, mempunyai kemampuan dalam pemanfaatan sumber daya hewani. Selain itu, keanekaragaman keterdapatannya ini juga mempunyai dampak pada berbagai aspek lingkungan dan pada jenis-jenis satwa dan makhluk atau biota lainnya. Di lokasi masing-masing, satwa memainkan peran dan menimbulkan keanekaragaman pengaruh pada lingkungan. Dengan peran ini, pengaruh lebih lanjut adalah timbulnya kekhasan pada ekosistem. Jika persebaran satwa merata dan seragam, tidak akan terjadi keanekaragaman ekosistem. Kita ambil, misalnya, satwa yang berperan dalam penyerbukan. Dengan adanya perbedaan persebaran satwa penyerbukan, terjadilah perbedaan musim berbunga dan musim berbuah. Dengan adanya perbedaan pertumbuhan dan perbuahan, terjadi pula pembentukan kekhasan sumber daya, yang pada lanjutannya akan membentuk keanekaragaman diet penduduk. Keanekaragaman keterdapatannya satwa menentukan pula budaya manusia.

Hal lain yang ditunjukkan oleh keanekaragaman persebaran satwa ialah yang dapat dilihat melalui modus pemencaran dan potensi yang dikandungnya. Pemencaran satwa terjadi bukan asal saja melainkan merupakan hasil proses koevolusi yang dibimbing oleh berbagai macam faktor. Penentuan pola dan daya pencar ini bukan saja dilakukan oleh faktor intrinsik satwa itu sendiri melainkan juga oleh faktor lingkungan yang melibatkan tidak saja faktor fisik tetapi juga faktor biotik. Kombinasi berbagai macam faktor inilah yang menentukan satu putusan mengenai mekanisme pemencaran yang dianut oleh satwa yang bersangkutan. Dengan mekanisme ini, daya hidup dan daya saing untuk menduduki suatu lingkungan menjadi yang terbaik bagi satwa yang bersangkutan dalam lingkungan yang didudukinya. Pola pemencaran satwa mencerminkan integrasi faktor yang menentukan jalannya koevolusi dalam suatu satuan makhluk.

PEMANFAATAN MEKANISME PEMENCARAN

Terbentuknya mekanisme pemencaran melalui proses seperti yang diuraikan di atas bukan tidak memberikan peluang kepada manusia untuk memanfaatkan mekanisme tersebut. Mekanisme pemencaran merupakan salah satu cara untuk memperluas lingkup persebaran satwa. Perluasan persebaran ini merupakan bukti keberhasilan satwa dalam mendayagunakan mekanisme pemencaran. Oleh karena itu, mempelajari mekanisme ini dapat memberikan hasil yang dapat digunakan oleh manusia untuk menentukan cara yang

efisien dalam menyesuaikan jenis atau populasi satwa untuk menduduki suatu ekosistem tertentu.

Selain pemencaran untuk memerluas daerah sebaran, pemencaran juga dilakukan untuk bermigrasi, yaitu perluasan daerah sebaran untuk jangka waktu tertentu. Navigasi dalam pemencaran migrasi ini memerlukan kemahiran satwa untuk dapat menemukan lokasi yang dituju dan kembali ke tempat asal dengan selamat. Jika mekanisme pemencaran dalam lingkup ini dipahami oleh manusia, niscaya manfaatnya juga dapat dinikmati oleh manusia dalam aspek navigasi.

Dalam berpencar, satwa tidak begitu saja hanya membawa dirinya tetapi juga benda-benda lain, pembonceng untuk ikut berpencar dan bersebar bersama satwa induk, serta kegiatan, terutama yang berkaitan dengan penyerbukan dan pemasaran. Fenomena pemencaran dengan melibatkan unsur penyerbukan pemasaran dan sebagainya itu dapat dimanfaatkan dalam mempelajari dan mendayagunakan penyerbukan dan pemasaran lintas batas, khususnya untuk menghindarkan terjadinya kawin dalam. Dengan peran ini, satwa telah membantu alam untuk mempertahankan keanekaragaman hayati. Tetapi, dalam fenomena ini implikasinya tidak sederhana. Penanganannya akan melibatkan fenomena koevolusi dan simbiosis. Fenomena ini sangat berguna dalam pendalaman disiplin-disiplin biologi.

KEADAANNYA DI INDONESIA

Jika dilihat dari jumlah jenis yang dimiliki Indonesia, memang negeri ini dapat disebut kaya akan keanekaragaman satwa. Kita lihat saja komposisi jenis untuk binatang *besar*. Di luar kelompok satwa yang tergolong mikroskopis, terdapat tidak kurang dari 250--300 ribu jenis. Bukan saja jenisnya yang beraneka ragam melainkan juga sifat-sifat lainnya, seperti pola sebaran baik dalam lingkup geografi maupun ekologi dan waktu, mekanisme pemencaran, kepadatan populasi, serta endemisme. Segala ciri yang beraneka ragam ini mempunyai potensi untuk dimanfaatkan.

Dalam pola persebaran satwa, Indonesia menunjukkan diri sebagai negara yang unik. Kawasan ini mendapat pengaruh dari dua daerah, yaitu Daerah Oriental dan Daerah Australia (Darlington, 1957). Dengan kondisi seperti ini, satwa Indonesia memiliki banyak kekhasan. Tidak ada negara di dunia, selain Indonesia, yang faunanya menduduki dua daerah sebaran fauna utama. Dengan adanya komponen dari dua daerah utama ini tingkat keanekaragamannya menduduki peringkat yang sangat tinggi. Keanekaragaman ini bukan saja meliputi jumlah jenis melainkan juga sifat-sifat yang dikandungnya. Dari segi persebaran, Indonesia memiliki daerah peralihan antara Daerah Oriental dan Daerah Australia, yang bertemu di tengah, yang disebut Daerah Wallacea. Daerah peralihan ini memiliki keane-

KEPERLUAN IPTEK UNTUK PEMANFAATAN SECARA REALISTIK

Setiap jenis atau kelompok jenis satwa mempunyai peluang dan sekaligus keterbatasan dalam pemanfaatan dan pelestarian pemanfaatannya. Peluang dan keterbatasan ini harus didasarkan dan diperhitungkan dari potensinya, yaitu kemungkinan perannya sebagai penghasil, misalnya sebagai penghasil produk atau jasa, pengaturan lingkungan, penjaga keseimbangan hidupan liar untuk keperluan rekreasi dan kepariwisataan, warisan budaya, untuk keperluan pendidikan dan penelitian, serta sebagai cadangan sumber daya. Peluang dan keterbatasan sebagai sumber pemanfaatan tersebut tidak sama untuk satwa yang berbeda. Selain karena tujuan pemanfaatan yang berbeda, karena ciri kehidupannya berbeda, kemampuan menyediakan diri untuk dimanfaatkan juga khas untuk setiap jenis atau kelompok jenis satwa. Dengan keanekaragaman kemampuan inilah pemanfaatan dapat difokuskan dengan jelas.

Dengan memperhitungkan potensinya berdasarkan peluang dan keterbatasannya, selanjutnya dapat diperhitungkan keuntungan dan kerugian pemanfaatan. Dengan perhitungan ini, dengan tegas akan dapat ditentukan pilihan jenis, tujuan pemanfaatan, dan metode pemanfaatannya. Ketegasan penentuan pemanfaatan berdasarkan perhitungan peluang dan keterbatasan serta pilihan dan metode tidak dapat dilepaskan dari landasan ilmu pengetahuan dan teknologi (Iptek). Bagaimana pilihan dapat ditentukan, apakah pemanfaatan untuk tujuan produk fisik dan jasa, atau untuk pencadangan, dan metode yang mana yang terbaik atau efisien dan efektif untuk pemanfaatan, semua itu hanya dapat dilaksanakan melalui Iptek.

Iptek yang diperlukan untuk tujuan tersebut di atas harus dimiliki oleh pengguna. Pemilikan ini mutlak diperlukan agar pemanfaatan satwa dapat dilakukan secara berkelanjutan. Yang harus dimiliki ialah pengetahuan tentang kehidupan satwa. Paling sedikit harus diketahui adanya dan bentuk fisik jenis atau kelompok jenis satwa yang akan dimanfaatkan. Pengetahuan mengenai keberadaan dan bentuk fisik ini akan menentukan cara memperoleh dan tujuan pemanfaatan. Untuk memperoleh manfaat yang optimal dengan memperhatikan keberlanjutan pemanfaatannya, pengetahuan yang harus dikuasai terhadap satwa yang akan dimanfaatkan ialah perilaku, habitat, dan regenerasinya. Dari pengetahuan dasar dalam aspek-aspek tersebut, dapatlah kemudian dikembangkan teknologi tertentu sebagai metode pemanfaatan yang berkelanjutan.

Dengan pemikiran tersebut, perlu diinventarisasi dan diidentifikasi Iptek yang sudah dimiliki sehubungan dengan pemanfaatan satwa secara berkelanjutan. Inventarisasi ini harus mencakupi kedalaman dan macam

Iptek yang sudah dikuasai mengenai jenis-jenis satwanya, baik yang masih liar maupun yang sudah diternakkan. Berbagai lembaga penelitian di departemen teknis terkait, misalnya Departemen Kehutanan dan Departemen Pertanian, lembaga penelitian nondepartemen yang mengurus keanekaragaman dan sumber daya hayati, seperti LIPI dan perguruan tinggi, telah lama berkecimpung dalam kegiatan pemanfaatan satwa, baik yang liar maupun yang telah atau akan diternakkan. Dari hasil kegiatan ilmiah di berbagai lembaga tersebut itulah akan dapat dikembangkan teknik pemanfaatan secara berkelanjutan

Kegiatan ke arah pemanfaatan satwa secara berkelanjutan telah dimulai lama sekali oleh banyak pihak. Akan tetapi, disadari bahwa data yang diperlukan masih harus dilengkapkan dan disempurnakan. Masih ada data dan informasi yang harus ditambahkan agar pemanfaatan satwa dapat mencapai tujuannya dalam meningkatkan taraf mutu kehidupan bangsa sesuai dengan kaidah pembangunan berkelanjutan. Data yang masih diperlukan ini harus diidentifikasi. Di sinilah perlunya pengarahan Iptek untuk memenuhi kebutuhan data. Harus diidentifikasi kegiatan ilmiah apa yang harus dilakukan, yang dikelompokkan dalam jangka pendek dan jangka panjang. Dalam melakukan kegiatan ilmiah ini harus jelas ditentukan data apa saja yang harus dikumpulkan. Iptek inilah yang harus dikembangkan. Lebih penting lagi ialah menentukan cara mengembangkan Iptek yang diperlukan tersebut, tanpa meninggalkan pembinaan sumber daya manusia, yang mungkin akan terpaksa menerima impor Iptek (karena hasil pendidikan atau pembinaan sumber daya manusia di luar negeri). Walaupun ada unsur impor Iptek, pengembangannya di Indonesia harus disesuaikan dengan kondisi dan keperluan di Indonesia.

UPAYA MENJAGA DAYA DUKUNG SATWA

Mempertahankan daya dukung suatu komponen atau kelompoknya tidak terlepas dari pelestarian vitalitas dan keanekaragaman yang dimiliki bumi secara menyeluruh (IUCN, 1991). Melestarikan keanekaragaman hayati menuntut langkah penjagaan terhadap jenis dan sediaan genetik, penetapan dan pemeliharaan kawasan yang dilindungi, serta strategi yang memadukan kegiatan ekonomi dan pelestarian yang meliputi seluruh kawasan yang bersangkutan. Oleh karena itu, upaya menjaga daya dukung satwa akan melibatkan pengelolaan habitat agar tetap mampu mendukung satwa yang bersangkutan.

Habitat harus mampu mendukung populasi yang berkemampuan hidup. Fragmentasi habitat kini sedang terjadi pada taraf global. Walaupun demikian, fragmentasi habitat tidak selalu jelek, asalkan ada cara untuk

mengalirkan (dua arah) populasi di antara habitat-habitat yang terfragmentasi (Carroll, 1992). Fragmentasi habitat yang kini sedang berlangsung terjadi pada umumnya di dekat perhutian manusia sehingga gangguan oleh manusia terasa benar pada habitat ini. Beberapa di antara gangguan ini ialah peralihan peruntukan lahan, misalnya dari hutan menjadi areal pertanian, dari areal pertanian menjadi permukiman atau industri, serta dari perkebunan menjadi areal rekreasi.

Selain yang disebabkan secara langsung oleh manusia, fragmentasi habitat juga terjadi karena adanya pemanasan global dan perubahan lingkungan. Pemanasan global timbul sebagai akibat perubahan atmosfer yang disebabkan oleh perbuatan manusia juga. Fenomena ini timbul karena produksi gas rumah kaca yang kian meningkat sehingga menimbulkan perubahan pada lapisan ozon tinggi dan menimbulkan gejala El Nino dan La Nina (Markham dkk., 1993; Peters dan Lovejoy, 1992; Warrick dan Jager, 1986).

Proses fragmentasi habitat karena berbagai faktor penyebab itu juga melanda Indonesia. Sejak sekitar 10 tahun yang lalu, telah disadari bahwa lingkungan hidup Indonesia cenderung merosot dalam mutu. Hilangnya habitat bagi satwa dicatat dengan nyata. Hutan yang merupakan habitat terbesar bagi satwa mengalami proses penurunan, baik dalam mutu maupun dalam luasan. Hutan mengalami pengurangan paling sedikit sebesar 5% luas seluruh daratan Indonesia setiap tahun. Dengan pengurangan ini, yang tersisa kini sekitar 50--60% luas habitat alami semula (Djajadiningrat dan Amir, 1992).

Pengurangan habitat tentu saja mengurangi peluang satwa untuk hidup dan menjalankan kehidupannya. Jumlah jenis yang menghuni habitat yang mengalami gangguan juga akan menyusut jumlahnya. Kerusakan habitat ditambah dengan perburuan tak terkendali dan perdagangan satwa secara liar, memacu laju kepunahan satwa. Diperkirakan bahwa dengan campur tangan manusia, laju kepunahan satwa mencapai 400 kali laju kepunahan alami (Djajadiningrat dan Amir, 1992). Berdasarkan daftar CITES (*Convention on International Trades of Endangered Species of Flora and Fauna*), lebih dari 200 jenis satwa besar Indonesia terancam punah. Jumlah ini belum meliputi jenis-jenis satwa kecil, seperti *invertebrata*.

Jika kita mengambil contoh jenis mamalia besar yang mencolok, seperti gajah di daratan dan mamalia terbang atau kelelawar, pengaruh kerusakan habitat pada satwa sangat terasa. Sudah sejak berabad-abad, menurunnya populasi gajah Asia (*Elephas maximus*) merupakan dampak ujung dari berkurangnya habitat (Sukumar, 1989). Sebagai akibat perkembangan ini, keadaan sebaran gajah di Sumatera kini menunjukkan bercak-bercak yang sangat berserakan, tak teratur, dan sangat kecil. Eksplorasi habitat, baik karena kebutuhan permukiman untuk manusia maupun karena

kebutuhan manusia terhadap sumber daya, telah mengubah struktur vegetasi, dari bentuk primer menjadi bentuk sekunder, dan pada akhirnya menghancurkan habitat bagi satwa. Dampak perubahan ini, khususnya yang berkaitan dengan ruangan gerak dan sumber pakan, sangat nyata pada populasi gajah.

Rusaknya habitat juga dirasakan oleh kelompok kelelawar (*Chiroptera*) di berbagai bagian dunia (Mickleburgh dkk., 1992). Beberapa jenis kelelawar menunjukkan endemisme yang kuat untuk habitat tertentu. Ada yang terbatas pada hutan-hutan pegunungan; ada pula yang hanya menghuni daerah pertanian. Jenis-jenis yang menghuni daerah mangrove, seperti kalong (*Pteropus vampyrus*) dan hutan pamah (daerah rendah), sudah mulai kehilangan tempatnya berpijak. Selain hilangnya tempat untuk bertengger, hilangnya hutan-hutan tersebut menghilangkan pula sumber pakan kelelawar. Karena kelelawar pada umumnya berkoloni, hilangnya habitat berdampak sangat rawan terhadap populasi kelelawar.

Jelaslah bahwa mempertahankan kondisi habitat sangat penting bagi terjaganya kondisi komunitas dan populasi satwa. Ancaman terhadap ekosistem merupakan gangguan keseimbangan yang disebabkan oleh berubahnya komponen-komponen ekosistem yang menimbulkan reaksi berantai mengganggu keseimbangan secara keseluruhan. Jika reaksi berantai ini menyangkut rantai makanan, dampak yang merusak dapat terasa sampai jauh dari asal penyebabnya, yang akhirnya akan dirasakan pula oleh manusia (Siemens, 1986). Oleh karena itu, dirasakan perlunya pengelolaan lingkungan secara proaktif (Hopfenbeck, 1993). Gerakan telah dimulai beberapa tahun yang lalu untuk cenderung ke arah pengelolaan yang sadar secara ekologi (Callenbach dkk., 1993). Konsep gerakan ini ialah mendorong pergeseran ke arah kesadaran ekologi. Pergeseran ini melibatkan, di antaranya, dari

1. objek ke hubungan, dengan pergeseran persepsi dari dunia sebagai mesin ke dunia sebagai sistem yang hidup;
2. bagian ke keseluruhan, yaitu pandangan terhadap sistem yang tersusun atas organisme individual, sistem sosial, dan ekosistem, yang keseluruhannya merupakan keutuhan-keutuhan yang terpadu, dan bergabung selanjutnya dengan keutuhan yang lebih besar, dan seterusnya;
3. dominasi ke kemitraan, yaitu pemahaman terhadap sistem kehidupan melalui kerja sama dan kemitraan;
4. struktur ke proses, dengan menyadari bahwa struktur merupakan susunan berbagai proses;
5. pertumbuhan ke keberlanjutan, dengan menggeser kriteria dari keberhasilan pertumbuhan ekonomi ke keberlanjutan ekologi.

Pertanyaan kini timbul, dapatkah kerusakan dipulihkan? Dunia telah berupaya agar habitat, baik satwa maupun bentuk kehidupan lain, tetap terjaga sehingga penghuninya dapat melaksanakan kegiatan hidupnya tanpa

terganggu. Berbagai kesepakatan pada tingkat dunia telah dicetuskan untuk mengajak semua negara dan penduduknya memperhatikan dan melaksanakan upaya penyelamatan lingkungan. Sampai kini telah dilahirkan kesepakatan dalam bentuk konvensi yang melibatkan pengelolaan berbagai bentuk ekosistem dan komponen-komponen kandungannya. Beberapa yang penting dapat dikemukakan di sini (Daftar 1).

DAFTAR 1
KONVENSI/PERJANJIAN/PROGRAM LAIN YANG BERKAITAN
DENGAN LINGKUNGAN DAN URUTAN MUNCULNYA

1961	International Union for the Protection of New Varieties of Plants Convention (revisi 1972, 1978, 1991)-UPOV
1970	International Biological Program-IBP
1972	Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage-WHC
1974	UNESCO Man and the Biosphere Programme-MAB
1978	Convention on International Trades on Endangered Species of Flora and Fauna-CITES
1987	International Undertaking on Plant Genetic Resources-FAO, IUPGR
1992	Rio Declaration-RD
1992	Convention on Biological Diversity-CBD
1992	Non-Legally Binding of All Types of Forests (Forest Principles)-FP
1994	UN Convention to Combat Desertification in Countries Experiencing Serious Draught and/or Desertification, Particularly in Africa-CCD
1995	Draft International Covenant on Environment and Development-DICED

Indonesia pun tidak tertinggal dalam mengupayakan kelestarian habitat dan biota yang terkandung di dalamnya. Sejak hampir satu setengah abad yang lalu, di Indonesia telah didirikan cagar alam, yang tujuannya ialah melestarikan ekosistem dan proses yang terjadi di dalamnya. Tindakan ini kemudian diikuti dengan peraturan perundang-undangan yang mengatur perlindungan dan pelestarian terhadap berbagai jenis satwa, tumbuhan, dan habitat. Kelembagaan pun dikembangkan untuk mewadahi kegiatan yang berkaitan dengan penyelamatan lingkungan. Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup, struktur Departemen Kehutanan, dengan adanya Direktorat Jenderal Perlindungan Hutan dan Pelestarian Alam, PHPA (yang berkembang

dari Direktorat Perlindungan dan Pengawetan Alam, PPA), dan didirikannya beberapa komisi yang berkaitan dengan pelestarian keanekaragaman hayati dalam berbagai taraf, seperti Komisi Nasional Plasma Nutfah, Departemen Pertanian, merupakan beberapa langkah pengembangan kelembagaan yang menangani perlindungan terhadap lingkungan dan isinya. Undang-undang mengenai pengelolaan lingkungan hidup disusun dan dikembangkan sesuai dengan perkembangan kebutuhan, yaitu UU No. 4, Tahun 1982, menjadi UU No. 23, Tahun 1997, dan undang-undang lain, seperti yang mengenai pokok-pokok kehutanan, plasma nutfah pertanian, pelestarian sumber daya hayati dan ekosistemnya, serta tata ruang, merupakan upaya hukum yang menunjang dilaksanakannya upaya penyelamatan lingkungan, dengan demikian juga jaminan mengenai terjaganya habitat sehingga daya dukung satwa terjaga.

Upaya juga dilakukan melalui berbagai sektor dan bidang. Pendidikan dan penyadaran masyarakat mengenai pentingnya menyelamatkan lingkungan dan melestarikan habitat serta penghuninya juga telah dilaksanakan dalam berbagai gaya sesuai dengan sasaran yang dituju. Kegiatan ini dirancang dan dilakukan oleh hampir semua pihak dan sektor, baik yang Pemerintah maupun yang nonpemerintah, baik yang formal maupun yang nonformal. Sasaran dalam pendidikan dan penyadaran masyarakat ini meliputi berbagai lapisan masyarakat, mulai dari pemuda dan wanita, masyarakat umum, sampai mahasiswa, dosen dan pejabat pemerintahan. Tidak dilupakan pula pihak swasta yang perannya tidak sedikit, bahkan menentukan dalam menjaga daya dukung lingkungan, khususnya yang berkaitan dengan pelestarian daya dukung satwa.

Peran Iptek sangat diharapkan dalam memberhasilkan berbagai upaya menjaga daya dukung satwa melalui upaya penyelamatan lingkungan dan habitat. Harus ada Iptek yang dikembangkan untuk mengelola lingkungan dan habitat secara berkelanjutan. Konsep-konsep pelestarian yang sudah ada perlu dikaji dan dijabarkan menjadi mekanisme implementasi yang tepat untuk kondisi Indonesia. Pengkajian juga harus dilanjutkan sampai ke taraf komunitas dan populasi, yang dikaitkan dengan pemenuhan kebutuhan manusia, tetapi tidak melupakan kaidah berkelanjutan

PASCA PEMIKIRAN

Iptek penting dikembangkan menuju terpenuhinya asas pembangunan berkelanjutan. Iptek ini harus dapat memenuhi kebutuhan dalam meningkatkan tidak saja mutu hidup manusia, tetapi juga mampu mempertahankan kemampuan bumi untuk berproduksi secara berkelanjutan. Arahan pengembangan Iptek harus ditujukan untuk mewujudkan terciptanya akses sumber daya hayati, sekaligus terciptanya mekanisme pelestarian dan pemanfaatan secara berkelanjutan atau secara lestari.

Ada kebutuhan pengembangan teknologi dalam memanfaatkan kandungan bumi. Untuk mempertahankan kemampuan bumi dalam mengefisiensikan pemanfaatan, yaitu memanfaatkan tanpa menimbulkan dampak yang merusak, dan menjaga agar ekosistem tetap berfungsi sehingga kemampuan ekosistem untuk beregenerasi tetap terjamin. Teknologi ini memerlukan dukungan ilmu pengetahuan yang cocok dan mencukupi. Ilmu pengetahuan yang dimaksud dan dibutuhkan ini harus dikaitkan dengan asas pemanfaatan, dengan mengukur potensi sumber daya yang akan dimanfaatkan dan menjaga kondisinya agar kaidah memanfaatkan tanpa menimbulkan dampak yang merusak dapat dipenuhi.

Untuk mengetahui dipenuhinya kaidah berkelanjutan harus ada tolok ukur. Kriteria bahwa pelaksanaan pemanfaatan sudah dilandasi kaidah berkelanjutan harus ditentukan. Indikator bahwa kriteria itu terpenuhi juga harus diciptakan. Sebagai lembaga Iptek yang bertaraf nasional, LIPI harus mampu menciptakan kriteria dan indikatornya secara ilmiah untuk memastikan benar atau tidaknya pemanfaatan sumber daya, khususnya hewani. Dengan memanfaatkan satwa, telah dilakukan berdasarkan kaidah berkelanjutan.

LIPI harus mampu pula menciptakan langkah menuju pengembangan kebijakan ilmiah yang menunjang kepastian dilaksanakannya pemanfaatan sumber daya, baik hewani maupun yang lain. Kebijakan ini dapat diciptakan yang baru atau diturunkan dari kebijakan yang sudah ada. Oleh karena itu, perlu dikaji kebijakan-kebijakan yang sudah ada, yang menunjang pemanfaatan secara berkelanjutan. Pelaksanaan pengkajian ini memerlukan sumber daya manusia yang akan mampu menapaki langkah-langkah untuk menuju terciptanya kebijakan yang dimaksud. Pelaksana teknis harus mampu melakukan pemilihan dan menentukan pilihan Iptek yang akan diterapkan.

Untuk menyesuaikan sistem yang akan dikembangkan pada masa datang, diperlukan antisipasi atau proyeksi kondisi yang mungkin akan berkembang di masa datang, pada waktu tertentu. Untuk memproyeksikan kondisi ini pun diperlukan Iptek. Dalam hal ini, LIPI perlu mengadakan pemantauan dan penilaian terhadap perkembangan pemanfaatan, dilihat dari segala aspek, serta dampak yang ditimbulkannya. Karena satwa memberikan peluang dalam berbagai pemanfaatan, Iptek harus juga dikembangkan ke arah keefisienan dan keefektifan pemanfaatan dan pewujudan potensi yang terkandung di dalam satwa. Ilmu pengetahuan diperlukan untuk mengetahui kemampuan dan kandungan yang ada pada satwa, dan setelah dianalisis, dikembangkan menjadi teknologi untuk memanfaatkannya dengan tepat.

Pelaksanaan pengkajian ilmu pengetahuan dan pengembangan teknologi memerlukan sumber daya manusia yang tangguh. LIPI juga harus mampu mengembangkan sumber daya yang tangguh ini, bukan saja dalam jumlah secara keseluruhan melainkan juga kualifikasi dan proporsinya yang

seimbang berdasarkan tarafnya serta keperluan untuk melaksanakan pengkajian ilmu pengetahuan dan pengembangan teknologi. Tuntutan ini harus terpenuhi oleh LIPI karena perkembangan kondisi sumber daya alam, baik secara global maupun secara nasional, dan perkembangan kebutuhan nasional terhadap sumber daya alam tidak dapat ditangguhkan lagi. Keberhasilan LIPI menjadi tumpuan keberhasilan nasional, regional, bahkan global.

LIPI berhak dan berwajib mengembangkan Iptek. Dengan pengembangan Iptek yang dapat digunakan untuk mengembangkan kebijakan mengenai pemanfaatan satwa secara berkelanjutan, diharapkan pengelolaan satwa dan sumber daya hayati lainnya dapat dilaksanakan secara berkelanjutan pula. Dunia menunggu realiasi ini.

