



ENERGI DAN DAUR BAHAN BAKAR NUKLIR DI ASIA PASIFIK

Soedyartomo Soentono
Penelitian Pengembangan Industri Nuklir,
Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

ENERGI DAN DAUR BAHAN BAKAR NUKLIR DI ASIA PASIFIK. Asia yang berada di kawasan Asia Pasifik dalam waktu dekat akan terpaksa menghadapi kenyataan adanya keterbatasan pasokan energi dan pencemaran lingkungan. Di samping itu pembangunan untuk peningkatan kualitas hidup bagi penduduk dengan jumlah yang besar dan masih bertambah besar harus tetap dapat dilaksanakan. Pemanfaatan energi nuklir akan menjadi salah satu alternatif logis untuk mengatasinya. Asia secara ekonomi telah siap untuk introduksi pemanfaatan energi nuklir. Selanjutnya Asia harus membina berbagai jaringan kerjasama dalam berbagai bidang seperti politik, ekonomi, dan sumber daya manusia secara multilateral untuk keberhasilan introduksi energi nuklir. Walaupun pada awal introduksi pemanfaatan energi nuklir pilihan jenis reaktor dan daur bahan bakar agak terbatas bagi negara yang baru memulainya tetapi akhirnya berbagai daur bahan bakar nuklir yang lebih baik bagi penggunaan bahan maupun ketahanan terhadap proliferasi perlu dipilih. Olah ulang dan penyimpanan bahan bakar bekas akan menjadi isu utama baik dari sisi teknologi maupun sisi politik. Teknologi pengelolaan limbah radioaktif tidak akan menjadi masalah bagi negara yang baru mulai memanfaatkan energi nuklir. Namun adanya suatu rencana yang meyakinkan tentang pengelolaan limbah sangat diperlukan untuk memperoleh dukungan penerimaan masyarakat. Negara-negara yang telah mengoperasikan pembangkit listrik tenaga nuklir dapat memberikan peran serta yang sangat berarti dalam berbagai bidang seperti pemecahan masalah pembuangan limbah, membagi pengalaman dalam keselamatan nuklir, pendidikan dan pelatihan, dan pengembangan daur bahan bakar maju untuk pemanfaatan bahan bakar yang lebih baik dan meningkatkan ketahanan terhadap kemungkinan adanya proliferasi. Dalam hal ini perlu pula diingat bahwa kerjasama dalam pembinaan sumber daya manusia perlu ditujukan pula untuk menambah keyakinan bahwa budaya keselamatan yang telah diwujudkan selama empat dekade terakhir dapat diamalkan oleh seluruh komunitas nuklir.

ABSTRACT

ENERGY AND NUCLEAR FUEL CYCLE IN THE ASIA PACIFIC. *Asia in the Asia Pacific region will face a scarcity of energy supply and an environmental pollution in the near future. On the other hand, development demands an increasing standard of living for a large number of, and still growing, population. Nuclear energy utilization is to be one of the logical alternative to overcome those problems. From the economical point of view, Asia has been ready to introduce the nuclear energy utilization. Asia should establish the cooperation in all aspects such as in politics, economics and human resources through multilateral agreement between countries to enable the introduction successfully.*

Although the beginning of the introduction, the selection of the reactor types and the nuclear fuel cycle utilized are limited, but eventually the nuclear fuel cycle chosen should be the one of a better material usage as well as non proliferation proof. The fuel reprocessing and spent fuel storage may become the main technological and political issues. The radioactive waste management technology however should not be a problem for a country starting the nuclear energy utilization, but a sound convincing waste management programme is indispensable to obtain public acceptance.

The operating nuclear power countries can play important roles in various aspects such as problem solving in waste management, disseminating nuclear safety experiences, conducting education and training, developing the advanced nuclear fuel cycle for better utilization of nuclear fuels, and enhancing as well as strengthening the non-proliferation. It has to be remembered that cooperation in human resources necessitates the important of maintaining and improving the safety culture, which has been already practiced during the last 4 decades by nuclear community.

PENDAHULUAN

Dalam makalah ini yang dimaksud dengan Asia Pasifik adalah Amerika Serikat, Brunei, Cina (termasuk Hongkong), Indonesia, Jepang, Korea Selatan, Malaysia, Filipina, Singapura, Taiwan, dan Thailand. Negara-negara Indocina seperti Kamboja, Laos dan Vietnam tidak termasuk dalam pembahasan. Demikian pula negara-negara Rusia dan Korea Utara tidak termasuk dalam pembahasan walaupun kedua negara ini juga berminat untuk meningkatkan pemanfaatan Pusat Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Di Rusia, pembangunan PLTN baru direncanakan, terutama setelah adanya krisis energi pada awal dekade 1990-an, di Khabarovsk dan Vladivostok. Studi karakteristik tapak, pol pendapat masyarakat, dan berbagai studi skema finansial telah dilakukan. Sedangkan di Korea Utara negosiasi dengan Amerika Serikat sedang dilaksanakan untuk pembangunan beberapa PLTN (jenis PWR). Energi nuklir di Kanada juga tidak akan dibahas walaupun negara ini adalah pemain penting dalam penyediaan PLTN CANDU bagi kawasan Asia Pasifik. Seperti yang telah diketahui sepertiga kapasitas energi nuklir Korea Selatan berasal dari PLTN CANDU dan dapat dikembangkan menjadi peluang bagi skema daur bahan bakar nuklir baru^[1].

Negara-negara yang dibahas dalam makalah ini mempunyai implikasi penting bagi kawasan Asia Pasifik, terutama bila ditinjau dari sisi kerjasama di bidang nuklir mencakup pula inspeksi nuklir bagi kepentingan bersama. Pembahasan dalam makalah ini ditekankan pada negara-negara yang secara nyata telah mempunyai pengembangan energi nuklir pada saat ini maupun dalam dekade yang akan datang^[2].

