

STUDI PROSPEK PLTN DAYA KECIL NUSCALE DI INDONESIA

Rr. Arum Puni Rijanti, Sahala M. Lumbanraja

Pusat Pengembangan Energi Nuklir (PPEN) – BATAN
Jalan Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta Selatan 12710
Telp/Fax: (021) 5204243 Email: apunir@batan.go.id

Masuk: 7 Maret 2012

Direvisi: 17 April 2012

Diterima: 15 Mei 2012

ABSTRAK

STUDI PROSPEK PLTN DAYA KECIL NUSCALE DI INDONESIA. *Kebutuhan energi listrik di Indonesia semakin meningkat sebanding dengan pertumbuhan penduduk, pendapatan masyarakat, dan peningkatan gaya hidup masyarakat, seperti penggunaan teknologi informasi, dll. Berbagai alternatif pembangkit listrik perlu dipelajari baik dari segi keandalan pasokan, keekonomian, keselamatan, keamanan, pencemaran lingkungan yang ditimbulkan, sehingga dapat memenuhi kriteria yang ditentukan. Pembangunan PLTN daya besar konvensional di Indonesia terkendala pada penolakan masyarakat dan pembiayaan sehingga menimbulkan keraguan pemerintah untuk mengambil keputusan. PLTN daya kecil NuScale merupakan salah satu alternatif yang dapat diimplementasikan di Indonesia karena biaya modal kecil, pembangunan unit ke-n mudah disesuaikan dengan kebutuhan, waktu konstruksi pendek (kira-kira 3 tahun), kapasitas terpasang lebih besar dari 90%, sistem keselamatan pasif dan inheren.*

Kata kunci: nuscale, PLTN daya kecil, generasi 3+

ABSTRACT

PROSPECT STUDY OF NUSCALE SMALL NPP IN INDONESIA. *Electrical energy demand in Indonesia has increased proportional with population growth, incomes, and improving people's lifestyle, such as the use of information technology, etc. A variety of alternative power generation needs to be studied in terms of supply reliability, economy, safety, security, environmental impact, so as to meet the prescribed criteria. Conventional large nuclear power plant construction in Indonesia is constrained to the rejection of society and thus cast doubt on the government financing decisions. NuScale small nuclear power plant is one alternative that can be implemented in Indonesia because of the cost of capital is small, the construction unit of the n easily tailored to the needs, short construction time (about 3 years), the installed capacity of greater than 90%, passive safety systems and inherent.*

Keywords: nuscale, small NPP, generation 3+

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk, industri dan konsumerisme di bidang teknologi informasi mengakibatkan peningkatan permintaan energi listrik baik di perkotaan maupun di pedesaan. Pembangunan PLTN berdaya besar membutuhkan biaya modal besar, waktu konstruksi lebih dari 5 tahun sehingga resiko pembiayaannya sangat tinggi. Hal ini akan berdampak juga pada penurunan permintaan pemanfaatannya, khususnya dari negara-negara berkembang yang pembangunan infrastrukturnya masih banyak mengandalkan pinjaman modal dari negara donor dan lembaga keuangan internasional.

Berbagai desain PLTN daya kecil banyak dikembangkan, salah satunya adalah NuScale. PLTN ini merupakan reaktor integral yang didesain oleh *NuScale Power Inc.*^[1,2], Amerika Serikat dan mempunyai banyak keunggulan dibandingkan dengan PLTN konvensional. NuScale telah menyelesaikan tahap desain detil dan diajukan ke *Nuclear Regulation Commission (NRC)* Amerika Serikat untuk mendapatkan sertifikat^[1]. PLTN ini berdaya 45 MWe dengan sistem keselamatan pasif dan inheren. NuScale merupakan PLTN jenis PWR generasi 3+. Pergantian bahan bakar dapat dilakukan antara 24 hingga 30 bulan dengan tingkat pengayaan UO_2 sebesar 4,95%. PLTN daya kecil tidak membutuhkan biaya modal yang terlalu besar, mudah disesuaikan dengan kebutuhan, dan waktu konstruksi pendek.

