

STRATEGI PERSIAPAN INFRASTRUKTUR PENGELOLAAN LIMBAH BAHAN BAKAR BEKAS PLTN UNTUK Mendukung PROGRAM PEMBANGUNAN PLTN DI INDONESIA

Yohanes Dwi Anggoro dan June Mellawati

Pusat Pengembangan Energi Nuklir (PPEN) - Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN)
Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta Selatan 12710
Telp./Fax.: 021-5204243, Email:yohanes.anggoro@batan.go.id

ABSTRAK

STRATEGI PERSIAPAN INFRASTRUKTUR PENGELOLAAN LIMBAH BAHAN BAKAR BEKAS PLTN UNTUK Mendukung PROGRAM PEMBANGUNAN PLTN DI INDONESIA. Terkait dengan program ketahanan energi, Pemerintah Indonesia berencana melaksanakan program pembangunan PLTN guna memenuhi kebutuhan energi. Namun, salah satu permasalahan cukup penting adalah pengelolaan limbah bahan bakar bekas PLTN yang tidak dapat terlepas dari program pembangunan PLTN. Oleh karena itu perlu adanya persiapan infrastruktur untuk mengelola limbah bahan bakar bekas PLTN. Tujuan studi adalah untuk mengidentifikasi kegiatan persiapan infrastruktur dalam rangka pengembangan salah satu dari 19 (sembilan belas) infrastruktur PLTN, khususnya aspek pengelolaan limbah, sehingga dapat diperoleh beberapa rekomendasi persiapan infrastruktur pengelolaan limbah bahan bakar bekas PLTN. Metode yang digunakan adalah melakukan berbagai kajian pustaka secara komprehensif, belajar dari pengalaman negara maju, sekaligus melakukan studi perbandingan dari negara berpengalaman dalam pengelolaan limbah bahan bakar PLTN, seperti Korea Selatan. Hasil studi menunjukkan bahwa terdapat tiga tahapan kegiatan terkait persiapan infrastruktur pengelolaan limbah bahan bakar bekas PLTN, yaitu: (i) pembuatan komitmen berpengetahuan program nuklir, (ii) persiapan untuk membuka penawaran lelang proyek PLTN yang pertama, dan (iii) persiapan untuk mengoperasikan PLTN. Strateginya meliputi rekomendasi: (i) penyusunan konsep "Badan Pelaksana Pengelolaan Limbah Radioaktif", dan (ii) penyusunan konsep desain "Fasilitas Pengelolaan Limbah Bahan Bakar Bekas PLTN".

Kata kunci: infrastruktur, limbah bahan bakar bekas, PLTN.

ABSTRACT

STRATEGY OF SPENT FUEL WASTE MANAGEMENT INFRASTRUCTURE PREPARATION TO SUPPORT NPP DEVELOPMENT PROGRAM IN INDONESIA. *Associated with the energy security program, the Government of Indonesia plans to implement the nuclear power plant construction program in order to meet energy needs. However, one important problem is the management of spent fuel nuclear waste that can not be separated from the nuclear power plant construction program. Therefore, it is necessary to prepare the infrastructure for manage spent fuel nuclear waste. The purpose of this study is to identify the infrastructure preparation activities for the development of 19 (nineteen) nuclear power plant infrastructure in order to obtain some advice on the infrastructure preparation of nuclear power plant spent fuel waste management. The method used is to perform various comprehensive literature review, learn from the experience of developed countries, and conduct a comparative study of the experienced country in the management of nuclear power plant spent fuel waste such as South Korea. The study shows that strategy of nuclear spent fuel waste management infrastructure preparation grouped into three stages of activity, that are: (i) Preparation to make a knowledgeable commitment to a nuclear program, (ii) Preparation for open bidding of the first nuclear power plant project, and (iii) Preparation to operate nuclear power plants. From the results of these studies can be taken some recommendations, namely: (i) There needs to be drafting the concept of "Implementing Agency of Radioactive Waste Management", and (ii) There needs to be making the design concept of "Facilities of Nuclear Spent Fuel Waste Management".*

Keywords: infrastructure, spent fuel waste, nuclear power plant.

PENDAHULUAN

Kegiatan studi kelayakan tapak Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di beberapa lokasi di Indonesia oleh BATAN saat ini, termasuk di Pulau Bangka terkait rencana pembangunan PLTN merupakan langkah awal pemanfaatan tenaga nuklir yang akan memiliki dampak positif terhadap ketahanan energi, sekaligus juga peningkatan kesejahteraan dan kemakmuran masyarakat. Namun, perlu disadari bahwa pemanfaatan tenaga nuklir, yaitu penggunaan zat radioaktif sebagai bahan bakar PLTN akan menghasilkan limbah radioaktif yang memiliki potensi bahaya radiasi terhadap pekerja, anggota masyarakat dan lingkungan hidup sekitarnya. Oleh karena itu, pengelolaan limbah bahan bakar bekas PLTN harus memperhatikan aspek keselamatan terhadap pekerja, masyarakat dan lingkungan sehingga risiko yang diterima oleh pekerja, anggota masyarakat dan lingkungannya dapat ditekan serendah mungkin sehingga berada dalam batas yang diijinkan.

Penanganan limbah radioaktif (termasuk pembuangan) merupakan permasalahan penting terkait dengan pemanfaatan tenaga nuklir. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pengelolaan limbah bahan bakar bekas PLTN, diantaranya adalah: (i) Keselamatan, pentingnya pemahaman terhadap potensi dampak limbah dan perkembangan teknologi pengolahan limbah bahan bakar bekas PLTN, (ii) Penerimaan masyarakat, tingkat kepercayaan masyarakat disekitar tapak akan sangat mendukung program pengelolaan limbah bahan bakar bekas PLTN, dan (iii) Biaya, perlu adanya kesadaran bahwa pengelolaan limbah bahan bakar bekas PLTN memerlukan biaya yang tidak sedikit namun hal tersebut akan membawa dampak pengaruh yang minim dari potensi dampak limbah bahan bakar bekas PLTN^[2].

