

**STUDI UNJUK KERJA PWR DI NEGARA PENYEDIA TEKNOLOGI
Kasus Korea Selatan dan Jepang**

Sriyana¹

ABSTRAK

STUDI UNJUK KERJA PWR DI NEGARA PENYEDIA TEKNOLOGI: Kasus Korea Selatan dan Jepang. Pertumbuhan ekonomi nasional perlu dukungan infrastruktur listrik yang cukup. Berbagai alternatif sumber energi dicari untuk menjaga kesinambungan pasokan listrik ini, sekaligus keberlangsungan pembangunan ekonomi. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) menjadi alternatif pembangkit listrik sebagai solusi bauran energi optimum di Indonesia dan direncanakan untuk beroperasi tahun 2016. Berbagai studi telah dilakukan untuk mempersiapkan pembangunannya. Studi ini memfokuskan pada unjuk kerja PLTN tipe PWR di Asia, yakni Jepang dan Korea Selatan. Metode yang digunakan pada studi ini adalah penelusuran literatur dan perhitungan kecil. Parameter yang digunakan untuk studi ini adalah faktor ketersediaan energi rata-rata tiap unit tiap tahun. Studi ini menyimpulkan bahwa: (1) Jumlah PLTN tipe PWR di Jepang sebanyak 22 unit dengan umur operasi total sebesar 526 reaktor tahun dan faktor ketersediaan energi rata-rata tiap unit tiap tahun sebesar 70,7%. Sementara itu tipe yang sama di Korea Selatan sebanyak 16 unit dengan umur operasi total sebesar 222 reaktor-tahun dengan faktor ketersediaan energi rata-rata tiap unit tiap tahun sebesar 86,9%. (2) PWR kelas 1000 MWe baik Korea Selatan maupun Jepang memiliki jumlah unit yang sama, yakni sebanyak 14 unit. Umur operasi total untuk kelas ini berturut-turut untuk Korea Selatan dan Jepang adalah sebesar 170 reaktor-tahun dan 307 reaktor-tahun. Sedangkan faktor ketersediaan energi rata-rata tiap unit tiap tahunnya sebesar 87,0% dan 69,6% berturut-turut untuk Korea Selatan dan Jepang. (3) Besaran faktor ketersediaan energi rata-rata biasanya mendekati dengan besaran faktor kapasitas, untuk itu dirasa penting sebagai masukan dalam penetapan asumsi parameter tekno-ekonomis. Hal ini akan berpengaruh dalam hasil perhitungan ekonomi PLTN secara keseluruhan.

Kata kunci: unjuk kerja PLTN, faktor ketersediaan energi, PWR

ABSTRACT

PERFORMANCE OF PWR STUDY IN THE TECHNOLOGY SUPPLIER COUNTRIES: South Korea and Japan Case. Electricity is needed as an infrastructure to support the national economic growth. For economic development sustainability, energy alternatives should be provided. Nuclear Power Plant (NPP) become the alternative of electricity generation for optimum energy mix in Indonesia and planned to operate in the 2016. Several studies have already done to prepare the NPP construction. This study focused on NPP performance especially PWR type in Asia, namely Japan and South Korea. Methodology used in this study is literature tracing and a small calculation. The energy availability per unit per year is used as a parameter for evaluating the NPP performance. This conclusion are (1) The amount of NPP – PWR type in Japan is 22 units with total operational experiences 526 reactor-years and the average energy availability factor about 70.7% per unit per year. Meanwhile for the same type South Korea has 16 unit with total operational experiences 222 reactor-years and average availability factor per unit per year is about 86.9%. (2) The 1000 class of PWR type both South Korea and Japan have 14 units. The operational experiences for this class is 170 reactor-years for South Korea and 307 reactor-years for Japan. Meanwhile the average availability factor per unit per year is about 87.0% for South Korea and 69.6% for Japan. (3) The average availability factor is closed to capacity factor, so is important for real figure in assuming the techno-economic parameters, because it will influence the result of economic calculation.

Keyword: NPP performance, availability factor, PWR

¹ Bidang Manajemen Persiapan PLTN, PPEB-BATAN

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pertumbuhan pembangunan nasional melalui pengembangan pada sektor industri memerlukan penyediaan energi yang cukup besar. Namun begitu disamping untuk tetap menjamin prinsip pembangunan berkelanjutan, pertumbuhan pembangunan tersebut harus tetap dilandasi oleh azas pemerataan. Hal tersebut di atas dijadikan pedoman bagi perumusan dan penetapan Kebijakan Energi Nasional (KEN). Selain itu, KEN juga berpedoman pada tujuan untuk mewujudkan pembangunan yang berwawasan lingkungan melalui pendayagunaan sumber daya energi yang menghasilkan nilai tambah yang tinggi bagi sebesar-besarnya kemakmuran rakyat. Hal ini dapat dilihat, seperti misalnya KEN yang dituangkan dalam Perpres Nomor 5 tahun 2006.

