

## KEBIJAKAN DAUR BAHAN BAKAR NUKLIR NASIONAL

Soedyartomo Soentono  
Deputi Bidang Penelitian Pengembangan Industri Nuklir

ID0100047

**ABSTRAK**

Kebijakan daur bahan bakar nuklir nasional ditujukan untuk mencapai keadaan yang diinginkan, yaitu dapat secara optimum mendukung kebijakan energi nasional dan kebijakan Pemerintah terkait lainnya dengan memperhatikan keadaan daur bahan bakar nuklir domestik pada saat ini dan kecenderungan perkembangan daur bahan bakar nuklir internasional, serta kekuatan, kelemahan, tantangan dan peluang di bidang energi nasional. Kebijakan ini perlu diikuti dengan strategi pencapaiannya yang mencakup optimasi usaha sendiri, kerjasama, dan pembelian lisensi. Kebijakan dan strategi perlulah dijabarkan dalam bentuk berbagai program dalam daur bahan bakar nuklir yang pada dasarnya meliputi pengkajian seluruh daur, penelitian dan pengembangan seluruh daur tanpa pengayaan dan olah ulang yang dapat digunakan untuk tujuan persenjataan, serta program untuk industrialisasi berbagai langkah daur secara ber-tahap diawali dari tengah dan diakhiri pada tepi ujung belakang daur.

**ABSTRACT**

*National policy on nuclear fuel cycle is aimed at attaining the expected condition, i.e. being able to support optimally the national energy policy and other related Government policies taking into account current domestic nuclear fuel cycle condition and the trend of international nuclear fuel cycle development, the national strength, weakness, thread and opportunity in the field of energy. This policy has to be followed by the strategy to accomplish covering the optimization of domestic efforts, cooperations with other countries, and or purchasing licences. These policy and strategy have to be broken down into various nuclear fuel cycle programmes covering basically assesment of the whole cycle, performing research and development of the whole cycle without enrichment and reprocessing being able for weapon, as well as programmes for industrialization of the fuel cycle stepwisely commencing with the midle part of the cycle and ending with the edge of the back-end of the cycle.*

**I. PENDAHULUAN**

Kebijakan daur bahan bakar nuklir nasional di-susun, berpola pikir seperti terlihat pada Gambar 1, dengan mempertimbangkan keadaan pada saat ini dan keadaan yang diinginkan pada waktu tertentu di masa depan dengan memperhitungkan kecen-derungan perkembangan yang mungkin terjadi pada kurun waktu tertentu tersebut dilihat dari segi teknoekonomi dengan mengacu pada peraturan perundang-undangan yang berlaku serta sejalan dengan berbagai kebijakan Pemerintah lainnya khususnya di bidang energi (juga pengembangan iptek, lingkungan, dan sumber daya manusia). Yang dimaksud dengan keadaan di sini adalah sumber daya manusia, perangkat lunak, perangkat keras dan wadah organisasi (sdm, sarana, dan prasarana) yang secara keseluruhan akan berujud kemampuan dalam menyusun dan melaksanakan program (yang merupakan jabaran kebijakan dan strategi) di bidang daur bahan bakar nuklir. Dalam skala nasional maka kemampuan di sini adalah kemampuan nasional dan programpun adalah program nasional yang berarti mencakup seluruh potensi bangsa tidak hanya yang ada di Badan Tenaga Atom Nasional (Batan). Walaupun demikian aktivitas daur bahan bakar nuklir pada

saat ini hampir seluruhnya adalah aktivitas Batan dan dapat dianggap mewakili aktivitas nasional. Sudah barang tentu diharapkan agar secara bertahap aktivitas ini dapat terdispersi ke berbagai institusi yang dimungkinkan oleh peraturan perundangan yang berlaku, seperti misalnya badan usaha milik negara untuk sebagian aktivitas daur bahan bakar yang telah laik dari segi tekno-ekonomi. Pada dasarnya kebijakan daur bahan bakar nuklir nasional terutama adalah mendukung kebijakan energi nasional dalam rangka penyediaan energi yang secara teknoekonomis laik untuk menopang pembangunan nasional yang bertitik berat pada pembangunan ekonomi seiring dengan peningkatan kualitas sumberdaya manusia, disamping harus pula dapat mendukung tercapainya berbagai sasaran dalam rencana strategis Batan khususnya dalam keandalan kesinambungan operasi reaktor baik untuk penelitian maupun untuk produksi isotop dan berbagai keperluan lain. Oleh sebab itu penjabaran kebijakan semacam ini harus diikuti dengan strategi adanya upaya yang utuh dari sisi pengkajian, penelitian dasar dan terapan, pengembangan teknologi dan persiapan industri serta industri yang ditopang oleh penelitian pengembangan industri agar dapat terujud industri daur bahan bakar nuklir yang berkelanjutan.

Strategi dalam melaksanakan upaya ini adalah optimasi dari melakukan sendiri, bekerjasama dengan pihak lain, dan atau membeli teknologi/lisensi. Selama ini, telah dilakukan berbagai upaya yang mencakup pembinaan sumberdaya manusia, perangkat lunak, perangkat keras, dan juga wadah organisasi adengan berbagai peraturan perundang-undangan. Secara terus-menerus kita telah melakukan pengkajian daur bahan bakar nuklir, secara bertahap kita telah dapat melaksanakan penelitian dasar dan terapan, penelitian pengembangan industri, yang telah menghantarkan kita untuk mampu memproduksi elemen bakar dan elemen kendali reaktor riset dalam bentuk alumunida, oksida dan bahkan yang mutakhir silisida secara rutin. Pada awal bulan Agustus yang lalu dalam rangka memperingati ulang tahun kemerdekaan emas 50 tahun, seluruh elemen bakar dan kendali di teras reaktor serba guna G.A. Siwabessy adalah buatan kita sendiri.

Kebijakan daur bahan bakar nuklir nasional haruslah juga dapat menjamin adanya kelanjutan dari kemampuan yang telah ada untuk mencapai sasaran jangka panjang yang telah digariskan pada rencana strategis (renstra) Batan, disamping memelihara kemampuan yang telah dikuasai. Pada renstra Batan aktivitas daur bahan bakar nuklir tersebar pada bidang Iptek Nuklir dalam pengembangan sumber Daya Alam Dan Energi dan Bidang Iptek Nuklir Dalam Pengembangan Industri, yang pada dasarnya adalah dikuasainya teknologi pengembangan dan pemanfaatan daur bahan bakar nuklir mulai dari sumber daya alam mineral radioaktif untuk mendukung keandalan pasokan elemen bakar, secara bertahap melakukan kegiatan industri sebagian daur bahan bakar nuklir yang baik secara tekno-ekonomis serta pengelolaan limbahnya bagi keselamatan lingkungan. Oleh sebab itu pengkajian seluruh daur bahan bakar nuklir harus terus menerus dilakukan, sedangkan penelitian dasar dan terapan serta pengembangan industri dapat dilakukan dengan optimasi usaha sendiri, kerja sama dengan pihak lain, dan atau membeli teknologi bila tersedia dipasaran dengan harga yang memadai. Pengkajian dan usaha sendiri serta kerja sama dengan pihak lain juga dimaksudkan, di samping untuk mandiri, untuk meningkatkan *bargaining power* dalam negosiasi pembelian teknologi dan atau memperoleh lisensi.