PUSTAKA

- Barnett, A. 1964. *The Human Species. A Pelican Book*. Penguins Book Ltd.
- Brodrick, A.H. 1964. *Man and his Ancestry. A Premier Book*. Greenwich: Fawcett Publication, Inc.
- Callenbach, E., F. Capra, L. Goldman, R. Lutz and S. Marburg. 1993. *Ecomanagement: The Elmwood Guide to Ecological Auditing and Sustainable Business*. San Francisco: Barrett-Koehler Publisher.
- Carroll, C.R. 1992. Ecological Management of Sensitive Naural Areas. Dalam P.L. Fiedler and S.K. Jain (Editor). *Conservation Biology: The Theory and Practice of Nature Conservation Preservation and Management*.
- Childe, V.G. 1951. *Man Progress Through the Ages. Man makes himself: A Mentor Book*. New York: The New American Library.
- Colbert, E.H. 1951. *Evolution of the Vertebrates*. Science Edition. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Cole, S. 1963. *The Prehistory of East Africa. A Mentor Book*. New York: The New American Library.
- Cornwall, I.W. 1964. *The World of Ancient Man. A Mentor Book*. New York: The New American Library.
- Darlington, P.J.J. 1957. *Zoogeography Geographical Distribution of Animals*. New York: John Wiley and Son.
- Djajadiningrat, S.T. dan H.H. Amir. 1992. *Kualitas Lingkungan Hidup Indonesia*. Jakarta: Kantor MNLH.
- Hopfenbeck, W. 1993. *The Green Management Revolution: Lessons in Environmental Excellence*. New York: Prentice Hall.
- Hyman, L.H. 1940. *The Invertebrates*. 5 Jilid. New York: McGraw-Hill Book Coy, Inc.

- IUCN. 1991. *Caring for the Earth: A strategy for Sustainable Living*. IUCN - UNEP - WWF.
- Markham, A., N. Dudley and S. Stolton. 1993. *Some Like it Hot. Climate Change, Biodiversity and the Survival of Species*. Gland, Switzerland: WWF International.
- Mayr, E., E.G. Linsley and R.L. Usinger. 1953. *Methods and Principles of Systematic Zoology*. New York: McGraw-Hill Book Coy, Inc.
- Mickleberg, S.P., A.M. Hutson and P.A. Racey. 1992. *Old World Fruit Bats. An Action Plan for their Conservation*. IUCN/SSC Chirptera Specialist Group.
- Peters, R.L. and T.E. Lovejoy (Editor). 1992. *Global Warming and Biodiversity*. New Haven: Yale University Press.
- Siemens. 1986. 'Umweltschutz : Versuch einer Systemdarstellung'. Dalam Hopfenbeck, W. 1993. *The Green Management Revolution: Lessons in Environmental Excellence*. New York: Prentice Hall.
- Sukurma, R. 1989. *The Asian Elephant: Ecology and Management*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Warrick, B. and D. Jager (Editor). 1986. *The Greenhouse Effect. Climate Change and Ecosystems*.
- Weitzel, V. 1993. *Traditional Medicines of Animal Origin: A Glimpse of the Traditional Medicines of Animal Origin*.

KEANEKARAGAMAN DAN PERAN JASAD RENIK DALAM PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN DI INDONESIA

oleh

Susono Saono

Puslitbang Bioteknologi, LIPI

KEANEKARAGAMAN JASAD RENIK INDONESIA

Keanekaragaman jasad renik meliputi keanekaragamannya pada taraf-taraf jenis, di bawah jenis, dalam ekosistem darat, laut, dan perairan tawar, serta kompleks sistem ekologi lainnya. Jasad renik merupakan komponen keanekaragaman hayati yang penting. Kelompok makhluk ini memegang peran sangat menentukan dalam sistem penyangga kehidupan di dunia. Kegiatannya merombak sisa-sisa hewan dan tumbuhan mati dalam tanah menjadi unsur-unsur hara yang dibutuhkan bagi kehidupan tumbuhan, yang pada gilirannya merupakan sumber pakan, baik bagi hewan maupun manusia, merupakan peran jasad renik yang menentukan itu. Jasad renik membentuk simbiosis yang menguntungkan dengan tumbuh-tumbuhan tertentu, misalnya antara bakteri rizobium penambat nitrogen dan jenis-jenis tertentu suku (familia) kacang-kacangan, dan simbiosis antara kapang mikoriza dan berbagai jenis pepohonan guna menyerap unsur hara yang dibutuhkan. Berbagai jenis jasad renik juga telah lama digunakan sebagai bahan dan 'alat' dalam produksi obat-obatan, pengendalian hayati hama dan penyakit, pangan dan pakan, serta detoksifikasi dan biokonversi limbah.

Karena kehidupan jasad renik erat berkaitan dengan jasad hidup lain yang lebih tinggi tingkatannya, dan mengingat pula besarnya kekayaan flora dan fauna Indonesia, dapatlah diperkirakan bahwa keanekaragaman jasad renik Indonesia juga sangat besar. Walaupun demikian, masih sangat sedikit yang diketahui tentang keanekaragaman jasad renik dunia, apalagi Indonesia. Secara kasar, jumlah jasad renik yang telah diketahui namanya di dunia ini diperkirakan sekitar 157.000 jenis. Setengah dari jumlah tersebut adalah kapang (*fungi*), 25% ganggang (*algae*), dan 20% protozoa, sedangkan jenis-jenis bakteri dan virus masing-masing berjumlah kurang dari 5% (MNLH, 1993a; Komagata, 1995; Wisjnupranoto dkk., 1995).

Berapa tepatnya besarnya mikroflora Indonesia sulit dipastikan karena terbatasnya jumlah koleksi jasad renik yang memenuhi syarat yang dapat dijadikan acuan untuk membuat perkiraan. Dengan menggunakan acuan perkiraan Hawksworth (1994) mengenai jumlah kapang dunia sebesar 1.500.000 jenis serta perkiraan jumlah jenis jasad hidup lainnya (tumbuhan dan hewan) yang ditemukan di Indonesia, diperkirakan terdapat sekitar 200.000 jenis kapang di Indonesia. Jumlah jenis kelompok jasad renik lainnya, seperti ganggang, protozoa, bakteri, dan virus, karena tidak tersedianya data, ini masih sukar diperkirakan. Yang jelas, jumlahnya cukup besar jika diingat bahwa banyak dari jasad renik tersebut yang sudah sejak lama digunakan dalam kehidupan manusia sehari-hari, misalnya dalam pembuatan berbagai produk fermentasi tradisional. Jenis-jenis yang digunakan ini merupakan hasil seleksi alam yang telah berlangsung lama, yang melibatkan jasad renik dalam jumlah besar serta menghasilkan variasi baru yang besar pula jumlahnya (Rifai, 1995; Saono dkk., 1982; Saono dkk., 1986).

Meskipun dalam tahun-tahun terakhir ini terdapat kemajuan yang cukup mengesankan dalam teknik pembiakan dan penghitungan jumlah jasad renik, para pakar percaya bahwa keanekaragaman jasad renik yang diketahui sampai dengan saat ini masih sangat kecil jika dibandingkan dengan yang sebenarnya terdapat di dunia. Hal ini disebabkan oleh relatif sangat kecilnya jumlah jenis jasad renik yang dapat dibiakkan pada/dalam media buatan jika dibandingkan dengan yang sebenarnya terdapat di alam. Jenis-jenis jasad renik ini merupakan yang dapat beradaptasi dengan kondisi buatan, tetapi belum tentu dalam keadaan alami jumlahnya paling banyak, atau secara metabolik paling aktif. Berdasarkan pengamatan mikroskopik, para pakar percaya bahwa jumlah dan ragam jasad renik yang tidak dapat dibiakkan dalam media buatan jauh lebih besar daripada yang dapat dibiakkan, yaitu mencapai 99,9% dari seluruh prokaryota. Jumlah ini termasuk di dalamnya jasad-jasad renik yang bersimbiosis secara mutualistik dengan jasad hidup lain dan parasit-parasit pada jasad hidup yang lebih tinggi tingkatannya.

Baru pada beberapa tahun terakhir ini, dengan berkembangnya teknik biologi molekular, seperti ekstraksi langsung asam nukleat dari lingkungan, pemanfaatan teknik PCR analisis sikuens (*sequence analysis*), para pakar mulai mampu menaksir keanekaragaman prokaryota dalam contoh berbagai macam habitat unik, tanpa menggunakan prosedur pembiakan dalam media buatan. Sayangnya, pemanfaatan teknik baru tersebut belum dapat digunakan untuk menentukan besarnya kekayaan jenis, sifat fisiologi dan peranan jasad renik yang bersangkutan di alam. Meskipun demikian, penggunaan teknik molekular dalam penelitian keanekaragaman jasad renik tidak saja telah membantu memperluas pengertian dan wawasan kita

mengenai ekologi dan evolusi secara keseluruhan tetapi juga memberikan peluang guna mengembangkan potensi ekonomi jasad renik bagi kesejahteraan manusia (Haworth, 1994; Jansson and Prosser, 1997; Stackebrandt, 1994).

STATUS PENELITIAN, PENGEMBANGAN, DAN PEMANFAATAN JASAD RENIK DI INDONESIA

Didorong oleh putusan Pemerintah tahun 1985 yang memberikan prioritas tinggi pada pengembangan bioteknologi, minat pada penelitian, pengembangan, dan pemanfaatan jasad renik meningkat. Yang dimaksud dengan bioteknologi ialah suatu kesatuan (*continuum*) berbagai teknologi mulai dari yang telah mapan yang menggunakan jasad renik dan jasad hidup lainnya, sampai yang lebih mutakhir, seperti rekayasa genetika tanaman dan hewan. Dalam konteks Indonesia pada waktu ini berbagai macam bioteknologi baik yang telah ada maupun yang sedang dikembangkan melibatkan jasad renik sebagai salah satu unsur utama (Bull dkk., 1983; Jones, 1990).

Kebanyakan kegiatan bioteknologi di Indonesia pada waktu ini masih pada tingkat penelitian. Sebagian lainnya sudah mencapai taraf pengembangan, dan hanya beberapa yang telah sampai pada tingkat produksi komersial. Sebagian besar kegiatan tersebut dikerjakan oleh instansi penelitian Pemerintah, termasuk universitas. Beberapa yang penting adalah Balai Bioteknologi Tanaman Pertanian, Bogor; Balai Penelitian Tanaman Hortikultura (Balithort), Lembang; Balai Penelitian Ternak (BPT), Ciawi; Balai Penelitian Veteriner (Balivet), Bogor; Pusat Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi, LIPI, Cibinong; Pusat Antaruniversitas Bioteknologi di IPB, ITB, dan UGM; Pusat Antaruniversitas Gizi dan Pangan di IPB dan UGM.

Keterlibatan perusahaan swasta dalam kegiatan penelitian dan pengembangan bioteknologi masih sangat terbatas. Beberapa sudah lama terjun dalam kegiatan produksi komersial skala industri besar, misalnya obat, MSG (vetsin), bir, makanan/bahan makanan. Beberapa lainnya dalam skala kecil memproduksi bermacam-macam produk fermentasi tradisional, dan pupuk bio penyedia N dan P, sebagai suplemen atau pengganti pupuk mineral (Saono, 1995; 1996; Saono dkk., 1995).

Uraian berikut mengemukakan penelitian dan pengembangan yang sedang berjalan, penerapan atau produksinya, serta sarana penunjang yang diperlukan. Uraian ini masih belum komprehensif, tetapi diharapkan dapat memberikan petunjuk kecenderungan minat para pakar jasad renik dalam meneliti, mengembangkan, dan memanfaatkan potensi sumber daya jasad renik dalam menunjang pembangunan yang berkelanjutan.

PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN

Produk Fermentasi Tradisional

Produk fermentasi tradisional telah lama dikenal dan dikonsumsi di Indonesia. Pada waktu ini diproduksi secara komersial dan dimanfaatkan secara luas, tidak kurang dari sembilan jenis produk, yakni tape, tempe, taoco, kecap, sayur dan buah yang difermentasikan, susu yang difermentasikan, minuman beralkohol, cuka, serta ragi. Nama masing-masing produk tersebut dapat beranekaragam bergantung pada daerahnya, bahan dasarnya, variasi proses produksinya, dan jasad renik yang digunakan. Berdasarkan faktor-faktor tersebut, rasa dan daya simpan produk dapat bervariasi.

Produk fermentasi tradisional Indonesia yang cukup dikenal dapat dikelompokkan sebagai berikut

- a. tape dan produk serumpun, misalnya tape ubi kayu, tape ketan, serta brem padat;
- b. tempe dan produk serumpun, yakni tempe benguk, tempe gembus, tempe kecipir, tempe kedele, tempe kara, tempe lamtoro, oncom merah, oncom hitam, serta dage;
- c. taoco cair dan padat;
- d. kecap manis dan asin;
- e. sayur asin;
- f. dadih;
- g. minuman beralkohol tradisional, brem Bali, tuak, dan ciu;
- h. cuka, dan
- i. ragi.

Di luar kesembilan kelompok produk tersebut masih ada produk-produk lokal yang belum banyak diteliti, misalnya tempoyak (produk fermentasi durian), gatot dan growol (produk fermentasi ubi kayu). Mengenai jenis jasad renik yang sampai saat ini berhasil ditemukan dalam berbagai macam produk fermentasi tradisional dapat disebutkan bakteri (*Acetobacter* sp., *Bacillus* sp., *B. licheniformis*, *Lactobacillus* sp., *L. cucumeris* (*L. plantarum*), *L. pentaceticus* (*L. brevis*), *Leuconostoc mesenteroides*, *Pediococcus halophilus*, *P. sojae*; khamir (*Amylomyces* spp., *Candida* spp., *C. parapsilosis*, *Endomycopsis* spp., *Hansenula* sp., *Pichia* sp., *Saccharomyces* spp.); dan kapang (*Aspergillus* sp., *A. oryzae*, *Chlamydomucor* spp., *Mucor* sp., *M. indicus*, *Neurospora* spp., *Penicillium* sp., *Rhizopus* spp., *R. achlamydosporus*, *R. arrhizus*, *R. oligosporus*, *R. oryzae*, *R. stolonifer*). Penelitian dan pengembangan yang dikerjakan secara garis besar dapat dibagi dalam

1. kegiatan yang berkaitan dengan jasad reniknya (isolasi, terutama dari produk-produk baru, identifikasi, taksonomi, perbaikan sifat yang menguntungkan, genetika, dan preservasi), dan

2. proses produksinya (penentuan persyaratan optimal proses produksi), dan produknya (penciptaan produk baru, perbaikan mutu produk [sifat-sifat organoleptik, fisik, dan daya simpan]) (Saono dan Winarno, 1979; Saono dkk., 1982; Saono dkk., 1986).

Enzim

Minat terhadap penelitian enzim didorong oleh besarnya kebutuhan enzim dalam berbagai macam industri, mulai berkembang di Indonesia, misalnya dalam bidang pangan, tekstil, deterjen, dan farmasi. Enzim yang dibutuhkan pada umumnya yang digunakan dalam jumlah besar, bermutu teknis, dan teknik produksinya relatif tidak sulit. Pada sisi lain, berdasarkan tersedianya bahan dasar dan sumber daya jasad renik potensial, kemungkinan untuk produksinya di Indonesia cukup memberikan harapan. Beberapa macam enzim yang banyak diteliti ialah amilase, amiloglukosidase, protease, dan selulase (Saono, 1994a; 1994b).

Amilase menarik minat para peneliti karena pemakaiannya dalam industri yang banyak menggunakan bahan dasar pati/berpati. Kegiatan penelitian yang dikerjakan, terutama berkisar pada pencarian dan seleksi biak jasad renik unggul lokal, di samping pengembangan proses produksinya yang ekonomis dengan menggunakan bahan dasar lokal. Kegiatan untuk mendapatkan biak lokal unggul banyak dikerjakan di berbagai instansi seperti Puslitbang Bioteknologi, LIPI di Cibinong, Pusat Antaruniversitas Bioteknologi, ITB di Bandung, dan FMIPA, UI, di Depok. Sejumlah biak lokal unggul khamir (*Endomycopsis fibuligera*), kapang (*Aspergillus aculeatus*, *A. ficuum*, *A. niger*, *Rhizopus oligosporus*, dan *R. oryzae*), bakteri tahan panas (*Bacillus* sp.) dan *actinomyces* telah berhasil dikumpulkan. Bermacam-macam pati, misalnya jagung, ubi kayu, sagu, dan beras, dapat dimanfaatkan sebagai sumber karbohidrat oleh berbagai-bagai biak unggul tersebut.

Enzim karbohidrase lain yang menjadi perhatian ialah amiloglukosidase. Enzim ini diperlukan untuk pembuatan glukose cair sebagai bahan pemanis yang banyak digunakan dalam industri makanan dan minuman. Beberapa cara produksinya telah diteliti, di antaranya, ialah fermentasi substrat cair dengan bahan dasar pati jagung. Fermentasi ini menggunakan biak *E. fibuligera*. Cara lain ialah dengan fermentasi substrat padat pada campuran sekam dan dedak padi. Fermentasi ini menggunakan kapang *Aspergillus* sp.

Di samping enzim pemecah pati, banyak pula dicari biak-biak unggul kapang penghasil protease dan selulase. Penghasil protease dari kelompok rizopus, di antaranya, ialah jenis *R. cohnii*, *R. oligosporus*, dan *R. oryzae*. Penghasil selulase unggul dijumpai pada kelompok *A. niger*, *Cephalosporium* sp., *Fusarium* sp., *Humicola* sp., dan *Neurospora sitophila*.

Asam Organik

Dari berbagai asam organik, yang banyak menarik minat penelitian ialah asam asetat dan asam laktat. Perhatian terhadap asam asetat terutama didorong oleh banyaknya limbah dan hasil agroindustri, seperti industri pengalengan nenas. Untuk mengatasi limbah industri ini, dikembangkan cara produksi asam asetat dengan menggunakan khamir *Saccharomyces cerevisiae* dan bakteri *Acetobacter acetioenum*. Penelitian tentang asam laktat di antaranya berkaitan dengan usaha peningkatan mutu kecap, yakni dengan menggunakan biak *Pediococcus halophilus* dan *Zygosaccharomyces rouxii* pada fase fermentasi air garam (Saono, 1994a; 1994b).

Senyawa-senyawa lain

Dalam rangka pencarian bahan aktif untuk keluarga berencana (senyawa steroid) dari tumbuhan tropika, beberapa peneliti berusaha untuk mengembangkan cara sintesisnya dengan menggunakan jasad renik. Dengan menggunakan dua jenis bakteri, yaitu *Arthrobacter simplex* dan *Mycobacterium phlei*, mereka berhasil mensintesis beberapa senyawa steroid, misalnya solanesol, AD (*androsta-1,4-diene*), ADD (*androsta-1,4-diene-3,17-dione*) dan beberapa turunannya dari solasodin yang didapat dari sejenis terung (*Solanum harzianum*). Sumber lain yang dapat digunakan sebagai bahan dasar ialah sitosterol yang diperoleh dari limbah padat pabrik gula tebu. Dengan menggunakan biak *Mycobacterium* sp. sitosterol tersebut dapat diubah menjadi ADD yang merupakan senyawa antara dalam pembuatan hormon steroid.

Dari berbagai penelitian tentang nilai gizi tempe telah terungkap kemampuan tempe untuk mencegah timbulnya berbagai penyakit, di antaranya diare dan kardiovaskular. Salah satu kelompok senyawa yang menarik perhatian para peneliti ialah isoflavanon, terutama Factor-2 (6,7,4-trihydroxy-isoflavanon). Ternyata kandungannya dalam tempe berbeda-beda berdasarkan asal tempe. Yang sedang dikembangkan ialah produksi isoflavanon tersebut secara fermentasi.

Produk lain yang menarik perhatian ialah senyawa-senyawa penyedap (*flavouring compounds*) yang banyak digunakan di industri makanan dan minuman. Beberapa jenis khamir mampu memproduksi senyawa-senyawa tersebut dari air kelapa dan sari/jus nenas. *Hansenula anomala* misalnya dapat memproduksi etilasetat dan iso-amilasetat, sedangkan *Candida utilis*, di samping memproduksi kedua senyawa tersebut, juga mampu membentuk etildekanoat.

Pemakaian zat pewarna makanan dengan bahan yang tidak membahayakan kesehatan juga menjadi perhatian beberapa peneliti. Mereka

mengembangkan zat warna yang diproduksi oleh sejenis kapang, *Monascus athropurpureus*, yang dibiakkan pada berbagai macam pati (Saono, 1994a; 1994b).

Pupuk-Bio (Biofertilizer)

Pupuk-Bio Sumber Nitrogen (N)

Potensi menambat N berbagai jenis jasad renik bebas atau yang bersimbiosis dengan bermacam jenis tanaman sumber bahan pangan dan/atau pakan cukup menjanjikan. Kenyataan ini menjadi pemacu berbagai lembaga melaksanakan kegiatan penelitian dan pengembangan biak-biak jasad renik penambat N yang hidup bebas maupun yang bersimbiosis dengan tanaman, terutama dari suku kacang-kacangan (*Leguminosae*).

Bakteri Penambat N secara Simbiosis

Bakteri yang banyak dan sudah lama mendapat perhatian dan dimanfaatkan ialah kelompok rizobia dan bradirizobia. Bakteri ini bersimbiosis dengan jenis-jenis tertentu tanaman kacang-kacangan. Banyak kegiatan isolasi, seleksi, dan karakterisasi biak-biak rizobia;bradirizobia unggul penambat N dilakukan oleh berbagai lembaga penelitian, di antaranya, Puslitbang Tanaman Pangan, Deptan, Fakultas Pertanian berbagai universitas, dan Puslitbang Bioteknologi, LIPI. Isolasi bakteri dilakukan dari tanah dan bermacam-macam jenis tanaman kacang-kacangan, terutama dari luar Jawa. Di samping dari tanaman sumber pangan, isolasi juga dilakukan dari jenis-jenis pohon *leguminosae* tumbuh cepat yang banyak ditanam di hutan tanaman industri (HTI).

Dari berbagai penelitian yang dilakukan dengan bradirizobia, yang paling banyak ialah dengan bradirizobia kedelai. Penelitian dikhkususkan pada aspek yang menyangkut ketahanannya terhadap kemasaman tanah, reaksinya terhadap pengapuran, tanggapannya terhadap pemupukan, serta kecocokannya terhadap galur-galur tertentu. Berdasarkan hasil salah satu penelitian laboratorium, sekitar 20% bradirizobia yang diuji tahan terhadap reaksi masam sampai pH 4,5. Tetapi, hal ini belum menjamin bahwa kinerjanya dalam menambat N di lapangan lebih baik daripada biak-biak yang tidak tahan kemasaman.

Salah satu faktor penting yang menentukan keefektifan penambatan N di tanah masam, khususnya bagi tanaman inangnya, ialah pengapuran tanah, terutama jika kandungan Al tanah bersangkutan tinggi. Berapa tepatnya jumlah kapur yang dibutuhkan untuk menunjang penambatan N yang efektif oleh jenis tertentu tanaman kacang-kacangan ditentukan oleh

tipe tanahnya, jenis tanamannya, dan galur rizobia/bradirizobianya. Pada tanah masam berkadar Al tinggi, pengapuran tidak saja penting bagi pembentukan bintil akar tetapi juga penting bagi penanggulangan efek negatif keracunan Al.

Berbagai hasil penelitian memperkuat temuan sebelumnya, di antarnya, ialah bahwa P dan K lebih berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman inangnya daripada pada pembentulan oleh bakteri. Penambahan pupuk N dalam bentuk nitrat meningkatkan reduktase nitrat, tetapi menurunkan kegiatan nitrogenase sehingga penambatan N berkurang. Kekurangan Mo menghambat penambatan N.

Topik lain yang juga mendapat perhatian ialah kecocokan biak bakteri dengan galur tanaman. Berdasarkan hasil percobaan lapangan, inokulasi dua galur baru kedelai dengan sejumlah biak bradirizobia pada tanah masam, terlihat adanya kecocokan antara biak bradirizobia tertentu dan salah satu galur kedelai yang diuji (Saono, 1988; 1992; 1994a; 1997a; 1997b).

Bakteri Bebas Penambat N

Selain pada kelompok rizobia/bradirizobia, dijajagi pula potensi bakteri lain sebagai penambat N, terutama yang berkaitan dengan makin berkurangnya lahan subur beririgasi cukup bagi pertanaman padi. Beberapa biak rizobakteria tahan kering berhasil diisolasi dari rizosfer tanaman padi yang mengalami kekeringan. Salah satu biak yang diseleksi mampu merangsang pertumbuhan tanaman padi di tanah dengan kandungan air sebesar 40% ketersediaan air tanah (*soil water availability*). Daya tahan kekeringan bakteri tersebut dikendalikan gen khusus (Saono, 1994a; 1995; 1997a).

Bahan Pembawa (Carrier)

Di samping jasad reniknya, mutu dan harga suatu inokulan sangat dipengaruhi oleh bahan pembawanya (*carrier*). Kebanyakan bahan pembawa yang digunakan ialah gambut. Berdasarkan hasil penelitian, kecuali gambut Rawa Lakkok, kecocokan beberapa macam gambut Indonesia (berasal dari G. Dieng, Rawa Jitu, Rawa Pening, dan Rawa Sragi) sebagai bahan pembawa, tidak kalah dibandingkan dengan gambut Australia. Di samping gambut, telah pula dijajagi penggunaan butiran terumbu karang (*coral-reef*) sebagai pembawa dan hasilnya cukup menggembirakan: biak rizobia dapat hidup selama 6 bulan (Saono, 1994a; 1995; 1997a).

Pupuk-Bio Sumber Fosfor (P)

Meskipun di berbagai tempat di Indonesia dijumpai deposit batuan fosfat

(*rock phosphate*, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), cadangannya masih kecil. Karena ketersediaan P dari batuan fosfat tersebut umumnya rendah, pemanfaatannya sebagai pupuk P secara ekonomis kurang menguntungkan. Oleh sebab itu, sebagian besar kebutuhan pupuk P masih diimpor. Dengan tujuan untuk meningkatkan efisiensi pemakaian pupuk P komersial, telah dijajagi kemungkinan untuk menggantikan sebagian dari kebutuhan tersebut dengan batuan fosfat. Namun, karena ketersediaan P batuan fosfat rendah, perlu dicari cara ekonomis untuk meningkatkannya, antara lain, dengan menggu-nakan jasad renik pelarut batuan fosfat.

Penelitian jasad renik pelarut batuan fosfat telah dilakukan sejak tahun 1992. Tujuan utamanya ialah mendapatkan biak-biak unggul untuk digunakan sebagai pupuk bio. Untuk keperluan itu, telah diisolasi dan diseleksi potensi biak-biak jasad renik dari berbagai lokasi di Jawa dan Nusa Tenggara Timur. Jumlah biak unggul yang diperoleh relatif rendah.

Daya pelarut fosfat sesuatu jasad renik dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan/sifat-sifat tanah tempat jasad renik bersangkutan diaplikasikan sebagai biak tunggal atau campuran. Biak campuran, khususnya antara bakteri dan kapang, kelihatannya lebih efektif dalam melarutkan batuan fosfat. Jenis-jenis bakteri pelarut fosfat yang berhasil diidentifikasi ialah *Citrobacter intermedium*, *Pseudomonas putida*, dan *Serratia marcescens*. Kapangnya ialah *Aspergillus niger*. Peningkatan pertumbuhan tanaman percobaan sebagai akibat penambahan bakteri pelarut fosfat tidak saja disebabkan oleh peningkatan P tersedia sebesar tetapi juga akibat peningkatan penyerapan P dan N oleh tanaman. Bakteri pelarut batuan fosfat, misalnya *Pseudomonas putida*, dapat disimpan dalam berbagai macam pembawa pada suhu 4°–28°C sampai 16 minggu. Bahan pembawa yang telah dicoba, di antaranya, ialah gambut, kompos, campuran gambut-zeolit, dan campuran kompos-zeolit. Hasil penelitian ini merupakan landasan bagi pengembangan inokulan bakteri pelarut fosfat (Saono, 1994a; 1997a).

