

Iptek dalam Kebijakan Energi untuk Pembangunan yang Terlanjutkan (dengan acuan khusus ke PLTU-BBF dan PLTN-Fissi)¹

Oleh: **Liek Wilardjo**

ABSTRAK

Walaupun Undang-Undang Otonomi Daerah telah resmi berlaku, kebijakan energi dan pengelolaan sumber-sumberdaya energi masih ditentukan oleh pemerintah pusat. Ragam transportasi nasional dan penggunaan bahan-bakarnya juga masih ditentukan pusat, tetapi pemerintah daerah harus mandiri dalam mengelola transportasi lokal, termasuk membangun sistem angkutan penumpang massal di kota-kota besarnya.

Alternatif bahan-bakar dan sumberdaya energi yang ramah lingkungan dan lebih menjamin keterlanjutan ditawarkan. Juga pengalihan purnapung perhatian dalam perencanaan energi dan pengelolaan sumber-sumberdaya, yakni dari sisi pasok ke sisi penggunaan-akhir.

Kata kunci: energi, fissi, fusi, sisi pasok, sisi penggunaan-akhir

Dalam masyarakat yang menerapkan iptek dalam pembangunannya, setiap keputusan yang berkenaan dengan kebijakan umum seharusnya didasarkan pada telaah mudarat-manfaat. Keputusan itu harus rasional, dengan pengertian bahwa rasionalitas mencakup pula pertimbangan moral/etika. Yang dimaksudkan dengan mudarat tentulah bukan hanya biaya finansial yang diperlukan untuk membangun atau merombak berbagai jenis instalasi dan kesengsaraan yang menimpa warga masyarakat, tetapi juga kerusakan lingkungan. Manfaat ialah peningkatan kesejahteraan masyarakat, yang — walaupun sudah ada program KB — populasinya lazimnya belum menjenuh ke tingkat keseimbangan tertentu.²

Iptekwan dapat ikut berperan dalam penentuan kebijakan publik, baik melalui sikap dan tindakan *solo*-nya sebagai cendekiawan, maupun mungkin juga melalui kegiatannya dalam LSM, himpunan profesi atau parpol. Dalam masyarakat modern, menetapkan dan melaksanakan kebijakan publik bisa berarti membahas laporan, mencermati secara tajam dan kritis suatu rencana, melontarkan komentar, memberikan konsultasi, atau terlibat dalam wawancara dan debat, serta menyajikan paparan di media komunikasi publik. Dapat pula seorang ilmuwan atau teknologawan menjadi bagian dari birokrasi pemerintahan, sebagai pejabat.

Bagaimana pun peran itu dimainkannya, kepakarannya di bidang iptek harus dimanfaatkan untuk mewujudkan tanggung jawab sosialnya. Masyarakatlah yang menempatkan ilmuwan dan teknologawan dalam kedudukan istimewanya sebagai penentu arah dan tekanan pendidikan dan kebijakan ilmu dan teknologi. Masyarakat pula yang

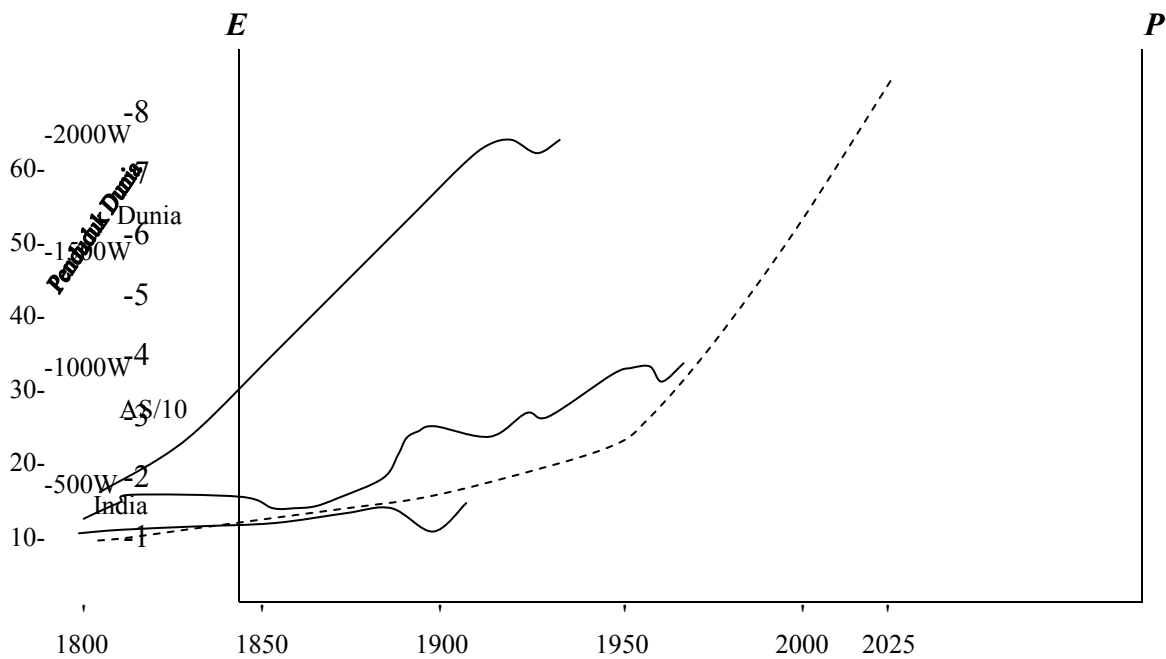
mendanai penelitian keilmuan dan pengembangan teknologi. Risiko kesalahan dalam penerapan teknologi juga ditanggung oleh masyarakat. Karena itu wajarlah dalam menghampiri ideal Bacon (ilmu demi kemaslahatan masyarakat), yang pertama dan terutama harus diketengahkan oleh ilmuwan dan teknologawan ialah tanggung jawabnya kepada masyarakat.

