

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
SUSUNAN TIM EDITOR	ii
SUSUNAN PANITIA	iii
DAFTAR ISI	iv
1. Pengkajian Pengelolaan Limbah Radioaktif Reaktor Daya Eksperimental Tipe HTR-10 Zainus Salimin, Endang Nuraeni	1
2. Proyeksi Fasilitas Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas di Pulau Jawa B.Setiawan, E. Nuraeni, H. Sriwahyuni, Mirawaty, D.S. Rahayu, T. Sundari, N. Efriekaningrum, G. Nurliati, H. Zamroni	15
3. Pengolahan Limbah Daur Bahan Bakar Nuklir Yang Mengandung Uranium Menggunakan Resin Penukar Anion Aisyah	21
4. Pengolahan Limbah Cair Simulasi Dari <i>Pressurized Water Reactor</i> Dengan Amonium Zeolit Secara Kontinyu dan Imobilisasi Zeolit Jenuh Menggunakan Polimer Poliester Dwi Luhur Ibnu Saputra, Herlan Martono, Ajrieh Setyawan	29
5. Karakterisasi Limbah Radioaktif Cair Untuk Kesesuaian Proses Evaporasi Sugeng Purnomo, Ajrieh Setyawan, Darmawan Aji	37
6. Pengembangan Teknologi Pengolahan Limbah Cair Dari Industri : Imobilisasi Limbah Radioaktif Thorium Menggunakan Bahan Matriks <i>Synroc</i> Titanat Dengan Proses Sintering Suhu Tinggi Gunandjar, Titik Sundari, Yuli Purwanto	45
7. Imobilisasi Limbah Thorium Dengan Bahan Matriks <i>Synroc Supercalcine Zirkonia Fosfat</i> Mirawaty	57
8. Pengaruh Komposisi dan Radiasi Terhadap Ketahanan Kimia Gelas-Limbah Hasil Vitrifikasi Herlan Martono, Wati	67
9. Penggunaan Data Analisis Paparan Radiasi Untuk Merancang Wadah Limbah Reflektor Dari Reaktor Triga Mark II Mulyono Daryoko , Sutoto, Dwi Luhur Ibnu Saputra	79
10. Kajian Pengolahan Limbah Resin Penukar Ion Dari Proses Aplikasi Nuklir Mirawaty	87
11. Evaluasi Pengelolaan Limbah Radioaktif di Pusat Teknologi Limbah Radioaktif Tahun 2001 s/d 2010 Ayi Muzyawati	99
12. Evaluasi Operasi Unit Evaporasi Untuk Pengolahan Limbah Radioaktif Cair Pada Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif Selama Tahun 2014 Bambang Sugito	107

PROYEKSI FASILITAS PENYIMPANAN SEMENTARA BAHAN BAKAR BEKAS DI PULAU JAWA

**B.Setiawan*, E. Nuraeni, H. Sriwahyuni, Mirawaty, D.S. Rahayu,
T. Sundari, N. Efriekaningrum, G. Nurliati, H. Zamroni**
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN
E-mail: bravo@batan.go.id*

ABSTRAK

PROYEKSI FASILITAS PENYIMPANAN SEMENTARA BAHAN BAKAR BEKAS DI PULAU JAWA. Meningkatnya kebutuhan energi nasional di masa depan telah membuka peluang digunakannya energi baru dan terbarukan seperti energi nuklir. Diperkirakan sekitar tahun 2027 energi nuklir melalui pembangkit listrik tenaga nuklir akan memasuki jaringan interkoneksi dengan kapasitas sekitar 2 GWe dan akan terus meningkat sampai 12. GWe ditahun 2048. Adanya opsi PLTN akan menimbulkan keluaran bahan bakar bekas yang memerlukan fasilitas penyimpanan sementara. Dengan asumsi tertentu dan perhitungan sederhana akan diketahui proyeksi penyiapan fasilitas penyimpanan sementara bahan bakar bekas sesuai dengan proyeksi PLTN, khususnya di pulau Jawa. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa fasilitas penyimpanan sementara pertama akan dibangun pada tahun 2034, dan untuk kapasitas PLTN sekitar 12 GWe akan memerlukan fasilitas penyimpanan sementara bahan bakar bekas sekitar 16-18 unit.