Mikoriza

Dalam penelitian dan pengembangan, menggali potensi jasad renik dari alam, termasuk mikoriza pun, dimulai dengan koleksi dan identifikasi biak ekto/endomikoriza. Koleksi dilakukan dari berbagai sumber dan lokasi di Jawa dan Sumatra. Kegiatan ini dilaksanakan di berbagai instansi dan perguruan tinggi.

Tidak kurang dari 47 jenis biak VAM (*Vesicular Arbuscular Mycorrhiza*) asli Indonesia, di antaranya, bermacam jenis *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Glomus*, dan *Scutellospora*, telah terkumpul dan disimpan di 'Bank of Tropical Indigenous Glomales' PAU Biotek IPB. Beberapa biak dari koleksi tersebut dalam keadaan monosenik (*monocenic*), di antaranya, *Glomus manihotis* dan

Acaulospora spinosa, sangat efektif memacu pertumbuhan tanaman muda *Acacia mangium*, *Paraserianthes falcataria*, *Pterocarpus indicus*, dan *Sesbania glandiflora*.

Dalam hal ektomikoriza, distribusinya ditentukan oleh vegetasi yang dominan di tempat yang bersangkutan. Sebagai contoh, di bawah rumpun tanaman *P. merkusii* sering dijumpai jenis-jenis *Lactarius*, *Russula*, *Scleroderma*, dan *Suillus*, sedangkan di bawah rumpun meranti (*Dipterocarp*) banyak dijumpai jenis-jenis *Amanita*, *Hebeloma*, *Lactarius*, *Russula*, dan *Scleroderma*. Di antara sekian banyak jenis ektomikoriza tersebut yang paling efektif bagi pertumbuhan kecambah meranti ialah jenis-jenis *Scleroderma* (Saono, 1994a; 1997a).

Mikoriza dan Tanaman Kacang-kacangan (Leguminosae)

Pada tanaman kacang-kacangan, VAM kelihatannya mempunyai peran penting dalam penyediaan Ca dan P. Penambahannya sebagai pupuk bio dapat memacu pertumbuhan berbagai jenis kacang-kacangan sumber pakan, seperti *fleminia* (*Flemingia congesta*), *puero* (*Pueraria phaseoloides*) dan *stylo* (*Stylosanthes guianensis*). Dari ketiga jenis tanaman tersebut yang paling responsif terhadap penambahan VAM ialah *stylo*. Selain itu, jika VAM ditambahkan bersama *Bradyrhizobium japonicum* dapat ditingkatkan pertumbuhan dan produksi kedelai serta penghematan pemakaian pupuk P sampai dengan 80 kg TSP/ha dan pupuk N sebesar 45 kg urea/ha.

Mikoriza dan Tanaman Padi

Pemupukan padi di tanah masam dengan pupuk P, kapur, dan VAM meningkatkan produksi padi gogo. Di samping meningkatkan produksi, pemupukan dengan VAM dapat menghemat pemakaian kapur.

Mikoriza dan Pohon Tumbuh Cepat

Berbagai jenis pohon tumbuh cepat yang mempunyai nilai komersial, seperti *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus deglupta*, *Pinus merkusii*, *Shorea pinanga*, *S. palembanica*, dan *S. stenoptera*, mampu membentuk asosiasi dengan *Scleroderma* sp. Dari keenam jenis tersebut yang paling responsif adalah *P. merkusii* dan hasilnya bahkan lebih baik daripada suatu inokulan komersial *Mycogroe* dari Filipina. Di samping *Scleroderma* jenis VAM lain, yang juga potensial untuk jenis-jenis pohon tumbuh cepat, seperti *Acacia mangium*, *Paraserianthes falcataria*, dan *Trichospermum*, ialah *Gigaspora margarita*, *Glomus etunicatum*, dan isolat lokal *Acaulospora scrobiculata* yang cocok untuk reklamasi tanah bekas pertambangan nikel.

Jamur (Mushroom)

Sebagai akibat berkembangnya industri kayu, pulp, dan kertas di Indonesia, terbentuklah hasil samping pengolahan dan limbah kayu dalam jumlah besar. Berbagai cara telah diupayakan untuk mengurangi jumlah hasil samping dan limbah yang terbentuk, di antaranya, dengan memanfaatkannya sebagai medium produksi jamur (*mushroom*). Kegiatan penelitian dan pengembangan dalam bidang ini diarahkan pada pemilihan hasil samping/ limbah kayu yang cocok untuk menunjang produksi jamur secara ekonomis dapat bertahan. Untuk itu, limbah gergajian berbagai jenis kayu komersial telah diteliti potensinya sebagai medium jamur. Jenis-jenis tersebut di antaranya ialah jeungjing (*Albizia falcataria*), pulai (*Alstonia scholaris*), aren (*Arenga pinnata*), kelapa (*Cocos nucifera*), durian (*Durio zibethinus*), karet (*Hevea brasiliensis*), dan pasang (*Lithocarpus sundaicus*). Ternyata serbuk gergajian kayu karet memberikan hasil terbaik. Di samping limbah industri kayu, telah pula dijajagi pemanfaatan berbagai limbah pertanian sebagai medium pembiakan jamur, misalnya limbah kapas dan daun pisang kering. Pada kombinasi yang tepat, campuran kedua limbah ini dapat memberikan produksi jamur lebih tinggi daripada masing-masing limbah.

Jamur yang diteliti ialah jenis-jenis yang mempunyai nilai komersial, yakni *Auricularia polytricha*, *Pleurotus cystidiosus*, *P.flabellatus*, *P. ostreatus*, dan *P. sayor-caju*. Di antara kelima jenis tersebut yang paling produktif ialah *P. ostreatus*, yang diikuti secara berurutan oleh *P. flabellatus*, *P. sayor-caju*, *A. polytricha*, dan *P. cystidiosus*. Meskipun jenis jamur dan medium yang digunakan telah memenuhi syarat, para petani jamur kadang-kadang mengalami kegagalan panen karena pertanamannya diserang penyakit. Penyebab penyakit ini pada umumnya ialah *Aspergillus* spp., *Gliocladium* spp., *Monilia* spp., *Penicillium* spp., *Trichoderma* spp., dan *Verticillium* spp. Jasad-jasad renik ini menghambat pertumbuhan jamur karena daya tumbuhnya lebih cepat, di samping merusak/melarutkan (*lysis*) dinding sel jamur yang diusahakan.

Biopestisida

Meningkatnya minat terhadap biopestisida didasari oleh keprihatinan akan bahaya yang dapat ditimbulkan oleh pestisida sintetik terhadap kesehatan manusia dan kelestarian lingkungan. Hal ini mendorong penelitian untuk mencari pestisida pengganti yang tidak terlalu berbahaya bagi kesehatan manusia dan sekaligus aman dan ramah bagi lingkungan. Salah satu pilihan ialah biopestisida. Berdasarkan jasad aktifnya, biopestisida terbagi atas biopestisida yang menggunakan bakteri, yang menggunakan kapang, dan yang menggunakan virus (Saono, 1994a; 1997a).

Biopestisida yang Menggunakan Bakteri

Yang paling banyak diteliti dan dikembangkan ialah jenis-jenis *Bacillus*. Untuk penelitian dan pengembangan ini, telah ditapis (*screen*) potensi 2.000 biak *Bacillus* lokal. Dari jumlah tersebut, 350 berupa biak *B. thuringiensis*, yang 32 di antaranya mengandung kristal protein racun serangga. Kebanyakan dari ke-32 biak tersebut membentuk kristal bipiramida, sedangkan yang lainnya membentuk kristal oval, amorf, atau bulat. Pengujian efektifitas ke-32 biak bakteri tersebut terhadap larva *Crocidolomia binotalis* dan *Spodoptera litura* menunjukkan bahwa semuanya mengandung kristal bipiramida dan racun bagi *C. binotalis*, sedangkan yang racun bagi *S. litura* hanya satu biak. Beberapa biak mempunyai daya racun setingkat produk komersial (*Thuricide*) terhadap *C. binotalis*.

Beberapa biak *B. thuringiensis* lokal dari Lampung ternyata efektif terhadap nyamuk *Anopheles aconitus* dan *Culex pipiens quinquefasciatus*. Dalam hal ini *Culex pipiens quinquefasciatus* lebih rentan daripada *Anopheles aconitus*.

Meskipun tidak sepopuler *B. thuringiensis*, beberapa jenis bakteri lain juga berpotensi sebagai biosida, terutama terhadap penyakit tanaman. Dua marga yang mempunyai banyak jenis aktif ialah *Pseudomonas* dan *Rhizopseudomonas*. Beberapa biak *Pseudomonas* sp. dan *Rhizopseudomonas* sp. mampu menekan pertumbuhan penyakit tanaman *Pseudomonas solanacearum* serta tahan hidup dalam kompos selama 12 minggu. Dengan demikian, biak-biak ini mempunyai potensi untuk dibuat inokulan.

Biopestisida yang Menggunakan Kapang

Beberapa jenis kapang terbukti mempunyai potensi sebagai biopestisida, di antaranya, *Beauveria bassiana* dan *Gliocladium*. Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa konidia *B. bassiana* mampu membunuh larva nyamuk *Culex pipiens quinquefasciatus*. Untuk membunuh larva nyamuk *Aedes aegypti* diperlukan konsentrasi konidia yang lebih tinggi daripada untuk *C. pipiens quinquefasciatus*. Rupanya *A. aegypti* lebih tahan.

Beberapa biak *Gliocladium* terbukti mampu secara nyata menekan infeksi tomat oleh *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* dan infeksi kacang tanah oleh *Sclerotium rolfsii* sebesar 41--91%. Dari biak *Gliocladium* aktif tersebut dapat dibuat inokulum dengan menggunakan bahan pembawa campuran dedak dan serbuk gergaji.

Biopestisida yang Menggunakan Virus

Telah berhasil diisolasi satu *Nuclear Polyhedrosis Virus* (HaNPV) lokal yang

mempunyai toksisitas terhadap ulat *Helicoverpa armigera* dan *Spodoptera litura* (hama tanaman kapas), yang setingkat dengan NPV luar negeri/ impor. Jika bubuk mengandung virus NPV tersebut diaplikasikan pada stadium dini pertumbuhan kapas, kemudian diikuti dengan penyemprotan insektisida, biaya pengendalian hama dapat dihemat sebesar 21% dibandingkan dengan jika hanya menggunakan pestisida saja.

PENERAPAN/PRODUKSI

Produk Fermentasi Tradisional

Pada waktu ini tidak kurang dari sembilan macam produk diproduksi secara komersial dan dimanfaatkan secara luas, yakni tape, tempe, taoco, kecap, sayur, dan buah yang difermentasikan, susu masam, minuman beralkohol, cuka, dan ragi. Kecuali beberapa produk, seperti kecap, sebagian besar produk fermentasi tradisional tersebut pada umumnya diproduksi oleh industri rumah tangga yang bermodal kecil, dengan jumlah pekerja yang terbatas, peralatan sederhana, pengetahuan teknis dan pengelolaan terbatas, serta faktor-faktor produksi lainnya yang serba terbatas. Sebagai akibatnya, kepastian mutu produk tidak selalu dapat diandalkan.

Dengan mengingat unsur penentu suatu produk fermentasi tradisional ialah mutu dari jasad renik dan kondisi yang memenuhi persyaratan bagi berlangsungnya fermentasi, usaha perbaikan proses dan mutu jasad renik merupakan tantangan yang harus dipecahkan oleh instansi-instansi Pemerintah dan perguruan tinggi karena para produsen tidak akan mampu memecahkannya. Salah satu hasil pengembangan yang patut dikemukakan ialah inokulan/ragi tempe yang diproduksi LIPI dalam skala besar dan secara luas dimanfaatkan perajin tempe tradisional.

Kecuali di beberapa daerah yang masih memproduksinya dalam skala industri kecil, kecap sekarang telah diproduksi oleh industri besar dengan standar mutu baku. Demikian pula halnya dengan produk susu yang difermentasikan, seperti yakult dan yoghurt, juga telah diproduksi secara komersial dalam skala besar. Produk tradisional lain, kecuali tempe, produksinya masih terbatas baik dalam skala produksi maupun pemasarannya (Saono dan Winarno, 1979; Saono dkk., 1982; Saono dkk., 1986).

Pupuk-Bio (Biofertilizer)

Pupuk-Bio Sumber Nitrogen (N)

Akibat berkurangnya lahan pertanian di Jawa, area pertanaman beberapa komoditas tanaman pangan, misalnya kedelai, secara berangsur-angsur juga

mulai dipindahkan ke luar Jawa. Sayangnya, tingkat kesuburan kebanyakan lahan pertanian di luar Jawa rendah. Oleh karena itu, terus diusahakan pemilihan dan introduksi jenis-jenis tanaman dan teknologi yang sesuai dengan keadaan tersebut, misalnya tanaman yang secara alami mampu memenuhi kebutuhannya akan unsur-unsur hara N dan P dari yang tersedia di lingkungannya. Hal ini melatarbelakangi minat besar terhadap pemanfaatan inokulan rizobium/*bradyrhizobium* dan mikoriza.

Inokulan Rhizobium/Bradyrhizobium

Pada waktu ini di pasaran dikenal paling sedikit dua macam inokulan rizobium, yang diberi nama dagang *Legin* dan *Rhizogin* (Saono, 1992; 1997a).

Legin merupakan inokulan yang mengandung satu atau campuran biak *Rhizobium/Bradyrhizobium* dalam gambut tak steril. Inokulan ini diproduksi oleh Fakultas Pertanian, UGM. Kapasitas produksinya sebesar 20 ton per tahun yang setara dengan kebutuhan pertanaman kedelai seluas 105 ha. Dosis yang diperlukan per ha tanaman kedelai adalah 150 g dan harganya sebelum terjadinya gejolak moneter Rp5.000,00. Salah satu kendala kesinambungan produksinya ialah pemasarannya; sejak berdirinya, bagian terbesar inokulan yang dihasilkan adalah untuk memenuhi proyek Pemerintah dalam peningkatan produksi tanaman pangan. Hanya sebagian kecil saja dari produknya dipasarkan secara langsung.

Berbeda dengan *Legin*, *Rhizogin* diproduksi oleh sebuah perusahaan swasta di dekat Bogor. *Rhizogin* adalah inokulan yang mengandung satu atau beberapa biak *Rhizobium/Bradyrhizobium* dalam gambut steril. Dosis pemakaiannya adalah 2,8 g per kg biji. Kapasitas produksi pabrik adalah 360 kg/hari. Sebagaimana halnya dengan *Legin*, sebagian besar produksinya digunakan untuk keperluan proyek-proyek pemerintah dan hanya sedikit yang dijual di pasar. Menurut informasi terakhir, *Rhizogin* sudah tidak diproduksi lagi karena pabriknya tutup.

Terlepas dari masih sulitnya pemasaran langsung inokulan rizobium/*bradirizobium* dan kurang berkembangnya produksi pupuk bio, minat untuk memproduksinya tampaknya masih ada. Adanya minat ini timbul dari dua hal: di satu pihak oleh tidak diragukannya kemampuan inokulan rizobium/*bradirizobium* mendukung pertumbuhan tanaman kacang-kacangan, dan di pihak lain luasnya tanah-tanah marginal (khususnya di luar Jawa) yang dapat ditanami berbagai jenis tanaman tersebut. Berbagai penelitian dilakukan untuk meningkatkan mutu inokulan rizobium/rizobium dan menurunkan harganya agar lebih terjangkau petani sehingga produksinya tidak bergantung pada proyek-proyek Pemerintah. Salah satu hasilnya ialah pupuk bio baru *Rhizo Plus*.

Rhizo Plus merupakan suatu inokulan yang mengandung campuran

bradirizobium dan bakteri pelarut senyawaan P. Inokulan ini dapat meningkatkan efisiensi pemakaian pupuk N dan P. Dasar pengembangan Rhizo Plus adalah kenyataan bahwa dalam praktik di lapangan efektivitas pemakaian inokulan rizobium/bradirizobium terhadap produksi tanaman kedelai tidak konsisten. Kemungkinan salah satu penyebabnya ialah kurang tersedianya unsur P pada tahap awal pembentukan bintil akar. Untuk lebih meningkatkan keefektifan Rhizo Plus, telah dikembangkan pengemasannya dalam kapsul gelatin atau gum arab. Dengan cara itu, daya hidup bakteri meningkat dan efektivitas inokulannya lebih baik.

Mengingat salah satu hambatan dari pemanfaatan inokulan rizobium/bradirizobium ialah ketersediaannya dalam keadaan segar dan siap pakai di lapangan yang biasanya jauh dari lokasi produsen, telah diusahakan pengembangan paket teknologi produksi inokulan rizobium/bradirizobium skala kecil dengan bahan yang tersedia di lokasi pertanaman. Teknologi tersebut didasarkan prinsip fermentasi ganda (*double fermentation*), yakni penggunaan produk fermentasi cair tepung ubi kayu oleh kapang *Aspergillus awamori*, yang setelah dilengkapi dengan unsur-unsur hara yang diperlukan, digunakan sebagai medium pembiakan rizobium dalam suatu fermentor kecil menyerupai *pressure cooker*. Teknik ini mampu menghasilkan biakan rizobium sampai dengan sebesar 10^8 /ml.

Inokulan Campuran dan Inokulan Pelarut Senyawa P

Di kalangan perkebunan besar telah pula dikembangkan inokulan campuran mengandung bakteri non-simbiotik penambat N dan bakteri pelarut senyawa P. Kegiatan yang telah dimulai sejak tahun 1994 ini telah dicoba pada berbagai jenis tanaman perkebunan seperti kelapa, kelapa sawit, karet dan coklat, dengan hasil yang cukup menjanjikan, yaitu yang berupa penghematan pemakaian pupuk sampai 25% tanpa mengurangi produksi. Penggunaan pupuk bio ini pada tanaman tebu juga berhasil meningkatkan efisiensi pemakaian pupuk P dan meningkatkan pertumbuhan tanaman.

Mikoriza

Pada waktu ini, inokulan VAM disiapkan dari akar tanaman yang diinfeksi kapang yang bersangkutan, yang ditumbuhkan dalam pot. Untuk produksi massal, cara ini tidak praktis dan ekonomis. Salah satu alternatif yang telah dikembangkan ialah menumbuhkannya pada jagung yang ditanam pada medium baku. Beberapa bahan telah diteliti sebagai bahan medium, di antaranya, pasir kuarsa, arang, zeolit, gambut, dan tanah regosol. Komposisi medium terbaik ditentukan oleh jenis kapangnya, misalnya *Glomus fasciculatum* tumbuh baik dalam campuran tertentu: pasir kuarsa

dan arang, jenis glomus lain (*Glomus* sp.) berkembang baik dalam medium zeolit, sedangkan *Gigaspora* sp. lainnya lagi dalam campuran tertentu: tanah regosol dan gambut. Teknik tersebut disempurnakan lebih lanjut dengan menggunakan kecambah yang ditumbuhkan dalam pesemaian sebelum dipindahkan ke dalam kantong-kantong plastik sebagai inokulan. Cara ini berhasil digunakan untuk semai *P. falcataria*, *A. mangium*, dan *Pterocarpus* sp.

Pemanfaatan VAM penting di bidang kehutanan, terutama dalam kaitan dengan usaha reboisasi tanah-tanah rusak. Di samping populasi mikroflora tanah yang rendah, kondisi lingkungan tanah semacam ini juga tidak mendukung bagi pertumbuhan tanaman. Dalam rangka rehabilitasinya dilakukan inokulasi dengan VAM. Hasilnya menunjukkan bahwa jenis-jenis tanaman tertentu, khususnya dari suku kacang-kacangan, seperti *Acacia mangium*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Paraserianthes falcataria*, *Prosopsis* sp., *Pterocarpus* sp., dan *Sesbania grandiflora* memberikan respons positif terhadap inokulasi VAM.

Untuk tanaman perkebunan, inokulasi VAM berpotensi untuk digunakan pada tanaman perenial, misalnya coklat. Hasil pemanfaatannya menunjukkan bahwa VAM meningkatkan penyerapan unsur hara makro (Saono, 1994a; 1997a).

SARANA PENUNJANG

Koleksi Jasad Renik

Pada waktu ini, di Indonesia terdapat paling sedikit lima belas lembaga penelitian yang mempunyai koleksi jasad renik, yang telah terdaftar di *World Data Center for Microorganisms* (WDCM) di Jepang. Biak yang disimpan pada umumnya berupa hasil kegiatan penelitian lembaga bersangkutan, di samping yang diperoleh dari luar negeri dalam rangka kerja sama atau pertukaran. Dengan beberapa kekecualian, kebanyakan biak yang disimpan belum diidentifikasi sampai taraf jenis (*species*). Informasi yang tersedia pada umumnya mengenai asal, cara penyimpanan, sifat penting, dan potensi kegunaan jasad renik yang bersangkutan (Saono, 1991).

Dari ke-15 koleksi yang ada, hanya sekitar tujuh yang memenuhi persyaratan minimal sebagai suatu koleksi jasad renik. Persyaratan ini melibatkan tersedianya tenaga pengelola, prasarana, sarana, dan anggaran. Koleksi jasad renik ini terdapat di lembaga-lembaga berikut

1. Puslitbang Bioteknologi, LIPI (Biotechnology Culture Collection, BTCC), Cibinong, yang menyimpan berbagai biak untuk keperluan bioteknologi;

2. Balai Penelitian Veteriner, Deptan (*Balitvet Culture Collection*, BCC), Bogor, yang kebanyakan koleksinya berupa biak penyebab penyakit ternak;
3. Fakultas Pertanian, UGM, Yogyakarta, yang banyak menyimpan biak untuk keperluan pertanian;
4. ITB, yang kebanyakan koleksinya untuk keperluan industri;
5. Universitas Indonesia (DMUIJ), Jakarta, yang menyimpan koleksi biak penyebab penyakit manusia;
6. Universitas Indonesia (UICC), Depok, yang banyak menyimpan biak untuk industri, dan
7. Fakultas Teknologi Pertanian, UGM, Yogyakarta, yang banyak mengoleksi biak untuk keperluan fermentasi tradisional.

Dalam rangka mengatasi kendala keterbatasan jumlah dan pengalaman tenaga pengelola koleksi jasad renik, sejumlah pengelola koleksi jasad renik atas kapasitas individu dan dengan dukungan Yayasan Keanekaragaman Hayati Indonesia (KEHATI), dalam bulan Maret 1996, telah membentuk suatu forum komunikasi yang dinamakan Forum Komunikasi Pengelola Koleksi Jasad Renik Indonesia yang disingkat dengan FORKOMIKRO. Selain berfungsi sebagai wadah bagi para pengelola untuk bertukar pikiran dan pengalaman, forum secara sukarela memberikan konsultasi dan rekomendasi untuk mengatasi masalah yang dihadapi dalam pengelolaan koleksi jasad renik, serta dalam mengimplementasikan konvensi keanekaragaman hayati yang berkaitan dengan jasad renik (Saono, 1998). Karena sifatnya yang informal, organisasi Forum pun sederhana. Forum ini terdiri atas anggota dan seorang koordinator yang dipilih oleh dan dari anggota untuk waktu dua tahun. Pada satu tahun pertama kegiatan Forum mendapat bantuan dana dan administrasi dari Yayasan KEHATI. Akan tetapi, setelah masa ini, kegiatannya ditanggung oleh para anggota secara sukarela. Menurut kesepakatan, Forum bertemu secara tak teratur, tetapi paling sedikit setahun sekali.

Untuk mencapai tujuan pendiriannya, telah disusun program jangka pendek (1--3 tahun) dan jangka panjang (lebih dari 3 tahun). Dalam program jangka pendek, di antaranya, direncanakan untuk menyusun pedoman pengelolaan koleksi jasad renik yang profesional, memutakhirkkan informasi tentang koleksi jasad renik di Indonesia, dan membantu pihak yang berkepentingan dalam mengimplementasikan konvensi mengenai Keanekaragaman Hayati yang berkaitan dengan jasad renik. Dalam program jangka panjang, digariskan untuk membantu mengatasi masalah yang timbul dalam pengelolaan koleksi jasad renik. Dari tiga program jangka pendek yang direncanakan, dua yang pertama telah diselesaikan, yakni penentuan pedoman dan pemutakhiran informasi koleksi jasad renik di Indonesia.

Peraturan Pengamanan Produk

Berbagai produk yang memanfaatkan jasad renik sudah lama dikenal dan dimanfaatkan di Indonesia. Selama ini keamanan pemanfaatannya bagi manusia dan lingkungan masih dapat dijaga oleh peraturan perundang-undangan yang ada, seperti UU No. 4, 1982, tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup (yang digantikan dengan UU No. 23, 1997), UU No. 16, 1992, tentang Karantina Hewan, Ikan, serta Tumbuhan, dan Peraturan Menteri Kesehatan No. 722, 1988, mengenai Bahan Pangan Tambahan.

Dengan kemajuan baru yang dicapai dalam bidang rekayasa genetik, sudah mulai dihasilkan produk-produk pertanian (termasuk dari jasad renik) secara rekayasa genetik di Indonesia dan di luar negeri, yang akan segera masuk Indonesia. Karena peraturan perundang-undangan yang ada tidak sepenuhnya dapat diterapkan untuk produk-produk semacam itu, untuk pengamanannya Pemerintah telah menerbitkan

1. Pedoman mengenai Persyaratan untuk Melakukan Penelitian Rekayasa Genetika, khususnya di laboratorium oleh Menteri Negara Riset dan Teknologi, pada tahun 1993, dan
2. Surat Keputusan Menteri Pertanian No. 856/Kpts/HK.330/9, 1997, tentang Ketentuan Keamanan Hayati Produk Bioteknologi Pertanian Hasil Rekayasa Genetika (Departemen Pertanian, 1997; MNRT, 1993).

Pedoman yang dikeluarkan MNRT tersebut mengatur kegiatan penelitian di laboratorium, sedangkan SK Mentan mengatur pemasukan dan pelepasan produk pertanian hasil rekayasa genetik di Indonesia, termasuk pedoman untuk melakukan percobaan lapangan yang berskala besar dan mekanisme serta petunjuk pelaksanaan pengamanan hayati yang harus diikuti para pengguna.

Hak atas Kekayaan Intelektual, HAKI (*Intellectual Property Rights, IPR*)

Agar bioteknologi yang memanfaatkan jasad renik dapat berkembang dengan baik, diperlukan perlindungan berupa paten. Hak paten sangat diperlukan karena hak ini memberikan perlindungan pada karya para peneliti dan pengembang terhadap peniruan/pemalsuan. Dengan demikian, mereka akan lebih terpacu dan bergairah untuk menghasilkan produk baru, khususnya di bidang bioteknologi pertanian, yang bagi Indonesia memberikan keuntungan komparatif berupa kekayaan keanekaragaman hayati tinggi, peluang bagi para peneliti dan pengembang untuk bisa ikut berkiprah di bidang pengembangan produk-produk baru pada tingkat internasional cukup besar.

