

# MARI BICARA ANGKA, BUKAN "KATANYA..."

SUSTAINABLE ENERGY – WITHOUT THE HOT AIR  
DAVID J.C. MACKAY  
DISADUR OLEH LAURENS SIPAHELUT

## ENERGI LESTARI – TANPA CAKAP ANGIN


Ketika David MacKay menulis bukunya yang berjudul *Sustainable Energy – without the hot air* (Energi Lestari – Tanpa Cakap Angin), dia sengaja tidak menyentuh topik perubahan iklim. Soalnya, di sejumlah kalangan tertentu pertanyaan "Apakah perubahan iklim beneran terjadi?" merupakan pertanyaan polemis. Setali tiga uang dengan pertanyaan "Apakah penyebabnya kita manusia?" dan "Apa iya ini penting?", lalu pertanyaan wajib: "Jadi apa dong yang harus dilakukan?"

Bagi MacKay, energi lestari tok sebenarnya sudah cukup menarik untuk dibahas, dan selain itu ada baiknya untuk menghindari saja yang namanya polemik. Menurut MacKay, "Untuk apa memikirkan kapan bahan bakar fosil akan habis, untuk apa memikirkan apa iya perubahan iklim beneran terjadi kalau toh mengonsumsi bahan bakar fosil saja sudah bukan langkah yang lestari. Lebih baik kita pikirkan saja bagaimana kita bisa hidup secara lestari, dan mencari tahu berapa sih sebetulnya energi lestari yang tersedia."

Di Inggris, MacKay membagi 80% waktu kerjanya pada Departemen Energi dan Perubahan Iklim ([www.decc.org.uk](http://www.decc.org.uk)) sebagai Kepala Penasihat Bidang Keilmuan dan 20% pada Jurusan Fisika Universitas Cambridge sebagai pengajar. Dia menulis bukunya lantaran prihatin dengan banyaknya "Katanya..." yang beredar terkait energi lestari. Bagaimana tidak: ada saja yang mengimbau kita untuk setop menggunakan bahan

bakar fosil, untuk "membuat suatuperubahan", tetapi banyak hal yang konon bisa membawa perubahan ternyata tak jelas juntrungannya. Lantas beredarnya berbagai "Katanya..." saat ini tak lain dan tak bukan adalah karena orang berbicara dengan emosi (soal daya nuklir atau soal ladang angin, misalnya), sementara yang berbicara angka tidak ada. Dan kalau ada yang menyebut angka, mereka memakainya untuk menciptakan kesan tertentu, atau untuk mengungguli debat alih-alih untuk membangun diskusi yang berfaedah.

Jadi, mari kita bicara angka, bukan "Katanya...". Mari kita hindar apa yang MacKay sebut sebagai cakap angin, dan mari kita tetapkan aksi-aksi yang beneran bisa membawa perubahan. Sebelum kita melanjutkan, perlu diketahui bahwa *Mari Bicara Angka, Bukan "Katanya..."* yang kamu lagi pegang ini merupakan versi ringkas buku karya David MacKay:

 **DAVID J.C. MACKAY.**  
**SUSTAINABLE ENERGY WITHOUT THE HOT AIR. UIT CAMBRIDGE, 2008. ISBN 978-0-9544529-3-3.**  
**AVAILABLE FREE ONLINE FROM**  
**[WWW.WITHOUTHOTAIR.COM](http://WWW.WITHOUTHOTAIR.COM)**

**Versi lengkapnya (dalam bahasa Inggris) bisa kamu unduh lewat pranala di atas tanpa dipunguti biaya.**

## SYARAT DAN KETENTUAN

Di sini kita akan mengukur konsumsi dan produksi energi dalam satuan kilowatt-jam. **Satu kilowatt-jam** (kWh) setara dengan energi yang dipakai oleh satu bohlam **40 W** yang dibiarkan menyala terus-menerus selama **24 jam**. Orang Eropa mengonsumsi 125 kWh per hari per orang, atau setara dengan 125 bohlam yang dibiarkan menyala terus-menerus sepanjang hari. Orang Amerika memakai 250 kWh per hari: 250 bohlam. Konsumsi energi rata-rata di dunia adalah 56 kWh per hari per orang: 56 bohlam. Energi kimia dalam makanan yang kita konsumsi sehari-hari berjumlah kurang lebih 3 kWh. Membawa sebuah mobil kelas menengah sejauh 100 kilometer menghabiskan bensin sebanyak 80 kWh.

Kita butuh angka-angka simpel macam ini. Kenapa? Karena mereka mudah dipahami, mudah dibandingkan, dan mudah diingat. Sehingga, asumsi pertama yang harus diingat di sini adalah: angkaangka yang disajikan merupakan **perkiraan kasar**

KAWASAN	JUMLAH PENDUDUK	LUAS WILAYAH (KM <sup>2</sup> )	JUMLAH ORANG PER KM <sup>2</sup>	LUAS WILAYAH PER ORANG (M <sup>2</sup> )
INGGRIS	59.500.000	244.000	243	4.110
INDONESIA	241.000.000	1.910.000	126	7.930

Tabel 1.1. Wilayah dan penduduk dalam angka untuk Inggris dan Indonesia (per tahun 2005)

## PERSOALAN PERUBAHAN IKLIM = PERSOALAN ENERGI

Apakah krisis energi terjadi dalam waktu relatif dekat? Ada yang bilang tidak, ada yang bilang ya. Mereka dalam kubu "tidak" hakulyakin semuanya baik-baik saja: "tidak ada apa-apa, persediaan energi melimpah".

Namun, mereka dalam kubu "ya" hakulyakin Akhir Zaman Minyak Bumi sudah dekat dan seandainya hari ini juga kita beralih ke nuklir (sebagai pengganti minyak bumi), maka sesungguhnya kita cuma menunda kiamat karena begitu dalam waktu dua puluh tahun cadangan uranium habis terpakai maka krisis nuklirlah yang terjadi. Dalam kubu "ya" sendiri orang juga belum tentu seia sekata: benar mau pindah ke nuklir? Kenapa enggak ke angin?

Tetapi, kenapa juga orang ribut-ribut soal energi? Ada tiga alasan.

Pertama, bahan bakar fosil (BBF) merupakan sumber daya terbatas. Jadi, mau tidak mau tidak mau kita harus mencari sumber energi alternatif.

Kedua, setiap negara pasti ingin mengamankan pasokan energinya agar tidak perlu menggantungkan diri kepada pasokan negara lain. Ketiga, pemakaian BBF ditengarai kuat membawa perubahan iklim.

**BAHAN BAKAR FOSIL ADALAH BAHAN BAKAR BERUPA HIDROKARBON (MOLEKUL YANG DIBANGUN OLEH KARBON [C] DAN HIDROGEN [H]). IA DISEBUT BAHAN BAKAR FOSIL KARENA KARBON YANG TERKANDUNG DI DALAMNYA BERSUMBER DARI PENGURAIAN FLORA DAN FAUNA YANG HIDUP JUTAAN TAHUN LALU. TIGA BBF TERPENTING: BATU BARA, MINYAK BUMI, DAN GAS ALAM.**

Penyebab utama perubahan iklim ialah meningkatnya efek rumah kaca yang diciptakan oleh karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Sebagian besar emisi CO<sub>2</sub> timbul akibat pembakaran BBF, dan alasan utama kita membakar BBF ialah untuk mendapatkan energi. Jadi, untuk mengatasi perubahan iklim ini kita harus

demi penyederhanaan.

Asumsi lain yang harus diingat: kita akan memakai Inggris Raya sebagai latar cerita karena Inggris Raya bisa mewakili negara-negara Eropa dengan baik, sehingga ia menjadi contoh yang baik pula untuk menjawab pertanyaan "Bagaimana caranya agar sebuah negara yang bertaraf hidup tinggi bisa mendulang kebutuhan energinya secara lestari?"

Selain itu, kita akan menyingkat **Inggris Raya** menjadi Inggris, juga demi penyederhanaan. Jadi, setiap kali kamu menjumpai tulisan **Inggris**, yang dimaksud adalah Inggris Raya (*United Kingdom*).

Terakhir, sejumlah perhitungan dibuat dengan memakai angka-angka yang tercantum pada Tabel 1.1 di atas untuk Inggris. Akan tetapi, tolong diingat bahwa walaupun yang akan kita bahas sumber-daya terbaruan yang ada di Inggris, pendekatan yang sama juga bisa kita terapkan pada Indonesia, tetapi tentu dengan menggunakan angka-angka yang berlaku untuk Indonesia.

mencari jalan baru untuk mendapatkan energi.

**PERSOALAN PERUBAHAN IKLIM SEJATINYA PERSOALAN ENERGI:**

- 1. PEMBAKARAN BBF MENYEBABKAN KONSENTRASI CO<sub>2</sub> NAIK.**
- 2. CO<sub>2</sub> MERUPAKAN SALAH SATU GAS RUMAH KACA.**
- 3. PENINGKATAN EFEK RUMAH KACA MENINGKATKAN SUHU RATA-RATA DUNIA.**

Konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam atmosfer mengalami peningkatan. Itu fakta. Dari pengukuran udara yang terperangkap di dalam inti es selama seribu tahun diketahui bahwa konsentrasi CO<sub>2</sub> tidak pernah melebihi 300 ppm, tetapi begitu memasuki abad ke-19 angkanya tiba-tiba melonjak tajam – sebuah tren yang masih berlanjut hingga sekarang.

**KONSENTRASI CO<sub>2</sub> SEBELUM REVOLUSI INDUSTRI KURANG LEBIH 280 PPM. SEKARANG: 385 PPM.**

Rupanya ada sesuatu yang terjadi pada abad ke-19. Dan benar saja, lonjakan tajam tersebut disandingi oleh Revolusi Industri, sebuah periode antara 1760 dan 1840 kala terjadinya peralihan pada proses-proses manufaktur baru.

**PADA 1769, JAMES WATT MEMATENKAN MESIN UAPNYA YANG ANTARA LAIN DIPAKAI UNTUK MEMOMPA KE LUAR AIR DARI DALAM TAMBANG BATU BARA – PRODUKSI BATU BARA DAN PELEPASAN CO<sub>2</sub> SEBAGAI HASIL PEMBAKARAN BATU BARA PUN MEROKET.**

Pada 1800, batu bara dipakai untuk membuat besi, membuat kapal, menghangatkan bangunan, menjalankan lokomotif dan mesin lainnya, dan juga untuk menjalankan mesin uap Watt (yang kian melancarkan pengerukan batu bara dari bawah permukaan Inggris).

**PADA MASA AWAL REVOLUSI INDUSTRI, JUMLAH KARBON DI DALAM BATU BARA**

**YANG TERDAPAT DI BAWAH KOLONG INGGRIIS KURANG LEBIH SETARA DENGAN JUMLAH KARBON DI DALAM MINYAK YANG TERDAPAT DI BAWAH KOLONG SAUDI ARABIA.**

Dari Inggris, Revolusi Industri menyebar ke Amerika Serikat dan Eropa Barat. Selama periode ini, dan untuk pertama kalinya dalam sejarah, jumlah penduduk dan pendapatan per kapita meningkat secara berbarengan.

**ANTARA 1769 DAN 2006, PRODUKSI TAHUNAN BATU BARA NAIK 800 KALI LIPAT. DAN ANGKA INI MASIH TERUS MENINGKAT. PEMBAKARAN BBF SEJATINYA PENYEBAB UTAMA KONSENTRASI CO<sub>2</sub> NAIK DAN SAMPAI SEKARANG BATU BARA MASIH TAMPIL SEBAGAI RAJA EMISI CO<sub>2</sub>.**

Meskipun sudah diberi tahu mengenai hal-hal di atas, masih ada juga orang yang sangsi. Dalih mereka, CO<sub>2</sub> yang dipompa oleh biosfer dan samudra dunia ke dalam atmosfer jauh lebih besar ketimbang yang dihasilkan oleh kegiatan manusia. Menurut mereka, kontribusi CO<sub>2</sub> manusia tidaklah sebesar yang dikira, tidak sampai sebegitunya peranan dan pengaruh manusia terhadap alam.

Mereka tidak salah: arus alam CO<sub>2</sub> betul lebih besar ketimbang arus buatan yang ditambahkan oleh manusia semenjak 200 tahun silam ketika kita mulai membakar bahan bakar fosil secara besar-besaran. Akan tetapi, yang luput mereka sebut ialah arus CO<sub>2</sub> yang dalam jumlah yang hampir sama besar mengalir *kembali* dari atmosfer ke dalam biosfer dan samudra dunia. Dengan begitu, tidak masalah apakah arus alam ternyata lebih besar daripada arus buatan karena arus-masuk dan arus-keluar alam *saling meniadakan satu sama yang lain*. Hasilnya, selama beberapa ribu tahun terakhir konsentrasi CO<sub>2</sub> di dalam atmosfer *konstan*. Lalu, begitu kita menambahkan sebuah arus *baru* CO<sub>2</sub>, arus buatan tersebut, betapapun kecilnya, *tidak dapat ditiadakan* oleh arus alam karena arus alam tidak bisa mengolah beban ekstra yang dilimpahkan kepadanya. Jadi, kontribusi manusia ternyata cukup penting juga.

Lalu, bagaimana kalau ada orang sangsi yang bilang: "Karbon kan bagian dari alam? Karbon itu ya hidup itu sendiri, bukan?" Seandainya emisi CO<sub>2</sub> tidak berbahaya, maka pernyataan tersebut sungguh benar sekali. Masalahnya, CO<sub>2</sub> merupakan gas rumah kaca (GRK) – memang bukan GRK yang tersakti, tetapi ia cukup diperhitungkan.

GRK menyerap radiasi inframerah (bahang) yang memancar ke luar dari bumi dan memantulkannya kembali secara acak. Pengalihan kembali lalu lintas bahang atmosferis secara acak tersebut menahan arus bahang dari bumi; mirip-mirip dengan selimut. Jadi, GRK memiliki dampak pemanasan. Mereka seperti selimut dan CO<sub>2</sub> merupakan salah satu lapis pada selimut tersebut.

Kalangan ilmuwan memprakirakan meningkatnya konsentrasi CO<sub>2</sub> hingga dua kali lipat memiliki dampak yang sama dengan apabila intensitas matahari dinaikkan 2%, yang akan menaikkan suhu dunia hingga 3°C. Terakhir hal semacam ini diketahui terjadi ialah 100.000 tahun yang lalu.

**ADA TIGA GRK UTAMA: KARBON DIOKSIDA, METANA, DAN DINITROGEN OKSIDA.**

"Karbon dioksida ekuivalen" (CO<sub>2</sub> *equivalent* atau CDE) suatu gas rumah kaca didasarkan pada potensi pemanasan global (*global warming potential* atau GWP) gas tersebut. GWP suatu gas diartikan sebagai pemanasan yang disebabkan dalam 100 tahun oleh emisi satu ton gas tersebut dibandingkan secara

relatif terhadap pemanasan yang disebabkan dalam kurun waktu yang sama oleh emisi satu ton CO<sub>2</sub>.

Contoh:

Karena GWP metana 25, maka pengurangan emisi metana sebesar satu ton setara dengan pengurangan emisi CO<sub>2</sub> sebanyak 25 ton, sehingga CDE metana 25 ton. Dengan cara yang sama didapatkan bahwa CDE N<sub>2</sub>O ialah 298 ton.

**SATU TON CDE BIASA DISINGKAT "1 T CO<sub>2</sub>E": SATU MILIAR TON (SERIBU JUTA TON) DISINGKAT "1 GT CO<sub>2</sub>E" (SATU GIGATON).**

Pada tahun 2000, emisi GRK dunia mencapai kurang lebih

34 Gt CO<sub>2</sub>e per tahun. Angka yang besar, tapi apa artinya? Sekarang coba kita bagi angka tersebut dengan jumlah penduduk bumi sebesar 6 miliar jiwa. Yang kita peroleh sekarang ialah polusi GRK *per orang* sebesar 5,5 ton CO<sub>2</sub>e per tahun per orang.

Masalahnya, tidak semua orang memancarkan emisi dalam jumlah yang sama sebesar 5,5 ton CO<sub>2</sub>e per tahun. Ingat, angka 5,5 ini merupakan angka rata-rata. Emisi si Mambu di Kongo jauh di bawah emisi si Jack di Australia, mereka menyorankan dunia memangkas emisi hingga 70% atau 85% per tahun 2050. Ini merupakan pemangkasan yang drastis; tak ayal, pendekatan terbaik ialah untuk *sekalian meninggalkan dan melupakan saja yang namanya bahan bakar fosil*. Penyebab terbesar emisi GRK ialah *pemakaian energi*. Mungkin ada yang sangsi dan ogah mengubah pola konsumsi energinya dengan alasan bahwa "toh pemanasan akibat gas metana dari serwada ternak lebih gede ketimbang saya naik pesawat terbang." Boleh jadi itu benar. Masalahnya, menurut data tahun 2000, kontribusi hasil-ikutan pertanian kepada emisi GRK cuma seperdelapan bagian; kontribusi penggunaan energi: tiga-perempat bagian. Persoalan perubahan iklim sejatinya persoalan energi.