Kata Kunci : PLTN, bahan bakar bekas, penyimpanan sementara bahan bakar bekas.

ABSTRACT

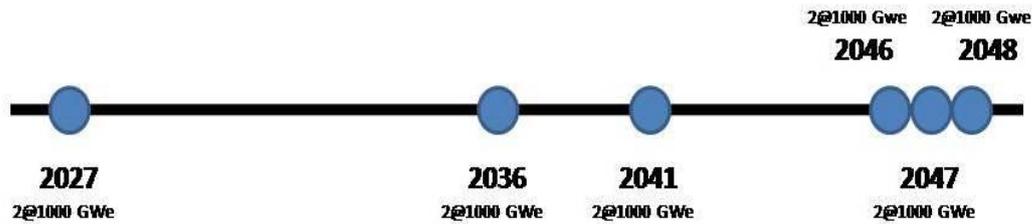
PROJECTION OF INTERIM STORAGE OF SPENT FUEL FACILITY IN JAVA ISLAND. Increase in national energy demand in the future has been open the opportunity of new and renewable energy such as nuclear energy to be applied. Around the year of 20127 a nuclear energy application through nuclear power plant to be predicted will enter the interconnection network grid with the capacity of approximately 2 GWe and it will continue to increase up to 12 GWe in 2048. By using a certain assumption and a simple calculation, a projection of interim storage facility can be determined in accordance with the projection of NPP, especially in Java Island. The obtained results shows that the first interim storage facility will be constructed in the year of 2034, and for NPP with capacity about 12 GWe requires the interim storage facility of spent fuel around 16-18 units.

Keywords : NPP, spent fuel, interim storage of spent fuel

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik nasional telah meningkat pesat dalam kurun waktu terakhir ini, sayangnya hal tersebut belum dapat diimbangi oleh ketersediaan ketenagalistrikan melalui pertumbuhan kapasitas pembangkitan yang memadai [1,2]. Hal ini telah memaksa terjadinya tindakan pemadaman listrik di banyak daerah di Indonesia, termasuk juga di pulau Jawa walaupun dengan skala yang lebih baik dibandingkan dengan kondisi di luar pulau Jawa. Untuk itu pemerintah dengan segala upayanya berusaha untuk meningkatkan kapasitas pembangkitan, memperluas jaringan transmisi dan juga jaringan distribusi ke seluruh pelosok pulau Jawa. Tetapi bila laju pertumbuhan ketenagalistrikan tersebut tidak seiring dengan laju konsumsinya, maka tindakan seperti diatas dapat akan terus terjadi dan daftar tunggu konsumen untuk mendapatkan hak atas aliran listriknya akan menjadi semakin panjang.

Pada draft Kebijakan Energi Nasional tahun 2014 telah disebutkan bila pada tahun 2025 target pemanfaatan energi listrik nasional perkapita akan mencapai sekitar 2500 kWh/kapita dan 7000 kWh/kapita di tahun 2050. Untuk memenuhi target tersebut akan diperlukan suatu pasokan energi listrik yang sangat besar dan massif, dan ini telah membuka peluang untuk digunakannya energi nuklir melalui pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) sebagai salah satu alternatif untuk memasuki jaringan interkoneksi Jawa-Madura-Bali (Jamali) sebesar 2000 MWe (2x1000 MWe) pada tahun 2027 [3]. Berkembangnya proyeksi kebutuhan konsumsi listrik yang semakin membesar, maka secara optimistik bila PLTN akan diproyeksikan untuk menyumbang energi listrik menjadi sekitar 12.000 MWe di tahun 2050, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1 dan Tabel 1.