Energi merupakan salah satu komponen pendukung pembangunan nasional. Sumber energi primer yang digunakan hingga saat ini lebih banyak berorientasi pada penggunaan energi fosil, terutama minyak dan gas bumi. Untuk itu pemerintah telah menetapkan konsep diversifikasi energi baik untuk energi fosil serta pemanfaatan semua jenis energi baru dan terbarukan hingga tahun 2025, yang tertuang dalam **Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2005–2025**.

Pada sektor kelistrikan, rasio elektrifikasi Indonesia baru mencapai sekitar 52,5%. Pertumbuhan jumlah penduduk Indonesia yang pesat membuat jumlah konsumsi listriknya juga mengalami peningkatan. Pertumbuhan permintaan listrik nasional mencapai angka sekitar 4,5%. Dengan demikian bila ingin dicapai rasio elektrifikasi nasional sekitar 95% pada tahun 2025, maka setiap tahun harus ada tambahan kapasitas listrik sebesar 1300 MWe, serta sarana jaringan yang memadai.^[1] Kebutuhan daya ini perlu dicarikan solusi dari berbagai alternatif sumber daya energi yang ada. Salah satu alternatif pemenuhan tambahan kapasitas ini adalah energi nuklir.

Seperti halnya dengan teknologi lain yang masih dianggap baru di dalam sistem yang telah mapan, introduksi teknologi energi nuklir ke dalam sistem energi nasional perlu direncanakan dan dipersiapkan dengan tepat dari berbagai aspek yang terkait. Jika hal ini dilakukan dengan baik, maka akan sangat membantu penerimaan masyarakat terhadap teknologi nuklir.

Sejarah pengoperasian PLTN menunjukkan bahwa PLTN dari generasi kedua telah dan masih beroperasi di banyak negara dengan keselamatan dan keandalan (*safety and reliability*) yang terbukti baik (*proven*). Teknologi yang terbukti baik harus menjadi bahan pertimbangan utama, khususnya bagi negara yang hendak mengadopsi program PLTN untuk pertama kali. Namun desain-desain generasi baru yang diketahui dan diyakini memiliki tingkat keselamatan dan keandalan lebih baik lagi, patut juga dipertimbangkan dan dipelajari.

Dari data operasional PLTN dunia terlihat bahwa PLTN tipe **PWR** mendominasi listrik nuklir. Dengan pengalaman operasional yang banyak dan rekam-jejak (*track-record*) yang baik, tipe ini layak dipertimbangkan.

1.2. Tujuan dan Lingkup Penelitian

Untuk memberikan gambaran unjuk kerja PLTN tipe PWR di dunia, pada studi ini dilakukan penilaian terhadap unjuk kerja PWR. Mengingat di dunia ini negara penyedia teknologi PLTN cukup banyak, maka lingkup studi ini dibatasi hanya unjuk kerja PWR pada negara penyedia teknologi PWR, khususnya Asia. Diharapkan pula bahwa studi ini dapat membantu memberikan gambaran kepada pengambil keputusan saat pemilihan teknologi PWR mana yang baik untuk dibangun di Indonesia.

2. METODOLOGI

Studi ini dilakukan dengan melakukan penelusuran literatur, menetapkan kriteria unjuk kerja yang digunakan sebagai penilaian, menetapkan negara pemasok PLTN PWR yang akan dinilai, dilanjutkan dengan melakukan analisis unjuk kerja reaktor PWR yang telah beroperasi di negara tersebut.

