

STRATEGI PENGELOLAAN BAHAN BAKAR BEKAS PLTN

Bandi Parapak¹, Siti Alimah²

¹Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir - BATAN

²Pusat Pengembangan Energi Nuklir - BATAN
Kawasan Puspiptek - Serpong

ABSTRAK

STRATEGI PENGELOLAAN BAHAN BAKAR BEKAS PLTN. Telah dilakukan kajian strategi pengelolaan bahan bakar bekas PLTN. Bahan bakar bekas adalah satu produk samping dari Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Operasi teknis yang berhubungan dengan pengelolaan bahan bakar bekas yang dikeluarkan dari reaktor adalah daur ujung belakang. Daur ujung belakang dibagi menjadi tiga, yaitu ; daur sekali pakai (daur terbuka), daur tertutup dan kebijakan wait and see (penundaan keputusan). Strategi apapun yang dipilih pada daur ujung belakang dari daur bahan bakar nuklir, fasilitas penyimpanan Away-from-Reactor (AFR) perlu dibangun. Pada daur terbuka semua bahan bakar bekas dipertimbangkan sebagai limbah dan ditujukan untuk dibuang dalam penyimpanan geologi yang dalam. Sedang daur tertutup dibagi menjadi : (1) uranium dan plutonium diambil kembali dari bahan bakar bekas dengan olah ulang dan daur ulang untuk membuat bahan bakar mixed oxide (MOX), (2) transmudasi limbah dalam fasilitas reaktor nuklir subkritis dengan menggunakan akselerator, (3) konsep DUPIC (Direct Use of Spent PWR Fuel In CANDU). Dalam kebijakan wait and see, bermaksud, pertama kali menyimpan bahan bakar bekas dan memutuskan tahapan selanjutnya untuk olah ulang atau pembuangan.

Kata kunci : bahan bakar bekas, daur terbuka, daur tertutup, wait and see

ABSTRACT

THE MANAGEMENT STRATEGY OF SPENT NUCLEAR FUEL. An assessment of management strategy of spent nuclear fuel has been carried out. The spent nuclear fuel is one of the by-products of nuclear power plant. The technical operations related to the management of spent fuel discharged from reactors are called the back-end fuel cycle. It can be largely divided into three options : the once-through cycle, the closed cycle and the so-called "wait and see" policy. Whatever strategy is selected for the back-end of the nuclear fuel cycle, Away-from-Reactor (AFR) storage facilities has to be constructed. For the once-through cycle, the entire content of spent fuel is considered as waste, and is subject to be disposed of into a deep underground repository. In the closed cycle, however, can be divided into : (1) uranium and plutonium are recovered from spent fuel by reprocessing and recycled to manufacture mixed oxide (MOX) fuel rods, (2) waste transmutation in accelerator-driven subcritical reactors, (3) DUPIC (Direct Use of Spent PWR Fuel In CANDU) concept. In wait and see policy, which means first storing the spent fuel and deciding at a later stage on reprocessing or disposal.

Keywords : spent nuclear fuel, once-through cycle, closed cycle, wait and see

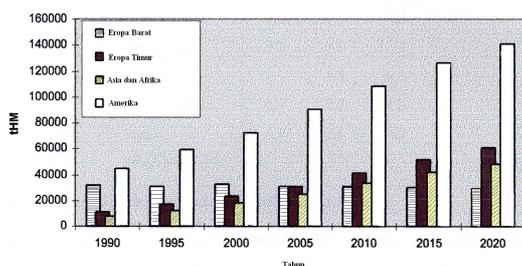
1. PENDAHULUAN

Program daur bahan bakar nuklir dan manajemen limbah radioaktif merupakan bagian yang tak terpisahkan dari program energi nuklir. Jadi strategi pengelolaan bahan bakar bekas merupakan bagian dari strategi daur

bahan bakar nuklir dan manajemen limbah radioaktif.