Dari aspek pengelolaan limbah radioaktif, secara umum terdapat beberapa ciri khas negara berkembang sesaat setelah memulai program energi nuklir, diantaranya adalah: (i) Sedikitnya jumlah lembaga/institusi/perusahaan yang mengurus limbah radioaktif, (ii) Masih terbatasnya regulator proteksi radiasi bagi pekerja, masyarakat dan lingkungan, (iii) Terbatasnya kebijakan/strategi pengelolaan limbah radioaktif, (iv) Terbatasnya pendanaan, (v)

Terbatasnya dukungan teknologi terkini, dan (vi) Terbatasnya sumber daya manusia. Beberapa permasalahan tersebut tidak lepas dari persiapan infrastruktur PLTN yang perlu dikembangkan dengan baik, sehingga diharapkan dengan adanya persiapan infrastruktur yang baik maka beberapa permasalahan di atas dapat diminimalisir.

Pada makalah ini, secara umum membahas mengenai persiapan infrastruktur pengelolaan limbah radioaktif khususnya untuk limbah bahan bakar bekas PLTN, yang merupakan salah satu dari 19 aspek infrastruktur yang harus dipersiapkan apabila suatu negara hendak membangun PLTN. Tujuan pengkajian adalah untuk mengetahui beberapa kegiatan persiapan infrastruktur dalam kerangka besar pengembangan 19 (sembilan belas) infrastruktur pembangunan PLTN, khususnya terkait dengan limbah bahan bakar bekas PLTN dan limbah radioaktif secara umum. Hasil studi diharapkan dapat diperoleh beberapa rekomendasi tentang persiapan infrastruktur pengelolaan limbah bahan bakar bekas PLTN.

TEORI

Menurut Peraturan Undang-Undang Ketenaganukliran No. 10 tahun 1997, bahan nuklir adalah bahan yang dapat menghasilkan reaksi pembelahan berantai (fusi) atau bahan yang dapat menghasilkan reaksi pembelahan berantai (fisi). Yang dimaksud dengan limbah radioaktif adalah zat radioaktif dan bahan serta peralatan yang telah terkena zat radioaktif atau menjadi radioaktif karena pengoperasian instalasi nuklir yang tidak dapat digunakan lagi^[1]. Beberapa kegiatan yang berpotensi menimbulkan limbah radioaktif antara lain: pusat penelitian tenaga nuklir, rumah sakit, industri, lembaga penelitian, dan instalasi dekontaminasi dan dekomisioning^[2]. Limbah radioaktif yang dihasilkan dari pengoperasian reaktor nuklir, antara lain adalah radionuklida hasil fisi dalam bahan bakar bekas (*spent fuel*), resin penukar ion, air pendingin, dan radionuklida bentuk gas.

Pada tahun 1994 *International Atomic Energy Agency* (IAEA) mengelompokkan limbah radioaktif dalam tiga tingkatan, yaitu: (i) limbah radioaktif dikecualikan (*exempt waste/EW*), (ii) limbah radioaktif rendah dan sedang (*low and intermediate level waste/LILW*), dan (iii) limbah radioaktif

aktivitas tinggi (*high level waste/HLW*)^[3]. Tahun 2009 *International Atomic Energy Agency* (IAEA) melakukan klasifikasi ulang limbah radioaktif ke dalam enam tingkatan, yaitu: (i) *exempt waste/EW*, (ii) *very short lived waste/VSLW*, (iii) *very low level waste/VLLW*, (iv) *low level waste/LLW*, (v) *intermediate level waste/ILW*, dan (vi) *high level waste/HLW*^[4].

Limbah radioaktif dikecualikan merupakan limbah radioaktif yang dikeluarkan dari pengawasan karena potensi bahaya radiologinya dapat diabaikan atau dosis tahunan yang diterima oleh anggota masyarakat tidak melebihi 0,01 mSv. Limbah radioaktif rendah dan sedang (LILW) memiliki konsentrasi aktivitas radionuklida pemancar- α antara 400 Bq/g sampai dengan 4.000 Bq/g dan biasanya dibagi dalam dua kelompok yakni (i) limbah dengan umur pendek, mengandung radionuklida dengan waktu paro ≤ 30 tahun, dan (ii) limbah dengan umur panjang, mengandung radionuklida dengan waktu paro ≥ 30 tahun. Limbah LILW direkomendasikan untuk disimpan pada lapisan tanah dalam.

Limbah radioaktif aktivitas tinggi (HLW) ditimbulkan dari proses olah-ulang bahan bakar bekas yang mengandung radionuklida pemancar- α dan radionuklida hasil fisi seperti ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{90}Sr dan ^{99}Tc , dan penanganannya memerlukan perisai (*shielding*) dan pendingin (*cooling*). Limbah aktivitas tinggi memiliki konsentrasi radionuklida umur panjang lebih besar dari LILW dan dalam proses peluruhan dapat menghasilkan panas $\geq 2\text{kW/m}^3$.

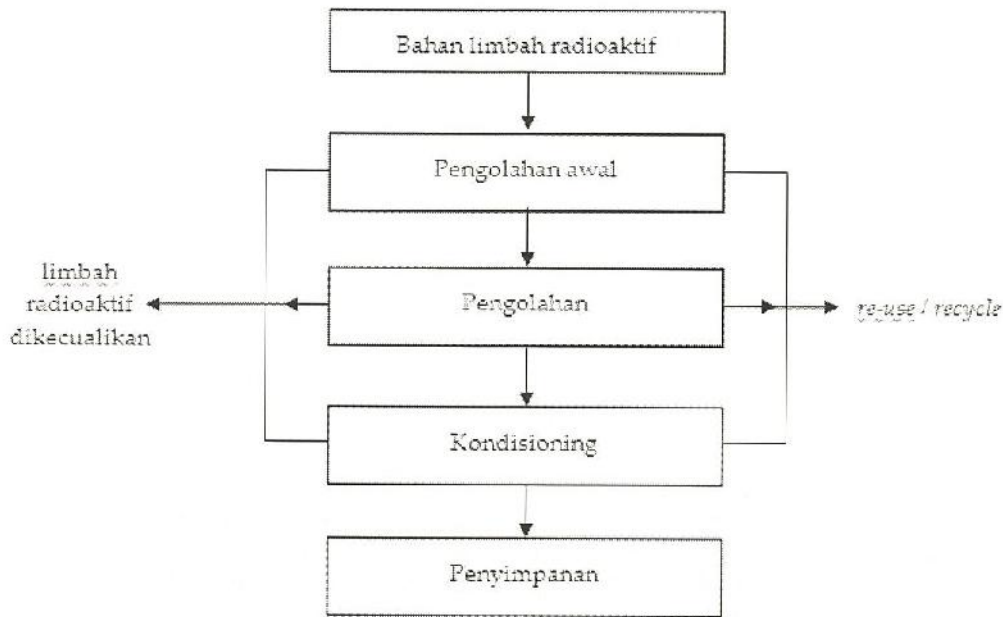
Pengelolaan limbah radioaktif merupakan rangkaian kegiatan yang meliputi pengumpulan, pemilahan, pengolahan, pengangkutan, penyimpanan dan/atau pembuangan limbah radioaktif serta pemantauan keselamatan radiasi terhadap pekerja, masyarakat dan lingkungan. Gambar 1 menunjukkan kegiatan pengelolaan limbah radioaktif yang dilakukan dalam 4 (empat) tahapan, yakni pengolahan awal, pengolahan, kondisioning dan penyimpanan^[2].