3. ANALISIS STUDI ENERGI DENGAN OPSI NUKLIR

Pada periode 2001-2002, telah dilakukan studi perencanaan energi nasional dengan opsi nuklir. Secara garis besar hasil studi adalah sebagai berikut:^[2]

- (1) Kebutuhan energi diproyeksikan mencapai dua kali lipat, dari 4.028 Peta Joule (PJ) pada tahun 1997 menjadi 8.146 PJ pada tahun 2025.
- (2) Kapasitas pembangkitan listrik terpasang di Indonesia mencapai 100 GWe pada tahun 2025. Hampir 59 Gwe (59% kapasitas terpasang) dibutuhkan dalam sistem kelistrikan Jawa-Bali.
- (3) Pembangkit listrik berbahan bakar gas bumi merupakan pembangkit pemikul beban dasar utama dalam jaringan listrik di Jawa-Bali. Yakni, gas bumi yang akan digunakan untuk pembangkitan listrik melebihi jumlah alokasi maksimumnya yaitu sebesar 45% atau sekitar 27 GWe.
- (4) Pembangkitan listrik berbahan bakar batubara merupakan pembangkit pemikul beban dasar urutan kedua dalam jaringan listrik Jawa-Bali, yaitu sebesar 22GWe, dan akan mengemisikan partikel sebesar 19,6 kton/tahun, NO_x sebesar 411,4 kton/tahun, dan SO_x sebesar 171,7 kton/tahun.
- (5) Semakin besarnya penggunaan bahan bakar fosil berdampak pada diperlukannya pengetatan standar lingkungan, maka energi nuklir dapat menjadi bagian dari "*optimum generation mix*". Energi nuklir yang dibutuhkan di Jawa-Bali pada tahun 2016 adalah sebesar 1,2 GWe.

(6) Dari hasil pengembangan studi eksternalitas bidang kesehatan dinyatakan bahwa biaya eksternalitas PLTN sebesar 0,006 US\$ /kWjam, dan untuk PLTU batubara sebesar 0,097 US\$ /kWjam.

Sasaran energi mix nasional tahun 2003 menunjukkan bahwa minyak bumi masih mendominasi sekitar 54,4 %. Sasaran energi mix Indonesia sampai dengan tahun 2025 dengan skenario *Business as Usual* (BaU) diharapkan minyak bumi, batu bara dan gas akan menurun penggunaannya, dan meningkatnya pemakaian sumber energi non fosil. Dengan skenario optimalisasi pengelolaan energi, diharapkan sasaran energi mix nasional pada tahun 2025 akan meningkatkan penggunaan energi non-fosil mencapai 10%, dimana energi nuklir mengambil peran minimal 2% (4000 MMe) energi primer, atau sekitar 4-5 % dari total kebutuhan energi nasional. Disamping itu dokumen Rencana Umum Kelistrikan Nasional (RUKN) tahun 2005-2025 yang diterbitkan oleh Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral tanggal 25 April 2005, menyebutkan bahwa pemanfaatan energi nuklir untuk memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia diharapkan dapat beroperasi pada tahun 2016-2017.

Dengan mempertimbangkan pedoman dan gambaran umum di atas, maka perumusan, penetapan kebijakan dan perencanaan sistem energi nasional jangka panjang perlu dilakukan secara tepat. Untuk itu, adalah tepat membuat suatu sistem energi nasional yang bertumpu pada konsep "*optimum energy mix*" dengan memperhatikan 6 (enam) aspek, yakni: aspek lingkungan, aspek antar-generasi, aspek kebutuhan energi, aspek sosial-politik, aspek geopolitik dan aspek ekonomi. Dalam sistem ini, kemungkinan introduksi sumber energi nuklir layak diperhitungkan sebagai pendamping sumber daya energi berbasis hidrokarbon. Hal ini mengingat kompatibilitas energi nuklir dengan enam kriteria tersebut.

Selain itu, hasil-hasil pengkajian komprehensif tentang permintaan dan pasokan energi telah mengindikasikan kemungkinan pentingnya mengintroduksi Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) mulai tahun 2016 untuk memenuhi penyediaan energi listrik di jaringan Jawa-Madura-Bali. Hal ini seperti telah disebutkan dalam Undang-undang No. 30 tahun 2007 tentang Energi dan Undang-undang No. 17 tahun 2007 tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang bidang Energi, bahwa nuklir merupakan salah satu alternatif sumber energi yang pemanfaatannya bisa direalisasikan pada jangka tahun 2014 hingga tahun 2019. Setelah itu, peranan PLTN dalam sistem kelistrikan nasional akan dapat meningkat, sehingga sektor industri yang terkait erat untuk mendukung PLTN pun perlu dikembangkan dan diperkokoh.