Dengan semakin besarnya kemungkinan pembangunan Pusat Listrik tenaga Nuklir (PLTN) maka semakin penting pula penelitian pengembangan elemen bakar reaktor daya dan secara bertahap haruslah dapat diupayakan agar kita mampu memproduksi sendiri dengan

harga yang terjangkau dan kualitas yang memadai serta keselamatan lingkungan yang terjamin. Oleh sebab itu aktivitas daur bahan bakar nuklir juga harus selalu mengacu pada renstra Batan Bidang Persiapan Pembangunan Dan Pengoperasian PLTN, terutama berbagai hasil studi kelayakan, program partisipasi nasional, dan jadwal rencana pembangunan dan operasi PLTN. Dari pengalaman yang telah dipunyai oleh personel Batan dan tersedianya perangkat keras dan lunak litbang diberbagai fasilitas Batan, pengembang teknologi dasar dilakukan di fasilitas di luar Serpong sedangkan pengembangan teknologi industri dilakukan di fasilitas Batan Serpong.

## II. KEADAAN SAAT INI

Pengembangan teknologi dasar dilaksanakan dengan memanfaatkan semaksimal mungkin sumber daya yang ada di Batan mulai dekade 70, walaupun eksplorasi mineral radioaktif telah dilakukan pada akhir dekade 60. Pada awalnya dengan sumber dana dan manusia yang sangat terbatas, aktivitas bertumpu terutama pada pengembangan sendiri dengan sangat sedikit mendapat bantuan dari pihak lain. Selanjutnya keadaan bertambah baik, dan pada awal dekade 80 dimulailah rencana besar untuk pengembangan teknologi industri dengan membangun fasilitas Serpong yang kemudian secara bertahap telah dapat dioperasikan sesuai tujuannya<sup>1,2,3,4</sup>.

Teknologi eksplorasi dan penambangan serta pengolahan menjadi konsentrat U dari bijih yang terdapat di Indonesia telah dapat dikuasai seluruhnya pada awal dekade 80. Demikian pula pembuatan konsentrat U sebagai hasil sampingan pabrik pupuk telah dikuasai pada dekade 80. Eksplorasi telah menemukan adanya berbagai cebakan dengan kandungan total U dalam orde puluhan ribu ton. Pembuatan konsentrat dengan skala industri (kapasitas puluhan ton/tahun) juga telah dikuasai. Teknologi pemurnian konsentrat dan konversi menjadi serbuk  $UO_2$  berderajat nuklir yang berskala semi industri (kapasitas puluhan kg/hari) telah pula dikuasai. Demikian pula konversi dari  $UF_6$  menjadi AUK,  $U_3O_8$ ,  $UO_2$ ,  $UF_4$ , dan U logam telah pula dikuasai.

Berbagai fasilitas untuk pengembangan industri di kemudian hari juga telah tersedia, diantaranya instalasi elemen bakar eksperimental, instalasi keteknikan dan keselamatan reaktor, reaktor serba guna, dan instalasi radiometalurgi. Instalasi elemen bakar eksperimental pada dasarnya terdiri dari pabrik konversi (termasuk pemurnian) konsentrat menjadi serbuk  $UO_2$  berderajat nuklir yang dapat disinter dengan kapasitas semi industri, labo-ratorium fabrikasi

elemen bakar eksperimental yang berkapasitas 3 bundel elemen bakar tipe HWR perhari, dan laboratorium untuk kendali mutu. Instalasi ini selanjutnya dapat pula dimodifikasi untuk membuat bundel mini elemen bakar LWR. Pada instalasi keteknikan dan keselamatan reaktor diantaranya tersedia *out of pile loops* (diantaranya untuk pengujian termohidrolika dan korosi). Reaktor serba guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) dilengkapi dengan berbagai fasilitas iradiasi diantaranya berbentuk kapsul dan rig untuk pin dan bahan struktur, PRTF (*power ramp test facility*, untuk uji ramp terhadap pin), dan *in pile loops* (untuk uji bundel mini PWR/PHWR dan bahan struktur). Sedangkan instalasi radio-metalurgi dapat digunakan untuk uji pasca iradiasi lengkap baik untuk elemen bakar LWR, HWR maupun bahan struktur dan komponen reaktor. Berbagai uji khusus canggih juga dapat dilakukan di instalasi ini yang dapat digunakan untuk evaluasi pengembangan bahan bakar dan bahan struktur maju. Disamping itu, di Serpong juga tersedia fasilitas komputer yang dapat digunakan untuk berbagai perhitungan seperti pengelolaan bahan bakar dalam teras reaktor dan juga dapat dikembangkan di kemudian hari untuk perhitungan modeling dan disain bahan bakar.

Teknologi pengolahan dan pengelolaan limbah radioaktif juga telah dikuasai, termasuk berbagai proses pengolahan limbah cair dan padat dalam skala industri. Fasilitas pengolahan limbah dengan berbagai proses dan skala terdapat di beberapa fasilitas Batan, khusus yang ada di Serpong berskala industri.

Menggunakan instalasi produksi elemen bakar reaktor riset yang ada di Serpong, produksi rutin elemen bakar nuklir dan elemen kendali untuk RSG-GAS telah dapat dilakukan sejak beberapa tahun dan menjelang ulang tahun kemerdekaan yang ke 50 yang lalu seluruh teras RSG-GAS telah dipenuhi dengan elemen bakar dan elemen kendali buatan sendiri. Sampai saat ini telah terbukti bahwa seluruh produk dalam negeri telah berkualitas tinggi, internasional, dan tidak ada satupun yang gagal. Di samping itu kita telah pula berhasil melakukan pembuatan dan uji lengkap elemen bakar nuklir mutakhir jenis  $U_3Si_2$ -Al yang menempatkan kita di jajaran depan dunia pengembangan elemen bakar nuklir untuk reaktor riset<sup>5,6,7,8,9,10,11</sup>

### III. KEADAAN YANG DIINGINKAN

Seperti yang tercantum pada renstra Batan, sasaran bidang iptek nuklir dalam pengembangan sumber daya alam dan energi yang berkaitan dengan daur bahan bakar nuklir adalah

dikuasainya teknologi pengembangan dan pemanfaatan sumber daya alam mineral radioaktif untuk mendukung operasi PLTN, serta informasi pasar bahan bakar nuklir. Sedangkan dari sasaran bidang iptek nuklir untuk pengembangan industri yang berkaitan dengan daur bahan bakar adalah terciptanya industri nuklir dan dimasyarakatkannya iptek nuklir yang dapat mendorong berkembangnya industri nasional yang makin mandiri dengan didukung penguasaan produksi bahan bakar nuklir serta proses pengolahan limbah radioaktif yang masing-masing disertai penerapan yang konsisten azas jaminan dan kendali mutu yang mutakhir. Dari sasaran bidang persiapan pembangunan dan pengoperasian PLTN yang perlu diacu oleh aktivitas daur bahan bakar nuklir adalah PLTN yang dapat beroperasi secara andal, aman, ekonomis dan berwawasan lingkungan serta mengusahakan keikutsertaan industri nasional secara optimal. Kiranya perlu diingat bahwa elemen bakar nuklir adalah salah satu komponen PLTN yang terkritis (karena merupakan peng-halang pertama dan kedua lepasnya hasil fisi radioaktif) dan terpenting (karena yang menjamin kelangsungan dan keandalan operasi dan ekonomi PLTN).