Tahap pengolahan awal limbah radioaktif diawali dengan kegiatan

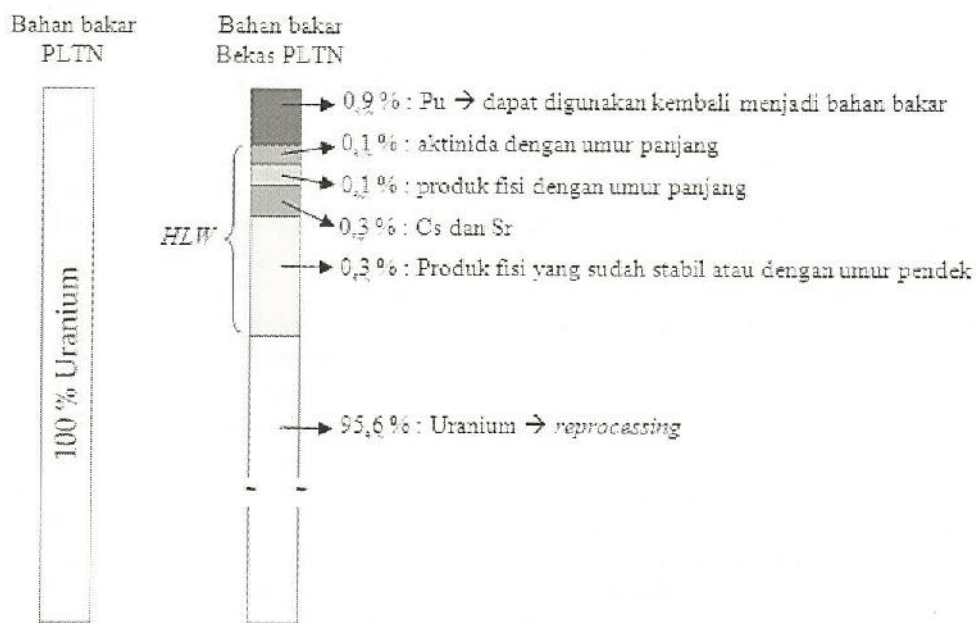
pengumpulan dan pemilahan limbah radioaktif untuk menentukan cara pengangkutan, proses pengolahan dan penyimpanan kemudian dilanjutkan dengan proses pengangkutan limbah radioaktif yang merupakan proses pemindahan limbah radioaktif meliputi pengepakan, pengiriman, penyimpanan selama transit dan penyerahan pada proses selanjutnya. Tahap selanjutnya setelah tahap pengolahan awal adalah tahap pengolahan limbah radioaktif yang secara umum dilakukan melalui 3 (tiga) metode, yakni: (i) reduksi volume, (ii) pengubahan komposisi kimia, dan (iii) pengambilan radionuklida. Pemilihan metode pengolahan limbah tersebut sangat tergantung dari jenis radionuklida, sifat fisika dan sifat kimia dari limbah radioaktif.

Tahap kondisioning atau sering juga disebut *immobilisasi* dalam pengolahan limbah radioaktif bertujuan untuk mendapatkan hasil limbah olahan yang mampu menahan terlepasnya radionuklida yang terkandung dalam limbah radioaktif untuk jangka waktu yang lama pada tahap penyimpanan, oleh karena itu terdapat beberapa bahan yang digunakan dalam proses immobilisasi limbah radioaktif sesuai dengan tingkat radioaktivitas atau kandungan radionuklidanya. Tahap pengelolaan limbah radioaktif terakhir adalah tahap penyimpanan limbah radioaktif yang mempunyai tujuan untuk meluruhkan tingkat radioaktivitas dalam limbah radioaktif hasil olahan sehingga tidak menimbulkan dampak radiologis terhadap manusia dan lingkungan. Waktu peluruhan tersebut dapat berlangsung lama tergantung dari waktu paro unsur radionuklidanya.

Komposisi material dari bahan bakar bekas PLTN yang jumlahnya sekitar 0,8 % dan merupakan limbah radioaktif aktivitas tinggi (*high level waste/HLW*) ditunjukkan pada Gambar 2. Beberapa karakteristik dari bahan bakar bekas PLTN tersebut adalah bahan bakar dengan: (i) radiasi tinggi, (ii) sisa panas peluruhan tinggi, (iii) radiotoksitas tinggi. Ke tiga jenis bahan bakar bekas tersebut akan meluruh dan aktivitasnya menurun dengan berjalannya waktu.



Gambar 1. Tahapan dalam pengelolaan limbah radioaktif^[2]



Gambar 2. Komposisi material bahan bakar dan bahan bakar bekas PLTN^[5]

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengelolaan Limbah Radioaktif di Korea Selatan

Penggunaan tenaga nuklir komersial di Korea Selatan dimulai pada tahun 1978 dan data yang diperoleh dari *Power Reactor Information System (PRIS-IAEA)* menyatakan bahwa saat ini terdapat 23 unit PLTN yang sedang beroperasi, dan lokasi PLTN berada di empat lokasi yang berbeda yaitu Kori, Yonggwang, Ulchin dan Wolsong. Selain itu,

terdapat pula 5 unit PLTN pada tahap konstruksi dan 6 unit PLTN lainnya pada tahap perencanaan konstruksi^[6].