Pada tahun 1997, telah diterbitkan UURI No. 13 tentang Perubahan Atas UU No. 6 Tahun 1989, tentang Paten. Dalam UU Paten yang baru ini

ketentuan-ketentuan yang merupakan hambatan bagi pengembangan bioteknologi yang tercantum dalam UU Paten Tahun 1989 dihapus. Dalam UU Paten Tahun 1989, disebutkan bahwa paten tidak dapat diberikan, di antaranya, kepada

1. setiap proses yang berkaitan dengan produksi makanan dan minuman untuk manusia, serta pakan untuk hewan;
2. makanan, minuman, dan pakan ternak;
3. varietas tanaman dan ras hewan baru, dan
4. setiap proses untuk produksi varietas tanaman dan ras hewan baru atau produknya.

Selanjutnya, dalam UU yang baru, jangka waktu perlindungan paten untuk penemuan baru yang semula 14 tahun diubah menjadi 20 tahun. Dengan demikian, terpulang kepada para peneliti dan pengembang di bidang bioteknologi dan disiplin-disiplin ilmu pendukungnya untuk memanfaatkan UU Paten yang baru dalam melaksanakan tugasnya dan menghasilkan temuan-temuan atau produk-produk baru yang dapat dipatenkan (UURI No. 13, 1997).

PROSPEK DI MASA DATANG

Berkat keberhasilan Pembangunan Jangka Panjang Pertama (PJP I), pada tahun 1984 Indonesia telah berswasembada beras. Akan tetapi, karena kebutuhan pangan lain belum swasembada, sedangkan jumlah penduduk masih terus bertambah besar dan persyaratan untuk peningkatan produksi pertanian, khususnya lahan yang memenuhi syarat, makin sulit diperoleh, perlu dikembangkan pendekatan-pendekatan baru untuk memecahkan masalah tersebut. Salah satu pilihan di antaranya lewat agroindustri.

Agroindustri merupakan salah satu subsistem agribisnis yang berkaitan dengan pengolahan dan industri hasil pertanian. Agroindustri sendiri dapat dibagi dalam agroindustri hulu dan agroindustri hilir. Agroindustri hulu mencakupi kegiatan penyediaan masukan pertanian, seperti pupuk, mesin-mesin pertanian, pakan ternak, dan biosida pertanian. Agroindustri hilir meliputi semua kegiatan usaha yang mengolah bahan baku yang berasal dari tanaman dan/atau hewan.

Sebagai suatu 'industri', usaha ini memerlukan banyak masukan ilmu pengetahuan dan teknologi (Iptek), mulai yang konvensional sampai yang mutakhir, di antaranya bioteknologi. Bioteknologi diperlukan dalam usaha memecahkan permasalahan yang tidak dapat diatasi dengan teknik konvensional, serta menciptakan sistem produksi pertanian yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan. Dengan modal dasar yang berupa keanekaragaman hayati yang besar, bioteknologi mampu memberikan banyak

peluang bagi Indonesia. Bukan saja untuk memenuhi kebutuhan pangannya, tetapi sumber daya hayati yang tersedia juga dapat untuk memenuhi keperluan selain pangan. Selain itu, bioteknologi ini mampu membuka peluang untuk berkiprah dalam pengembangan bioteknologi pertanian modern.

Banyak kegiatan agroindustri yang dapat memanfaatkan bioteknologi. Di sektor hulu pemanfaatan bioteknologi pada jangka panjangnya akan sangat penting. Tanpa intervensi bioteknologi kemungkinan untuk melaksanakan usaha pertanian yang berkelanjutan dan produktif sulit dilaksanakan. Usaha di sektor hulu tersebut di antaranya ialah penyediaan pupuk hayati, penyediaan obat-obatan untuk pencegahan wabah dan penyakit ternak, biosida untuk pengendalian hama dan penyakit tanaman, dan penyediaan pakan ternak. Di sektor hilir, banyak industri pengolahan hasil pertanian, peternakan, dan perikanan memanfaatkan bioteknologi, baik untuk peningkatan mutu produk lama maupun pengembangan produk baru yang lebih bermutu. Pemanfaatan biotek ini akan membantu usaha peningkatan pemasaran komoditas pertanian dalam bentuk pangan dan minuman, pakan, dan produk fermentasi.

Dalam konteks Indonesia, berbagai macam bioteknologi yang ada maupun yang sedang dikembangkan, banyak melibatkan jasad renik sebagai salah satu unsur utama. Karena itu, demi terjaminnya pemanfaatan jasad renik secara berkelanjutan bagi kesejahteraan manusia, perlu diupayakan agar kelestarian biak yang mempunyai nilai ekonomi, dan biak potensial lain dapat dijaga. Beberapa upaya yang perlu diambil untuk tujuan tersebut ialah

1. pemasukan penelitian untuk mengidentifikasi dan memantau keberadaan jasad renik, khususnya yang mempunyai nilai ekonomi dan ilmiah;
2. penyimpanannya secara *ex-situ*;
3. pemanfaatannya secara berkelanjutan untuk kesejahteraan manusia;
4. peningkatan pendidikan dan pelatihan sumber daya manusia yang menanganiinya;
5. pemasarakatan hasil penelitian dan pengembangan, serta pentingnya keanekaragaman jasad renik;
6. penilaian dampak pemanfaatannya;
7. pertukaran informasi, dan
8. kerja sama teknik dan ilmiah.

PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN

Pengetahuan kita tentang keanekaragaman jasad renik di dunia pada umumnya dan di Indonesia pada khususnya masih sangat terbatas. Keterbatasan ini meliputi aspek-aspek mengenai jenis yang ada, jenis yang telah dimanfaatkan, dan jenis yang terancam punah sebagai akibat penyebab alami

ataupun oleh ulah manusia. Untuk mengatasinya perlu diupayakan langkah-langkah berikut

1. identifikasi kelompok-kelompok yang perlu dilestarikan, khususnya yang penting bagi pembangunan berkelanjutan, prioritas perlu diberikan pada jasad renik dari ekosistem dan habitat yang mempunyai keanekaragaman tinggi, mengandung banyak jenis endemik, jenis yang terancam punah, ataupun yang masih asli. Juga untuk jasad renik yang mempunyai nilai ekonomi dan ilmiah tinggi, baik yang telah dimanfaatkan maupun yang masih bersifat potensial;
2. pemantauan kemantapan sifatnya secara teratur;
3. identifikasi faktor-faktor yang dapat mengganggu kelestarian sumber daya jasad renik tersebut di atas;
4. pengelolaan secara baik dan benar semua data dan informasi yang diperoleh;
5. peningkatan penelitian yang membantu pelestarian dan pemanfaatan secara berkelanjutan, dan
6. dorongan pengembangan dan pemakaian cara-cara baru bagi pelestarian dan pemanfaatan secara berkelanjutan.

Dengan kemajuan yang dicapai dalam bidang biologi molekular, perlu diusahakan agar karakterisasi jasad renik tersebut di atas dilakukan pula pada tingkat genom dan gen.

Mengenai fokus kegiatan penelitian dan pengembangan, sebaiknya diorientasikan pada asas manfaat dan kelestarian sumber daya. Dalam kaitan dengan kegiatan pembangunan yang berkelanjutan, paling tepat jika fokus kegiatan penelitian diarahkan kepada bidang agroindustri, baik di sektor hulu maupun hilir. Di sektor hulu, dikembangkan beberapa program yang pemecahannya memerlukan keterlibatan jasad renik, misalnya penyediaan masukan pertanian, seperti pupuk bio (*biofertilizer*), pakan ternak, dan biopestisida (*biopesticide*). Di sektor hilir, program hendaknya meliputi semua kegiatan yang mengolah bahan baku asal tanaman dan hewan yang memerlukan proses bio (*bioprocessing*).

PENYIMPANAN EX-SITU

Karena ukuran dan sifat-sifat biologinya yang berbeda dengan tumbuhan dan hewan, pelestarian jasad renik pada umumnya hanya dapat dilakukan secara *ex-situ*. Untuk pelestarian ini, perlu diupayakan pengadaan prasarana dan sarana penyimpanan biak jasad renik yang memenuhi persyaratan baku, sumber daya manusia yang profesional, dan anggaran yang memadai serta berkelanjutan. Berdasarkan hasil survai terakhir yang diadakan oleh Komisi Nasional Plasma Nutfah (KNPN), di antara koleksi jasad renik yang ada tidak satu pun yang memenuhi syarat untuk menjadi suatu Koleksi Jasad

Renik Nasional. Alternatifnya ialah perlunya dibentuk suatu Jaringan Koleksi Jasad Renik Nasional yang terdiri atas sejumlah koleksi jasad renik yang masing-masing memiliki kemampuan tertentu di bidang perkoleksian jasad renik.

Gagasan pendirian jaringan tersebut sudah dicetuskan sejak tahun 1990. Pada dasarnya gagasan ini diterima oleh koleksi-koleksi jasad renik yang ada. Walaupun demikian, jaringan ini belum pernah secara resmi berfungsi. Jika gagasan ini masih relevan/dapat diterima, instansi induk jasad renik yang ada seyoginya bersepakat untuk secara resmi mendirikan jaringan tersebut.

Untuk tahap pertama sebaiknya jaringan hanya melibatkan beberapa koleksi jasad renik pilihan. Koleksi ini telah memenuhi persyaratan minimal suatu koleksi jasad renik, termasuk mempunyai koleksi dalam jumlah memadai ada pakar mikrobiologi dan tenaga pengelola yang bertugas di koleksi bersangkutan, serta mempunyai prasarana dan sarana yang memadai. Yang tidak kalah pentingnya juga ialah mempunyai anggaran yang tetap bagi pengelolaan koleksi yang bersangkutan. Pada tahap permulaan jaringan dapat dimulai dengan tujuh koleksi jasad renik dari yang sekarang ada, yakni yang terdapat di Puslitbang Bioteknologi, LIPI (BTCC), Balai Penelitian Veteriner, Deptan (*Balitvet Culture Collection*, BCC), Fakultas Pertanian, UGM, ITB, UI (DMUIJ, jasad renik kedokteran), UI (UICC), dan Fakultas Teknologi Pertanian, UGM.

Sebagai pemrakarsa bagi pendirian jaringan tersebut dapat dipilih salah satu instansi induk dari koleksi yang ada. Dapat pula ditunjuk suatu instansi yang memang mempunyai tugas untuk menangani soal-soal pelestarian sumber daya hayati, KNPN, Deptan. Dalam pelaksanaan tugas tersebut instansi yang bersangkutan berfungsi sebagai penanggung jawab administratif dan penyedia dana, sedangkan tugas teknisnya dapat dilaksanakan dengan bantuan FORKOMIKRO.

PENDIDIKAN DAN PELATIHAN SUMBER DAYA MANUSIA

Jumlah pakar mikrobiologi serta tenaga pembantu yang memahami dan menguasai seluk-beluk pemanfaatan dan pelestarian jasad renik masih terbatas. Oleh karena itu, perlu diusahakan penambahan baik jumlah maupun kualitas sumber daya manusia ini. Hal ini dapat dicapai dengan menyelenggarakan program pendidikan dan pelatihan yang berkaitan dengan pekerjaan identifikasi, pelestarian, dan pemanfaatan secara berkelanjutan jasad renik atau komponennya.

Dalam kaitan dengan pemanfaatan jasad renik dalam bioteknologi, diperlukan dukungan kepakaran berbagai disiplin ilmu, terutama biologi

molekular, genetika, biokimia, biofisika, rekayasa kimia, dan ilmu komputer. Disiplin-disiplin ilmu ini diperlukan untuk

1. mempelajari ciri-ciri jasad renik;
2. memperbaiki teknik yang ada atau mengembangkan teknik baru untuk memodifikasi sifat-sifat sel jasad renik sasaran agar menjadi lebih berguna bagi manusia dan lingkungannya, dan
3. memanfaatkan sel atau bagian sel baik yang asli maupun yang dimodifikasi guna menghasilkan produk dan jasa bernilai tambah tinggi.

Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, jumlah dan mutu lulusan sarjana semua strata (S1--S3) untuk disiplin-disiplin tersebut perlu ditingkatkan. Bahan ajar disiplin-disiplin tersebut perlu terus-menerus disesuaikan dengan kemajuan terbaru agar anak didik selalu dapat mengikuti perkembangan mikrobiologi dan bioteknologi modern yang demikian cepat, serta dapat memahami dan memanfaatkannya dengan tepat pula. Konsekuensi dari semua ini ialah bahwa tingkat pengetahuan para pengajar perguruan tinggi, khususnya untuk disiplin-disiplin tersebut di atas selalu harus dimutakhirkan, di antaranya dengan pelatihan pasca S3 di dalam maupun di luar negeri. Salah satu caranya ialah dengan memberikan *sabatical leave*, seperti yang umum berlaku di negara-negara maju dan beberapa negara tetangga kita.

Keberhasilan pemanfaatan jasad renik memerlukan tenaga pelaksana tidak saja tingkat sarjana tetapi juga teknisi/tenaga terampil dalam bidang tertentu seperti analis kimia, analis mikrobiologi, dan teknisi peralatan elektronik. Adanya keperluan ini berarti bahwa pendidikan kejuruan untuk bidang-bidang tersebut perlu diselenggarakan baik lewat jalur pendidikan formal (D1, D3) maupun non-formal melalui program pelatihan dan magang. Pendidikan ini dapat dilaksanakan baik oleh lembaga pendidikan formal maupun oleh perusahaan-perusahaan/instansi yang berkepentingan.

PEMASYARAKATAN

Di samping meningkatkan jumlah dan mutu tenaga pelaksana yang mendukung penelitian, pengembangan, dan pemanfaatan jasad renik, yang tak kalah pentingnya ialah memasyarakatannya. Dengan bertambahnya pemahaman masyarakat mengenai kegunaan jasad renik, diharapkan masyarakat akan lebih mudah diajak bekerja sama dan membantu (baik moril maupun material) kegiatan penelitian, pengembangan, dan pemanfaatan jasad renik. Sasaran tersebut dapat dicapai dengan beberapa cara

1. melakukan promosi dan penyebaran informasi lewat media cetak dan audio-visual, serta pendidikan tentang kegunaan jasad renik dan pelestarian keanekaragamannya, dan
2. bekerja sama dengan instansi terkait pada tingkat nasional maupun internasional, menyusun dan mengembangkan informasi tentang

pelestarian keanekaragaman jasad renik, keanekaragaman hayati, dan pembangunan berkelanjutan.

PENGAMANAN TERHADAP DAMPAK PEMANFAATAN

Meskipun peraturan perundang-undangan tentang pengamanan terhadap risiko pemanfaatan produk-produk bioteknologi baru, baik yang tanpa maupun yang menggunakan rekayasa genetik sudah ada, kebanyakan peraturan ini menyangkut produk-produk pertanian. Peraturan untuk produk-produk yang digunakan di bidang kesehatan, industri, dan pengelolaan lingkungan peraturannya belum ada. Dengan akan makin terbukanya pasar Indonesia bagi impor produk-produk bioteknologi baru sebagai akibat globalisasi, dirasakan pentingnya untuk dibuat undang-undang/peraturan nasional yang mengatur keamanan produk-produk bioteknologi baru, terutama hasil rekayasa genetik, bagi manusia, dan lingkungan hidup.

Undang-undang nasional tersebut sebaiknya merupakan payung dari peraturan-peraturan yang secara teknik mengatur keamanan produk-produk bioteknologi baru, sebagaimana halnya yang telah ada untuk produk-produk pertanian. Sektor-sektor yang tercakup di sini ialah kesehatan, industri, dan lingkungan hidup. Undang-undang ini di samping mengatur keamanan pemanfaatan produk-produk bioteknologi baru bagi keperluan manusia, sebaiknya mengatur pula lingkungan. Hendaknya perundang-undangan ini juga memungkinkan kerja sama dalam skala regional dan internasional. Hal ini penting bagi Indonesia yang merupakan salah satu pusat keanekaragaman hayati dunia.

PERTUKARAN INFORMASI

Karena sifatnya yang multidisiplin dan antarsektor, pemanfaatan daya jasad renik dalam pembangunan berkelanjutan memerlukan sumber informasi yang lengkap dan sesuai dengan perkembangan zaman (*up to date*). Sayangnya, justru kelengkapan informasi ini, khususnya yang mutakhir, merupakan salah satu kendala. Oleh karena itu, perlu diusahakan agar pertukaran informasi mengenai pemanfaatan dan pelestarian jasad renik antarberbagai sumber di dalam dan luar negeri dapat diperlancar. Informasi tersebut mencakup hasil-hasil penelitian dasar, terapan, dan produksi, ataupun yang mencakupi aspek sosio-ekonominya. Dalam kaitan dengan pemanfaatan jasad renik pada khususnya dan sumber daya hayati pada umumnya, perlu pula dikumpulkan informasi yang sudah dikenal masyarakat secara turun-temurun yang belum terdokumentasikan secara baku, di antaranya, ialah cara pemanfaatan jasad renik untuk produksi pangan, pakan, dan obat secara tradisional.

KERJA SAMA ILMIAH DAN TEKNIK

Bioteknologi merupakan suatu teknologi atau 'alat'. Dengan demikian, teknologi ini dapat dianggap berhasil jika telah dimanfaatkan secara luas dan benar. Anggapan ini mengandung implikasi perlunya kerja sama berbagai pihak terkait, mulai dari peneliti, pengembang, sampai penggunanya.

Meskipun pemanfaatan jasad renik secara tradisional telah lama dikenal di Indonesia, penggunaannya dalam bioteknologi 'modern' di Indonesia relatif masih baru. Untuk pelaksanaan penelitian dan pengembangannya diperlukan biaya besar dan waktu relatif lama. Dengan mengingat masih lemahnya sektor swasta di bidang penelitian dan pengembangan, sudah sewajarnya jika pada tahap-tahap awal sebagian besar dari kegiatan ini ditangani pihak Pemerintah. Akan tetapi, pada saat kegiatan tersebut telah mencapai taraf untuk dimanfaatkan sebagai produk atau sarana produksi, pihak industriawan/swasta harus lebih berperan. Pengalihan ini diperlukan, karena Pemerintah tidak mempunyai kemampuan untuk tugas semacam itu dan juga bahwa kegiatan produksi memang seharusnya menjadi tanggung jawab swasta.

Sebenarnya, kerja sama antara pihak Pemerintah dan pihak swasta telah dimulai, yakni dengan melibatkannya dalam pengembangan proyek-proyek kemitraan yang disponsori Pemerintah. Akan tetapi, kelihatannya pihak swasta belum sepenuhnya siap untuk menyambut usaha ini. Mungkin ini tidak saja disebabkan oleh ketidakcukupan modal mereka, tetapi lebih oleh belum adanya pemahaman yang benar tentang makna bioteknologi itu sendiri dalam bidang bioindustri yang bersifat strategis. Masalah ini dapat diatasi dengan mendidik/memberi penyuluhan kepada para penanggung-jawab pelaksana bioindustri lewat jalur formal, misalnya pendidikan manajemen, maupun informal lewat pertemuan-pertemuan perhimpunan profesi ataupun kunjungan kerja.

Karena bioteknologi bersifat universal dan berkembang cepat, mau ataupun tidak mau kita harus menjalin kerja sama internasional, khususnya di bidang penelitian dan pengembangan. Kebutuhan ini timbul karena untuk dapat mengolah sumber daya hayati kita yang besar itu serta memasarkan produk olahannya, kita memerlukan negara-negara maju. Potensi untuk melaksanakan kerja sama seimbang di bidang bioteknologi pertanian antara kita dan negara maju memang ada, karena kita mempunyai modal berupa kekayaan keanekaragaman hayati yang besar. Oleh karena itu, kita harus meningkatkan usaha ini serta benar-benar mengkaji secara cermat dalam aspek apa kita akan menjalin kerja sama. Salah satu caranya ialah dengan mendorong upaya agar hasil kegiatan penelitian dan pengembangan mendapat pengakuan dan perlindungan hukum, misalnya dengan mematenkannya.

SARANA DAN PRASARANA

Sejak dicanangkannya bioteknologi sebagai salah satu program unggulan bidang Iptek di Indonesia, sudah banyak kemajuan dialami dalam pengadaan sarana berupa laboratorium dan peralatan. Sebagian besar pusat-pusat penelitian dan pengembangan bioteknologi yang disebutkan di atas telah mempunyai gedung laboratorium baru/memadai, lengkap dengan peralatan canggihnya. Bahkan, tidak jarang terdapat duplikasi dalam pengadaan peralatan canggih, tidak saja antarinstansi tetapi juga antarunit dalam instansi yang sama. Hal ini menimbulkan pertanyaan apakah pengadaan peralatan canggih dan sangat mahal tersebut telah direncanakan dengan matang. Perencanaan ini harus disesuaikan dengan tersedianya tenaga pengelola, sarana, dan prasarana penunjang (seperti air, listrik, suku cadang, dan ahlinya). Sarana dan prasarana penunjang ini selama ini tidak selalu ada, padahal keberadaannya merupakan keharusan untuk memungkinkan dapat dimanfaatkannya peralatan secara optimal sehingga tidak mubasir. Demi efisiensi anggaran pembelian maupun pemanfaatannya, pada masa datang, sebelum dilakukan pembelian peralatan canggih dan mahal, hendaknya dipertimbangkan ketersediaan prasarana penunjangnya sehingga tidak terjadi pemborosan.

ANGGARAN

Pada umumnya, anggaran untuk pengadaan sarana dapat disediakan dalam jumlah yang diperlukan. Penyediaan anggaran ini, dari anggaran pembangunan dan bantuan luar negeri, digunakan baik untuk pembangunan gedung laboratorium maupun pengadaan peralatan yang canggih. Yang masih memprihatinkan ialah tidak mencukupinya anggaran untuk pemeliharaannya sehingga peralatan mahal yang sudah ada tidak saja tidak dapat digunakan secara optimal tetapi akan menjadi lebih cepat rusak. Dengan demikian, harus diperjuangkan agar pada masa datang Pemerintah dapat menyediakan anggaran yang cukup untuk keperluan pemeliharaan peralatan canggih dan mahal.

Kita tidak dapat mengharapkan dana pemeliharaan dari bantuan/hibah/proyek luar negeri. Bantuan luar negeri pada umumnya tidak mencakupi biaya pemeliharaan. Seandainya pun tersedia pula dana pemeliharaan, jangka waktunya terbatas selama masa bantuan/hibah/proyek berjalan. Bantuan dari swasta dalam negeri sampai saat ini belum dapat diharapkan, bukan saja karena masih terbatasnya kerja sama antara instansi Pemerintah dan perusahaan swasta di dalam negeri tetapi juga karena peralatan tersebut milik pemerintah sehingga sulit diharapkan adanya pihak swasta yang dengan rela mau membayai pemeliharaan peralatan Pemerintah untuk selamanya.

PUSTAKA

- Bull, A.T., G. Holt and M.D. Lilly, 1983. *Biotechnology. International Trends and Perspectives*. New Delhi: Oxford and IBH Publ. Co.,
- Departemen Pertanian, 1997. S.K. Mentan No. 856/Kpts/HK.330/9/1997 tentang Ketentuan Keamanan Hayati Produk Bioteknologi Pertanian Hasil Rekayasa Genetika.
- Hawkinsworth, D.L., 1994. Biodiversity in Microorganisms and Its Role in Ecosystem Function. In: Solbrig, O.T. et.al. (Editor). *Biodiversity and Global Change*. CAB-IUBS.
- IUCN/WWF/UNEP, 1991. *Strategies for National Sustainable Development*.
- Jansson, J.K. and J.I. Prosser, 1997. *Quantification of the Presence and Activity of Specific Microorganisms in Nature. Molecular Biotechnology* 7.
- Jones, K.A., 1987. *Gradient of Biotechnology*. ICRISAT, Hyderabad. Mimeograph.
- Komagata, K., 1995. *Microbial Diversity and Application of Microorganisms*. IFO Res. Comm. 17.
- MNLH, 1993a. Indonesian Country Study on Biological Diversity. Ministry of State for Population and Environment, Republic of Indonesia.
- MNRT. 1993. *Pedoman Penelitian Rekayasa Genetika di Indonesia*.
- Othman, W.H.W., M. Marziah and J. Sundram (Editor), 1988. *Biotechnology of Nitrogen Fixation in the Tropics*. Universiti Pertanian Malaysia.
- Rifai, M.A., 1995. *The Biodiversity of Indonesian Microorganisms. Indonesian Food and Nutrition Progress* 2(1).
- Saono, S., 1988. *Problems and Limitations in Research, Training, and Extension Associated with Biological Nitrogen Fixation (BNF) in Indonesia*. Dalam: Shamsuddin, Z.S.,
- Saono, S., 1991. *Pusat-pusat Informasi dan Koleksi Jasad Renik di Indonesia*. Bogor: Komisi Pelestarian Plasma Nutfah Nasional.
- Saono, S., 1992. 'Application of Biological Nitrogen Fixation Technology in Southeast Asia'. Dalam: *Biotechnology and Development. Expanding the Capacity to Produce Food*. Advanced Technology Assessment System, Issue 9. UN, New York.
- Saono, S., 1994. 'Non-medical Application and Control of Microorganisms in Indonesia'. Dalam: Komagata, K., T. Yoshida, T. Nakase and H. Osada (Editor). *Application and Control of Microorganisms in Asia*. STA-RIKEN-JIST, Tokyo.
- Saono, S., 1994. Peranan Bioteknologi dalam Industri Pangan. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan. Peranan Mikrobiologi dalam Industri Pangan*. Perhimpunan Mikro-biologi Indonesia Cabang Bogor.

- Saono, S. 1995. Biotechnology in the Member States of ASEAN, Indonesia. Dalam Rehm, H.-J. et al. (Editor), *Biotechnology*. Vol. 12. VCH, Weinheim.
- Saono, S., 1996. Agricultural Biotechnology and Biosafety in Indonesia. Dalam *Conference Highlights. Agricultural Biotechnology International Conference, June 11-14*. Saskatoon, Saskatchewan, Canada.
- Saono, S. 1997. Possible Socio-economic Impacts of Biotechnology in Indonesia. Dalam: Moeljopawiro, S., M. Herman, S. Saono, B. Purwantara dan H. Kasim (Editor), *Prosiding Seminar Perhimpunan Bioteknologi Pertanian Indonesia*. Bogor: Perhimpunan Bioteknologi Pertanian.
- Saono, S., 1997. Progress of Research, Development and Application of Biofertilizers in Indonesia. *Asian Nitrogen Fixation Symposium under JSPS and MOMBUSHO Programme*. Kuala Lumpur. 8-12 December.
- Saono, S., 1997. Some Thoughts on Research and Application of Biological Nitrogen Fixation for Indonesia. *Asian Nitrogen Fixation Symposium under JSPS and MOMBUSHO Programme*. Kuala Lumpur. 8-12 December.
- Saono, S., 1998. Indonesian Culture Collections. The Need for Cooperation Amongst Curators. *International ANMR Workshop on Culture Collection Techniques*. JCM - RIKEN.
- Saono, S. & F.G. Winarno (Eds.), 1979. International Symposium on Microbiological Aspects of Food Storage: Processing and Fermentation in Tropical Asia. *Proceedings. Food Technology Development Center (FTDC)*. Bogor: Agricultural University.
- Saono, S., F.G. Winarno and D. Karjadi (Editor), 1982. *Traditional Food Fermentation as Industrial Resources in ASCA Countries*. The Indonesian Institute of Sciences (LIPI), Jakarta, Indonesia.
- Saono, S., R.R. Hull and B. Dhamcharee (Editor), 1986. *A Concise Handbook of Indigenous Fermented Foods in the ASCA Countries*: The Indonesian Institute of Sciences (LIPI), Jakarta, Indonesia.
- Saono, S., Wisjnuprapto, A.T. Karossi and E. Sukara (Penyusun), 1995. *Direktori Bioteknologi Indonesia (Indonesian Directory of Biotechnology)*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), ASEAN Subcommittee on Biotechnology.
- Stackebrandt, E., 1994. 'The uncertainties of microbial diversity'. Dalam: Kirsop, B. & D.L. Hawksworth (Editor), *The Biodiversity of Micro-organisms and the Role of Microbial Resources Centres*. WFCC.
- UURI, 1997. Undang-Undang Republik Indonesia No. 13 tanggal 7 Mei tentang Perubahan Atas Undang-Undang No. 6 Tahun 1989 tentang Paten.

