

Yang terhormat

Ketua, Sekretaris dan Anggota Majelis Wali Amanat,

Ketua, Sekretaris dan Anggota Senat Akademik,

Ketua, Sekretaris dan Anggota Majelis Guru Besar,

Rektor, Para Wakil Rektor Senior dan Wakil Rektor,

*Para Dekan/Wakil Dekan, Ketua Lembaga, Ketua/Sekretaris Senat
Fakultas,*

Para Dosen, Staf Kependidikan dan Mahasiswa,

*Para Pengurus dan Anggota Keluarga Alumni Universitas Gadjah
Mada*

Tamu Undangan dan Hadirin Sekalian.

Assalamualaikum Warakhmatullahi Wabarakatuh

Pada awal pidato ini, kami mengajak para hadirin untuk memanjatkan puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas Rahmat dan Karunia Nya yang selalu dicurahkan kepada kita semua, termasuk kesehatan dan kesempatan kepada kita untuk berkumpul memperingati Dies Natalis Universitas Gadjah Mada yang ke-60 ini.

Merupakan suatu kehormatan bagi kami, tim penyusun, bahwa Universitas Gadjah Mada memberi kepercayaan untuk menyiapkan materi pidato Dies. Saya juga menyampaikan terima kasih kepada tim penyusun atas kepercayaan kepada saya untuk menyampaikan pidato Dies ini.

Dalam rangka menyumbangkan pemikiran untuk mengatasi permasalahan energi di Indonesia, topik pidato ini adalah:

"Penyediaan Energi Nasional: Problematika dan Strategi".

Pada pidato ini akan dibahas konsep energi, problematika energi, sumber-sumber energi, teknologi penyediaan energi, dan strategi penyediaan energi nasional.

Hadirin yang saya hormati.

Proses-proses yang terjadi di alam umumnya disertai efek

energi (perubahan energi). Dengan menambahkan atau mengambil energi dari suatu sistem, manusia mampu mendorong terjadinya suatu proses yang dapat dimanfaatkan untuk menunjang kehidupannya. Sebagai contoh, penguapan air menyerap energi panas; dengan menambahkan energi panas, air dapat diuapkan, sebaliknya dengan mengambil energi panas, uap air dapat diembunkan. Untuk mendorong dan mengarahkan terjadinya suatu proses yang diinginkan manusia, diperlukan peralatan dan energi yang sesuai.

Energi dikenal dalam berbagai bentuk, misalnya panas, mekanis, listrik, magnet, kimia dan nuklir. Manusia mampu merekayasa peralatan yang dapat mengkonversi suatu bentuk energi menjadi bentuk yang lain. Sebagai contoh, kompor mengkonversi energi kimia bahan bakar menjadi energi panas, motor listrik mengkonversi energi listrik menjadi energi mekanis, mesin uap mengkonversi energi panas menjadi energi mekanis. Penemuan mesin uap oleh James Watt (sekitar tahun 1765), yang memungkinkan tenaga manusia diganti dengan tenaga mesin, merupakan faktor pendukung penting kemajuan peradaban bangsa-bangsa Barat pada era Revolusi Industri, sehingga selama beberapa abad berhasil mengungguli bangsa Timur. Fakta sejarah tersebut mengindikasikan bahwa kemampuan memanfaatkan bentuk energi yang lebih efektif dan efisien sangat penting bagi daya saing suatu bangsa.

Menurut Munich Re Group (2009), ditinjau dari kemudahan pemakaiannya, energi dapat dibedakan menjadi energi primer (energi yang tersedia di alam, misal minyak bumi, batubara, panas bumi, angin), energi sekunder (energi terolah/terkonversi, misal bensin, minyak tanah, listrik), energi final (energi terpakai, misal energi terpakai oleh kompor), dan energi bermanfaat (energi yang langsung bermanfaat, misal panas dalam plat pemanas kompor).

Hukum Termodinamika I, yang mempelajari kuantitas energi, pada prinsipnya menyatakan bahwa energi itu kekal, artinya walaupun energi dapat berubah dari bentuk yang satu ke bentuk yang lain, namun kuantitas atau jumlahnya tetap. Energi tidak dapat diciptakan, dan manusia hanya mampu memanfaatkan berbagai energi yang tersimpan di alam (energi primer) dengan

mengkonversikannya menjadi energi lain yang lebih sesuai untuk keperluannya. Satuan energi yang baku secara ilmiah adalah Joule, disingkat J. Sebagai gambaran sederhana, satu J adalah energi gerak (kinetis) suatu benda bermassa 2 kg yang bergerak dengan kecepatan 1 m/s, atau energi mekanis yang diperlukan untuk mengangkat benda bermassa 0,1 kg setinggi 1 m ditempat yang percepatan gravitasinya 10 m/s^2 . Jumlah energi tiap satuan waktu disebut daya, dengan satuan baku J/s atau disebut Watt, disingkat W.

Termodinamika juga mengembangkan konsep kualitas energi, yang dalam Hukum Termodinamika II direpresentasikan dengan parameter entropi (entropi naik, kualitas turun). Di alam semesta terjadi proses-proses yang secara keseluruhan menurunkan kualitas energi. Implementasi praktis dari konsep ini adalah bahwa konversi energi berkualitas tinggi menjadi energi berkualitas rendah itu mudah dan dapat 100% berubah. Sebaliknya konversi energi berkualitas rendah menjadi energi berkualitas tinggi itu sulit dan tidak dapat berubah 100%, karena sebagian akan terkonversi menjadi energi berkualitas lebih rendah. Jadi konversi energi panas (berkualitas rendah) menjadi energi mekanis (berkualitas tinggi) itu sulit dan efisiensinya rendah, misal mesin uap, sedangkan konversi sebaliknya mudah (misal gesekan). Energi yang mudah dimanfaatkan umumnya berkualitas lebih tinggi, sedang energi primer umumnya berkualitas lebih rendah, sehingga konversi energi primer menjadi energi final umumnya sulit, dan efisiensinya rendah. Fenomena ini juga merupakan pelajaran bagi kita semua, agar selalu berusaha meningkatkan kualitas diri, karena jika tidak berusaha, kualitas kita akan cenderung menurun.

Pada zaman modern ini, energi pada hakekatnya adalah kebutuhan fisik pokok manusia, selain materi. Energi merupakan kekuatan penggerak proses-proses kegiatan manusia dan bahkan juga proses-proses di alam semesta. Untuk menjaga suhu tubuhnya saja (kompensasi panas yang terbuang ke lingkungan), manusia membutuhkan energi tiap waktu (daya) sekitar 100 W (Jantsch, 1980). Manusia zaman sekarang membutuhkan energi yang jauh lebih banyak dibanding manusia zaman sebelumnya. Contoh sederhana, menurut Austin (1980), daya otot manusia kira-kira setara dengan 0,05 hp (daya kuda). Seseorang yang rumahnya memakai

listrik 1500 W atau kira-kira 2 hp, setara dengan mempunyai 40 pekerja di rumahnya. Jika ia mempunyai mobil dengan daya 100 hp, itu setara dengan kereta yang ditarik 100 ekor kuda, atau setara dengan 2000 tenaga manusia. Pada zaman dahulu, hal ini tentunya termasuk kategori sangat mewah.