Limbah radioaktif dari PLTN di Korea Selatan diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu: (i) limbah radioaktif tingkat tinggi (*High Level Waste/HLW*) yang berasal dari PLTN, dan (ii) limbah radioaktif tingkat rendah dan menengah (*Low and Intermediate Level Waste/LILW*) yang berasal dari penggunaan radioisotope pada aplikasi industri, penelitian medis, kegiatan litbang dll. Di Korea Selatan,

HLW hanya berasal dari bahan bakar bekas PLTN, pada Desember 2012 jumlah secara kumulatif dari bahan bakar bekas sebanyak 377.860 perangkat bakar (*assemblies*) dan bahan bakar bekas CANDU sejumlah 363.900 perangkat bakar (*assemblies*), jumlah tersebut akan terus meningkat 20.000 ton pada tahun 2020. Untuk saat ini, bahan bakar bekas tersebut disimpan di empat lokasi / *site* PLTN baik di dalam kolam penampung maupun di fasilitas penyimpanan kering (*dry storage facilities*). *Low and Intermediate Level Waste* berasal dari penggunaan radioisotope di rumah sakit, industri dan beberapa instalasi nuklir lainnya, serta berasal dari pembuatan bahan bakar nuklir, kegiatan penelitian dan pengembangan, dan dapat juga berasal dari operasi reaktor yang terdiri dari limbah aktif kering, resin bahan bakar bekas dan filter bahan bakar bekas. Di akhir tahun 2012 terdapat sebanyak 90.265 drum (200 liter/drum) LILW yang dihasilkan dan disimpan di empat lokasi / *site* PLTN^[7]. Pada tabel 1 menunjukkan status HLW dan LILW yang dihasilkan oleh PLTN secara lebih detail.

Kebijakan nasional untuk pengelolaan limbah radioaktif di Korea Selatan ditentukan oleh Komisi Energi Atom (*Atomic Energy Commission/AEC*). Pertemuan ke-249 dari AEC, yang diselenggarakan pada bulan September 1998, mengembangkan "Kebijakan Nasional Pengelolaan Limbah Radioaktif" yang bertujuan untuk membangun dan mengoperasikan fasilitas pembuangan LILW pada tahun 2008 dan memusatkan fasilitas penyimpanan bahan bakar bekas pada tahun 2016, namun dikarenakan masih adanya kendala dalam pemilihan lokasi tersebut, maka pada Desember 2004 AEC melakukan revisi bahwa repositori LILW harus dibangun pada tahun 2009 dan menetapkan bahwa kebijakan nasional untuk pengelolaan bahan bakar bekas PLTN harus ditentukan dengan mempertimbangkan teknologi domestik dan internasional serta konsensus publik. Kondisi saat ini, bahan bakar bekas PLTN yang disimpan di lokasi PLTN berada di bawah tanggung jawab *Korea Hydro and Nuclear Power (KHNP)*. Oleh karena itu pada tahun 2009 dibentuk *Korea Radioactive Waste Management Corporation (KRMC)* yang bertanggung jawab untuk melakukan penyimpanan sementara dan pembuangan akhir bahan bakar bekas PLTN.

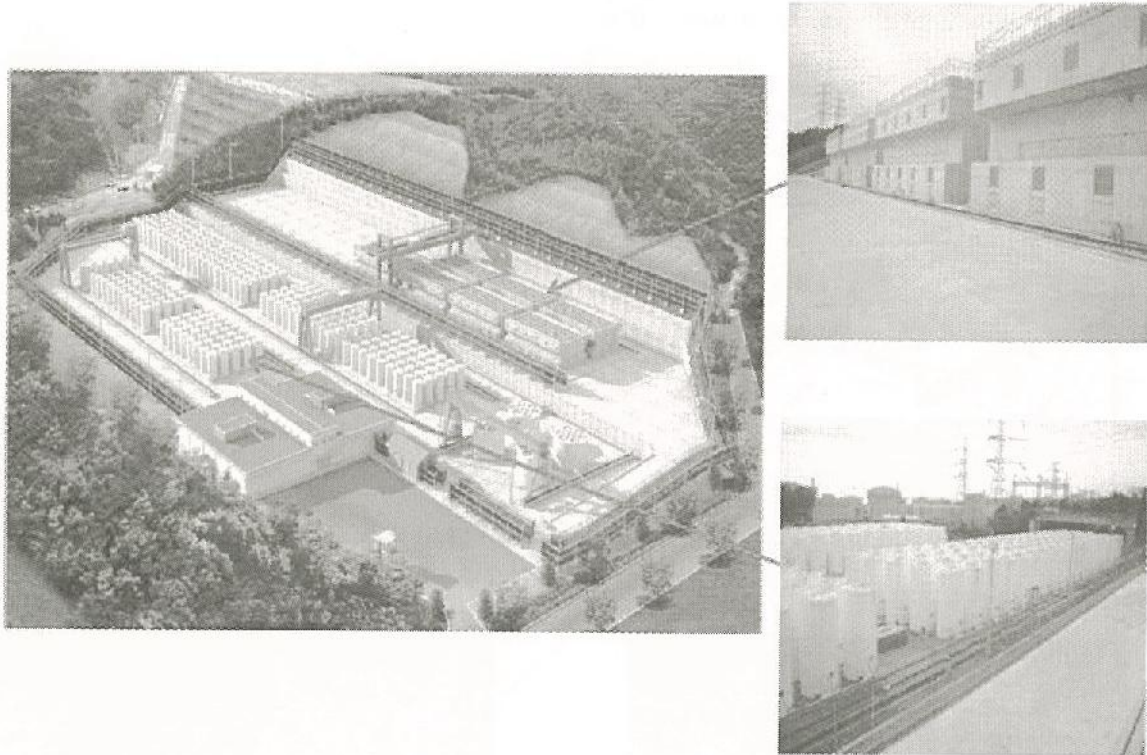
Pada November 2011, pemerintah membentuk "Forum Kebijakan Pengelolaan Bahan Bakar Bekas PLTN", yang anggotanya termasuk para ahli di berbagai bidang, anggota LSM, dan warga di sekitar lokasi PLTN berada. Setelah mengkaji selama 10 (sepuluh) bulan, Forum tersebut menyerahkan rekomendasi dalam bentuk laporan akhir kepada pemerintah pada September 2012. Rekomendasi ini terdiri dari 14 agenda termasuk 'pembangunan fasilitas penyimpanan sementara selambat-lambatnya tahun 2024'. Selanjutnya, pada bulan November 2012 *Korea Atomic Energy Promotion Commission (KAEP)* melanjutkan kebijakan tersebut pada proses keterlibatan para pemangku kepentingan (*stakeholder involvement*) berdasarkan pada ketentuan dari Undang-Undang Pengelolaan Limbah Radioaktif (*Radioactive Waste Management Act / RWMA*).