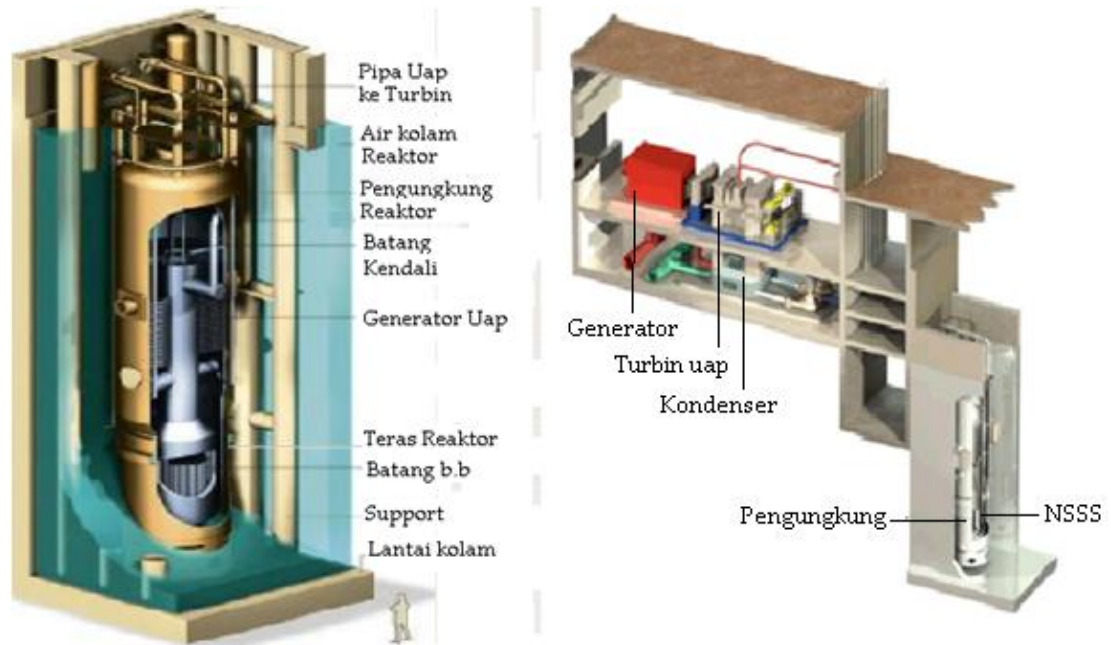
Indonesia terdiri dari banyak pulau dengan tingkat kepadatan penduduk sangat berbeda. Interkoneksi jaringan listrik antar daerah pun belum ada kecuali interkoneksi Jawa-Madura-Bali (JAMALI). Kepadatan penduduk terpadat berada di pulau Jawa dan Sumatra, sementara pulau-pulau lainnya kepadatannya sangat kecil. PLTN daya kecil seperti NuScale merupakan salah satu alternatif pembangkit yang cukup menarik dimanfaatkan di Indonesia untuk memenuhi energi listrik yang tidak terlalu besar, seperti pulau Bangka, Kalimantan, dll.

Prospek PLTN daya kecil dilakukan dengan berbagai kajian dari berbagai literatur. Studi ini bertujuan untuk mengkaji prospek PLTN daya kecil yang cocok diimplementasikan di Indonesia.

2. TEKNOLOGI PLTN NUSCALE

2.1. Karakteristik NuScale

NuScale merupakan reaktor integral berdaya kecil dengan daya termal 150 MWth daya listrik 45 MWe. PLTN ini merupakan generasi 3+ dari reaktor air tekan (PWR, *Pressurizer Water Reactor*) yang dikembangkan oleh *Oregon State University*. Dimensi dari modul bejana pengungku adalah 60 ft x 15 ft (kira-kira 18,3 m x 4,55 m). Bejana reaktor terintegrasi dengan bejana pengungku dan generator uap terintegrasi dengan bejana reaktor. Bahan bakar yang digunakan adalah UO_2 dengan tingkat pengayaan sebesar 4,95% dan interval pergantian bahan bakar yang cukup panjang yaitu 24 – 30 bulan. Tampang lintang teknologi PLTN NuScale ditunjukkan pada Gambar 1. Sedangkan karakteristiknya ditunjukkan pada Tabel 1.