Sampai dengan 15 Juni 2006 diperkirakan jumlah PLTN yang beroperasi di dunia adalah 443, dan 27 lagi dalam masa konstruksi. Peran PLTN sebagai penyumbang listrik di dunia semakin nyata karena telah mampu menyumbang sekitar 17 %

produksi listrik dunia. Bahkan di 15 negara dunia sekitar 30,5 – 78,5% listriknya diproduksi dari PLTN [1]. Meningkatnya jumlah PLTN berdampak pada meningkatnya jumlah bahan bakar bekas yang harus ditangani setiap tahun. Dari statistik global pengelolaan bahan bakar bekas, memperlihatkan bahwa bahan bakar bekas yang dikeluarkan setiap tahun adalah 10.000 tHM (*ton Heavy Metal*). Dan saat ini akumulasinya mencapai 225.000 tHM [2]. Sejumlah kecil dari bahan bakar bekas ini telah didaur ulang yaitu sekitar 85.000 tHM, tetapi dalam jumlah yang jauh lebih besar dalam proses penyimpanan menunggu untuk diproses ulang atau diproses untuk disimpan dalam penyimpanan lestari. Proyeksi kumulatif produksi bahan bakar bekas dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Penyimpanan Bahan Bakar Bekas Berdasarkan Wilayah [2].

Bahan bakar bekas yang terus terakumulasi ini, berpotensi munculnya limbah radioaktif dengan aktivitas tinggi. Limbah radioaktif aktivitas tinggi ini juga dihasilkan dari proses olah ulang bahan bakar bekas. Limbah radioaktivitas tinggi harus dikelola dengan hati-hati, sehingga aman bagi manusia dan lingkungan serta tidak membebani generasi yang akan datang.

Kebijakan pengelolaan limbah radioaktif aktivitas tinggi dan bahan bakar bekas di beberapa negara industri nuklir berbeda-beda dan berubah-ubah. Beberapa negara melakukan pilihan daur tertutup, sebagian negara lain memilih daur terbuka (*once through*) dan sebagian lagi memilih daur *wait and see*. Namun saat ini, beberapa negara industri nuklir

sedang meneliti jalur lain yaitu jalur transmudasi. Dalam makalah ini akan dikaji strategi pengelolaan bahan bakar bekas tersebut. Metode penelitian berupa kajian kepustakaan dari beberapa penelitian yang telah dilakukan di luar negeri. Literatur dan data diperoleh dari internet dan beberapa referensi yang berkaitan.

2. TEORI

2.1. DAUR UJUNG BELAKANG

Sistem daur bahan bakar nuklir yang dianut oleh suatu negara sangat berpengaruh terhadap strategi pengelolaan bahan bakar bekas. Bahan bakar bekas adalah salah satu produk samping dari PLTN. Setelah memproduksi energi dalam reaktor, bahan bakar dikeluarkan dari reaktor untuk disimpan sementara dalam kolam penyimpanan dan diganti dengan bahan bakar baru. Berbagai jenis fasilitas penyimpanan basah dan kering yang dioperasikan pembangkit tenaga nuklir dapat dilihat dalam Tabel 1. Kapasitas penyimpanan fasilitas baru, diperlihatkan dalam Tabel 2. Setelah bahan bakar bekas disimpan sementara, dipindahkan untuk di olah ulang atau disimpan lestari di fasilitas penyimpanan jangka panjang.

Tabel 1. Kapasitas Fasilitas Penyimpanan Bahan Bakar Bekas yang Beroperasi (kt HM) [2].

Daerah	AR	AFR Basah	AFR Kering	Total
Eropa Barat	28,3	32,3	11,3	71,8
Eropa Timur	11,9	20,8	1,5	34,2
Eropa	94,7	1,7	8,5	104,8
Timur	27,9	3,3	1,7	33,0
Amerika	162,8	58,1	23	243,8
Asia & Afrika				
Total				

Tabel 2. Kapasitas Fasilitas Penyimpanan Bahan Bakar Bekas yang Sedang di Bangun (kt HM) [2].