Iptek dipakai dalam eksplorasi dan eksploitasi sumber-sumberdaya energi, dan setiap kebijakan tentang energi pasti berdampak pada lingkungan. Karena itu, kebijakan energi harus dirumuskan dengan meneraju perimbangan antara konsumsi energi dan sumber-sumber dayanya di satu pihak, dan akibat dari pilihan tentang tingkat dan laju peningkatan konsumsi energi itu serta eksploitasi dan konservasi sumber-sumberdayanya di pihak lain. Teladan dapat dipetik dari sebuah negara yang maju dalam iptek dan narasumberdaya (*human resources*) yang menguasainya, tetapi miskin sumberdaya alam, tak terkecuali sumberdaya energi. Itulah Jepang. Di negara ini iptek dimanfaatkan dalam industri dengan memberikan insentif bagi penanaman modal dalam struktur-struktur produksi yang ramah dan jinak lingkungan (*environmentally friendly and benign*), sehingga terjadi pengalihan dana yang besar dari konsumsi individual ke pengembangan industri.

Tafsiran yang keliru atas *dominium terrae* telah mengukuhkan pandangan Barat atas alam, yakni semata-mata sebagai salah satu sarana produksi. Ini juga harus diubah. Bencana akibat kerusakan lingkungan hanya dapat kita elakkan bila kita menghormati alam, dan menerima titah Alkhalik dalam Genesis 1:28 itu sebagai perintahNya untuk memelihara alam dan memanfaatkannya secara bertanggung jawab, — juga kepada generasi mendatang.

Kebijakan Energi dan Lingkungan

Gambaran tentang perimbangan antara kenaikan konsumsi energi dan peningkatan populasi dunia selama 2¼ abad s.d. tahun 2025 diberikan oleh Boeker dan van Grondelle (1996), dalam grafik berikut:



E = konsumsi energi per kapita ($GJ/tahun$) dan dalam $W (= J/S)$
 P = jumlah penduduk dunia (miliar)

Gb. 1

Dalam grafik ini, peningkatan konsumsi energi untuk Amerika Serikat dan India juga diberikan, masing-masing mewakili negara-negara maju dan negara-negara yang sedang berkembang. Untuk masa sampai dengan tahun 1990 grafik itu didasarkan pada data aktual, sedang kecenderungan pertumbuhan penduduk selanjutnya merupakan ekstrapolasi dari data demografik.

Tampak bahwa selama satu abad sejak 1875, konsumsi energi meningkat terus dengan laju yang tetap. Dalam 25 tahun terakhir di penghujung abad ke-20, konsumsi energi itu memang tampak menjenuh, tetapi sekarang sudah meningkat lagi dengan menguatnya perekonomian Amerika Serikat yang bertumpu pada industri berbasis iptek unggulan. Populasi dunia meningkat dengan tajam mulai tahun 1950, dan dikhawatirkan akan sudah mencapai 8 milyar pada tahun 2025. Maka patut dipikirkan, sampai berapa lama lagi sumber-sumberdaya energi akan masih mampu memasok kebutuhan. Perlu pula dipikirkan kendala-kendala lingkungan apa saja yang harus diperhatikan dalam menyadap energi yang masih tersisa di dalam sumber-sumberdaya itu.