Dari berbagai sasaran renstra tersebut, kiranya dapat diketahui bahwa diinginkan agar eksplorasi mineral radioaktif, terutama bahan bakar nuklir, harus terus dilakukan dan eksploitasinya harus dapat dan hanya dilakukan pada saat yang tepat secara ekonomis sesuai jadwal kebutuhan PLTN. Demikian pula industri daur bahan bakar lainnya, baik konversi, fabrikasi, maupun pengayaan dan olah ulang. Sedangkan pengolahan dan pengelolaan limbah harus selalu siap bahkan sebelum limbah radioaktif dihasilkan, untuk menjamin keselamatan lingkungan. Khusus untuk daur bahan bakar nuklir bagi keperluan reaktor serbaguna perlu untuk terus dikembangkan tekno-ekonominya sesuai dengan keinginan untuk meningkatkan unjuk kerja RSG-GAS dan juga untuk memenuhi kebutuhan reaktor lain yang menggunakan elemen bakar sejenis baik di dalam maupun di luar negeri. Dari rencana strategis bidang diversifikasi iptek nuklir dapat pula diketahui bahwa pengkajian reaktor temperatur tinggi (RTT) juga dilakukan dan sudah barang tentu pengkajian bahan bakarnya serta penelitian teknologi dasar pembuatan bahan bakarnya juga perlu mendapat perhatian.

Agar dapat menentukan kebijakan, strategi, dan program yang tepat, perlu kiranya untuk secara sinambung melakukan pengkajian tekno-ekonomi daur bahan bakar nuklir dengan

memperhatikan dan mempertimbangkan kecenderungan perkembangan lingkungan yang dapat mempengaruhi tekno-ekonomi daur bahan bakar nuklir di dunia. Di samping itu perlu pula diacu kebijaksanaan energi nasional, kekuatan, kelemahan dan tantangan di bidang energi yang ada di Indonesia.

#### **IV. PERKEMBANGAN DAUR BAHAN BAKAR NUKLIR, KERJASAMA INTERNASIONAL, DAN KEMUNGKINAN PENGEMBANGANNYA DI SATU NEGARA**

Pengamatan yang cermat perlu dilakukan secara sinambung terhadap daur bahan bakar nuklir, termasuk kerjasama, yang tersedia di pasaran internasional karena sangat diperlukan untuk perencanaan operasi PLTN yang optimum serta pengembangannya secara ekonomis di negara yang sedang dan atau akan memanfaatkan PLTN.

Bagi pengguna U, keandalan kesinambungan pasokan pada saat ini umumnya stabil dan mengembirakan. Di pasaran dunia harga U telah turun mendekati 2,5 kali dari harga pada tahun 1979, sedangkan cadangan U dengan kategori ongkos rendah cukup untuk memenuhi kebutuhan U sampai dengan tahun 2020. Oleh sebab itu eksplorasi U juga telah menurun kira-kira 17 % dari masa puncaknya pada tahun 1979. Aktivitas eksplorasi pada saat ini terutama hanya dilakukan di beberapa negara yang potensi uraniumnya telah terbukti dan situasi politiknya mendukung. Produksi U dalam periode 1985-1986 telah menurun beberapa ribu ton dibawah jumlah kebutuhan tahunan PTLN yang ada<sup>12,13</sup>. Walaupun demikian perkembangan industri ujung paling depan daur bahan bakar nuklir ini sesuai dengan hukum komersial pasar, sehingga perlu untuk terus diamati karena dapat berubah dalam perencanaan jangka panjang sebab pasaran U dapat menjadi metastabil.

Eksplorasi dan penambangan uranium pada dasarnya menggunakan teknologi dan teknik yang sama dengan yang digunakan untuk bahan tambang lainnya. Dengan memperhatikan adanya surplus pasokan uranium dengan harga murah kiranya dapat difahami bahwa pengembangan infrastruktur penambangan uranium tidaklah terlalu mendesak, kecuali bila ada cadangan bijih uranium dalam jumlah besar dengan kadar tinggi. Walaupun demikian keputusan politik mungkin saja dapat dilakukan untuk menambang uranium domestik walaupun hanya terdapat bijih uranium yang berkadar rendah. Keputusan semacam ini

cukup bijaksana untuk berhati-hati tentang pasar uranium yang metastabil dalam jangka panjang. Bantuan dalam bidang ini tersedia dan dapat diperoleh dari beberapa negara.

Teknologi pemurnian dan konversi baik ke  $UF_6$  untuk pengayaan maupun ke serbuk  $UO_2$  berderajat keramik dengan mudah dapat diasimilasi oleh negara yang telah mengembangkan industri kimia anorganik. Proses kimia kering dan basah yang digunakan memerlukan pengendalian yang hati-hati agar dapat menghasilkan produk yang diinginkan. Oleh sebab itu kemampuan dalam analisis kimia fisik diperlukan bila diputuskan untuk mengembangkan bagian daur bahan bakar ini. Untuk keperluan operasi pabrik yang berhasil diperlukan sejumlah sarjana teknik kimia, kimia dan juga teknisi kimia. Aktivitas pemurnian dan konversi ini baru dapat ekonomis bila kapasitasnya cukup besar, yaitu sekitar 1000 tU/tahun. Pabrik dengan kapasitas sebesar ini akan dapat menghasilkan pasokan untuk beberapa PTLN dengan kapasitas terpasang beberapa GWe dan memerlukan personil sekitar 100 orang, 30 diantaranya hruslah telah mengalami training. Bila jumlah permintaan tidak cukup besar maka akan lebih menguntungkan bila serbuk  $UO_2$  berderajat keramik diberli dari beberapa pemasok yang ada di pasaran internasional, kecuali di dalam negeri ada cadangan bijih uranium yang dapat diolah dengan ongkos murah yang mudah dikembangkan. Oleh sebab itu alih teknologi dalam pemurnian dan konversi tidaklah dianjurkan sebagai prioritas<sup>14</sup>.

Industri ujung depan yang juga perlu diperhatikan adalah industri pengayaan. Perkembangan teknologi pengayaan diperkirakan akan mempengaruhi situasi umum ujung depan insutri daur bahan bakar nuklir pada awal abad 21. Kebutuhan pengayaan di negara bukan komunis dan Rusia akan terus meningkat dari sekitar 38 MSWU pada tahun 1995 menjadi sekitar 46 MSWU pada tahun 2000<sup>12,15</sup>. Kapasitas pengayaan yang telah ada dan yang direncanakan cukup berlebih untuk memenuhi kebutuhan yang akan meningkat paling tidak untuk 15 tahun mendatang sehingga keandalan pelayanan jasa pengayaan tidaklah merupakan masalah lagi<sup>16,17,18</sup>.