Daerah	AFR Basah	AFR Kering	Total
Eropa Barat	3,0	1,0	4,0
Eropa Timur	3,0	8,9	11,9
Amerika & Afrika	0,5	6,8	6,8
	6,5	0,8	1,3
Total		17,5	24,0

Keterangan :

AR (*At Reactor*) : Penyimpanan di dekat reaktor (di fasilitas reaktor)

AFR (*Away From Reactor*) : Penyimpanan jauh dari reaktor (di luar fasilitas reaktor)

Bahan bakar bekas PWR (*Pressurized Water Reactor*/reaktor air bertekanan) dengan pengkayaan 4% U-235 setelah burn-up 45.000 MWd/tHM mengandung sekitar 1% U-235, 1% Pu dan 5% produk fisi Cs-137, I-129 dan lain-lain serta 0,1% minor aktinida Np-237, Am-241, Am-242m, Cm-244 dan Cm-245. Plutonium dalam bahan bakar bekas mengandung isotop campuran dengan waktu paruh berbeda, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241 dan Pu-242 [3]. Radionuklida dalam bahan bakar bekas yang dikeluarkan dari reaktor tersebut mempunyai waktu paruh dan radiotoksistas yang tinggi, seperti terlihat pada Tabel 3 [4]. Operasi teknis yang berhubungan dengan pengelolaan bahan bakar bekas adalah daur ujung belakang. Diagram alir dari opsi pengelolaan bahan bakar bekas dapat dilihat pada Gambar 2 [5]. Dari diagram alir tersebut, secara garis besar daur ujung belakang ini dibagi menjadi :

1. Daur *once-through* (daur terbuka), yaitu bahan bakar bekas dipertimbangkan sebagai limbah dan ditujukan untuk dibuang dalam suatu penyimpanan lestari.
2. Daur tertutup, yaitu uranium dan plutonium diambil kembali dari bahan bakar bekas dengan olah ulang dan selanjutnya dilakukan daur ulang untuk pembuatan bahan

bakar MOX (Mixed/Uranium dan Plutonium Oxide).

3. Daur *"wait and see"*, yaitu merupakan penundaan keputusan. Dalam kebijakan ini belum memutuskan apakah bahan bakar bekas akan diolah ulang atau tidak.

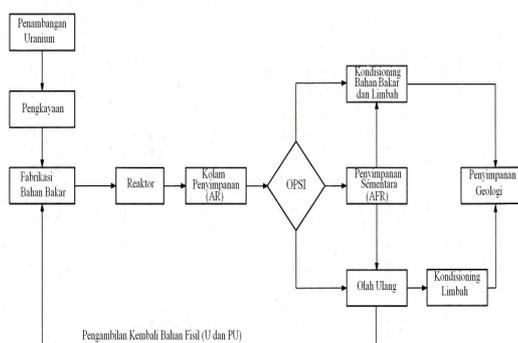
Tabel 3. Waktu Paruh dan Radiotoksistas dari Beberapa Radionuklida dalam Bahan Bakar Bekas [4].

Isotop	Waktu paruh (tahun)	Radiotoksistas (m^3 air/tHM)
Tc-99	$2,1 \cdot 10^5$	$9,1 \cdot 10^5$
I-129	$1,57 \cdot 10^7$	$3,3 \cdot 10^5$
Np-237	$2,14 \cdot 10^6$	$2,1 \cdot 10^4$
Pu-238	$8,78 \cdot 10^1$	$1,3 \cdot 10^{11}$
Pu-239	$2,41 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^{10}$
Pu-240	$6,55 \cdot 10^3$	$2,6 \cdot 10^{10}$
Pu-241	$1,44 \cdot 10^1$	$8,7 \cdot 10^{10}$
Pu-242	$3,76 \cdot 10^5$	$9,5 \cdot 10^7$
Am-241	$4,33 \cdot 10^2$	$1,2 \cdot 10^{11}$
Am-242m	$1,41 \cdot 10^2$	$3,4 \cdot 10^8$
Am-243	$7,37 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^9$
Cm-244	$1,81 \cdot 10^1$	$4,4 \cdot 10^{10}$
Cm-245	$8,5 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^7$