**NEGARA DENGAN EMISI PER KAPITA TERBESAR:**

1. AUSTRALIA
2. AMERIKA SERIKAT
3. KANADA
4. NEGARA-NEGARA EROPA (IRLANDIA, BELANDA, RUSIA, JERMAN, INGGRIIS)
5. JEPANG
6. AFRIKA SELATAN

Pertanyaannya sekarang ialah, siapa saja kalau begitu yang harus memikul tanggung jawab ekstra dalam mengurangi emisi GRK? Begitu berbicara soal tanggung jawab pengurangan emisi GRK, faktor yang harus kita pertimbangkan bukan angka polusi CO<sub>2</sub> per kapita seperti yang kita lakukan di atas. Pertanyaan yang harus kita jawab bukan negara mana saja yang penduduknya memompa polusi terbesar ke dalam atmosfer saat ini. Bukan. Yang harus kita cari tahu ialah *jumlah* emisi secara *kumulatif*. Pasalnya, kurang lebih sepertiga emisi CO<sub>2</sub> menggantung di dalam atmosfer selama paling tidak 50 atau 100 tahun lamanya.

Untuk bisa menjawab pertanyaan negara mana saja yang paling bertanggung jawab, kita terlebih dahulu harus mencari tahu jejak historis setiap negara. Kalau kita mengurutkan emisi CO<sub>2</sub> kumulatif setiap negara untuk kurun waktu 1880-2004, maka yang masuk tiga besar ialah: Amerika Serikat, Inggris, dan Jerman. Di Asia Jepang juaranya – China, Indonesia, dan India belum ada apa-apanya. Sekarang setelah biang keladnya ketahuan, tindakan apa yang menurut para ilmuwan harus kita ambil untuk mencegah suhu bumi naik 2°C? (Di atas kenaikan 2°C mereka memprakirakan akan terjadi banyak hal yang kurang

GRK	GWP
KARBON DIOKSIDA (CO <sub>2</sub> )	1
METANA (CH <sub>4</sub> )	25
DINITROGEN OKSIDA (N <sub>2</sub> O)	298

Tabel 2.1. GWP untuk tiga GRK sebagaimana dilansir oleh Konvensi Kerangka Kerja PBB tentang perubahan iklim (UNFCCC)

sedap.) Jawabannya ringkas saja: pangkas konsumsi BBF kita. Dengan segera pula.

**DUA SKENARIO PENGURANGAN EMISI DUNIA**

**SKENARIO 1**

**SEANDAI PENGURANGAN EMISI TELAH KITA MULAI PER 2007, DAN SABAN TAHUN EMISI DUNIA KITA PANGKAS HINGGA KURANG LEBIH 5%. KEMUNGKINAN SUHU DUNIA AKAN NAIK DI ATAS 2°C MENCAIPI 9-26%.**

**SKENARIO 2**

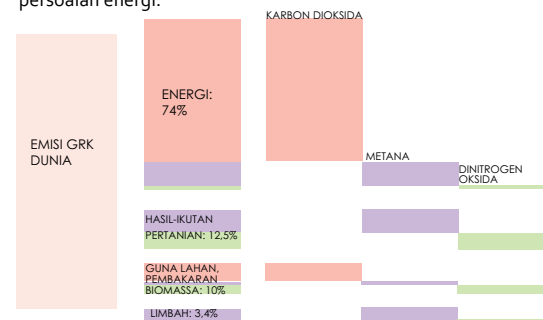
**KITA MEMULAI PENGURANGAN EMISI SEDIKIT TELAT, JADI BUKAN PER TAHUN 2007, DAN EMISI DUNIA KITA PANGKAS 4% PER TAHUN. KEMUNGKINAN SUHU DUNIA AKAN NAIK DI ATAS 2°C: 16-43%.**

**SUMBER:**

**BAER DAN MASTRANDREA (2006) DALAM SEBUAH LAPORAN INSTITUTE FOR PUBLIC POLICY RESEARCH.**

Menurut perkiraan para ahli iklim, seumpama per tahun 2050 emisi dunia berhasil kita pangkas secara bertahap hingga 60%, kemungkinannya tetap cukup besar bahwa suhu dunia akan naik di atas 2°C. Untuk amannya, mereka menyarankan dunia memangkas emisi hingga 70% atau 85% per tahun 2050. Ini merupakan pemangkasan yang drastis; tak ayal, pendekatan terbaik ialah untuk *sekalian meninggalkan dan melupakan saja yang namanya bahan bakar fosil*.

Penyebab terbesar emisi GRK ialah *pemakaian energi*. Mungkin ada yang sangsi dan ogah mengubah pola konsumsi energinya dengan alasan bahwa "toh pemanasan akibat gas metana dari serwada ternak lebih gede ketimbang saya naik pesawat terbang." Boleh jadi itu benar. Masalahnya, menurut data tahun 2000, kontribusi hasil-ikutan pertanian kepada emisi GRK cuma seperdelapan bagian; kontribusi penggunaan energi: tiga-perempat bagian. Persoalan perubahan iklim sejatinya persoalan energi.



Gambar 2.1. Rincian emisi GRK (2000) menurut jenis dan sumber. "Energi" mencakup pusat listrik, proses industri, transportasi, pengolahan BBF, dan pemakaian energi di dalam bangunan. "Guna lahan, pembakaran biomassa" berarti perubahan pada guna lahan, deforestasi, dan pembakaran biomassa yang tak diperbarukan seperti gambut. "Limbah" mencakup pembuangan dan penanganan limbah. Ukuran menandakan potensi pemanasan global 100 tahun masing-masing sumber. Sumber: Emission Database for Global Atmospheric Research.

## MANA AKSI KAMU?

Kita akan memasuki bagian yang melulu mengurus hal-hal pada skala besar yang penanganannya mesti berlangsung di level kebijakan. Akan tetapi, sebelum melangkah ke sana ada baiknya kita bertanya dulu apa yang bisa kita lakukan pada ranah pribadi, yakni aksi apa saja yang bisa dilakukan oleh *kamu* di rumah atau di kantor untuk menghemat energi. Selain itu, di

bagian ini kita juga akan meluruskan sedikit pemahaman keliru terkait "ekonomi hidrogen". Ini dia, delapan aksi simpel yang bisa kamu lakukan:

AKSI KAMU	PENGHEMATAN
Sebanyak 60% biaya listrik bulanan kantor atau rumah ialah untuk pemakaian AC. Cara menghematnya, setel AC pada suhu ideal ruangan (24°-26°C). Menurut Green Building Council Indonesia, menurunkan AC 1°C bisa menghemat biaya listrik sampai 6%. Selain itu, bersihkan AC secara rutin. <sup>1)</sup>	6% <sup>1)</sup>
Biaya listrik bulanan untuk kantor atau rumah ialah untuk penerangan mencapai 22%. Untuk mengurangi tagihan listrik, matikan lampu apabila tidak digunakan atau apabila tidak ada orang di ruangan. Bersihkan lampu secara rutin agar tidak terhalang debu dan selalu gunakan lampu berteknologi hemat energi, kalau perlu gunakan yang memiliki sensor gerak. <sup>1)</sup>	4 kWh/hari
Cermati penggunaan komputer. Sebanyak 12% beban biaya listrik yang dikeluarkan per bulan berasal dari penggunaan peralatan kantor seperti komputer. Agar lebih hemat listrik, aktifkan pengaturan hemat energi pada perangkat komputer. Selalu matikan komputer apabila ditinggalkan atau selesai dipakai. Bila ada, gunakan Smart Power Strip untuk membantu penghematan listrik. <sup>1)</sup>	20%-30%
Jangan naik pesawat terbang.	35 kWh/hari
Kurangi frekuensi berkendara, berkendaraalah lebih pelan, berkendaraalah lebih halus, lakukan carpool (ramai-ramai menumpang mobil teman), gunakan sepeda, berjalan kaki, gunakan bus atau kereta.	20 kWh/hari
Jangan pensiunkan gawai lama secara dini (komputer, dsb.); pakailah selagi masih bisa dipakai	4 kWh/hari
Jangan membeli barang yang akan menjadi mubazir. Hindari kemasukan.	20 kWh/hari
Anut gaya hidup vegetarisme enam hari dalam seminggu.	10 kWh/hari

<sup>1)</sup> Sumber: finance.detik.com

Gambar 3.1. Apa yang bisa kita lakukan di ranah pribadi? Detapan langkah simpel, berikut perkiraan kasar jumlah penghematannya, yang bisa dilakukan di rumah dan di kantor. Angka-angka yang dicantumkan berlaku untuk konsumen dengan taraf konsumsi di atas rata-rata.

Selesai membaca beberapa bagian di sini kamu akan lebih paham soal angka-angka yang diberikan di atas, khususnya yang bersatuan kWh/hari. Lalu, bisakah "ekonomi hidrogen" menyelesaikan persoalan energi kita semudah mengucapkan abrakadabra?

Sesungguhnya, saat ini, dari sisi energi, kendaraan hidrogen sama sekali belum memberikan andil. Kebanyakan kendaraan hidrogen purwarupa justru memakan lebih banyak energi daripada kendaraan konvensional yang mereka gantikan.

Yang menggunakan energi dalam jumlah yang jauh lebih rendah justru kendaraan listrik, yakni bisa sampai 20 kWh per 100 km atau bahkan 6 kWh per 100 km. Hidrogen bermasalah karena penciptaan dan pemakaian hidrogen merupakan langkah-langkah takefisien. Mengadopsi hidrogen sebagai bahan bakar kendaraan hanya akan memperbesar permintaan energi kita. Nanti kita juga akan meluruskan sedikit "mitos" soal pengecas HP. Untuk sekarang, mari mulai berpikir besar.

## NERACA MERAH-HIJAU

Sebagian besar energi yang dikonsumsi oleh negara maju saat ini bersumber dari BBF; ini jelas tidak lestari. Jadi, di sini kita akan mencari tahu apakah kita bisa hidup *tanpa* BBF.

Kita akan menyusun sebuah neraca. Lajur kiri neraca (yang akan kita arsir merah) akan kita isi dengan konsumsi energi kita; lajur kanan (yang berwarna hijau) akan kita isi dengan produksi energi lestari. Dalam menyusun neraca ini kita akan memakai

Inggris sebagai contoh. Jadi, lajur merah akan kita isi dengan konsumsi rata-rata orang sana. Lajur hijau akan kita isi dengan berbagai sumber energi lestari yang terdapat di sana.

Dan sekali lagi, di sini kita akan memakai angka-angka hampiran karena tujuan kita adalah untuk mengadakan diskusi yang membangun. Artinya, kita tidak akan menjagokan rencana energi atau teknologi apa pun juga; tugas kita cuma mencari tahu sumber energi lestari apa saja yang tersedia bagi kita dan dalam jumlah berapa banyak.

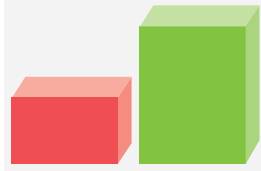
**BEBERAPA JENIS KONSUMSI ENERGI YANG AKAN KITA ISI PADA LAJUR KIRI:**

- Pengangkutan (mobil, pesawat, barang)
- Pemanasan dan pendinginan
- Penerangan
- Sisteminformasi dan gawai lainnya
- Makanan
- Manufaktur

**SUMBER ENERGI LESTARI YANG AKAN KITA ISI PADA LAJUR KANAN:**

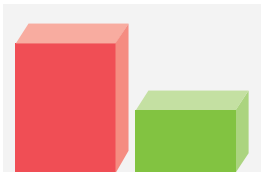
- Angin
- Surya (fotovoltaik, termal surya, biomassa)
- Listrik tenaga air
- Gelombang
- Pasut
- Panas Bumi
- Nuklir? (dengan tanda tanya karena belum jelas apakah daya nuklir itu "lestari" atau tidak)

Kita kesampingkan dulu pertanyaan apakah sumber energi lestari yang kita masukkan pada lajur hijau bersifat layak dari sisi ekonomi; kita isi saja dulu semua lajur kita. Toh terkadang orang terlalu memusingkan segi ekonomi sampai-sampai aspek lainnya yang tak kalah penting dilupakan. Begitu selesai, neraca kita mungkin akan tampak seperti ini:



Seandainya angka konsumsi ternyata jauh di bawah angka produksi energi lestari, kita bisa bilang "mungkin kita bisa hidup secara lestari; mari kita hitung biaya ekonomi, sosial, dan lingkungan hidup berbagai sumber energi lestari untuk mencari tahu alternatif apa saja yang pantas kita teliti dan kembangkan lebih lanjut; siapa tahu, kalau kita berusaha cukup keras mungkin energi krisis tidak akan terjadi."

Namun, hasilnya juga bisa seperti ini:



Dalam hal ini kita bisa menyimpulkan: "layak tidaknya daya lestari dari segi ekonomi tidak penting lagi, soalnya jumlah daya lestari yang tersedia itu tidak cukup untuk menopang gaya hidup kita; siap-siap: sebuah perubahan besar tengah menanti."

**ENERGI VS DAYA**

Berbicara soal produksi energi dan konsumsi energi bisa membingungkan karena berjibunnya satuan yang dipakai dalam mengukur energi dan daya. Mungkin orang pakar saja yang bisa membayangkan berapa sesungguhnya "satu barel minyak" atau "satu juta BTU".

Satuan energi ada banyak, tetapi kita akan pakai kWh. Kenapa? Karena satuan yang satu ini lumayan akrab dengan kita dalam kehidupan sehari-hari: tarif PLN untuk golongan R-2/TR ialah Rp 1.145 per kWh (menurut Permen MenESDM no 30 Tahun 2012).

Begitu membicarakan daya (laju energi dikonsumsi atau diproduksi), satuan yang akan kita pakai ialah kWh per hari (kWh/hari).

$40\text{ W} = 1\text{ KWH} / \text{HARI}$   
 $1\text{ KW} = 1.000\text{ W} = 24\text{ KWH} / \text{HARI}$

Sebagian besar peranti yang kita pakai sehari-hari memakai energi yang diukur dalam kWh per

hari.

Misal saja, bohlam 40 W yang dibiarkan menyala terus-menerus memakai daya satu kWh per hari. Cara mudah untuk membedakan antara energi dan daya ialah dengan mengibaratkannya dengan air dan arus air dari keran. Jika kamu mengisi sebuah botol dengan air keran, maka yang kamu inginkan ialah sejumlah volume air – mungkin satu liter, kalau kebetulan wadah yang kamu mau isi berukuran satu liter. Begitu membuka keran, kamu baru saja menciptakan sebuah arus air, katakanlah satu liter per menit seumpama keran di dapur agak seret; atau sepuluh liter per menit seumpama kerannya lumayan lancar. Untuk mendapatkan volume yang sama, keran yang pertama harus dibuka selama semenit dan keran yang kedua cukup enam detik. Volume yang dihantarkan dalam waktu tertentu sama dengan arus dikalikan dengan waktu.

Jadi, arus adalah laju

sebuah volume dihantarkan. Jika penghantaran volume dalam waktu tertentu diketahui, maka arus bisa dihitung dengan membagi volume dengan waktu.

$VOLUME = ARUS \times WAKTU$

Energi bisa diibaratkan

volume air; daya bisa diibaratkan arus air. Sebagai contoh, begitu kamu menyala "magic-jar" untuk menanak nasi ia mulai mengonsumsi daya dengan laju 14 kilowatt. Ia akan terus mengonsumsi 14 kilowatt sampai ia dimatikan. Semakin lama ia dibiarkan menyala, semakin banyak pula energi yang dipakainya.

$ARUS = VOLUME : WAKTU$

Sebagai tambahan, daya sebesar satu joule per detik

disebut satu watt. Magic-jar di atas memakai daya 14 kilowatt, bukan "14 kilowatt per detik". "Per detik"-nya itu sudah termaktub dalam definisi kilowatt: satu kilowatt sama dengan "satu kilojoule per detik".

$ENERGI = DAYA \times WAKTU$

Jadi, jangan pernah bilang "satu kilowatt per detik", "satu kilowatt per jam", atau "satu kilowatt per hari"; itu salah kaprah, soalnya tidak satu pun di antara satuan tersebut merupakan ukuran daya yang sah. Akan tetapi, karena orang terbiasa menambahkan "per sesuatu" bilamana sedang membahas peranti rumah tangga seperti magic-jar, maka dalam tulisan ini kita akan pakai "kilowatt-jam per hari" (kWh per hari) sebagai satuan daya.

**MOBIL**

Berapa daya yang dipakai seorang pengendara mobil?

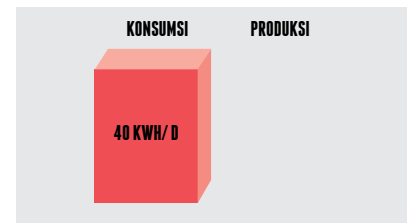
$KONSUMSI ENERGI PER HARI = \frac{\text{JARAK TEMPUH PER HARI}}{\text{JARAK TEMPUH PER SATUAH BBM}} \times \text{ENERGI PER SATUAH BBM}$

Mari kita asumsikan 50 km untuk jarak tempuh per hari. Untuk jarak tempuh per satuan BBM kita patok 12 km per liter. Untuk energi per satuan BBM (alias nilai kalor atau rapat energi) kita patok 10 kWh per liter.

Dengan demikian:

$KONSUMSI ENERGI PER HARI = \frac{50\text{ KM/HARI}}{12\text{ KM/LITER}} \times 10\text{ KWH/LITER}$   
 $KONSUMSI ENERGI PER HARI = 40\text{ KWH/HARI}$

Seorang pengemudi mobil rata-rata mengonsumsi daya 40 kWh per hari.