Dari segi perkembangan teknologi pengayaan, walaupun difusi gas telah sangat berhasil tetapi tidak akan seterusnya dapat digunakan sebagai dasar teknologi untuk industri pengayaan disebabkan adanya teknologi baru yang mempunyai keunggulan potensi khususnya yang menggunakan proses pemisahan isotop

menggunakan laser. Dengan demikian ada dua tendensi kuat dalam aktivitas pelayanan di pasaran dunia, yaitu usaha pemasok pelayanan jasa pengayaan untuk memperoleh posisi stabil dalam pasar, dan pengembangan teknologi maju untuk menghasilkan pengayaan U yang lebih ekonomis untuk pengayaan ulang hasil proses olah ulang. Teknologi pengayaan maju secara pemisahan isotop menggunakan laser terhadap uap atomis (AVLIS) menjadi pusat perhatian Perancis, Jerman, Jepang, Belanda, Inggris, dan Amerika Serikat. Motivasi penggunaan teknologi baru dan aras kebolehtindakan teknologis berbeda-beda di masing-masing negara. Di Amerika Serikat program pada saat ini ditujukan agar operasi awal instalasi produksi menggunakan teknologi AVLIS dapat dilaksanakan dapat dilaksanakan pada sekitar 1997. Di Eropa, Perancis mengharapkan operasi pabrik komersial pertama menggunakan teknologi SILVA (AVLIS dalam bahasa Perancis) akan terjadi pada tahun 2000, Inggris juga akan memutuskan apakah pabrik komersial akan dibangun pada tahun 2000, sedangkan Jerman mengharapkan rencan bangun konseptual pilot plant menggunakan laser molekuler yang telah dilakukan dapat menghasilkan pilot plant yang beroperasi pada tahun ini, dan Belanda juga telah melakukan litbang laser sejak 1988. Demikian pula Jepang telah sejak 1987 melakukan riset rekayasa pemisahan atomis menggunakan laser dan mengharapkan dalam waktu dekat untuk memutuskan apakah pada akhir abad ini akan menggunakannya untuk menyediakan setengah dari kapasitas yang rencanakan sebesar 3 MSWU per tahun.

Teknologi pengayaan baik proses difusi gas maupun sentrifugasi adalah teknologi canggih dan sulit. Alih teknologi dalam bidang ini sangat sulit diperoleh sebab sangat kecil kemungkinannya ada yang bersedia mengalihkan. Mengingat jasa pelayanan jasa pengayaan yang berlebih kapasitasnya di pasaran internasional dan kecenderungan ongkos jasa pelayanan yang menurun maka tidaklah dianjurkan untuk mengembangkan sendiri. Disamping itu pengembangan sendiri akan memerlukan investasi modal yang sangat besar. Pembangunan fasilitas pengayaan dengan teknologi difusi gas dan sentrifugasi hanya akan ekonomis bila akan digunakan untuk melayani beberapa puluh PLTN.

Penelitian dan pengembangan dalam bidang desain bahan dan elemen bakar nuklir, unjuk kerja, keandalan, dan pemanfaatannya terus dilakukan walaupun unjuk kerja EBN dengan skema penggunaan bahan bakar dalam PLTN dan

reaktor riset pada saat ini telah terbukti sangat baik dan telah teruji dengan operasi PLTN yang lebih dari 6500 reaktor tahun. Hal ini dilakukan sebab diketahui masih tersisa potensi yang besar untuk peningkatan sifat bahan bakar nuklir yang akan kompetitif secara ekonomi bila dibandingkan dengan sumberdaya energi lainnya.

Penggunaan skema pengelolaan bahan bakar maju, mencakup diantaranya peningkatan derajat bakar, dapat mengurangi konsumsi U untuk PLTN. Dari segi pengembangan keandalan dan keselamatan EBN pada dasarnya ditujukan agar operasi PLTN dapat lebih luwes untuk memenuhi pasokan listrik yang diminta. Peningkatan skema pemanfaatan bahan bakar reaktor, peningkatan derajat bakar yang digabung dengan pengelolaan bahan bakar kebocoran rendah nampaknya menjadi yang paling populer dan maju serta menjadi konsep yang paling intensif pengembangannya. Tujuan akhir dari pengembangan ini umumnya adalah 40-50 GWd/t untuk PWR dan 30-40 GWd/t untuk BWR. Masalah utama yang dihadapi untuk peningkatan derajat bakar adalah terbentuknya pelengkungan batang, korosi dan regangan kelongsong, pertumbuhan akibat radiasi dan pelepasan hasil belah. Masalah ini pada umumnya telah dapat diatasi, sebagian disebabkan karena terbukti bahwa degradasi akibat peningkatan derajat bakar pada berbagai hal tersebut hanyalah kecil saja dan dapat diatasi menggunakan teknologi yang telah ada. Sebagai contoh, pertumbuhan diferensial zirkaloy dapat diatasi dengan modifikasi disain yang dapat mentolerir pertumbuhan tersebut dan penerapan kendali mutu yang lebih ketat selama fabrikasi sehingga kecepatan pertumbuhan yang tak sama dari berbagai macam komponen dapat diperkecil. Demikian pula penyempurnaan skedul perlakuan panas, pengendalian komposisi bahan dan perlakuan panas khusus dapat memperbaiki sifat tahan korosi dan oksidasi. Penggunaan aras tekanan yang lebih tinggi pada bahan bakar BWR dapat menurunkan suhu bahan bakar dan menurunkan pelepasan gas hasil belah. Di beberapa negara telah dapat didemonstrasikan bahwa derajat bakar 50-56 GWd/tU dapat dilakukan dengan hasil yang memuaskan. Tak dapat diragukan lagi peningkatan derajat bakar akan menjadi salah satu fokus pengembangan dalam dekade 1990. Perkembangan lain yang terus menerus dilakukan di beberapa negara maju adalah pemanfaatan bahan bakar MOX (*mixed oxides*),  $(U,Pu)O_2$ , untuk elemen bakar reaktor air ringan, yang tentunya akan berdampak pula bagi pemanfaatan Pu untuk reaktor pembiak di masa yang akan datang.

Peningkatan ekonomi daur bahan bakar nuklir juga diupayakan melalui pengembangan elemen bakar untuk meningkatkan faktor kapasitas PLTN. Peningkatan ini dapat dilakukan bila pembatasan operasi PLTN, akibat usaha untuk menghindari PCI (*pellet cladding interaction*), dapat diatasi. Untuk keperluan ini dilakukan pengurangan kecepatan generasi panas linier dengan menggunakan rakitan EB dengan *array* tertentu dan pemanfaatan peng-halang Zr pada bagian dalam kelongsong. Aktivitas lain dalam pengembangan EB adalah peningkatan unjuk kerja EBN yang dapat mengikuti perubahan beban PLTN yang lebih drastis. Pengembangan unjuk kerja EB menjadi tren paling penting dalam pengembangan teknologi, mencakup teknik fabrikasi, karakteristik dan kendali mutu. Semua aktivitas pengembangan EB ini umumnya dilakukan pula secara kerjasama antar negara, dapat pula melibatkan negara berkembang.