2. 2. DAUR TERBUKA

Dalam daur terbuka, bahan bakar bekas yang dikeluarkan dari reaktor, setelah pendinginan 30-50 tahun, dipindahkan ke fasilitas pembuangan akhir (penyimpanan lestari), yang sebelumnya dikondisioning (dipadatkan) dan *packaging* (dikemas dalam bentuk yang aman) untuk mengungkung kandungan radioaktif, untuk mengontrol tingkat radiasi eksternal, untuk mencegah kritikalitas dan untuk mencegah bahaya akibat panas yang timbul. Teknik *packaging* bahan bakar bekas dengan penanganan menggunakan remote, yang prosesnya meliputi penempatan bahan bakar bekas dalam *canister* (wadah limbah) dari suatu logam seperti tembaga, *steel* atau titanium atau dari material keramik. Setelah itu *canister* dilas dengan suatu penutup dan selanjutnya dipindahkan ke tempat penyimpanan lestari. Pembuangan langsung dari bahan bakar bekas tanpa olah ulang ini, meniadakan kebutuhan biaya dalam

olah ulang. Opsi pembuangan langsung memerlukan program pengembangan dan operasi penyimpanan geologi. Negara-negara yang menggunakan opsi ini adalah Amerika Serikat, Swedia, Kanada, Spanyol, Finlandia dan Afrika Selatan [6].



Gambar 2. Diagram Alir Opsi Pengelolaan Bahan Bakar Bekas [4]

2. 3. DAUR TERTUTUP

Dalam opsi ini, bahan bakar bekas di pindahkan ke fasilitas olah ulang dimana kandungan fisil sisa (U-235 dan Pu-239) dari bahan bakar bekas dipisahkan dari produk fisi dan aktinida-aktinida lain, karena seperti diketahui bahan bakar bekas masih mengandung bahan fisil, bahan fertile U-238 dan bahan bahan radioaktif lainnya. Uranium dan plutonium hasil olah ulang tersebut didaur ulang sebagai bahan bakar MOX (Mixed Oxide). Saat ini instalasi olah ulang dapat mengambil kembali 99,9% uranium dan 99,88% plutonium. Melalui proses fabrikasi bahan bakar MOX, plutonium dan uranium olah ulang dicampur dengan *depleted* atau uranium oksida alam. Produk fisi dan aktinida yang tertinggal, merupakan limbah radioaktif aktivitas tinggi dari olah ulang, dan dipadatkan untuk dibuang dalam penyimpanan lestari. Jumlah limbah dari olah ulang tersebut hanya sekitar 3% berat dari bahan bakar bekas. Dengan daur ulang ini akan mengurangi jumlah total dari bahan bakar bekas yang akan dibuang. Diperkirakan 7 rakitan PWR yang diolah ulang akan menghasilkan satu rakitan bahan bakar MOX. Jenis reaktor yang menggunakan bahan bakar MOX adalah

reaktor air ringan (*Light Water Reactor/LWR*) dan reaktor pembiak cepat (*Fast Breeder Reactor/FBR*). Reaktor-reaktor Eropa saat ini menggunakan lebih 5 ton plutonium pertahun untuk bahan bakar MOX. Instalasi olah ulang komersial, dioperasikan di Perancis dan Inggris dengan kapasitas 4.700 ton/tahun.