ENERGI DAN DAUR BAHAN BAKAR NUKLIR DI AMERIKA SERIKAT

Pada saat ini di Amerika Serikat beroperasi 109 PLTN (72 PWR dan 37 BWR) dengan kapasitas terpasang 100.459 MWe. Faktor Kapabilitas Unit (*Unit Capability Factor*) rata-rata (persen pembangkitan energi maksimum yang dapat dipasok ke grid, hanya dibatasi oleh berbagai faktor dalam kendali pengelolaan pembangkit) telah meningkat dari 62% pada 1980 menjadi 82% pada 1996. Target industri di Amerika Serikat adalah 87% pada 2000. PLTN memasok sekitar 22% kebutuhan listrik Amerika

Serikat. Selama lebih dari dua dekade tidak ada permintaan pembangunan PLTN baru, demikian pula tidak ada pesanan untuk jangka waktu singkat mendatang. Ada tiga sebab yang mendasari hal ini^[3]:

- Adanya dorongan yang kuat untuk pemanfaatan sumberdaya (energi) yang efisien dalam produksi barang dan jasa telah mengurangi pertumbuhan permintaan listrik yang direncanakan sehingga untuk sementara terjadi kelebihan penyediaan energi
- Adanya peningkatan yang besar dalam sumberdaya gas alam sebagai akibat dari teknik geofisika yang lebih baik untuk penentuan lokasi cadangan dan pengeboran horisontal untuk membuka lipatan lapisan yang mengandung gas yang telah menghasilkan "gelembung" gas alam yang cukup untuk beberapa dekade, dan
- Adanya pengembangan metalurgi dalam rancangan turbin/generator gas yang dapat menghasilkan berbagai unit 250 MWe dengan harga murah dan mempunyai efisiensi termal yang baik (60%).

Tiga hal tersebut telah mengakibatkan untuk sementara tidak diperlukan adanya pembangkit listrik besar yang terpusat, dan PLTN yang *capital intensive* walaupun dengan daur bahan bakar yang murah menjadi kurang kompetitif.

Sedangkan untuk jangka panjang, utilitas nuklir di Amerika Serikat menghadapi isu dan tantangan yang berikut^[2]:

- Deregulasi industri utilitas listrik mengandung ketidakpastian untuk dekade yang akan datang. Sebagai contoh, di Kalifornia peraturan perundangan telah mengundang adanya masa transisi selama 5 tahun untuk terselenggaranya pasar kompetitif penuh sampai dengan 2002. Peraturan Federal tentang deregulasi sedang dalam pertimbangan, dan banyak peraturan negara bagian yang telah memberlakukannya, sebagian lainnya sedang mempertimbangkan untuk membuka pasar pelistrikan berbasis kompetisi. Pengendalian emisi pembangkit listrik yang menggunakan fosil sebagai bahan bakar, untuk pengaturan perubahan cuaca dan efek rumah kaca, akan berpengaruh pada ekonomi pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) dan non-PLTN, yang tentu saja akan menambah

ketidakpastian. PLTN harus dapat mengatasi masa transisi ini sekaligus juga tekanan untuk lebih kompetitif setelah masa transisi.

- Pembuangan limbah radioaktif aktivitas tinggi masih menjadi isu serius di AS. USDOE kemungkinan besar tidak akan dapat memenuhi keputusan pengadilan bulan Juli 1996 yang mengharuskannya untuk mulai mengambil alih pengelolaan bahan bakar nuklir bekas dari utilitas mulai 31 Januari 1998. Berbagai isu teknis dan institusional yang berkaitan dengan repositori geologis yang direncanakan di *Yucca Mountain* yang cukup besar kapasitasnya dan penundaan legislasi untuk fasilitas penyimpanan sementara menghadapi kenyataan bahwa hampir pasti akan diveto oleh Pemerintah. Kebiasaan pada saat ini untuk menyimpan bahan bakar bekas di kolam-kolam bahan bakar bekas atau di kas penyimpanan kering di tapak, mungkin tidak akan dapat dilakukan lagi, ditinjau dari sudut pandang penerimaan masyarakat. Apabila AS melanjutkan kebijaksanaan daur terbuka dan ada PLTN baru, tambahan repositori geologis mungkin diperlukan.
- Pada tingkat nasional dan internasional, isu proliferasi berlanjut menjadi problem yang cukup mengganggu. Isu ini mencirikan ketidakpastian teknis dan institusional, dan pemecahan secara teknis murni maupun secara institusi murni cenderung menimbulkan konflik. Salah satu contoh dalam hal ini adalah konversi Pu dari kelebihan senjata nuklir untuk dicampur menjadi bahan bakar campuran oksida (*Mixed Oxides, MOX*) untuk digunakan sebagai bahan bakar reaktor air ringan (*Light Water Reactor, LWR*) versus vitrifikasi dan pembuangan sebagai jawaban terhadap traktat pengendalian senjata.

Dari sisi positif, seperti yang disebutkan di muka, kinerja operasi PLTN yang ada terus meningkat dan bahkan ada penjualan ke negara lain (Taiwan). Industri nuklir AS juga secara sinambung telah meningkatkan disain keselamatan. Sebagai contoh Program LWR maju (*Advanced Light Water Reactor, ALWR*) akan memenuhi peraturan yang digariskan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir AS (*US Nuclear Regulatory Commission, US-NRC*) untuk reaktor maju yang menyarankan adanya peningkatan keselamatan beberapa

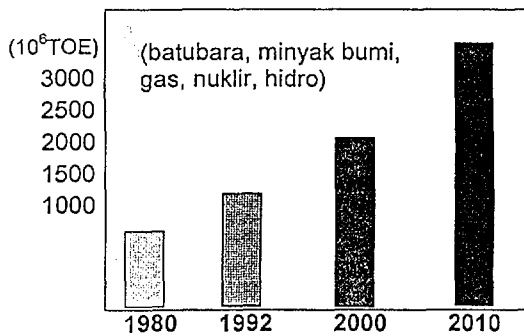
kali lipat^[4]. Penelitian daur bahan bakar maju yang sedang dilakukan pada saat ini berpotensi untuk meningkatkan ketahanan terhadap proliferasi yang mungkin akan dapat menghasilkan berbagai skema olah ulang baru. Derajat bakar yang ditingkatkan mempunyai prospek untuk meningkatkan keekonomian pembangkit dan mengurangi volume limbah aktivitas tinggi. Dari sisi sekuriti energi, kebijakan AS mungkin akan bertumpu pada perpanjangan waktu hidup pembangkit sampai mereka dapat mengatasi berbagai masalah tersebut di muka.