Gambar 1. Proyeksi pembangunan PLTN di pulau Jawa [3]

Tabel 1. Proyeksi sumbangan PLTN pada system ketenaga listrikan di pulau Jawa [3]

Tahun	2027	2036	2041	2046	2047	2048
Daya (Mwe)	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Total	2000	4000	6000	8000	10000	12000

Adanya operasi PLTN di pulau Jawa dalam rangka mencukupi kebutuhan listrik harus diiringi dengan kesiapan untuk mengelola dengan baik timbulnya bahan bakar nuklir bekas (*spent fuel/SF*) dari operasi PLTN tersebut. Salah satunya adalah kesiapan akan fasilitas penyimpanan sementara bahan bakar nuklir bekas (*interim storage of spent fuel/ISSF*). Hal ini untuk menyiapkan opsi pengelolaan selanjutnya, apakah akan diolah ulang, disimpan secara penyimpanan jangka panjang atau di langsung disposal.

Bahan bakar bekas yang dikeluarkan dari operasi PLTN pertama kali akan disimpan di kolam bahan bakar bekas (*spent fuel pool/SFP*) yang ada di reaktor untuk didinginkan selama waktu tertentu sebelum dipindahkan ke fasilitas ISSF. Setelah disimpan di ISSF, SF akan dipindahkan lagi ke fasilitas olah ulang, disposal atau tetap disimpan pada fasilitas ISSF sebagai cara penyimpanan jangka panjang tergantung dengan opsi pengolahan yang dipilih [4]. Proses penyimpanan di ISSF adalah sistem penyimpanan SF diluar fasilitas SFP yang ada didalam bangunan PLTN, walaupun secara teknologi fasilitas ISSF mempunyai basis yang sama dengan SFP.

Kolam penyimpanan SF mempunyai dimensi panjang 40-50 x lebar 23-26 x dalam 40-43 kaki³ terbuat dari beton bertulang dengan ketebalan ~5 kaki yang dikelilingi oleh plat baja pada bagian dalamnya, dimana SF diletakkan pada kedalaman 20 kaki dan air kolam akan berfungsi sebagai perisai terhadap radiasi yang dilepaskan oleh SF serta suhu air dijaga agar selalu dibawah 50 °C [5]. Penyimpanan secara basah efektif untuk lokasi yang mempunyai area penyimpanan yang terbatas, karena dapat memberikan kerapatan penyimpanan yang tinggi [6].

Proses pendinginan SF dilakukan dengan menggunakan air demineralisasi dan integritas dari material SF diatur dengan cara menjaga suhu kelongsong SF agar selalu dalam keadaan suhu rendah. Untuk pendinginan SF dalam waktu yang pendek maka kapasitas pelepasan panasnya dari sistem pendingin kolam SFP harus dirancang dengan cukup agar kemampuan pendinginan SF meningkat dengan menjaga kemampuan pemindahan panas dari kelongsong SF dan *shielding* dari bahan *transport cask* untuk SF. Dimana alat ini digunakan untuk memindahkan SF dari fasilitas SFP ke ISSF [7].

Ada banyak faktor yang harus diperhatikan berkaitan dengan aspek keselamatan dan pengelolaan limbah pada pengoperasian ISSF, seperti kekuatan, sistem monitoring, pelepasan

radionuklida ke ruangan ISSF maupun ke lingkungan, resiko radiasi, pembangkitan radionuklida, proteksi lingkungan, optimalisasi limbah dan lain sebagainya [8-17].

Komponen utama dari suatu fasilitas ISSF terdiri dari [18],

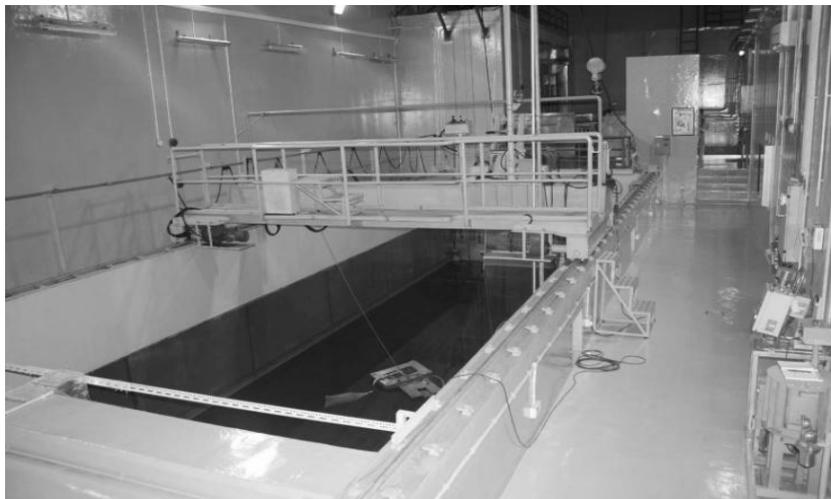
- Kolam SF,
- Rak penyimpanan SF,
- Sistem sirkulasi air pendingin, pendinginan dan *clean-up*,
- Peralatan penanganan SF,
- Peralatan penanganan *cask* (seperti *overhead crane*),
- *Cask* untuk transportasi SF,
- Sistem penyedia catu daya untuk kondisi darurat.