Gambar 6.1. Kesimpulan: rata-rata pengendara mobil memakai kurang lebih 40 kWh per hari.

**ANGIN**

Berapa daya angin yang bisa kita bangkitkan secara real? Mari dihitung. Potensi angin darat Inggris bisa kita prakirakan dengan mengalikan daya rata-rata per luas-satuan ladang-angin dengan luas per orang di Inggris:

$DAYA\ PER\ ORANG = DAYA\ ANGIN\ PER\ LUAS\ SATUAN \times LUAS\ PER\ ORANG$

Jika kita asumsikan kecepatan angin 6 m/det (setara dengan kecepatan orang naik sepeda), maka (dengan menghitung energi kinetik angin dan mengasumsikan seingkat efisiensi kincir angin 50% serta jarak antarkincir-angin sebesar lima kali diameter kincir angin – perhitungan yang agak kelewat ribet untuk kita bahas di sini) kita peroleh daya per luas-satuan ladang-angin sebesar kurang lebih 2 W/m<sup>2</sup>.

$DAYA\ PER\ ORANG = DAYA\ ANGIN\ PER\ LUAS\ SATUAN \times LUAS\ PER\ ORANG$

Sekarang tinggal kita masukkan angka kepadatan penduduk. Jika kita mengasumsikan jumlah penduduk Inggris 59.500.000 jiwa dan luas wilayah Inggris 244.000 kilometer persegi, maka kepadatan penduduk menjadi 4.000 m<sup>2</sup>/orang, sehingga daya angin bisa membangkitkan.

$2\text{ W/M} \times 4.000\text{ M}^2/\text{ORANG} = 8.000\text{ W PER ORANG}$

Dan karena 40 W = 1 kWh/hari, maka

$8.000\text{ W PER ORANG} = 200\text{ KWH/HARI PER ORANG}$

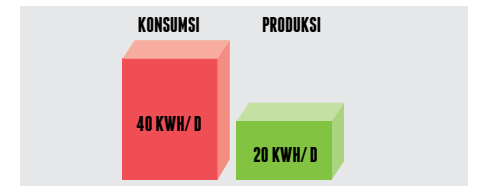
Akan tetapi, angka ini mengasumsikan seluruh Inggris ditanami kincir angin. Kalau mau realistis, berapa sih luas wilayah Inggris yang bisa dipakai? Paling banter 10%. Sehingga, apabila kita menanam kincir angin di 10% wilayah Inggris yang paling berangin, kita bisa membangkitkan daya 20 kWh/hari per orang

– separuh dari daya yang dipakai kala membawa mobil sejauh 50 km per hari.

Sebagai perbandingan dan agar kamu bisa mendapat sedikit bayangan, jumlah kincir angin yang dibutuhkan untuk membangkitkan daya 20 kWh/hari per orang tersebut setara dengan 50 kalinya perangkat keras angin yang ada di Denmark, tujuh kalinya yang ada di Jerman, atau dua kalinya armada turbin-angin yang ada di seantero dunia.

Jadi, tidak ada gunanya dong membangun ladang angin? Tidak juga. Akan tetapi, sekarang kita jadi tahu bahwa apabila kita ingin membangkitkan daya angin yang cukup untuk menjawab kebutuhan konsumsi, ladang anginnya harus menutup wilayah yang sangat luas.

Kesimpulan: pada kecepatan angin 6 m/det, sebuah ladang angin bisa menghasilkan daya 2 W/m<sup>2</sup>.



Gambar 7.1. Kesimpulan: Kincir-angin darat di Inggris bisa menghasilkan maksimal 20 kWh per hari per orang.

**PESAWAT TERBANG**

Berapa energi yang dipakai apabila sekali setahun kamu bepergian lintas benua naik pesawat terbang?

Dengan 240.000 liter bahan bakar, sebuah pesawat Boeing 747-400 bisa mengangkut 416 penumpang sejauh 14.200 km. Sementara itu, kita tahu kalau nilai kalor bahan bakar adalah 10 kWh per liter. Dengan demikian, biaya energi perjalanan p.p. sejauh 14.200 km, apabila dibagi rata di antara semua penumpang, menjadi

$\frac{2 \times 240.000}{416\text{ PENUMPANG}} \times 10\text{ KWH/LITER} = 12.000\text{ KWH PER PENUMPANG}$

Ini energi dalam setahun; dalam daya per hari

$\frac{12.000\text{ KWH}}{365\text{ HARI}} = 33\text{ KWH PER HARI}$

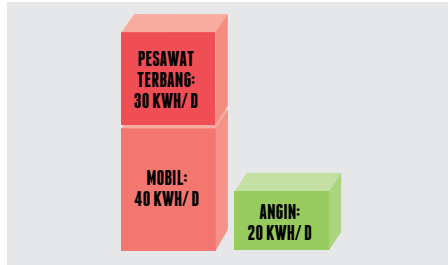
Jarak 14.200 km adalah jarak yang sangat jauh. Jarak ini lebih jauh daripada penerbangan London ke Cape Town (10.000 km) atau London ke L.A. (9.000 km) – jarak tersebut bahkan lebih jauh dibandingkan penerbangan terpanjang dunia; masalahnya, kita juga telah mematok jumlah penumpang secara kelewat besar. Biaya energi per penumpang akan menjadi lebih besar apabila pesawat terbang tidak terisi penuh.

**PENERBANGAN NONSTOP DALLAS KE SYDNEY MERUPAKAN RUTE PENERBANGAN TERJAUH DUNIA SAAT INI. PADA RUTE YANG DIJALANKAN OLEH PERUSAHAAN PENERBANGAN QANTAS, PESAWAT BOEING B747-400ER TERBANG 13.800 KM – 2,5 KALINYA JARAK ANTARA SABANG DAN MERAUKE – TANPA BERHENTI. SUMBER: WWW.AUSBT.COM.AU**

Jika kita menjadikan perjalanan London ke Cape Town sebagai patokan (dan memangkas jarak terbang dari 14.200 ke 10.000 km) dan mengasumsikan pesawat terisi cuma 80% (zaman sekarang perusahaan pesawat terbang boleh puas apabila pesawat mereka terisi rata-rata 80%), maka besaran

daya kita menjadi 29 kWh per hari, yang untuk gampangnya kita bulatkan saja menjadi **30 kWh per hari**.

Ini berarti, apabila kamu terbang sekali setahun, biaya energi yang kamu tanggung sedikit lebih besar daripada membiarkan sebuah kompor listrik 1 kW menyala terus-menerus 24 jam sehari selama satu tahun penuh.



Gambar 8.1. Terbang melanglang buana sekali setahun membutuhkan kurang lebih 30 kWh per hari.

## SURYA

Pada siang bolong yang cerah, daya sinar matahari mentah mencapai 1.000 W per meter persegi. Akan tetapi, luas lahan yang masuk perhitungan cuma tanah yang menghadap matahari, bukan per m<sup>2</sup> luas seluruh tanah. Untuk menghitung daya per m<sup>2</sup> luas *seluruh* tanah di Inggris, kita harus mempertimbangkan sejumlah faktor pengoreksi:

- kemiringan tanah terhadap matahari mengurangi intensitas panas matahari pada tengah hari hingga kurang lebih 60% dari nilainya di khatulistiwa;
- pada bulan Maret atau September, rasio intensitas rata-rata terhadap intensitas tengah hari adalah kurang lebih 32%; dan
- di Inggris, matahari rata-rata hanya bersinar 34% dari waktu siang hari.

Dengan memperhitungkan ketiga faktor tersebut, maka daya-mentah rata-rata sinar matahari per meter persegi atap-hadap-selatan di Inggris mencapai kurang lebih 110 W/m<sup>2</sup>, sementara daya mentah rata-rata sinar matahari per meter persegi tanah-datar mencapai kurang lebih 100 W/m<sup>2</sup>.

Ada empat cara kita bisa mengubah daya mentah ini ke daya yang berfaedah:

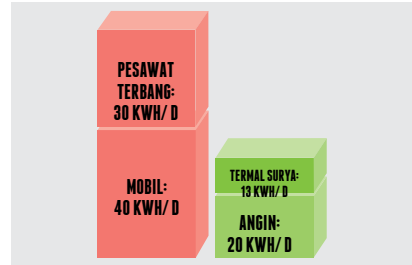
1. Termal surya: memanfaatkan sinar matahari secara langsung untuk memanaskan bangunan atau air.
2. Fotovoltaik surya: membangkitkan listrik.
3. Biomassa surya: memanfaatkan pohon, bakteri, alga, jagung, kacang kedelai, biji jarak untuk membuat bahan bakar energi, bahan kimia, atau bahan bangunan.
4. Pangan: sama seperti biomassa surya, bedanya tanaman kita beri kepada manusia atau hewan sebagai asupan.

## TERMAL SURYA

Jika semua atap-hadap-selatan di Inggris kita lapis dengan panel termal surya seluas 10 m<sup>2</sup> per orang, dan jika tingkat efisiensi konversi sinar matahari ke air panas adalah 50%, maka termal surya bisa menghantarkan energi sebesar

$$50\% \times 10\text{M}^2 \times 110\text{W/M}^2 = 550\text{W} = 12\text{KWH PER ORANG}$$

Akan tetapi, air panas tidak seberharga energi listrik karena ia tidak bisa diekspor ke jaringan listrik.



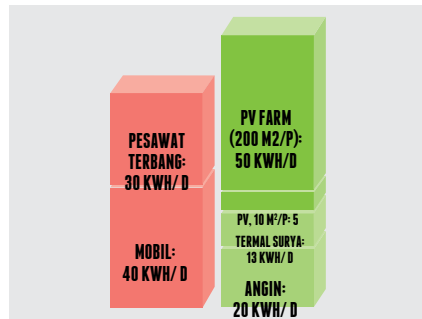
Gambar 9.1. Termal surya: sebuah susunan panel-termal ukuran 10 m<sup>2</sup> rata-rata bisa menghantarkan daya termal sebesar kurang lebih 13 kWh per hari.

## FOTOFVLAIK SURYA

Panel fotovoltaik mengonversi sinar matahari ke listrik. Jika tingkat efisiensi panel 20% dan setiap orang diberi luas panel 10 m<sup>2</sup>, maka energi rata-rata yang dihasilkan oleh panel-hadap-selatan di Inggris adalah

$$20\% \times 10\text{M}^2 \times 110\text{W/M}^2 = 220\text{W} = 5\text{KWH PER ORANG}$$

Walaupun angka ini cukup besar untuk membantu menutup konsumsi listrik pribadi kamu, tetapi dalam konteks konsumsi energi ini belum memadai. Untuk itu kita harus turun dari atap dan mulai bermain di tanah.



Gambar 9.2. Fotovoltaik surya: sebuah susunan panel hadap-selatan berukuran 10 m<sup>2</sup> yang dipasang di bangunan dan yang memiliki efisiensi 20% bisa menghantarkan daya listrik sebesar kurang lebih 5 kWh per hari. Jika 5% wilayah Inggris dilapisi panel surya dengan efisiensi 10% (200 m<sup>2</sup> panel per orang), maka daya yang dihasilkan adalah 50 kWh/hari/orang.

## WAKTUNYA BERKHAYAL

Andai kata ada teknologi yang membuat kita bisa melapisi 5% wilayah Inggris dengan panel fotovoltaik dengan tingkat efisiensi 10% (karena harganya lebih murah daripada panel berefisiensi 20% – namanya juga untuk produksi massal), daya yang kita peroleh adalah

$$5\% \times 4.000\text{M}^2/\text{ORANG} = 200\text{M}^2$$

$$10\% \times 100\text{W/M}^2 \times 200\text{M}^2 \text{ PER ORANG} = 2.000\text{W} = 50\text{KWH/HARI PER ORANG}$$

Akan tetapi, alih-alih menutup 5% Inggris dengan panel surya, solusi yang lebih baik ialah untuk memasang panel-panel tersebut di suatu negara beriklim panas dan menghantarkan balik sejumlah energi yang dibangkitkan lewat saluran listrik.

## BIOMASSA SURYA

Ada empat cara kita bisa menapis energi dari sistem biologis terdaya surya:

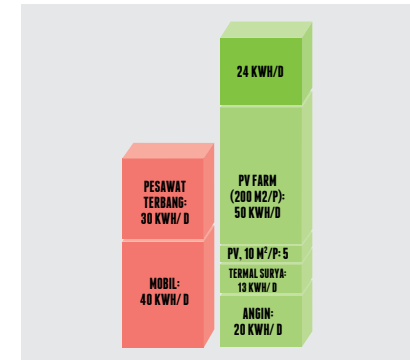
1. Budidayakan tanaman pilihan dan bakar di suatu pusat listrik. Kita sebut ini "substitusi batu bara".
2. Budidayakan tanaman pilihan, ubah mereka ke etanol atau diesel-hayati, dan pakai untuk menjalankan mobil, kereta, pesawat, dsb. Kita sebut ini "substitusi minyak bumi".
3. Ambil hasil-ikutan dari kegiatan pertanian lainnya dan bakar di suatu pusat listrik.
4. Budidayakan tanaman dan berikan kepada manusia atau hewan sebagai asupan. Jika tanaman energi di Eropa menghasilkan daya 0,5 W/m<sup>2</sup> dan 75% luas Inggris kita tanami dengan tanaman ini, maka daya yang dihasilkan adalah

$$75\% \times 4.000\text{M}^2/\text{ORANG} = 3.000\text{M}^2 \text{ PER ORANG}$$

$$0,5\text{W/M}^2 \times 3.000\text{M}^2 \text{ PER ORANG} = 36\text{KW}^2/\text{HARI PER ORANG}$$

Jika kita memperhitungkan susutan sebesar 33% pada rantai produksi dan distribusi, maka biomassa dan bahan-bakar-hayati bisa menghasilkan daya maksimal sebesar **24 kWh/hari per orang**.

Kesimpulan: bahan bakar hayati tidak layak – paling tidak, ia tidak layak di negara seperti Inggris, dan ia juga tidak bisa dijadikan pengganti bahan bakar transportasi. Daya yang dihasilkan bahan bakar hayati terlalu kecil untuk dipertimbangkan sebagai solusi.



Gambar 9.3. Biomassa surya, termasuk semua bentuk bahan bakar hayati, insinerasi sampah, dan pangan: 24 kWh/hari per orang.

Kesimpulan: bahan bakar hayati tidak layak – paling tidak, ia tidak layak di negara seperti Inggris, dan ia juga tidak bisa dijadikan pengganti bahan bakar transportasi. Daya yang dihasilkan bahan bakar hayati terlalu kecil untuk dipertimbangkan sebagai solusi.

## PEMANASAN DAN PENDINGINAN

### AIR PANAS RUMAH TANGGA

Karena kita membicarakan Inggris, perhitungan pemakaian daya pun didasari kebiasaan-kebiasaan yang berlaku di negara itu. Orang di sana suka mandi dengan berendam di baidan mandi berisi air panas. Asumsi kita: volume baidan 50 cm x 15 cm x 150 cm x 110 liter dan suhu air mandi yang diinginkan 50°C padahal air yang keluar dari leding bersuhu 10°C, sehingga harus

dipanaskan terlebih dahulu. Kapasitas bahang air (jumlah energi yang dibutuhkan untuk memanaskan air) adalah 4.200 J per liter per °C, sehingga energi yang dibutuhkan untuk memanaskan air hingga 40°C adalah

$$4200\text{J/LITER/}^\circ\text{C} \times 110\text{LITER} \times 40^\circ\text{C} = 18\text{MJ} = 5\text{KWH}$$

Mandi di baidan memakan energi **5 kWh**. Bandingkan dengan mandi memakai pancuran (30 liter): **1,4 kWh**. Apabila kita ikut memperhitungkan pemanasan air memakai peranti seperti kompor listrik, oven mikrogelombang, oven biasa, mesin cuci, mesin pengering, dan mesin cuci piring, dalam sehari daya yang dipakai untuk kebutuhan ini bisa diestimasi mencapai **12 kWh per hari per orang**.

## UDARA PANAS DI RUMAH DAN TEMPAT KERJA

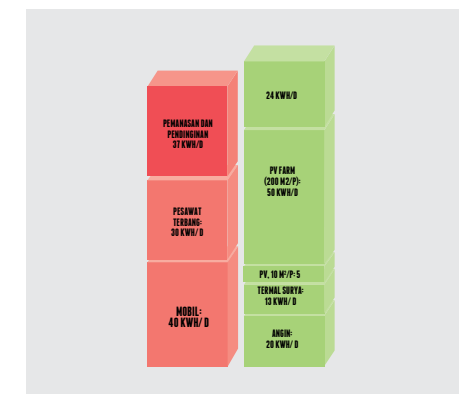
Tidak seperti kita di Indonesia, orang Inggris membutuhkan alat pemanas agar tidak kedinginan selama musim salju. Asumsi kita: satu orang memakai udara panas sebanyak 24 kWh per hari.

## PENDINGINAN

Kulkas menyedot daya sekitar 0,5 kWh/hari. Tidak seperti di Indonesia, Inggris tidak perlu memakai AC. Pada musim panas, orang di sana biasa memakai pompa bahang (heat pump). Kita asumsikan peranti tersebut, yang memakai energi 7,2 kWh, dinyalakan 12 jam sehari selama 30 hari dalam setahun. Konsumsi daya rata-rata selama setahun pun menjadi 0,6 kWh/hari.

