

# STUDI TEKNO-EKONOMI REAKTOR MAJU APWR- MITSUBISHI

Bandi Parapak, Sahala M. Lumbanraja  
Pusat Pengembangan Energi Nuklir-Badan Tenaga Nuklir Nasional  
Jl. Kuningan Barat Jakarta Selatan  
Telp/Fax: (021) 5204243, email: [parapak@yahoo.com](mailto:parapak@yahoo.com), [sahala\\_radja@yahoo.com](mailto:sahala_radja@yahoo.com)

## ABSTRAK

*STUDI TEKNO-EKONOMI REAKTOR APWR- MITSUBISHI. APWR- Mitsubishi merupakan PLTN generasi maju jenis air tekan dan berpendingin air ringan yang dikembangkan oleh Mitsubishi Heavy Industry - Jepang dan Westinghouse – USA. PLTN ini dikembangkan berdasarkan prinsip-prinsip operasi dan perawatan sederhana, keselamatan tinggi, lebih ramah lingkungan, keandalan tinggi, dan lebih ekonomis. Untuk mendukung program pemerintah yang berencana akan membangun PLTN di Indonesia, maka perlu dikaji berbagai jenis PLTN yang telah dikembangkan di dunia. Pada makalah ini akan dibahas masalah perkembangan teknologi APWR Mitsubishi, sehingga saat dilakukan tersedia data-data teknologi dari berbagai jenis reaktor daya. Dari hasil kajian disimpulkan bahwa APWR-Mitsubishi lebih unggul dibandingkan PWR konvensional.*

*Kata kunci: APWR-Mitsubishi, reaktor, keandalan, lingkungan*

## ABSTRACT

*TECHNO-ECONOMIC ASSESMENT OF APWR- MITSUBISHI. APWR- is a third generation of pressurized water reactor type developed by Westinghouse with a light water as coolant,. This type of NPP is developed base on a very simple operation and maintenance principle, high safety, more environmentally friendly, high reability, and more economic. Further study on several type of NPP is needed to support the government program on constructing the NPP. This paper will discuss the technologi of APWR-Mitsubishi to help providing the technologi data, which required on tender process. From result of assesment concluded that APWR-Mitsubishi more better than PWR conventional.*

*Key words: APWR-Mitsubishi, reactor, reability, enviroment*

## 1. PENDAHULUAN

Pemerintah Indonesia berencana akan memanfaatkan PLTN untuk mendukung keamanan dan keandalan pasokan kelistrikan nasional, sehingga pertumbuhan ekonomi dan keamanan nasional lebih baik dan terjamin. Salah satu indikator kemajuan suatu bangsa ditentukan oleh keamanan dan keandalan pasokan energi terutama energi listrik. Untuk mendukung rencana ini, pemerintah telah mengundang Undang-undang No. 17 tahun 1997 tentang pemanfaatan tenaga nuklir dilakukan secara tepat dan hati-hati serta ditujukan untuk maksud damai, Peraturan Pemerintah No. 5/2006 tentang Bauran Energi Nasional, Undang-undang No. 17 tahun 2007 tentang pemanfaatan tenaga nuklir untuk pembangkitan listrik dengan mempertimbangkan faktor keselamatan yang ketat, dan Undang-undang No. 30 tahun 2007 tentang Diversifikasi dan Konservasi Energi.

APWR-Mitsubishi merupakan reaktor generasi maju yang dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan energi dunia. Reaktor ini merupakan evolusi dari rancang bangun PWR yang sedang beroperasi saat ini, tetapi menggunakan teknologi maju untuk meningkatkan keselamatan, keandalan, keekonomian, dan pengoperasian<sup>[1]</sup>. Jenis PLTN dirancang oleh Mitsubishi-Jepang dan Westinghouse-Amerika Serikat yang dapat menghasilkan daya termal yang dihasilkan sebesar 4451 MWt dengan efisiensi termal sebesar 39% dan dapat memanfaatkan bahan bakar *mixed oxide* (MOX). APWR ini menggunakan sistem keselamatan aktif, pasif, dan inheren. Sistem instrumentasi dan kendali menggunakan teknologi digital secara penuh. PLTN ini mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan PWR konvensional, seperti lebih ekonomis, lebih ramah lingkungan, keandalan lebih tinggi, dan sistem keselamatan lebih tinggi.