PERMINTAAN ENERGI NEGARA-NEGARA ASIA DI KAWASAN ASIA PASIFIK

Negara-negara di kawasan Asia Pasifik diciri oleh keberagamannya. Di samping keragaman budayanya, juga diciri oleh keragaman tingkat perkembangan ekonominya, yakni adanya negara-negara industri, industri baru (macan Asia, *newly industrialized economies, NIEs*), dan negara-negara berkembang. Setiap negara mempunyai situasi permintaan - pasokan energi yang berbeda. Sebagai contoh, Indonesia memproduksi dan bergantung pada minyak bumi sebagai sumber daya energinya. Namun, minyak bumi harus juga dihemat agar dapat diekspor untuk memperoleh devisa guna membiayai pembangunan ekonomi^[5,6,7,8]. Cina -sangat bergantung pada batubara^[9]. Oleh karena perkembangan ekonomi di kawasan pantai lebih cepat daripada di pedalaman, Cina menghadapi berbagai masalah transportasi bila harus mengangkut batubara dalam jumlah yang sangat besar ke kawasan pantai. Di samping itu pencemaran yang disebabkan oleh pembakaran batubara telah menjadi masalah serius baik secara nasional maupun internasional. Lebih daripada itu sebagian besar penduduk Cina masih berada pada standar hidup rendah dan tentu saja menginginkan kehidupan yang lebih baik yang berarti konsumsi energi yang lebih tinggi.

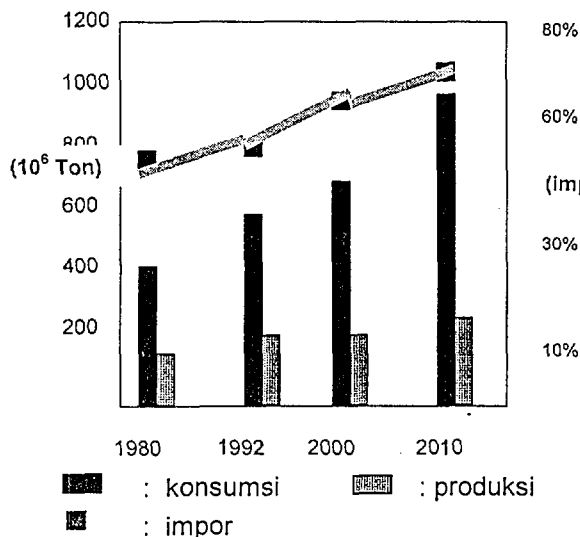
Permintaan Energi yang Meningkat Cepat

Pada Gambar 1 dapat dilihat peningkatan permintaan energi primer di Asia sejak 1980 dan prospek permintaan sampai dengan 2010. Permintaan energi di Asia (di kawasan Asia Pasifik) telah meningkat 4% per tahun. Pada tahun 2010, permintaan energi akan menjadi dua kali lipat permintaan tahun 1992^[2].



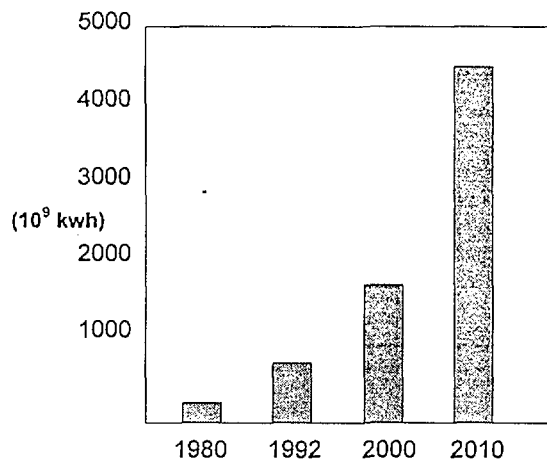
Gambar 1. Permintaan Energi Primer di Asia^[10,11]

Konsumsi minyak mentah telah lebih besar daripada produksi di Asia kawasan Asia Pasifik sejak 1980 (lihat Gambar 2), hal ini disebabkan terutama oleh konsumsi yang sangat besar oleh Jepang. Suatu peningkatan konsumsi minyak bumi yang besar akan terjadi di Cina dalam kurun 15 tahun mendatang. Pada tahun 2010 konsumsi minyak bumi Cina akan lebih besar daripada konsumsi Jepang. Negara-negara ASEAN akan juga mengkonsumsi minyak bumi sebesar konsumsi Jepang. Sekitar 70% minyak bumi yang dikonsumsi di Asia kawasan Asia Pasifik akan dipasok dari luar terutama dari Timur Tengah.



Gambar 2. Prospek produksi, konsumsi, serta impor minyak bumi di Asia^[10,11]

Permintaan listrik juga akan meningkat sangat cepat. Tanpa memasukkan permintaan listrik di Jepang, peningkatan permintaan listrik sebesar 8,2% per tahun akan terjadi hingga tahun 2000, dan sebesar 7,3% per tahun hingga tahun 2010 seperti terlihat pada Gambar 3. Permintaan listrik pada tahun 2000 meningkat lebih dari 4 kali lipat terhadap permintaan listrik pada tahun 1980 dan menjadi 9 kali lipat pada tahun 2010.



Gambar 3. Prospek permintaan listrik di Asia (tanpa Jepang)^[10,11]

Konsekuensi Peningkatan Konsumsi Energi

Aktivitas ekonomi di negara-negara Asia di kawasan Asia Pasifik semakin lama semakin berkaitan. Krisis energi di satu negara akan berpengaruh langsung ke pertumbuhan ekonomi negara lain. Sebagai contoh, setelah gempa bumi di Kobe, Jepang pada bulan Januari 1995 ekspor suku cadang peralatan listrik dari Kobe terhenti yang mengakibatkan produksi alat pendingin di Malaysia menurun. Dengan meningkatnya permintaan energi di Asia, pengamanan pasokan minyak bumi menjadi semakin penting bagi Asia (karena pasokan minyak bumi impor akan menjadi sekitar 70% pada 2010) dan kompetisi pengamanan pasokan minyak bumi akan menjadi lebih mendunia.