Bahan-Bakar Fossil

	Konsumsi (EJ/thn)	Sumberdaya (EJ)	Emisi CO ₂ (g/MJ)	Emisi Lain
Minyak	117	5 000	74	Tinggi
Gas Alam	72	4 000	56	Rendah
Batubara	98	17 000	104	Tinggi

Tabel 1

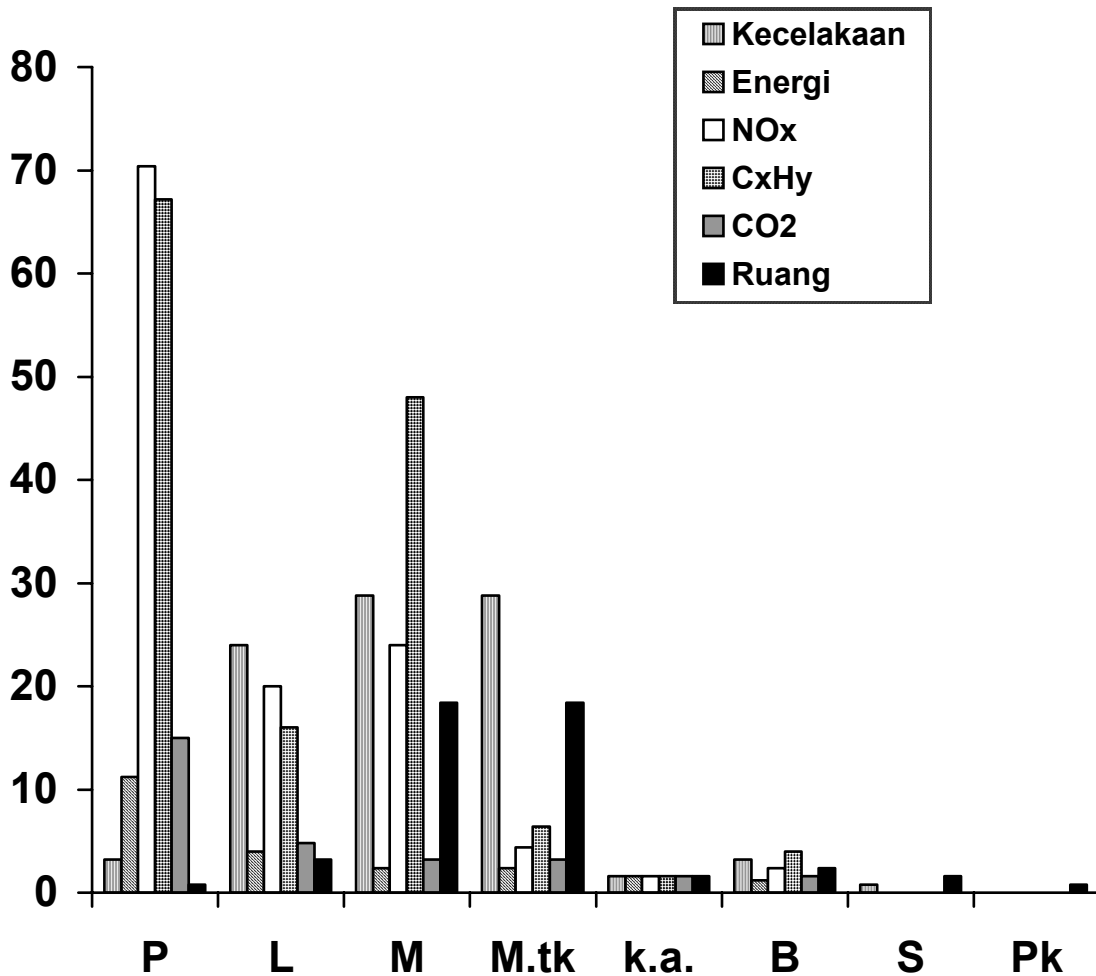
Tabel 1 memperlihatkan konsumsi bahan bakar fosil dunia dan sumber-sumberdaya yang ketersadapan cadangannya telah terbukti. Wadas minyak (*oil shales*), yang tidak ditampilkan dalam tabel yang datanya diambil dari *Energy Statistics Yearbook 1990* terbitan PBB ini, cadangannya relatif kecil, yakni 2000 EJ [*EJ = exa joule = sejuta triliun joule*; 1 *joule* kira-kira setara dengan 0,24 *calori*]. Dalam Tabel 1 juga dapat dilihat emisi CO₂ dan gas-gas serta debu buangan lainnya dari ketiga jenis BBF (bahan bakar fosil) itu. Gas-gas lainnya itu terutama SO₂ [masing-masing 0,5 dan 1,4 *g(gram)* per MJ (*mega-Joule = sejuta joule*) untuk batubara dan minyak] dan NO_x [masing-masing 0,13 dan 0,10 *g/MJ*]. Debunya berturut-turut 0,08 dan 0,10 *g/MJ* untuk batubara dan minyak, dengan catatan bahwa pada PLTU dengan BBB(atubara) masih harus ditambahkan abu sebanyak 4,4*g/MJ*.