Perkembangan tekno-ekonomi berbagai jenis PLTN perlu dipelajari dan dikaji, khususnya jenis air tekan. Pada makalah ini akan dibahas teknologi APWR-Mitsubishi jenis air tekan dan sistem keselamatan secara umum, serta prospek reaktor ini sebagai salah satu alternatif sistem energi untuk mensuplai kebutuhan energi listrik di masa datang. Perkembangan reaktor ini perlu diikuti, dipahami, dan dikaji lebih mendalam untuk melengkapi *data base* PLTN yang dapat digunakan di Indonesia.

## **2. TEKNO-EKONOMI APWR-MITSUBISHI**

### **2.1 Sistem Nuklir APWR**

APWR-Mitsubishi dirancang oleh Mitsubishi Heavy Industri, Jepang dan Westinghouse, Amerika Serikat. Reaktor ini merupakan evolusi PWR yang sedang beroperasi saat ini di Jepang dan Amerika Serikat. PLTN ini mempunyai beberapa kelebihan, seperti unjuk kerja tinggi, dapat menggunakan bahan bakar MOX, menggunakan sistem keselamatan aktif dan pasif.

#### **2.1.1 Desain Teras dan Bahan bakar**

Berbagai pengembangan APWR-Mitsubishi telah dilakukan terhadap teras reaktor sehingga siklus bahan bakar lebih panjang dari PLTN yang ada saat ini. Teras reaktor ini mempunyai 257 perangkat bakar (*fuel assemblies*) dengan konfigurasi 17 x 17, yang dapat menghasilkan daya 4451 MWt.

Tinggi dan diameter teras aktif masing-masing 3,7 m dan 3,9 m, sedangkan kerapatan daya reratanya sebesar 103 kW/l. Untuk mengantisipasi kemungkinan penggunaan bahan bakar MOX di masa datang, dan derajat bakar dari bahan bakar yang mempunyai siklus panjang, maka teras APWR dirancang khusus agar dapat menampung 1/3 atau lebih bahan bakar MOX dengan derajat bakar tinggi. Perangkat bakar menggunakan kisi *zircalloy* (*zircalloy grid*) yang mempunyai serapan neutron rendah. Sistem penanganan dan transfer bahan bakar dilakukan secara otomatis yang dikendalikan dari ruang kendali utama. Data parameter desain teras ditunjukkan pada Tabel 1.

#### **2.1.2 Komponen-komponen Utama**

Komponen-komponen utama APWR terdiri dari bejana tekan reaktor, internal reaktor, generator uap, dan pompa pendingin reaktor. Diameter bagian dalam bejana reaktor ini lebih panjang dari reaktor konvensional yaitu sebesar 5,2 m, dan dapat menampung 257 *fuel assemblies*. Dimensi radial dari reaktor internal lebih panjang dari reaktor konvensional. Reflektor neutron terdiri dari 8 cincin yang terbuat dari *stainless steel*, berfungsi untuk mengurangi biaya bahan bakar dan paparan bejana reaktor dan teras internal. Generator uap yang lebih besar dibutuhkan untuk menyesuaikan kapasitas daya

sebesar 4451 MWt. Kapasitas air pendinginnya juga lebih besar 30 % dari reaktor konvensional.

Tabel 1. Parameter desain APWR-MITSUBISHI<sup>[1,2]</sup>.

Nama Reaktor		APWR
Perancang		Mitsubishi, Jepang/Westinghouse, USA
Tipe		PWR Maju
Daya		1700 MWe (net)
		4.451 MWth
Sistem pendingin reaktor	Tekanan operasi reaktor	15.4 MPa
	Laju alir pendingin primer	27,76 m <sup>3</sup> /s
	Suhu masuk pendingin (RPV inlet)	289 °C
	Suhu keluar pendingin (RPV outlet)	325 °C
Bejana reaktor	tinggi	13,6 m
	diameter	5,2 m
Teras reaktor	tinggi	3,7 m
	diameter	3,9 m
	Kerapatan daya teras rerata	103 kW/l
Bahan bakar	Jumlah bahan bakar	264
	Tipe	UO <sub>2</sub> ( <i>sintered</i> )
	Pengkayaan	- %
	Frekuensi pergantian	18 bulan