Selanjutnya, dengan meningkatnya jumlah bahan bakar fosil (gas, minyak bumi dan batubara) yang digunakan, meningkat pula jumlah gas CO₂, SO_x dan NO_x yang dibuang ke lingkungan. Hujan asam dan efek rumah kaca harus lebih mendapatkan perhatian. Emisi CO₂ ke lingkungan akan meningkat 4% per-tahun (2% rata-rata dunia) untuk 20 tahun mendatang, dan pada tahun 2010, seperempat emisi CO₂ dunia dihasilkan dari Asia di kawasan Asia Pasifik^[2].

Dengan memperhatikan konsekuensi tersebut di atas, pemanfaatan PLTN adalah suatu pilihan logis dan telah menjadi salah satu alternatif yang dipertimbangkan dengan sungguh-sungguh oleh banyak negara di kawasan Asia Pasifik. Selanjutnya, bila pemanfaatan PLTN menjadi salah satu alternatif bagi negara-negara Asia di kawasan Asia Pasifik, berbagai pertanyaan yang berikut kiranya perlu direnungkan jawabannya :

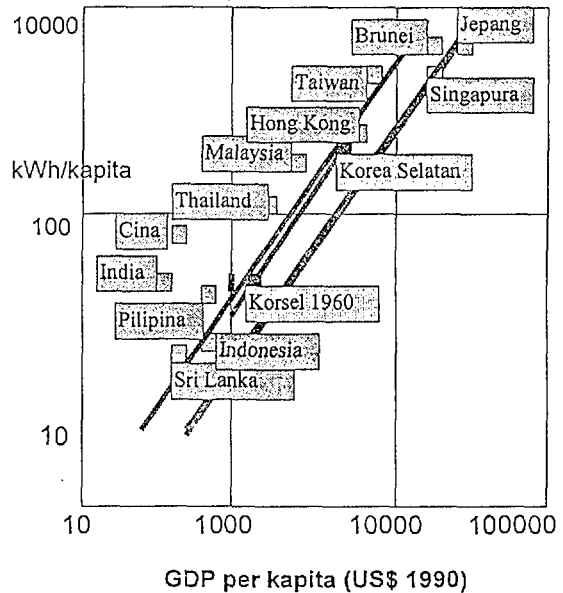
- Apakah negara-negara Asia yang sedang berkembang yang belum mempunyai PLTN di kawasan Asia Pasifik siap untuk pemanfaatannya baik dari sisi teknologi dan atau sosial ?
- Apa saja yang paling diperlukan di negara-negara tersebut untuk dapat mulai memanfaatkan PLTN ?
- Peran serta apa yang dapat dilakukan oleh negara-negara yang telah mengoperasikan PLTN untuk menjawab kebutuhan negara berkembang yang akan mengintroduksi PLTN?

KESIAPAN NEGARA-NEGARA ASIA YANG SEDANG BERKEMBANG DI KAWASAN ASIA PASIFIK DALAM MEMANFAATKAN PLTN

Konsumsi listrik per-kapita dapat dianggap sebagai cerminan dari kualitas standar hidup, yang secara kasar dapat dianggap pula sebagai cerminan standar pendidikan, atau tingkat teknologi negara. Sedangkan *gross domestic products* (GDP) per kapita dapat dianggap sebagai ukuran tingkat industrialisasi. Pada Gambar 4 dapat dilihat hubungan antara konsumsi listrik dan GDP dengan basis per kapita^[12].

Dengan peningkatan kemakmuran yang diperoleh melalui industrialisasi, masyarakat dapat menikmati hidup yang lebih nyaman karena listrik menggantikan buruh manual, dan lebih banyak uang yang diinvestasikan

untuk pengembangan teknologi dan sumberdaya manusia.



Gambar 4. Hubungan antara GDP dan Konsumsi Listrik dengan Basis Per Kapita^[12]

Pada bagian atas kanan Gambar 4 (data diamati pada saat Hongkong masih terpisah dari Cina), dapat dilihat negara-negara industri dan industri baru (NIEs), seperti Jepang, Taiwan, Singapura dan Korea. Selanjutnya, terlihat negara-negara berkembang, Malaysia, Thailand, Pilipina dan Indonesia berurutan dari kanan ke kiri. Cina berada sedikit di luar garis-garis diagonal disebabkan oleh jumlah penduduknya yang sangat besar. Perlu kiranya diperhatikan bahwa garis-garis trayektori negara-negara industri dan NIEs terhadap waktu berada sejajar di dalam garis-garis diagonal dalam Gambar 4 (sebagai contoh Korea Selatan) mulai dari sudut kiri bawah. Dengan demikian kiranya dapat difahami bahwa GDP per kapita dapat digunakan sebagai tolok ukur tingkat teknologi suatu negara.

Gambar 5 menunjukkan peningkatan GDP per kapita sebagai fungsi waktu. Dari tahun-tahun pada saat mana Jepang, Korea Selatan dan Taiwan mulai memanfaatkan PLTN, dari Gambar 5, dapat diperkirakan pada tingkat pengembangan ekonomi yang mana PLTN dapat mulai dimanfaatkan di suatu negara. Operasi PLTN komersial di Jepang dimulai pada akhir dekade 1960.

Keputusan untuk memanfaatkan PLTN telah dibuat 15 tahun sebelumnya (segera setelah pidato *Atom for Peace* yang disampaikan oleh Presiden Eisenhower di depan sidang umum PBB 1956). Bila dianggap tahun 1960 sebagai awalnya maka GDP per kapita Jepang pada saat itu adalah US\$ 3000 (nilai 1985).