Wisjnuprapto, A.T. Karossi, E. Sukara, S. Saono and J. Soedarsono, 1995.
Biodiversity in Indonesia: Progress Made after Signing the Convention. The 4th ASEAN Science and Technology Week Conference on Biotechnology and Biodiversity. Bangkok, August.

SUMBER DAYA HAYATI PESISIR DAN LAUTAN DALAM PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN DI INDONESIA

oleh

Kasijan Romimohtarto dan Subagjo Soemodihardjo
Puslitbang Oseanologi, LIPI

PENDAHULUAN

Wilayah pesisir dan lautan merupakan bagian dari lingkungan hidup kita yang berpotensi besar dalam menyediakan ruang hidup dan sumber daya kehidupan. Sejak Zaman Prasejarah, wilayah pesisir dan perairan pantai telah menjadi wadah kehidupan bagi sebagian besar penduduk dunia, termasuk Indonesia. Berbagai kemudahan yang disediakan, di antaranya lahan yang pada umumnya landai, perairan pantai sebagai sumber pangan, dan kemudahan transportasi melalui perairan pantai dengan sungai-sungainya yang relatif dalam, lebar, dan tenang, yang telah menjadi daya tarik yang kuat bagi manusia untuk bermukim di kawasan pantai. Kecenderungan ini terus berjalan hingga sekarang. Sekitar 60% kota-kota besar di Indonesia terletak di wilayah pesisir.

Ketersediaan wilayah pesisir dan lautan bagi kesejahteraan manusia harus dimanfaatkan secara berkelanjutan. Untuk dapat memanfaatkannya haruslah ada pemahaman terhadap wilayah ini dan sumber daya yang terkandung di dalamnya. Oleh karena itu, berbagai ekosistem yang terdapat di wilayah pesisir dan lautan perlu diketahui adanya. Di dalam ekosistem-ekosistem inilah terkandung sumber daya yang dapat dimanfaatkan oleh manusia.

BERBAGAI EKOSISTEM DI WILAYAH PESISIR DAN LAUTAN

Dari wilayah pesisir sampai ke laut jeluk, terbentang berbagai tipe ekosistem. Secara umum dikenal beberapa tipe ekosistem yang penting bagi kehidupan manusia. Uraian berikut merupakan ulasan ringkas mengenai tipe-tipe ekosistem yang dimaksud.

Ekosistem Wilayah Pesisir

Wilayah pesisir mempunyai peran penting sebagai pemasok hara ke perairan lepas pantai melalui tiga proses

- a. penyerapan nitrogen atmosfer oleh permukaan air perairan pesisir;
- b. daur ulang zat hara tertentu melalui proses mineralisasi zat organik yang merupakan ciri khas ekosistem mangrove dan lamun, dan
- c. masukan hara dan zat organik melalui aliran air tawar dari darat ke gobah-gobah pesisir dan dasar lumpur.

Kandungan zat hara tersebut, kemudian, dialihkan ke perairan lepas pantai untuk digunakan oleh fitoplankton dalam pertumbuh-tumbuhan dan perkembangbiakannya.

Di wilayah pesisir Indonesia terdapat sebelas tipe ekosistem (MCSDM, 1987). Jika dilihat dari kacamata manusia, tidak semua tipe ekosistem tersebut mempunyai kaitan langsung dengan pemanfaatan dan pelestarian sumber daya alam. Berikut ini ialah tipe-tipe ekosistem di wilayah pesisir dan lautan yang berperan penting dalam kehidupan manusia.

Hutan Rawa Pasang Surut

Ekosistem ini tersebar luas di daerah delta sungai besar, yang terdapat di Sumatera, Kalimantan, Irian Jaya, dan Sulawesi bagian barat laut. Luas seluruhnya di Indonesia mencapai \pm 5 juta ha (MCSDM, 1987). Beberapa di antaranya terkait dengan lahan gambut (*peat bog*), seperti yang terdapat di Kalimantan. Elevasinya relatif rendah, lantai hutan secara teratur atau pada waktu tertentu digenangi luapan sungai, yang kaya akan hara. Derajat keasamannya (pH) pada umumnya cukup tinggi ($\geq 6,0$). Dalam musim kering lantai hutan dapat terbebas dari genangan air.

Karena kiriman hara terjadi secara teratur melalui aliran sungai yang meluap, ekosistem ini relatif subur. Flora dan faunanya sangat beraneka ragam. Di tempat-tempat yang jarang tergenang luapan air sungai, banyaknya jenis tumbuh-tumbuhan hampir sama dengan di hutan hujan pamah. Potensi produksi primer dapat mencapai sekitar 22 ton/ha/tahun. Sementara tempat-tempat yang selalu digenangi air berfungsi pula sebagai habitat ikan air tawar yang baik. Dengan demikian, hutan rawa air tawar selain menghasilkan kayu, juga menjadi areal penampung banjir serta merupakan sumber perikanan.

Ekosistem Mangrove

Ekosistem mangrove di Indonesia dilaporkan mencapai luasan 3,9 juta ha, tetapi yang benar-benar berhutan diperkirakan sekitar 1,5 juta ha

(Soemodihardjo, dkk., 1993). Mangrove ini tersebar di sepanjang pantai Indonesia, khususnya pantai-pantai yang landai dan berenergi rendah. Tumbuhan mangrove menyukai pantai yang bersubstrat lumpur dan cukup memperoleh masukan air tawar, yang terdapat terutama di pulau-pulau besar, seperti Jawa, Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, dan Irian Jaya. Pohon mangrove dapat mencapai ketinggian 30 m dengan diameter 50 cm atau lebih. Di Indonesia bagian timur, kecuali Irian, mangrove tidak berkembang secara maksimal karena pantai di kawasan ini pada umumnya curam dan berbatu, bergelombang kuat, serta terbatasnya endapan lumpur dan pasokan air tawar.

Tumbuhan mangrove yang berbentuk perdu, liana, epifit, parasit, atau berbentuk tumbuhan bawah (*gulma*), dengan jumlah sekitar 91 jenis, yang terdiri atas 37 pohon, 5 perdu, 9 liana, 29 epifit, 2 parasit dan 9 tumbuhan (Soemodihardjo, 1987), mempunyai beberapa sifat khusus. Jenisnya mampu bertahan terhadap salinitas tinggi, fluktuasi suhu yang besar, dan substrat yang tidak mengandung oksigen atau anaerob. Tumbuhan mangrove juga ditunjang oleh berbagai kelengkapan adaptasi, seperti akar tunjang, akar napas (*pneumatophores*), buah vivipar, dan kelenjar garam pada muka daun yang berfungsi mengeluarkan garam dari cairan tubuh pohon yang bersangkutan dengan sifat-sifat ini, fungsi ekosistem mangrove tidak dapat digantikan oleh yang lain. Kemampuan tumbuh-tumbuhan mangrove mampu bertahan terhadap berbagai macam tekanan lingkungan ini. Secara taksonomi, jenis-jenis tumbuhan mangrove tidak saling berkerabat dekat, tetapi secara fisiologi tidak jauh berbeda, khususnya dalam mengatasi keekstreman lingkungannya. Secara ekologi, ekosistem mangrove sangat besar perannya. Serasah yang dihasilkan sangat bermanfaat bagi kehidupan berbagai jenis binatang yang berasosiasi dalam ekosistem ini. Detritus yang dihasilkan hutan mangrove mendukung sumber daya perikanan lepas pantai. Perairan mangrove merupakan daerah asuhan berbagai jenis ikan dan udang. Beberapa jenis satwa, misalnya bekantan dan lutung, menggantungkan hidupnya pada mangrove. Bagi manusia, manfaat langsung yang dapat dirasakan ialah sebagai penghasil kayu, bahan obat-obatan, dan hasil-hasil hutan lainnya. Mangrove juga berfungsi sebagai pelindung pantai dari kekuatan alam: arus, angin, dan gelombang.

Terumbu Karang

Terumbu karang Indonesia merupakan ekosistem yang paling beraneka ragam di dunia. Lebih dari 75 marga dan 350 jenis karang batu membentuk terumbu karang Indonesia. Telah sejak lama Indonesia diperkirakan sebagai pusat penyebaran aneka ragam biota karang bagi dunia. Terumbu karang juga merupakan ekosistem yang paling produktif jika dibandingkan dengan tipe ekosistem lainnya di daerah tropik. Secara rata-rata, terumbu karang

dilaporkan dapat menghasilkan ikan sampai dengan 1,5 ton/ha/tahun.

Perairan tropik merupakan habitat yang paling cocok untuk binatang karang. Kandungan airnya yang bersuhu relatif panas sepanjang tahun, 20°–36°C, jernih, bebas dari bahan pencemar atau partikel sedimen, dengan arus laut yang kuat yang sangat membantu kehidupannya, karena menjamin berlangsungnya pergantian air yang baik, merupakan habitat yang cocok untuk binatang karang. Binatang karang menjalankan kehidupannya dengan bekerja sama yang saling menguntungkan dengan sejenis alga berkhlorofil *Zooxanthellae*. Alga ini hidup dan berkembang di dalam jaringan tubuh binatang karang. Dengan klorofil yang dimilikinya, alga ini melakukan fotosintesis dengan memanfaatkan tenaga matahari. Sebagian hasil fotosintesinya disumbangkan kepada binatang karang untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Agar dapat menangkap sinar matahari sebanyak-banyaknya untuk fotosintesis inilah, binatang karang membatasi kedalaman habitatnya sesuai kemampuan sinar matahari menembus lapisan air, sekitar 50 m.

Luas terumbu karang di Indonesia mencapai tidak kurang dari 50.000 km² (Walters, 1994) dan menghasilkan ikan 4–5 ton/km² (Salm, 1988). Potensi perikanan terumbu karang Indonesia mencapai minimal 200.000 ton/km²/tahun.

Padang Lamun

Di Indonesia tercatat dua belas jenis lamun, tetapi yang tampak dominan biasanya adalah jenis *Enhalus acoroides*. Padang lamun diperkirakan sebagai satu ekosistem yang produktivitasnya tinggi. Pada lokasi-lokasi yang sesuai untuk kehidupannya, lamun dapat memproduksi sekitar delapan gram C/m²/tahun. Lamun merupakan tumbuhan berbunga yang seluruh tubuhnya terendam dalam air laut, berkembang biak secara generatif melalui bunga dan biji, atau secara vegetatif melalui sulur akar atau rhizoma. Berbagai jenis mikroalga dan binatang laut hidup berasosiasi dengan lamun, sebagai biota penempel. Padang lamun menjadi tempat asuhan berbagai jenis ikan, sekaligus merangkap sebagai pelindung dan juga tempat mencari mangsa bagi ikan-ikan pemangsa. Sampai tingkat tertentu padang lamun dapat menjadi perangkap dan stabilisator pasir pantai.

Pola sebaran lamun sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, seperti energi gelombang, arus laut, kondisi substrat dan kecerahan air. Lamun menyukai perairan dangkal, kedalaman sampai dengan 30 m, yang bersubstrat pasir lumpur, kecerahan air tinggi, dan dengan ombak yang relatif kecil. Oleh karena itu, padang lamun tidak dapat berkembang di pantai-pantai berenergi tinggi, khususnya di daerah ombak memecah. Demikian juga, lamun tidak berkembang di delta-delta sungai besar yang airnya mengandung muatan sedimen tinggi.

Estuari

Estuari diartikan sebagai muara sungai yang cukup besar di laut. Ciri khas ekosistem estuari ialah adanya proses percampuran dinamis air tawar yang berasal dari sungai dengan air laut dan kondisi airnya yang tidak stabil. Estuari yang luas dapat bersinggungan dengan ekosistem lain seperti hutan rawa pasang surut, hutan mangrove atau padang lamun. Secara ekologi, estuari merupakan pemasok hara ke perairan pantai, daerah asuhan dan pemijahan bagi banyak jenis ikan pantai, sumber produksi perikanan, dan terkait dengan perikanan pelagik dan demersal. Ekosistem ini peka terhadap pengaruh daratan dan hulu sungai. Suhu, salinitas, kecerahan, pencemar, dan sebagainya selalu berubah-ubah dengan kisaran intensitas yang cukup besar. Konsekuensinya, semua organisme penghuni perairan ekosistem estuari harus mempunyai daya adaptasi yang tinggi agar dapat terus bertahan hidup. Walaupun demikian, ekosistem estuari termasuk ke dalam perairan berproduktivitas tinggi.

Ekosistem Perairan Lepas Pantai

Perairan lepas pantai ialah perairan yang tidak lagi dipengaruhi daratan. Di Indonesia, perairan ini yang terletak di daerah tropik, mempunyai permukaan air laut yang selalu hangat sepanjang tahun. Stratifikasi mendatar antara permukaan laut dan lapisan air yang lebih dalam relatif stabil sehingga proses *upwelling* yang memungkinkan terjadinya penaikan air dasar laut yang berzat hara tinggi ke permukaan tidak terjadi. Proses upwelling di perairan Indonesia terjadi oleh pengaruh lain, misalnya angin. Hara ini diperlukan untuk berkembangnya fitoplankton yang menjadi ukuran kesuburan perairan. Oleh karena itu, produktivitas di perairan tropik pada umumnya rendah dibandingkan dengan di perairan beriklim sedang.

Dua tipe ekosistem perairan lepas pantai yang penting sebagai sumber daya hayati laut ialah paparan benua dan basin.

Paparan Benua

Paparan benua atau landas kontinen merupakan dataran dasar laut dangkal di pinggir benua dengan kedalaman maksimum 200 m. Di Indonesia terdapat dua landas kontinen, yaitu Paparan Sunda di sebelah barat, dan Paparan Sahul di sebelah timur. Paparan Sunda menghubungkan Pulau Jawa, Sumatera, dan Kalimantan dengan Benua Asia, sedangkan Paparan Sahul menghubungkan daratan Pulau Irian dengan Benua Australia.

Karena dangkal, sinar matahari dapat menembus perairan landas kontinen sampai ke dasar lautnya, yang memungkinkan berkembang biaknya

tumbuhan bentik dan fitoplankton yang menggunakan sinar matahari untuk fotosintesis. Oleh karena itu, landas kontinen merupakan kawasan yang subur dan berpotensi besar dalam kaitannya sebagai sumber daya perikanan. Bagian yang dangkal merupakan lingkungan perikanan demersal penting, sedangkan bagian yang dalam merupakan lingkungan perikanan pelagik yang produktif. Potensi kandungan migas dan mineral dalam landas benua pun cukup besar sehingga paparan benua merupakan ladang pertambangan laut yang sangat potensial dan sebagian besar sudah dimanfaatkan, terutama sebagai sumber minyak dan gas.

Basin

Perairan Kawasan Timur Indonesia, yang dibatasi di sebelah barat oleh Paparan Sunda, di sebelah timur oleh Paparan Sahul, di sebelah utara oleh Pulau Mindanau dan di sebelah selatan oleh Samudera Hindia, didominasi oleh pulau-pulau kecil dan laut dalam. Bentuk dasar laut kawasan ini sangat kompleks, terdiri atas basin dan palung. Terdapat 19 basin dengan kedalaman 1.600 m (Basin Bali) sampai dengan 6.000 m lebih (Basin Sulawesi) dan delapan palung dengan kedalaman 2.500 m (Palung Makassar) sampai dengan 11.000 m (Palung Mindanau).

Dari segi produktivitas hayati, basin dan palung lebih mengandalkan pada sistem pelagiknya, yaitu kolom air dari permukaan sampai kedalaman beberapa ratus meter. Dalam lapisan air ini hidup berbagai jenis ikan pelagik yang besar-besaran dan banyak di antaranya yang merupakan jenis beruaya. Perikanan pelagik di perairan-perairan laut dalam ini mempunyai potensi cukup besar, namun belum dimanfaatkan secara penuh.

SUMBER DAYA HAYATI YANG TERKANDUNG DI DALAMNYA

Sumber daya yang terkandung di dalam berbagai ekosistem pesisir dan lautan dibahas di dalam dua kelompok komoditi, yaitu pangan dan nonpangan.

Komoditi Pangan

Dari sudut pandang perikanan, komoditi pangan di sini mencakup tidak saja ikan itu sendiri, tetapi juga produk nonikan, seperti tumbuhan laut (alga laut) dan invertebrata laut, seperti teripang (*Echinodermata*), kerang-kerangan (*Mollusca*), berbagai jenis kepiting dan udang (*Crustacea*), dan ubur-ubur (*Cnidaria*). Komoditi-komoditi tersebut dapat merupakan baik

hasil upaya perikanan tangkap maupun hasil budidaya.

Karena posisinya di daerah tropik, lautan Indonesia menjadi habitat beratus-ratus jenis ikan dari yang berukuran kecil sampai besar, dari yang hidup pelagis sampai yang demersal, dari yang pemakan tumbuh-tumbuhan sampai pemangsa. Sebagian besar ikan tersebut dapat dimakan, dan banyak di antaranya mempunyai nilai ekonomi yang tinggi. Karena kemampuan nelayan kita masih terbatas, produk ikan di Indonesia masih banyak bergantung pada perikanan pantai. Sejak beberapa dasawarsa terakhir ini, usaha budidaya perairan pantai; terutama budidaya bandeng dan udang di tambak, mulai mendapat perhatian yang besar.

Udang merupakan produk perikanan tangkap nonikan yang penting dari perairan Indonesia. Potensi udang di Indonesia yang dimanfaatkan mencapai 100.700 ton/tahun pada tahun 1991. Pada umumnya hasil ini dieksport, terutama ke Jepang. Dari kelompok *Crustacea* lain yang juga penting ialah kepiting bakau (*Scylla serrata*) dan udang karang (*rock lobster*). Kepiting bakau hidup di perairan pantai berlumpur, khususnya di lantai kanal dalam hutan bakau, sedangkan udang karang memilih terumbu karang sebagai tempat hidupnya.

Kerang darah (*Anadara granosa*) dan jenis-jenis tiram (*Ostrea spp*) merupakan komoditi pangan yang cukup bernilai niaga. Komoditi ini dikumpulkan dalam jumlah besar dan diperdagangkan, umumnya untuk konsumsi setempat. Dari kelas *Gastropoda* (bangsa siput) yang dapat diketengahkan sebagai komoditi pangan ialah siput bakau (*Terebralia pallustris*) yang sering dijumpai dalam kelompok besar di lantai hutan bakau. Jenis ini dikumpulkan masyarakat setempat untuk konsumsi lokal. Ubur-ubur belum begitu populer pemanfaatannya walaupun di rumah makan Cina ubur-ubur menempati kedudukan menu dengan harga tinggi.

Komoditi Nonpangan

Komoditi nonpangan dimaksudkan untuk keperluan selain pangan. Dalam kategori ini termasuk penggunaan sumber daya sebagai benda estetika (ikan hias, penghasil mutiara, bahan kerajinan tangan, dan cinderamata), penghasil bahan bangunan dan energi, penghasil bahan bioaktif, serta objek wisata.

Jenis-jenis ikan yang hidup berasosiasi dengan terumbu karang pada umumnya berwarna-warni cerah. Dengan berkembangnya teknologi akuarium, ikan-ikan karang ini menjadi terkenal sebagai ikan hias dan mempunyai pangsa pasar yang kuat. Ekspor ikan hias dari lautan tropik Indonesia terus meningkat. Sejalan dengan peningkatan ini, budidaya kerang mutiara pun mulai marak di Indonesia. Kerajinan tangan dari kulit kerang dan kulit siput dalam berbagai corak dan warna telah menjadi sumber penghasilan tambahan bagi para nelayan dan pengrajin setempat. Bentuk

cangkang yang unik dan berwarna-warni indah tersebut dapat pula dimanfaatkan langsung tanpa melalui proses pengolahan, menjadi benda-benda cinderamata.

Beberapa sumber daya hayati wilayah pesisir dapat didayagunakan sebagai penghasil bahan bangunan. Batukarang, misalnya, yang merupakan bagian kerangka binatang karang, banyak dimanfaatkan penduduk pantai untuk membangun rumah atau diolah menjadi serbuk kapur sebagai bahan bangunan. Hutan mangrove menghasilkan kayu yang juga dimanfaatkan sebagai bahan bangunan. Di samping sebagai bahan bangunan, kayu bakau dapat dimanfaatkan sebagai kaju bakar dan bahan secara langsung, atau diproses lebih dulu menjadi bentuk perantaranya, misalnya arang.

Untuk mempertahankan hidupnya terhadap jenis-jenis pemangsa, banyak biota laut memproduksi senyawa-senyawa kimia yang dapat membuat musuh-musuhnya menghindar. Zat-zat ini dikenal sebagai zat bioaktif yang oleh manusia dapat dikembangkan lebih jauh menjadi bahan obat-obatan. Penelitian mengenai bahan bioaktif mulai digalakkan di Indonesia. Juga di hutan mangrove; dilaporkan bahwa banyak komponen vegetasinya mempunyai khasiat sebagai obat. Selain sebagai bahan pangan dan obat-obatan, alga laut dimanfaatkan juga sebagai bahan kosmetika.

Bentuk dan warna terumbu karang yang eksotik dan berwarna-warni disertai beraneka ragam biota yang berasosiasi, yang juga tidak kalah menariknya, merupakan pesona yang menakjubkan bagi mereka yang melihatnya. Oleh karena itu, terumbu karang juga merupakan aset industri pariwisata yang besar peminatnya.

STATUS PEMANFAATAN

Pemanfaatan sumber daya alam, khususnya pesisir dan lautan, pada umumnya masih belum optimal. Hal ini disebabkan oleh beberapa kendala, di antaranya, kurangnya sumber daya manusia (SDM) yang bermutu dan berorientasi ke laut, penguasaan teknologi yang kurang, fasilitas, misalnya kapal, yang belum memadai dan kurangnya modal.

Komoditi Pangan

Pada dasarnya, pemanfaatan sumber daya hayati wilayah pesisir dan lautan dilakukan baik secara langsung maupun tidak langsung. Pemanfaatan langsung dimaksudkan sebagai pemanfaatan sumber daya untuk memenuhi kebutuhan fisik manusia, seperti pangan, sandang, dan papan, serta kebutuhan spiritual, termasuk kebutuhan religio-kultural dan rekreasi. Pemanfaatan tidak langsung berkaitan dengan fungsi sumber daya yang

bersangkutan dalam ekosistem, misalnya sebagai pelindung pantai, penghasil zat organik, dan tempat asuhan anakan biota laut. Uraian pemanfaatan sumber daya hayati di sini akan dibatasi pada segi pemanfaatan secara langsung .

Perikanan Tangkap

Secara keseluruhan, pemanfaatan sumber daya hayati berupa ikan (SDI) di perairan Indonesia masih jauh di bawah potensi lestari, yakni sekitar 40--45% dari 6,7 juta ton per tahun. Meskipun demikian, di beberapa perairan seperti Selat Malaka, pantai utara Jawa dan Selat Bali, kondisi SDI telah berada pada tingkat kritis karena pemanfaatan yang berlebihan. Pemanfaatan SDI di perairan Indonesia tidak merata. Dari produksi perikanan total Indonesia, Kawasan Timur Indonesia (KTI) yang diketahui memiliki potensi SDI yang besar hanya menyumbangkan sekitar 27%, sedangkan Kawasan Barat Indonesia (KBI) sekitar 73%. Potensi lestari perairan Zona Ekonomi Eksklusif Indonesia (ZEEI) diperkirakan 2,3 juta ton/tahun dan yang boleh dimanfaatkan sekitar 1,8 juta ton/tahun, sedangkan sampai akhir Pelita VI diproyeksikan termanfaatkan hanya 770.000 ton/tahun. Jadi, masih banyak peluang untuk meningkatkan penangkapan ikan.

Ikan hias yang merupakan komoditi nonprotein dan bernilai ekspor masih lebih banyak menggantungkan pada sumber dari alam. Upaya penangkaran untuk jenis-jenis tertentu sudah dikembangkan, tetapi masih belum banyak melibatkan jenis ekspor.

Perikanan Budidaya

Indonesia yang dianugerahi sumber daya lahan dan komoditi di 81.000 km garis pantai yang melingkari lebih dari 17.000 pulau memiliki potensi untuk berkembang menjadi penghasil utama produk asal laut, baik bagi pasokan dalam negeri maupun untuk ekspor. Berbagai jenis komoditi hasil laut, di antaranya rumput laut, teripang kerang dan tiram, serta ikan dan udang, menjadi sebagian andalan Indonesia sebagai penghasil devisa nonminyak dan gas.

Budidaya merupakan salah satu usaha yang dapat digunakan untuk mengatasi baik masalah kelestarian populasi maupun peningkatan produksi. Akan tetapi, data dasar tentang sumber daya, pengetahuan tentang segi biologi, dan ketersediaan teknologi merupakan kendala pengembangan budidaya laut. Lebih jauh, ketersediaan benih, serta pengetahuan mengenai pakan yang tepat, dalam jumlah dan mutu, waktu dan harga, menghambat perkembangan lanjut usaha budidaya ini.

Penelitian yang dirancang berdasarkan masalah yang dihadapi di

lapangan dan dilaksanakan sesuai dengan strategi yang telah ditetapkan secara mantap merupakan salah satu jalan keluar untuk mengatasi masalah-masalah dalam pengelolaan dan pengembangan perikanan budidaya laut. Program tindak yang dilatarbelakangi masalah dan penyebabnya serta strategi pemecahan masalah untuk tiap segi perikanan, perlu didukung hasil-hasil penelitian yang akurat dan dapat diterapkan untuk kondisi dan waktu yang telah direncanakan dalam rangka menunjang pemanfaatan secara berkelanjutan. Karena sifat komoditinya yang khas, faktor luar seperti kompetisi di pasar internasional, perubahan cuaca global, dan pengaruh perubahan politik internasional perlu dikaji dalam melaksanakan pengelolaan dan pengembangan perikanan budidaya.

Menyadari pentingnya daerah pantai baik sebagai penghasil devisa maupun protein untuk kebutuhan domestik, Pemerintah Republik Indonesia menerbitkan Keputusan Presiden No. 23 Tahun 1982, tentang Pengembangan Budidaya Laut di Perairan Indonesia, yang diikuti Surat Keputusan Menteri Pertanian No. 473/Kpts/Um/7, Tahun 1982, tentang Petunjuk Pelaksanaan Pengembangan Budidaya Laut di Perairan Indonesia dan Surat Keputusan Menteri Pertanian No. 362/Kpts/RC.410/6, Tahun 1989, tentang Kriteria Jenis Kegiatan di lingkungan Sektor Pertanian, yang wajib dilengkapi dengan Penyajian Informasi Lingkungan (PIL) dan Penyajian Evaluasi Lingkungan (PEL).