Proses olah ulang konvensional, yang dikenal sebagai proses PUREX, (*Plutonium Uranium Extraction*) memisahkan uranium dan plutonium dengan memotong batang bahan bakar, kemudian melarutkannya dalam asam nitrat dan diekstraksi menggunakan solven *Tri Butyl Phosphat* (TBP) [6]. Salah satu proses PUREX tersebut adalah teknologi pirometalurgi, diantaranya konsep ANL's (*Argonne National Laboratory*) *Integral Fast Reactor* (IFR). Proses ini mengaplikasikan *piro-reduction* dari oksida bahan bakar bekas menjadi bentuk *mettalic* menggunakan litium dan elektrefining dari batang-batang logam untuk memisahkan plutonium dari minor aktinida dan beberapa produk fisi lain untuk daur ulang dalam reaktor cepat. Konsep lain adalah *piroprocessing* Rusia untuk memisahkan campuran uranium dan plutonium oksida dari bahan bakar bekas dengan elektrefining dalam larutan garam eutectic KCl dan NaCl untuk daur ulang langsung dalam FBR atau LWR. Konsep daur ulang piro lain adalah partisi dan transmudasi radionuklida umur panjang dari bahan bakar bekas atau limbah radioaktif tingkat tinggi. Konsep ATW (*Accelerator-driven Transmutation Waste*) dikembangkan oleh Amerika, yang mana mengadopsi sistem hibrid, terdiri dari suatu langkah proses berdasar PUREX yaitu yang disebut UREX (*Uranium Extraction*), diikuti suatu langkah pirokimia bersama-sama proses elektrometalurgi (EM). Proses UREX akan memproduksi uranium, teknesium dan iodin, serta oksida aktinida. Proses EM kemudian memisahkan elemen TRU (transuranium) dari produk fisi dan mengkonversi TRU menjadi bentuk

metallic yang cocok untuk fabrikasi bahan bakar ATW. Sistem pengelolaan berbasis transmudasi, juga dikembangkan oleh Jepang dan Perancis dengan menggunakan ADS (*Accelerator Driven System*). Sistem ADS dan ATW ini adalah sebuah sistem pembakaran limbah nuklir dari bahan bakar bekas PLTN yang dipicu oleh akselerator dan dapat menghasilkan listrik. Sistem ADS dan ATW ini akan membakar limbah radioaktif sehingga mengubah limbah radioaktif umur panjang menjadi limbah stabil dan akan mengeliminasi isu yang berkaitan dengan pengelolaan panas jangka panjang dalam lingkungan penyimpanan. Atau dengan kata lain akan mengurangi volume, toksisitas dan kandungan fisil dari limbah. 90% dari listrik yang dihasilkan ATW digunakan untuk memasok jaringan dan 10% untuk menggerakkan akselerator. Jadi opsi daur dengan olah ulang terbagi menjadi tiga, yaitu : daur ulang dalam LWR, daur ulang dalam reaktor cepat dan transmudasi limbah dengan reaktor subkritis yaitu akselerator.

Konsep daur ulang lain yang saat ini sedang dikembangkan adalah proses DUPIC (*Direct Use of Spent PWR Fuel In CANDU*). Konsep dasar dari alternatif daur bahan bakar ini yaitu bahan bakar bekas dari reaktor air ringan jenis PWR yang mengandung bahan dapat belah (fisil), digunakan dalam reaktor CANDU (*Canadian Deuterium Uranium*) dengan fabrikasi kembali secara langsung tanpa pemisahan bahan dapat belah tersebut. Konsep ini saat ini sedang dikembangkan di Korea bersama-sama dengan Kanada, Amerika Serikat dan IAEA.