Korea dan Taiwan memiliki sejarah litbang energi nuklir yang hampir sama panjangnya. KAERI (*the Korea Atomic Energy Research Institute*) dan beberapa jurusan teknik nuklir di beberapa Universitas ternama di Korea mulai didirikan pada dekade 1960. Baik Korea maupun Taiwan mulai memanfaatkan PLTN komersial pada tahun 1978^[1,13]. GDP per kapita kedua negara ini telah melampaui US\$ 3000 pada dekade 1970.

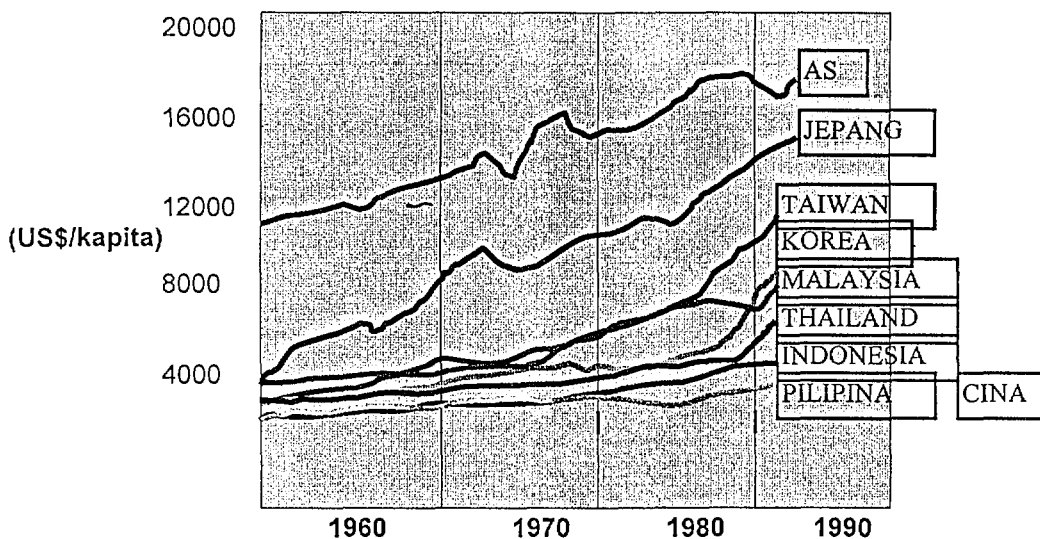
Malaysia telah mencapai GDP per kapita US\$ 3000 pada dekade 1970 tetapi tidak mengintroduksi PLTN. Hal ini disebabkan oleh adanya sumberdaya energi gas dan minyak bumi yang berlimpah. Walaupun demikian Malaysia mengetahui bahwa negaranya akan menjadi *net importer* minyak bumi di awal dekade yang akan datang. Walaupun sampai saat ini Malaysia tidak mempunyai rencana untuk mengintroduksi PLTN, tetapi Malaysia mempunyai aktivitas penelitian nuklir yang komprehensif dengan sebuah reaktor riset.

GDP per kapita Thailand melampaui US\$ 3000 pada tahun 1989. Penelitian dan pengembangan untuk energi nuklir telah

dilaksanakan lebih dari 25 tahun, terutama oleh lembaga penelitian pemerintah dan Universitas Chulalongkorn. Walaupun rencana untuk membangun PLTN komersial dibatalkan pada tahun 1980 (karena ditemukan ladang minyak), introduksi PLTN telah sungguh-sungguh dipertimbangkan oleh pemerintah Thailand beberapa tahun akhir-akhir ini.

Indonesia hampir mencapai GDP per kapita sebesar US\$ 3000. Upaya yang komprehensif telah dilakukan oleh Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN) meliputi berbagai aspek penting bagi penelitian dan pengembangan dan introduksi PLTN^[7,8,14,15,16] seperti fisika reaktor, disain bahan bakar nuklir, pengelolaan limbah radioaktif dan pengkajian keselamatan reaktor.

Cina masih memerlukan beberapa waktu untuk mencapai GDP per kapita US\$ 3000, tetapi telah mampu untuk mengembangkan PLTN komersial berbekal pengalaman yang diperoleh melalui pengembangan senjata dan reaktor untuk kapal. PLTN komersial pertama dikembangkan Cina, tanpa bantuan pihak luar, berbasis teknologi reaktor untuk kapal. Cina mempunyai ambisi yang sangat besar untuk memanfaatkan PLTN, terlihat sangat ambisius, namun akan dapat dilihat memang benar diperlukan bila pertumbuhan ekonomi seperti saat ini berlanjut untuk generasi yang akan datang^[9].



Gambar 5. Kenaikan GDP per kapita (dalam US\$ 1985)^[1,13]

Suatu hal yang perlu diperhatikan di sini adalah bahwa pada saat PLTN diintroduksi, Jepang, Korea dan Taiwan belum menjadi negara industri seperti saat ini. Untuk introduksi PLTN suatu negara tidaklah perlu sepenuhnya telah menjadi negara industri. Persyaratan yang diperlukan untuk introduksi PLTN adalah kemampuan untuk mengorganisasikan, mengembangkan dan mengelola teknologi yang kompleks serta sistem sosial yang diperlukan untuk teknologi tersebut melalui pengembangan energi nuklir. Dengan kemakmuran sosial sekitar US\$ 3000 per-kapita, suatu negara dapat memulai pengembangan energi nuklir (PLTN). Dengan memperhatikan hal ini, dapatlah kiranya difahami bahwa negara-negara Asia sudah siap untuk introduksi pemanfaatan PLTN.