## 2.2 Sistem Keselamatan

Pembangkit ini juga menerapkan pertahanan berlapis untuk kecelakaan mitigasi, sehingga kemungkinan kerusakan teras sangat kecil. PLTN ini mempunyai sistem keselamatan aktif, pasif, dan inheren. Sistem keselamatan aktif merupakan sistem keselamatan yang dikendalikan oleh operator. Sistem keselamatan pasif berfungsi untuk menjaga pendinginan teras dan integritas pengungkung secara otomatis tanpa bantuan operator jika terjadi kecelakaan. Sistem keselamatan ini terdiri dari sistem pendingin teras pasif, isolasi pengungkung, sistem pendingin pengungkung pasif dan sistem kedaruratan ruang kendali utama. Sedangkan sistem keselamatan inheren didasarkan pada konsep desain sederhana, yang mana ketika terjadi kecelakaan, seperti pipa pendingin utama pecah, pembangkit dapat mempertahankan dan mencapai kondisi benar-benar *shutdown* tanpa bantuan operator dan tanpa membutuhkan pompa atau daya AC (*alternating current*). Sistem pendingin teras darurat (*emergency core cooling system, ECCS*) dan sistem penyemprot pengungkung terdiri dari 4 sub sistem mekanik identik dan independen, dengan konfigurasi sebagai berikut <sup>[1,2]</sup>:

- empat sub sistem masing-masing mempunyai 1 pompa injeksi, pompa penyemprot pengungkung, dan pendingin pengungkung,
- satu bak penampung air (*water storage pit*),
- empat tangki akumulator.

Sistem pendingin teras darurat berfungsi untuk membanjiri teras dengan air pendingin jika terjadi kecelakaan. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan keandalan operasi peralatan ketika terjadi kecelakaan. Sistem penyemprot pengungkung (*containment*

*spray system*) yang berfungsi mendinginkan pengungkuhng jika terjadi kecelakaan pipa uap utama pecah.

### 2.3 Aspek Ekonomi

Biaya konstruksi untuk PLTN harus dapat diminimalisir agar dapat berkompetisi dengan pembangkit lain, yaitu dengan memperpendek waktu konstruksi. Umumnya pembangunan PLTN membutuhkan waktu sangat panjang (lebih dari 5 tahun). Desain reaktor APWR-MITSUBISHI merupakan evolusi dari PWR yang sedang beroperasi saat ini. Reaktor ini mempunyai beberapa keunggulan, yaitu<sup>[2,3,4]</sup>:

- desain standar untuk mempercepat proses perizinan, mengurangi biaya modal, dan mengurangi waktu konstruksi, sehingga akan mengurangi biaya konstruksi,
- teknologi yang digunakan adalah teknologi terbaru yang akan meningkatkan keselamatan, keandalan, keuntungan ekonomi dan operasional,
- faktor ketersediaan (*availibility*) lebih tinggi karena waktu perawatan (*maintenance outage*) lebih pendek,
- umur operasi lebih panjang karena paparan radiasi lebih kecil,
- lebih ramah lingkungan karena jumlah bahan bekas dapat dikurangi 28%.