2.4. DAUR "WAIT AND SEE"

Daur ini merupakan sistem yang paling fleksibel. Di sini belum diputuskan apakah bahan bakar bekas akan diolah ulang atau tidak. Keputusan ini berdampak pada penyimpanan sementara. Oleh karena itu pengambilan keputusan ini harus hati-hati karena dibutuhkan perencanaan yang tepat untuk merencanakan

kapasitas penyimpanan yang harus disediakan untuk instalasi PLTN yang akan dibangun. Perencanaan tersebut meliputi pemindahan bahan bakar bekas dari AR storage dan selanjutnya dipindahkan ke fasilitas penyimpanan sementara jangka panjang AFR storage, sampai kebijakan selanjutnya ditetapkan. Jadi opsi ini memerlukan penyimpanan bahan bakar bekas untuk periode yang lama mungkin 50 tahun atau bahkan lebih dari 100 tahun, sebelum diteruskan ke langkah selanjutnya. Implikasi dari penyimpanan jangka panjang adalah keselamatan operasi jangka panjang dari fasilitas penyimpanan.

3. PEMBAHASAN

Semua negara dengan program PLTN, mempunyai kolam penyimpanan untuk menyimpan bahan bakar bekasnya di fasilitas PLTN. Negara yang memilih opsi daur tertutup, kemudian akan mengangkut bahan bakar bekas ke fasilitas olah ulang. Mengingat keterbatasan kolam penyimpanan di fasilitas olah ulang, maka dibangun fasilitas penyimpanan sementara yang lain. Bagi Negara yang memilih opsi daur terbuka, juga menghadapi masalah keterbatasan kapasitas penyimpanan sementara di fasilitas PLTN. Sebagai akibatnya untuk opsi daur bahan bakar jenis apapun, perlu dibangun fasilitas penyimpanan sementara sistem kering atau basah di luar fasilitas PLTN (AFR) yaitu seperti terlihat dalam Tabel 1 Fasilitas penyimpanan sementara yang telah dibangun dan Tabel 2 adalah yang sedang dikonstruksi.

Seleksi dari strategi pengelolaan bahan bakar bekas oleh masing-masing negara tergantung pada sejumlah faktor subyektif dan obyektif yaitu ketersediaan sumber daya yang ada, tingkat pengembangan industri, tingkat program nuklir, kondisi sosio ekonomi dan politik, kepentingan komersial, ketersediaan layanan daur bahan bakar nuklir dan adanya persetujuan internasional. Perhatian utama untuk seleksi strategi pengelolaan bahan bakar bekas adalah

keselamatan proliferasi. Di negara-negara dengan program nuklir harus menjamin pertahanan proliferasi dari opsi daur bahan bakar nuklir yang dipilih dalam masyarakat internasional. Jika pemilihan daur bahan bakar berdasar pada undang-undang dan politik, beberapa penyelesaian harus dikaji dalam pendekatan analisa keuntungan biaya. Studi untuk biaya daur bahan bakar PWR yang dilakukan OECD/NEA (*Nuclear Energy Agency of the Organisation for Economic Cooperation Development*) memperlihatkan bahwa perbedaan dalam biaya total daur bahan bakar antara opsi olah ulang dan opsi pembuangan langsung adalah kecil, yaitu sedikit lebih besar opsi olah ulang [6]. Tingkat program tenaga nuklir, kemampuan teknik dan infrastruktur juga akan mempengaruhi biaya total daur bahan bakar. Di negara-negara yang tidak dibantu dengan sumber daya energi yang cukup (sumber daya uranium minimum), opsi daur ulang biasanya lebih disukai dalam arti bahwa opsi daur tersebut dapat berdampak pada jaminan pasokan uranium. Juga negara-negara yang menggunakan program FBR, olah ulang dan teknologi MOX adalah prasyarat penting untuk memulai program reaktor cepat komersial. Jadi pemilihan opsi pengelolaan bahan bakar bekas juga tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan. Faktor lain adalah penerimaan masyarakat, yang mana akan menjadi salah satu ketidak tentuan dalam seleksi dari opsi daur bahan bakar. Selanjutnya kebijakan nasional pengelolaan bahan bakar bekas juga harus mengandung ketentuan untuk jangka pendek, menengah dan jangka panjang. Jika opsi daur terbuka dipilih, ketentuan pembuangan akhir dalam penyimpanan geologi dari limbah radioaktif tingkat tinggi yang dihasilkan PLTN harus dibuat. Kebijakan *wait and see*, dilatar belakangi oleh penundaan program penyimpanan geologi dan implementasi olah ulang di beberapa negara, sehingga diperlukan suatu peningkatan penyimpanan bahan bakar

bekas dan perpanjangan waktu penyimpanan.