Selanjutnya, di samping ketersediaan teknologi, iptek, sumberdaya pengelolaan dan finansial untuk pembangunan dan pengelolaan berbagai sistem nuklir, berbagai hal yang berikut perlu diperhatikan dan ditangani secara memadai bila PLTN akan diintroduksi:

- Penerimaan masyarakat
- Pengelolaan Limbah Radioaktif
- Kesadaran masyarakat tentang perlunya mewaspadaai adanya potensi bahaya pemanasan global, dan
- Keharusan untuk bersedia menerima inspeksi *safeguard* badan internasional untuk tidak menyebarkan dan atau melakukan penyimpangan penggunaan bahan nuklir untuk persenjataan

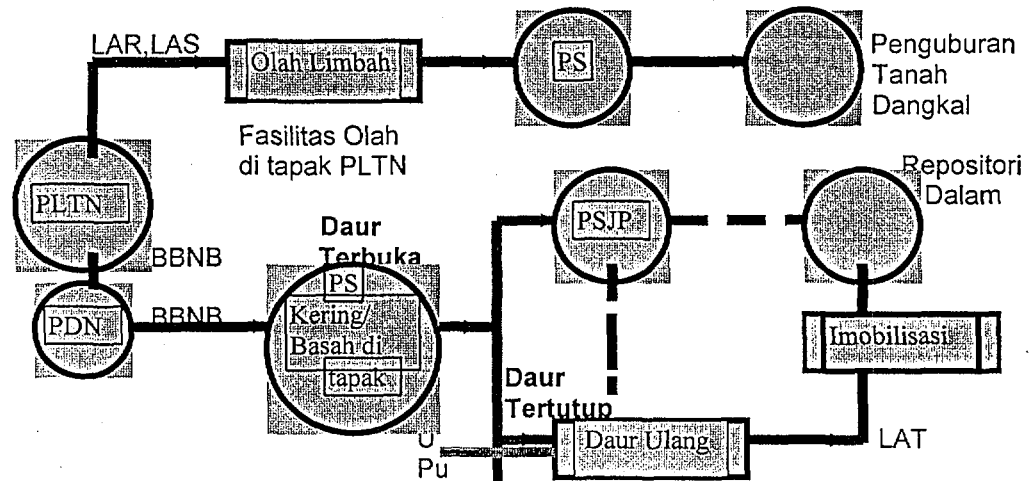
Berbagai hal ini bukanlah isu sangat penting seperti pada akhir-akhir ini bagi negara-negara yang saat ini telah mengoperasikan PLTN pada saat mereka pertama kali mengintroduksikannya. Dua hal pertama dapat menimbulkan pengaruh negatif pada rencana introduksi PLTN bila tidak ditangani dengan baik dan benar. Negara-negara yang telah mendapatkan manfaat dari PLTN seyogyanyalah menjadi pemeran utama dalam mendapatkan pemecahan atas kedua hal ini. Hal ketiga dapat menimbulkan pemahaman akan arti positif pemanfaatan PLTN. Sedangkan hal keempat adalah suatu keharusan yang diminta oleh komunitas internasional bagi suatu negara yang akan memulai pemanfaatan PLTN.

Pemanfaatan skema daur bahan bakar nuklir terbuka (*open cycle, once-through fuel cycle*) tidaklah efisien ditinjau dari sudut

pemanfaatan bahan dan mungkin menghasilkan limbah radioaktif aktivitas tinggi yang lebih banyak jumlahnya bila dibandingkan dengan daur bahan bakar nuklir tertutup. Tetapi perlu diingat bahwa daur tertutup yang lebih efisien dalam penggunaan bahan (U dan Pu), yang menggunakan olah ulang konvensional (proses pemisahan cair-cair untuk hasil belah) bersifat lebih rentan terhadap penyalahgunaan bahan bakar nuklir untuk senjata. Oleh karena lebih banyak negara yang akan memerlukan peningkatan kapasitas daya nuklir (lebih banyak pemanfaatan PLTN), suatu daur bahan bakar nuklir yang lebih efisien dalam pemanfaatan bahan dan lebih sulit untuk disalahgunakan ke persenjataan (seperti daur-ulang proses kering menggunakan pirolisa) akan lebih disukai. Negara-negara maju yang telah memanfaatkan PLTN kiranya dapat lebih berperan untuk masalah ini.

Pada Gambar 6 dapat dilihat suatu contoh program pengelolaan limbah radioaktif dari operasi PLTN yang kiranya perlu untuk dipertimbangkan oleh suatu negara yang akan memulai pemanfaatan PLTN. Dari pengalaman pengelolaan limbah radioaktif yang timbul akibat beroperasinya PLTN, dapat diketahui bahwa limbah aktivitas rendah dan sedang tidaklah menimbulkan masalah karena dapat diolah dengan teknologi yang telah baku dan telah terbukti tidak menimbulkan gangguan terhadap lingkungan. Pengelolaan limbah aktivitas tinggi berbentuk bahan bakar nuklir bekas (BBNB) masih terus menerus dikembangkan agar pemanfaatan bahan lebih efisien, lebih tahan terhadap proliferasi, dan tidak menimbulkan gangguan terhadap lingkungan.

Sudah barang tentu sampai dengan beberapa dekade setelah suatu PLTN beroperasi daur bahan bakar nuklir terbuka dapat dipilih. Bila jumlah PLTN yang beroperasi tidak cukup besar, jumlah kredit U dan Pu pada BBNB belum cukup ekonomis untuk didaur-ulang sampai beberapa dekade operasi PLTN. Pengelolaan BBNB sampai dengan beberapa dekade juga telah baku dan tidak menimbulkan masalah lingkungan. Oleh karena investasi pembangunan PLTN cukup besar, dan grid listrik yang ada juga belum cukup besar bagi suatu negara yang akan mengintroduksi pemanfaatan PLTN (listrik PLTN digunakan untuk beban dasar, PLTN komersial mempunyai daya cukup besar, 600 - 1300 MWe) umumnya jumlah PLTN yang dibangun pada awal introduksi



BBNB = Bahan Bakar Nuklir Bekas
 LAR = Limbah Aktivitas Rendah
 LAS = Limbah Aktivitas Sedang
 LAT = Limbah Aktivitas Tinggi
 PDN = Pendinginan BBNB di PLTN
 PS = Penyimpanan Sementara
 PSJP = Penyimpanan Sementara Jangka Panjang