Kebutuhan energi manusia dapat dipenuhi dari berbagai sumber yang terdapat di alam (energi primer), dan umumnya melalui proses konversi menjadi energi yang lebih mudah digunakan. Data perbandingan kandungan energi pada berbagai sumber secara kasar adalah sebagai berikut. Energi yang diserap/dilepas untuk perubahan suhu cairan adalah sekitar $4 \times 10^3 \text{ J/kg/}^\circ\text{C}$, untuk peleburan sekitar 10^5 J/kg , untuk penguapan cairan sekitar $4 \times 10^5 \text{ J/kg}$, untuk penguapan air sekitar $2 \times 10^6 \text{ J/kg}$, untuk reaksi kimia sekitar $2 \times 10^7 \text{ J/kg}$, dan untuk reaksi nuklir sekitar 10^{14} J/kg (Jantsch, 1980; Marklein, 1977). Energi kimia terlihat sering dipakai untuk memenuhi kebutuhan manusia, karena kerapatan energinya cukup tinggi, transportasinya mudah dan penggunaannya praktis. Energi *steam* praktis juga dipakai untuk keperluan lokal dalam suatu unit (misal pabrik kimia). Energi nuklir sangat tinggi kerapatannya, walaupun memerlukan peralatan yang relatif maju dan potensi bahayanya tinggi.

Hal yang perlu disadari pula adalah bahwa sumber energi yang cocok untuk suatu wilayah tidak bersifat universal, tetapi sangat dipengaruhi kondisi lokal. Sumber energi yang cocok untuk suatu daerah mungkin kurang cocok untuk daerah lain. Jadi kurang bijaksana apabila kita meniru penyediaan energi dari daerah atau negara lain tanpa melakukan studi yang mendalam tentang kondisi lokal dan regionalnya.

Hadirin yang saya hormati.

Permasalahan utama terkait energi di Indonesia saat ini antara lain adalah:

1. **Kelangkaan energi**, sebagai akibat dari bertambahnya penduduk dan kenaikan pemakaian energi per kapita, sementara energi yang saat ini dapat dimanfaatkan terbatas jumlahnya. Menurut Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM,

2006), kebutuhan energi primer Indonesia pada tahun 2005 adalah 956 juta SBM/tahun ($1 \text{ SBM} = 5,904 \times 10^9 \text{ J}$) atau $5,64 \times 10^{18} \text{ J/tahun}$. Pada tahun 2025, jika tanpa usaha optimalisasi pengelolaan energi, diperkirakan nilainya meningkat menjadi 5102 juta SBM/tahun atau $3,01 \times 10^{19} \text{ J/tahun}$.

2. **Proporsi konsumsi yang relatif tinggi pada beberapa jenis sumber energi** (misal bensin dan solar), yang masih sulit diganti dengan jenis sumber energi lain (misal biomassa dan batubara). Departemen ESDM (2006) menyatakan bahwa pada tahun 2005, kebutuhan energi final dalam bentuk bahan bakar minyak mencapai 60% dari kebutuhan energi final total, sedangkan dalam bentuk gas 16%, batubara 12%, listrik 11% dan LPG 1%. Pada tahun 2008, dari bahan bakar minyak, 54% diserap sektor transportasi (Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi, 2009).
3. **Sebagian besar sumber energi primer masih berupa bahan bakar fosil** (minyak dan gas bumi, serta batubara), yang ketersediaannya terbatas dan tidak terbarukan (*non-renewable*). Menurut Departemen ESDM (2006), pada tahun 2005, sekitar 94% dari kebutuhan energi primer berasal dari bahan bakar fosil. Selanjutnya, jika tanpa usaha optimalisasi pengelolaan energi, pada tahun 2025 diperkirakan proporsi akan menjadi 97%.
4. **Efisiensi pemakaian energi di Indonesia masih rendah** (boros energi), misalnya dapat terlihat dari 2 indikator utama. Indikator pertama adalah intensitas energi yakni perbandingan antara konsumsi energi dengan penghasilan domestik bruto (Setara Ton Minyak/juta \$, makin rendah makin efisien). Indikator kedua adalah elastisitas pemakaian energi yakni perbandingan laju pertumbuhan konsumsi energi dan laju pertumbuhan ekonomi (makin rendah makin efisien). Data dari Departemen ESDM (2006) menunjukkan bahwa intensitas energi Indonesia 470 (Jepang 92,3, Jerman sekitar 125, Thailand sekitar 263), sedangkan elastisitas pemakaian energi Indonesia 1,84 (Thailand 1,16, Perancis 0,47, Amerika Serikat 0,26, bahkan Jerman – 0,12). Nilai elastisitas pemakaian energi yang negatif menunjukkan bahwa negara tersebut mampu menurunkan konsumsi energi, dengan tetap menjaga pertumbuhan ekonominya.

5. **Gangguan lingkungan akibat pemanfaatan energi fosil**, misal emisi gas CO₂ hasil pembakaran yang antara lain menyebabkan pemanasan global, yang saat ini gejala-gejalanya mulai terasa. Perlu diingat bahwa tersedia sumber-sumber energi yang tidak mengakibatkan emisi CO₂, misal energi matahari, energi nuklir dan energi biomassa. Meskipun pada pembakaran biomassa dihasilkan juga CO₂, namun CO₂ dari biomassa tersebut berasal dari CO₂ dari udara yang diubah menjadi biomassa pada proses asimilasi dengan energi matahari, jadi secara netto, tidak terjadi emisi CO₂ ke udara.
6. **Kondisi geografis Indonesia** yang terdiri dari banyak pulau menyulitkan distribusi energi ke wilayah-wilayah tertentu.
7. **Kesadaran masyarakat** atas sangat diperlukannya usaha bersama untuk mengatasi problem energi nasional masih perlu ditingkatkan. Problem energi memang sudah menjadi perhatian penting pada diskusi di forum-forum ilmiah, pada pembahasan kebijakan instansi terkait dan pada pemberitaan di media massa. Namun terasa bahwa kesadaran masyarakat atas betapa seriusnya permasalahan belum nampak nyata. Demikian pula peran serta masyarakat dalam upaya solusinya.
8. **Sinergi** masyarakat-ilmuwan-pemerintah dalam mengatasi persoalan energi nasional, yang merupakan faktor penting untuk terwujudnya solusi, masih perlu ditingkatkan

Hadirin yang saya hormati.

Sebagai pijakan awal pengembangan solusi permasalahan energi nasional, perlu dikaji dulu sumber-sumber energi yang tersedia di Indonesia. Data-data menunjukkan bahwa Indonesia memiliki banyak jenis sumber energi, yang sebagian memang sudah dimanfaatkan namun sebagian belum dimanfaatkan. Berikut dibahas secara ringkas sumber-sumber energi tersebut.

1. Minyak bumi

Minyak bumi saat ini merupakan sumber energi dominan di Indonesia dan bahan baku industri petrokimia, pemanfaatannya relatif

mudah, namun ketersediaannya terbatas. Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi (2009) menyatakan bahwa cadangan minyak bumi Indonesia pada tahun 2008 berjumlah $8,2 \times 10^9$ barel, sedangkan tingkat produksi $3,57 \times 10^8$ barel/tahun. Dengan tingkat produksi seperti 2008, dan tanpa penemuan cadangan baru, cadangan minyak bumi Indonesia akan habis dalam waktu 23 tahun (disebut nilai R/P, perbandingan jumlah cadangan (R) dengan tingkat produksi (P)). Sumber lain, BP (2009), menyatakan bahwa cadangan minyak bumi Indonesia pada tahun 2008 berjumlah $3,7 \times 10^9$ barel atau hanya 0,3% cadangan dunia, sedangkan tingkat produksi pada tahun itu sekitar 10^6 barel/hari atau 1,2% produksi dunia, dengan nilai R/P = 10,2 tahun. Dua skenario ini tentunya menggambarkan betapa seriusnya problem energi nasional, sehingga perlu diantisipasi dengan sungguh-sungguh. Pembakaran minyak bumi, yang tergolong energi fosil, juga berkontribusi pada pemanasan global, karena penambahan CO₂ di udara. Adalah lebih bijaksana, jika Indonesia bisa lebih banyak memanfaatkan minyak bumi tersebut sebagai bahan dasar industri petrokimia karena nilai tambahnya lebih besar, daripada sebagai sumber energi.