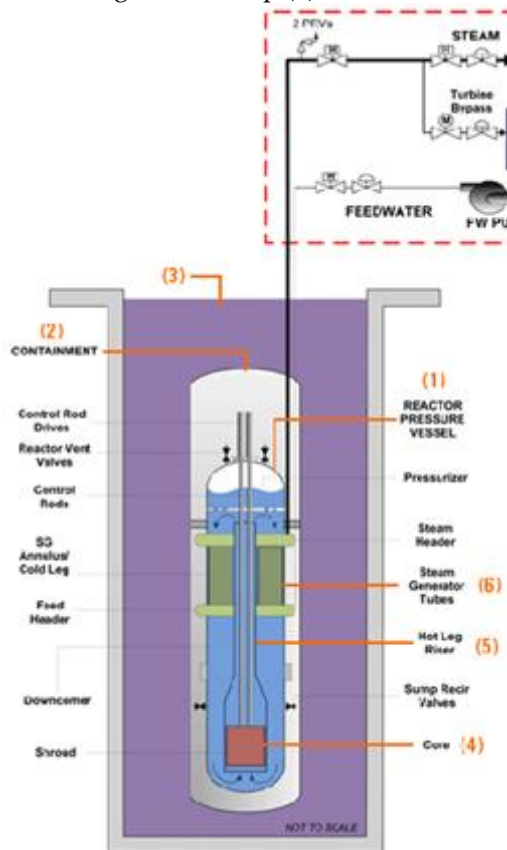
Gambar 1. Tampang lintang NuScale^[1,2,3]

Tabel 1. Karakteristik umum PLTN NuScale^[2]

Karakteristik NuScale		
Tipe Reaktor		PWR
Pendingin		Air
Moderator		Air
Daya	Termal	150 MWth
	Listrik	45 MWe
Bejana	Tinggi	60 feet
Pengungkung	Diameter	15 feet
Bejana Reaktor	Tinggi	45 feet (13,7 m)
	Diameter	9 feet (2,7 m)
	Jenis	UO ₂
Bahan Bakar	Dimensi	17 X 17
	Pengayaan	4,95%
	<i>Refueling Interval</i>	24 - 30 bulan
Faktor Kapasitas		>90%
Jumlah Tabung Generator Uap		Dua bundel tabung independen
Tipe Generator Uap		Vertikal, <i>once-through, helical tube</i>
Panjang Tabung Generator Uap		22,3 m
Jumlah Tabung Generator Uap		1000
Siklus Uap		<i>superheated</i>
Jenis Turbin		Tekanan tunggal, 3600 rpm
Laju Alir Uap		56,1 kg/det.

2.2. Prinsip Kerja NuScale^[3]

NuScale beroperasi dengan prinsip sirkulasi alamiah. Sirkulasi air di dalam reaktor tidak membutuhkan pompa dan hanya menggunakan proses konveksi alamiah. Air dipanaskan di dalam teras reaktor kemudian bergerak menuju bagian atas dari *riser*. Bejana tekan reaktor diletakkan di dalam bejana pengungkung. Bejana reaktor dan bejana pengungkung berada di dalam kolam berisi air (3), seperti ditunjukkan Gambar 2. Operasi NuScale menggunakan prinsip sirkulasi alamiah dan tidak membutuhkan pompa untuk mensirkulasi air di dalam reaktor, melainkan menggunakan proses konveksi. Air dipanaskan melalui bahan bakar atau teras reaktor (4). Suhu air meningkat di dalam bejana, naik ke atas *riser* (5), menuju generator uap (6). Air telah melalui generator uap mempunyai suhu lebih rendah dan kerapatannya lebih besar sehingga turun kembali ke dasar sesuai gravitasi, dan kembali dipanaskan di teras reaktor. Air dalam sistem reaktor dan generator uap dipertahankan dalam keadaan terpisah. Uap air menuju ke turbin (7) dan setelah melewati turbin, uap kembali ke bentuk cair di dalam condenser (9) lalu dipompakan ke pompa air umpan (10) kembali ke generator uap (6). Proses ini kembali ke siklus semula



Gambar 2. Tampang lintang prinsip kerja NuScale^[4]

2.3. Sistem Keselamatan NuScale

PLTN ini didasarkan pada sistem keselamatan dikembangkan dari teknologi AP-1000. Sirkulasi sistem pendingin menggunakan sistem konveksi dan tidak membutuhkan pompa. Sistem keselamatan mempunyai ciri:

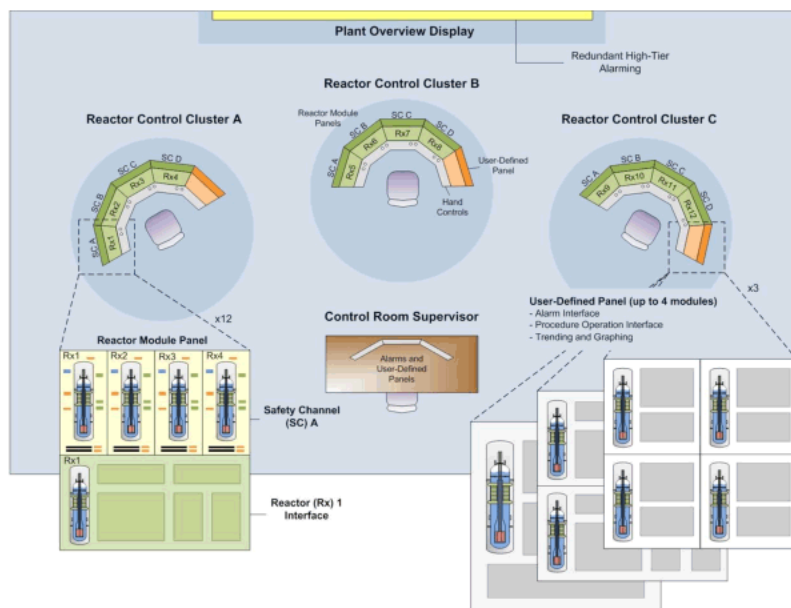
- bejana pengungkung mampu menahan tekanan tinggi
- *shutdown accumulator system (SAS)*

- sistem keselamatan pasif, yaitu sistem pelepasan bahang hasil peluruhan (*Decay Heat Removal System, DHRS*), dan sistem pelepasan bahang pengungkung (*Containment Heat Removal System, CHRS*)
- desain mitigasi dan pencegahan kecelakaan parah

Jika terjadi kecelakaan, maka DHRS dan CHRS akan bekerja. DHRS akan mengalirkan air umpan kedaruratan yang berasal dari dua tangki independen ke tabung generator uap. Air juga dapat diambil dari kolam pendingin pengungkung melalui sekat bak air (*sump screen*). Uap akan dilepaskan melalui alat penyembur (*spargers*) dan dikondensasikan ke dalam kolam. Akumulator air umpan menyediakan aliran umpan sementara transisi DHRS ke aliran sirkulasi alamiah. Kolam air mampu menyediakan suplai pendingin selama 3 hari untuk pelepasan bahang peluruhan. Sedangkan CHRS menyediakan alat pemindah bahang peluruhan teras dan tekanan pengungkung, uap bejana reaktor dialirkan melalui katup alir uap, kemudian dikondensasi di pengungkung. Kondensat dikumpulkan di dalam pengungkung terbawah. Kemudian katup bak air terbuka untuk menyediakan lintasan resirkulasi melalui teras.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Satu modul reaktor NuScale dapat menghasilkan daya kecil sebesar 45 MWe. Pengembangan kapasitas terpasang dapat dilakukan secara bertahap sesuai kebutuhan hingga 12 modul dengan total daya 540 MWe, bahkan dimungkinkan hingga 24 modul pada satu lokasi tapak. Pengoperasian PLTN ini mengadopsi sistem klaster, dimana setiap klaster terdiri dari 4 unit PLTN. Setiap klaster mempunyai satu perangkat panel kendali reaktor. Untuk mengoperasikan 12 unit PLTN dibutuhkan 3 klaster kendali reaktor dan satu ruang kendali untuk supervisor, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Penggunaan satu panel kendali untuk mengoperasikan 4 akan mengurangi biaya konstruksi yang akan berpengaruh pada biaya pembangkitan.