4. DISKRIPSI TEKNOLOGI PWR

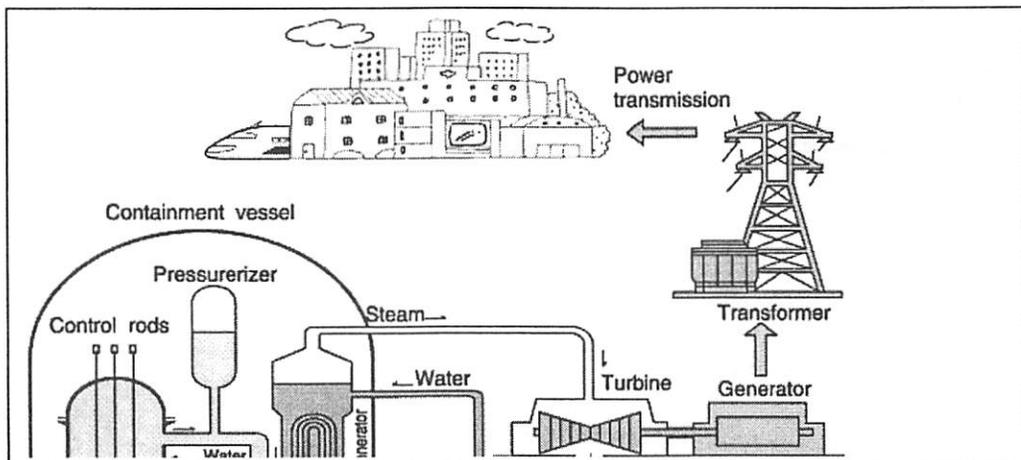
Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) adalah sebuah reaktor daya nuklir terapan yang digunakan untuk memproduksi listrik. Reaksi pembelahan (*fisi*) dari bahan nuklir yang dapat disebut sebagai bahan bakar (*fuel*) akan menghasilkan panas. Energi

panas hasil pembelahan dalam elemen bahan bakar tersebut digunakan untuk memanaskan air menjadi uap bertekanan dan suhu tinggi. Tenaga uap tersebut diteruskan ke arah turbin dan dikonversikan menjadi energi mekanik dan selanjutnya menjadi energi listrik oleh generator yang dikopel dengan turbin.

PWR adalah tipe reaktor air bertekanan memiliki dua kalang (*loop*) pengambilan panas, yaitu kalang primer yang memiliki fase cair dan tekanan tinggi, serta kalang sekunder dengan proses pendidihan pada bagian pembangkit uap. Daerah fisi pada bejana reaktor air bertekanan dijaga pada tekanan operasi 150 - 160 bar. Kalang pendingin primer menghubungkan bejana reaktor dengan pembangkit uap. Sisi sekunder dari pembangkit uap memiliki tekanan sekitar 60 bar (6 MPa) – cukup rendah sehingga dapat terjadi pendidihan air. Melalui kalang sekunder uap diumpungkan ke dalam turbin. Setelah uap keluar dari turbin diembunkan di dalam kondenser dan diumpungkan kembali ke dalam pembangkit uap. Komponen utama sistem ini adalah sebuah bejana tekan reaktor (*reactor pressure vessel*), pembangkit uap (*steam generator*), dan pompa pendingin reaktor. Sistem ini bisa terdiri dari 2 (dua), 3 (tiga) atau 4 (empat) kalang pendingin primer, dengan dilengkapi satu pemberi dan pengatur tekanan yang disebut dengan *pressurizer* pada salah satu sisinya. Keseluruhan komponen tersebut terletak di dalam bangunan sungkup dan terhubung oleh pipa-pipa.