## JUMLAH PEMANASAN DAN PENDINGINAN

Jadi, jumlah daya yang dipakai satu orang untuk pemanasan dan pendinginan di rumah, kantor, dan untuk memasak kita estimasi mencapai **37 kWh/hari per orang** (12 untuk air panas, 24 untuk udara panas, dan 1 untuk pendinginan).



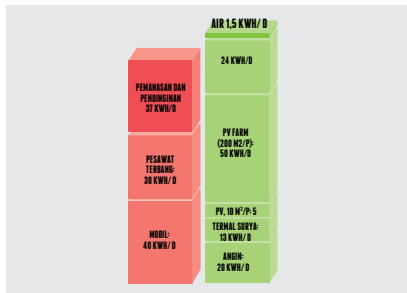
Gambar 10.1. Pemanasan dan pendinginan – kurang lebih 37 kWh per hari per orang. Kebutuhan daya tersebut bisa dipasok oleh energi-termal kualitas rendah.

### LISTRIK TENAGA AIR

Untuk membangkitkan listrik tenaga air kita butuh ketinggian dan curah hujan. Kita akan mengestimasi jumlah energi seluruh curah hujan yang mengalir turun ke permukaan laut. Sekarang mari kita bagi Inggris menjadi dua: dataran rendah yang kering, dan dataran tinggi yang basah. Untuk mengestimasi daya gravitasi hujan dataran rendah, kita mengalikan curah hujan dataran rendah Inggris (584 mm per tahun) dengan rapat jenis air (1.000 kg/m<sup>3</sup>), gaya gravitasi (10 m/det<sup>2</sup>), dan rata-rata ketinggian di atas laut (100 m). Kita peroleh daya per luas-satuan sebesar 0,02 W/m<sup>2</sup>. Ini merupakan daya per luas-satuan tanah yang terkena air hujan. Jika kepadatan penduduk di dataran rendah kita patok 2.700 m<sup>2</sup>/orang, maka kita memperoleh daya mentah sebesar 1 kWh per hari per orang. Ini sudah hasil yang paling mentok, dalam arti bahwa kita mengasumsikan bahwa setiap tetes air hujan dikonversi dan setiap sungai dibendung.

Di dataran tinggi, curah hujannya lebih tinggi (2.278 mm per tahun) dan demikian pula ketinggiannya (300 m), sehingga daya mentah per luas-satuan bisalah kita patok dua belas kali lebih besar daripada daya mentah dataran rendah atau 0,24 W/m<sup>2</sup>. Jika kepadatan penduduk di dataran rendah kita patok 1.300 m<sup>2</sup>/orang, maka kita peroleh daya mentah sebesar 7 kWh per hari per orang. Ini pun hasil yang paling mentok.

Hasil yang lebih realistis adalah 20% dari jumlah kedua daya di atas, yaitu **1,5 kWh per hari**. Saat ini, di Inggris, daya aktual yang diperoleh dari listrik tenaga air cuma 0,2 kWh/hari per orang.



Gambar 11.1. Listrik tenaga air.

### PENERANGAN

Berapa daya yang dipakai rata-rata orang di Inggris untuk penerangan? Kita asumsikan sebuah rumah yang dihuni dua orang yang menyalakan bohlam hemat listrik maupun bohlam biasa yang mengonsumsi daya sebesar kurang lebih 5,5 kWh per hari, atau 2,7 kWh per hari perorang. Itu di rumah. Di tempat kerja, kita asumsikan satu orang menikmati penerangan bersama rekanrekan sejawatnya sebesar 1,3 kWh/hari per orang. Pemakaian daya di rumah plus kantor: **4 kWh/hari per orang**.

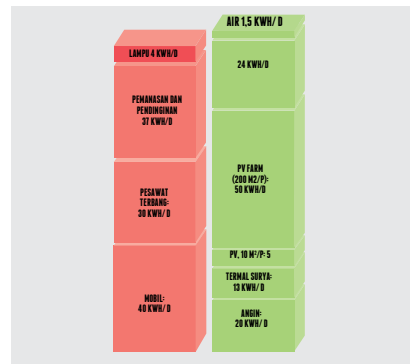
### PENERANGAN JALAN DAN LAMPU LALU LINTAS

Penerangan jalan memakai kurang lebih 0,1 kWh per hari per orang, dan lampu lalu lintas memakai cuma 0,005 kWh/hari per orang. Dua-duanya bisa kita abaikan.

### BERKENDARAAN DENGAN MENYALAKAN LAMPU MOBIL

Di sejumlah negara, pengemudi mobil wajib menyalakan lampu mobil pada saat berkendara. Berapa daya yang dihabiskan untuk hal ini?

Jika pada suatu mobil terpasang empat buah lampu, dan listrik untuk keempat lampu tersebut dipasok oleh mesin dengan efisiensi 25% yang menjalankan generator dengan efisiensi 55%, maka daya yang dibutuhkan **730 W**. Sebagai perbandingan, rata-rata mobil yang jalan dengan kecepatan 50 km/jam dan mengonsumsi satu liter per 12 km menghabiskan daya **42.000 W**. Jadi, menyalakan lampu sambil mengemudi memakan cuma 2% lebih banyak daya.



Gambar 12.1. Penerangan – 4 kWh per hari per orang.

### ANGIN LEPAS PANTAI

Di laut angin berembus lebih kencang dan lebih mantap daripada di darat. Untuk itu, kita asumsikan daya per luas-satuan sebesar **3 W/m<sup>2</sup>** (lebih besar 50% daripada angin darat).

Untuk menaksir luas laut yang bisa kita tanami dengan turbin angin, kita akan membedakan antara angin lepas-pantai air dangkal dan angin lepas-pantai air dalam. Saat ini, angin lepas-pantai air dalam dianggap belum layak dari segi ekonomi.

### LEPAS-PANTAI AIR DANGKAL

Luas laut dangkal Inggris adalah 40.000 km<sup>2</sup>. Apabila seluruh wilayah ini dijadikan ladang angin lepas-pantai, daya yang bisa dibangkitkan mencapai 48 kWh/hari per orang. Namun, karena jalur pelayaran harus tetap terjaga dan kegiatan penangkapan ikan harus tetap berjalan, kita asumsikan hanya sepertiga dari wilayah ini yang bisa dimanfaatkan sehingga besaran daya menjadi **16 kWh/hari per orang**.

Akan tetapi, tidak main-main jumlah turbin yang harus dipasang: 44.000 unit di jalur yang terbentang sepanjang 3.000 km dan selebar 4 km. Selain itu, di laut korosi menjadi masalah yang patut dipertimbangkan.

### LEPAS-PANTAI AIR DALAM

Luas laut dalam (25-50 m) Inggris adalah 80.000 km<sup>2</sup>. Apabila seluruh wilayah ini kita isi dengan turbin angin, daya

yang bisa dibangkitkan 96 kWh/hari per orang. Namun, seperti pada air dangkal, kita asumsikan hanya sepertiga yang bisa kita tanami kincir angin. Hasilnya: apabila jalur selebar 9 km keliling Inggris kita isi penuh dengan turbin, daya yang dihasilkan 32 kWh/hari per orang. Sangat besar memang, tetapi belum seberapa dengan konsumsi kita yang juga tak kalah besarnya. Belum lagi opini pakar bahwa angin di perairan dalam masih terlalu mahal untuk bisa dieksploitasi.

### DAMPAK TERHADAP BURUNG

Kincir angin pembunuh burung? Memang benar: di Denmark diperkirakan 30.000 ekor burung mati terbunuh akibat turbin angin (yang menghasilkan 19% kebutuhan listrik negara itu). Akan tetapi, yang juga perlu dicatat, saban tahun di Denmark *lalu lintas* membunuh *satu juta* burung. Di Inggris, 55 juta burung mati terbunuh karena *kucing*. Keputusan ihwal kincir angin mesti diambil dengan kepala, bukan dengan hati, karena bisa jadi kita membutuhkan kincir angin!



Gambar 13.1. Angin lepas pantai.

### GAWAI

Apakah benar dengan mencopot pengecas HP dari steker kamu sudah berandil dalam mengurangi konsumsi listrik dunia? Bagaimana dengan gawai (*gadget*) lainnya di rumah seperti komputer, TV, dan modem kabel?

### KISAH SESUNGGUHNYA SI PENGECAS

Apabila dibiarkan di steker tanpa terhubung ke HP, pengecas HP yang modern menyedot daya kurang lebih setengah watt atau **0,01 kWh per hari**. Jumlah ini tidak ada artinya: - Seluruh energi yang dihemat dengan mematikan pengecas selama sehari habis terpakai pada saat kamu membawa mobil selama *sedetik*. - Energi yang dihemat dengan mematikan pengecas selama *setahun* setara dengan energi yang terkandung dalam bakan mandi air-panas.

Lakukanlah penghematan pada gawai yang betul-betul boros menyedot listrik.

### GAWAI YANG BETUL-BETUL BOROS MENYEDOT LISTRIK

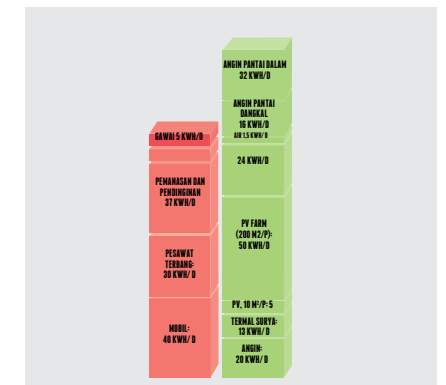
Yang terboros ternyata komputer, layar komputer, dan TV. Urutan kedua ditempati oleh peranti hiburan seperti stereo dan pemutar DVD. Disimak:

GAWAI	KONSUMSI DAYA (W)			
	HIDUP DAN AKTIF	HIDUP NAMUN TAK AKTIF	SIAGA	MATI
Komputer dan periferal:				
casing	80	55		2
peraga sinar katode	110		3	0
peraga LCD	34		2	1
projektor	150		5	
pencetak laser	500	17		
modem nirkabel & kabel	9			
komputer laptop	16	9		0,5
Pemutar CD jingga	2			
Radio-jam tempat tidur	1,1	1		
Radio-jam tempat tidur	1,9	1,4		
Radio digital	9,1		3	
Pemutar kaset radio	3	1,2		
Penguat stereo	6			1,2
Penguat stereo II	13			6
Suara <i>home cinema</i>	7	7	4	0
Pemutar DVD	7	6		
Pemutar DVD II	12	10	5	
TV	100		10	
Perekam video	13		1	
Kotak atas-set TV digital	6		5	
Jam pada oven mikrogelombang	2			
XBox	160		2,4	
Sony Playstation 3	190		2	
Nintendo Wii	18		2	
Mesin penjawab			2	
Mesin penjawab II			3	
Telepon nirtali			1,7	
Pengecas HP	5		0,5	
Penghisap debu	1500			

Tabel 14.1. Konsumsi daya berbagai jenis gawai dalam Watt (40 W = 1 kWh/hari).

Apabila dipakai beberapa jam seminggu, daya yang disedot pengisap debu setara dengan **0,2 kWh/hari**. Jadi, yang terboros tetap komputer dan peranti hiburan.

Rumah atau kantor yang bersih koleksi gawai yang cukup lengkap dan yang dibiarkan menyala bisa mengonsumsi daya hingga **5 kWh/hari**.



Gambar 14.1. Sistem informasi dan gawai lainnya.

GELOMBANG

Pertama mari kita tegaskan dulu dari mana gelombang laut sesungguhnya berasal: *matahari menjadikan angin lalu angin menjadikan gelombang.*

Sebagian besar sinar matahari yang menyinari bumi menghangatkan samudra. Air laut yang menjadi hangat lantas menghangatkan udara di atasnya dan menghasilkan uap air. Air yang dihangatkan naik ke atas dan sembari naik ia didinginkan, begitu mengondensasi kembali maka terciptalah hujan dan awan.

Pada titik tertingginya di dalam atmosfer, udara didinginkan lebih lanjut oleh suhu ruang angkasa yang dingin membeku. Udara tenggelam kembali ke bumi.

Pompa raksasa terdasya surya ini memutar udara dalam gulungan ilian yang besar. Dari sudut pandang kita di permukaan bumi, gulungan ilian inilah yang menghasilkan angin. Angin merupakan energi surya tangan-kedua. Begitu angin menderas di atas air terbuka, terciptalah gelombang sehingga gelombang merupakan energi surya tangan-ketiga. Di air terbuka, gelombang tercipta bilamana kecepatan angin berembus di atas 0,5 m/det.

Apabila gelombang yang bergulung ke arah tertentu diadang oleh suatu benda yang lantas menyerap energi gelombang itu – misal, sederet pulau dengan pantai yang berpasir – laut sesudah benda tersebut akan berpermukaan lebih tenang. Jadi, tidak seperti sinar matahari yang menghantarkan daya per satuan luas, gelombang menghantarkan daya per satuan panjang garis-pantai. Selain itu, energi gelombang tidak bisa dipanen double: apabila ada dua pengumpul energi gelombang, satu dipasang dua kilometer lepas-pantai dan satu lagi satu kilometer lepas-pantai, maka yang dipasang pada jarak satu kilometer lepas-pantai tidak akan kebagian apa-apa.

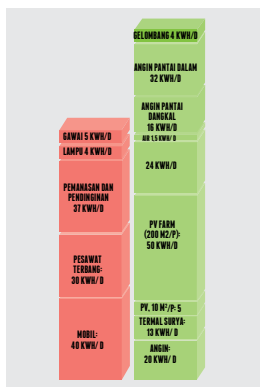
Inggris diapit oleh Samudra Atlantik dan Laut Utara. Karena gelombang Samudra Atlantik jauh lebih besar daripada gelombang Laut Utara, maka yang kita bahas di sini cuma gelombang Samudra Atlantik.

Gelombang Samudra Atlantik telah diketahui berdaya kurang lebih 40 kW per meter garis-pantai yang terpajan. Panjang garis-pantai Inggris yang berbatasan dengan Samudra Atlantik ialah 1.000 km atau 1 juta m. Mengingat jumlah penduduk Inggris kurang lebih 60 juta jiwa, maka setiap orang Inggris kebagian jatah 1/60 m garis pantai.

Jika kita mengasumsikan mesin-gelombang memiliki tingkat efisiensi 50% dalam mengubah tenaga gelombang ke tenaga listrik dan kita mampu menajarkan mesin-gelombang sepanjang 500 km garis-pantai yang menghadap Samudra Atlantik, maka daya yang bisa kita hantarkan hanya 25% dari target di atas kertas, yaitu 4 kWh per hari per orang.

40 KW = 40.000 W = 1000 KWH/ HARI

1000 KWH/ HARI X 1/60 = 16 KWH/ HARI



Gambar 15.1. Gelombang

PANGAN DAN PERTANIAN

Berapa daya yang dipakai dalam memproduksi makanan kita? Orang yang cukup aktif dan berbobot 65 kg mengonsumsi 2.600 "Kalori" per hari. Di dunia kuliner, satu "Kalori" per hari setara dengan 1.000 kkal; 2.600 "Kalori" per hari kurang lebih sama dengan 3 kWh per hari.



Gambar 16.1. Kebutuhan minimum energi bagi satu orang.

Berapa energi yang kita konsumsi guna memperoleh asupan 3 kWh per hari? Apabila kita ikut mempertimbangkan biaya-hulu produksi pangan, jejak energi kita bisa lumayan membengkak, yang tergantung pada apakah kita menganut gaya hidup vegan, vegetarisme, atau *meat lover*. Vegan memiliki jejak terkecil: 3 kWh per hari berupa energi dari konsumsi makanan nabati.

BIAYA ENERGI MEMINUM SUSU

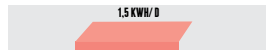
Di Barat orang biasa minum susu sapi. Berapa energi yang dibutuhkan apabila kamu minum dua gelas sehari?

Seekor sapi perah menghasilkan 16 liter susu per hari. Jadi, kalau dalam sehari kamu minum dua gelas (setengah liter), kamu memakai jasa 1/32 sapi.

Selain susu, orang Barat juga doyan keju. Untuk membuat 1 kg keju diperlukan 9 kg susu. Sehingga kalau dalam sehari kamu mengonsumsi 50 gr keju, tambahan susu yang kamu gunakan pun bertambah 450 g susu (= setengah liter). Jadi, total jasa yang kamu pakai adalah 1/16 sapi.

Lantas berapa daya yang dibutuhkan untuk menjalankan seekor sapi? Jika kita mengasumsikan

seekor sapi seberat 450 kg membutuhkan jumlah energi per kilogram yang setara dengan manusia (bobot badan 65 kg yang membakar 3kWh per hari), maka daya yang dibutuhkan 21 kWh/hari.



Gambar 16.2. Susu dan keju.

Jadi, jasa 1/16 sapi yang kamu pakai untuk susu dan keju membutuhkan daya kurang lebih 1,5 kWh per hari.

TELUR

Seekor ayam petelur memakan kurang lebih 110 gr pakan ayam per hari. Kita asumsikan bahwa pakan ayam mengandung energi termetabolisme sebanyak 3,3 kWh per kg, sehingga setiap ekor ayam mengonsumsi daya 0,4 kWh per hari. Rata-rata ayam petelur menghasilkan 290 butir telur dalam setahun atau 0,8 telur sehari. Jika kamu mengonsumsi dua butir per hari, maka daya yang diperlukan 1 kWh per hari.