Gambar 3. Tampang lintang RKU NuScale^[2]

NuScale merupakan PLTN generasi 3+ yang dikembangkan dari teknologi AP-1000. PLTN ini merupakan reaktor integral yang mana semua sistem primer seperti bejana reaktor, generator uap, pressurizer, dan teras reaktor ditempatkan pada bejana

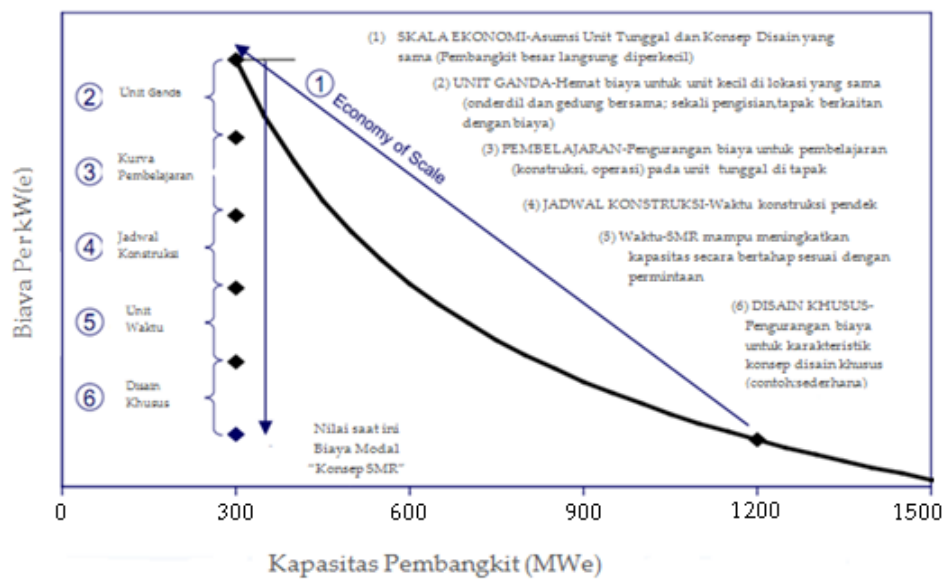
pengungku yang sangat berbeda dengan PLTN generasi 3. Berbagai penyederhanaan desain dilakukan untuk mempercepat dan mempercecil biaya lisensi dan konstruksi, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Penyederhanaan Desain NuScale vs. NuScale

Komponen	AP-1000	NuScale
Komponen	4 pompa pendingin reaktor	ditiadakan
NSSS	4 cold legs	ditiadakan
	2 hot legs	ditiadakan
	1 Pressurizer surge line	ditiadakan
Sistem	2 core make-up tank dan pemipaan (2000 ft ³)	ditiadakan
Keselamatan	2 direct vessel injection lines	ditiadakan
Pasif	2 passive residual heat removal heat exchangers	ditiadakan
	In-containment storage tank	ditiadakan
	Hydrogen recombiners	ditiadakan

Sistem keselamatan PLTN ini menggunakan sistem keselamatan yang sangat handal yang mana ketika terjadi kecelakaan sistem keselamatan pasif (DHRS, dan CHR) akan bekerja untuk memindahkan panas peluruhan dan panas pengungku sehingga dapat mencegah kecelakaan parah. Bejana pengungku mampu menahan beban tekanan sebesar 3,1 MPa di atas tekanan normalnya.

Menurut analisis Westinghouse, *Present Value Capital Cost (PVCC) model* dipengaruhi oleh 6 faktor yaitu skala ekonomi, unit ganda, pengalaman konstruksi unit sejenis, jadwal konstruksi, lama konstruksi, dan desain^[5]. PLTN daya kecil yang berasal dari PLTN daya (*down scale*) akan mengurangi biaya desain PLTN (skala ekonomi). Pembangunan beberapa PLTN sejenis di tapak yang sama akan mengurangi biaya karena pengalaman yang diperoleh dari konstruksi sebelumnya. Jadwal dan waktu konstruksi juga akan mengurangi biaya jika dilakukan sesuai waktu yang ditentukan. Desain yang sederhana juga akan mengurangi biaya. Penurunan biaya per kWe dari ke 6 faktor di atas ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Present Value Capital Cost (PVCC) Model^[5]

Keuntungan NuScale:

- Dasar rancangan PLTN ini didasarkan pada teknologi reaktor air tekan (PWR) konvensional.
- Sistem pendingin didasarkan hanya pada konveksi alamiah dan tidak membutuhkan pompa untuk menggerakkan air pendingin seperti pada PWR konvensional.
- Pergantian bahan bakar disesuaikan dengan kondisi setiap unit PLTN dan tidak mempengaruhi operasi unit-unit PLTN lainnya.
- Waktu konstruksi lebih pendek daripada PLTN konvensional. Yaitu kurang dari 3 tahun. Hal ini dapat diwujudkan karena hampir semua telah berbentuk modul-modul yang siap untuk dirakit di lokasi tapak.
- Luas tapak yang dibutuhkan sangat kecil hanya sekitar 44 are (4400 m²) untuk 12 unit PLTN