2. Gas Bumi (*Natural Gas*)

Gas bumi saat ini juga merupakan sumber energi penting Indonesia dan juga bahan baku industri petrokimia. Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi (2009) menyatakan bahwa cadangan gas bumi Indonesia pada tahun 2008 berjumlah $1,7 \times 10^{14}$ ft³, sedangkan tingkat produksi $2,9 \times 10^{12}$ ft³/tahun, sehingga nilai R/P = 59 tahun. Sumber lain, BP (2009), menyatakan bahwa cadangan gas bumi Indonesia pada tahun 2008 sebesar $1,125 \times 10^{14}$ ft³ atau 1,7% cadangan dunia, sedangkan tingkat produksi tahun 2008 sebesar $2,46 \times 10^{12}$ ft³ atau 2,3% produksi dunia, dengan nilai R/P = 45,7 tahun. Menurut Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi (2009), pada tahun 2008, dari produksi gas bumi Indonesia, 47,8% diperuntukkan keperluan domestik dan 52,2% ekspor. Tingkat pemakaian di dunia makin meningkat dan otomatis harganya makin tinggi. Hal ini mendorong Indonesia cenderung lebih banyak mengekspor gas buminya daripada memanfaatkannya untuk bahan baku industri petrokimia (salah satu akibatnya adalah pabrik-pabrik pupuk kadang

mengalami kesulitan bahan baku gas bumi untuk produksinya; perlu dikemukakan di sini harga jual gas bumi untuk industri pupuk diatur agar lebih rendah daripada untuk ekspor dengan pertimbangan untuk menunjang sektor pertanian). Kecenderungan ini perlu dikaji lagi untuk kepentingan jangka panjang. Kiranya lebih bijaksana, jika Indonesia bisa lebih banyak memanfaatkan gas bumi tersebut sebagai bahan dasar industri petrokimia karena nilai tambahnya lebih besar, daripada diekspor.

3. Batubara (Coal)

Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi (2009) menyatakan bahwa cadangan batubara Indonesia pada tahun 2008 berjumlah $2,098 \times 10^{10}$ ton, sedangkan tingkat produksi $2,29 \times 10^8$ ton/tahun, sehingga nilai R/P = 82 tahun. BP (2009) menyatakan agak berbeda, bahwa cadangan batubara Indonesia pada tahun 2008 berjumlah $4,328 \times 10^9$ ton atau 0,5% cadangan dunia, sedangkan tingkat produksi pada tahun 2008 mencapai $1,41 \times 10^8$ ekivalen ton minyak/tahun atau $1,92 \times 10^8$ ton/tahun atau 4,2% produksi dunia, dengan nilai R/P = 22,5 tahun. Angka dari BP tersebut mengindikasikan bahwa laju produksi batubara Indonesia relatif lebih tinggi dari rerata dunia. Ini untuk kepentingan jangka panjang kurang baik, apalagi produksi tersebut lebih banyak diekspor. Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi (2009) menyatakan bahwa pada tahun 2008, 70% produksi batubara Indonesia diekspor. Diharapkan peran batubara ini dapat ditingkatkan dalam pengadaan energi dan bahan baku industri kimia nasional. Perlu diperhatikan pula bahwa batubara bisa juga dikonversi menjadi bahan bakar gas atau cair.

4. Gambut

Gambut adalah zat organik basah yang sudah sebagian terdekomposisi (Austin, 1980). Pada akhirnya zat ini akan berubah menjadi batubara (sangat lama). Indonesia cukup kaya dengan gambut. Pemanfaatannya sebagai sumber energi dengan baik perlu didahului dengan pengolahan.

5. Panas Bumi (Geothermal)

Indonesia mempunyai sumber energi panas bumi, namun saat

ini kontribusinya terhadap energi total relatif kecil. Potensi energi panas bumi Indonesia diperkirakan 27000 MW (Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi, 2009) atau $8,5 \times 10^{17}$ J/tahun. Pemanfaatan energi panas bumi di Indonesia sudah mulai berkembang.

6. Matahari

Sinar matahari pada siang hari kira-kira memberikan energi 1 kW/m². Potensi Indonesia menurut Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi (2009) adalah 4,80 kWh/m²/hari atau $6,31 \times 10^9$ J/m²/tahun. Namun efisiensi penangkapannya belum bisa tinggi; dengan teknologi sekarang, maksimum 15% (Desertec, 2009). Dengan asumsi tersebut, kebutuhan energi Indonesia tahun 2025 bisa dipenuhi dengan memanfaatkan energi matahari pada daratan seluas 31800 km² atau sekitar 1,7% luas daratan Indonesia. Variasi dan ketidakpastian intensitas serta harga peralatannya yang tinggi menyebabkan terhambatnya pemanfaatan (Munich Re Group, 2009). Diperlukan pula teknologi penyimpanan energi. Sebenarnya *fossil fuel* adalah juga berasal dari energi matahari yang terkumpul sejak waktu yang sangat lama. Energi biomassa, angin, *hydropower*, dan gelombang laut sebenarnya juga bersumber dari energi matahari. Pemanfaatan energi matahari untuk skala kecil sudah mulai *feasible*. Barber (2008) menyatakan bahwa kemampuan fotosintesis tanaman menyerap energi matahari sangat bervariasi, maksimum 4,5%.

7. Tenaga air (*hydropower*)

Sumber energi ini (air terjun, aliran sungai, pasang surut laut, gelombang, dll) termasuk jenis terbarukan. Menurut Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi (2009), potensi energi air Indonesia $8,45 \times 10^8$ SBM atau $4,99 \times 10^{18}$ J/tahun. Selain pada skala besar, instalasi pembangkit listrik berbasis tenaga air bisa dibuat secara sederhana dan pada skala kecil, jadi cocok untuk daerah terpencil.

8. Angin

Energi angin tersedia di Indonesia, namun arah angin relatif tidak tetap, sehingga perlu kincir angin yang lebih fleksibel terhadap arah angin. Karena intensitas anginnya tidak tetap, maka diperlukan juga penyimpan energi. Menurut Ditjen Listrik dan Pemanfaatan

Energi (2009), potensi energi angin Indonesia 9290 MW atau $2,93 \times 10^{17}$ J/tahun. Energi ini layak dipakai untuk kebutuhan lokal, namun kontribusinya secara nasional relatif belum besar.

9. Biomassa

Biomassa dapat diartikan sebagai bahan-bahan yang diperoleh dari zat hidup, misal tanaman. Ini bisa mencakup hasil tanaman ataupun limbah tanaman. Biomassa bisa dipakai langsung sebagai sumber energi atau diolah dulu menjadi bahan lain, misal menjadi etanol, lewat fermentasi. Biomassa juga merupakan bahan baku potensial untuk bahan kimia industri. Bahan ini bersifat terbarukan (*renewable*) dan secara netto tidak menambah emisi CO_2 . Indonesia perlu mengembangkan biomassa sebagai sumber energi dan bahan baku industri kimia. Namun perlu diingat bahwa sebagian biomassa juga dipakai sebagai sumber pangan dan pakan (pati, gula, minyak nabati, protein, dll). Lebih bijaksana kiranya, bila yang dimanfaatkan sebagai sumber energi dan bahan kimia industri adalah yang tidak dimanfaatkan untuk pangan dan pakan, misal lignoselulosa. Tentunya pemanfaatan biomassa ini perlu dijaga jangan sampai merusak lingkungan (misal penggundulan hutan).