Gambar 16.3. Dua butir telur sehari.

BIAYA ENERGI MENGONSUMSI DAGING

Kita akan memakai konsumsi daging rata-rata orang Amerika sebesar setengah pon (227 gr) per hari.

Untuk menentukan daya yang diperlukan untuk memelihara hewan sembelihan, kita perlu mencari tahu seberapa lama mereka harus dipelihara sebelum siap dipotong.

Ayam dipelihara 50 hari hari hingga siap potong. Untuk bisa mengonsumsi sebanyak 0,5 pon per hari, daging ayam yang harus diproduksi 25 pon.

Babi dipelihara 400 hari hari hingga siap potong. Untuk bisa mengonsumsi sebanyak 0,5 pon per hari, daging babi yang harus diproduksi 200 pon.

Sapi dipelihara 1.000 hari hari hingga siap potong. Untuk bisa mengonsumsi sebanyak 0,5 pon per hari, daging sapi yang harus diproduksi 500 pon.

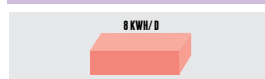
Untuk membundel ini semua menjadi satu angka, kita asumsikan orang Inggris menyantap setengah pon daging yang terdiri dari daging ayam, babi, dan sapi dalam proporsi yang sama:

25/3 = 8 PON DAGING AYAM  
200/3 = 70 PON DAGING BABI  
500/3 = 170 PON DAGING SAPI

Atau 110 kg daging atau 170 kg hewan (karena kurang lebih 2/3 hewan yang dijadikan daging). Jika

hewan sebanyak 170 kg itu membutuhkan daya yang setara dengan manusia (bobot 65 kg yang membakar 3 kWh per hari), maka daya yang dibutuhkan untuk memelihara hewan sembelihan adalah 20

170 KG X 3 KWH/ HARI = 8 KWH/ HARI  
65 KG

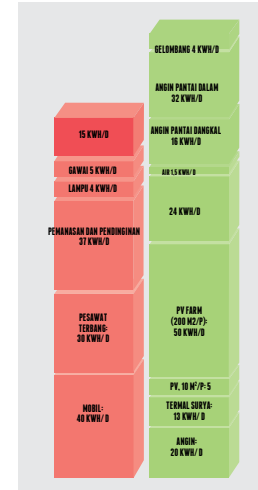


Gambar 16.4. Mengonsumsi daging membutuhkan daya ekstra karena kita harus memberi makan hewan yang nantinya akan dimakan oleh kita manusia.

Di sini kembali kita mengandaikan kebutuhan daya hewan setara dengan manusia sehingga kita inginkan cuma suatu perkiraan kasar. Kebutuhan daya untuk membuat makanan rata-rata konsumen sayuran, produk perah, telur, dan daging adalah 1,5 + 1,5 + 1 + 8 = 12 kWh per hari.

PUKUP DAN BIAYA ENERGI LAINNYA DALAM BERTANI

Energi terbenam pupuk Eropa kurang lebih 2 kWh/hari per orang. Pada 2005, kegiatan pertanian di Inggris memakai tenaga sebesar 0,9 kWh/hari per orang untuk kebutuhan kendaraan, mesin, pemanasan (rumah kaca), penerangan, dan pendinginan.



Gambar 16.5. Pangan dan pertanian.

PASUT

Bumi dan bulan mengelilingi satu sama yang lain saban 28 hari sekali sembari pada saat yang bersamaan berputar mengelilingi matahari. Pergerakan ini dikawal oleh gaya gravitasi. Gaya yang dibutuhkan untuk ini jumlahnya hampir pas benar dengan gaya yang dibutuhkan untuk menjadikan tari samawi tersebut langgeng. Akan tetapi, ada secul ketakseimbangan antara gaya gravitasi dan gaya lainnya yang dibutuhkan untuk menjalankan ini semua, dan dampak dari ketakseimbangan tersebut ialah terciptanya pasang surut (pasut).

Ketaksimbangan pada rotasi bumi-bulan tiga kali lebih besar ketimbang ketaksimbangan pada rotasi bumi-matahari sehingga pasut pun naik turun mengikuti fase bulan seiring bergesernya kedudukan bulan terhadap matahari. Pada saat bulan-purnama dan bulan-baru (kala kedudukan bulan searah dengan matahari), ketaksimbangan menguat sehingga terjadilah pasang perbani (saban dua minggu sekali). Pada saat bulan-separuh, sebagian ketaksimbangan tersebut malah saling meniadakan satu sama yang lain yang lantas menghasilkan pasang-mati. Gelombang pasut pasang-perbani dua kali lebih besar daripada gelombang pasut pasang-mati. Dalam sehari terjadi dua pasang-naik dan dua pasang-turun. Bagaimana kita bisa memanfaatkan energi pasut ini; berapa daya yang bisa kita tapis?

DAYA PASUT: SEBUAH ESTIMASI KASAR

Kalau mau berbicara soal daya pasut, kita harus membayangkan sebuah kolam buatan yang ditempatkan di samping laut yang dilengkapi kincir air yang berputar apabila kolam tersebut dikosongkan atau diisi penuh dengan air. Jika kita mengasumsikan kisaran-pasut (selisih vertikal antara pasang-naik dan pasang-turun) sebesar 4 m – sebuah ukuran yang lazim untuk estuari di Eropa, maka daya maksimal kolam-pasut yang diisi dengan cepat kala pasang-naik dan dikosongkan dengan cepat pula kala pasang-turun (sehingga membangkitkan daya dari dua arah arus) adalah kurang lebih 3 W/m². (Setara dengan daya per luas-satuan ladang angin lepas-pantai.) Seperti halnya ladang angin lepas-pantai, agar supaya kolam-pasut bisa memberikan dampak yang terasa, ukurannya haruslah sangat luas. Kebetulan sekali Inggris memiliki kolam-pasut alami yang sangat luas: Laut Utara. Sekarang tinggal kita pasang generator di titik-titik tertentu guna menapis daya yang besarnya lebih dari lumayan itu. Generator bisa berbentuk kincir bawah-air. Karena kepadatan air 1.000 kali kepadatan udara, maka (pada kecepatan yang sama) daya yang dibangkitkan oleh arus air 1.000 kali lebih besar daripada yang dibangkitkan oleh angin.

ARUS MASUK DAYA-PASUT MENTAH

Kepulauan Inggris kedatangan gelombang pasut dari arah barat, yaitu Samudra Atlantik. Gelombang pasut menggulung masuk lewat dua koridor: lewat bawah (dari Terusan Inggris kemudian naik menuju kota Dover di tenggara Inggris) dan lewat atas Kepulauan Inggris (dari Laut Utara lalu turun dari Skotlandia di utara) sebelum mengumpul di Estuari Thames (di kota London). Gelombang pasut-atas tiba 2 jam lebih lambat dari gelombang pasut-bawah.

Total daya pasut yang mengalir masuk 250 GW, yaitu 190 GW lewat koridor bawah dan 60 GW lewat koridor atas. Jika

dibagi rata dengan penduduk Inggris, maka setiap orang sebagian 100 kWh per hari.

Seandainya kita bisa menapis 10% saja dari energi masuk itu, dan seandainya efisiensi proses pengubahan dan pengiriman mencapai 50%, daya rata-rata yang dihantarkan menjadi **5 kWh per hari per orang**. Caranya bagaimana? Ada tiga jalan keluar: perladangan pasut, empang rendah, dan laguna pasut lepas-pantai.



Gambar 17.1. Daya gelombang pasut yang melewati dua garis ini adalah sebesar 250 GW. Daya mentah ini, apabila dibagi rata antara 60 juta warga Inggris, berjumlah 100 kWh per hari per orang.

### PERLADANGAN PASUT

Mirip ladang angin, bedanya ia berlokasi di bawah air. Tabel berikut menyajikan daya sebuah ladang pasut untuk sejumlah besaran arus pasut.

Arus pasut setinggi 2 s/d 3 knot lazim dijumpai dan di banyak titik di Kepulauan Inggris daya per luas satuan perladangan pasut bisa mencapai 6 W/m<sup>2</sup> ke atas.

Apabila seluruh titik yang memiliki potensi daya pasut di Inggris dikembangkan, jumlah daya yang diprakirakan bisa ditapis mencapai **9 kWh/hari per orang**.

KECEPATAN (M/DET)	(KNOT)	RAPAT DAYA (W/M <sup>2</sup> )
0,5	1	1
1	2	8
2	4	60
3	6	200
4	8	500
5	10	1000

Tabel 17.1. Rapat-daya perladangan pasut (dalam watt per meter persegi dasar laut) sebagai fungsi kecepatan arus (1 knot = 0,514 m/det)

### EMPANG RENDAH

Sebuah teknologi yang sudah terbukti. Contoh, di Prancis ada empang-rendah La Rance dengan kisaran pasutnya yang rata-rata mencapai 8 m itu dan yang sejak 1966 menghantarkan daya rata-rata sebesar 60 MW.

Untuk di Inggris, Estuari Severn merupakan lokasi yang cukup berpotensi lantaran memiliki kisaran pasut yang cukup istimewa: 11,3 m saat pasang-perbani dan 5,8 m saat pasang-mati. Apabila mulut Estuari Severn dipasang empang-rendah, luas kolam pasut yang tercipta mencapai 500 km<sup>2</sup> (jauh lebih besar ketimbang estuari di La Rance).

Di atas kertas, berapa daya yang bisa dibangkitkan kolam pasut ini apabila kita memanfaatkan pasang turun maupun pasang naik? Jika kisaran pasutnya 11,3 m, maka daya rata-rata yang dihasilkan empang rendah (pada rapat daya 30 W/m<sup>2</sup>) adalah maksimal **14,5 GW** atau **5,8 kWh/hari per orang**. Jika kisaran pasutnya 5,8 m, maka daya rata-rata yang dihasilkan empang rendah (pada rapat daya 8 W/m<sup>2</sup>) adalah maksimal **3,9 GW** atau **1,6 kWh/hari per orang**.

Berbagai usul yang diterima sejauh ini di Inggris berisikan rencana untuk membangkitkan daya dalam satu arah saja sehingga daya yang bisa dihasilkan pun berkurang 50%. Menurut pakar, daya rata-rata yang bisa dibangkitkan pas pasang-turun saja mencapai **0,8 kWh/hari per orang**. Ada bonusnya pula:

fasilitas ini bakal memberikan perlindungan terhadap ancaman bahaya banjir dengan nilai yang ditaksir mencapai £ 120 juta (kurang lebih Rp 2,2 triliun) per tahun.

### LAGUNA PASUT

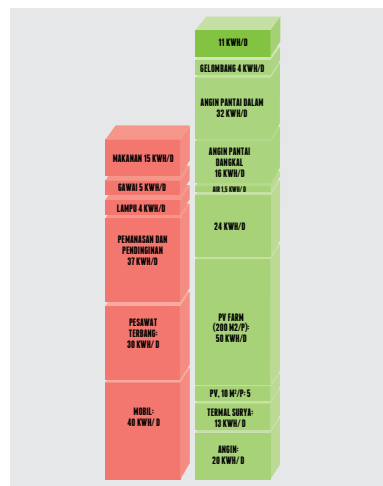
Laguna pasut dibuat dengan cara membangun tembok-tembok di laut sehingga menjadi semacam estuari buatan. Syarat lokasi: airnya harus dangkal dan kisaran-pasutnya harus besar. Selain itu, semakin besar laguna yang dibangun, semakin murah pula listrik yang dihasilkan. Inggris memiliki dua lokasi yang cocok untuk laguna berukuran besar serta sejumlah lokasi yang sesuai untuk yang berukuran lebih kecil.

Di perairan Inggris, daya rata-rata per luas satuan laguna-pasut bisa mencapai **4,5 W/m<sup>2</sup>** sehingga apabila dibangun beberapa unit yang luas totalnya mencapai 800 km<sup>2</sup>, daya yang dibangkitkan bisa mencapai **1,5 kWh/hari per orang**.

### NILAI PLUS DAYA PASUT

Apabila ditotal, empang rendah, laguna pasut, dan ladang pasut bisa menghantarkan kurang lebih **11 kWh/hari per orang**.

- Sejumlah nilai plus daya pasut untuk konteks negeri Inggris:
1. Daya pasut sepenuhnya bisa diprediksi; tidak seperti angin dan matahari, daya pasut bersifat andal dan terbaharui.
  2. Daya pasut awet hingga jutaan tahun.
  3. Ia tidak butuh perangkat keras yang mahal seperti halnya daya fotovoltaik surya.
  4. Karena rapat daya arus-pasut lebih besar daripada rapat daya angin, sebuah turbin pasut 1 MW pun berukuran lebih kecil dibandingkan turbin angin 1 MW sehingga turbin pasut barangkali akan berbiaya lebih murah daripada turbin angin.
  5. Tidak seperti turbin angin yang harus dibangun sedemikian rupa sehingga menjadi tahan badai, rancangan bangun turbin pasut (yang berada di bawah permukaan air) tidak perlu mempertimbangkan banyak faktor keamanan karena air di bawah permukaan relatif kalem.
  6. Karena turbin pasut berada di bawah permukaan laut, masyarakat tidak akan bersungut soal dampak yang ditimbulkan turbin terhadap keasrian.



Gambar 17.2. Pasang surut

### PANCARAGAM BARANG

Salah satu sungap atau penyerap energi yang utama di dunia “maju” ialah penciptaan barang. Pada siklus hidupnya, pancaragam produk melewati tiga tahapan. Pada tahap pertama, sebuah produk baru dipajang di toko di dalam kemasan yang berkilap. Pada tahap ini produk disebut “barang”. Begitu ia dibawa pulang dan dikeluarkan dari dalam kemasan, ia turun pangkat menjadi “kemubaziran”. Selang waktu tertentu (bisa berbulan-bulan bisa juga bertahun-tahun) si kemubaziran itu hidup bersama pemiliknya, yang dalam pada itu malah berbelanja lebih banyak barang. Akhirnya, tiba juga waktunya bagi si kemubaziran untuk berubah rupa menjadi “sampah”. Pada tahap ini, sang pemilik menyerahkan barangnya itu untuk diangkut pergi ke tempat pembuangan sampah. Kala kita menghitung biaya energi suatu barang – mungkin dalam rangka melakukan penyempurnaan terhadap barang tersebut – kita harus melakukan apa yang disebut sebagai analisis siklus hidup. Untuk semua barang – ya pengering rambut, ya kapal pesiar – perhitungan biaya energi dibagi menjadi empat bagian:

- Fase B: Pembuatan bahan mentah.** Mineral digali dari dalam tanah, dilebur, dimurnikan, dan diubah menjadi plastik, gelas, logam, keramik, dsb. Biaya energi pada fase ini mencakup biaya pengangkutan.
- Fase Pr: Produksi.** Bahan mentah diolah menjadi produk rakitan. Biaya energi pada fase ini mencakup pengemasan dan pengangkutan.
- Fase Pg: Penggunaan.** Mau pengering rambut atau kapal pesiar, semua menyedot energi pada saat dipakai sesuai kegunaannya.
- Fase Pb: Pembuangan.** Biaya energi pada fase ini mencakup penimbunan atau daur ulang, serta pembersihan polusi terkait suatu barang

	ENERGI TERBENAM (KWH PER KG)
BBF	10
KAYU	5
KERTAS	10
KACA	7
PLASTIK PET	30
ALUMINIUM	40
BAJA	6

Tabel 18.1. Energi terbenam bahan mentah.

Karena cuma ingin membuat prakiraan kasar, kita hanya akan memfokus pada fase yang berbiaya energi terbesar, yakni B dan Pr. Biaya energi pada fase ini lazim disebut energi “terbenam” barang. Alihalih menghitung biaya untuk semua barang, kita akan memcomot beberapa contoh saja yang biasa kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari.

### KALENG MINUMAN

Katakanlah dalam sehari kita konsumsi lima kaleng minuman rasa kola, dan kaleng aluminium yang kosong kita buang ke tempat sampah. Di sini, fase B yang dominan karena produksi logam (terutama aluminium) bersifat padat energi. Produksi satu kaleng aluminium membutuhkan energi 0,6 kWh, sehingga lima kaleng kita menyedot daya **3 kWh/hari**.

Energi terbenam botol air mineral kemasan 500 ml yang terbuat dari PET (bobot: 25 gr) mencapai 0,7 kWh – sama parahnya dengan kaleng aluminium, ternyata!



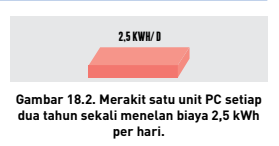
Gambar 18.1. Lima kaleng aluminium sehari setara dengan 3 kWh/hari. Energi terbenam pada kemasan lainnya yang dibuang oleh orang di Inggris mencapai 4 kWh/hari.

### KEMASAN LAINNYA

Orang Inggris rata-rata membuang kemasan sebanyak 400 gr per hari (utamanya berupa kemasan makanan). Jika kita asumsikan energi terbenam rata-rata kemasan adalah 10 kWh/kg, maka jejak energi kemasan menjadi **4 kWh/hari**.

### KOMPUTER

Merakit sebuah komputer berbiaya energi 1.800 kWh. Jika kita membeli komputer baru setiap dua tahun sekali, maka daya yang dipakai **2,5 kWh per hari**.