Sedangkan cara untuk memastikan bahwa fungsi-fungsi dari ISSF berjalan dengan memperhatikan keadaan/kondisi [19],

- *Containment*, SF ditaruh dan didinginkan di dalam kolam air demineral,
- *Subcriticality* rak penyimpanan SF secara meyakinkan akan menjaga kondisi SF selalu dalam keadaan subkritis,
- *Heat removal*, sirkulasi air pendingin melalui system pemindahan panas
- *Shielding*, SF dijaga pada kedalaman air yang cukup,
- *Protection of fuel cladding*, air demineral cukup memberikan fungsi pendinginan dan menjaga suhu selalu rendah,
- *Protection against external hazards*, struktur dari fasilitas ISSF dirancang untuk mampu menghadapi kondisi bahaya yang datang dari luar fasilitas.

Setelah waktu penyimpanan SF berakhir, *pool liner*, rak penyimpanan dan sirkulasi, sistem pendinginan dan pembersih air kolam diharapkan akan menjadi limbah radioaktif yang beraktivitas rendah. Sistem filter pada sistem sirkulasi akan menjadi limbah yang beraktivitas sedang atau tinggi, sedangkan sistem komponen pada bangunan fasilitas ISSF akan menjadi limbah yang bersifat non-radioaktif. [20]. Gambar 2 menunjukkan salah satu fasilitas ISSF jenis kolam yang ada di PTLR-BATAN, Serpong.[21].

Dalam makalah ini akan diperlihatkan proyeksi penyiapan fasilitas ISSF yang disesuaikan dengan proyeksi pembangunan PLTN di pulau Jawa sampai dengan tahun 2048. Tujuan dari makalah ini adalah memperkirakan kebutuhan ISSF dari pembangunan PLTN di pulau Jawa untuk penyusunan peta jalan (*roadmap*) Program Nasional Kegiatan Pengelolaan Limbah Radioaktif jangka panjang satu abad.