Gambar 6. Program Pengelolaan Limbah Radioaktif dari Operasi PLTN

tidaklah cukup banyak. Dengan demikian, juga ujung depan daur bahan bakar nuklir akan memanfaatkan pasar internasional. Walaupun demikian bila program pembangunan PLTN cukup besar (>4) maka pembangunan fasilitas fabrikasi domestik perlu mendapat perhatian karena di samping akan meningkatkan keandalan pasokan bahan bakar juga sekaligus dapat menjadi aktivitas ekonomi^[17,18] dengan kapasitas yang cukup kecil, tidak seperti fasilitas pengayaan maupun konversi, pengolahan dan pertambangan uranium yang harus berkapasitas cukup besar agar ekonomis. Tentu saja aktivitas pengkajian, dan litbang terhadap keseluruhan daur bahan bakar nuklir harus secara sinambung dilakukan, baik sendiri maupun bersama negara lain, agar alih teknologi dan atau pembelian lisensi dapat dilakukan secara berdaya dan berhasil-guna. Demikian pula kerjasama bilateral maupun multilateral perlu terus dipupuk dengan negara-negara maju yang telah berpengalaman dengan pemanfaatan PLTN. Perlu untuk sangat diperhatikan bahwa budaya keselamatan harus telah dipunyai dan terus ditingkatkan. Oleh sebab itu kerjasama dalam pengembangan sumberdaya manusia harus dilaksanakan untuk menjamin agar budaya keselamatan nuklir yang telah diwujudkan

selama empat dekade akhir-akhir ini dapat dimiliki bersama serta diamankan oleh seluruh komunitas nuklir.

SIMPULAN

Dari uraian di muka kiranya dapat difahami bahwa negara-negara Asia di kawasan Asia Pasifik dalam waktu dekat akan menghadapi berbagai tantangan seperti keterbatasan pasokan energi, polusi lingkungan dan kesinambungan pembangunan bagi penduduk yang jumlahnya besar dan semakin membesar. Introduksi PLTN merupakan suatu pilihan logis untuk mengatasi berbagai tantangan ini. Asia di kawasan Asia Pasifik mempunyai kemampuan ekonomi yang memadai untuk memulai introduksi PLTN dan untuk ini perlu mengembangkan berbagai jaringan kerjasama politik, ekonomi, dan sumberdaya manusia secara multilateral.

Pada awal introduksi PLTN, pilihan atas jenis reaktor dan atau daur bahan bakarnya terbatas (daur terbuka untuk beberapa dekade setelah PLTN beroperasi), tetapi akhirnya daur bahan bakar yang lebih baik dari sisi pemanfaatan bahan dan lebih tahan proliferasi perlu untuk dipilih. Olah-ulang dan penyimpanan bahan bakar nuklir bekas akan

menjadi isu utama baik secara teknis maupun politis, walau pengelolaan dan pembuangan limbah radioaktif bukanlah isu penting secara teknis bagi negara yang memulai introduksi PLTN untuk beberapa dekade setelah PLTN beroperasi. Namun, tanpa adanya rencana (program) yang meyakinkan terhadap ujung belakang daur bahan bakar nuklir maka akan sangat sulit untuk memperoleh dukungan penerimaan masyarakat terhadap introduksi PLTN.

Negara yang telah berpengalaman dalam pengoperasian PLTN dapat mempunyai peranan yang sangat berarti bagi introduksi PLTN di suatu negara dalam menemukan penyelesaian masalah pembuangan limbah radioaktif, membagi pengalaman dalam masalah keselamatan, pendidikan dan pelatihan, dan pengembangan skema daur bahan bakar nuklir maju yang lebih efisien dalam pemanfaatan bahan dan lebih tahan proliferasi, serta pengembangan sumberdaya manusia yang berbudaya keselamatan nuklir.

PUSTAKA

- [1]. CHO. N.Z., *Policies and Technology Development for the Nuclear Fuel Cycle in Korea*, Proc. of the Nuclear Engineering Session, College of Engineering Industrial Liaison Program, 19 Annual Conference, March 12, 1997, UCLA, Berkeley, California, April 1997.
- [2]. AHN J., and KASTENBERG W.E., *Overview of Nuclear Energy in the Asia/Pacific Region*, Ibid, April 1997.
- [3]. STARR C., *The Future of Nuclear Power*, *Nuclear News*, March 1997.
- [4]. RAO, A.S., *Development of Advanced Light Water Reactors*, Proc. of the Nuclear Engineering Session, College of Engineering Industrial Liaison Program, 19th Annual Conf., March 12, 1997, UCLA, Berkeley, California, April 1997.
- [5]. SUDJANA, I.B., *Indonesian Need on Energy*, TELSTRA, *Strategic Review*, Ikatan Alumni Lemhannas Bilingual Magazine, No 42, Jakarta, Indonesia, Sept. - Oct. 1996.
- [6]. HABIBIE, B.J., *Nuclear Power Development in the Asia Region*, 28 Annual Conf. JAIF, Tokyo, April 10-12, 1995
- [7]. SUBKI, I., ADIWARDoyo, *The Position of Nuclear Power in Indonesia Optimal Energy Mix*, Proc. 10th Pacific Basin Nuclear Conf., Kobe, Japan, Oct. 20-25, 1996.
- [8]. SOENTONO, S., *Nuclear Power Development in Indonesia*, Proc. of the Nuclear Engineering Session, College of Engineering Industrial Liaison Program, 19th Annual Conf. , March 12, 1997, UCLA, Berkeley, California, April 1997.
- [9]. XU, Y., *Policies of Nuclear Energy Development in China*, Ibid, April 1997.
- [10]. Anonym, *Energy Balances of OECD Countries, Energy Statistics and Balances of Non-OECD Countries*, IEA, 1995.
- [11]. Anonym, *Interim Report by International Energy Committee*, Ministry of International Trading and Industry, Japan, 1995.
- [12]. Anonym, IEA, *Energy Statistics and Balances of Non-OECD Countries 1992-1993*
- [13]. SHIEH, M.C., *Nuclear Fuel Cycle Policy and Nuclear Development in Taiwan*, Proc. of the Nuclear Engineering Session, College of Engineering Industrial Liaison Program, 19th Annual Conf., March 12, 1997, UCLA, Berkeley, California, April 1997.
- [14]. SOENTONO, S., ARBIE, B., *Role of Research Reactors for Nuclear Power Programme in Indonesia*, Proc. 9th Pacific Basin Nuclear Conference, Sydney, Australia, May 1-6, 1994.
- [15]. SUPADI, S., SOENTONO, S., DJOKOLELONO, M., *Contribution of BATAN's Multipurpose Reactor and Its Supporting Laboratoria to the Nuclear Programme in Indonesia*, IAEA, Athens, IAEA-SM-291/20, 1986.
- [16]. SUBKI, I., ADIWARDoyo, DJOKOLELONO, M., *Nuclear Energy Prospects in Indonesia: Requirements for Safe, Reliable and Economic Alternative*, 8th Int. Conf. On Emerging Nuclear Energy Systems, ICENES '96, Obninsk, Russia, June 24-28, 1996.
- [17]. SOENTONO, S., *Prospek Industri Daur Bahan Bakar Nuklir di Indonesia untuk Mendukung Program PLTN*, Pros. Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir II, ISSN 1410-1998, PEBN-BATAN Jakarta, 19-20 Nopember 1996.
- [18]. SOENTONO, S., *Pengembangan Industri Daur Bahan Bakar Nuklir untuk Menopang Program PLTN*, Pros. Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, ISSN 0216-3128, PPNY-BATAN Yogyakarta, 28-30 April 1992.