Keputusan Presiden No. 23 Tahun 1982 meliputi pertimbangan sebagai berikut

1. perairan Indonesia sangat potential untuk pengembangan budidaya laut;
2. pengembangan budidaya laut merupakan usaha untuk meningkatkan produksi serta merupakan langkah pelestarian kemampuan lingkungan untuk mengimbangi pemanfaatan dengan cara penangkapan;
3. kegiatan budidaya laut merupakan lapangan kerja baru yang bersifat padat karya dan tepat dikembangkan untuk meningkatkan penghasilan nelayan/petani ikan dan pencukupan kebutuhan masyarakat akan gizi, dan
4. perairan laut merupakan wadah berlangsungnya berbagai macam kegiatan yang harus dikoordinasikan untuk menunjang pembangunan berkelanjutan.

Dengan dilandasi oleh Surat Keputusan Presiden No. 23, Tahun 1982 dan permintaan akan hasil laut yang makin meningkat, budidaya ikan berkembang di beberapa propinsi, yaitu Riau, Lampung, Jawa Barat, DKI Jakarta, Jawa Tengah, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku. Direktorat Jenderal Perikanan kemudian mengarahkan budidaya ikan pada pengembangan wilayah ke daerah-daerah perairan pantai padat tangkap dan potensial, di samping pantai selatan Jawa dan Lampung.

Pada perkembangan lanjut, usaha budidaya ikan mengalami hambatan sebagai akibat kurang tersedianya informasi mengenai lokasi dan sumber daya, tidak tercukupinya dan sifat musiman pasokan benih dan pakan, teknologi budidaya yang belum dapat diterapkan, pencemaran perairan pantai, dan serangan penyakit. Di antara banyak ragam komoditi budidaya laut, hanya beberapa saja yang sudah dibudidayakan. Keramba jaring apung dan rakit bambu merupakan wadah budidaya yang lazim digunakan dalam usaha budidaya laut.

Perikanan budidaya terbagi dalam dua kegiatan, yaitu kegiatan budidaya tambak (air payau) dan kegiatan budidaya laut. Berdasarkan komoditi, budidaya pantai yang cukup menonjol ialah udang, kepiting, rumput laut, ikan (bandeng, kerapu, kakap, dan beronang), teripang, dan kerang-kerangan. Rinciannya ialah sebagai berikut

- a. budidaya udang penaeid, terutama udang windu, sudah berkembang dan memberikan hasil yang cukup besar bagi ekspor nonmigas. Sejalan dengan berkembangnya budidaya udang ini, muncul berbagai kendala yang mempengaruhi produksi budidaya udang windu. Permasalahan yang paling menonjol ialah tingginya biaya operasional pada budidaya udang intensif, terutama biaya pakan yang dapat mencapai 60--70% dari biaya total produksi. Masalah lainnya ialah penyediaan benur bermutu, pengelolaan air dan tanah serta hama dan penyakit. Sudah diperkirakan juga perlunya dikembangkan teknologi budidaya jenis udang penaeid lainnya, seperti udang putih;
- b. kepiting merupakan komoditi yang ekonomis penting, memiliki prospek pengembangan, baik untuk konsumsi dalam negeri maupun untuk ekspor. Produksi kepiting sebagian besar masih dipasok dari alam, sehingga dikhawatirkan populasinya semakin menurun. Untuk itu, perlu segera dikembangkan budidayanya. Kesinambungan pasokan benih dan teknik budidaya menjadi permasalahan utama. Hal ini perlu pemecahan melalui beberapa kegiatan penelitian;
- c. bandeng mempunyai posisi strategis sebagai pemasok kebutuhan protein hewani pada beberapa daerah di Indonesia. Selain sebagai ikan konsumsi, pada tahun-tahun terakhir bandeng banyak diminta sebagai umpan hidup bagi penangkapan tuna dan cakalang. Kebutuhan nener bandeng sepenuhnya masih mengandalkan hasil tangkapan dari alam dan jumlahnya berfluktuasi dari tahun ke tahun, padahal permintaan semakin meningkat. Dalam hal produksi nener bandeng ini, Subbalai Penelitian Budidaya Air Tawar (Subbalitdita) di Gondol, Bali, telah berhasil memproduksi nener bandeng secara massal. Pada tahap sekarang masih dilakukan perbaikan teknik produksi dan pembesaran nener dari tempat pemberian di tambak;

- d. kerapu merupakan satu di antara jenis ikan ekonomis penting untuk diekspor. Prospek pengembangannya cukup baik dengan mengingat peluang pasar dan ditunjang oleh potensi sumber daya lahan dan komoditi yang memadai. Pembudidayaannya telah berkembang di beberapa daerah, seperti Sumatera (Riau), Jawa dan Sulawesi. Namun, benih masih dipasok dari alam sehingga tidak menjamin kesinambungan produksi. Permasalahan yang menonjol dalam pengembangan budidaya ikan kerapu ialah kesinambungan pasokan benih. Teknik pembenihan ikan kerapu telah dirintis di Subbalitdita Bojonegoro, tetapi masih ada permasalahan yang perlu dipecahkan melalui serangkaian kegiatan penelitian;
- e. ikan kakap sebagian besar masih dihasilkan dari tangkapan di alam dan hasil sampingan dari budidaya tambak. Pengembangan budidaya kakap memerlukan kesinambungan pasokan benih, pakan, dan teknik pemeliharaan. Penelitian dan pengembangan pematangan induk, pemijahan, teknik pemeliharaan larva dan jasad pakan sudah/sedang dilakukan di Subbalitdita Bojonegoro dan Balai Budidaya Laut Lampung, tetapi masih ada permasalahan yang harus dipecahkan;
- f. budidaya teripang sampai saat ini belum berkembang, masih dalam taraf percobaan pada beberapa daerah. Produksi teripang masih mengandalkan penangkapan alam, sedangkan permintaan semakin meningkat. Upaya peningkatan produksi teripang dapat dilakukan dengan cara budidaya sehingga diperlukan paket teknologi budidaya yang tepat dan lengkap;
- g. budidaya rumput laut *Eucheuma* spp di Indonesia sudah berkembang dan teknologi budidayanya sudah diakui manfaatnya. Permasalahan pokok ialah harga rumput laut di tingkat produsen (nelayan) yang selalu berfluktuasi. Bahkan, kadang-kadang harganya terlalu rendah. Pemecahan masalah ini tidak hanya melibatkan subsektor perikanan, tetapi perlu uluran tangan dari sektor-sektor lainnya serta keadaan pasar internasional. Usaha budidaya rumput laut marga *Gracillaria* mulai dilakukan di tambak pada beberapa daerah, tetapi produktivitas dan mutunya masih rendah. Untuk itu, perlu perbaikan teknik budidaya melalui serangkaian penelitian, dan
- h. Indonesia mempunyai lahan pantai cukup luas dan potensial untuk pengembangan budidaya kerang dan keong. Jenis komoditi ini sangat beragam dan bernilai ekonomis penting, seperti tiram *Saccostrea*, *Crassostrea*, kerang hijau *Perna viridis*, kerang darah *Anadara granosa*, kerang mutiara *Pinctada maxima*, dan lola *Trochus niloticus*. Pada taraf sekarang ini, sebagian besar masyarakat memanfaatkan kerang-kerangan ini dengan cara mengambil dari alam sehingga kesinambungan produksinya tidak terjamin. Mengingat tingkat

produktivitas kerang-kerangan di alam cukup rendah, dikhawatirkan pemanfaatan langsung dari alam dapat merusak populasinya. Diperlukan adanya program penelitian untuk mengembangkan budidaya kerang-kerangan.

Komoditi Nonpangan

Komoditi nonpangan yang dibahas dalam bab ini meliputi ikan hias, kerang mutiara, bahan bangunan dan energi, bahan bioaktif, serta farmasi dan biokimia.

Ikan Hias

Perkembangan pemanfaatan ikan hias dapat ditelusuri dari tahun 1930 ketika berhasil dipelihara ikan laut di dalam tempat terbatas. Karena pada saat itu harga ikan mahal dan tempat pengumpulan ikan jauh, upaya itu hanya dilakukan di akuarium umum (Sukarno dkk., 1983). Dengan ditemukannya formula air laut buatan dan perkembangan angkutan udara di dunia yang maju pada tahun 1950, sudah mampu dipelihara ikan-ikan hias dalam akuarium pribadi, meskipun harganya masih mahal. Meskipun demikian, sebelum tahun 1960, akuarium air laut sudah umum ditemukan di rumah-rumah pribadi.

Sekitar tahun 1980-an, dari jumlah ikan hias (laut dan tawar) yang dieksport Indonesia, 10% berupa ikan hias laut. Diperkirakan jumlah ikan hias laut di Indonesia sebanyak 253 jenis, sedangkan ikan hias laut yang diperdagangkan PT Vivaria pada tahun-tahun itu sebanyak 281 jenis. Menurut daftar Kvalvagnaes (1980), ikan hias laut yang umum didapatkan di Indonesia berjumlah 61 jenis.

Kerang Mutiara

Beberapa jenis kerang (*Pelecypoda*) yang terdapat di perairan kita menghasilkan mutiara baik alami maupun jika direkayasa. Budidaya kerang mutiara ini telah banyak dilakukan di Irian Jaya (Kaimana dan Sorong), Maluku (Kepulauan Aru dan Bacan), P. Lombok, P. Sumbawa, Sulawesi, Teluk Lampung dan beberapa tempat lagi. Butir-butir mutiara yang dihasilkan banyak diminati pasar sebagai perhiasan yang mahal harganya. Jenis-jenis kerang mutiara yang sudah dikenal di Indonesia ialah *Pinctada maxima*, *P. margaritifera*, *P. fucata*, *P. lentiginosa*, *P. chemitzi* dan *Pteria penguin*.

Jenis-jenis kerang tersebut terdapat di perairan pesisir sampai kedalaman sekitar 40 m. Potensinya sebagai penghasil mutiara sangat tinggi dan telah diusahakan melalui budidaya dan menghasilkan devisa yang tidak

sedikit. Satu butir mutiara yang bermutu bagus mencapai harga US\$100–US\$200 per gram. Pada tahun 1993 Indonesia mengekspor mutiara senilai US\$17,214,000, tetapi juga mengimpor senilai US\$7,909,000.

Selain mutiara, hasil sampingan produk budidaya ini, yang berupa cangkang kerang, juga dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, seperti bahan kancing dan piring. Daging kerang ini pun enak dimakan dan konon mempunyai khasiat untuk menyegarkan otak.

Bahan Bangunan dan Energi

Bahan-bahan bangunan dan energi yang dihasilkan dari biota laut banyak membawa kerusakan daripada memberikan keuntungan. Batu karang sebagai hasil proses hidup hewan karang, baik yang sudah mati maupun yang masih hidup (masih dihuni oleh hewan karang), yang banyak terdapat di perairan pesisir, telah banyak dieksplorasi di beberapa wilayah pantai, seperti di Kepulauan Seribu, P. Lombok, dan pernah juga di P. Bali. Sebagai akibatnya, terjadi erosi pantai yang membawa bencana longsor garis pantai beserta bangunan-bangunan yang berada di atasnya. Kerusakan ekosistem terumbu karang yang diakibatkan oleh penambangan karang ini terjadi meluas di banyak wilayah pantai sehingga sampai saat ini pun masih perlu dilakukan pemantauan dan pencegahan.

Biota laut lain yang sering digunakan sebagai bahan bangunan ialah pohon-pohon mangrove. Selain itu, kayu mangrove juga digunakan sebagai bahan bakar. Baik untuk bahan bangunan maupun sebagai sumber energi yang berupa kayu bakar, dan pengambilan kayu dari mangrove mengakibatkan kerusakan ekosistem.

Bahan-bahan Biokimia

Walaupun kelompok komoditi ini belum memasyarakat dan bahkan belum banyak tersentuh penelitian dan percobaan di Indonesia, potensinya di lautan kita cukup besar dan masa depan pemanfaatannya perlu dicermati dan dikaji. Perhatian kita terhadap keanekaragaman hidup laut jeluk, yang bakal menjadi sumber potensial kelompok komoditi ini masih belum tampak. Meskipun sumber daya hidup laut di dunia, termasuk ekosistem landas kontinen kita yang sudah intensif dimanfaatkan; sudah begitu banyak digali dan dieksplorasi, lautan masih merupakan ladang luas yang kaya akan sumber daya hidup yang masih menawarkan pemanfaatannya kepada manusia.

Ekosistem abisal yang letaknya beribu-ribu meter di bawah permukaan laut masih merupakan dunia bawah laut yang masih gelap bagi kita. Sampai dengan akhir tahun 1960-an banyak ilmuwan (ahli biologi laut) masih berpandangan bahwa laut jeluk yang amat dalam dan yang terdalam

merupakan lingkungan yang monoton, kosong, dan sesungguhnya tanpa kehidupan. Akan tetapi, pandangan itu sirna setelah dua ahli biologi laut Bob Hessler dan Howard Sanders dari Woods Hole Oceanographic Institution, di Amerika Serikat membuktikan bahwa lumpur dari dasar laut jeluk jika disaring dengan saringan halus sekali dan dilihat di bawah mikroskop akan terlihat beratus-ratus jenis jasad renik (mikrob) yang belum dikenal di dunia ilmu pengetahuan. Di dasar laut jeluk, konon diperkirakan terdapat sekitar 10--100 juta jenis jasad renik dasar laut yang belum diberi nama, dan untuk memberinya nama dibutuhkan waktu 5.000 tahun. Belum lagi termasuk hewan-hewan makro yang terdapat di ekosistem yang bernama 'celah hidrotermal' (*hydrothermal vents*), yang hidup bersimbiosis dengan bakteri-bakteri khemosintesis. Sementara itu, di atas ekosistem pelagik laut dalam (bathipelagik) terdapat ruangan hidup bagi hewan-hewan laut yang banyak di antaranya mempunyai cahaya hayati (*bioluminescence*), seperti jenis-jenis ikan marga *Photoblepharon*, yang terdapat di laut dalam Kawasan Timur Indonesia.

Keadaan ekosistem laut jeluk tersebut tidak hanya menawarkan keajaiban-keajaiban ilmiah untuk dinikmati. Lebih dari itu, ekosistem ini menawarkan peluang untuk pemanfaatan sumber daya hayati yang terkandung di dalamnya. Berikut ini contoh-contoh potensi pemanfaatan biota laut untuk masa depan

- a. jenis mikrob yang ditemukan di celah (*vent*) dekat Samudera Pasifik pada tahun 1980, *Methanococcus jannaschii*, kini diketahui mengandung enzim yang jika diaktifkan pada suhu yang sangat tinggi, dapat digunakan, di antaranya, untuk menghasilkan deterjen cuci pakaian, pengembangan obat-obatan, dan sintesis DNA;
- b. zat cahaya hayati dari hewan laut tertentu, seperti sejenis ubur-ubur, dapat digunakan untuk mendeteksi penyakit, mulai dari tumor sampai penyakit jantung dan artritis reumatik, dan
- c. dari spons, teripang, dan bintang laut di laut jeluk, kemungkinan dapat diekstrak bahan untuk pengembangan obat anti-kanker, anti-virus, dan zat-zat yang bersifat menstimulasi jantung dan membendung saraf. Bahkan bisa keong dari marga *Comus* yang berbisa sedang dianalisis untuk manfaat farmasinya.

KEBIJAKAN DAN STRATEGI PENGELOLAAN

ASAS PEMANFAATAN

Untuk terlaksananya program pembangunan yang berkelanjutan, ada satu asas yang harus di pegang erat, yaitu pantang menggunakan modal yang

diinvestasikan. Harus dijaga bahwa modal itu tetap utuh, bahkan sedapat mungkin bertambah besar. Yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan hidup masyarakat ialah keuntungan yang diperoleh dari investasi modal tadi. Modal dasar ialah sumber daya hayati. Sebagai sumber daya yang terperbarukan, sumber daya ini dapat memulihkan diri kembali setelah mengalami pengurangan. Sejalan dengan kaidah ini, sumber daya hayati dapat tumbuh dan berkembang secara alami dengan kecepatan tertentu dalam kurun waktu tertentu, misalnya satu tahun. Pertambahan dalam waktu setahun itulah yang disebut produksi tahunan.

Dalam kaitannya dengan ekosistem wilayah pesisir, perencanaan pengelolaan sumber daya hayati laut dan pesisir harus disusun secara terpadu dengan ekosistem-ekosistem lain yang saling berkaitan. Perencanaan terpadu untuk pengembangan dan pemanfaatan sumber daya hayati akan mengimplementasi konsep pemanfaatan secara berkelanjutan, yaitu perolehan hasil maksimal melalui pemanfaatan sumber daya yang ada, dalam kerangka pendayagunaan multi sektor jangka panjang. Sasaran utama pengelolaan wilayah pesisir dan lautan, seperti wilayah-wilayah lain, ialah diperolehnya hasil maksimal, sementara keutuhan wilayah yang bersangkutan dipertahankan. Hakikat pengelolaan ini ialah penjagaan kondisi wilayah agar tetap sedekat mungkin kondisi alami (Clark, 1974).

Di satu sisi, semakin besar kandungan keanekaragaman di dalam suatu ekosistem, semakin besar daya tahan ekosistem yang bersangkutan (Snedaker dan Getter, 1985). Di sisi lain, pembangunan memerlukan pemanfaatan sumber daya hayati, yang harus diutamakan untuk kepentingan masyarakat setempat. Di samping itu, pemanfaatan sumber daya hayati juga harus mengacu kepada program pembangunan nasional serta sesuai dengan sifat dan kondisi daerah yang bersangkutan (Knox dan Myabara, 1984).

KEBIJAKAN PENGELOLAAN

Pengelolaan lingkungan memerlukan sistem pengaturan yang ditegakkan di atas landasan dasar hukum yang kuat. Oleh karena itu, sangat perlunya pengembangan mekanisme hukum yang efektif dan cocok dengan situasi lokal serta harus mendapat dukungan dari masyarakat. Produk hukum mengenai lingkungan harus berlandaskan kondisi dan kebutuhan nyata, bukan yang diperkirakan akan terjadi dan harus mengarah kepada sasaran yang dapat dicapai, bukan sasaran ideal (Knox dan Myabara, 1984). Untuk pengelolaan berkelanjutan sumber daya hayati pesisir dan lautan masih ada tambahan persyaratan, yaitu harus berdasar pada perencanaan terpadu. Sayangnya, sampai saat ini belum ada perencanaan terpadu; yang benar-benar mencakupi semua komponen sumber daya yang ada di wilayah yang bersangkutan. Yang tersedia pada saat ini ialah perencanaan pengelolaan

yang bersifat sektoral, bahkan mungkin juga yang hanya berdasarkan komponen. Contoh di antaranya ialah perundangan mengenai perikanan, ekosistem mangrove, marikultur, pencemaran, dan pengambilan karang. Di bawah ini diungkapkan secara singkat beberapa peraturan yang sifatnya sektoral.

Perikanan

Di bidang perikanan, Undang-Undang No. 9, Tahun 1985. mengatur kegiatan dan pengelolaan perikanan di Indonesia. Perhatian utama diberikan kepada pengaturan kegiatan penangkapan ikan sedemikian rupa sehingga hasilnya dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan. Sasaran pengaturan tidak saja terpusat pada pencegahan terjadinya tangkap lebih tetapi juga pada cara-cara penangkapannya yang harus tidak mengganggu lingkungan hidup ikan, misalnya terumbu karang, padang lamun, dan hutan mangrove. Cara penangkapan dengan bahan peledak dan bahan kimia beracun dilarang. Di sinilah kaitan undang-undang tersebut dengan pengelolaan sumber daya pesisir dan lautan secara berkelanjutan karena undang-undang ini mewajibkan penangkap ikan untuk menjaga lingkungan wilayah pesisir dan lautan agar wilayah tersebut tetap produktif.

Mangrove

Untuk memperoleh manfaat yang berkelanjutan dari ekosistem mangrove, pemerintah Indonesia, melalui beberapa departemen terkait, telah menge luarkan peraturan yang mencakupi beberapa aspek berikut

1. *aspek perlindungan*, yang mencakupi perlindungan, baik terhadap mangrove itu sendiri maupun terhadap fungsinya sebagai pelindung pantai; untuk itu, di sepanjang pantai Indonesia jalur hijau mangrove harus dipertahankan, sedangkan dalam persentase tertentu ekosistem mangrove dipertahankan sebagai cagar alam atau taman laut nasional;
2. *peraturan perizinan eksplorasi hutan mangrove*, yang mengatur hutan mangrove di atas luas tertentu harus memperoleh ijin dari pemerintah pusat;
3. yang berkaitan dengan *ketentuan-ketentuan pelaksanaan silvikultur*, dan
4. yang berkaitan dengan *kewajiban pemegang konsesi* untuk melaksanakan *rehabilitasi* terhadap hutan-hutan yang telah ditebang.

Lingkungan Hidup

Undang-Undang Lingkungan Hidup No. 4, Tahun 1982 (sudah digantikan

oleh UU No. 23, Tahun 1997), memusatkan perhatian pada permasalahan lingkungan. Sasarannya ialah terciptanya hubungan yang selaras dan seimbang antara manusia dan lingkungan hidupnya. Dengan demikian, pemanfaatan sumber daya alam yang tersedia di dalamnya dapat terus berlanjut dari generasi ke generasi. Semua pihak diminta agar menjaga kelestarian lingkungan, mencegah perusakan, dan menghindari pencemaran. Semua kegiatan pembangunan/proyek yang besar diwajibkan untuk dilengkapi dengan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL). Karena wilayah pesisir dan lautan merupakan bagian lingkungan hidup, ketentuan-ketentuan yang tercantum dalam peraturan perundangan di atas juga berlaku untuk wilayah ini.

Pertambangan

Peraturan Pemerintah yang berkaitan dengan kegiatan pertambangan dan sedikit banyak bersinggungan dengan pelestarian lingkungan pesisir dan lautan ialah Keputusan Pemerintah No. 17, Tahun 1974, yang mengatur pengawasan terhadap pelaksanaan eksplorasi dan eksplorasi minyak dan gas bumi lepas pantai, yang isinya di antaranya melarang kegiatan yang menyebabkan terjadinya pencemaran laut, sungai, pantai, dan udara oleh minyak mentah, gas, bahan kimia beracun, bahan radioaktif, dan sampah. Lebih lanjut, eksplorasi dan eksplorasi minyak dan gas bumi dilarang di lokasi-lokasi pemijahan ikan, terumbu karang, dan habitat kerang mutiara. Peraturan Pemerintah ini dapat menjadi landasan hukum pengelolaan sumber daya wilayah pesisir dan lautan.

Pariwisata

Sejak dua dasawarsa terakhir, wisata bahari merupakan kegiatan yang terus berkembang dan intensitasnya meningkat. Kegiatan ini erat berkaitan dengan berkembangnya sarana pendukungnya, seperti skuba dan perlengkapan menyelam lainnya. Di satu pihak, kegiatan ini menguntungkan negara dan masyarakat karena meningkatkan penerimaan devisa, tetapi di pihak lain kegiatan ini menimbulkan kekhawatiran timbulnya gangguan-gangguan terhadap lingkungan laut, khususnya terumbu karang. Padahal, keutuhan terumbu karang dalam keadaan alami itulah yang merupakan daya tarik bagi wisatawan. Lingkungan yang baik merupakan aset bagi industri pariwisata. Oleh karena itu, tidak ada jalan lain untuk peningkatan kepariwisataan bahari terumbu karang sebagai aset penting selain harus dijaga keutuhannya. Undang-Undang No 9, Tahun 1990, tentang Pariwisata, akan memberikan landasan hukum bagi upaya pembangunan sumber daya wilayah pesisir dan lautan secara berkelanjutan.

STATUS IMPLEMENTASI

Dari uraian di atas, terlihat bahwa di mata undang-undang dan peraturan Pemerintah yang ada dewasa ini, wilayah pesisir dan lautan bukanlah suatu kesatuan yang utuh, tetapi terdiri atas berbagai komponen yang sektoral sifatnya. Oleh karena, itu upaya pengelolaannya pun menjadi bersifat sektoral. Kondisi semacam ini dapat saja terjadi dan berjalan cukup baik, asalkan pelaksanaannya bersifat terpadu. Peraturan-peraturan yang dikeluarkan oleh instansi sektoral harus bersifat saling mengisi dan tidak saling bertentangan. Kalau keadaannya demikian, semuanya akan berjalan lancar dan baik. Sayangnya keadaan di lapangan tidak selalu demikian.

Sesungguhnya, jika semua perundang-undangan dan peraturan yang ada, meskipun bersifat sektoral dipatuhi, ekosistem lautan dan wilayah pesisir itu pada saat ini akan berada dalam keadaan yang baik. Dengan kata lain, semua sumber daya yang ada di dalamnya berada dalam kondisi prima. Degradasi lingkungan tidak akan tersebar ke mana-mana. Akan tetapi, keadaannya tidak selalu seperti yang kita harapkan. Hal ini dapat kita simak dari berbagai laporan melalui media massa yang beredar di masyarakat setiap hari. Dari laporan-laporan tersebut dan publikasi-publikasi ilmiah, diungkapkan terjadinya kerusakan-kerusakan sumber daya dan degradasi lingkungan di banyak tempat di Indonesia. Berikut ini beberapa contoh kejadianya.

1. Penangkapan ikan dengan bahan peledak atau racun masih terus berlangsung. Selain membunuh ikan sasaran, cara ini juga mematikan anak-anak ikan, biota lain, dan menghancurkan terumbu karang. Terumbu karang yang mengalami kerusakan di Indonesia dewasa ini diperkirakan mencapai sekitar 71%. Sebagian terbesar kerusakan itu merupakan akibat ulah manusia. Kondisi terumbu karang di Indonesia dalam kategori kritis (Wilkinson, 1992). Jika tidak segera diambil langkah untuk mengatasinya, diperkirakan terumbu karang Indonesia akan menjadi rusak total dalam kurun waktu 20 tahun.
2. Perusakan hutan mangrove masih terjadi di Indonesia walaupun sudah ada aturan-aturan yang dimaksudkan untuk menjaga kelestariannya. Masalahnya adalah bahwa hutan ini mempunyai berbagai fungsi ekologi sehingga karena kerusakan itu fungsi-fungsi mangrove menjadi terganggu dan dalam lingkungan alam, gangguan tersebut dapat menjalar secara berantai kepada fungsi-fungsi ekosistem yang lain.

LANGKAH-LANGKAH PERBAIKAN

Berbagai pendekatan telah dicoba dalam rangka upaya mendayagunakan lingkungan secara berkelanjutan, termasuk di dalamnya komponen sumber

daya alam, khususnya sumber daya hayati. Beberapa contoh pendekatan yang telah banyak diterapkan ialah sistem zonasi, penutupan total (cagar alam), penutupan terbatas (taman nasional), serta penutupan secara periodik pada waktu tertentu (sasi), pembatasan volume tangkapan, pembatasan mata jaring, dan pembatasan ukuran minimum binatang tangkapan. Di lain pihak, kondisi habitat juga sangat besar pengaruhnya terhadap kualitas kehidupan biota penghuninya.

Kerusakan lingkungan dapat menyebabkan merana dan akhirnya kematian penghuninya, atau perpindahan sebagian penghuninya ke habitat yang lain. Kerusakan habitat dapat saja disebabkan oleh kejadian-kejadian yang berlangsung di ekosistem lain di sekitarnya. Jadi, kelestarian lingkungan, termasuk ekosistem wilayah pesisir dan lautan, bergantung pula pada kondisi ekosistem di sekitarnya. Dengan kata lain, untuk dapat berhasil dengan baik, pengelolaan ekosistem pesisir dan laut harus direncanakan dan dilaksanakan secara terpadu dengan ekosistem darat di bagian atasnya. Berikut ini diuraikan secara singkat langkah-langkah yang perlu diambil dalam pengelolaan ekosistem wilayah pesisir yang penting.