Karena energi biomassa berasal dari energi sinar matahari, maka potensi energi biomassa dapat diperkirakan dari energi sinar matahari. Pada cara pertama, diasumsikan intensitas energi matahari maksimum 1000 W/m^2 (Jantsch, 1980), terjadi penyinaran penuh selama 7 jam tiap hari, hanya 1% energi dari energi matahari dapat diubah menjadi energi biomassa karena sebagian besar dipakai untuk *autopioesis* tanaman sendiri (Jantsh, 1980), hanya 5% biomassa berwujud produk tanaman (minyak, pati, dll), dan luas daratan Indonesia $1,9 \times 10^{12} \text{ m}^2$. Jika semua daratan tertutup tanaman, potensi energi biomassa Indonesia terhitung $1,7 \times 10^{20}$ J/tahun, sedangkan potensi energi produk tanaman $8,5 \times 10^{18}$ J/tahun.

Namun angka tersebut diambil berdasar anggapan semua daratan tertutup tanaman, sinar matahari selalu pada intensitas maksimum sepanjang tahun (7 jam/hari), semua biomassa bisa diperuntukkan energi, dan efisiensi pengambilan energi biomassa mencapai 100%. Jika efisiensi masing-masing faktor itu dianggap

50% (efisiensi gabungan = $0,5 \times 0,5 \times 0,5 \times 0,5 = 0,0625$), maka potensi energi biomassa daratan Indonesia $1,1 \times 10^{19}$ J/tahun sedang potensi energi biomassa berupa produk tanaman $5,3 \times 10^{17}$ J/tahun

Pada cara kedua, digunakan data dari Klass (1998), yang menyatakan bahwa produksi biomassa (ton/ha/tahun) untuk berbagai lingkungan adalah: hutan hujan tropis 9,90, hutan musim tropis, 7,20, sabana 2,93, padang rumput 2,70, daerah rawa 13,5. Jika diasumsikan produktivitas biomassa rerata Indonesia 5 ton/ha/tahun dan luas daratan Indonesia $1,9 \times 10^{12}$ m², maka potensi biomassa Indonesia adalah $9,5 \times 10^{11}$ kg/tahun. Selanjutnya jika diasumsi kandungan energi biomassa 3000 kcal/kg atau $1,25 \times 10^7$ J/kg, diperoleh potensi energi biomassa daratan Indonesia $1,19 \times 10^{18}$ J/tahun.

Cara 1 dan 2 memberikan hasil konsisten dan lebih tinggi dari angka yang dikemukakan Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi (2009), yakni sebesar 49810 MW atau $1,571 \times 10^{18}$ J/tahun. Namun cara 1 dan 2 menganggap semua daratan dapat dimanfaatkan untuk lahan tanaman, yang pada kenyataannya tidak demikian. Jika dianggap hanya 40% yang bisa dipakai, diperoleh angka-angka $4,4 \times 10^{18}$ J/tahun dan 5×10^{18} J/tahun. Mengingat sulitnya mengestimasi potensi biomassa Indonesia secara akurat, tentunya angka-angka tersebut dapat dipakai sebagai ancar-ancar, yaitu potensi energi biomassa daratan Indonesia pada order 10^{18} J/tahun dan potensi energi biomassa produk tanaman pada order 10^{16} J/tahun. Jika kebutuhan energi primer Indonesia pada tahun 2025 menurut Departemen ESDM (2006) diperkirakan $3,01 \times 10^{19}$ J/tahun, maka energi biomassa tidak bisa memenuhi 100%, apalagi energi biomassa produk tanaman.

Ada juga biomassa yang jika tidak dikelola dengan baik akan mengganggu lingkungan yaitu limbah rumah tangga misal kulit buah dan sayur. Apabila diasumsi jumlah rerata limbah rumah tangga 300 kg/orang/tahun, maka di Indonesia terdapat $6,9 \times 10^{10}$ kg/tahun. Jika kandungan energi limbah tersebut diasumsi $1,2 \times 10^7$ J/kg, maka terdapat potensi energi $8,28 \times 10^{17}$ J/tahun atau sekitar 26250 MW. Jumlahnya cukup banyak. Mengingat pula aspek kebersihan lingkungan dan kemudahan memperolehnya, pemanfaatannya perlu dijalankan. Limbah rumah tangga akan jauh lebih mudah diproses

jika ada klasifikasi pembuangan limbah.

10. Ganggang Mikro (*micro algae*)

Ganggang mikro sebenarnya termasuk biomassa, namun karena akhir-akhir ini potensinya banyak menarik perhatian, maka ditampilkan tersendiri. Tubuh ganggang mikro mengandung 70% minyak (Dowd, 2007). Minyaknya bisa diambil dan diolah lebih lanjut menjadi biodiesel, dll. Ganggang mikro, menurut Dowd (2007), berkembang sangat cepat dengan sinar matahari sebagai sumber energi (jauh lebih efisien daripada tanaman-tanaman lain), dan bisa hidup di air tawar, air laut, bahkan air kotor. Sebagai perbandingan, produktivitas minyak bunga matahari 0,952 ton/ha/tahun, sawit 5,931 ton/ha/tahun, sedang ganggang mikro 500 sampai 5000 ton/ha/tahun. Sedang dikembangkan teknologi penanaman ganggang mikro dalam *photo-bio-reactor*.

11. Nuklir

Energi nuklir dapat dikatakan praktis sangat banyak jumlahnya, jadi sangat menjanjikan untuk kebutuhan energi masa depan. Departemen ESDM (2006) menyatakan bahwa bahan baku energi nuklir yaitu mineral radioaktif tersedia misalnya di Aceh, Sumatra Utara, Sumatra Barat, Lampung Tengah, Bangka-Bilitung, Kalimantan Timur, Kalimantan Barat, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Utara, dan Papua. Sampai saat ini yang sudah dieksplorasi cukup teliti baru di Kalan, Kalimantan Barat. Di sana tersedia bahan baku pembangkit energi nuklir untuk 3000 MW atau $9,5 \times 10^{16}$ J/tahun untuk 11 tahun. Kusnanto, dkk (2009) memperkirakan bahwa bahan baku Uranium di Kalan, dengan teknologi sekarang, mampu mensuplai 4 PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir) tipe LWR (*Light Water Reactor*) masing-masing berkapasitas 1000 MW atau total setara $1,26 \times 10^{17}$ J/tahun, selama 60 tahun. Energi nuklir ini tidak menyebabkan pemanasan global, walaupun potensi *hazard* nya besar. Namun dengan teknologi maju dan pengelolaan dengan sikap mental *safety first*, resikonya bisa dibuat sangat rendah (aman). Investasi untuk pembangkitan cukup besar dan pendirian sarananya memerlukan waktu persiapan yang

lama. Di masa datang, pemakaian energi nuklir ini mungkin sudah menjadi keharusan bagi Indonesia. Untuk itu, persiapan perlu dilakukan secara intensif sejak sekarang. Perlu diingat pula bahwa jika tidak dimanfaatkan, energi nuklir ini juga akan habis secara alamiah karena dekomposisi nuklir alami.

12. Coalbed Methane

Coal bed methane adalah gas metana yang terkandung (teradsorpsi) dalam batubara di alam. Potensi di Indonesia diperkirakan cukup besar, namun informasi belum banyak tersedia. Kompas, 27 Mei 2008, memberitakan bahwa potensi *coalbed methane* diperkirakan sebesar 453 TSCF (*Tera Standard Cubic Foot*), yang berada di sejumlah kawasan batubara Indonesia.

13. Hidrat Gas (*gas hydrate*)

Hidrat gas adalah kristal padat yang terdiri dari molekul gas (umumnya metana) yang dikelilingi sejumlah molekul air. Diperkirakan banyak terdapat di sedimen bawah laut. Informasi hidrat gas di Indonesia belum banyak tersedia.