Penguasaan desain EB adalah salah satu langkah yang paling penting untuk pengembangan seluruh daur elemen bakar nuklir. Paling sedikit pengetahuan dasar yang cukup tentang desain EB adalah suatu yang mutlak diperlukan untuk pengembangan kemampuan fabrikasi EB. Sebagian besar teknologi yang berkaitan dengan teknologi desain EB tergabung dalam reaktor dan atau dalam kode komputer untuk unjuk kerja. Desain EB dan spesifikasi unjuk kerja biasanya dikembangkan oleh pemasok PLTN bukan oleh fabrikator EB. Spesifikasi yang cukup detail yang dapat dipergunakan oleh perusahaan utilitas untuk memsan EB adalah bagian dari kontrak utama pembangunan PLTN. Spesifikasi ini dapat digunakan oleh fabrikator domestik untuk memfabrikasi bundel EB yang diperlukan PLTN. Asimilasi teknologi desain EB sangat memerlukan sekelompok tenaga profesional yang memahami sifat teras reaktor, termohidrolika, unjuk kerja iradiasi dan sifat bahan. Training profesi dasar akan mencakup rekayasa fisik, kimiawi, mekanik, dan metalurgi, yang kemudian diikuti dengan training di fasilitas perancang bahan bakar atau laboratorium pengembangan bahan bakar.

Pembangunan fasilitas untuk fabrikasi bundel EB merupakan aktivitas yang sangat menarik karena produk EB adalah asupan paling penting untuk PLTN. Banyak pemasok PLTN dan fabrikator EB menyatakan kesediaannya untuk mengalihkan teknologi manufaktur EB melewati suatu perjanjian tertentu. Pada awal pengembangan industri fabrikasi EB tidaklah diperlukan untuk memproduksi semua komponen yang diperlukan pada setiap langkah fabrikasi.

Dianjurkan untuk memulai dengan memproduksi  $UO_2$  pelet dari serbuknya, atau bahkan membelisaja pelet yang diperlukan untuk dimasukkan ke tabung zirkaloi (yang juga dapat dibeli dari pasaran internasional). Oleh karena tabung zirkaloi dengan kualitas yang diperlukan tersedia di pasaran dengan harga yang cukup memadai maka tidaklah menguntungkan untuk mengembangkan industri tabung zirkaloi di dalam negeri sebelum jumlah permintaan cukup besar. Pabrik fabrikasi EB mulai ekonomis bila berkapasitas 200-300 t/tahun dan akan memerlukan personil antara 80-100 orang, separo diantaranya haruslah telah mengalami training profesional. Staf profesional adalah spesialis dalam bidang kontrol proses atau rekayasakimia dan sebagian besar terlibat aktivitas jaminan mutu (QA) dan kendali mutu (QC) yang berkaitan dengan fabrikasi rakitan EB yang canggih. Kualifikasi pemasok EB baru memerlukan proses yang memakan waktu yang sangat lama antara 3-5 tahun. Setelah fabrikator diberi desain yang diperlukan dan teknologi manufakturnya bersama dengan sejumlah operator yang telah dilatih, maka ia masih harus membuktikan kualitasnya yang memenuhi persyaratan pada setiap langkah proses. Setelah rakitan EB yang lolos kualifikasi fabrikasi dibuat, maka masih harus lolos uji unjuk kerja baik di untai luar maupun di dalam teras reaktor dilengkapi berbagai data uji pasca iradiasi. Mengingat lamanya proses belajar yang diperlukan, dan bila akan ada beberapa PLTN yang akan dibangun, maka akan cukup bijaksana untuk membangun fasilitas fabrikasi secara bertahap sejak awal daripada menunggu sampai jumlah kebutuhan rakitan EB cukup banyak. Untuk pasokan PLTN HWP seyogianyalah fasilitas fabrikasi dibangun secara modular, setiap modul berkapasitas 200 tU/tahun (sudah ekonomis). Oleh karena kebutuhan pasokan rakitan EB tiap tahun untuk sebuah PHWR 600 Mwe telah mencapai separuh dari kapasitas modul semacam ini, maka pembangunan fasilitas fabrikasi untuk memasok PLTN yang pertamapun sudah dapat dipertanggung jawabkan.

Keahlian pengelolaan EB segar dan bekas haruslah dipunyai oleh perusahaan utilitas yang akan mengoperasikan PLTN dan keahlian ini seyogianya dialihkan teknologinya dari suatu perusahaan utilitas (satu atau beberapa, atau pemasok PLTN) yang telah berpengalaman lewat suatu perjanjian. Teknologi yang berkaitan dengan penyimpanan EB ekas di tapak seyogianyalah dialihkan bersamaan dengan pembangunan PLTN. Fasilitas yang diperlukan haruslah termasuk dalam bagian pembangunan PLTN.

Perlakuan lebih lanjut setelah EB bekas mengalami penyimpanan sementara di tapak sebenarnya merupakan kebutuhan yang diperlukan setelah PLTN beroperasi beberapa tahun dan bergantung pada kebijakan pemerintah setempat tentang penanganan ujung belakang. Perlu kiranya dicatat bahwa jumlah kredit U dan Pu untuk sebuah PLTN baik PWR 600 Mwe maupun BWR 650 Mwe tiap tahun hanyalah 11,8 tU (0,9 % 235U) dan 118 kg Pu serta >19,5 tU (0,9 % 235U) dan >195 kgPu, sehingga untuk dapat ekonomis perlu beberapa PLTN yang beroperasi beberapa tahun agar cukup banyak EB bekas untuk diolah ulang. Investasi modal untuk pembangunan fasilitas olah ulang sangatlah besar sehingga baru akan dapat ekonomis bila digunakan untuk mengolah ulang EB bekas dari beberapa puluh PLTN. Pemanfaatan Pu dari daur ulang telah dikembangkan di beberapa negara. Walaupun masih memerlukan beberapa tambahan penyelidikan tetapi hasil pengembangan yang diperoleh pada saat ini telah cukup mapan untuk segera dimanfaatkan dalam skala industri. Dari berbagai hasil pengembangan dapat disimpulkan bahwa daur bahan bakar MOX (*mixed oxides*, (U,Pu)O<sub>2</sub>) layak, laik, dan menarik dari segi teknoekonomi. Pemanfaatan Pu untuk bahan bakar MOX reaktor termal akan berdampak positif bagi calon pengguna PLTN dan juga bagi pemula yang memanfaatkan PLTN karena dapat menekan harga U di pasaran untuk tetap rendah. Pemanfaatan Pu ini juga berdampak pada pemanfaatan reaktor pembiak dimasa yang akan datang.

Perkembangan ujung belakang daur bahan bakar nuklir di dunia beberapa waktu yang lalu pada dasarnya terpecah dua, yaitu beberapa negara (Cina, Inggris, Jepang, Jerman, dan Rusia) bertekad untuk melakukan olah ulang EB bekas untuk dimanfaatkan di reaktor termal maupun pembiak sedangkan beberapa negara lainnya (AS, Kanada, Spanyol dan Swedia) mengikuti jalur penyimpanan jangka panjang EB bekas sebelum pembuangan ke formasi geologi yang dalam. Walaupun demikian akhir-akhir ini AS yang semula sangat mendukung daur terbuka sekarang lebih fleksibel, tidaklah sama sekali menolak olah ulang di masa yang akan datang. Dari sisi evolusi teknologi, kedua strategi ujung belakang daur ini tidaklah sama arasnya. Olah ulang telah menjadi teknologi mapan berskala industri, sedangkan pembuangan limbah lestari EB bekas belumlah didemonstrasikan. Masalah lain yang perlu diperhatikan adalah jumlah permintaan untuk mengolah ulang (setidaknya ada 15 dari 32 negara yang mempunyai PLTN telah menyatakan berminat untuk mendaur ulang EB bekasnya) dan