Hutan Rawa Pasang Surut

Dampak utama yang di timbulkan oleh hutan rawa pasang surut ialah jika hutan ini dikonversi untuk peruntukan lain, khususnya untuk pertanian. Pembukaan hutan pasang urut untuk pertanian dapat mengubah susunan kimia dan fisika perairan pantai, meningkatkan kandungan partikel tersuspensi, dan masuknya bahan-bahan pencemar. Oleh karena itu, jika pembukaan hutan rawa pasang surut terpaksa dilakukan, harus diupayakan agar kegiatan tersebut tidak menyebabkan berkurangnya masukan air tawar ke perairan pantai. Lahan hutan yang berpotensi asam sulfat sebaiknya tidak dibuka karena asam sulfat yang semula masih potensial itu akan berubah menjadi asam sulfat aktual yang akan membahayakan kehidupan biota perairan jika dalam konsentrasi tinggi terbawa aliran air masuk ke perairan pantai.

Mangrove

Sebagai sumber daya yang dapat diperbaharui, mangrove dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan sampai kapan pun, asalkan yang diambil setiap tahunnya tidak melampaui kapasitas produksi sumber daya mangrove yang bersangkutan. Oleh karena itu, pada setiap hutan mangrove, produksi perlu ditetapkan melalui penelitian batas maksimum yang boleh dipanen sesuai dengan produksi tahunan. Sementara itu, faktor-faktor lingkungan seperti salinitas, pasang surut, dan topografi, sejauh mungkin dipertahankan tetap seperti semula.

Kegiatan-kegiatan yang dapat mengganggu keseimbangan lingkungan yang ada, seperti pembelokan aliran air tawar ke tempat lain, pembuatan tanggul yang menghalangi aliran pasang surut, peningkatan sedimentasi akibat pengolahan lahan yang asal-asalan, pemasukan baik limbah industri maupun limbah rumah tangga tanpa terlebih dahulu melalui proses penjernihan, dan sebagainya harus dihindarkan. Konversi hutan mangrove menjadi tanah pertanian dan tambak harus dibatasi pada lokasi yang benar-benar dapat dipertanggungjawabkan baik secara ekonomis maupun ekologi. Sementara itu, perlu disisihkan secukupnya wilayah-wilayah ekosistem mangrove sebagai cagar alam, di samping dipertahankannya jalur hijau mangrove sepanjang kondisi lingkungannya cocok untuk tumbuhan mangrove.

Terumbu Karang

Telah sering dilaporkan melalui media massa bahwa terumbu karang di Indonesia banyak dalam kondisi rusak parah. Hasil survai Puslitbang Oseanologi, LIPI, di sejumlah lokasi memperlihatkan bahwa pada umumnya 60% terumbu karang dalam keadaan rusak berat. Banyak faktor disebutkan sebagai penyebab kerusakan, di antaranya, ialah eksplorasi terumbu karang untuk bahan bangunan, kerusakan akibat penggunaan bahan peledak dan racun, penggunaan alat perikanan yang merusak misalnya muroami, dan juga akibat pencemaran. Dengan mengingat bahwa terumbu karang merupakan ekosistem yang paling produktif, perlu dilakukan langkah-langkah antisipatif untuk menjaga kelestariannya agar sumber daya ini dapat terus fungsional dan produktif dalam menunjang pembangunan nasional Indonesia yang berkelanjutan. Pada saat ini tidak/belum ada peraturan perundangan yang secara khusus mengatur permasalahan terumbu karang, tetapi ada beberapa perundangan yang ruang geraknya bersinggungan dengan permasalahan terumbu karang, yaitu Undang-Undang No. 9, Tahun 1985, mengenai Perikanan dan Undang-Undang No. 23, Tahun 1997, tentang Lingkungan Hidup. Kedua perundang-undangan itu mengandung pasal-pasal yang berkaitan dengan kelestarian lingkungan terumbu karang, sehingga dapat menjadi landasan hukum pada upaya pendayagunaan dan pengelolaan terumbu karang secara berlanjut. Untuk pelaksanaannya, beberapa langkah pokok berikut harus diambil

1. secara konsekuensi menegakkan larangan penangkapan ikan menggunakan cara-cara yang dapat merusak terumbu karang, misalnya penangkapan ikan dengan menggunakan bahan peledak, racun, jaring muroami, dan sebagainya;
2. menentukan batas maksimum produksi berkelanjutan (*maximum sustainable yield*) untuk produk ikan dan biota karang lainnya, dan memantau pelaksanaannya dengan ketat;

3. mencegah kegiatan yang dapat mempengaruhi tingkat nilai ambien parameter lingkungan seperti salinitas, suhu, kecerahan, partikel tersuspensi, dan sirkulasi air, dan
4. menciptakan program kegiatan yang dapat memberikan penghasilan/mata pencaharian alternatif untuk mengurangi gangguan terhadap terumbu karang.

Padang Lamun

Dari segi ekologi, vegetasi lamun di perairan pantai memegang peran yang cukup penting, yaitu sebagai penghasil zat organik, sebagai tempat asuhan berbagai jenis ikan dan udang, sebagai substrat bagi berbagai jenis biota penempel, dan sebagainya. Sistem akar beserta rhizomnya mampu mengikat butiran-butiran pasir sehingga terbentuk substrat dasar yang relatif stabil. Walaupun demikian, posisi komunitas lamun dalam ekosistem perairan pantai masih sering dilupakan.

Agar ekositem lamun dapat mempertahankan produktivitas dan fungsi dengan baik, perlu dihindarkan masuknya bahan-bahan pencemar, seperti minyak, limbah industri, limbah rumah tangga, limbah air panas, dan limbah pertanian ke perairan pantai yang didominasi komunitas lamun. Instalasi perindustrian sebaiknya ditempatkan jauh dari daerah padang lamun, atau limbah yang dihasilkannya harus diberi perlakuan semestinya sehingga sebelum memasuki perairan kondisinya sudah tidak membahayakan. Kegiatan penggerukan maupun pengurukan agar tidak dilakukan di daerah padang lamun, sedangkan penangkapan ikan dengan pukat dasar (*bottom trawl*) harus dicegah.

Estuari

Sebagai pintu masuk air sungai ke laut, perairan estuari selalu mengalami perubahan yang dinamis dari waktu ke waktu. Kondisi fisik dan kimia airnya berfluktuasi menurut waktu dan musim. Dalam waktu singkat dapat terjadi perubahan nilai parameter lingkungan yang menonjol akibat perubahan faktor lingkungan, misalnya adanya banjir kiriman dari daerah hulu sungai sehingga salinitas turun drastis, sedangkan kandungan partikel tersuspensi melonjak. Berkaitan dengan perubahan nilai parameter, semua jenis biota yang menghuni perairan estuari harus memiliki toleransi dan daya adaptasi yang tinggi untuk menghadapi tekanan lingkungan yang selalu berubah. Walaupun demikian, sebagai makhluk hidup daya adaptasi tadi tidak tanpa batas. Beranjak dari kenyataan itu, langkah-langkah berikut perlu dilakukan agar ekosistem estuari yang ada tetap fungsional dan produktif. Fasilitas industri yang potensial dapat mengganggu keseimbangan perairan estuari agar ditempatkan jauh dari wilayah

estuari. Lebih dari itu, limbah industri dan limbah rumah tangga perlu diolah terlebih dahulu sebelum dialirkan ke perairan estuari. Penting juga dihindarkan terjadinya kondisi-kondisi yang dapat menghambat atau menghalangi aliran air karena dampaknya dapat merepotkan.

Paparan Benua

Paparan benua berupa dasar laut landai membentang dari garis surut rendah ke arah laut sampai kedalaman sekitar 200 m. Sumber daya hayati pada paparan benua dapat dipisahkan menjadi dua kelompok, yaitu sumber daya demersal dan sumber daya pelagis. Yang disebut pertama terdiri dari jenis-jenis biota yang hidup di dasar perairan, sedangkan yang disebut kedua terdiri dari jenis-jenis biota yang hidup bebas dalam kolom air dari permukaan air sampai ke dekat dasar laut. Di bagian paparan benua yang dangkal, sumber daya perikanan demersal lebih menonjol. Sebaliknya, di bagian paparan benua yang dalam sumber daya perikanan pelagislah yang lebih utama. Secara fisik, ekosistem paparan benua lebih terbuka dan berdimensi relatif sangat besar, kondisi lingkungannya relatif stabil dan lebih mampu menetralisasi pengaruh yang berasal dari daratan. Oleh karena itu, upaya pendayagunaan sumber daya hayati yang berkelanjutan lebih terpusat kepada pembatasan volume penangkapan untuk tidak melampaui kapasitas produksi per tahun. Masalahnya ialah bahwa untuk dapat menentukan berapa besar kapasitas produksi per tahun tidak terlalu mudah dilaksanakan.

Basin

Berbeda dengan paparan benua, basin tidak memiliki bagian yang dangkal, tetapi langsung membentuk laut jeluk (dalam). Secara kasar, bentuknya dapat digambarkan sebagai sebuah cawan atau mangkuk, yang di Indonesia kedalamannya berkisar dari 1.500 m sampai dengan lebih dari 6.000 m. Karena kedalamannya besar, sumber daya hayati ekosistem basin terbatas pada sumber daya perikanan pelagis saja. Ikan-ikan yang dijumpai di perairan basin pada umumnya terdiri atas jenis-jenis pemangsa (predator). Banyak di antaranya tergolong jenis peruya, yaitu jenis ikan yang selalu bergerak dari satu tempat ke tempat lain, sering aktivitasnya berkaitan dengan tujuan pemijahan massal. Seperti halnya sumber daya perikanan paparan benua, pendayagunaan berkelanjutan sumber daya perikanan laut jeluk (samudera) lebih dipusatkan pada pengaturan batas maksimum yang boleh diambil. Dengan demikian, perlu dilakukan penelitian-penelitian yang memungkinkan dilakukan pendugaan sediaan ikan di ekosistem tersebut. Dengan bantuan peralatan penelitian mutakhir, pendekatan semacam itu dapat dilakukan.

PEMANFAATAN SUMBER DAYA HAYATI DAN ILMU PENGETAHUAN DAN TEKNOLOGI

Milennium Kedua, sebagai era industrialisasi, akan diwarnai oleh pertambahan dan arus perpindahan penduduk. Perpindahan ini akan terjadi dari wilayah-wilayah yang terlalu padat penduduk dan langka sumber daya ke wilayah-wilayah yang longgar dan padat sumber daya, dan pemasaran kegiatan pemanfaatan sumber daya, terutama sumber daya hayati. Dengan kejadian tersebut, dan meningkatnya penggunaan lahan untuk pengembangan industri, daratan tidak akan mampu lagi menampung keperluan tersebut di atas. Sebagai akibatnya, wilayah pesisir dan lautan beserta sumber dayanya akan menjadi tumpuan terakhir bagi kehidupan manusia. Peran ilmu pengetahuan dan teknologi (Iptek) dalam memenuhi kebutuhan ini sangat diperlukan. Iptek yang mendesak untuk dikembangkan dan diterapkan diperlukan untuk empat bidang berikut ini.

TEKNOLOGI TEPAT GUNA (TRADISIONAL)

Masyarakat yang mendiami wilayah pesisir sebagian besar terdiri atas para nelayan tradisional yang menggantungkan hidupnya pada perikanan tradisional. Dengan teknologi sederhana yang telah mereka miliki sulit untuk meningkatkan pendapatan mereka sehari-hari dalam memenuhi kebutuhan yang makin bertambah. Untuk membantu mereka perlu dicari teknologi yang mampu digunakan untuk memanfaatkan sumber daya hayati secara berkelanjutan. Teknologi itu hendaknya mudah dipahami dan diterapkan. Sebagian besar nelayan berpendidikan rendah sehingga sulit menerima teknologi yang susah dipahami.

Perlu disediakan teknologi tepat guna (TTG) atau teknologi sederhana dalam bentuk teknologi perikanan. Teknologi ini hendaknya bukan teknologi perikanan tangkap yang sulit, untuk menyaingi teknologi canggih yang telah digunakan secara luas baik di lautan maupun di perairan pesisir, melainkan teknologi budidaya. Upaya ini dapat dilaksanakan mengingat pengalaman LIPI selama ini. Lebih dari 10 tahun yang lalu, LIPI pernah meneliti, mengembangkan, dan memasyarakatkan teknologi budidaya rumput laut yang ternyata berhasil dan sampai saat ini masih diterapkan oleh masyarakat pesisir.

Hasil-hasil penelitian serupa untuk biota yang lain seperti rajungan, teripang, lola, dan berbagai jenis ikan, yang masih setengah jadi, perlu dituntaskan sehingga dihasilkan TTG yang dapat dimasyarakatkan di kalangan nelayan tradisional. Disadari bahwa penyediaan TTG bagi nelayan pesisir bukan satu-satunya penyelesaian masalah sosial ekonomi nelayan tradisional dan pemanfaatan sumber daya hayati secara berkelanjutan. Masih

banyak lagi masalah yang perlu dipecahkan seperti budaya menerima hal yang baru (inovasi) di antara nelayan, modal, dan pasar. Oleh karena itu, penyediaan TTG perlu diikuti dengan upaya-upaya cara pengenalannya, modal, kemudahan-kemudahan lain, dan sebagainya.

SUMBERDAYA HAYATI TERPERBARUKAN

Pemanfaatan sumber daya hayati pesisir dan lautan di wilayah-wilayah tertentu sudah sedemikian berlebihan sehingga menyebabkan perlu dicarikan pemecahannya. Sebaliknya, masih banyak wilayah perairan yang kaya akan sumber daya hayati (SDH), tetapi masih belum dimanfaatkan atau hanya dimanfaatkan di bawah kapasitas. Contohnya ialah wilayah perairan ZEEI. Zona ini memerlukan pemanfaatan segera sesuai dengan kuota yang ditentukan sendiri oleh Indonesia dalam kaitannya dengan hukum kelautan. Jika tidak, negara lain berhak memanfaatkan sisanya.

Tingginya keanekaragaman hayati pesisir dan laut Indonesia menawarkan banyak kesempatan untuk menganekaragamkan pemanfaatan SDH, baik dari segi jenis biota maupun dari segi macam penggunaan. Hasil-hasil perikanan yang sudah menjadi sumber pangan sendiri dan sumber penghasilan dalam negeri dan ekspor, yang berupa berbagai jenis ikan dan nonikan terus-menerus dicari dalam skala besar-besaran, sehingga kelestariannya terancam. Untuk menghindari tekanan pemanfaatan yang begitu besar, perlu dicarikan dan diperkenalkan jenis-jenis biota laut yang sebenarnya mempunyai potensi sebagai komoditi perikanan, seperti jenis-jenis tertentu yang dikelompokkan sebagai ikan ruah, yang tidak dimanfaatkan setelah tertangkap. Jenis-jenis nonikan seperti ubur-ubur, bulu babi, teripang, keong-kerang, dan invertebrata lain jika dicermati mempunyai potensi sebagai komoditi perikanan yang berpotensi pasar tinggi.

Banyak jenis invertebrata laut baik yang terdapat di dasar laut dangkal maupun laut jeluk, yang berukuran mikro atau makro, mempunyai potensi untuk dimanfaatkan dalam keperluan biokimia dan kedokteran. Sumber daya hayati ini perlu digali dan diteliti kegunaannya untuk dimanfaatkan bagi keperluan-keperluan tersebut di atas. Dalam hal ini taksonomi dan inventarisasi biota laut sangat diharapkan perannya. Demikian juga halnya dengan bioteknologi laut yang diharapkan perannya dalam mengungkapkan produk-produk baru di bidang biokimia dan kedokteran.

MENINGKATKAN NILAI TAMBAH

Komoditi perikanan yang menjadi andalan ekspor, seperti tuna dan udang, masih dipasarkan sebagai komoditi segar yang diawetkan. Komoditi perikanan lain yang bukan menjadi primadona seperti kedua jenis di atas

dapat ditingkatkan nilai pasarnya dengan memprosesnya sebagai hasil awetan seperti ikan kalengan dan ikan kering. Dalam hal ini peran teknologi perikanan sangat diharapkan. Ikan-ikan rucah yang biasanya dibuang begitu saja dapat diangkat nilainya sebagai komoditi penting dengan memprosesnya sebagai pakan ternak, pupuk, dan lain-lain. Kepiting bakau (*Scylla serrata*) jika dijual dalam bentuk ngglemburi (berkulit lunak) akan tinggi harganya. Bagaimana membuat kepiting-kepiting tersebut berekdisis (ganti kulit) setiap waktu sehingga siap untuk dipasarkan dengan harga yang lebih tinggi daripada kepiting biasa merupakan upaya mencari nilai tambah komoditi ini. Dalam hal ini pengetahuan tentang ilmu faal biota laut sangat diperlukan. Biologi laut, bioteknologi laut, dan teknologi perikanan akan sangat berperan dalam meningkatkan nilai-tambah tersebut.

PERAN LIPI

Untuk dapat memetik manfaat sumber daya hayati secara maksimal tetapi berkelanjutan, diperlukan tingkat kemampuan ilmu dan teknologi yang memadai. Juga diperlukan tersedianya sarana, prasarana, dan dana yang cukup. Tidak kalah penting juga ialah kemampuan sumber daya manusia sendiri. Sementara itu, tersedianya data dan informasi awal yang cukup akurat merupakan prasyarat yang perlu dipenuhi untuk dapat menentukan daya dukung sumber daya secara berkelanjutan. Dalam hal ini justru Indonesia masih relatif lemah. Di sektor inilah, LIPI, sebagai lembaga ilmu pengetahuan bertaraf nasional dan internasional, harus mampu berperan sebagai lembaga acuan.

Salah satu fungsi LIPI adalah mengembangkan ilmu-ilmu pengetahuan dasar yang hasilnya dapat menjadi landasan untuk pengembangan teknologi dan untuk mendasari penelitian terapan selanjutnya. Ilmu-ilmu dasar ini mencakupi berbagai disiplin ilmu seperti biologi, limnologi, oseanologi, geologi, fisiologi, taksonomi, dan biologi laut. Untuk itu, LIPI didukung pusat-pusat penelitian dan pengembangan yang berfungsi secara teknis, lengkap dengan sarana, dan prasarananya. Di bidang kelautan tugas itu dilaksanakan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi, LIPI. Selain peralatan penelitian, Puslitbang Oseanologi, LIPI dilengkapi dengan kapal-kapal penelitian laut yang mampu menjangkau seluruh perairan teritorial Indonesia.

Ada beberapa lembaga di Indonesia, di luar LIPI, yang bidang tugasnya berkaitan dengan kelautan. Yang erat kaitannya dengan lingkup kegiatan Puslitbang Oseanologi, LIPI ialah Balai Penelitian dan Pengembangan Perikanan, Dinas Hidrografi Angkatan Laut dan Direktorat Jenderal Perlindungan Hutan dan Pelestarian Alam. Meskipun bidang tugasnya ber-

singgungan, ada garis pemisah yang jelas antara tugas-tugas ketiga lembaga ini. Balai Penelitian Perikanan Laut memusatkan kegiatannya pada sumber daya hayati laut sebagai komoditi perikanan. Penelitian-penelitian yang dilakukan lembaga ini bepusat pada komoditi perikanan dan aspek-aspek pendayagunaan serta pengelolaannya. Dinas Hidrografi Angkatan Laut menekankan kegiatannya pada aspek-aspek kelautan yang berkaitan dan kelancaran serta keselamatan lalu lintas pelayaran di laut. Puslitbang Oseanologi, LIPI, bertugas melakukan penelitian-penelitian dasar yang hasilnya diperlukan untuk melandasi penelitian terapan atau menjadi landasan pengembangan teknologi, khususnya yang berkaitan dengan sumber daya hayati laut.

Sekitar 70% wilayah Nusantara terdiri atas lautan. Kesempatan ini merupakan aset besar yang jika dimanfaatkan sebaik-baiknya akan mempunyai saham besar dalam meningkatkan kesejahteraan rakyat. Upaya pemanfaatan tersebut akan memerlukan dukungan data dan informasi yang memadai, Iptak yang sesuai dan digerakkan oleh tangan-tangan ahli. Dalam hal sumber daya hayati laut, selayaknya LIPI, dengan Puslitbang Oseanologi dan Puslitbang Biologi mampu menjadi lembaga acuan ke arah pendayagunaan sumber daya hayati laut secara optimal dan berkelanjutan.

PENYEDIAAN DATA DASAR

Dalam setiap pengambilan keputusan, ketersediaan data dasar sangat diperlukan jika diharapkan putusan itu mempunyai dasar yang mantap. Tetapi, di segi inilah pada umumnya kondisi kita masih lemah. Yang memprihatinkan ialah kenyataan bahwa penelitian dasar sering dipandang tidak bermanfaat atau bahkan dianggap hanya membuang-buang uang. Padahal ada saatnya ketika data dasar sangat diperlukan. Oleh karena itu, apa pun pandangan orang tentang ilmu pengetahuan dasar yang negatif, kegiatan penelitian dasar tidak boleh dipandang sepele. Di sini LIPI dapat berperan amat penting dan menentukan wajah pembangunan Indonesia di hari-hari mendatang.

Inventarisasi flora dan fauna laut merupakan salah satu kegiatan pengumpulan data dasar. Dan kegiatan ini telah menjadi program rutin lembaga-lembaga penelitian LIPI, khususnya Puslitbang Biologi dan Puslitbang Oseanologi, tetapi ruang geraknya masih relatif terbatas. Sesungguhnya, kegiatan inventarisasi ini tidak sekadar mencatat jenis-jenis yang ada, tetapi juga melihat aspek-aspek sebaran, potensi, dan populasi. Banyak informasi dasar yang dapat disadap dan diharapkan dari kegiatan inventarisasi. Gambaran mengenai keanekaragaman hayati Indonesia, khususnya yang berkaitan dengan kelautan, akan dapat dikembangkan dari informasi ini.

Masih banyak penelitian dasar lainnya yang perlu didukung LIPI

dalam kaitannya dengan pendayagunaan sumber daya hayati laut, yang diperlukan ialah berbagai aspek biologi biota yang menunjang upaya budidaya atau marikultur. Keperluan ini menyangkut studi biologi reproduksi jenis-jenis biota bernilai niaga, dalam rangka upaya memproduksi bibit, metodologi pembenihan, serta penelitian pakan, dan pembesaran. Biota sasaran tidak hanya terbatas pada ikan dan udang tetapi juga jenis-jenis lain, seperti teripang, moluska, kepiting, dan tiram.

Termasuk bagian kegiatan inventarisasi ialah pendugaan sediaan. Tujuannya ialah untuk mendapatkan angka perkiraan sediaan ikan atau biota lain di suatu kawasan. Angka ini akan menjadi dasar untuk menentukan berapa besar yang dapat dimanfaatkan dari perairan yang bersangkutan tanpa merusak sediaan itu sendiri. Semakin akurat data yang diperoleh semakin tepat kesimpulan yang diambil.

SUMBER DATA DAN INFORMASI

Data awal penting maknanya dalam menentukan volume tangkapan yang tidak mengganggu sediaan yang ada. Dengan berpegang pada ketentuan kegunaan data, data dasar yang diupayakan harus berorientasi pada aplikasi praktis sehingga mampu menjadi landasan pembangunan Iptek kelautan dan mampu menjadi landasan penelitian terapan berikutnya. Setelah melalui pengolahan dan analisis awal, data yang bersangkutan akan menjadi informasi yang siap dimanfaatkan.

Perlu ditekankan bahwa data dan informasi yang dikelola Puslitbang Oseanologi, LIPI, tidak terbatas pada yang diperoleh dari kegiatan sendiri tetapi juga yang berasal dari kegiatan lembaga lain baik dari dalam negeri maupun dari luar negeri. Kenyataan ini menunjukkan bahwa LIPI harus berupaya untuk memperoleh secara teratur publikasi ilmiah, termasuk di dalamnya yang berkaitan dengan kelautan, baik nasional maupun internasional. Selain informasi dalam media cetak, material publikasi yang perlu diperoleh juga yang disebarluaskan melalui media elektronik. Hanya dengan cara seperti itu LIPI akan mampu berfungsi sebagai sumber informasi yang andal, sekaligus bertindak sebagai *clearing house* masalah kelautan, termasuk keanekaragaman hayati lautnya.

PEMBINAAN SUMBER DAYA MANUSIA

Telah sejak lama dipermasalahkan bahwa yang dihadapi Indonesia dalam mengembangkan Iptek, termasuk di dalamnya Iptek kelautan, ialah terbatasnya tenaga ahli dan pakar yang dimiliki negara ini. Sebagai ilmuwan, orang dituntut memiliki dedikasi tinggi terhadap pekerjaannya, di samping harus sanggup hidup sederhana. Persyaratan seperti di atas boleh jadi tidak menarik

bagi kebanyakan orang, seperti tercermin dari kecilnya minat untuk berprofesi sebagai ilmuwan. Di lain pihak, untuk menjadi pakar bidang kelautan, diperlukan pendidikan khusus, dengan sarana dan prasarana yang khusus pula, dan pada umumnya memerlukan biaya dan waktu yang tidak sedikit.

Dengan mengingat permasalahan-permasalahan yang dihadapi dalam penyelenggaraan pendidikan tinggi ilmu kelautan, khususnya sarjana S2 dan S3, LIPI dapat berperan besar dalam membantu mewujudkan program pendidikan tersebut. Pada dewasa ini terdapat enam universitas di Indonesia yang memilih Ilmu Kelautan sebagai Pola Ilmiah Pokoknya, yaitu Institut Pertanian Bogor, Universitas Diponegoro, Universitas Riau, Universitas Hassanuddin, Universitas Sam Ratulangi, dan Universitas Pattimura. Dalam hal ini LIPI perlu membuka pintu lebar-lebar untuk memberikan kesempatan kepada para calon pakar dalam memperdalam pengetahuan dan keterampilannya dengan terjun langsung di lapangan menggunakan fasilitas penelitian yang dimiliki Puslitbang Oseanologi, LIPI.

Dengan mencurahkan perhatian pada tiga pokok permasalahan utama di atas, LIPI akan memberikan sumbangan yang besar artinya bagi upaya pemanfaatan sumber daya untuk pembangunan yang berkelanjutan sekaligus memacu perkembangan Iptek kelautan di Indonesia.

PUSTAKA

- Clark, J. 1974. *Coastal Ecosystems: Ecological Considerations for the Management of the Coastal Zone*. The Conservation Foundation NOAA 178 pp.
- Clark, J.R. 1992. *Integrated Management of Coastal Zones*. FAO Fisheris Technical Paper 327 : 167 pp.
- Kvalvagnaes, K. 1980. *Ornamental Fish Trade in Indonesia*. Field Report. UNDP/FAO Natural Park Development Project. Ens/78/06 : 31 pp.
- Knox, G.A. and T.Miyabara 1984. *Coastal Zone Resource Development and Conservation in Southeast Asia; with Special Reference to Indonesia*. UNESCO, East West Center. 181 pp.
- MCSDM (Marine and Coastal Sector Definition Mission) 1987. *Marine and Coastal Sector Development in Indonesia. Volume 1. The study for assistance*. CIDA: 198 pp.
- Salm, R.V. 1988. Man's Use of Coral Reefs. In Kenchington and Hudson (Editor). *Coral Reef Management Handbook*. UNESCO, publication : 15-21.
- Snedaker, S.C. and C.D.Getter 1985. *Costal Resources Management Guidelines*. Renewable Resources Information Series. Costal Management Publication No. 2. National Park Service and USAID.