Sebagian besar LILW yang dihasilkan dari PLTN dikelola dan disimpan di fasilitas pengolahan limbah gas, cair, dan padat di lokasi PLTN. Pada November 2005, Wolsong ditunjuk sebagai calon lokasi untuk repositori LILW dan pembangunan tahap 1 dinamakan *Wolsong LILW Disposal Center (WLDC)*. Kapasitas awal WLDC adalah sekitar 100.000 drum. Enam silo yang dibangun untuk menampung kapasitas tahap pertama. Pembangunan tahap 1 dari WLDC dijadwalkan akan selesai pada Juni 2014. Setelah ekspansi bertahap, kapasitas pembuangan akhir diharapkan akan menjadi 800.000 drum.

Pemanfaatan energi nuklir menghasilkan sejumlah besar akumulasi bahan bakar bekas. Karena kesulitan dalam pemilihan lokasi, sebagian besar bahan bakar bekas disimpan di setiap lokasi reaktor. Untuk reaktor CANDU (*CANada Deuterium Uranium*), bahan bakar bekas pertama kali ditempatkan dalam tempat penyimpanan basah (kolam penampung) untuk pendinginan dan peluruhan radioaktif, setelah setidaknya 6 tahun pendinginan di tempat penyimpanan tersebut, bahan bakar bekas dimasukkan ke dalam "container" bahan bakar berbahan *stainless steel* dan diangkut ke fasilitas penyimpanan kering. Dua jenis fasilitas penyimpanan kering adalah 300 silo beton dan 7 modul penyimpanan beton MACSTOR/KN-400 (M/K-400) yang digunakan untuk penyimpanan bahan bakar bekas CANDU, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

Tabel 1. Status HLW dan LILW dari PLTN (Desember 2012)^[7].

PLTN		HLW		LILW	
Lokasi	Jumlah Reaktor	Kapasitas penyimpanan (<i>assemblies</i>)	Jumlah tersimpan (<i>assemblies</i>)	Kapasitas penyimpanan (drum)	Jumlah tersimpan (drum)
Kori	6	5.971	4.909	60.200	41.494
Yonggwang	6	6.396	4.942	23.300	22.010
Ulchin	6	5.550	4.109	18.929	16.497
Wolsong	5	500.155	363.900	13.240	10.264
Total	23	517.549	377.860	115.669	90.265



Gambar 3. Fasilitas penyimpanan kering bahan bakar bekas CANDU di Wolsong^[7]

Untuk PLTN jenis PWR, bahan bakar bekas reaktor kini disimpan di kolam PLTN, tetapi dalam beberapa tahun kedepan semua kolam penyimpanan tersebut akan penuh. Sebagai solusi sementara dilakukan pengiriman bahan bakar bekas ke ruang penyimpanan PLTN terdekat yang masih memiliki ruang penyimpanan yang cukup sampai dengan kebijakan nasional pengelolaan bahan bakar bekas ditentukan. Sebuah proyek untuk membangun rak penyimpanan bahan bakar bekas diluncurkan tahun 2011 dan selesai pada akhir tahun 2012 untuk Yonggwang unit 5 dan 6. Proyek yang sama juga dilakukan di Ulchin 5 dan 6 pada tahun 2012. Melalui penyelesaian proyek ini pada akhir tahun 2013, total kapasitas penyimpanan untuk bahan bakar

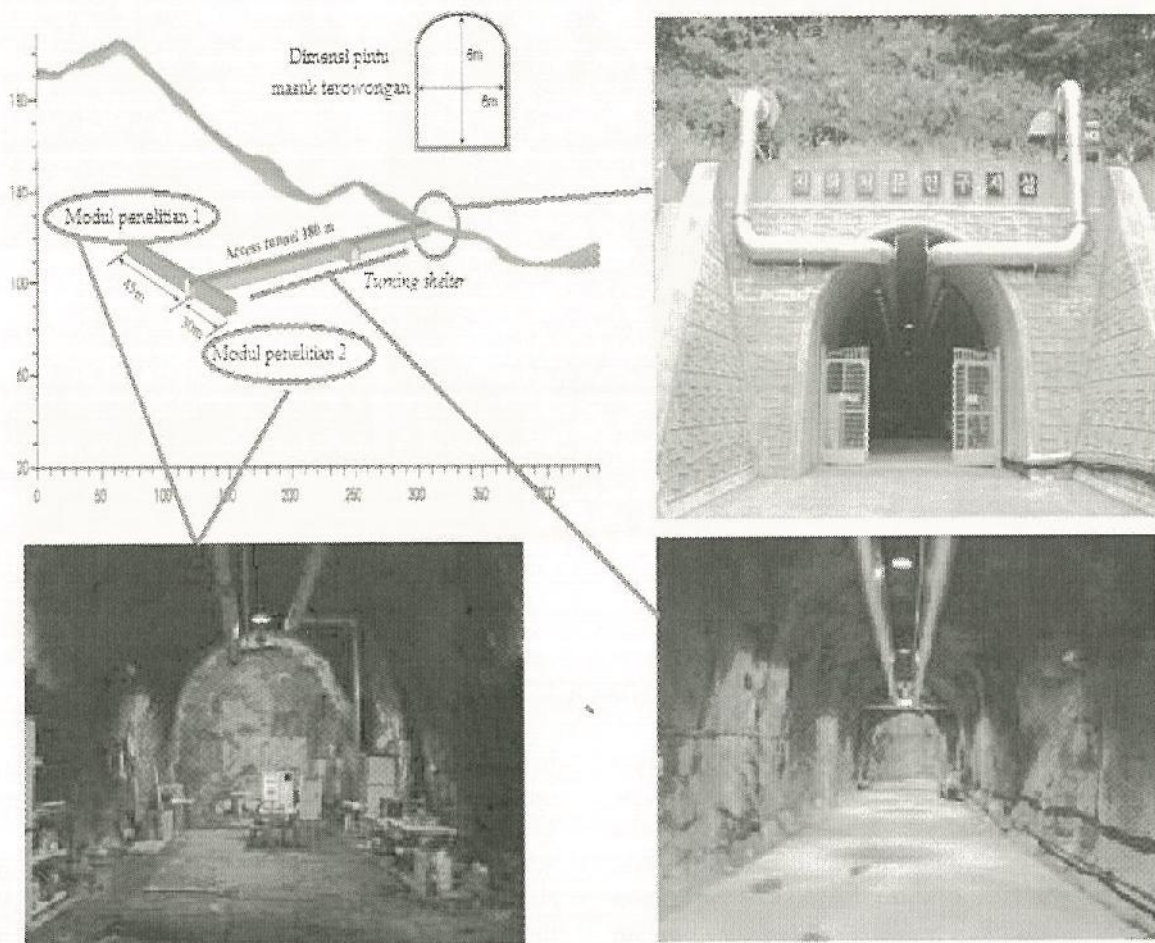
bekas PWR akan mencapai 23.041 *assemblies*, menghasilkan peningkatan kapasitas penyimpanan sebesar 28,5%.