Gambar 2. Fasilitas ISSF jenis basah atau kolam di BATAN-Serpong

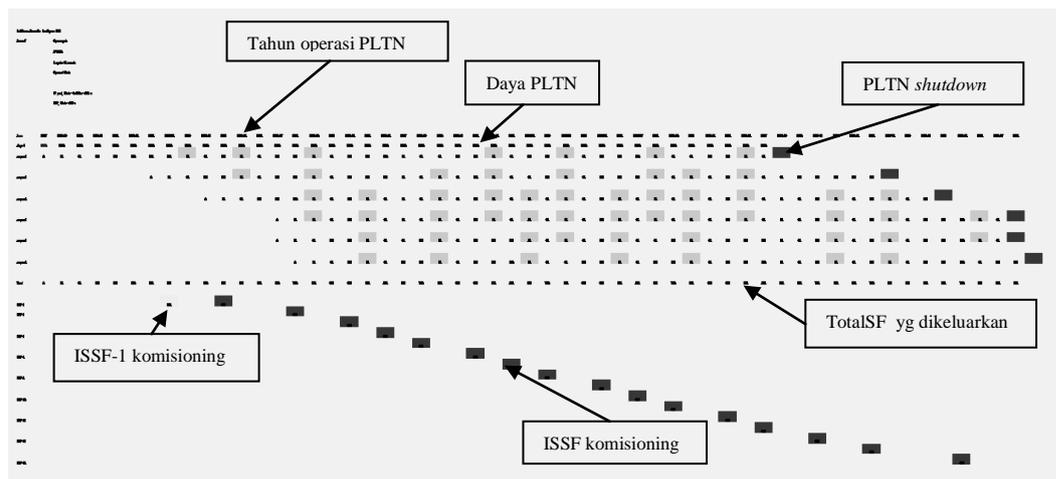
METODE

Untuk menentukan banyaknya fasilitas ISSF yang diperlukan maka beberapa asumsi digunakan sebagai dasar perhitungannya, seperti siklus bahan bakar terbuka, jenis reaktor AP1000, siklus operasi 18 bulan, operasi PLTN 60 tahun, SF yang dikeluarkan per-siklus adalah 24 ton/reactor, kapasitas SFP untuk 10 tahun (2 reaktor @168 ton), kapasitas ISSF untuk 20 tahun (2 reaktor@ 336 ton) [22-24], lokasi ISSF tidak terlalu jauh dengan fasilitas PLTN, pembangunan ISSF 3 tahun, tanpa kegiatan repatriasi SF. Dengan menggunakan perhitungan sederhana berbantuan program *excel* maka jumlah dan jadwal operasi serta pembangunan fasilitas ISSF yang diperlukan untuk operasi PLTN selama 60 tahun di pulau Jawa dapat diperkirakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 1 terlihat bila pada tahun 2027 PLTN-1 telah mulai beroperasi di pulau Jawa dengan daya 2@1000 MWe yang disusul dengan PLTN-2 tahun 2036 dengan daya yang sama dan *batch* pembangunan PLTN terakhir akan beroperasi pada tahun 2048 dengan total daya yang akan disumbangkan dari seluruh PLTN menjadi sekitar 12.000 MWe. Jarak pembangunan antara PLTN-2 ke 3 dan PLTN ke-3 dan ke-4 berjarak sekitar 5 tahun sedangkan selanjutnya pengoperasiannya dilakukan pada tahun yang berurutan, hal ini diasumsikan bila pada pembangunan PLTN ke-4 dan seterusnya kemampuan anak bangsa untuk mengkonstruksi suatu PLTN telah teruji setelah berhasil membangun PLTN-1,2 dan 3.

Menggunakan asumsi seperti yang disebutkan diatas tadi, proyeksi SF yang harus dikelola pada suatu fasilitas ISSF akan dapat dihitung. Di bawah ini –Gambar 3- adalah perhitungan banyaknya SF yang dikeluarkan dari operasi PLTN di pulau Jawa sejak tahun 2027 sampai dengan berakhirnya operasi reaktor/PLTN di tahun 2108 dengan total daya 12.000 MWe dan juga hasil proyeksi pembangunan ISSF di pulau Jawa.



Gambar 3. Perhitungan total volume SF dan operasi ISSF di pulau Jawa

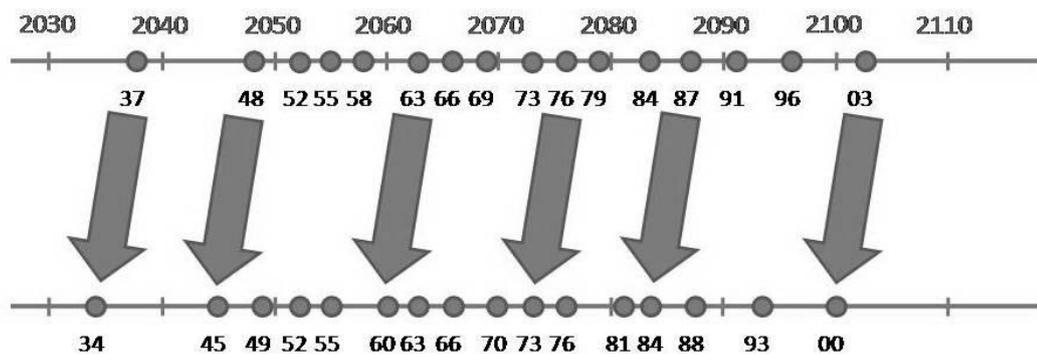
Dengan *constrain* banyaknya SF yang dihasilkan per-siklus operasi, kapasitas SFP dan ISSF maka hasil proyeksi operasi ISSF dapat didiperoleh. Hasil ini selanjutnya dapat digunakan untuk merencanakan jadwal pembangunan ISSF-1 dan seterusnya. Hasil yang diperoleh memperlihatkan bahwa pada tahun 2037 fasilitas SFP dari PLTN-1 (2@1000 MWe, operasi 2027) telah penuh sehingga SF yang ada di SFP dikedua PLTN-1 harus segera dipindahkan ke fasilitas ISSF-1. Besar kapasitas fasilitas ISSF untuk menampung SF adalah setara dengan operasi reaktor selama 20 tahun (~672 tHM), maka ISSF-1 yang disiapkan dapat untuk menampung SF dari PLTN-1 dan juga PLTN-2.