Gas-gas hasil pembakaran BBF, seperti CO₂, CO, NO_x dan SO₂ menyebabkan efek rumah kaca dan hujan asam. Efek rumah kaca menghadirkan pemanasan global yang dapat mengubah pola perubahan iklim dan cuaca dan mengundurkan garis pantai yang landai, sedang hujan asam merusak hutan dan lahan perkebunan dan pertanian. Jelaslah bahwa nisbi terhadap kedua rekannya sesama BBF, gas alamlah yang paling bersih. Sudarmo dan Kurtubi (Kompas, 4.5.2000) menunjukkan bahwa untuk transportasi darat di Indonesia, penyulihan BBM dengan BBG akan memberikan penghematan sampai hampir Rp. 12,5 juta per tahun per mobil.

Histogram pada Gb.2, yang didasarkan pada data Jerman Barat (jadi sebelum reunifikasi 1989), yang diolah *Verkehrslub Osterreich* (IMI-nya Austria), menunjukkan bahwa untuk transportasi massal penumpang, kereta-apilah yang paling tidak membebani lingkungan. "Membebani" di sini berarti memboroskan bahan bakar, menyebabkan kecelakaan, mencemari udara dengan gas-gas dan debu buangan, dan makan tempat.

Jadi, ada cukup alasan untuk mendesakkan penggunaan kereta api dengan BBG dalam sistem angkutan penumpang umum, dan mengenakan disinsentif pada pemakai kendaraan pribadi. Sistem angkutan penumpang massal di kota-kota besar sebaiknya seperti di San Francisco dan Amsterdam, yang menggunakan "trem" (*street-car*), atau seperti di London, New York, dan sebagainya., yang menggunakan kereta api bawah tanah (*subway*). Tenaga listriknya juga harus dibangkitkan dengan BBG, kecuali kalau bisa dengan PLTA atau

dengan sumberdaya terbarukan lainnya. Kebijakan semacam ini barang tentu cenderung tak-berterima (*unacceptable*) dan tak mudah dilaksanakan. Ada *vested interest* dari kekuatan-kekuatan ekonomi yang selama ini telah meraup keuntungan dari sistem angkutan jalan raya yang merangsang nafsu bergengsi dengan mobil pribadi. Juga harus dibangun sarana (kereta api yang cepat-tepat, aman-nyaman, dan ramah-murah) dan prasarana (stasiun dengan gedung terminalnya yang bersih dan nyaman, rel jalur-banyak, dsb.) yang memadai.



P = Pesawat; L = Lori; M = Mobil; M.tk = Mobil tanpa katalis; k.a. = kereta api; B = Bus; S = Sepeda; Pk = Pejalan-kaki

Gb. 2

"Cepat" artinya seperti *Shinkansen* di Jepang atau *TGV (tres grande vitesse)* di Perancis. Bahkan kalau bisa dengan sistem levitasi magnetik seperti yang sedang dikembangkan di Jerman. "Tepat" maksudnya ialah tepat-waktu, seperti *Eurorail* di Eropa. "Aman" bukan hanya dari risiko kecelakaan, tetapi juga dari ancaman sabotase dan tindak kejahatan. Yang nyaman ialah suasana di dalam keretanya: tempat duduknya longgar, empuk dan dapat dimiringkan, udaranya segera dengan tingkat kesejukan yang "pasti", kamar kecilnya bersih dan hiburan audio-visualnya terpriipadi (*personalized*) dengan monitor pribadi dan *headphone*. "Ramah" mengacu ke baik sikap dan tutur-kata kondektur dan pramurata [*steward(ess)*], maupun pertegur-sapaan dan percakapan antar-penumpang. "Murah" artinya harga tiket dan makanan/minuman di/dari restorasi wajar dan terjangkau oleh masyarakat luas. Ini memerlukan penanaman modal jangka-panjang yang sangat besar. Walaupun begitu, kesadaran pemerintah harus digugah dan niatnya untuk mengarah ke sana harus dibangkitkan. Selanjutnya tinggal merencanakannya, mempromosikannya kepada penanam modal, dan melaksanakannya, tahap demi tahap.