14. Shale Oil

Shale Oil adalah *petroleum* yang terikat secara kimiawi dengan tanah/ batuan (Austin, 1980). Pengambilannya relatif sulit. Cadangan di USA misalnya cukup besar (mampu menyediakan kebutuhan energi USA pada tingkat sekarang untuk masa beberapa ratus tahun). Informasi tentang potensi *shale oil* di Indonesia relatif belum banyak tersedia.

15. Tar Sand

Tar sand adalah pasir yang mengandung bitumen yang terperangkap di dalamnya (Austin, 1980). *Recovery* bisa dijalankan misalnya dengan *steaming*. Informasi tentang keberadaan *tar sand* di Indonesia relatif belum banyak tersedia.

16. Panas Laut

Adanya perbedaan suhu air laut di permukaan dan di kedalaman dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan energi mekanis.

Air di permukaan yang hangat dipakai sebagai sumber panas, sedang air di kedalaman yang dingin dipakai sebagai sumber dingin. Indonesia yang letaknya di khatulistiwa berpotensi untuk mengembangkan energi ini. Namun efisiensi termal sistem ini diperkirakan rendah. Analisis termodinamis sederhana menunjukkan bahwa efisiensi maksimum konversinya menjadi energi mekanis rendah, yaitu sekitar 6,7%.

Hadirin yang saya hormati

Energi primer, seperti yang disebutkan di depan, perlu diproses pendahuluan maupun dikonversi dulu menjadi energi bentuk lain agar bisa dipakai memenuhi kebutuhan manusia dengan lebih baik. Berikut disajikan sejumlah teknologi proses pengolahan/konversi energi yang bisa dipertimbangkan untuk pengelolaan energi di Indonesia (sebagian sudah dipakai di Indonesia).

Teknologi Pembangkitan Energi Listrik

Energi listrik umumnya dibangkitkan dari energi mekanis dengan menggunakan generator. Energi mekanis tersebut dapat diperoleh dari angin (lewat kincir) dan air (lewat turbin). Selain itu, energi mekanis dapat diperoleh dari *steam* lewat turbin, dimana *steam* dibangkitkan dengan energi panas. Energi panas diperoleh dari energi kimia bahan bakar atau energi nuklir. Energi mekanis juga bisa langsung diperoleh dari energi kimia bahan bakar dengan motor bakar. Efisiensi konversi energi dengan jalur kimia-panas-mekanis-listrik umumnya rendah, hanya sekitar 30% (Perry, 1999), jadi banyak yang hilang. Jalur ini saat ini dominan digunakan untuk pembangkitan energi listrik di Indonesia. Pemakaian energi kimia batubara yang saat ini paling ekonomis mempunyai dampak kurang baik pada lingkungan.

Teknologi Pemanfaatan Energi Air

Energi mekanis yang terkandung air tergantung jumlah, beda elevasi dan kecepatan alirannya. Teknologi pemanfaatan energi air yang beda elevasi tinggi sudah banyak dipakai di Indonesia, misal pada PLTA. Namun untuk yang beda elevasi dan kecepatan rendah

namun jumlahnya banyak, pemanfaatan teknologi ini belum banyak (misal pasang surut, gelombang laut, arus laut).

Teknologi Pemanfaatan Panas Bumi

Teknologi yang dapat dipakai misalnya adalah dengan mengebor sampai posisi panas bumi, sehingga keluar *steam* atau air panas. Energi yang dibawanya kemudian dimanfaatkan untuk membangkitkan energi mekanis yang selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik. Energi panas yang diperoleh dari panas bumi tersebut juga bisa dipakai langsung. *Steam* dan air panas yang sudah berubah menjadi air dingin dikembalikan kedalam bumi. Dibutuhkan investasi yang cukup besar, namun sumber energi primernya murah. Sejumlah pembangkit listrik energi geotermal telah beroperasi di Indonesia, misal Sibayak, 10 MW, G. Salak, 375 MW, Lahendong, 40 MW, dengan kapasitas total 1050 MW (Azimudin, 2009).

Teknologi Pemanfaatan Energi Angin

Teknologi yang umum dipakai adalah kincir angin. Energi mekanis yang dihasilkan kincir bisa langsung dipakai atau dikonversi menjadi energi listrik dengan generator. Karena arah angin di Indonesia sering berubah, kincir yang diperlukan adalah yang mampu memanfaatkan energi angin yang sering berubah arah. Unit pembangkit energi dari energi angin sering disebut *wind farm*, yang bisa berlokasi di darat maupun di laut. Mengingat luasnya laut Indonesia, *wind farm* di laut perlu dikembangkan, meskipun biaya pendiriannya lebih mahal daripada di darat. Denmark telah berhasil membangun suatu *wind farm* di laut (Horns Rev) yang menghasilkan energi listrik 160 MW (Munich Re Group, 2009).

Pembakaran Sumber Energi Kimia

Sumber energi, misal batubara, biomassa, gas bumi dan minyak bumi, kadang bisa dimanfaatkan langsung dengan pembakaran (reaksi dengan gas oksigen dari udara) yang terutama menghasilkan CO₂ dan H₂O serta energi panas. Agar sesuai dengan peralatan yang dipakai, sering dilakukan lebih dahulu proses pemisahan menjadi sejumlah komponen yang lebih sesuai (misal

bensin, solar), serta pemisahan zat-zat pengotor yang mengganggu alat atau berpotensi mencemari lingkungan (misal penghilangan belerang, penghilangan zat volatil).

Teknologi Biogas

Biomassa, terutama kotoran ternak, bisa diolah menjadi biogas dengan pembusukan *an-aerob*. Dihasilkan gas dengan kandungan metana cukup tinggi, sehingga bisa dipakai sebagai bahan bakar. Diperoleh pula pupuk cair sebagai hasil samping. Teknologi yang diperlukan sangat sederhana dan murah. Perlu pula diingat bahwa jika tidak diolah, biomassa juga bisa terurai menjadi metana, yang jika lepas ke udara bisa menyebabkan *global warming*. Biogas sering mengandung senyawa korosif misal senyawa belerang, sehingga untuk keawetan peralatan, zat-zat korosif perlu dihilangkan dulu. Biomassa tanaman bisa juga diolah menjadi biogas lewat pembusukan *an-aerob*, setelah dikenai proses pendahuluan (sulit diproses langsung menjadi biogas).

Gasifikasi

Biomasa bisa diproses menjadi gas (umumnya diharapkan mengandung CO dan H₂) dengan pemanasan dan penambahan bahan lain, misal O₂. Gas yang dihasilkan bisa dibakar menghasilkan energi atau diproses menjadi bahan bakar/bahan kimia lain.

Pirolisis

Biomassa dipanasi tanpa udara atau udara terbatas. Dihasilkan produk gas, cair dan padat. Dengan proses ini bisa dihasilkan *bio-oil*. Banyak dilakukan studi yang bertujuan mencari kondisi proses yang bisa mengarahkan hasil ke produk yang paling diinginkan.

Transesterifikasi

Minyak nabati, yang pada hakekatnya ester trigliserida, direaksikan dengan alkohol rantai pendek (metanol, etanol), menghasilkan bahan bakar berupa ester asam lemak dengan metanol/etanol (*fatty acids methyl ester* = FAME, atau *fatty acids ethyl ester* = FAEE), yang sering disebut biodisel. Diperoleh hasil

samping berupa gliserol.