Dengan asumsi pembangunan fasilitas ISSF adalah 3 tahun (di Jerman,asumsi 2 tahun [25]), maka fasilitas ISSF-1 harus segera mulai dibangun pada tahun 2034 agar dapat beroperasi menampung SF dari PLTN-1 pada tahun 2037. Kapasitas muat ISSF-1 yang besar diharapkan

akan dapat menampung keluaran SF tidak hanya dari PLTN-1 saja tetapi juga dapat dari PLTN-2 dan berdasarkan perhitungan fasilitas ISSF-1 diperkirakan menjadi penuh pada tahun 2042.

Perhitungan selanjutnya adalah dengan memperhatikan waktu tinggal SF di SFP yang sekitar 3-4 tahun dan jumlah total SF dari ke semua operasi PLTN, maka SF tersebut dapat segera dipindahkan ke fasilitas ISSF selanjutnya. Demikian kebijakan pemindahan semua SF ke ISSF sehingga pada akhir tahun 2108 dari kegiatan pemindahan SF tersebut dapat ditentukan jumlah total unit fasilitas ISSF di pulau Jawa akan mencapai sekitar 16 unit. Inipun masih meninggalkan beberapa ton SF di SFP masing-masing PLTN. Dari perhitungan yang dilakukan telah diperoleh jadwal pengoperasian dari ISSF untuk menampung keluaran SF dari PLTN seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, demikian pula dengan jadwal pembangunannya dapat ditunjukkan pada gambar tersebut.

Bila semua SF akan dikeluarkan seluruhnya dari SFP-PLTN, maka diperlukan tambahan sekitar 2 unit ISSF lagi sehingga total yang harus disiapkan sampai akhir operasi semua PLTN di tahun 2108 menjadi 18 unit ISSF.



Gambar 4. Perkiraan jadwal operasi dan pembangunan ISSF di pulau Jawa

KESIMPULAN

Perkiraan proyeksi fasilitas penyimpanan sementara bahan bakar bekas dalam rangka operasi PLTN 12.000 MWe di pulau Jawa telah dilakukan, dan hasilnya menunjukkan bahwa dengan memperhatikan total SF yang dikeluarkan dari masing-masing PLTN, keterbatasan volume SFP dan kapasitas ISSF yang dibangun maka dengan bantuan program *excel* dapat dibuat suatu perhitungan sederhana tentang penjadwalan rencana pengoperasian dan pembangunan fasilitas ISSF selanjutnya. Operasi ISSF-1 akan dimulai pada tahun 2037, sehingga pembangunan ISSF-1 harus dimulai pada tahun 2034. Meningkatnya operasi PLTN dari 2000 MWe menjadi 4000 MWe diteruskan sampai menjadi 12.000 MWe menyebabkan pula peningkatan kebutuhan fasilitas ISSF, sehingga pada akhir kegiatan operasi PLTN jumlah ISSF yang beroperasi menjadi 16 unit. Untuk menampung jumlah SF yang masih tersisa di masing-masing PLTN maka diperlukan lagi tambahan fasilitas ISSF sehingga total ISSF menjadi 18 unit.