Program penelitian dan pengembangan (litbang) pada teknologi pembuangan HLW dimulai pada tahun 1997. Setelah 10 tahun menjadi program penelitian, *Korea Reference disposal System* (KRS) diusulkan pada tahun 2006 berdasarkan hasil program litbang, diantaranya studi kinerja dan penilaian keselamatan, sistem penghalang rekayasa, migrasi radionuklida, serta studi pada kondisi *geo-environmental* di Korea.

KAERI (*Korea Atomic Energy Research Institute*) sebagai badan litbang dibidang nuklir sangat kosen terhadap kegiatan penelitian dan pengembangan pengolahan limbah bahan

bakar bekas PLTN, untuk memvalidasi KRS, pada tahun 2003 dibangun sebuah proyek terowongan penelitian bawah tanah di bukit batu kristal yang disebut *KAERI Underground Research Tunnel (KURT)*. Setelah dilakukan studi karakterisasi tapak, desain terowongan, dan perizinan konstruksi, maka pada Mei 2005 dilakukan pembangunan KURT, yang terletak di kompleks KAERI. Pengeboran terkontrol dan teknik peledakan diterapkan untuk menggali terowongan berbentuk tapal kuda dengan lebar 6 meter, tinggi 6 meter, panjang 255 meter dan kemiringan ke bawah 10%.

Setelah selesainya pembangunan KURT pada November 2006, berbagai macam pengujian sedang dilakukan untuk validasi teknik pembuangan HLW. Gambar 4 berikut menunjukkan tata letak KURT, tempat berbagai macam pengujian dilakukan di KURT adalah pengujian yang berkaitan dengan: (i) aliran fluida melalui diskontinuitas, (ii) kimia dibawah tanah, (iii) perilaku termal dari massa batuan, (iv) evaluasi penggalian zona yang rusak, dan (v) migrasi ion dan koloid di lingkungan bawah tanah

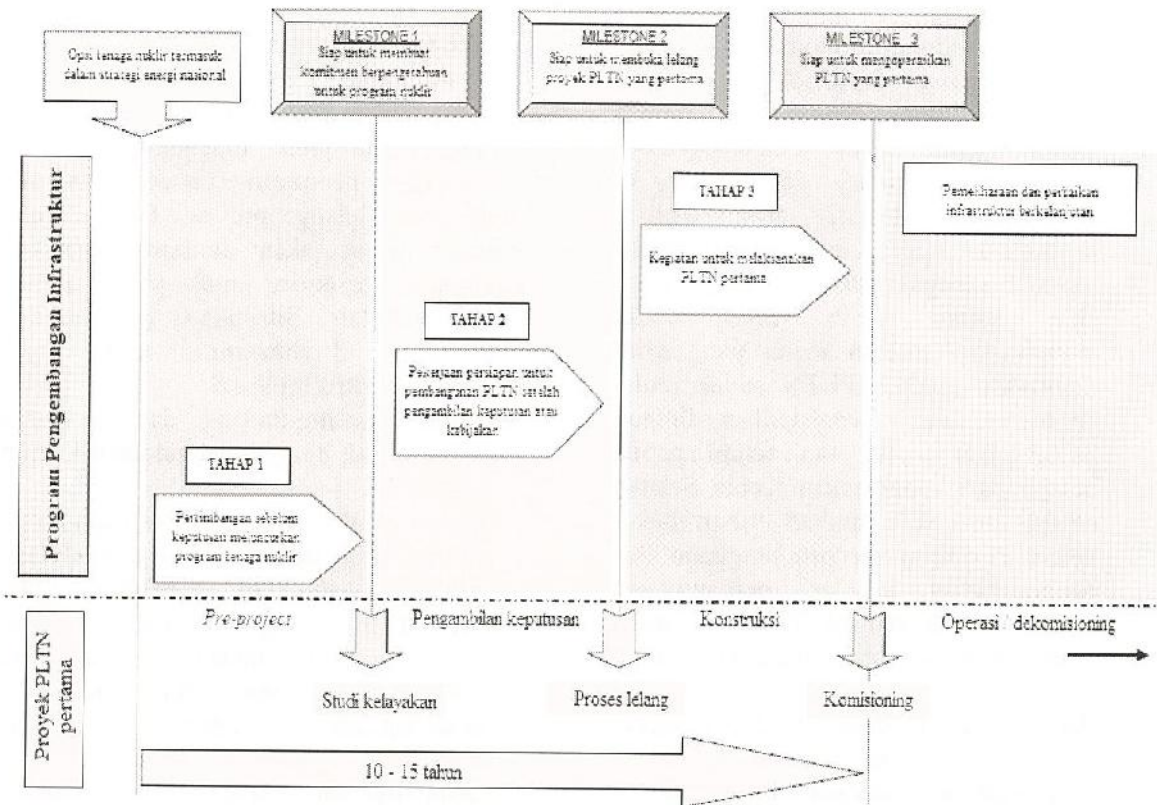


Gambar 4. Tata letak *KAERI Underground Research Tunnel (KURT)*^[5].

Persiapan Infrastruktur Pengelolaan Limbah Bahan Bakar Bekas PLTN di Indonesia

Gambar 5 menunjukkan program pengembangan infrastruktur PLTN, dengan 19 (sembilan belas) infrastruktur yang mendukung program pembangunan PLTN dan salah satu infrastruktur penting yang harus diperhatikan adalah permasalahan limbah radioaktif.