## 3. PEMBAHASAN

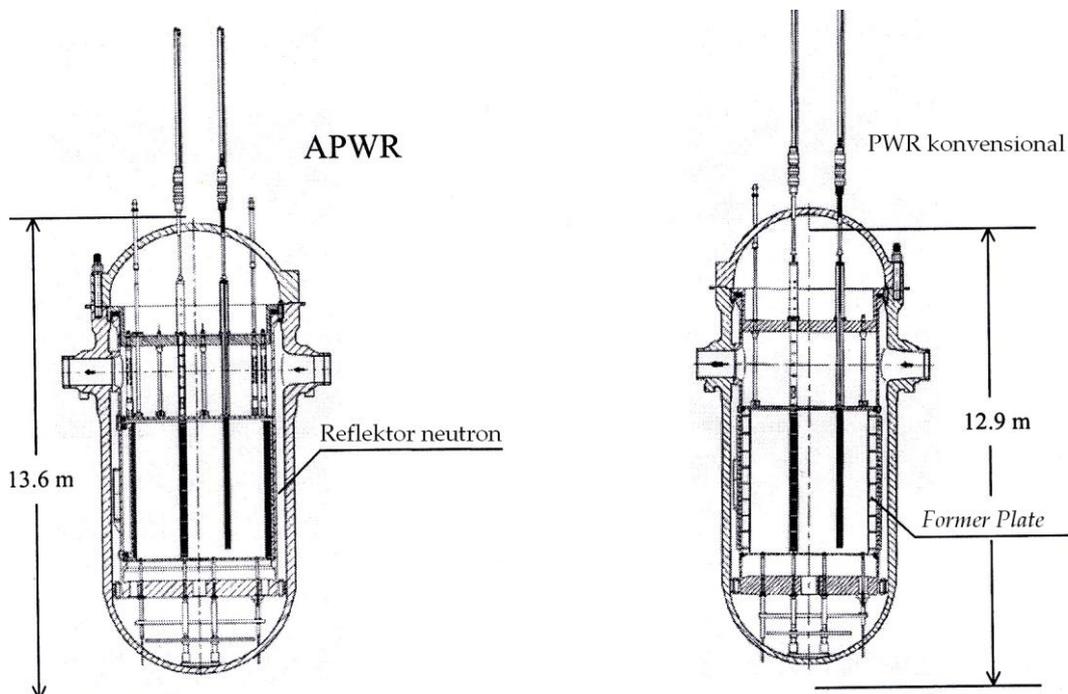
Terkait dengan aspek keselamatan, disain reaktor APWR-Mitsubishi telah menerapkan konsep keselamatan berlapis (*defence in depth*). Secara umum, frekuensi kerusakan teras konvensional kira-kira sebesar  $1 \times 10^{-5}$  per reaktor-tahun, sedangkan untuk APWR dirancang lebih kecil dari PWR konvensional yaitu kira-kira  $2 \times 10^{-7}$  per reaktor-tahun<sup>[2,5]</sup>. Reaktor ini dirancang dengan tingkat keselamatan yang sangat tinggi dengan frekuensi kerusakan teras sebesar 200 kali lebih baik dari PWR konvensional<sup>[2]</sup>. Hal ini dapat dicapai karena APWR ini menggunakan 4 train sistem keselamatan, satu akumulator maju, satu pengungkuhng berisi air untuk pergantiaan bahan bakar, dan sistem instrumentasi dan kendali yang meliputi ruang kendali, keselamatan, dan non keselamatan telah menggunakan teknologi digital secara penuh, sedangkan PWR konvensional masih menggunakan teknologi konvensional. Untuk ruang kendali, dan keselamatan, serta teknologi digital untuk non keselamatan. PWR konvensional menggunakan sistem keselamatan aktif, sedangkan APWR menggunakan sistem keselamatan pasif dan aktif. Sistem keselamatan aktif dibutuhkan jika sistem keselamatan pasif tidak berfungsi secara maksimal. Perbandingan karakteristik APWR-Mitsubishi dan PWR konvensional ditunjukkan pada Tabel 2.

Jumlah bahan bakar dalam teras APWR sebanyak 257 batang yang dapat menghasilkan daya sebesar 4.451 MWt, sedangkan PWR konvensional mempunyai 193 batang bahan bakar dalam teras. Konfigurasi bahan bakar APWR dan PWR konvensional sama, yaitu  $17 \times 17$ . Untuk mengurangi biaya siklus bahan bakar, bahan bakar mengandung *zircalloy* dengan absorpsi neutron rendah, dan dikelilingi reflektor. Gambar 1 menunjukkan perbandingan desain reaktor APWR-Mitsubishi dan PWR konvensional.

Reflektor ini berfungsi untuk mengefektifkan penggunaan neutron, mengurangi neutron yang bocor, dan juga mengurangi paparan radiasi terhadap bejana reaktor dan teras internal. Paparan neutron terhadap bejana reaktor dan teras internal dapat dikurangi kira-kira 1/3 kali dari paparan neutron PLTN konvensional. Dengan demikian, frekuensi kerusakan teras akan semakin kecil, yaitu lebih kecil 200 kali dari reaktor konvensional. Penggunaan reflektor neutron akan meningkatkan keandalan APWR. Bahan *zircalloy* yang digunakan dalam bahan bakar agar bahan bakar yang mempunyai derajat bakar tinggi dan dapat memanfaatkan bahan bakar *mixed oxide* (MOX).