Fermentasi

Gula atau pati bisa difermentasi menjadi etanol, yang bisa dimanfaatkan sebagai bahan bakar atau bahan kimia. Jika biomassa berupa lignoselulose atau pati, dapat dilakukan lebih dulu hidrolisis sehingga dihasilkan gula, yang selanjutnya baru difermentasi. Studi konversi lignoselulosa menjadi etanol saat ini mendapat perhatian besar, karena lignoselulosa umumnya tidak dimanfaatkan untuk pangan atau pakan.

Teknologi Pemanfaatan Energi Matahari

Teknologi yang bisa dipakai untuk memanfaatkan energi matahari adalah *photovoltaic*, *solar thermal*, *solar collectors*, *solar thermal power* dan *solar chimney power plant* (Munich Re Group, 2009). Dihasilkan energi panas atau listrik. *Solar thermal power* telah banyak dipakai, misal di California, dengan kapasitas tiap unit sekitar 30 sampai 80 MW. Sistem ini bisa mengambil energi panas matahari dengan biaya setara dengan 50 \$/barel minyak (Desertec, 2009).

Biodisel Generasi 2 (*Second Generation Biodiesel*)

Ada sejumlah kelemahan pada biodisel yang dihasilkan saat ini. Sedang berkembang teknologi baru untuk menghasilkan biodisel generasi baru (Surawijaya, 2007). Ada 3 jenis proses, yaitu:

- a. Hidrogenasi parsial FAME/FAEE menghasilkan biodisel yang lebih stabil.
- b. Deoksigenasi (Hidrogenasi) Minyak Nabati: Minyak nabati dioksigenasi (hidrogenasi) pada kondisi hebat (>60 atm, 240°C – 320°C), menghasilkan *green diesel*, yang berupa alkana rantai panjang. Diperlukan hidrogen yang relatif banyak. Agar proses bisa ekonomis, diperlukan kapasitas yang besar. Teknologi ini bisa juga dipakai untuk biomassa yang lain.
- c. *Biomass-to-Liquid Diesel Oil*: Biomassa digasifikasi dengan H_2O , pada 800°C - 1500°C , 1 – 50 bar, menghasilkan campuran CO

dan H_2 . Selanjutnya dengan reaksi Fischer-Tropsch, pada $150^\circ C - 380^\circ C$, 1 – 60 bar, diperoleh hidokarbon yang bisa dimanfaatkan sebagai minyak disel. Keunggulan proses ini adalah dihasilkannya minyak disel kualitas lebih baik, kebutuhan hidrogen tidak banyak, dapat mengolah berbagai jenis biomassa, proses bisa diarahkan menghasilkan berbagai jenis gasoline, dan bisa ekonomis pada skala medium.

Teknologi Pemanfaatan Energi Nuklir

Kusnanto,dkk (2009) menyatakan hal-hal terkait pemanfaatan energi nuklir. Sebagian besar PLTN saat ini adalah jenis LWR menggunakan Uranium 235 yang kandungannya dalam uranium alam hanya 0,7%. Teknologi generasi berikutnya yang lebih canggih namun efisiensinya lebih tinggi bisa memanfaatkan Uranium 238 dan Thorium. Dengan teknologi sekarang, Uranium di Kalan, Kalimantan Barat, mampu mensuplai 4 PLTN tipe LWR masing-masing berdaya 1000 MW atau total setara $1,26 \times 10^{17}$ J/tahun selama 60 tahun, sedangkan dengan teknologi generasi berikutnya, mampu mensuplai 40 PLTN masing-masing berdaya 1000 MW atau total setara $1,26 \times 10^{18}$ J/tahun, selama 1007 tahun. Potensi seluruh Indonesia tentunya jauh lebih besar dari itu.

Teknologi Penyimpan Energi

Banyak sumber energi yang tersedianya *intermittent* atau lokasinya jauh dari pengguna. Oleh karena itu teknologi penyimpanan energi menjadi penting. Teknologi penyimpanan energi yang dikenal luas adalah baterai, namun kapasitas energinya masih terbatas. Cara lain yang prospektif adalah dengan menyimpan energi dalam bentuk energi kimia dalam bahan berbentuk gas, cair atau padat yang mudah ditransport dan digunakan. Salah satunya adalah dalam gas hidrogen (Linde, 2009). Ide ini sering disebut *hydrogen economy*. Kelemahan cara ini antara lain adalah volum gas yang relatif besar dan hidrogen yang mudah meledak. Konsep *methanol economy*, yang diajukan oleh Olah (2003), menyarankan agar energi primer, misal energi nuklir, disimpan dalam bentuk metanol, yang dapat dipakai sebagai bahan bakar atau dikonversi menjadi bahan bakar

cair lain/bahan kimia industri. Mula-mula sebagian energi nuklir dipakai untuk memecah air menjadi O_2 dan H_2 . Kemudian dilakukan penangkapan CO_2 (misal dari gas buang pabrik). Selanjutnya CO_2 dan H_2 direaksikan dengan dorongan panas dari energi nuklir untuk menghasilkan metanol. Selanjutnya metanol dapat diubah menjadi etilen, yang kemudian bisa dikonversi menjadi bahan bakar cair (misal bensin, solar). Jadi energi yang terkandung dalam bahan bakar cair tersebut (*energi carrier*) berasal dari energi nuklir yang digunakan. Keuntungan cara ini adalah tercapainya pemanfaatan energi alternatif, tetap bisa dipakainya peralatan yang sudah ada (misal mobil), penurunan emisi CO_2 , dan diperolehnya bahan bakar yang kualitasnya lebih sesuai keinginan. Namun ide ini masih menghadapi banyak kendala, diantaranya adalah kendala teknologi.

Kilang Bionuklir

Mengingat besarnya potensi energi nuklir di Indonesia, energi ini sangat prospektif untuk memenuhi kebutuhan energi nasional masa depan. Namun kekhawatiran masyarakat atas potensi bahaya PLTN masih tinggi, walaupun sebenarnya risikonya bisa dibuat sangat rendah (aman). Diusulkan penerapan konsep *methanol economy* dari Olah (2003) dengan sejumlah penyesuaian, dan dinamakan kilang bionuklir (skema pada lampiran). Didirikan pembangkit energi nuklir di pulau kosong yang banyak dimiliki Indonesia (kekhawatiran masyarakat berkurang). Energi nuklir yang dihasilkan dipakai untuk mengubah senyawa yang mengandung karbon, misal biomassa, menjadi bahan bakar cair (bensin, solar, dll) atau bahan kimia industri, di pulau yang sama pula. Biomassa bisa didatangkan dari daerah lain. Kemudian bahan bakar cair sintetis tersebut dibawa ke daerah yang membutuhkan, dan berfungsi sebagai bahan bakar cair biasa. Masyarakat tidak berdekatan dengan PLTN nya. Untuk menghasilkan bahan bakar sintetis tersebut, diperlukan H_2 atau O_2 yang bisa diperoleh dari peruraian air menggunakan energi nuklir pula. Jadi energi yang dibawa bahan bakar cair sintetis tersebut pada hakekatnya adalah kombinasi dari energi nuklir dan energi biomassa. Dengan konsep ini, emisi CO_2 bisa dikurangi dan peralatan yang ada tetap bisa dipakai. Untuk jangka waktu pendek, biomassa dapat diganti dengan batu bara atau

kemudian gambut, agar teknologinya lebih sederhana. Setelah biomassa, untuk jangka panjang, sumber karbon bisa berasal dari CO_2 , yang diperoleh dengan teknologi *CO_2 capture*, jika teknologi tersebut sudah *feasible*. Skema dengan *CO_2 capture* ini secara prinsip sama dengan yang diusulkan oleh Olah (2003). Perlu dikemukakan di sini bahwa energi nuklir pada skema ini bisa diganti dengan energi lain.