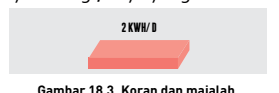
Gambar 18.2. Merakit satu unit PC setiap dua tahun sekali menelan biaya 2,5 kWh per hari.

### BATERAI

Biaya energi membuat baterai nikad AA isi-ulang (yang menghimpun energi listrik sebanyak 0,001 kWh dan berbobot 25 gr) adalah 1,4 kWh (fase B dan Pr). Jika kita anggap biaya energi pembuatan baterai sekali-pakai adalah sama besarnya, maka membuang dua batu baterai AA per bulan mengonsumsi daya **0,1 kWh/hari**. Jumlah sekecil ini bisa kita abaikan.

### KORAN DAN MAJALAH

Sebuah harian setebal 36 halaman memiliki bobot 90 gr; sebuah majalah setebal 32 halaman yang dicetak di atas kertas mengilat berbobot 125 gr. Kertas memiliki energi terbenam sebesar 10 kWh per kg, sehingga apabila dalam sehari kita berlangganan media cetak sebanyak 200 gr, daya yang kita konsumsi **2 kWh per hari**. Daur ulang bisa menghemat separuh dari energi manufaktur kertas.



Gambar 18.3. Koran dan majalah.

### PRODUK BERUKURAN BESAR

Bagi sebagian besar orang, rumah merupakan barang terbesar yang dibelinya. Jika kita asumsikan kita mengganti satu unit rumah saban 100 tahun sekali, maka biaya energinya diprakirakan mencapai 2,3 kWh/hari. Angka ini baru mencakup konstruksi cangkang rumah – fondasi, batu bata, ubin, balok dukung atap. Jika angka hunian rumah rata-rata adalah 2,3, maka pengeluaran energi rata-rata untuk konstruksi rumah diprakirakan menjadi **1 kWh per hari per orang**.

Berapa untuk mobil? Energi terbenam sebuah mobil baru adalah 76.000 kWh. Jadi, jika kamu beli mobil baru setiap 15 tahun sekali, maka biaya energi rata-ratanya adalah **14 kWh per hari**.

Jalan kita pakai bersama, jadi berapa untuk jalan? Di Australia, biaya membuat jalan diprakirakan mencapai 7.600 kWh per meter dan biaya totalnya selama 40 tahun (termasuk biaya pemeliharaan) mencapai 35.000 kWh per meter. Panjang jalan di Inggris mencapai 45.000 kilometer (tidak termasuk jalan tol), sehingga biaya energinya (dengan memakai data Australia) adalah **2 kWh/hari per orang**.

## PIONIR BOOKS

1 KWh/d

Gambar 18.4. Membangun rumah.

2 KWh/d

Gambar 18.6. Membangun jalan.

14 KWh/d

Gambar 18.5. Merakit mobil.

## MENGGANGKUT BARANG

Pengangkutan barang diukur dalam satuan ton-kilometer (t-km). Jika satu ton barang diangkut sejauh 580 km, maka pengangkutan barang yang diselenggarakan adalah sebesar 580 t-km. Di Inggris, intensitas energi transportasi jalan mencapai kurang lebih **1 kWh per t-km**. Mengangkut barang lewat air dan rel kereta jauh lebih efisien daripada lewat jalan (apalagi udara).

## MENGGANGKUT BARANG LEWAT JALAN

Pada 2006, jumlah barang yang diangkut di Inggris lewat jalan mencapai 156 miliar t-km. Ini setara dengan 7 t-km per hari per orang atau **7 kWh per hari per orang**. Seperempat bagian dari barang yang diangkut ternyata berupa makanan, minuman, dan rokok.

7 KWh/d

Gambar 18.7. Biaya energi angkutan barang di Inggris: 7 kWh/hari per orang.

## PENGANGKUTAN AIR

Pada 2002, 560 juta ton barang melewati pelabuhan Inggris. Biaya energi pengapalan internasional Inggris: **4 kWh/hari per orang**.

4 KWh/d

Gambar 18.8. Pengangkutan lewat air.

## PENYALURAN AIR

Di Inggris, orang memakai 160 liter air per hari per orang. Mereka juga membuang 160 liter air selokan per hari per orang untuk diolah PAM. Biaya memompa air keliling Inggris dan mengolah air selokan: **0,4 kWh per hari per orang**.

0,4 KWh/d

Gambar 18.9. Menyalurkan air: 0,3 kWh/hari; mengolah air selokan: 0,1 kWh/hari.

## BARANG ECERAN

Barang Eceran Supermarket di Inggris menghabiskan energi sebesar kurang lebih 11 TWh dalam setahun. Ini berarti bahwa setiap orang di Inggris mengonsumsi daya sebanyak **0,5 kWh per hari**.

0,5 KWh/d

Gambar 18.10. Supermarket.

## BARANG IMPOR

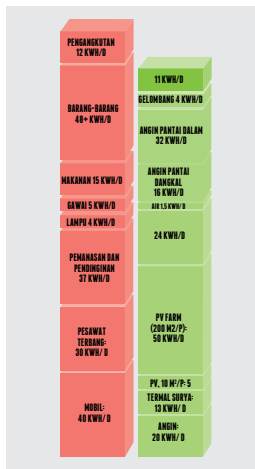
Pada awal abad ke-20 Inggris masih rajin memanufaktur barang-barangnya sendiri sehingga jejak karbonnya pada masa itu sama tingginya dengan jejak karbon Amerika saat ini. Namun, Inggris sekarang lebih suka mengimpor kebutuhan barangnya. Apabila kita ikut memperhitungkan barang yang masuk ke Inggris lewat jalur impor, jejak karbon Inggris mencapai 21 ton CO<sub>2</sub>e per orang; apabila kita tidak memasukannya dalam hitungan kita, angkanya cuma 11 ton CO<sub>2</sub>e per orang – hampir

separuhnya.

Artinya, pos terboros pada jejak energi rata-rata orang Inggris adalah biaya energi untuk membuat barang impor.

Jumlah barang (tidak termasuk BBM) yang saban tahun mengalir masuk ke Inggris bisa mencapai 4 kg per hari per orang. Sebagian besar barang impor terbuat dari bahan yang pembuatannya paling tidak memakan energi sebesar 10 kWh per kg barang, sebut saja mobil, kulkas, oven mikrogelombang, komputer, mesin fotokopi, dan pesawat televisi.

Sehingga, sebagai kesimpulan, dengan memperhitungkan berbagai jenis barang yang disebutkan sebelumnya di atas ditambah dengan pengangkutannya, kita bisa mengasumsikan bahwa untuk membuat barang orang Inggris menghabiskan daya sebanyak **48 kWh per hari** (paling tidak 40 untuk barang impor, 2 untuk harian, 2 untuk konstruksi jalan, 1 untuk konstruksi rumah, dan 3 untuk 26 pengemasan); ditambah lagi dengan 12 kWh per hari per orang untuk pengangkutan barang lewat jalur laut, jalan, dan pipa, serta penyimpanan makanan di supermarket.



Gambar 18.11. Daya yang disedot untuk membuat berbagai barang untuk orang Inggris mencapai 48 kWh/hari. Mengangkut barang-barang tersebut ke tempat tujuan menyedot daya tambahan sebanyak 12 kWh/hari.

## PANAS BUMI

Sumber energi panas bumi (geotermal) ada dua jenis: (i) peluruhan radioaktif di kerak bumi dan (ii) panas yang merembes ke luar lewat mantel bumi dari dalam inti bumi. Panas bumi merupakan energi terbarukan yang cukup menarik karena ia "tak ada matinya" dan ia tak tergantung pada cuaca.

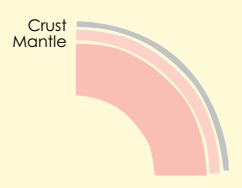
Pada 2006, listrik panas-bumi rata-rata yang dibangkitkan di Islandia (jumlah penduduk 300.000 jiwa) mencapai 300 MW (24 kWh/hari per orang). Lebih dari separuh listrik negara itu dipakai untuk memproduksi aluminium.

Kita bisa melakukan estimasi untuk dua jenis daya panas bumi: (i) daya yang tersedia pada suatu lokasi umum di kerak bumi dan (ii) daya yang tersedia pada suatu lokasi khusus (misal, Islandia). Asumsi: karena jumlah lokasi umum lebih banyak, total sumber daya yang tersedia di lokasi tersebut pun lebih besar daripada di lokasi khusus. Sekarang, bagaimana caranya kita bisa mendulang energi ini secara lestari?

## MENDULANG ENERGI INI SECARA LESTARI

Cara energi ini didulang bisa diibaratkan dengan menancapkan sedotan-sedotan ke dalam bumi dan mulai menyedot begitu mereka mencapai kedalaman tertentu. Agar lestari, kita tentu harus menyedot secara perlahan, yaitu agar lapisan batu di ujung sedotan tidak berubah menjadi dingin. Artinya, laju sedot kita harus selaras dengan laju alami panas bumi mengalir ke luar dari dalam perut bumi.

## PIONIR BOOKS



Gambar 19.1. Tampang lintang bumi.

Di lokasi umum, arus bahang dari inti bumi yang merembes ke luar lewat mantel bumi adalah kurang lebih 10 mW/m<sup>2</sup>; arus bahang di permukaan bumi 50 mW/m<sup>2</sup>. Jadi, peluruhan radioaktif menambahkan 40 mW/m<sup>2</sup> pada arus bahang yang keluar dari dalam inti bumi.

Satu miliwatt (1 mW) sama dengan 0,001 W. Daya sebesar 50 mW/m<sup>2</sup> tersebut bukanlah energi kualitas tinggi; ia energi kualitas rendah yang merembes ke luar pada suhu sekitar di permukaan bumi. Karena kita ingin menghasilkan listrik, kita harus menggali lebih dalam lagi. Panas menjadi berfaedah hanya apabila ia berasal dari sumber yang bersuhu lebih tinggi daripada suhu sekitar. Semakin dalam kita menggali, semakin tinggi pula suhu yang kita jumpai: pada kedalaman 40 km suhu bisa mencapai 500°C. Antara kedalaman 0 km tempat arus bahang adalah yang terbesar tetapi suhu lapisan batu terlalu rendah, dan 40 km tempat lapisan batu adalah yang terpanas tetapi arus bahangnya lima kali lebih kecil (karena kita tidak kebagian bahang yang dihasilkan oleh peluruhan radioaktif terdapat suatu kedalaman optimal tempat kita harus melakukan penyedotan.

Kedalaman optimal tersebut adalah 15 km. Pada kedalaman ini, suatu mesin bahang (*heat engine*) yang bagus bisa menghantarkan 17 mW/m<sup>2</sup>. Jika kepadatan penduduk dunia 43 jiwa/km<sup>2</sup>, maka setiap orang kebagian 10 kWh per hari (yaitu, apabila seluruh tanah kita manfaatkan). Karena kepadatan penduduk Inggris lima kalinya kepadatan penduduk dunia, setiap orang Inggris akan kebagian maksimal **2 kWh per hari**.

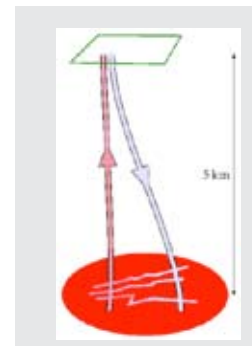
Asumsi yang dipakai: angka ini merupakan angka lestari, lokasi khusus tidak diperhitungkan, pusat listrik beroperasi sempurna tanpa cela, setiap meter persegi tanah kontinen kita garap, pengeboran tidak dikenakan biaya, dan mengebor sedalam 15 km adalah mungkin.

## MENAMBANG DAYA PANAS BUMI

Strategi yang lain ialah memperlakukan panas bumi sebagai suatu sumber-daya pertambangan. Pada proses "ekstraksi panas-bumi tینگkat" dari batu kering-panas, kita mengebor hingga kedalaman 5 s/d 10 km dan meretakkan lapisan batu dengan cara memompa air. Kemudian kita mengebor sumur kedua di dalam zona retak yang baru kita buat. Setelah itu, kita memompa air dingin ke dalam satu sumur dan menyedot air panas atau uap lewat sumur yang lain. Uap tersebut bisa kita pakai untuk menghasilkan listrik atau untuk menghantarkan panas.

Masalahnya, Inggris miskin batu kering-panas. Estimasi terbesar sumber-daya batu kering-panas untuk Inggris adalah 130.000 TWh, yang menurut kalangan pakar bisa menghasilkan listrik hingga **1,1 kWh per hari per orang** selama kurang lebih 800 tahun. Kesimpulannya, di Inggris panas bumi tidak akan banyak berperan.

Di kota Southampton (jumlah penduduk 217.445 jiwa), sebuah sumur panas-bumi menghantarkan daya **0,13 kWh/d per orang dalam bentuk air panas**.



Gambar 19.2. Ekstraksi panas-bumi tینگkat dari batu kering-panas. Satu sumur dibor dan diberi tekanan untuk menciptakan retakan. Sumur kedua dibor di dalam zona retak. Air dingin dipompa ke sumur yang satu dan air panas (uap) disedot dari sumur yang lain.



Gambar 19.3. Panas bumi.

## PELAYANAN PUBLIK

### BIAYA ENERGI UNTUK "PERTAHANAN"

Pada 2007-8, pemerintah pusat Inggris menghabiskan £ 33 miliar/£ 587 miliar = 6% untuk pertahanan.

Apabila angka tersebut kita jumlahkan dengan pengeluaran Inggris di bidang kontraterorisisme dan intel (£ 2,5 miliar per tahun, dan terus bertambah), total jenderal untuk kegiatan pertahanan menjadi £ 36 miliar.

Jika kita asumsikan 6% dari £ 36 miliar itu dihabiskan untuk energi seharga 2,7 p (kurang lebih Rp 512) per kWh (6% adalah porsi PDB yang dihabiskan untuk energi; 2,7p adalah harga rata-rata energi), maka setiap tahun Inggris mengalirkan energi sebesar 80 TWh ke sektor pertahanan, atau **4 kWh per hari per orang**. Bandingkan dengan daya 5,2 miliar kWh per tahun atau **0,24 kWh per hari per orang** yang dipakai oleh perguruan tinggi Inggris untuk tujuan penelitian dan pendidikan.



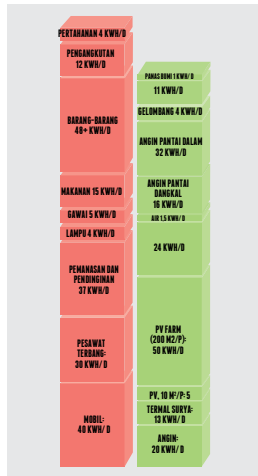
Gambar 20.1. Pertahanan Inggris diperkirakan menghabiskan 4 kWh per hari per orang.

## BISAKAH INGGRIS MEGANDALKAN ENERGI TERBARUAN SAJA?

Total jenderal lajur merah kita **195 kWh per hari per orang**. Total jenderal lajur hijau **180 kWh per hari per orang**. Hampir seimbang. Namun, ingat, dalam menghitung lajur hijau kita telah mengabaikan semua kendala ekonomi, sosial, dan lingkungan hidup. Selain itu, beberapa di antara kontributor lajur hijau kita mungkin akan bertabrakan. Misal, panel fotovoltaik



dan panel air panas bakal berebut tempat di atap rumah; perladangan fotovoltaik surya yang kita patok akan memakai 5% wilayah Inggris mungkin bakal bersaing dengan tanaman energi yang mau kita budi daya di 75% wilayah Inggris. Padahal apabila kita kehilangan satu kontributor utama saja pada lajur hijau kita – angin lepas pantai air-dalam, misalnya – lajur hijau bakal langsung keok menghadapi lajur merah.



Gambar 21.1. Skor akhir setelah kita menjumlahkan semua sumber energi terbarukan konvensional.

### CATATAN SAMPIING LAJUR MERAH

Angka **195 kWh per hari per orang** adalah angka konsumsi rata-rata orang yang serba kecukupan. Di Amerika, orang rata-rata mengonsumsi **250 kWh per hari**. Angka konsumsi rata-rata orang Eropa kurang lebih **125 kWh per orang per hari**.

Akan tetapi, dua angka rata-rata resmi tersebut – 250 kWh per hari dan 125 kWh per hari – belum memperhitungkan “energi terbenam” pada barang impor dan energi terbenam alami pada pangan (energi yang diserap lewat fotosintesis).

### CATATAN SAMPIING LAJUR HIJAU

Angka total pada lajur hijau kita ternyata lebih tinggi daripada estimasi pemberian Komisi Pembangunan Berkelanjutan Inggris (*Sustainable Development Commission*), sebuah instansi nondepartemental yang bertugas memberikan saran kepada Pemerintah Inggris di bidang pembangunan yang berkelanjutan. Badan yang berdiri pada 2000 dan dibubarkan pada 2011 ini pernah menerbitkan estimasi yang dihitung oleh empat sumber – IEE, Tyndall, IAG, dan PIU – dan semuanya memberikan estimasi yang lebih rendah. Sebagai contoh, IEE (*Institute of Electrical Engineers*) mematok potensi teknologi terbarukan pada 27 kWh per hari per orang; Tyndall Centre 15 kWh per hari per orang; IAG (*Interdepartmental Analysts Group*) 12 kWh per hari per orang.