Tabel 2 Perbandingan PWR Konvensional dan APWR-Mitsubishi<sup>[1,2]</sup>

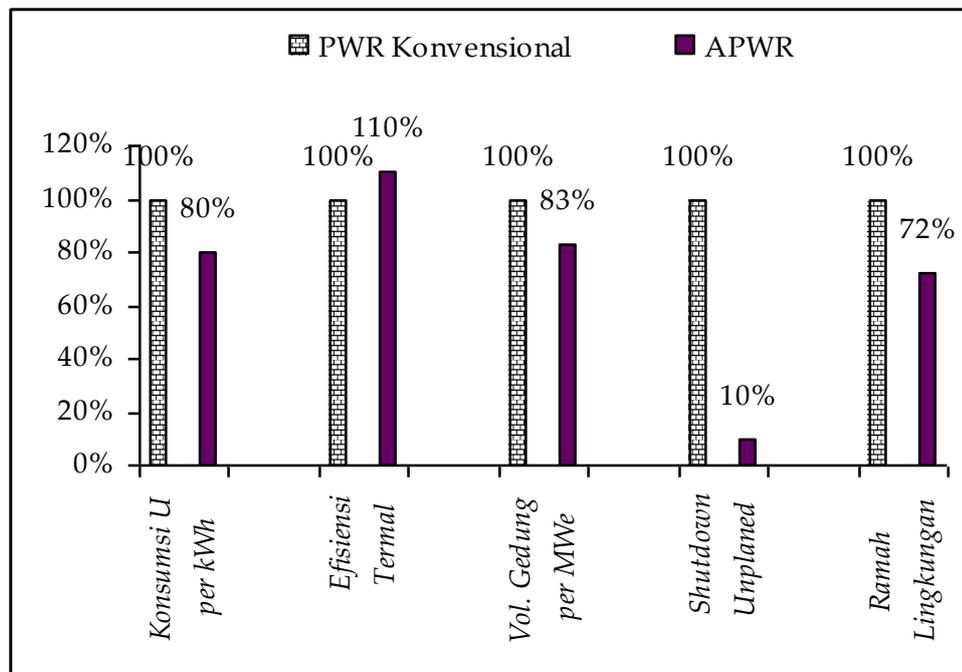
		PWR konvensional 4 untai ( <i>loop</i> )	APWR-Mitsubishi 4 untai ( <i>loop</i> )
Daya	Listrik	1.180 MWe	1700 MWe
	Termal	3.411 MWt	4.451 MWt
Teras dan Bahanbakar	Jumlah bahan bakar	193	257
	Konfigurasi	17 x 17	17 x 17
	Panjang bahan bakar aktif	3,7 m	4,3 m
Jumlah batang kendali		53	69
Internal Reaktor		<i>Baffle</i>	Reflektor Neutron
Sistem Keselamatan	Train	Elektrik	2 <i>train</i>
		Mekanik	2 <i>train</i>
	RWSP ( <i>refueling water storage pit</i> )		Di luar C V
Bejana Pengungkung (CV)	Tipe	PCCV ( <i>Pre-stressed concrete vessel</i> )	PCCV
	Diameter	4,4 m	5,2 m
	Tinggi	13 m	13,3 m
Instrumentasi & Kendali (I&C)	Ruang Kendali	Konvensional	Digital
	I & C Keselamatan	Konvensional	Digital
	I&C Non Keselamatan	Digital	Digital



Gambar 1. Penampang lintang reaktor APWR-Mitsubishi dan PWR Konvensional <sup>[1,2]</sup>.

Untuk sebuah pembangkit nuklir, lebih dari setengah dari total biaya pembangkitan berasal dari biaya investasi<sup>[6]</sup>. Besarnya biaya modal (*capital cost*) merupakan kendala utama PLTN dalam persaingan dengan pembangkit gas dan batubara. Oleh karena itu, biaya investasi yang kecil merupakan prasyarat untuk peningkatan daya saing pembangkit nuklir. Hasil studi yang dilakukan *Organisation for Economic Co-operation and Development - Nuclear Energy Agency (OECD-NEA)* mengidentifikasi bahwa untuk mengurangi biaya modal pembangkit nuklir yang paling signifikan adalah ukuran pembangkit, membangun beberapa pembangkit dalam satu tapak, peningkatan desain, standardisasi, modularisasi, dan peningkatan unjuk kerja. Demikian halnya untuk sistem keselamatan tinggi, umur teras panjang dan siklus bahan bakar panjang juga akan meningkatkan faktor ketersediaan tinggi yang secara ekonomi akan berimplikasi pada meningkatnya pendapatan (*revenue*).

APWR ini lebih lebih ekonomis dibandingkan PWR konvensional karena biaya konstruksi lebih kecil (volume gedungnya (bangunan) per MWe lebih kecil 17 %), waktu konstruksi lebih pendek, waktu perawatan terjadwal lebih pendek, dan paparan radiasi lebih kecil, konsumsi uraniumnya per MWth lebih rendah 16%, efisiensi termalnya lebih tinggi 10%. Kelebihan-kelebihan dari APWR ditunjukkan pada Gambar 2<sup>[2]</sup>.