- Soemodihardjo, S. 1987. Indonesia: Country Report. In. *Mangrove of Asia and the Pacific: Status and management*. Technical Report of UNDP/UNESCO Research and Training Pilot Programme on Mangrove Ecosystem in Asia and the Pacific. (RAS/79/002).
- Soemodihardjo, S.; P. Wiroatmodjo, A. Abdullah, I G.M. Tantra dan A. Soegiarto 1993. Condition, Socio-Economic Values and Environmental Significance of Mangrove Areas in Indonesia. In (B.F. Clough, Coordinator). *The Economic and Environmental Values of Mangroves Forests and their Present State of Conservation in the South-East Asia/Pacific Region*. ITTO, JIAM, ISME Publication Vol. 1: 17--40
- Sukarno, M. Hutomo, M.K. Moosa, P. Darsono. 1983. *Terumbu Karang di Indonesia: Sumber Daya, Permasalahan dan Pengelolaannya*. LON-LIPI, Jakarta : 112 pp.
- Walters, J.S. 1994. *Property Rights and Participatory Coastal Management in the Philippines and Indonesia*. Coastal Management in Tropical Asia 3: 20 - 24.
- Wilkinson, C.R. 1992. Coral Reef of the World are Facing Widespread Devastation: Can we Prevent this through Sustainable Management practices? *Proceedings 7th International Coral Reef Symposium, Guam*.

RANGKUMAN

PEMIKIRAN DASAR

Pembangunan dimaksud untuk meningkatkan kesejahteraan manusia dengan meningkatkan mutu hidupnya. Dalam melaksanakan pembangunan ini diperlukan sumber daya alam sebagai modal. Karena ketergantungan keberhasilan pembangunan ini pada sumber daya alam, sudah sewajarnya jika sumber daya alam ini dikelola agar dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan. Kenyataan menunjukkan bahwa sumber daya alam menjadi gantungan utama untuk pembangunan, di samping jelas pula bahwa pembangunan juga bertujuan untuk menjaga agar sumber daya alam tetap ada.

Peningkatan mutu hidup manusia, sementara hidup di bumi yang selalu mampu menopang, merupakan kaidah pembangunan berkelanjutan. Pembangunan berkelanjutan semacam itu merupakan tindakan yang perlu dilakukan, tetapi sulit diwujudkan. Dengan penggunaan sumber daya ini, untuk jumlah penduduk bumi yang sangat tinggi, akan timbul akibat yang jelas, yaitu kebutuhan yang tinggi pula terhadap sumber daya alam. Kebeutuhan ini akan berpengaruh baik pada kuantita maupun pada kualita sumber daya alam. Proses produksi yang mudah dilaksanakan akan menimbulkan keru-sakan pada lingkungan; sebagai akibatnya, kemampuan lingkungan untuk menjalankan fungsinya akan menjadi berkurang sehingga integritasnya pun menurun karena tidak mampu lagi melaksanakan proses regenerasi.

Dengan kesadaran akan kenyataan seperti tersebut, diperlukan suatu strategi dan kebijakan mengenai pembangunan berkelanjutan, khususnya dalam mengelola sumber daya alam. Manusia akan selalu membutuhkan oksigen, air, dan pangan. Oksigen merupakan sumber daya alam, yang walaupun kini sudah mulai terusik, secara nisbi masih belum terlalu mengkhawatirkan. Oleh karena itu, dalam presentasi ini belum diperlukan sentuhan ulasan. Akan tetapi, air dan sumber daya untuk memenuhi kebutuhan pangan kini sudah menunjukkan gejala yang mengkhawatirkan sebagai akibat pembangunan untuk kesejahteraan manusia yang semakin meningkat. Gejala ini semakin hebat terasa di Indonesia.

Agar pembangunan tetap berjalan, yaitu dengan tersedianya modal yang cukup, diperlukan pengelolaan terhadap sumber daya alam. Salah satu cara yang harus dilaksanakan ialah penerapan ilmu pengetahuan dan teknologi (Iptek). Sebagai lembaga yang berkewajiban mengelola dan mengembangkan Iptek, sudah sewajarnya jika Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

(LIPI) mengembangkan kebijakan mengenai penerapan Iptek untuk menge-lola sumber daya alam dalam menunjang pembangunan berkelanjutan.

AIR

Selama manusia hidup di atas bumi, air dianggap sebagai bahan yang melimpah. Dalam kenyataan memang demikian karena di bumi terdapat banyak sumber air. Akan tetapi, karena anggapan bahwa air selalu melimpah, terjadi lah pemanfaatan yang tidak memikirkan kelestarian tersedianya air ini. Pada skala dunia, penggunaan air berkembang mengikuti transformasi perilaku dalam memanfaatkan sumber daya alam.

Pada tahun 1200–1300-an, Eropa, kemudian Amerika pada era sesudahnya, memanfaatkan sumber daya alamnya secara 'habis-habisan' untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakatnya. Eksplorasi sumber daya alam ini berkembang setelah berakhirnya Perang Dunia II, sebagai akibat mun-culnya negara-negara merdeka. Hal semacam ini pun terjadi di Indonesia. Kejadian ini, untungnya, melahirkan pola penanganan lingkungan di negeri ini. Kesadaran ini terkembang dalam dua era, yaitu *era konvensional*, yang hanya memberikan perhatian pada produk limbah, dan *era teknologi*, yang lebih terarah kepada penggunaan teknologi dan pengelolaan produksi.

Di negara maju, kini mulai dan sedang dikembangkan teknologi peningkatan produktivitas yang menghemat penggunaan air. Perkembangan seperti inilah yang perlu disiasati oleh LIPI. Permasalahan yang harus dihadapi dalam pemanfaatan air ialah pemilihan teknologi untuk proses produksi yang hemat air. Untuk pemanfaatan air seperti yang dipraktekkan di Saudi Arabia, yaitu efisiensi pemanfaatan air, Indonesia dapat mengambil pelajaran untuk dipraktekkan di daerah kering seperti Nusa Tenggara Timur. Sebaliknya, pengungkapan data satelit dari Sungai Mahakam di Kalimantan Timur perlu diwaspadai, sehubungan dengan penunjukan adanya erosi hebat dan kemungkinan penurunan jumlah air yang akan mengaliri sungai ini dan penyusupan air laut pada musim kemarau.

Pada skala dunia, pencemaran kimia terhadap air sudah sampai pada taraf yang sangat mengkhawatirkan. Karena pencemaran ini, setengah massa air dunia menjadi tak dapat diperbarukan lagi. Untuk dapat mengelola air sedemikian rupa sehingga dapat diperbarukan, perlu dipahami daur hidrologi. Pendauran ini meliputi pula lingkungan baik yang alami maupun yang buatan. Ada kaitan antara daur hidrologi dan perubahan lingkungan yang dibuat manusia. Dengan perubahan fisik, kimia, perilaku, dan iklim, akan terjadi dampak pada daur hidrologi air. Dampak ini akan terjadi secara kumulatif, yang baru diketahui setelah terlambat.

Kini sebetulnya sudah tersedia teknologi yang dapat mengembangkan sumber daya air yang memungkinkan menghasilkan lebih banyak air. Ada

beberapa kelompok, di antaranya, yang penting ialah teknologi desalinisasi, osmosis berbalik, penguapan, eksplorasi air tanah lebih dalam, yang terkelompok ke dalam kelompok eksplorasi. Selain itu, ada pula kelompok rehabilitasi, konservasi, pendidikan, dan penelitian.

Di dalam lingkungan LIPI, diperlukan program pengembangan, yang mencakupi lingkup kelembagaan, termasuk kebijakan, pemilihan teknologi, pendaurulangan, peningkatan produktivitas sumber daya, pengembangan Iptek, dan lingkup-lingkup kebijakan ekonomi, peran serta swasta, serta pengembangan masa depan Iptek.

PANGAN

Produksi pangan menjadi salah satu titik pusat dalam Repelita yang dimulai sejak kurun waktu 1969--1974. Program ini memanfaatkan teknologi mutakhir, yaitu penggunaan bibit unggul, pengolahan lahan, pemberian pupuk yang cukup, pengairan yang memadai, dan pemanfaatan obat pembasmi hama. Kecukupan pangan ditandai dengan rendahnya persentase penduduk yang kelaparan, yang selanjutnya terkait dengan daya beli.

Kecukupan pangan merupakan dasar tercapainya stabilitas keamanan. Jika kita bicarakan pangan, bahan pertama yang diperhatikan di Indonesia ialah *beras*. Kemudian, jagung dan ubi kayu mengikuti peringkat. Selain itu, di beberapa tempat di tanah air kita ini, sagu dan ubi jalar dikonsumsi oleh penduduk yang terbatas. Konsumsi beras dalam persentase besar disebabkan oleh kandungan berbagai keunggulan pada beras. Oleh karena itu, Indonesia selalu menekankan swasembada beras.

Proses menuju swasembada ini berlangsung melalui program yang memerlukan teknologi dan penyediaan plasma nutfah. Teknologi yang 'pancausa' ini berhasil berkat adanya keterpaduan antarkebijakan, kerja aparat, pelibatan petani, kesiapan lembaga penelitian, dan pengembangan pertanian untuk mendukung kebijakan yang digariskan dan kerja sama dengan *International Rice Research Institute* yang menyediakan plasma nutfah.

Pertambahan penduduk Indonesia termasuk yang berkecepatan tinggi dan penyediaan pangan harus selalu ditingkatkan, baik dalam jumlah maupun mutu. Penambahan penduduk juga menuntut perluasan permukiman, yang mengurangi lahan pertanian yang subur. Akibatnya ialah perlunya pencetakan sawah baru. Bersamaan dengan program pencukupan pangan, dilakukan pula program penganekaragaman pangan. Meningkatnya pendapatan pada sebagian masyarakat, dan berkaitan dengan panganekaragaman pangan ini, menimbulkan terjadinya peningkatan permintaan pada produk pangan luar negeri. Akibatnya ialah penurunan konsumsi beras. Di sebagian masyarakat yang lain, pergeseran menu juga terjadi; yang utama ialah kepada *mie*.

Dengan demikian, impor gandum menjadi melonjak.

Jika dilihat dari pengurangan ketergantungan pada beras, pergeseran ini berhasil. Tetapi, jika dilihat dari ketahanan pangan nasional, impor gandum menambah beban ketergantungan Indonesia pada luar negeri. Sangat diperlukan ditingkatkannya keanekaragaman pangan yang berbasis jenis-jenis yang telah beradaptasi dengan lingkungan Indonesia.

Semua keperluan yang harus dipenuhi, yaitu lahan, air tawar, sinar matahari, dan keanekaragaman plasma nutfah, ada di Indonesia. Ditambah dengan keanekaragaman budaya masyarakat, penyediaan bahan makanan, dan keanekaragaman menu menjadi tidak terbatas. Semua peluang itu memerlukan Iptek untuk mewujudkannya. Akan tetapi, kenyataan adanya kekayaan tersebut, telah membuat bangsa Indonesia menjadi terlena. Hanya sebagian kecil masyarakat Indonesia yang telah menyadari terjadinya penyusutan kekayaan hayati di negeri ini. Untuk mengatasi masalah penyusutan ini, diperlukan pembudidayaan.

Dibandingkan dengan negara tetangga, misalnya Thailand, kekayaan melimpah Indonesia dalam buah-buahan dikembangkan menjadi komoditi-komoditi unggul. Sebagai negara pusat sebaran berbagai jenis buah-buahan, seharusnya Indonesia menjadi negara puncak dalam menghasilkan produk buah-buahan unggul. Harapan ini masih jauh dari kenyataan.

Karena kesadaran akan kenyataan tersebut, tersundut keinginan untuk memacu perkembangan industri pertanian. Pencanangan agroindustri ini sudah dimulai sejak Repelita VI, tetapi masih belum banyak komoditi yang tergarap. Dengan krisis ekonomi, kelesuan makin meningkat. Hikmahnya ialah kesadaran akan perlunya mencermati lebih mendalam dan meneliti perkembangan Iptek. Dari penelitian di berbagai lembaga penelitian dan universitas, dinyatakan keberhasilannya membuat benih unggul, bibit terpilih, cara memproduksi, sarana produksi, yang meyakinkan, yang diungkapkan dalam pertemuan ilmiah. Kebenarannya masih harus dibuktikan.

Sumber daya manusia diperlukan dalam pengembangan dan pemanfaatan Iptek. Sarjana selalu dihasilkan oleh perguruan tinggi dengan jumlah yang tidak meragukan. Tetapi, untuk menjadi peneliti yang mandiri dalam bidang pertanian, masih diperlukan pendidikan yang lebih tinggi. Selain itu, masih diperlukan pula peningkatan jumlah tamatan sekolah menengah kejuruan dalam bidang pertanian.

Penelitian di bidang pertanian tidak dapat dipisahkan dari pengembangan di bidang biologi. Di negeri kita penelitian biologi ini sudah berlangsung dan berkembang sejak zaman sebelum kemerdekaan. Kehadiran ilmuwan biologi asing dalam mengembangkan biologi tropika membuat biologi di Indonesia berkembang pula. LIPI telah mengarahkan kegiatan penelitian biologi untuk pemanfaatan sumber daya hayati. Hasilnya masih dipertanyakan dalam hal kaitannya dengan pengembangan pangan di negeri kita sendiri.

SUMBER DAYA HEWANI

Satwa mempunyai peran yang sangat penting dan diperlukan oleh manusia. Dengan ciri dan perbuatannya, satwa dapat memberikan barang dan jasa yang sangat bermanfaat dalam kehidupan kita. Sebagai penghasil produk dan jasa, satwa dapat memberikan daging, kulit, tulang, bulu dan bagian-bagian tubuh lainnya, susu, telur, minyak/lemak, dan produk lainnya yang dapat dimanfaatkan, baik sebagai sumber pangan maupun sebagai sumber penghasilan (mendatangkan pendapatan). Satwa juga dapat menyediakan dirinya untuk memberikan jasa yang dapat dimanfaatkan manusia. Peran ini sudah ditunjukkannya sejak awal adanya manusia. Penggunaan satwa berawal dari kesederhanaan kebutuhan sampai taraf kecanggihan seperti yang kita lakukan kini.

Lebih dari sekedar pemberian barang dan jasa kepada manusia secara langsung, dan kepada pengguna yang lebih luas, satwa berperan dalam pengaturan lingkungan. Satwa mempunyai beraneka ragam peran dalam lingkungan. Ada pemangsa, mangsa, pemarasit, penyerbuk, pemencar biji, perombak dan penghasil bahan organik, indikator, dan sebagainya. Kepada satwa yang lain dan flora, keberadaan satwa penting sekali dalam menjaga keseimbangan hidupan liar. Hubungan mangsa-pemangsa, inang-parasit/parasitoid atau hama-inang, merupakan sistem dan mekanisme dalam mengendalikan keseimbangan hidupan liar.

Bagi manusia, satwa selain memberikan barang dan jasa yang langsung dapat dirasakan secara fisik, juga dapat berperan dalam segi nonfisik, lebih kepada kepuasan emosi. Dalam rekreasi dan kepariwisataan, satwa dapat menjadi sumber rekreasi alam dan pengembangan industri kepariwisataan. Perburuan untuk kepentingan olah raga memerlukan keberadaan satwa. Lomba dan adu satwa, serta segi rekreasi tersebut tidak secara fisik dirasakan oleh manusia, tetapi secara batiniah telah dapat mengatasi kebutuhan manusia. Satwa juga merupakan sumber keindahan dan inspirasi. Banyak jenis satwa yang dapat dijadikan sumber bahan penciptaan seni dan keindahan, baik yang berupa barang yang dapat dipegang, ataupun dalam bentuk pelayanan dan sumber inspirasi. Lebih penting lagi daripada sekedar untuk kepuasan, satwa berperan juga dalam meningkatkan pengetahuan manusia dan untuk keperluan pendidikan. Kepada pendidik dan peneliti diberikan peluang sebesar-besarnya oleh satwa untuk melakukan dan mengembangkan kegiatannya di alam terbuka.

Yang kini sedang menjadi perhatian dunia ialah keperluan melestarikan warisan dunia. Sebagai bagian dari kekayaan alam, satwa merupakan bagian dari kekayaan budaya bangsa yang memberikan sumbangan dalam pengembangan adat-istiadat dan kebudayaan setempat. Peran sebagai warisan dunia ini akan menjadi titik tolak dan landasan dalam memanfaatkan

satwa sebagai cadangan potensi. Cadangan ini merupakan simpanan untuk penggunaan lebih lanjut dan pilihan di masa mendatang.

Seperti keanekaragaman peran dan kegunaannya, penyebaran satwa pun beranekaragam dalam pola dan kepadatan. Pola dan kepadatan ini pada penyebaran satwa terjadi secara terkombinasi. Artinya ada satwa tersebar luas dalam kepadatan tinggi sampai ada yang tersebar terbatas dan mempunyai kepadatan yang terbatas pula. Setiap kombinasi ini berkaitan dengan habitatnya, yang masing-masing mempunyai kaidah tersendiri, yang selanjutnya membentuk hubungan timbal-balik yang disebut ekosistem. Keanekaragaman persebaran ini juga mengandung manfaat bagi manusia atau lingkungan, misalnya kekhasan ekosistem atau lingkungan. Dengan pola persebaran dan kepadatan ini, dapatlah diketahui mekanisme pemencaran, dengan demikian juga manfaat yang dapat disadap dari fenomena ini.

Mekanisme pemencaran dapat dimanfaatkan. Karena mekanisme pemencaran merupakan cara untuk memperluas lingkup sebaran satwa. Kaidahnya dapat dimanfaatkan manusia dalam mengembangkan penyesuaian diri satwa pada lingkungannya. Pemencaran juga berperan dalam proses migrasi satwa. Salah satu aspeknya ialah navigasi. Aspek ini dapat dimanfaatkan oleh manusia dalam hal yang sama. Aspek lain dari perpencairan dan migrasi satwa ialah 'boncengan' makhluk lain. Salah satu peristiwa penting dalam bonceng-membonceng ini ialah penyerbukan. Serbuk sari yang terbawa oleh satwa akan berguna bagi tumbuhan yang bersangkutan untuk melanjutkan generasinya dan memberikan hasil bagi manusia secara terus-menerus. Biji yang ikut terbawa juga akan memperluas kawasan sebaran tumbuhan yang bersangkutan.

Bagaimana keadaannya di Indonesia? Negeri kita kaya akan jenis satwa. Tentu saja kekayaan dalam taraf jenis ini membawa serta kekayaan akan potensi dan kegunaannya. Letak geografi Indonesia memungkinkan kekayaan ini. Dalam kehidupan keseharian, kekayaan ini telah dinikmati, dilihat dari berbagai fokus: kebutuhan dasar, perdagangan, dan rekreasi adalah beberapa di antara segi kehidupan manusia Indonesia yang telah menikmati keberadaan satwa Indonesia. Secara rinci, dapat ditelaah keberadaan dan manfaat satwa Indonesia dari sudut-sudut pandang jumlah jenis yang sudah dimanfaatkan, dampak pemanfaatannya, baik yang menguntungkan maupun yang menimbulkan kerusakan pada lingkungan, persyaratan untuk dapat melaksanakan dan ramah lingkungan. Hal ini akan menyangkut Iptek yang dimiliki dan sanggup diterapkan.

Harus ada upaya menjaga daya dukung satwa agar pemanfaatannya tetap berkelanjutan. Beberapa aspek yang perlu mendapat perhatian ialah kecendrungan kondisi habitat, komunitas, dan populasi satwa, serta bagaimana mempertahankan kondisi yang menguntungkan satwa, di antaranya juga dalam memulihkan kerusakan yang telah terjadi pada habitat, komunitas

dan populasi satwa. Di sinilah peran Iptek bermain secara penuh. Jika sampai pada Iptek, pandangan tidak dapat dilepaskan dari keberadaan LIPI.

JASAD RENIK

Kelompok ini membentuk komponen keanekaragaman hayati yang penting. Perannya sangat menentukan dalam sistem penyangga kehidupan dunia. Kepentingan peran ini ditunjukkan oleh kemampuannya dalam membentuk simbiosis dengan kelompok makhluk lain, misalnya yang ditunjukkan oleh bakteri *Rhizobium*. Berdasarkan hubungan jasad renik dengan tumbuhan tinggi, keanekaragaman jasad renik juga tinggi, yang terdiri atas fungi (50%), ganggang (25%), protozoa (20%), serta bakteri dan virus (5%). Tepatnya, berapa jumlah jenis jasad renik masih terus dilakukan untuk mengungkap derajat keanekaragaman jasad renik ini.

Pada tahun 1985, Pemerintah Indonesia mengambil kebijakan penentuan prioritas tinggi pada bioteknologi. Akibatnya ialah peningkatan minat dalam penelitian terhadap jasad renik. Di Indonesia kegiatan bioteknologi berada dalam beberapa tingkatan: penelitian, pengembangan, dan produksi komersial. Sebagian kegiatan dilakukan oleh sektor pemerintah, termasuk perguruan tinggi. Masih sangat kecil keterlibatan swasta. Produksi yang dihasilkan kebanyakan berupa makanan dan minuman; hanya sebagian kecil yang menghasilkan produk lain seperti pupuk bio.

Penelitian dan pengembangan diarahkan untuk beberapa macam produk utama, yaitu fermentasi tradisional, enzim, asam organik, dan senyawa-senyawa lain. Produk fermentasi tradisional meliputi pembuatan tape, oncom, taoco, kecap, sayuran dan buah fermentasi, susu, minuman, serta cuka dan ragi. Enzim yang menjadi fokus penelitian, di antaranya ialah milase, amiloglukosidase, protease, dan selulase. Milase menarik minat karena banyak dibutuhkan dalam industri yang banyak menggunakan bahan dasar pati, sedangkan amiloglukosidase berkaitan dengan bahan pemanis. Asam organik utama yang dijadikan sasaran ialah asam asetat dan asam laktat. Perhatian terhadap asam asetat timbul karena kenyataan meningkatnya limbah industri, sedangkan asam laktat berkaitan dengan peningkatan mutu kecap.

Pengembangan pupuk bio dari jasad renik melibatkan beberapa kelompok jasad renik, yaitu penambat nitrogen, yang melibatkan penambat nitrogen secara simbiosis, bakteri bebas penambat N, dan bahan pembawa (*carrier*), serta penghasilan pupuk bio sumber fosfor. Selain itu, penelitian dan pengembangan mencakupi pula mikoriza yang bersimbiosis dengan jenis-jenis tanaman penting penghasil pangan. Yang kini mendapat perhatian besar ialah mikoriza yang berkaitan dengan kacang-kacangan, padi, dan pohon tumbuh cepat untuk keperluan penyediaan tanaman hutan industri. Sebagai akibat perkembangan industri kayu, kelompok jasad renik yang menjadi pusat

perhatian pula ialah jamur. Dengan limbah yang dihasilkan dari industri kayu ini, tersedia lah media berpotensi bagi jamur. Untuk biopestisida dikembangkan pula penelitian dan pengembangan yang melibatkan bakteri, kapang, dan virus.

Untuk dapat melaksanakan kegiatan-kegiatan tersebut, diperlukan sarana penunjang. Yang diperlukan dalam hal ini ialah koleksi jasad renik, peraturan pengamanan produk, dan hak atas kepemilikan intelektual (HAKI; *intellectual property rights*). Koleksi diperlukan, karena tanpa koleksi ini tidak ada bahan yang digarap untuk kegiatan apa pun. Di Indonesia, koleksi ini masih sangat terbatas, tersebar pada lembaga penelitian dan perguruan tinggi. Untuk mengefisiensikan koleksi ini dibentuk forum komunikasi. Pengaturan pengamanan produk dilakukan dengan legislasi. Untuk produk hasil rekayasa genetika, Indonesia telah membuat rambu-rambu pengaman dengan pedoman dan surat keputusan menteri. Untuk HAKI pun pemerintah juga telah membuat perangkat hukum yang mengamankan.

Untuk merencanakan masa depan yang baik dalam hal pengembangan pengelolaan jasad renik, beberapa pemikiran dikemukakan. Dalam penelitian dan pengembangan diutamakan identifikasi kelompok jasad renik, pemantauan kemampuan sifat, identifikasi faktor pengganggu kelestarian, pengelolaan secara baik, peningkatan penelitian, dan dorongan pemakai cara-cara baru. Yang perlu diperhatikan pula ialah penyimpanan *ex situ*. Yang penting di sini ialah penyediaan sarana dan prasarana. Kurangnya prasarana dan sarana ini menyebabkan tidak dapat dipenuhinya persyaratan koleksi jasad renik bertaraf nasional. Tidak kalah pentingnya dalam menyeosong masa depan jasad renik ialah pendidikan dan pelatihan, serta pemasarkan pemahaman akan pentingnya jasad renik. Dengan adanya pemanfaatan, yang harus diperhatikan pula ialah dampak pemanfaatan. Agar kemultidisiplinan sifat pengelolaan jasad renik ini dapat berfungsi, diperlukan pertukaran informasi dan kerja sama teknik ilmiah. Semuanya itu harus ditunjang oleh sarana dan prasarana yang memadai dan anggaran yang cakup.

SUMBER DAYA HAYATI PESISIR DAN KELAUTAN

Ekosistem pesisir dan kelautan sangat beraneka ragam. Keanekaragaman ini meliputi hutan pasang surut, mangrove, terumbu karang, padang lamun, dan estuari. Semuanya ini merupakan modal dasar untuk pembangunan.

Pendayagunaan sumber daya hayati pesisir dan kelautan mencakupi pemanfaatannya sebagai komoditi pangan, yang melibatkan kegiatan perikanan budi daya. Selain itu, sumber daya hayati ini digunakan pula untuk memenuhi kebutuhan nonpangan, misalnya sebagai penyedia ikan hias. Dalam pemanfaatan dan pengelolaan sumber daya ini digunakan kebijakan dan strategi yang sudah ada. Disadari bahwa wilayah pesisir merupakan wilayah

terdiri atas berbagai komponen. Dengan demikian, upaya pengelolaannya menjadi sektoral pula. Hal ini menyebabkan terjadinya hambatan dan timbulnya dampak buruk terhadap lingkungan dari pemanfaatannya. Oleh karena itu, diperlukan langkah penanggulangan.

Langkah yang diperlukan melibatkan peran Iptek. Pengelolaan agar pemanfaatan sumber daya hayati pesisir dan kelautan dapat berkelanjutan diperlukan teknologi tepat guna. Inilah yang harus dirumuskan. Untuk dapat dikembangkan teknologi semacam itu, harus tersedia data dan informasi yang cukup. Dengan teknologi semacam itu pula diharapkan peningkatan nilai tambah dan dapat dibukanya sumber baru.

Beberapa langkah perbaikan diusulkan dan disarankan untuk dapat dilaksanakan. Usulan dan saran ini didasarkan pada wilayah masing-masing, seperti yang disebutkan di depan, meliputi hutan rawa pasang surut, mangrove, terumbu karang, padang lamun, estuari, dan paparan benua. Untuk menghadapi abad yang akan datang, yang merupakan era industrialisasi, peningkatan Iptek sangat diperlukan. Di mana peran LIPI? Sederetan harapan ditumpukan kepada LIPI. Pertama, yang diharapkan dari LIPI ialah berperannya LIPI sebagai lembaga acuan. LIPI diharapkan menjadi *clearing house*. Penelitian dasar dan hasilnya diharapkan menjadi program utama LIPI. Begitu pula, kemampuan untuk melakukan dugaan sediaan. Secara umum, LIPI juga diharapkan mempunyai sumber daya manusia yang mampu.