kemampuan olah ulang yang hanya dipunyai beberapa negara (Inggris, Jepang, Jerman, Perancis, dan Rusia) akan mengakibatkan adanya transportasi jarak jauh bahan radioaktif dengan aktivitas tinggi. Karena aktivitas olah ulang akan meningkat maka akan meningkat pula transportasi semacam ini dan banyak negara akan secara tidak langsung terlibat termasuk yang bukan klub nuklir. Juga dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan peran *safeguard internasional*, perubahan dasar uranium, peningkatan syarat keselamatan PLTN yang menggunakan Pu, instalasi penyimpanan Pu, dan sebagainya. Ujung belakang daur bahan bakar nuklir merupakan fokus utama komunitas nuklir, tidak hanya karena berpotensi untuk mempengaruhi kebutuhan uranium tetapi juga karena diper-masalahkan baik dari sisi politik, lingkungan, sosio-ekonomi maupun teknologi oleh beberapa pihak. Dengan demikian pemanfaatan daur tertutup bukanlah semata-mata masalah pengolah ulang dan pengguna hasil olah ulang. Demikianlah maka kerjasama internasional akan harus dilakukan. Program IAEA yang ditekankan pada teknologi, ekonomi, keselamatan teknis dan peraturan tentang penyimpanan EB bekas, pengolahan limbah radioaktif, penyimpanan dan pembuangan, dekontaminasi dan dekomisioning instalasi nuklir akan sangat penting untuk terus menerus diperhatikan. Alih teknologi ujung belakang (kecuali olah ulang, seperti halnya pengayaan) dapat diperoleh di pasaran.

## V. KEBIJAKAN, KEKUATAN, KELEMAHAN, TANTANGAN, DAN PELUANG BIDANG ENERGI DI INDONESIA

Sejak awal Pelita III Pemerintah telah menetapkan kebijakan energi nasional yang bertujuan<sup>19,20,21</sup>:

- Menjamin penyediaan energi di dalam negeri sesuai dengan kebutuhan dan harga yang dapat dijangkau oleh masyarakat, sehingga dapat meningkatkan taraf hidup rakyat Indonesia secara merata dan mendorong laju pertumbuhan ekonomi yang cukup tinggi.
- Mengusahakan tersedianya minyak, gas bumi dan sumber energi lainnya untuk ekspor dengan harga yang paling menguntungkan.
- Menggunakan minyak bumi dengan cara hemat-hematnya, terutama untuk kebutuhan yang tidak dapat diganti dengan bentuk energi lainnya, seperti untuk transportasi.
- Mengembangkan energi baru dan sedapat mungkin terbarukan dan dalam jangka waktu yang tak terlalu lama untuk menggantikan sejauh mungkin pemakaian sumber-sumber energi yang tak terbarukan.

- e. Mengembangkan sumberdaya energi secara efisien dan bijaksana seraya memperhatikan kepentingan jangka panjang pembangunan dengan mengutamakan kelestarian lingkungan.
- f. Menyediakan energi dan sumberdaya energi yang dapat memperkuat ketahanan nasional dalam arti meningkatkan kemampuan dan ketangguhan bangsa Indonesia dalam menghadapi ancaman, tantangan, hambatan, dan gangguan dalam pemenuhan energi di masa depan.

Dengan memperhatikan kebijakan nasional di bidang energi tersebut perlulah kiranya dilihat kekuatan, kelemahan, dan tantangan di bidang energi<sup>19,20-25</sup> agar dapat dilakukan tindakan yang optimal dalam pengembangan ketersediaan dan kesinambungan pasokan energi, khususnya pengembangan ketersediaan bahan bakar untuk produksi energi.

Kekuatan yang dimiliki bangsa Indonesia di bidang energi adalah dipunyainya sumberdaya dan potensi energi yang cukup besar meliputi minyak bumi (cadangan terbukti 5301,5 juta barel, potensial 5427,1 juta barel, geologis 37670 juta barel, total sumberdaya 48398,6 juta barel), gas bumi (cadangan terbukti 10,8 miliar SBM, potensial 6,5 miliar SBM, total 17,3 miliar SBM), batu bara (cadangan terbukti 4338 juta ton, potensial 13397 juta ton, geologis 14328 juta ton, total sumberdaya 32063 juta ton), tenaga air (75624 MW, telah terpakai 3209,6 MW), panas bumi (potensi terbukti 960 MW, yang dapat diduga 10520 MW, total sumberdaya 16035 MW), dan berbagai sumber energi lainnya seperti uranium (hanya di Kalan telah terukur dan terindikasi 6273 ton), tereka 1666 ton, spekulatif 2057 ton, total di Kalan 10000 ton). Ketiga sumber daya fasíl, minyak dan gas bumi serta batubara, telah diproduksi dengan kapasitas yang besar untuk keperluan konsumsi dalam negeri (pembangkit listrik dan industri), dan ekspor untuk memperoleh devisa. Disamping itu bangsa Indonesia juga telah mempunyai pengalaman yang cukup panjang dalam pengembangan berbagai sumber energi.

Adapun kelemahan kita dibidang energi diantaranya adalah keterbatasan sumberdaya minyak bumi dibanding kebutuhan, ketidaksesuaian letak cadangan gas bumi yang cukup besar terhadap tempat yang memerlukan, diperlukannya pembatasan pemanfaatan batubara untuk melestarikan pemanfaatan lingkungan, ketidaksesuaian letak potensi dan permintaan serta keterbatasan lahan bagi pemanfaatan tenaga

air, demikian pula potensi panas bumi yang banyak terdapat hanya di daerah terpencil, dan teknologi yang ada belum memungkinkan untuk pengembangan energi baru dalam skala besar.

Disamping berbagai kelemahan ini, kita harus menghadapi tantangan untuk memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat, menganekaragamkan penggunaan sumber energi untuk melepaskan diri dari ketergantungan pada minyak bumi, meningkatkan efisiensi penggunaan energi, meningkatkan penyediaan listrik nasional dan energi untuk pedesaan, meningkatkan mutu sumberdaya manusia dan penguasaan teknologi, serta penggunaan teknologi yang akrab lingkungan<sup>19-26</sup>.

Dengan memperhatikan uraian di muka, serta sesuai dengan hasil berbagai penelitian analisis pasar energi nasional, bahwa bahan bakar nuklir bersama batubara dengan teknologi bersih berpeluang untuk dimanfaatkan bagi pembangkit energi listrik skala besar guna menopang industrialisasi yang diperlukan untuk pembangunan nasional yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan. Dari hasil studi kelayakan PLTN pada saat ini diperoleh kesimpulan bahwa PLTN dengan daya 600 dan 900 Mwe laik untuk dioperasikan pada tahun 2004 sebagai jabaran kebijakan diversifikasi energi dan pembangunan berwawasan lingkungan. Secara bertahap peran PLTN akan mencapai 12600 Mwe pada tahun 2019, setara dengan kontribusi penyediaan energi listrik sebesar 10 % bagi pulau Jawa dan Bali.