Secara umum, program pengembangan infrastruktur PLTN yang pertama dibagi ke dalam tiga tonggak (*milestone*), yang masing-masing tonggak tersebut terdapat beberapa hal yang perlu dipertimbangkan agar seluruh kegiatan program pengembangan infrastruktur PLTN secara keseluruhan dapat saling mendukung.



Gambar 5. Program pengembangan infrastruktur PLTN⁸¹.

Pada aspek pengelolaan limbah radioaktif, beberapa hal yang perlu diperhatikan di masing-masing *milestone*, antara lain:

- *Milestone 1*, pada tonggak pertama ini merupakan persiapan untuk membuat komitmen berpengetahuan untuk program nuklir dengan beberapa pertimbangan sebelum memutuskan untuk menjalankan program tenaga nuklir. Beberapa pertimbangan pada *milestone* pertama, yaitu:
 - a. Pengetahuan tentang kemampuan nasional saat ini, kerangka peraturan dan pengalaman dengan penanganan limbah radioaktif, penyimpanan, dan pembuangan. Salah satu unit penelitian dan pengembangan (litbang) yang bergerak dalam bidang limbah radioaktif di Indonesia adalah Pusat Teknologi Limbah Radioaktif – Badan Tenaga Nuklir Nasional (PTLR-BATAN). Untuk saat ini kemampuan nasional (PTLR-BATAN) untuk mengelola limbah radioaktif dinilai sangat baik, hal ini sudah terlihat secara nyata

kemampuannya untuk mengelola beberapa limbah radioaktif yang berasal dari rumah sakit, industri, dan instalasi litbang nuklir lainnya. Begitu halnya dengan kesiapan kerangka peraturan terkait dengan pengelolaan limbah radioaktif yang dinilai sudah siap, hal ini terbukti dengan adanya Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2002 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif.

- b. Pengetahuan volume tambahan dan konten isotop LILW dari fasilitas tenaga nuklir. Dalam hal informasi kandungan isotop LILW yang berasal dari fasilitas tenaga nuklir, PTLR-BATAN bekerjasama dengan pihak nasional maupun internasional telah dan sedang melakukan beberapa studi terkait, sehingga hasil studi tersebut diharapkan dapat meningkatkan kemampuan dan pengetahuan dalam mengelola limbah radioaktif dengan baik.
- c. Pengetahuan pilihan yang ada untuk penyimpanan jangka panjang bahan bakar bekas.

Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2002 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif, yang menyatakan bahwa bahan bakar bekas PLTN (HLW) dimungkinkan untuk ditempatkan di penyimpanan lestari atau dikirim kembali ke negara asal. Dua pilihan tersebut mengakibatkan perlunya studi atau kajian lebih detil untuk memutuskan pilihan mana yang akan digunakan apabila PLTN sudah mulai beroperasi dan menghasilkan limbah bahan bakar bekas. Akan tetapi apabila belajar dari keberhasilan Korea Selatan dalam mengelola limbah bahan bakar bekas PLTN, maka pembangunan dan pengoperasian instalasi penyimpanan lestari limbah radioaktif bisa menjadi pilihan terbaik untuk masa yang akan datang.

- d. Pengetahuan tentang penelitian secara internasional untuk pembuangan akhir dari bahan bakar bekas PLTN (HLW). Dalam hal ini, PTLR-BATAN telah berpartisipasi secara aktif dalam kegiatan penelitian terkait dengan pengelolaan limbah bahan bakar bekas berskala internasional. Selain itu diharapkan perlu adanya program penelitian yang lebih terarah terkait dengan penanganan limbah radioaktif di masa yang akan datang.

- e. Organisasi dan pembiayaan untuk pengelolaan limbah radioaktif dan bahan bakar bekas.

Organisasi dan pembiayaan yang sudah saat ini merupakan unit penelitian dan pengembangan dengan menggunakan anggaran dari pemerintah pusat. Harapan ke depan sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2002 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif adalah Indonesia mampu membentuk Badan Usaha Milik Negara (BUMN), koperasi, dan atau badan swasta yang akan melaksanakan pengelolaan limbah radioaktif secara profesional, seperti halnya Korea Selatan membentuk *Korea Radioactive Waste Management Corporation* (KRMC) yang memiliki tanggung jawab untuk: (i) Transportasi dan pembuangan LLW dan LILW, (ii)

Penelitian dan pengembangan pengelolaan limbah radioaktif, dan (iii) Pengelolaan dana atau anggaran pengelolaan limbah radioaktif.

- *Milestone 2*, pada tonggak kedua ini merupakan persiapan untuk membuka penawaran lelang proyek PLTN yang pertama yang akan terdapat beberapa pekerjaan persiapan untuk pembangunan PLTN setelah dilakukan pengambilan keputusan. Pertimbangan awal untuk limbah radioaktif meliputi:

- a. Revisi undang-undang dan peraturan yang terkait dengan pengelolaan limbah radioaktif.

Revisi peraturan sangat diperlukan untuk optimalisasi dan efisiensi pengelolaan limbah radioaktif, bahkan jika diperlukan dapat menambahkan peraturan atau undang-undang yang belum ada saat ini, misalnya: pembentukan badan pelaksana pengelolaan limbah radioaktif atau pembangunan fasilitas pengelolaan limbah radioaktif dapat diatur dengan peraturan atau undang-undang yang baru sesuai dengan kebutuhan dan kondisi pada waktu yang berjalan.

- b. Mengembangkan ketentuan untuk volume limbah dan toksisitas minimal sebagai bagian dari spesifikasi tender.

Volume limbah dan kadar toksisitas merupakan sesuatu yang sangat penting dan perlu dilakukan pengaturan secara ketat. Adanya ketentuan yang ketat didalam dokumen spesifikasi tender maka diharapkan pengaruh dari potensi dampak limbah bahan bakar bekas PLTN ke lingkungan akan kecil dan dapat menjadi perhatian yang serius dari berbagai pihak terkait.

- c. Perencanaan untuk meningkatkan program pembuangan limbah dan fasilitas yang harus dipersiapkan (tempat penyimpanan sementara di lokasi PLTN dan tempat penyimpanan lestari) untuk menampung bahan bakar bekas PLTN.

Perencanaan tersebut biasanya didahului dengan studi atau kajian yang dilakukan pada *milstone* pertama terkait dengan pentingnya program pembuangan limbah dan beberapa fasilitas yang diperlukan, kemudian langkah selanjutnya dilakukan perencanaan secara rinci dari setiap

program pengelolaan limbah radioaktif, termasuk salah satunya pengelolaan bahan bakar bekas PLTN.