Seperti terlihat dalam Tabel 3, bahan bakar bekas mengandung radionuklida dengan waktu paruh yang sangat panjang dan radiotoksitas yang tinggi. Langkah pertama untuk mengurangi radiotoksitas jangka panjang adalah dengan olah ulang dan proses ini merupakan langkah pertama pengembangan daur bahan bakar *advance* (maju), jadi tidak hanya U dan Pu yang dipisahkan, tetapi juga minor aktinida dipisahkan dari produk fisi. Daur bahan bakar dengan olah ulang adalah suatu prasyarat yang diperlukan untuk melakukan operasi partisi beberapa nuklida. Namun dalam hal untuk mengurangi radiotoksitas dari residu HLW vitrifikasi, tambahan operasi dilakukan. Operasi ini disebut daur bahan bakar *advance* (*Advanced Fuel Cycle/ AFC*). AFC ini merupakan suatu rangkaian operasi kimia, metalurgi dan nuklir dimana semua Plutonium, aktinida (Am, Cm, Np) dan beberapa produk fisi (Tc-99, I-129 dan lain-lain) dipisahkan dari aliran utama dan didaur ulang sebagai target untuk PLTN atau reaktor nuklir dan atau ADS, yang disebut fasilitas hibrid, untuk memperoleh pengurangan yang berarti dari inventori radiotoksitas. Strategi transmudasi limbah radioaktif ini, tidak bertujuan untuk mengeliminasi kebutuhan tempat penyimpanan geologi, tetapi merupakan suatu metode untuk mengurangi bahaya radiologikal jangka panjang dari beberapa nuklida sehingga akan meningkatkan kelangsungan tempat penyimpanan geologi. Jika dilihat dari sudut pandang ekonomi murni dan jika dipertimbangkan bahwa energi nuklir sebagai potret pembangkit tunggal, partisi dan transmudasi merupakan skenario yang tidak realistis, dan merupakan teknologi yang kompleks dan mahal. Namun dalam konteks global pertumbuhan penduduk dengan peningkatan kebutuhan energi, ancaman pemanasan global karena emisi CO₂ (disebut *greenhouse gas effect*), polusi dari batubara dan pembakaran hidrokarbon tidak dapat

dihindarkan, sehingga teknologi nuklir merupakan hal yang menarik untuk menyelesaikan pemenuhan kebutuhan energi untuk masa depan.

Dari sekitar 100 reaktor yang beroperasi di Amerika Serikat, bahan bakar bekas yang dihasilkan pada tahun 2005 adalah sekitar 87.000 ton seperti terlihat dalam gambar 1, dan hanya sekitar 60.000 ton ditujukan untuk dibuang di Yucca Mountain di Nevada. Sementara itu, ada sekitar 250.000 ton bahan bakar bekas dari seluruh reaktor yang beroperasi di dunia. Sampai dengan tahun 2050 diperkirakan sekitar 1000.000 ton bahan bakar bekas dihasilkan [7]. Hal ini mengindikasikan perlunya untuk membangun suatu tempat penyimpanan skala Yucca Mountain kira-kira setiap 3-4 tahun, jika pembuangan langsung menjadi pilihan berbagai negara. Oleh karena itu partisipasi dan transmigrasi dapat menjadi opsi untuk pengelolaan bahan bakar bekas di era nuklir masa depan.