Gambar 2. Kelebihan APWR-Mitsubishi vs. PWR Konvensional<sup>[2]</sup>.

PLTN ini juga sangat memperhatikan faktor lingkungan., karena bahan bakar bekas yang dihasilkan lebih sedikit 28%, paparan radiasinya lebih kecil, dan dapat memanfaatkan bahan bakar MOX yang diproses ulang dari bahan bakar bekas.

Rancangan APWR-Mitsubishi ini menawarkan berbagai kelebihan dibandingkan PWR konvensional. Dari Gambar 2 di atas telah ditunjukkan berbagai kelebihan APWR-Mitsubishi dari segi tekno-ekonomi dan lingkungan dibandingkan dengan PWR konvensional, tetapi perlu disesuaikan dengan karakteristik tapak dan sistem jaringan listrik di Indonesia. Jenis PLTN ini belum ada yang beroperasi di dunia, sehingga dari segi persyaratan peraturan yang telah diundangkan oleh BAPETEN tentang jenis PLTN yang dapat dibangun di Indonesia adalah jenis PLTN yang telah beroperasi lebih dari tiga (3)

tahun, maka APWR-Mitsubishi belum dapat dibangun di Indonesia. APWR-Mitsubishi direncanakan akan dibangun pada tahun 2010 dan beroperasi pada tahun 2016 di Jepang. Dengan waktu pembangunan PLTN di Indonesia yang belum jelas, maka jenis PLTN ini perlu dicermati dan dikaji lebih mendalam kelebihan dan kekurangan baik dari segi teknologi, ekonomi, lingkungan, perizinan, maupun penerimaan masyarakat, sehingga ketika waktu pembangunan PLTN ditetapkan, maka telah diperoleh data akurat yang dapat digunakan di kemudian hari. Hal ini akan memudahkan pemasyarakatan dan penerimaan masyarakat terhadap kehadiran PLTN di Indonesia..

#### 4. KESIMPULAN

Pembangkit listrik tenaga nuklir APWR-MITSUBISHI merupakan reaktor maju yang dikembangkan oleh Mitsubishi Heavy Industry dan Westinghouse. PLTN ini menggunakan teknologi dan komponen yang telah teruji dengan sistem keselamatan aktif, pasif, dan inheren. Tingkat keselamatan APWR-MITSUBISHI lebih tinggi 200 kali dari PWR konvensional, yaitu frekuensi kerusakan teras konvensional secara umum kira-kira sebesar  $1 \times 10^{-5}$  per reaktor-tahun, sedangkan APWR kira-kira  $2 \times 10^{-7}$  per reaktor-tahun. Juga sistem instrumentasi dan kendali yang meliputi ruang kendali, keselamatan, dan non keselamatan telah menggunakan teknologi digital secara penuh, sedangkan PWR konvensional masih menggunakan teknologi konvensional. Dari segi ekonomi lebih atraktif (konsumsi bahan bakar per MWth, dan volume bangunan per MWe, masing-masing 16 %, dan 17% lebih sedikit, serta efisiensi termal 10% lebih tinggi) dari pada PWR konvensional. Sedangkan dari segi lingkungan, APWR ini lebih ramah lingkungan. Oleh karena itu, APWR-Mitsubishi patut dipertimbangkan sebagai salah satu kandidat PLTN yang akan dibangun di Indonesia.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ANONIM, "APWR-MITSUBISHI", Status of Advanced Light Water Reactor Design 2004, IAEA-TECDOC-1391, May 2004
- [2]. ANONIM, Mitsubishi – US APWR, Juni 2007, <http://www.ne.doe.gov/np2010/pdfs/2%20%20US-APWR%20Overview.pdf>
- [3]. SHIGEMITSU SUZUKI, et. al. , Global Deployment of Mitsubishi Standard APWR as an Effective Countermeasure Against Global Warming, <http://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e453051.pdf>, 11 Feb. 2009
- [4]. MARIO D. CARELLI AND BOJAN PETROVIC, "Next Generation Advanced Reactor", <http://npj.goinfo.com/NPJMain.nsf/504ca249c786e20f85256284006da7ab/e571143544bd6be1862a88005b6675?OpenDocument>
- [5]. Prof. Bruno Guerrini, Dr.Ing. Sandro Paci, "Lesson of Nuclear Plants: Part IIB. Advanced Reactors", 1999
- [6]. THE UNIVERSITY OF CHICAGO, "The Economic Future of Nuclear Power", August 2004