## VI. KEBIJAKAN, STRATEGI, DAN PROGRAM DAUR BAHAN BAKAR NUKLIR NASIONAL

Dari uraian di muka kiranya dapat difahami bahwa kebijakan daur bahan bakar nuklir nasional yang mencakup keperluan untuk reaktor riset dan daya adalah :

- a. Mengupayakan secara bertahap tersedianya kemampuan nasional untuk menerima alih teknologi dan atau mengembangkan sendiri setiap langkah daur bahan bakar nuklir
- b. Mengusahakan terselenggaranya secara bertahap industri daur bahan bakar nuklir nasional untuk memenuhi kebutuhan pasar secara andal dengan memanfaatkan secara optimum baik produk maupun jasa yang tersedia di pasaran nasional maupun internasional dalam rangka mendukung kebijakan energi nasional dan kebijakan Pemerintah lainnya



- c. Turut berperan secara bertahap dalam pengembangan teknologi mutakhir daur bahan bakar nuklir terutama yang bermanfaat bagi kepentingan nasional.

Adapun strategi daur bahan bakar nuklir nasional yang diperlukan guna melaksanakan kebijakan tersebut adalah :

- a. Meningkatkan kemampuan sumberdaya manusia dengan pendidikan dan latihan serta pembangunan sarana dan prasarana penelitian dan pengembangan
- b. Memanfaatkan data dan informasi, serta produk dan jasa daur bahan bakar nuklir internasional bagi kepentingan pengembangan daur bahan bakar nuklir nasional
- c. Mengoptimasikan upaya penelitian dan pengembangan yang dilakukan sendiri, bersama baik secara bilateral maupun multilateral, dan pembelian lisensi

Sedangkan program umum yang harus dilakukan di bidang daur bahan bakar nuklir sedapat mungkin dapat mempercepat realisasi kebijakan tersebut di muka, yaitu :

- a. Pengkajian seluruh daur bahan bakar nuklir dilakukan terus menerus dengan memperhatikan kecenderungan perkembangan daur bahan bakar nuklir internasional.
- b. Penelitian dan pengembangan (meliputi pula segi teknoekonomi) dalam bidang eksplorasi, penambangan, pengolahan, konversi, fabrikasi, pemanfaatan dan pengelolaan elemen bakar dalam teras, pengelolaan elemen bakar bekas sampai dengan penyimpanan lestari terus menerus ditingkatkan terutama yang berprospek menjadi aktivitas industri. Litbang pengayaan seperti *chemex* dan olah ulang dingin terhadap scrap juga dilakukan.
- c. Melakukan berbagai kerjasama baik dalam penelitian dan pengembangan maupun industri dengan berbagai institusi dalam dan luar negeri dalam bentuk riset terpadu, riset kemitraan, riset kontrak, dan usaha patungan bila telah memungkinkan
- d. Industrialisasi daur bahan bakar nuklir domestik diawali dengan bagian tengah dan diakhiri dengan bagian tepi ujung belakang daur bahan bakar nuklir.

Sudah barang tentu jadwal penelitian dan pengembangan serta industrialisasi daur bahan bakar nuklir harus dioptimalkan sesuai dengan jadwal pembangunan dan operasi reaktor serta kajian teknoekonominya. Demikian pula bila ada perubahan yang cukup serius pada perkembangan

daur bahan bakar nuklir internasional maka program-program daur bahan bakar nuklir yang terdapat pada rencana strategis dapat berubah. Oleh karena sifat teknologinya yang hanya akan ekonomis dengan skala kapasitas yang sangat besar serta dapat diubah pemanfaatannya untuk tujuan persenjataan, pengayaan dan olah ulang elemen bakar bekas hanyalah dikaji perkembangannya dan tidaklah diteliti dan dikembangkan. Walaupun demikian penelitian dan pengembangan pengayaan tertentu seperti secara *chemex* serta operasi olah ulang tertentu seperti pengolahan gagal pembuatan elemen bakar bekas dengan pengayaan <20% <sup>235</sup>U dapatlah dilakukan karena tidak mungkin untuk dimanfaatkan bagi tujuan non-damai. Dengan memperhatikan kemampuan yang telah dipunyai pada saat ini serta antisipasi terhadap adanya peluang pemanfaatan PLTN di awal abad 21 dan kemungkinan pemanfaatan HTR untuk berbagai keperluan, program daur bahan bakar nuklir baik untuk menopang pemanfaatan PLTN maupun untuk reaktor lainnya (riset, produksi isotop, dan HTR) dapat dilihat pada Gambar 2.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. SOENTONO, S., *Batan's Activities in Fuel Development, Joint German-Indonesia Seminar on R&D Activities Using the MPR-30*, KFA Juelich, 1985.
2. SUPARDI, S., SOENTONO, S., DJOKOLELONO, M., *Contribution of Batan's Multipurpose Reactor and Its Supporting Laboratories to the Nuclear Programme in Indonesia*, IAEA, Athens, Greece, IAEA-SM-291/20, 1986.
3. SOENTONO, S., *Batan Nuclear Installation, BATAN-JEPIC Sem. on Nucl. Liability*, Jakarta, 1989
4. SOENTONO, S., ARBIE, B., *Role of Research Reactors for Nuclear Power Program in Indonesia*, Proc. of 9th PBNC Conf., Vol. I., Sydney, 1994
5. SOENTONO, S., ARBIE, B., SURIPTO, A., *Progress of Indonesia RERTR Related Programs*, Proc. XVIIIth Int. Meeting on RERTR, Paris, 1995
6. SURIPTO, A., SOENTONO, S., *Experimental Production of LEU Silicide Fuel Elements at FEPI for RSG-G.A. Siwabessy*, Proc. Second Asian Symposium on Research Reactor, Jakarta, 1989
7. SOENTONO, S., SURIPTO, A., *Attempt to Produce Silicide Fuel Elements in Indonesia*, Proc. XIIth Int. Meeting on RERTR, Berlin, 1989