### KESIMPULAN BERDASARKAN NERACA MERAH-HIJAU KITA

Kita melakukan semua perhitungan di atas untuk mencari tahu apakah kita, dalam hal ini Inggris yang kita jadikan contoh kasus, bisa melepaskan diri dari BBF (karena alasan perubahan iklim, pengamanan pasokan energi, dsb.). Saat ini, di Inggris, daya yang ditapis dari teknologi terbarukan dan nuklir hanya 4% dari jumlah konsumsi daya negara itu. Kesimpulannya:

1. *Supaya bisa membuat perbedaan yang nyata, sebuah fasilitas terbarukan haruslah dibangun sangat luas.*

Misal, agar memperoleh kontribusi yang berarti dari angin, ladang angin harus kita bangun seluas Wales (sebuah negara bagian Inggris dengan luas sedikit di atas provinsi

NTB di Indonesia). Agar mendapatkan kontribusi yang besar lewat fotovoltaik surya, Inggris butuh separuh Wales. Untuk mendapatkan kontribusi nyata dari gelombang, 500 km garis-pantai harus kita tutup dengan ladang gelombang. Tanaman energi harus kita semai di 75% wilayah Inggris agar bisa memberikan kontribusi yang real.

Fasilitas terbarukan haruslah sangat luas karena semua teknologi terbarukan terbentang sangat luas (membutuhkan banyak meter persegi lahan untuk membangkitkan daya sekian watt).

DAYA PER LUAS TANAH ATAU AIR SATUAN	
ANGIN	2 W/M <sup>2</sup>
ANGIN LEPAS PANTAI	3 W/M <sup>2</sup>
KOLAM PASUT	3 W/M <sup>2</sup>
PANEL PV SURYA	5-20 W/M <sup>2</sup>
TANAMAN	0,5 W/M <sup>2</sup>
AIR HUJAN (DATARAN TINGGI)	0,24 W/M <sup>2</sup>
FASILITAS LISTRIK TENAGA AIR	11 W/M <sup>2</sup>
PANAS BUMI	0,017 W/M <sup>2</sup>

Tabel 21.1. Fasilitas terbarukan haruslah sangat luas karena semua teknologi terbarukan terbentang sangat luas.

Sangat susah untuk menopang gaya hidup orang Inggris hanya dengan memanfaatkan sumber daya terbarukan yang tersedia di Inggris. Sebuah solusi energi yang berlandaskan teknologi terbarukan haruslah sangat besar dan intrusif (menyelonong).

2. *Bukan urusan gampang* menyusun sebuah rencana energi yang masuk akal yang berlandaskan teknologi terbarukan; namun, ia juga bukan suatu kemustahilan. Yang penting, kita harus mulai membangun sekarang juga.

### NUKLIR?

Daya nuklir ada dua macam: fisi (pembelahan) dan fusi (pemaduan). Fisi sudah jamak kita temui direaktor nuklir yang memakai uranium sebagai bahan bakar (uranium adalah unsur dengan bobot yang sangat tinggi). Pada fisi nuklir, energi dilepaskan kala inti berbobot tinggi dibelah menjadi sejumlah inti berukuran sedang.

Sementara itu, fusi memakai unsur-unsur ringan sebagai bahan bakar (terutama hidrogen). Pada fusi nuklir, energi dilepaskan kala inti-inti yang ringan dipadukan menjadi inti yang berukuran sedang. Fusi nuklir masih berada pada tahap penelitian.

Baik pada fusi maupun fisi, energi nuklir yang tersedia per atom besarnya kurang lebih satu juta kalinya energi kimia per atom bahan bakar serupa. Artinya, jumlah bahan bakar dan limbah di sebuah reaktor nuklir pun bisa satu juta kali lebih kecil daripada di pusat listrik BBF yang setara.

Walaupun arus bahan yang mengalir ke dalam dan ke luar sebuah reaktor nuklir lebih kecil daripada arus bahan bakar fosil, bukan berarti ia lantas menjadi bebas persoalan; ia tetap menjadi persoalan, bedanya sekarang ia menjadi persoalan yang kecil.

### DAYA YANG “LESTARI” DARI FISI NUKLIR

Pertanyaannya sekarang adalah, bisakah daya nuklir dijadikan “lestari”? Bisakah umat manusia hidup hingga “tujuh turunan” dari fisi? Seberapa besar pasokan uranium dunia dan unsur terbelahkan lainnya?

Apakah cukup untuk puluhan atau bahkan ribuan tahun?

Guna memprakirakan suatu perolehan daya yang “lestari” dari uranium, kita akan mengestimasi jumlah uranium terperoleh yang terdapat di tanah dan di laut, dan membaginya secara rata antara penduduk bumi sebesar 6 miliar jiwa. Kemudian kita akan bertanya, “Seberapa cepat bisa kita pakai uranium sebanyak ini apabila ia harus awet hingga 1.000 tahun ke depan?” Sebagian besar uranium terperoleh berada di laut, bukan di tanah: air laut mengandung 3,3 mg uranium per m<sup>3</sup> air alias 4,5 miliar ton di seantero dunia. Masalahnya, sampai sekarang belum ada yang menemukan cara untuk mengekstrak uranium dari air laut pada skala industri. Untuk itu, kita akan membuat estimasi untuk dua kasus: satu untuk uranium galian, dan satu untuk uranium lautan.

Uranium galian yang bisa kita ekstrak pada harga kurang dari \$ 130 per kg uranium jumlahnya kurang lebih seperseribu dari uranium lautan. Seandainya harga naik di atas \$ 130 per kg, endapan fosfat yang mengandung uranium dalam konsentrasi rendah menjadi layak untuk digali. Dengan demikian, uranium galian (dalam bentuk bijih dan fosfat) akan kita estimasi berjumlah 27 juta ton.

Kita akan mengkaji dua cara pengolahan uranium di sebuah reaktor: (a) metode sekali-lalu yang sudah jamak diterapkan dan yang memperoleh energi terutama dari 235U (yang jumlahnya hanya 0,7% dalam uranium) dan yang membuang 238U yang tersisa; dan (b) reaktor pembiak cepat, yang lebih mahal untuk dibangun, tetapi yang bisa mengubah 238U menjadi plutonium-239 yang terbelahkan dan yang menyadap 60 kali lebih banyak energi dari uranium.

### REAKTOR SEKALI-LALU, MEMAKAI URANIUM GALIAN

Satu pusat listrik berukuran **1 GW** memakai 162 ton uranium per tahun. Sehingga, jika uranium tertambang kita patok harus bisa awet hingga 1.000 tahun ke depan, maka laju produksi daya nuklir harus kita setel pada **0,55 kWh per hari per orang**. Sebenarnya, ini merupakan tingkat produksi dari cuma 136 pusat listrik nuklir atau separuh dari produksi daya nuklir saat ini.

Jadi, apakah skenario ini bersifat “lestari”? Pada tingkat konsumsi saat ini, reaktor sekali-lalu betul bisa awet hingga ratusan tahun; akan tetapi, apabila kita ingin mendongkrak daya nuklir di seantero dunia hingga 40 kali lipat dalam rangka melepaskan diri dari belunggu BBF, dan guna memperhitungkan faktor kenaikan taraf hidup, reaktor sekali-lalu sepertinya bukanlah teknologi yang lestari.

### REAKTOR PEMBIAK CEPAT, MEMAKAI URANIUM GALIAN

Uranium bisa dipakai 60 kali lebih efisien di reaktor pembiak cepat karena ia membakar seluruh uranium (baik 238U maupun 235U) – reaktor sekali-lalu boleh dibilang cuma membakar 235U. Lagian, uranium bekas reaktor sekali-lalu bisa dijadikan bahan bakar di reaktor jenis ini, sehingga tidak ada yang mubazir. Jadi, jika kita memakai seluruh uranium tertambang (ditambah dengan timbunan uranium terkosong bekas reaktor sekali-lalu) di reaktor pembiak cepat, maka daya yang kita peroleh 33 kWh per hari per orang.

Masalahnya, teknologi ini disertai dengan banyak suara pro dan kontra; yang kontra menganggap pembiak cepat sebagai teknologi yang kelewat riskan.

### REAKTOR SEKALI-LALU, MEMAKAI URANIUM LAUTAN

Jika diekstraksi secara menyeluruh dan dijadikan umpam reaktor sekali-lalu, maka energi uranium lautan mencapai

$$\frac{4,5 \text{ MILIAR TON PER PLANET}}{162 \text{ TON URANIUM PER GW - TAHUN}} = 28 \text{ JUTA GW - TAHUN PER PLANET}$$

Masalahnya, lautan bersirkulasi dengan amat pelan: air laut-dalam Samudra Pasifik mengemuka cuma sekali saban 1.600 tahun, padahal separuh air dunia berada di Samudra Pasifik. Jika kita bisa mengekstraksi uranium lautan sebanyak 10% saja dalam kurun waktu 1.600 tahun, maka setiap tahun kita mendulang 280.000 ton. Apabila dijadikan bahan bakar reaktor sekali-lalu, daya yang dihasilkan

$$\frac{2,8 \text{ JUTA GW - TAHUN}}{1.600 \text{ TAHUN}} = 1.750 \text{ GW}$$

Jika ini dibagi rata antara penduduk bumi sebesar 6 miliar jiwa, maka setiap orang akan kebagian 7 kWh per hari. (Saat ini, reaktor nuklir yang ada menghasilkan 369 GW atau seperempat dari angka di atas.)

Apabila reaktor uranium bisa menutupi biaya energi proses ekstraksi, skenario ini menjadi opsi yang “lestari”.

### REAKTOR PEMBIAK CEPAT, MEMAKAI URANIUM LAUTAN

Jika reaktor pembiak cepat 60 kali lebih efisien, maka uranium lautan bisa menghasilkan 420 kWh per hari per orang. Nah, akhirnya angka yang lestari yang mengalahkan konsumsi kita saat ini! Namun, ingat: skenario ini menggabungkan sebuah teknologi yang masih mentah (pengekstraksian uranium lautan) dengan sebuah teknologi yang kurang populer (reaktor pembiak cepat).

#### Berapa Biayanya?

Perhitungan di atas kita lakukan tanpa mempertimbangkan aspek ekonomi. Namun, karena daya uranium lautan menyimpan potensi yang begitu menjanjikan, ada baiknya kita menelusuri apakah angka daya uranium kita itu masuk akal atau tidak dari segi ekonomi.

Peneliti Jepang telah menemukan sebuah teknik untuk mengekstraksi uranium lautan dengan biaya \$ 100-300 per kg uranium – sebagai perbandingan, mengekstraksi uranium galian berbiaya \$ 20 per kg.

Karena uranium mengandung jauh lebih banyak energi per ton dibandingkan bahan bakar biasa, kenaikan biaya uranium hingga 5 atau 15 kali lipat tidak akan berdampak banyak pada biaya daya nuklir: harga daya nuklir didominasi oleh biaya pembangunan dan penonaktifan pusat listrik, bukan oleh biaya bahan bakar.

Apakah teknik ini bisa ditingkatkan skalanya? Berapa biaya energi untuk mengolah air laut? Pada eksperimen Jepang, tiga sangkar berisi penuh bahan penjerap pemikat uranium sebesar 350 kg menghimpun “lebih dari 1 kg talem kuning dalam 2,40 hari” – setara dengan 1,6 kg per tahun. Ketiga sangkar tersebut bertampang-lintang seluas 48 m<sup>2</sup>. Untuk menjalankan reaktor sekali-lalu berkapasitas 1 GW, kita butuh 160.000 kg per tahun – 100.000 kali lebih besar daripada eksperimen Jepang tersebut. Jika kita sekadar meningkatkan skala teknik

Jepang ini, yang menghimpun uranium secara pasif dari laut, maka daya sebesar 1 GW membutuhkan sangkar-sangkar yang memiliki luas total 4,8 km<sup>2</sup> dan yang memuat 350.000 ton bahan penjerap – lebih berat daripada bobot baja di reaktor

itu sendiri. Artinya apa? Artinya, usaha yang dibutuhkan untuk membangun fasilitas ini sama muluknya dengan "memasang 10 m<sup>2</sup> panel surya untuk setiap orang" pada bahasan kita mengenai fotovoltaik surya atau "menanam 10% negeri Inggris dengan kincir angin"

kala kita berbicara soal daya angin.

Betul, ini bukan investasi yang kecil, tetapi juga bukan investasi yang mustahil. Lagian ini baru data untuk reaktor sekali-lalu; kebutuhan uranium reaktor pembiak 60 kali lebih kecil.

Pada awal Maret 2014, Jamie Edwards, seorang siswa SMP di Inggris, dilaporkan berhasil menjalankan fusi nuklir dalam sebuah eksperimen di sekolahnya. Edwards baru berusia 13 tahun pada saat itu dan dia menjadi orang termuda yang berhasil membuat sebuah reaktor fusi, sebuah rekor yang sebelumnya dipegang oleh Taylor Wilson asal Nevada, Amerika Serikat, yang pada tahun 2008 baru berusia 14 tahun kala menjalankan eksperimen serupa dengan sukses.

Sumber: www.dailymail.co.uk

### MENUMPANG SUMBER-DAYA TERBARUAN NEGARA LAIN?

Ternyata susah juga bagi orang Inggris untuk hidup murni dari sumber-daya terbarunya sendiri dalam rangka membebaskan diri dari BBF. Opsi nuklir masih banyak kendalanya. Jadi, langkah apa lagi dong yang bisa kita ambil? Bagaimana kalau menumpang panel surya atau menanam tanaman lain? (Dalam arti, mungkin ada negara yang berminat menjual sumber-daya terbarunya kepada Inggris.)

Kebanyakan sumber-daya terbaruan bertalian dengan luas lahan: contoh, memasang panel surya atau menanam tanaman, semuanya butuh lahan. Jared Diamond, dalam bukunya Collapse, menulis bahwa, walaupun ada banyak faktor yang menjadi penyebab runtuhnya suatu peradaban, semua peristiwa keruntuhan memiliki satu kesamaan, yaitu kepadatan penduduk manusia yang telah membengkak kelewat besar.

Tempat seperti Inggris dan Eropa boleh dibilang berada di ujung tanduk lantaran tingginya kepadatan penduduk mereka, padahal, seperti yang kita tahu, pemanfaatan sumber-daya terbaruan boros tanah (karena berapat-daya rendah).

#### DAYA PER LUAS TANAH ATAU AIR SATUAN

ANGIN	2 W/M <sup>2</sup>
ANGIN LEPAS PANTAI	3 W/M <sup>2</sup>
KOLAM PASUT	3 W/M <sup>2</sup>
ARUS PASUT	6 W/M <sup>2</sup>
PANEL FV SURYA	5-20 W/M <sup>2</sup>
TANAMAN	0,5 W/M <sup>2</sup>
AIR HUJAN (DATARAN TINGGI)	0,24 W/M <sup>2</sup>
FASILITAS LISTRIK TENAGA AIR	11 W/M <sup>2</sup>
PEMUSATAN DAYA SURYA (GURUN)	15 W/M <sup>2</sup>

Tabel 23.1. Fasilitas terbaruan haruslah sangat luas karena semua teknologi terbaruan terbentang sangat luas.

Apabila Inggris ingin mencari bantuan dari luar, negara pemberi bantuan harus memiliki: a) kepadatan penduduk yang rendah; b) berwilayah luas; dan c) memiliki pasokan daya terbaruan yang berapat daya tinggi.

KAWASAN	PENDUDUK	WILAYAH	KEPADATAN (JIWA PER KM <sup>2</sup> )	WILAYAH PER ORANG (M <sup>2</sup> )
LIBIA	5.760.000	1.750.000	3	305.000
KAZAKSTAN	15.100.000	2.710.000	6	178.000
ARAB SAUDI	26.400.000	1.960.000	13	74.200
ALJAZAIR	32.500.000	2.380.000	14	73.200
SUDAN	40.100.000	2.500.000	16	62.300
DUNIA	6.440.000.000	148.000.000	43	23.100

Tabel 23.2. Sejumlah kawasan yang diurut dari kecil ke besar menurut kepadatan penduduk.

Tabel 23.2 menyajikan nama sejumlah negara yang memenuhi ketiga kriteria tersebut. Kepadatan penduduk Libia, misalnya, 70 kali lebih rendah daripada Inggris, sementara wilayahnya 7 kali lebih luas.

Sejumlah negara besar lain yang berwilayah luas: Kazakstan, Arab Saudi, Aljazair, dan Sudan. Sumber-daya terbaruan yang paling menjanjikan untuk dimanfaatkan di negara-negara ini ialah daya solar, khususnya pemusatan daya surya, yang memakai cermin atau lensa untuk memfokuskan cahaya matahari. Pusat listrik pe pemusatan surya ada beberapa jenis, tetapi semuanya menghasilkan kurang lebih 15 W/m<sup>2</sup>.

### TEKNOLOGI YANG MASUK AKAL

"Kebutuhan daya seluruh dunia bisa dipenuhi oleh wilayah seluas 100 km kali 100 km di gurun Sahara".

Benarkan pernyataan ini?

Memusatkan daya surya di gurun menghasilkan kurang lebih 15 W/m<sup>2</sup>, sehingga daya yang bisa dihasilkan 150 GW. Angka ini masih jauh dari konsumsi daya global saat ini; angka ini bahkan masih di bawah konsumsi listrik dunia (2.000 GW). Konsumsi daya seluruh dunia saat ini adalah 15.000 GW. Jadi, yang benar adalah, kebutuhan dunia bisa ditutupi oleh gurun Sahara seluas 1.000 km kali 1.000 km (separuh luas Indonesia) yang kita isi penuh dengan fasilitas pemusatan daya surya.