Bahan-Bakar Nuklir

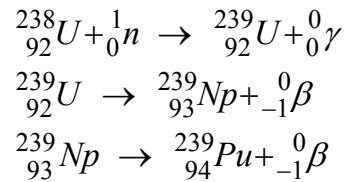
Alternatif untuk menggantikan peran BBF (bahan-bakar fosil) dalam memasok kebutuhan energi harus ditemukan. Ada dua alasannya. Pertama, BBF mencemari lingkungan, baik darat dan laut (terutama akibat tumpahan minyak), maupun udara [akibat gas-gas, debu dan abu buangan, termasuk timbel dalam metil-timbel (CH_3Pb) yang merupakan zat-tambahan antiketuk (*antiknock additive*) dalam bensin.]

Ada yang menganjurkan bahan-bakar nuklir dari bahan fissil (terbelahkan). BBN-Fi (fissil) ini, misalnya *U-235*, dipakai dalam PLT-Fiklir (Fissi Nuklir) yang "bersih", dalam arti tidak mencemari atmosfer dengan gas-gas rumah kaca, penyebab hujan asam, dan pembolong ozonosfer.

Tetapi kadar *U-235* dalam uranium alam sangat rendah, yakni hanya 0,710%. Data tahun 1990 menunjukkan bahwa PLT-Fiklir dengan reaktor termal yang berbahan-bakar uranium yang diperkaya memberikan kapasitas terpasang 344 *GWe* (*giga-Watt* daya elektrik; *G* = giga = 1 miliar), dengan sumberdaya bercadangan 2,4 *Mton* uranium (*M* = mega = 1 juta). Ini bisa menghasilkan tenaga elektrik 18.500 *GWe-tahun*, atau setara dengan 1500 *EJ* BBF. Jelas bahwa cadangan ini kecil dibandingkan dengan cadangan BBF [28.000 *EJ*, termasuk 2000 *EJ* dari wadas minyak (*oil shales*)]. Jadi, pretensi penganjur BBN-Fi untuk menyulahi BBF dengan BBN-Fi tak masuk akal. Apalagi kalau kita memakai data tahun 2000 sebagai bahan perbandingan, sebab menurut data ini kapasitas terpasangnya 400 *GWe*, dan cadangannya tinggal 1,4 *Mton* uranium, yang hanya setara dengan 900 *EJ* BBF.

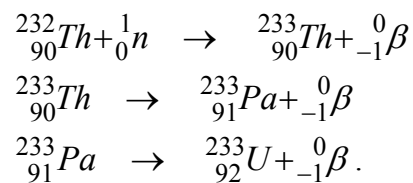
Para pendukung BBN-Fi menyodorkan "solusi"-nya, yakni beralih dari reaktor termal ke reaktor cepat pembiak (*fast breeder reactor*). Berbeda dengan reaktor termal, reaktor cepat pembiak berzat-pendingin natrium cair [*LSFBR, Liquid Sodium (-Cooled) Fast Breeder Reactor*] ini tak memerlukan moderator, sebab reaksi pembelahannya diimbaskan neutron cepat yang energi kinetiknya di atas 1 *MeV*. Yang terbelahkan pun bukan hanya *U-235*, tetapi juga *U-238*. Memang tidak semua *U-238* akan terbelah, sebab pada energi neutron

setinggi itu ada talunan yang memberikan taji-taji pada tampang-lintang tangkapan menyinar. Tetapi justru tangkapan menyinar (*radiative capture*) inilah yang memberikan pembiakan BBN-Fi baru, begini:



Pu-239 adalah BBN-Fi yang sama baiknya dengan *U-235*, baik sebagai bahan-bakar PLT-Fiklir maupun sebagai bahan-peledak senjata atom, — termasuk "pemanfaatan" (*baca: penyalahgunaan*)-nya sebagai sumbu-ledak bom fusi-delakan (bom-H).

Jadi, secara kasaran (berdasarkan data tahun 1990, dari *Energy Statistics Yearbook*, PBB) cadangan BBN-Fi itu dapat ditingkatkan dengan faktor 140, sebab kejerahan *U-238* dalam uranium alam ialah 99,28%. Maka cadangan BBN-Fi menjadi 210.000 *EJ*, yang berarti 7,5 kali lebih besar daripada cadangan BBF. Apalagi kalau yang dibiakkan bukan hanya *Pu-239*, tetapi juga bahan fissil *U-233*, begini:



India berambisi mengembangkan PLT-Fiklir dengan pembiakan *U-233* ini, sebab *Th-232* cukup jerah di alam.