TANYA JAWAB

Derek H. Lister

- In the west, even after many reactor years of safe operation of commercial nuclear plants, there is still quite strong public opposition to nuclear power. Some of it is driven by self-interest groups and some by people who are genuinely concerned but ignorant; a voracious press and media, anxious to sensational stories, propagate the opposition. I believe that we have to increase considerably our efforts in public education and public relations to overcome the misconception -essentially, we have to spend much more money or "advertising". Now similar PR problems are arising in SE Asia, I am wondering if you can tell me how your industry is developing an education policy directed at public acceptance of nuclear?

Soedyartomo Soentono

- For Indonesia, one of the efforts that should be done carefully and properly is Long term back-end fuel cycle policy that is clear enough to public
- For PR, together with other institutions BATAN has actively engaged with dissemination of popular knowledge of nuclear science and technology to the public and decision/policy makers especially the ones in the neighbourhood of the NPP candidate sites.

Mirzan T. Razzak

- Dalam telaah strategis seperti yang terlihat pada gambar 4, dapat diperkirakan bahwa Filipina dan Thailand merupakan dua negara di Asia Pasifik yang paling potensial untuk membangun PLTN dalam waktu dekat ini. Artinya, meskipun Indonesia lebih gencar berkampanye untuk membangun PLTN, namun ada kemungkinan kedua negara tersebut akan lebih dahulu membangun PLTN. Bagaimana pendapat Bapak dalam hal ini atau sampai sejauh mana Indonesia dapat melintasi atau mengatasi masalah Filipina dan Thailand, mengingat kesimpulan bahwa PLTN merupakan jawaban logis untuk mengatasi tantangan kebutuhan energi di Indonesia?

Soedyartomo Soentono

- Pada dasarnya, ASEAN, kecuali Myanmar, Vietnam, Laos punya potensi dan kesempatan untuk mengintroduksi PLTN. Singapura dan Brunei tidak memerlukan PLTN karena jumlah penduduk dan wilayahnya yang kecil, mengingat PLTN ditujukan untuk memenuhi kebutuhan beban dasar.
- Philipina sudah membangun setengah jalan PLTN, namun muncul masalah yang kemudian menjadi masalah yang bersifat politis yang sangat sulit untuk diatasi secara tekno-ekonomis.
- Pemerintah Thailand, dengan sengaja menunda membangun PLTN setelah menemukan cadangan minyak baru, meskipun sebelumnya sangat gencar melakukan persiapan dan usaha untuk mengintroduksi PLTN.
- Indonesia sudah dan sedang mengusahakan mengatasi 4 masalah utama dalam mengintroduksi PLTN, yaitu penerimaan masyarakat, pengelolaan limbah radioaktif, kesadaran masyarakat akan pemanasan global dan penerimaan *safeguard*.
- Walaupun semua negara Asia punya masalah dalam pasokan energi, namun secara umum, situasi sekarang sedang sangat tergantung pada perkembangan krisis moneter dan dampak ekonomisnya. Philipina dan Thailand mengambil sikap *wait and see*. Sementara Indonesia yang sedang berpacu dengan waktu, ekonomi dan teknologi barangkali akan mundur beberapa tahun, tergantung dari studi lanjut (terakhir) tentang *supply and demand*. Yang pasti *optimum energy mix* tidak dapat dihindari dengan menyatakan PLTN bagi pasokan energi di abad 21.

Heruyudo Kusumo

- Mohon disebutkan sumber referensi yang menyatakan bahwa Indonesia hampir mencapai GDP perkapita sebesar US\$3000?
- Sehubungan dengan kaitan antara GDP dengan introduksi PLTN di suatu negara, mohon penjelasan Bapak tentang kasus Pakistan dan India?
- Dalam makalah Bapak disebutkan *spent fuel* dikategorikan sebagai *high level waste*; sedangkan di beberapa negara seperti Jepang, dikategorikan sebagai

Medium Level Waste. Mohon penjelasan tentang hal ini?

Soedyartomo Soentono

- PLTN diadakan untuk daerah dengan populasi penduduk yang tinggi. Dalam hal ini, bagi Indonesia berarti untuk Pulau Jawa. Jadi GDP US\$3000 untuk pulau Jawa dapat diterima. (term yang dipakai adalah GDP, bukan GNP).
- Introduksi PLTN di India dan Pakistan, tidak murni masalah tekno-ekonomis, tetapi punya aspek-aspek politik.
- *Spent fuel*, tergantung *cooling time*, bisa dianggap sebagai limbah aktivitas tinggi, tetapi juga bisa dianggap sebagai limbah aktivitas menengah. Term *spent fuel* disederhanakan dari term limbah *spent fuel* (hasil olah ulang). Terima kasih untuk koreksinya.