- d. Menetapkan tanggung jawab untuk terus mengikuti upaya dan kemajuan pengelolaan limbah bahan bakar bekas PLTN di tingkat internasional.

Hal ini perlu dilakukan untuk berbagi informasi dengan berbagai pihak, termasuk dengan beberapa Negara yang fokus terhadap pengelolaan limbah bahan bakar bekas PLTN, sehingga dapat dilakukan beberapa perbaikan dan peningkatan kualitas pengelolaan limbah bahan bakar bekas PLTN.

- *Milestone 3*, pada tonggak ketiga ini merupakan persiapan untuk mengoperasikan PLTN yang pertama setelah melewati beberapa kegiatan pada tahap pertama dan kedua. Perlu disadari bahwa limbah radioaktif tingkat rendah dan menengah (LILW) akan dihasilkan segera setelah teras reaktor awal dikirim ke lokasi PLTN. Limbah radioaktif tingkat tinggi akan dihasilkan segera setelah PLTN mulai operasi. Beberapa kondisi yang diharapkan pada *milestone* ketiga ini, yaitu:
 - a. Fasilitas penyimpanan limbah radioaktif sudah sepenuhnya beroperasi dan siap untuk menerima limbah bahan bakar bekas PLTN.
 - b. Badan pelaksana pengelola limbah bahan bakar PLTN sudah terbentuk.
 - c. Pihak-pihak yang terkait dengan pengelolaan limbah bahan bakar PLTN selalu perkembangan terkini mengenai limbah radioaktif, sehingga dapat merevisi kebijakan nasional yang sesuai dengan kondisi saat itu.

Untuk mengoptimalkan program pengembangan infrastruktur pengelolaan limbah bahan bakar bekas PLTN di atas, tidak ada salahnya jika kita belajar beberapa hal dari negara lain yang sudah terlebih dahulu menangani permasalahan limbah bahan bakar bekas PLTN, seperti halnya beberapa prinsip dasar yang patut dicontoh dari Korea Selatan dalam hal Kebijakan Nasional Pengelolaan Limbah Radioaktif, diantaranya adalah: (i) Pengendalian limbah radioaktif dilakukan oleh pemerintah, (ii) Utamakan keselamatan, (iii) Meminimalkan limbah radioaktif, dan (iv) Transparansi dalam sebuah kebijakan.

REKOMENDASI

Beberapa rekomendasi yang dapat disampaikan terkait hasil kajian dan pembelajaran dari pengalaman Korea Selatan melaksanakan program pengelolaan limbah bahan bakar bekas PLTN, yaitu:

- a. Sebagai Badan Litbang di Bidang Nuklir, khususnya untuk bidang limbah radioaktif, PTLR BATAN diharapkan tetap dapat mempertahankan konsistensinya terhadap kegiatan penelitian dan pengembangan pengolahan limbah radioaktif dan limbah bahan bakar bekas PLTN.
- b. Selain itu, dalam rangka mendukung program pembangunan PLTN pertama di Indonesia, PTLR-BATAN diharapkan dapat menyusun konsep "Badan Pelaksana Pengelolaan Limbah Bahan Bakar Bekas PLTN" yang memiliki tanggung jawab melakukan penyimpanan sementara dan pembuangan akhir bahan bakar bekas PLTN.
- c. Di saat PLTN sudah mulai beroperasi normal, keberadaan fasilitas pengelolaan limbah bahan bakar bekas PLTN dirasakan sangat penting, oleh karena itu tidak ada salahnya apabila para peneliti dan perekayasa di BATAN sudah mulai menyusun konsep desain dan studi terkait dengan penyiapan lokasi dan fasilitas pengelolaan limbah bahan bakar bekas PLTN.

KESIMPULAN

Aspek limbah radioaktif merupakan salah satu dari 19 (sembilan belas) infrastruktur yang perlu dikembangkan dalam rangka mendukung program pembangunan PLTN pertama di Indonesia, sehingga diperlukan sebuah strategi persiapan infrastruktur pengelolaan limbah bahan bakar bekas PLTN.

Strategi persiapan infrastruktur pengelolaan limbah bahan bakar bekas PLTN meliputi tiga tahapan tonggak (*milestone*) kegiatan, yaitu (i) persiapan membuat komitmen berpengetahuan untuk program nuklir, (ii) persiapan membuka penawaran lelang proyek PLTN pertama, dan (iii) persiapan mengoperasikan PLTN.

Beberapa prinsip dasar hasil adopsi Kebijakan Nasional Pengelolaan Limbah Radioaktif dari Korea Selatan, diantaranya adalah: (i) pengendalian limbah radioaktif dilakukan oleh pemerintah, (ii) mengutamakan

keselamatan, (iii) meminimalkan limbah radioaktif, dan (iv) transparansi dalam penerapan kebijakan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Republik Indonesia, *–Undang-Undang No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenagamukliran*”, Lembaran Negara RI Tahun 1997 Nomor 23, Jakarta, Sekretariat Negara, (1997)
2. _____, *–Pengelolaan Limbah Radioaktif dan Aspek Keselamatannya*”, Modul Pelatihan Proteksi Radiasi bagi Pegawai Baru, Pusat Pendidikan dan Pelatihan BATAN Revisi 0.1, Jakarta, (2010)
3. IAEA, *–Classification of Radioactive Waste*”, Safety Series No. 111-G-1.1, International Atomic Energy Agency, Vienna, (1994)
4. IAEA, *“Classification of Radioactive Waste”*, General Safety Guide No. GSG-1, International Atomic Energy Agency, Vienna, (2009)
5. J. Choi, *“High Level Waste Storage and Disposal Technology”*, KOICA-KAERI-IAEA Interregional Training Course on Nuclear Policy, Planning and Project Management, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon – Republic of Korea, (2012)
6. _____, *“Korea, Republic of”*, <http://www.iaea.org/pris/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=KR>, diakses pada tanggal 21 September (2012)
7. _____, *“Radioactive Waste Management Programmes In OECD/NEA Member Countries”*, <https://www.oecd-nea.org/rwm/profiles/>, diakses pada tanggal 19 September (2012)
8. IAEA, *“Milestones in the Development of a National Infrastructure for Nuclear Power”*, IAEA Nuclear Energy Series No. NG-G-3.1, International Atomic Energy Agency, Vienna, (2007)