Ya, tetapi perbandingan antara BBF dan BBN-Fi di atas baru dari segi besarnya sumberdayanya dan pencemaran yang menyebabkan pemanasan global, hujan asam, dan lubang di lapisan ozon. Dalam hal ini, BBN-Fi memang tampak "di atas angin". Tetapi bagaimana dengan kesulitan pengelolaan limbah nuklir, risiko musibah di sepanjang daur BBN-Fi yang berpotensi menimbulkan pencemaran radioaktif, dan proliferasi senjata nuklir, dan bagaimana pula dengan radiotoksisitas *Pu-239* yang sangat "maut"?

"Solusi" untuk masalah limbah nuklir aras-tinggi dan umur-panjang itu memang sudah digagas, dan pada dasarnya memang masuk-akal secara keilmuan (*scientifically plausible*). Itulah rubriatron, peranti yang digagas pemenang Nobel Fisika, Carlo Rubia, untuk menyulap limbah PLT-Fiklir dan bahan-bakar bekasnya, yang sangat radioaktif, menjadi bahan yang tak berbahaya. Secara keilmuan, ini memang bukan hal yang mustahil. Namun keterlaksanaannya (*feasibility*)nya secara teknologis dan ekonomis masih tertutup oleh tanda tanya yang amat besar!

Penyelesaian Jangka-Pendek dan Jangka-Panjang

Dari uraian di atas, "kata kunci" untuk menghadapi masalah penerapan iptek dalam penyediaan energi ialah **konservasi**. Ini berarti ya penghematan, ya peningkatan efisiensi. Ini berlaku untuk semua sumberdaya energi, baik untuk jangka pendek, maupun jangka panjang. Konservasi ini jangan hanya di sisi pasok (*supply side*), tetapi juga — dan terutama justru — di sisi penggunaan akhir (*end-use side*).

Dalam jangka pendek, karena BBF terpaksa masih harus dipakai, dianjurkan untuk menggunakan teknologi pembangkitan yang lebih efisien dan lebih bersih. Dalam PLTU-BBB(atubara), misalnya, sebaiknya dipakai "pembakaran dipan terzalir" (*fluidized-bed combustion*). Melalui sistem insentif yang tepat dan dengan advokasi kelompok-kelompok penekan, penyulihan BBB dan BBM dengan BBG harus digalakkan dan dipercepat. PLT-Fuklir jangan dikembangkan, dan yang sudah ada pun sebaiknya dihapus secara bertahap (*phased-out*), seperti di Swedia, Austria, dsb.

Dalam prospek jangka-panjang, ada dua jenis sumberdaya yang bersih dan cadangannya besar, yang harus dilitbang terus cara-cara penjinakan dan penyalurannya. Kedua sumberdaya energi ini ialah sumberdaya energi terbarukan (*renewable*) dan sumberdaya yang memberikan BBN-Fu(sil). Yang pertama, yang menurut data PBB tahun 1990 hanya (atau lebih tepatnya: baru) memberikan hampir 18% dari konsumsi energi total (sebesar 378 EJ/tahun), tentu dapat ditingkatkan, asal motivasi dan insentif diberikan untuk pengembangannya. Pasokan daya dari matahari yang jatuh ke permukaan bumi sebenarnya besar sekali, yakni 3,8 juta EJ/tahun, tetapi penyalurannya secara langsung memang sulit, sebab daya ini sangat tersebar. Tetapi "pemanen"-nya melalui fotosintesis dan daur air dalam sistem iklim dan cuaca global dapat dilakukan dengan efisiensi yang lebih tinggi. Ini meliputi pula teknologi yang belum cukup dikembangkan dan dimanfaatkan, yakni konversi energi termal samudra atau KETSa (*OTEC = Ocean Thermal Energy Conversion*).