8. SURIPTO, A., SOENTONO, S., *Experience in Producing LEU Fuel Elements for RSG-GAS*, Ibid, 1989
9. SOENTONO, S., SURIPTO, A., *Status of LEU Fuel Development in Indonesia*, Proc. XIVth Int. Meeting on RERTR, Jakarta, 1991
10. SURIPTO, A., SOENTONO, S. *Progress in the Development of Uranium Silicide (U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>-Al) Fuel at BATAN*, Ibid, 1991
11. SOENTONO, S., *Pengembangan Elemen Bakar UxSiY Menggunakan Jalur Produksi Ualx*, Pros. Sem. Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir, PPTA-Serpong, 1993
12. SOENTONO, S., *Pengembangan Industri Daur Bahan Bakar Nuklir untuk Menopang Program PLTN*, Pros. Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, PPNY, Yogyakarta, 1992
13. IAEA, *Nuclear Fuel Cycle in the 1990s and Beyond the Century Some Trends and Foreseeable Problems*, TRS 305, , Vienna, 1989
14. IAEA, *Developing Industrial Infrastructures to Support a Programme of Nuclear Power*, TRS 281, 1988
15. CRIJNS, M.J., et.al, *The Supply/Demand Outlook for Uranium*, Proc. Conf. Vienna, 1987, Vol. 5, IAEA, Vienna, 1987
16. MIKERIN, E.I., et al, *Demand for and Supply of Uranium Enrichment Service : Present Situation, Prospect, Problems*, Ibid, 1987
17. D'ORIVAL, M., et al, *Propective Envisageables Concernant l'Enrichissement Isotopique de l'Uranium*, Ibid, 1987
18. MOHRHAUER, H., *Enrichment in the 1990s*, Ibid, 1987
19. SOENTONO, S., *Usaha pengembangan Iptek Energi Menghadapi Sumberdaya Minyak Bumi Dalam Negeri yang Tidak Mampu Lagi Memenuhi Kebutuhan Sendiri*, Taskap Peserta KRA XXVI, Mabes ABRI, Lemhanas, Jakarta, 1993
20. SOENTONO, S., *Pengembangan Industri dan Penataan Lingkungan Hidup, Tantangan Bagi Indonesia Sebagai Negara Berkembang*, Pros. Sem. Nas. HKI dan Kongres V HKI, Yogyakarta, 1995
21. BAKOREN, *Kebijakan Umum Bidang Energi*, Jakarta, 1991
22. KARTASASMITA, G., *Masalah-masalah Energi Nasional dalam Pembangunan 25 tahun Kedua*, Bahan Diskusi Menteri Pertambangan dan Energi dengan KNPI, KNPI, Jakarta, 1991
23. SUDJANA, I.B., *Kebijakan dan Strategi Pertambangan dan Energi*, Ceramah di Lemhanas, Jakarta, 1991
24. KARTASASMITA, G., *Beberapa Pokok Pikiran Dalam Rangka Penyusunan Rencana Pembangunan Dalam PJP II dan Pelita VI*, Ceramah di Lemhanas Bag. II, Mabes ABRI, Jakarta, 1993
25. COURTIER, P.L., *Kebijakan dalam Penggunaan Energi yang Berwawasan Lingkungan*, Lokakarya Energi, KNI-WEC, BBP Teknologi, Jakarta, 1994
26. DOJONEGORO, W., *Peranan Sumberdaya Manusia dalam Mendukung Pembangunan Industri Energi Nasional yang Berkesinambungan*, Lokakarya Energi, KNI-WEC, BPP Teknologi, Jakarta, 1994

#### TANYA JAWAB

1. Ir. BAMBANG GALUNG, M.Sc

- Informasi terakhir tentang negosiasi untuk pembangunan PLTN akan dilaksanakan dengan sistem B.O.O. Bagaimana kebijakan BATAN untuk DBBN apabila diasumsikan bahwa pemasok tidak bersedia menanggung resiko limbah.

Dr. SOEDYARTOMO SOENTONO, M.Sc, APU

- Dalam desain PLTN disiapkan fasilitas untuk penyimpanan limbah di dalam lingkungan PLTN yang dapat menampung limbah sampai dengan kurun waktu tertentu. Untuk fabrikasi elemen bakar diharapkan sepenuhnya dikuasai oleh negara. Pemiliknya bisa oleh BUMN, swasta ataupun *joint future*.

2. Ir. SUDARJO

- Bagaimana kebijakan tentang elemen bakar yang diproduksi PEBN, mengingat sampai saat ini belum ada informasi tentang hasil uji kelayakan elemen bakar tersebut digunakan dalam reaktor
- Bagaimana kebijakan nasional/ internasional untuk masalah Pu yang ditimbulkan pascairadiasi.

Dr. SOEDYARTOMO SOENTONO, M.Sc, APU

- Pengujian-pengujian untuk elemen bakar ini telah dilaksanakan termasuk uji pascairadiasi. Laporan internasional tentang hasil uji pascairadiasi EB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>-Al telah dikeluarkan pada akhir tahun 1994 dan laporan uji pascairadiasi lainnya telah pula dilaporkan pada seminar/presentasi ilmiah di PPTN pada bulan

Februari 1995 dan juga pada seminar ini akan dilaporkan pula oleh Saudara Hasbullah Nasution

- Sesungguhnya reaktor Monju tidak mengalami kecelakaan nuklir, yang terjadi hanya suatu kebocoran pada sistem pendingin kedua (*secondary cooling*) di luar reaktor.

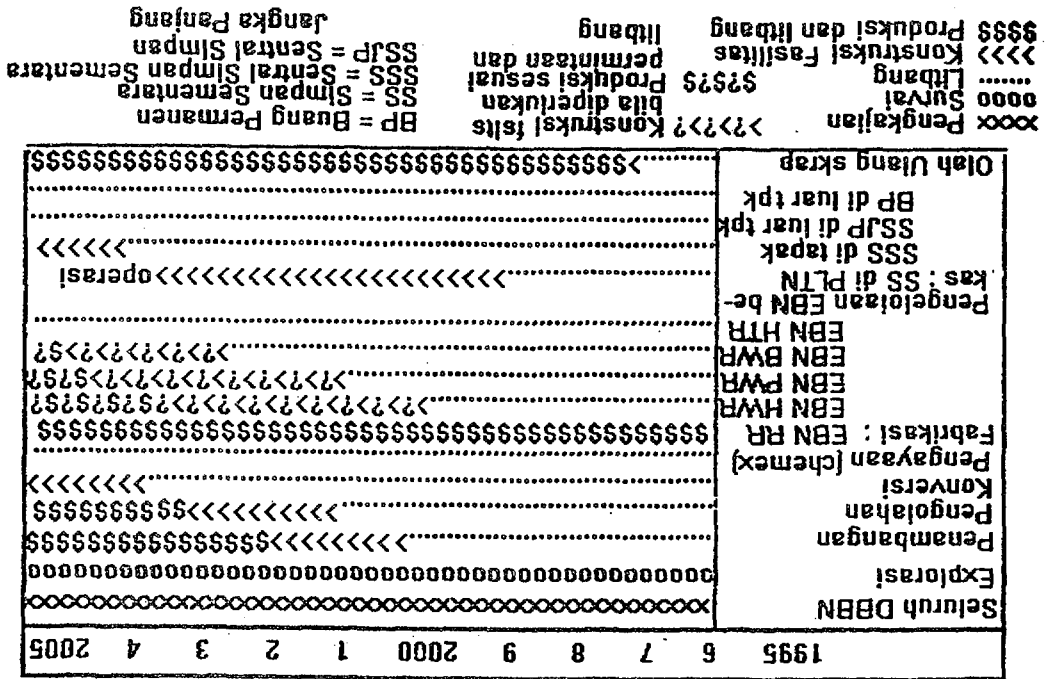
### 3. Ir. RAMADANUS

- Mengingat bahan bakar uranium untuk EBN di Indonesia masih akan disuplai dari luar. Bagaimana seandainya suplai bahan uranium tersebut terhenti karena sesuatu hal, sementara eksplorasi yang dilakukan belum berhasil

Dr. SOEDYARTOMO SOENTONO, M.Sc, APU

- Secara politik sampai saat ini Indonesia diterima dengan sangat baik di dunia internasional, sehingga kemungkinan dikenakan embargo sangat kecil kemungkinan. Apabila embargo tetap akan terjadi, maka hal ini telah diantisipasi dengan kesiapan dalam negeri. Selain itu eksplorasi uranium telah banyak dilakukan oleh PPBGN, sumber dan cadangan yang tersedia telah diketahui, sehingga pada saat yang tepat akan bisa dieksploitasi.

Gambar 2. Program Daur Bahan Bakar Nuklir Nasional



Gambar 1. Pola Pikir Penyusunan Daur Bahan Bakar Nuklir Nasional