Kerugian NuScale:

- Jumlah unit PLTN yang dapat dikembangkan hingga 12 unit dalam satu lokasi dan hanya mempunyai satu ruang kendali utama (RKU) seperti ditunjukkan pada beberapa PLTN dalam satu lokasi harus diatur dan dikendalikan secara teliti baik saat perawatan dan penginspeksian.
- Setiap modul PLTN membutuhkan infrastruktur transportasi yang mampu mengangkut beban berat ketika konstruksi dilakukan di lokasi.
- Bejana reaktor harus dipindahkan menggunakan crane ke ruang perawatan khusus ketika dilakukan pergantian bahan bakar. Semua pekerjaan ini dilakukan menggunakan peralatan yang dioperasikan secara jarak jauh.
- Partisipasi industri nasional akan semakin kecil jika dibangun di Indonesia karena hampir semua modul-modul sudah dipabrikasi di negara pembuat.

Dari pengalaman Perancis dan Korea Selatan bahwa pembangunan beberapa unit sejenis dengan standar yang sama akan mengurangi biaya pembangkitan 10-15% jika dibangun di satu lokasi^[6]. Pembangunan PLTN daya besar membutuhkan biaya modal yang sangat besar sebaliknya dengan PLTN daya kecil. Biaya modal dan resiko investasi yang besar menyebabkan negara-negara berkembang kesulitan untuk memanfaatkan PLTN selama ini. Peluang PLTN daya kecil dimanfaatkan di Indonesia perlu dipertimbangkan karena biaya modal dan resiko investasi kecil, tingkat keselamatan dan keamanan tinggi, dan dapat dibangun secara bertahap sesuai kebutuhan.

4. KESIMPULAN

NuScale merupakan PLTN integral (generasi 3+) dengan daya 45 MWe yang didesain oleh NuScale Power Inc. Amerika Serikat. Semua komponen-komponen *nuclear island* berada di dalam bejana pengungkung, sehingga mengurangi kemungkinan kecelakaan parah seperti terjadi pada PLTN generasi sebelumnya. Beberapa komponen NSSS dan beberapa komponen sistem keselamatan ditiadakan seperti 4 pompa pendingin, 2 hot legs, 2 cold legs, dll. yang mana hal ini akan mengurangi biaya modal dan biaya pembangkitan. PLTN ini cocok dikembangkan di Indonesia khususnya di daerah dengan jaringan listrik yang belum terinterkoneksi antar daerah dengan kebutuhan energi yang tidak terlalu besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. SUBKI M H, "Update on SMR Technology Status and IAEA Programme on Common Technology and Issues for SMRs", IAEA
http://www.iaea.org/INPRO/cooperation/5th_GIF_Meeting/Subki.pdf, diunduh 18 Mei 2012
- [2]. REYES J N, "Introduction to NuScale Design, Proceeding on Technology Assessment of Small and Medium-sized Reactors (SMRs) for Near Term Deployment", Vienna, Austria, 5 - 9 December 2011.
http://www.iaea.org/NuclearPower/Downloads/Technology/meetings/2011-Dec-5-9-WS-SMR/Day-2/15_USA_Reyes_NuScale_SMRDec2011.pdf, diunduh 18 Mei 2012
- [3]. _____, "History and Technology, NuScale Power", diunduh 15 Mei 2011
- [4]. LORENZINI P, "Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future",
http://cybercemetery.unt.edu/archive/brc/20120621015003/http://brc.gov/sites/default/files/meetings/presentations/lorenzini_brc_aug_2010.pdf diunduh 15 Mei 2011
- [5]. KUZNETSOV V, BARKATULLAH N, "Approaches to Assess Competitiveness of Small and Medium Sized Reactors", http://www.pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1500_CD_Web/htm/pdf/topic1/1S01_V.%20Kuznetsov_PM.pdf, diunduh 8 April 2012
- [6]. LUMBANRAJA S M, WIBOWO, "Reaktor Nuklir Daya Kesil Sistem Modul 4S (Super Safe, Small, and Simple)", Jurnal Pengkajian Sains dan Teknologi Nuklir, PPdIN-BATAN, Juni 2002.