Seperti disebutkan, konsep daur bahan bakar lain yang disebut DUPIC telah dikembangkan beberapa tahun ini oleh beberapa negara. Daur bahan bakar DUPIC merupakan suatu alternatif, yang juga mempunyai pertahanan proliferasi yang tinggi. Selain itu juga meningkatkan penggunaan uranium sisa, sehingga pertumbuhan industri nuklir tetap terjaga. Daur bahan bakar ini cocok untuk negara-negara yang mempunyai bahan bakar bekas LWR. Dengan penggunaan daur bahan bakar DUPIC ini dapat dihemat 30% uranium dan 70% bahan bakar bekas dapat dikurangi, untuk jumlah produksi listrik yang sama, jika dibanding daur terbuka.

Keuntungan dan kerugian opsi daur ujung belakang dapat dilihat pada Tabel 4.

4. KESIMPULAN

Ada tiga opsi strategi pengelolaan bahan bakar bekas PLTN, yaitu : daur sekali pakai (daur terbuka), daur olah ulang (daur tertutup) dan kebijakan "wait and see" (penundaan keputusan). Penyimpanan sementara

adalah langkah pertama dari semua alternatif pengelolaan bahan bakar bekas tersebut. Opsi daur bahan bakar jenis apapun, perlu dibangun fasilitas penyimpanan sementara di luar fasilitas PLTN (AFR). Pertimbangan seleksi kebijakan nasional harus memperhatikan sumber daya yang ada, tingkat pengembangan industri, tingkat program nuklir, kondisi sosio ekonomi dan politik, kepentingan komersial, ketersediaan layanan daur bahan bakar nuklir, adanya persetujuan internasional, keselamatan proliferasi dan penerimaan masyarakat.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. <http://www.iaea.org/cgibin/db.page.pl/pris.oprconst.htm>
- [2]. K.FUKUDA.et.al., "IAEA Overview of Global Spent Fuel storage", Department of Nuclear Energy, IAEA-CN-102/60, Vienna, Austria.
- [3]. ADAM JOSTSONS, ' Radioactive Waste Management and Disposal', Academy Symposium, November 1997.
- [4]. J.U. KNEBEL, G. HEUSENER, "Research On Transmutation and Accelerator-Driven Systems At The Forschungszentrum Karlsruhe", Forschungszentrum Karlsruhe GmbH-Technik und Umwelt, Federal Republic of Germany.
- [5]. TRS No. 378, "Options, Experiences and Trends in Spent Nuclear Fuel Management", IAEA, Vienna.
- [6]. <http://www.kntc.re.kr>
- [7]. <http://www.lanl.gov/atw/>

6. LAMPIRAN

Tabel 4. Keuntungan dan Kerugian Opsi Daur Ujung Belakang

Jenis Daur	Daur Terbuka	Daur Tertutup	Daur <i>Wait and See</i>
Karakteristik	Bahan bakar bekas merupakan limbah dan dibuang ke penyimpanan lestari.	- Bahan bakar bekas di olah ulang untuk : 1. Bahan Bakar MOX. 2. Sistem ADS & ATW. - Konsep DUPIC	Bahan bakar bekas belum diputuskan untuk diolah ulang atau dibuang
Keuntungan	Tidak ada kebutuhan biaya olah ulang	1. Pertahanan proliferasi lebih tinggi. 2. Penghematan cadangan uranium. 3. Mengurangi volume, toksisitas dan kandungan fisil limbah. 4. Mengurangi bahaya radiologikal jangka panjang. 5. Meningkatkan kelangsungan tempat penyimpanan geologi.	Biaya lebih sedikit
Kerugian	1. Perlu program pengembangan dan penyimpanan geologi. 2. Perlu keselamatan operasi penyimpanan jangka panjang.	Biaya sedikit lebih besar	1. Perlu peningkatan waktu penyimpanan. 2. Perlu monitoring keselamatan operasi penyimpanan jangka panjang.