Fuel Cell

Berkaitan dengan usaha peningkatan efisiensi konversi energi, berkembang teknologi baru, *fuel cell*, yang secara langsung bisa mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik, beroperasi pada suhu rendah, dan efisiensinya lebih tinggi dari cara-cara konvensional (Linde, 2009). *Department of Energy, USA*, 2009, menyatakan bahwa efisiensi konversi energi *fuel cell* bisa mencapai 60%, bahkan bisa lebih tinggi jika memakai *cogeneration*. Teknologi ini sangat menjanjikan untuk penghematan energi. *Fuel cell* sudah bisa dimanfaatkan untuk keperluan daya listrik rendah. Saat ini *fuel cell* menggunakan bahan bakar H_2 atau metanol. Penelitian tentang ini masih berkembang pesat, terutama untuk bisa menghasilkan daya yang besar dan pemakaian material yang murah.

Hadirin yang saya hormati.

Informasi ketersediaan sumber-sumber energi di Indonesia seperti disampaikan di muka menimbulkan keyakinan bahwa dengan berusaha sungguh-sungguh, dengan memanfaatkan teknologi, bangsa Indonesia dapat menyediakan kebutuhannya secara mandiri.

Untuk mengatasi problematika energi seperti yang dibahas di muka, Indonesia perlu merumuskan strategi solusi. Departemen ESDM (2006) telah merumuskan *Blueprint* Pengelolaan Energi Nasional. Pada Dies UGM ke-60 ini, berikut disampaikan sejumlah pemikiran yang diharapkan bisa memperkuat strategi tersebut dan juga memberikan masukan untuk implementasinya.

Agar ditemukan jenis energi yang *feasible*, analisis pemilihan jenis energi yang cocok untuk suatu keperluan dan lokasi tertentu

disarankan mempertimbangkan 3 faktor penting seperti yang disarankan oleh RWE (2009) yaitu **ketersediaan** (*security of supply*), **ke-ekonomi-an** dan **ekologi**. Penelitian tentang energi alternatif perlu berbasis 3 aspek tersebut. Penting diingat bahwa pilihan yang cocok akan tergantung waktu dan lokasi. Energi yang cocok untuk masa mendatang, mungkin sekarang ini belum cocok, sehingga perlu dipersiapkan.

Mengingat kondisi dan situasi di Indonesia ini heterogen, adanya keanekaragaman kekayaan alam, dan pertimbangan ketahanan energi nasional, maka diversifikasi energi perlu dilaksanakan di Indonesia. Semua jenis energi yang *feasible* perlu dimanfaatkan (misal panas bumi, matahari, angin). Diversifikasi ini mencakup lokasi dan juga jenis keperluan. Misal energi untuk keperluan skala besar bisa berbeda dengan untuk skala kecil. Dengan demikian, keanekaragaman di Indonesia justru merupakan kekuatan, walaupun perlu didukung teknologi yang beragam pula. *Blueprint* Pengelolaan Energi Nasional 2006 sudah mengarah diversifikasi, namun untuk tahun 2025 dirasa proporsi bahan bakar fosil masih relatif tinggi (83%). Perlu usaha keras bersama agar penurunan proporsi ini dapat dicapai, apalagi bila diinginkan lebih rendah. Konservasi energi fosil perlu diusahakan secepatnya. Usaha ini juga sejalan dengan upaya pencegahan pemanasan global yang mengancam kehidupan manusia di bumi.

Untuk bisa memanfaatkan dengan bijaksana sumber-sumber energi nasional dan juga sebagai basis perencanaan masa depan, potensi sumber-sumber energi perlu diteliti dan dikalkulasi dengan cermat. Seperti disampaikan di depan, masih ada sejumlah sumber energi yang informasi ketersediaannya belum memadai.

Mengingat diperlukannya waktu untuk pengembangan energi non-fosil, *life-time* energi fosil perlu dimaksimalkan. Dua jenis usaha bisa dilakukan. Yang pertama adalah meningkatkan intensitas eksplorasi sumber-sumber energi fosil baru; teramati bahwa minat investor untuk melakukan usaha ini perlu ditingkatkan, sehingga insentif dan suasana lebih kondusif kiranya perlu diciptakan. Yang kedua adalah meningkatkan efektivitas pemungutan minyak dari *reservoir* yang sudah ada. *Reservoir* tua yang sudah ditinggalkan umumnya masih mengandung minyak sekitar 70% dari semula (Lake,

1992). Teknologi maju yang bisa memungut minyak tersisa (*enhanced oil recovery*) perlu dikembangkan dan dimanfaatkan secara optimal.

Pemanfaatan energi biomassa perlu segera ditingkatkan, mengingat sumber energi ini bersifat terbarukan, pemanfaatannya tidak menyebabkan pemanasan global dan ketersediaannya cukup banyak dan tersebar di seluruh Indonesia. Perlu dikembangkan teknologi yang ekonomis dan ramah lingkungan. Sumber energi ini dimungkinkan untuk dimanfaatkan pada skala kecil sehingga cocok untuk daerah terpencil. Skala besar juga dimungkinkan. Teknologi yang dipakai bisa sederhana sampai maju. Salah satu proses yang prospektif adalah konversi yang menghasilkan gas, misal biogas, karena hasil gas langsung terpisah dari cairannya, sehingga biaya pemisahan kecil. Pada pemanfaatannya, kandungan gas korosif ataupun beracun dalam biogas kadang perlu dihilangkan.

Mengingat besarnya potensi energi nuklir dan tersedianya teknologi pemanfaatan yang aman, energi nuklir merupakan pilihan yang prospektif untuk Indonesia, baik dalam bentuk PLTN atau kilang bionuklir yang diusulkan di muka. Kecenderungan terakhir negara-negara maju untuk meningkatkan peran energi nuklir mereka juga mengindikasikan prospektifnya energi nuklir ini. Sikap mental menjunjung tinggi keselamatan dalam setiap aktivitas perlu dipegang teguh oleh bangsa Indonesia.

Seperti dikemukakan di depan, bangsa Indonesia termasuk boros energi, sehingga usaha penghematan energi secara nasional di segala sektor perlu lebih diintensifkan. Salah satu sektor yang penting adalah transportasi. Transportasi massal yang nyaman dan secara ekonomis terjangkau, serta tata kelola wilayah yang optimum akan sangat menunjang usaha penghematan energi. Gedung-gedung yang hemat energi, pada aspek kenyamanan ruang (misal AC) serta penerangan, juga bisa menurunkan konsumsi energi. Indonesia bisa memanfaatkan iklimnya yang relatif nyaman dan tersedianya penerangan matahari untuk usaha pengembangan gedung hemat energi ini. Teknologi *smart building* juga bisa dikembangkan. Perlu diperhatikan bahwa usaha ini perlu mempertimbangkan aspek biaya untuk bangunan dan peralatannya. Penggeseran pemakaian energi

ke arah energi primer juga bisa menghemat energi, mengingat efisiensi konversi energi primer menjadi energi sekunder (misal listrik) umumnya rendah, seperti dibahas di depan. Budaya hemat energi

masyarakat tentunya juga sangat penting, termasuk pemakaian peralatan hemat energi.

Untuk bisa memanfaatkan sumber-sumber energi nasional secara bijaksana, aspek penguasaan teknologi sangat penting. Informasi tentang teknologi pengelolaan energi banyak tersedia di seluruh dunia dan penelitian tentang itu sangat intensif dijalankan. Bangsa Indonesia perlu memanfaatkan semua pengetahuan dan pengalaman yang sudah dimiliki manusia (*state of the art*) sebagai basis pengembangan teknologinya. Orang bijaksana bisa memanfaatkan pengetahuan dan pengalaman orang lain. Teknologi tersebut mungkin bisa langsung diaplikasikan, mungkin perlu modifikasi atau mungkin perlu dikembangkan untuk kepentingan nasional. Penelitian yang dijalankan perlu berbasis pemahaman atas *state of the art*, jangan sampai *re-inventing the wheel*.