Untungnya, Sahara bukan satu-satunya gurun di dunia, sehingga mungkin lebih praktis bagi kita untuk membagi dunia menjadi sejumlah kawasan dan kita lantas tinggal menjawab pertanyaan berapa luas gurun lokal yang dibutuhkan oleh tiap-tiap kawasan. Dengan begitu, untuk Eropa kita tinggal tanya, "berapa luas wilayah di Sahara Utara yang kita butuh untuk memasok setiap orang di Eropa dan di Afrika

Utara daya sebesar konsumsi rata-rata orang Eropa?"

Karena jumlah penduduk Eropa dan Afrika Utara mencapai 1 miliar jiwa, luas wilayah yang dibutuhkan pun turun menjadi 340.000 km<sup>2</sup>, atau 600 km kali 600 km. Luas wilayah ini setara dengan satu negara Jerman atau 16 provinsi NTB. Inggris butuh jatah 1 NTB untuk menutup kebutuhannya, atau petak seluas 145 km kali 145 km.

### DESERTEC

Sebuah organisasi bernama DESERTEC (www.desertec.org) tengah menggodok rencana untuk menerapkan teknologi pemusatan daya surya di negara-negara Mediterania, serta memasang jalur transmisi tegangan-tinggi arus-searah (*high-voltage direct-current*, HVDC) untuk menghantarkan daya tersebut ke negara-negara dingin di utara Eropa.

HVDC lebih disukai daripada jalur AC tegangan-tinggi tradisional karena membutuhkan lebih sedikit lahan dan perangkat keras, dan rugi-daya HVDC juga lebih kecil. Selain itu, sistem HVDC membantu menstabilkan jaringan listrik tempat mereka terhubung.

Pada rencana DESERTEC, wilayah pesisir bakal menjadi wilayah utama eksploitasi karena pusat listrik pemusatan surya yang berlokasi di dekat laut bisa menghasilkan air awagaram sebagai hasil ikutan, yang tentu bermanfaat untuk kebutuhan manusia dan pertanian.

Tabel 23.3 menyajikan perkiraan potensi daya yang menurut DESERTEC bisa dihasilkan di negaranegara Eropa dan Afrika Utara. Jumlah "potensi ekonomi" lebih dari cukup untuk memasok 125 kWh per hari kepada penduduk sebesar 1 miliar jiwa. Jumlah "potensi pesisir" cukup untuk memasok 16 kWh per hari per orang kepada penduduk 1 miliar jiwa.

NEGARA	POTENSI EKONOMI (TWH/TAHUN)	POTENSI PESISIR (TWH/TAHUN)
ALJAZAIR	169.000	60
LIBIA	140.000	500
ARAB SAUDI	125.000	2000
MESIR	74.000	500
IRAK	29.000	60
MAROKO	20.000	300
OMAN	19.000	500
SURIAH	10.000	0
TUNISIA	9.200	350
YORDANIA	6.400	0
YAMAN	5.100	390
ISRAEL	3.100	1
UNI EMIRAT ARAB	2000	540
KUWAIT	1.500	130
SPANYOL	1.300	70
QATAR	800	320
PORTUGAL	140	7
TURKI	130	12
JUMLAH	620.000 (70.000 GW)	6.000 (650 GW)

Tabel 23.3. Potensi daya surya di negara-negara sekitar dan dekat Eropa. "Potensi Ekonomi" adalah daya yang bisa dibangkitkan di lokasi-lokasi yang pas tempat iradians normal langsung melebihi 2.000 kWh/m<sup>2</sup>/tahun. "Potensi Pesisir" adalah yang bisa dibangkitkan dalam jarak permukaan laut 20 m (vertikal); daya ini menjanjikan terlebih karena ia bisa dikombinasikan dengan prosedur pengawagaraman atau desalinasi. Sebagai perbandingan sebuah daya yang dibutuhkan untuk memasok 125 kWh per hari kepada 1 miliar orang adalah 64.000 TWh/tahun (5.200 GW). 6.000 TWh/tahun (650 GW) sama dengan 16 kWh per hari per orang untuk 1 miliar orang.

### EROPA, AMERIKA, DAN DUNIA

Semakin tinggi PDB suatu negara, semakin tinggi pula konsumsi dayanya. Suatu saat, semua negara yang kini ber-PDB rendah akan berkembang, dan seiring dengan hal itu konsumsi daya mereka pun akan naik. Kita tidak bisa tahu berapa pastinya kenaikan tersebut, tetapi mungkin angkanya akan setara dengan konsumsi daya Eropa saat ini, yaitu 125 kWh per hari per orang. Sebagai alternatif, kita juga bisa mengasumsikan bahwa berkat berbagai langkah efisiensi, semua negara bisa mencapai standar hidup Eropa dengan konsumsi daya yang lebih rendah, katakanlah 80 kWh/hari/orang (konsumsi daya Hong Kong saat ini).

### MENGHITUNG ULANG UNTUK EUROPA

Bisakah Eropa (daratan) hidup dengan mengandalkan sumber-daya terbarunya? Kepadatan penduduk rata-rata Eropa kurang lebih separuhnya Inggris, tetapi banyak di antara sumber-daya terbarunya berapat daya lebih rendah: sebagian besar Eropa memiliki lebih sedikit angin, lebih sedikit gelombang, dan lebih sedikit pasut dibandingkan Inggris. Akan tetapi, sejumlah kawasan memiliki listrik tenaga air (Skandinavia, Eropa Tengah) atau surya yang lebih gede.

### ANGIN

Kita asumsikan luas Eropa kurang lebih 9.000 m<sup>2</sup> per orang dan seperlima wilayah Eropa memiliki kecepatan angin yang cukup untuk menjalankan sebuah ladang angin. Rapat daya kita

patok 2 W/m<sup>2</sup> dan 10% wilayah ini kita isi dengan ladang angin. Angin akan menghasilkan  $\frac{1}{5} \times 10\% \times 9.000 \text{ M}^2 \times 2 \text{ W/M}^2 = 360 \text{ W}$  atau 9 kWh/hari per orang.

### LISTRIK TENAGA AIR

Saat ini, produksi listrik tenaga air di Eropa mencapai 3,2 kWh/hari per orang. Negara penghasil terbesar adalah Norwegia, Prancis, Swedia, Italia, Austria, dan Swiss. Jika masing-masing negara melipatgandakan fasilitas listrik tenaga airnya (yang sepertinya sulit terlaksana), maka sumber daya ini bisa menghantarkan 6,4 kWh/hari per orang.

### GELOMBANG

Jika kita memperhitungkan seluruh garis pantai Samudra Atlantik (kurang lebih 4.000 km) dan mengalikannya dengan laju produksi yang kita asumsikan sebesar 10 kW/m, maka hasil yang kita peroleh 2 kWh/hari per orang. Gelombang Laut Baltik dan Laut Tengah bisa kita abaikan.

### PASUT

Kita gandakan sumber-daya pasut Inggris (11 kWh/hari per orang) karena ada penambahan dari Prancis, Irlandia, dan Norwegia, dan membaginya secara rata antara jumlah penduduk sebesar 500 juta jiwa. Hasilnya 2,6 kWh/hari per orang. Laut Baltik dan Laut Tengah kita abaikan.

### PANEL FOTOVOLTAIK DAN PANEL TERMAL DI ATAP

Panel surya akan menghasilkan lebih banyak daya di Eropa dataran karena sebagian besar lokasi lebih cerah dibandingkan Inggris. Panel fotovoltaik seluas 10 m<sup>2</sup> yang dipasang di atap bakal menghasilkan 7 kWh/hari di semua titik di belahan selatan Inggris. Panel pemanas air seluas 2 m<sup>2</sup> sudah cukup untuk menghasilkan daya rata-rata sebesar 3,6 kWh/hari dalam bentuk bahang-termal kualitas rendah.

### ADA LAGI?

Total jenderal kita sejauh ini 9 + 6,4 + 2 + 2,6 + 7 + 3,6 = 30,6 kWh/hari per orang. Sumber-daya yang belum kita sebut cuma daya panas bumi dan perladangan surya skala besar (memakai cermin, panel, atau biomassa).

Panas bumi mungkin layak dipertimbangkan, tetapi ia masih di tahap penelitian. Seperti daya fusi, ia merupakan investasi yang mumpuni, tetapi belum bisa diandalkan.

Perladangan surya? Bisa. Seandainya kita memakai 5% wilayah Eropa (450 m<sup>2</sup> per orang) untuk membuat perladangan fotovoltaik surya berapat daya 5 W/m<sup>2</sup>, daya yang dihasilkan

$$5 \text{ W/M}^2 \times 450 \text{ M}^2 = 54 \text{ KWH/ HARI PER ORANG}$$

Ini hasil yang sangat lumayan; masalahnya, opsi ini memiliki dua kendala yang tidak kecil: faktor biaya dan faktor musim dingin.

Tanaman energi? Tanaman hanya menyerap 0,5 W/m<sup>2</sup>. Karena orang di Eropa juga butuh makan, kontribusi daya non-pangan yang bisa diberikan tanaman di Eropa tidak akan besar-besar amat, yaitu maksimal 12 kWh/hari per orang.

### PUTUSAN

Seperti Inggris, Eropa tidak bisa mengandalkan sumber-daya terbarunya. Apabila tujuannya adalah untuk melepaskan diri dari bahan bakar fosil, Eropa harus melirik daya nuklir, atau daya surya di gurun jiran, atau kedua-duanya.

### MENGHITUNG ULANG UNTUK AMERIKA

Rata-rata orang Amerika memakai 250 kWh/hari per orang. Bisa tidak kita capai angka ini murni mengandalkan energi

terbaruan? Bagaimana kalau berkat berbagai langkah efisiensi kita asumsikan konsumsi orang Amerika menjadi "cuma" 125 kWh/hari per orang?

#### ANGIN

Dakota Utara, Wyoming, dan Montana merupakan tiga lokasi yang paling berangin di Amerika. Lahan yang bisa dieksplorasi diperkirakan seluas 435.000 km<sup>2</sup> (sedikit lebih luas dari Pulau Sumatera); ini akan menghasilkan 4.600 TWh per tahun, atau 42 kWh per hari per orang apabila dibagi rata antara 300 juta warga Amerika Serikat. Akan tetapi, jumlah perangkat keras yang harus ditambah tidak main-main: 200 kali jumlah perangkat keras yang beroperasi di Amerika saat ini. Angin Lepas Pantai Jika kita isi wilayah air dangkal seluas 20.000 km<sup>2</sup> (setara dengan provinsi NTB) di pesisir timur Amerika dengan ladang angin lepas pantai dengan rapat daya 3 W/m<sup>2</sup>, maka kita bisa menghasilkan 60 GW, atau 4,8 kWh/hari per orang apabila dibagi sama rata antara 300 juta orang. Jumlah perangkat keras yang harus kita tambok: 15 kalinya yang beroperasi saat ini di Amerika.

#### PANAS BUMI

Menurut Institut Teknologi Massachusetts (MIT), dengan riset dan penelitian yang memadai, dalam 50 tahun mendatang sistem panas-bumi tiningkat bisa menghasilkan 100 GW. Apabila ini benar, 100 GW sama dengan 8 kWh/hari per orang apabila dibagi rata antara 300 juta orang Amerika Serikat.

#### LISTRIK TENAGA AIR

Fasilitas listrik tenaga air Kanada, AS, dan Meksiko menghasilkan 660 TWh per tahun, yang apabila dibagi rata antara 500 juta orang Amerika Utara setara dengan 3,6 kWh/hari per orang. Apabila Amerika Utara bisa menggandakan keluaran listrik tenaga airnya, daya yang bisa diharapkan 7,2 kWh/hari per orang.

#### ADA LAGI?

Total jenderal kita sejauh ini  $42 + 4,8 + 8 + 7,2 = 62$  kWh/hari per orang, angka yang untuk orang di Eropa saja belum cukup, apalagi di Amrik. Tapi, tenang, kita masih punya satu senjata pemungkas: pemusatan daya surya. Jika kita isi petak seluas 600 km kali 600 km (hampir 3 kalinya Pulau Jawa) di gurun Amerika penuh dengan fasilitas pemusatan daya surya, maka daya yang dihasilkan tak kurang dari 250 kWh/hari untuk semua warga Amerika Utara (500 juta jiwa).

#### PUTUSAN

Amerika Utara tidak bisa mengandalkan sumber-daya terbaruan non-suryanya. Namun, apabila daya surya ikut diperhitungkan, angkanya menjadi cukup. Jadi, Amerika Utara harus melirik potensi daya suryanya, atau daya nuklir, atau kedua-duanya. Bisakah penduduk dunia sebesar 6 miliar jiwa mencapai taraf hidup orang Eropa – misal, 80 kWh per hari per orang – dengan mengandalkan sumber-daya terbaruan?

### MENGHITUNG ULANG UNTUK DUNIA

#### ANGIN

Menurut Greenpeace dan Himpunan Energi Angin Eropa (EWEA), sumber-daya angin yang tersedia di seantero dunia mencapai kurang lebih 53.000 TWh per tahun, atau 24 kWh/hari per orang.

#### LISTRIK TENAGA AIR

Saat ini, listrik tenaga air dunia menghasilkan 1,4 kWh/hari per orang. Himpunan Tenaga Listrik Air Internasional (IHA)

dan Lembaga Energi Internasional (IEA) mematok jumlah potensi tenaga listrik air yang layak didulang pada angka 8.000 TWh/tahun atau 3,6 kWh/hari per orang. Sebagian besar potensi sumber-daya ini berlokasi di Afrika, Asia, dan Amerika Latin.

#### PASUT

Jumlah daya pasut yang bisa dibangkitkan diperkirakan mencapai 40-80 GW. Jika dibagi rata antara penduduk dunia, maka setiap orang kebagian 0,16-0,32 kWh/hari.

#### GELOMBANG

Kita bisa menetapkan jumlah daya gelombang dengan mengalikan panjang garis-pantai dunia yang terpapar (kurang lebih 300.000 km) dengan besaran daya per panjang satuan garis-pantai (10 kW per meter): daya mentah yang kita dapat kurang lebih 3.000 GW.

Jika kita berasumsi 10% dari daya mentah tersebut tertangkap oleh sistem-sistem yang mengonversikan daya menjadi listrik dengan tingkat efisiensi 50%, maka daya gelombang menghasilkan 0,5 kWh/hari per orang.

#### PANAS BUMI

Jika kita berasumsi tim peneliti MIT di atas tidak keliru, dan jika kita berasumsi bahwa seluruh dunia serupa dengan Amerika, maka daya panas bumi bisa memberikan 8 kWh/hari per orang.

#### SURYA UNTUK TANAMAN ENERGI

Orang sepertinya sangat menggebu-gebu kalau sudah berbicara soal tanaman energi seperti jarak-pagar yang, konon, tidak akan mengganggu tanaman pangan karena bisa dibudi daya di tanah terbiar. Masalahnya, seandai pun seluruh wilayah Afrika diisi penuh dengan perkebunan jarak-pagar, daya yang dihasilkan (dengan dibagi rata antara 6 miliar jiwa) hanya 8 kWh/hari per orang (alias cuma sepertiga dari konsumsi minyak dunia saat ini).

Sebanyak 18% wilayah dunia (27 juta km<sup>2</sup>) merupakan lahan suai-tanam; ini setara dengan 4.500 m<sup>2</sup> per orang apabila dibagi rata dengan seluruh penduduk dunia. Jika kita mengasumsikan rapat daya sebesar 0,5 W/m<sup>2</sup> dan penyusutan sampai 33% di tahap pengolahan dan perladangan, maka tanaman energi, apabila ditanam di seluruh lahan pertanian yang ada di dunia, akan menghasilkan 36 kWh/hari per orang.

#### SURYA

Sepertinya pemusatan daya surya yang sudah kita bahas di atas bakal menjadi teknologi surya terbaik untuk membangkitkan listrik. Kita sudah tahu bahwa fasilitas-fasilitas daya surya berukuran sangat luas, apabila ditempatkan di wilayah gurun di dekat kawasan Mediterania, bisa mencukupi kebutuhan listrik satu miliar orang Eropa dan Afrika Utara; dan bahwa setengah miliar orang di Amerika Utara bisa diladeni oleh fasilitas seluas 3 kalinya Pulau Jawa yang dibangun di gurun Amerika Serikat dan Meksiko. Menurut pembaca, gurun mana lagi yang bisa dipakai untuk memenuhi kebutuhan sisa penduduk bumi sebanyak 4,5 miliar jiwa?

#### PUTUSAN

Total jenderal non-surya dunia adalah sebagai berikut. Angin: 24 kWh/hari/orang; tenaga air: 3,6 kWh/hari/orang; pasut: 0,3 kWh/hari/orang; gelombang: 0,5 kWh/hari/orang; panas bumi: 8 kWh/hari/orang – jumlah: 36 kWh/hari/orang. Sasaran kita 80 kWh/hari per orang, jadi kita masih tekor.

Kesimpulan: walaupun sumber-daya terbaruan dunia besar, ia tidak memadai. Agar bisa cukup, kita harus mengandalkan daya surya. Atau daya nuklir. Atau daya surya dan nuklir.