DAFTAR PUSTAKA

1. ESDM, Kajian Supply Demand Energy, Pusat Data dan Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral, Kementerian ESDM, Jakarta (2012).
2. A.Sugiyona, AD. Permana, MS. Boedoyo, Adiarso, Outlook Energy Indonesia 2013, Pustekbang SDE-BPPT, Jakarta (2013).
3. BATAN, Indonesia’s Nuclear Energy Outlook (INEO), PKSEN-BATAN, Jakarta (2014).
4. RM. Latanision, The Bridge, Lingking Engineering and Society, Vol 42, No. 2, Nat.Ac. of Sci., Washington, DC 20418 (2012).

5. G. Chaturvedi, T. Doughty, J. Feula, K. Smith, An Investigation of People's Concerns about Interim Storage of Spent Nuclear Fuel in the United States, Worcester Polytechnic Institute (2008).
6. R. Alvarez, J. Beyea, K. Janberg, JM. Kang, Ed Lyman, A. MacFarlane, G. Thompson, FN. von Hippel, *Science and Global Security*, **11**, (2003) 1–51.
7. IAEA, Survey Of Wet and Dry Spent Fuel Storage, TECDOC 1100, IAEA, Vienna-Austria (1999).
8. IAEA, Guidance for the Application of an Assessment Methodology for Innovative nuclear Energy Systems, INPRO Manual-Waste Management, IAEA-TECDOC-1575, Volume 4, October 2007.
9. STUK, Seismic Events and Nuclear Power Plants, Guide YVL 2.6 / 19 December 2001, 3rd revised edition, Helsinki 2002, Dark Oy.
10. AEC, *J. Disaster Research* Vol.2 No.5, (2007) 394-401.
11. JD. Werner, U.S. Spent Nuclear Fuel Storage, CRS Report for Congress, May 24, 2012.
12. P. Gordon, G. Nicole, H. Hannah, R. Dylan; and V. Robert, Improvement of Spent Fuel Storage with Advanced Mechanical Shielding Placement, University of Tennessee Honors Thesis Projects (2014).
13. F. Nimander, Investigation of Spent Nuclear Fuel Pool Coolability, Master Thesis, Division of Nuclear Reactor Technology, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, August 2011.
14. R. Alvarez, Spent Nuclear Fuel Pools in the U.S., Institute for Policy Studies, Washington, DC 20036 (2011).
15. IAEA, Further Analysis of Extended Storage Of Spent Fuel, TECDOC 944, IAEA, Vienna-Austria (1997).
16. IAEA, Long Term Storage of Spent Nuclear Fuel-Survey and Recommendations, TECDOC 1293, IAEA, Vienna-Austria (2002).
17. R. Kim, *Science and Technology of Nuclear Installations*, Vol 2015, Artikel ID 718592, 4 pages, Jan 28, (2015).
18. H. Feiveson, Z. Mian, M.V. Ramana and F. von Hippel, Managing Spent Fuel from Nuclear Power Reactors, International Panel on Fissile Materials (2011).
19. IAEA, Design of Spent Fuel Storage Facilities, SS no. 116, IAEA, Vienna-Austria (1994).
20. Hitachi, UK ABWR Generic Design Assessment Preliminary Safety Report on Spent Fuel Interim Storage, Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd, (2014).
21. BATAN, National Report on Compliance to Joint Convention on The Safety of Spent Fuel Management and on The Safety Of Radioactive Waste Management, Jakarta (2011).
22. CL. Grundy, Generic Design Assessment AP1000® Nuclear Power Plant Design by Westinghouse Electric Company LLC, Env. Agency Horizon house, Deanery Road Bristol BS1 5AH, UK (2011).
23. H. Richards, Spent Nuclear Fuel-the Poisoned Chalice, a paper for the Nuclear Consultation Group, March 2009.
24. Anonim, Fixed Unit Price Simulation for Disposal of Spent Fuel from New Nuclear Power Stations in the UK, Research Report, Jackson Consulting, Cheshire-UK (2010).
25. B. Thomauske, *WM'03 Conf.*, Tucson AZ, (2003) 1-12.