Untuk pengembangan energi yang prospektif untuk masa depan dan diversifikasi energi, subsidi energi secara optimum (pada sektor dan nilai yang tepat) perlu dijalankan.

Kesadaran masyarakat atas seriusnya problem energi dan pemanasan global serta perlunya usaha bersama untuk mengatasinya merupakan basis penting untuk implementasi solusinya. Sosialisasi intensif perlu dijalankan dan pendanaan perlu diprioritaskan. Tingginya kesadaran masyarakat membangkitkan peran aktif masyarakat. Selanjutnya, kerjasama sinergis antara pemerintah-ilmuwan-masyarakat akan menunjang efektivitas implementasi program-program yang telah direncanakan.

Yang sangat penting pula adalah aspek pendanaan. Semua usaha pengelolaan energi nasional perlu pendanaan. Investasi awal pengembangan infrastruktur pembangkit energi yang terbaru misal geotermal, matahari, dll perlu lebih diprioritaskan. Karena keterbatasan kemampuan pendanaan, kebijakan yang tepat dan pelaksanaan yang efisien di bidang pendanaan perlu selalu menjadi pedoman pokok.

Pada pengelolaan sumber daya alam, konsep penting yang

menjadi pedoman adalah keberlanjutan (*sustainability*). Aspek ekonomi jangka pendek disinergikan dengan aspek ekonomi jangka panjang dan dengan aspek kelestarian lingkungan. Dengan didasari hubungan cinta antara manusia dan alam semesta, seperti dianjurkan oleh Rabindranath Tagore, pemenang hadiah Nobel Sastra 1913, dalam "*Creative Unity*" (Tagore, 2002), kelangsungan hidup manusia dan kelestarian lingkungan diharapkan bisa terwujud. Pendidikan dari tingkat terendah sampai tertinggi perlu mendorong tumbuh kembangnya hubungan cinta manusia dengan alam semesta.

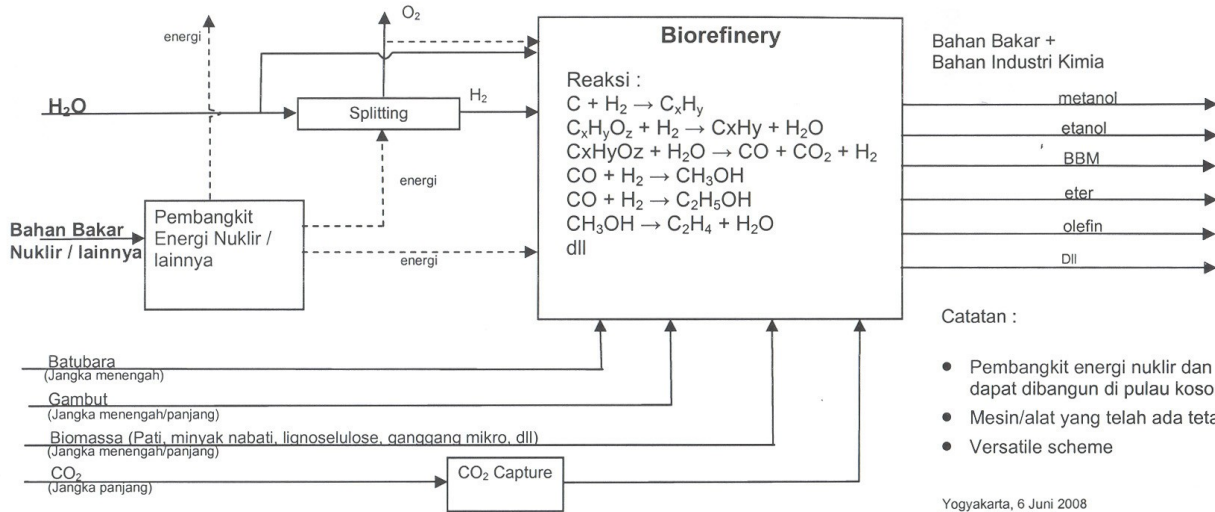
Sebagai penutup, kami mengajak seluruh Bangsa Indonesia, sebagai bangsa yang ber-Ketuhanan Yang Maha Esa, untuk berkeyakinan bahwa Tuhan sebagai Pencipta mencukupi kebutuhan hidup manusia yang beriman dan berbuat baik. Tuhan memerintahkan manusia memanfaatkan secukupnya apa yang ada di bumi untuk menunjang kehidupannya dan mencari kehidupan akhirat, namun melarang manusia membuat kerusakan di bumi. Kami setuju dengan pendapat yang menyatakan bahwa bumi ini cukup untuk memenuhi kebutuhan manusia, namun tidak cukup untuk memenuhi keserakahan manusia.

Wassalamualaikum Warakhmatullahi Wabarakatuh

Pustaka:

1. Austin, G.T., 1980, "Shreve's Chemical Process Industries", 5th edition, McGraw-Hill International Edition, Singapore.
2. Azimudin, T., 2009, "Geothermal Energy Development in Indonesia: Opportunity and Challenge", Green Expo-Dies HMTG, UGM, Yogyakarta.
3. Barber, J., 2008, "Solar energy to fuels. If a leaf can do it we can do it", Lee Kuan Yew NTU Lecture.
4. BP, "BP Statistical Review of World Energy", www.bp.com, Juni, 2009.
5. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2006, "Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2006-2025", Jakarta.
6. Department of Energy, "Hydrogen and Our Energy Future", www.hydrogen.energy.gov, Juni, 2009.
7. Desertec, "Clean Power from Deserts", www.desertec.com, November, 2009.
8. Dirjen Listrik dan Pemanfaatan Energi Nasional, 2009, "Strategi Pengelolaan Energi Nasional dalam Menjamin Keamanan Ketersediaan Energi Bagi Industri Nasional", Workshop Perencanaan Pengembangan Faktor-faktor Utama Sektor Industri dalam Mencapai Visi Indonesia Sebagai Negara Maju Tahun 2020", Jakarta.
9. Dowd, T., 2007, "Biodiesel – Option for Sustainable Biofuel", International Biofuel Conference, Bali.
10. Tagore, 2002, "Kesatuan Kreatif", Terjemahan Hadikusumo, Bentang, Yogyakarta.
11. Jantsch, E., 1980, "The Self-Organizing Universe", Pergamon Press, London
12. Klass, D. L., 1998, "Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals", Academic Press, London.
13. Kusnanto, dkk., UGM, 2009, Program Studi Teknik Nuklir, Komunikasi Pribadi.
14. Lake, L. W., Schmidt, R. L., Venuto, P. B., "A Niche for Enhanced Oil Recovery in the 1990s", Oilfield Review, January 1992.
15. Linde, "The Cleanest Energy Carrier Ever", www.linde.com, November, 2009.
16. Marklein, H.A. and Hardy, W.C., 1977, "Energy Economy", Gulf Publishing Company, Houston, Texas.
17. Munich Re Group, "Renewable Energies", www.munichre.com, November, 2009.
18. Olah, G. A., "Methanol Economy", C&EN, 22 September, 2003.
19. Perry, R. H., Green, D. W., and Maloney, J. O., 1999, "Chemical Engineer's Handbook", 7th edition, McGraw-Hill Co., Ltd., New York.
20. RWE, 2009, "Developing Energy Supply of The Future", www.rwe.com, November, 2009.
21. Surawijaya, T. H., 2007, "Biodiesel: Now and Then", International Biofuel Conference, Bali.

LAMPIRAN



Kilang Bionuklir (*nucleo-bio-refinery*)