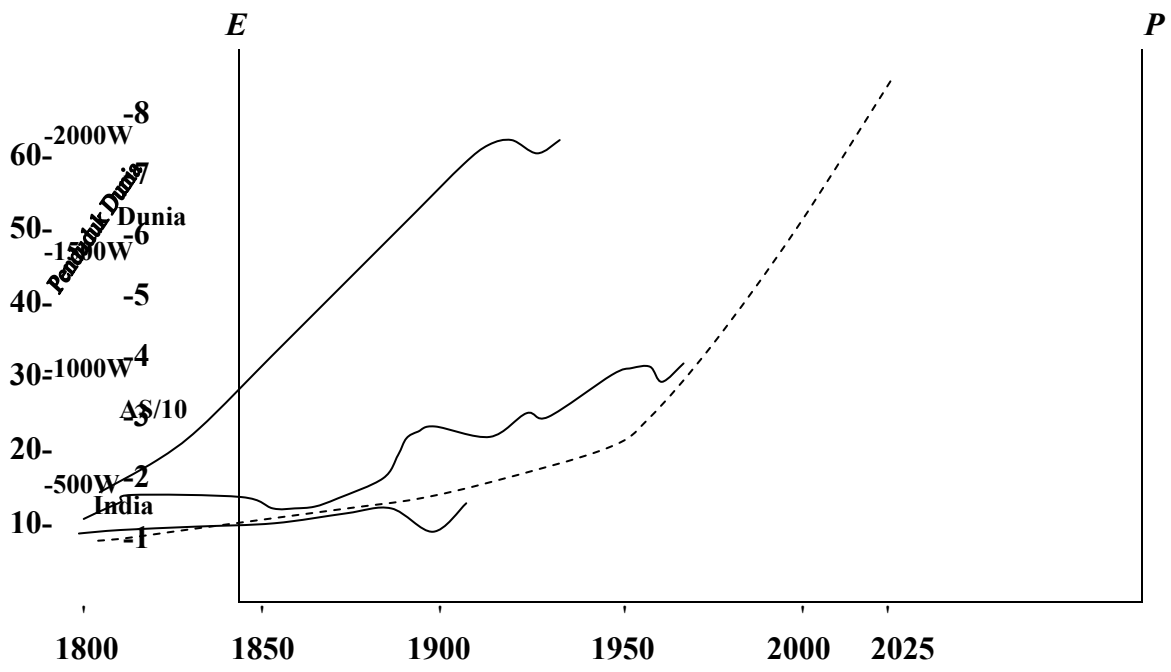
Penyalurannya secara lebih langsung, seperti yang dilitbangnya sekarang ini sedang digarap Jepang, yakni SPS-2000, kalau pun tidak didukung ya jangan dihalangi. SPS-2000 (*Solar Power Satellite 2000*) adalah "mega"-proyek Jepang yang sangat ambisius untuk menangkap cahaya matahari dengan panel raksasa (seluas 1,75 ha) yang dibawa satelit di "ebur" (edaran bumi rendah atau *LEO, low earth orbit*) dengan altitudo 1000 km. Energi surya itu diubah menjadi mikrogelombang berfrekuensi 2,45 GHz dan dipancarkan ke rangkaian *rectenna* (sistem antena penerima) sekeliling sabuk katulistiwa. Di stasiun-stasiun penerima itulah tenaga mikrogelombang ini dipakai untuk membangkitkan daya elektrik.

Yang kedua, yakni pengembangan (dan pada waktunya nanti juga pemanfaatan) PLT-Fuklir (Fusi Nuklir) juga perlu didukung. Sebagai negara yang sedang berkembang yang miskin narasumberdaya unggul dan sekarang terlilit hutang, kita memang tidak mampu berperan-serta dalam litbang fusi nuklir. Tetapi setidaknya-tidaknya kita dapat mulai mensosialisasikannya dan dengan demikian mempersiapkan masyarakat kita untuk menyambut kehadirannya. PLT-Fuklir ini *bersih, aman, dan cadangan bahan bakarnya melimpah ruah* (Wilardjo, Kompas edisi HUT ke-35, Mei 2000).

=====

Acuan:

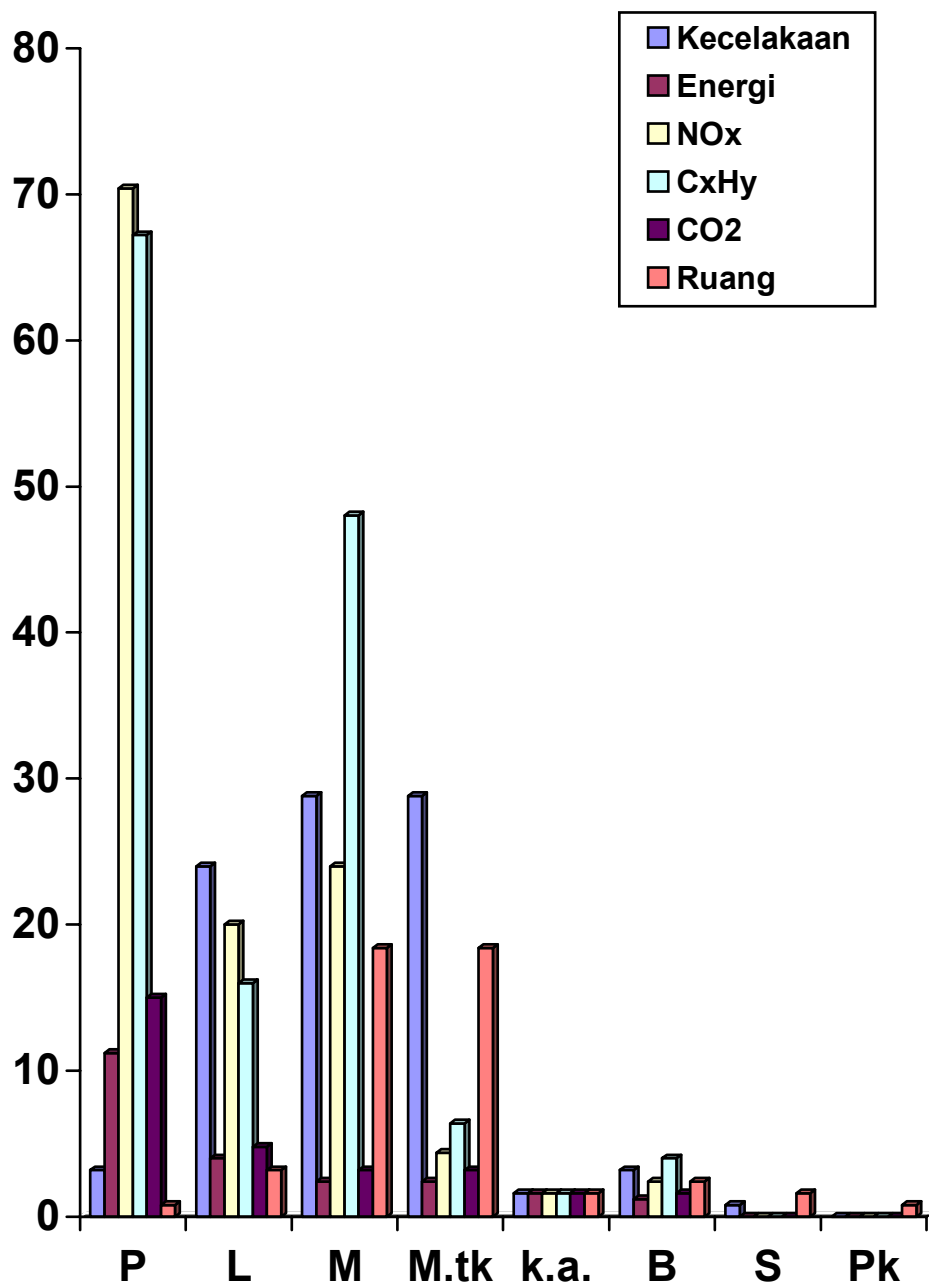
1. **Boeker, E. & R. van Grondelle:** *Environmental Physics*, John Wiley & Sons, Chichester, 1996, Ch.8
2. **Kristiadji, H.:** *Pembangkit dan Penguat Daya Mikrogelombang 2,45 GHz untuk Spacetenna Sistem SPS-2000*, Skripsi S₁, Fakultas Teknik UKSW, Salatiga, Juli 1997 (di bawah bimbingan Dr. Eng. Y. Purwanto & Prof. L. Wilardjo, Ph.D., D.Sc.)
3. **Soedarmo, S. & Kurtubi:** *Bahan Bakar Gas, Solusi untuk Mengatasi Masalah Energi*, KOMPAS 4 Mei 2000
4. **Wilardjo, L.:** *Menanti Kehadiran Fusi Suhu Tinggi*, Kompas, edisi HUT ke-35, Mei 2000.



E = konsumsi energi per kapita ($GJ/tahun$) dan dalam $W (= J/S)$

P = jumlah penduduk dunia (miliar)

Gb. 1



**P = Pesawat; L = Lori; M = Mobil; M.tk = Mobil tanpa katalis;
 k.a. = kereta api;
 B = Bus; S = Sepeda; Pk = Pejalan-kaki**

Gb. 2

	Konsumsi (EJ/thn)	Sumberdaya (EJ)	Emisi CO₂ (g/MJ)	Emisi Lain
Minyak	117	5 000	74	Tinggi
Gas Alam	72	4 000	56	Rendah
Batubara	98	17 000	104	Tinggi

Tabel 1

Cadangan dengan teknologi kini					
	Kapasitas terpasang (GWe)		<i>Mton U</i>	Gwe- Tahun	Setara Fosil (EJ)
1990	344	Pasti	2.4	18.500	1.500
2000	400	Taksiran	1.4	11.000	900

Tabel 2

¹ Makalah, disajikan dalam "Konferensi Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam" diselenggarakan Panitia Konferensi Nasional Sumberdaya Alam di Jakarta 23 – 25 Mei 2000

² Pertumbuhannya sekarang masih 1,6 % (4 juta jiwa) per tahun.