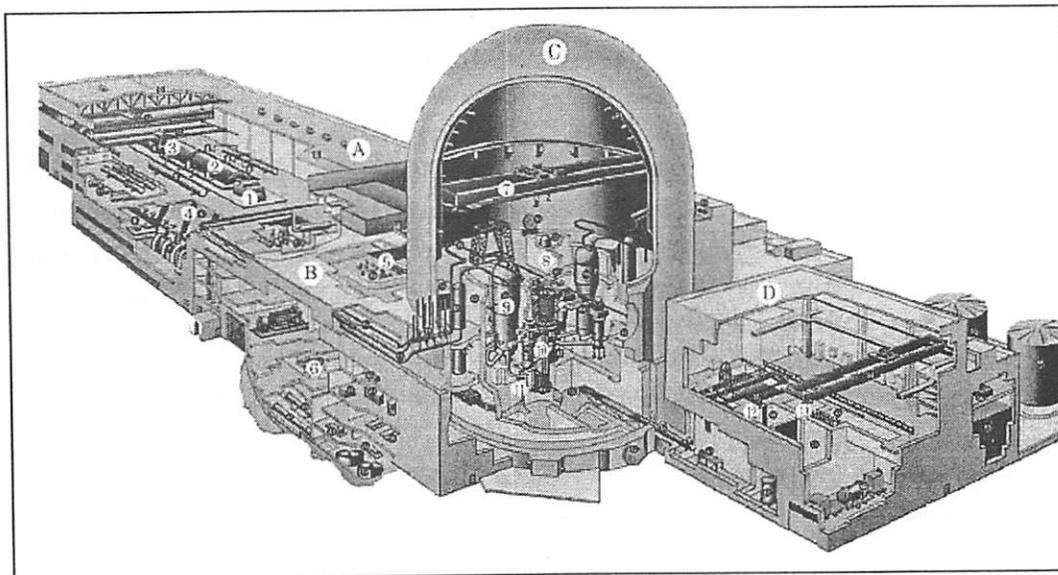
Semua komponen bertekanan di dalam sistem tersebut didesain berdasarkan standar ASME III untuk *boiler* dan bejana bertekanan (*pressure vessel*). Sistem pendingin reaktor (RCE, *Reactor Cooling System*) ini juga dilengkapi dengan pipa-pipa yang menghubungkannya ke sistem tambahan (*auxiliary system*) seperti *Chemical and Volume Control System* (CVCS), sistem injeksi keselamatan (*safety injection system*), dan sistem pendingin tatkala reaktor dipadamkan (*shutdown cooling system*).

Skema prinsip kerja dan beberapa komponen utama dari reaktor tipe PWR dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1: Prinsip kerja sebuah PLTN tipe PWR

Sementara itu bila dilihat secara keseluruhan bangunan adalah seperti yang digambarkan pada Gambar 2 berikut. Bangunan A adalah bangunan turbin (*turbine building*) di mana 1) menunjukkan sistem turbin tekanan tinggi, 2) sistem turbin tekanan rendah, 3) generator listrik dan 4) *condenser*, yang mengubah fasa uap menjadi cair untuk diumpankan kembali ke siklus primer, yakni ke bejana reaktor. Sedangkan B adalah bangunan peralatan bantu/tambahan (*auxilliary building*). Bangunan bantu utama berisi komponen yang berhubungan dengan keselamatan dan sistem yang dibutuhkan untuk penghentian aman pembangkit bila terjadi kecelakaan. Bangunan C merupakan bangunan Reaktor (*reactor building*) yang di dalamnya terdapat komponen utama dari sistem pembangkit uap nuklir, seperti *pressurizer*, *polar crane*, bejana reaktor, pembangkit uap, dan pompa pendingin primer. Dan D adalah bangunan bahan bakar (*fuel building*). Pada bangunan ini penanganan bahan bakar dilakukan, baik penanganan untuk bahan bakar baru (*fresh fuel*) maupun untuk penanganan bahan bakar bekasnya (*spent fuel*).



- | | | | |
|--------------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| A. Bangunan turbin | B. Bangunan Peralatan Bantu | C. Bangunan Reaktor | D. Bangunan Bahan Bakar |
| 1. turbin tekanan tinggi | 5. Ruang kendali utama | 7. Crane | 12. Bahan bakar bekas |
| 2. Turbin tekanan rendah | 6. Generator Listrik Darurat | 8. Pressurizer | 13. Bahan bakar baru |
| 3. Generator listrik | | 9. Pembangkit uap | |
| 4. Condensor | | 10. Bejana reaktor | |
| | | 11. Pompa pendingin primer | |

Gambar 2. Diagram *cutaway* sistem PLTN tipe PWR ^[3]

5. KONDISI PLTN DI DUNIA

Sebagai gambaran kondisi PLTN di dunia, berikut disajikan Tabel 1 yang menggambarkan jumlah PLTN yang beroperasi di dunia serta jenis teknologi yang ada.

Tabel 1 ini menunjukkan bahwa tipe PWR yang beroperasi adalah jumlah yang terbanyak, yakni sebesar 61%, disusul BWR sebesar 21%, PHWR sebesar 9,7%. Sementara yang masih dalam masa konstruksi sebesar 18 unit atau sebesar 62% adalah tipe PWR.

Tabel 1. Tipe PLTN dan jumlahnya ^[4]

Tipe	Jumlah Reaktor, status 31 Desember 2006			
	Beroperasi	Dikonstruksi	Long Term Shut Down	Shut Down
BWR	93	2	1	21
FBR	2	2	1	6
GCR	18	-	-	34
HTGR	-	-	-	4
HWGCR	-	-	-	3
HWLWR	-	-	-	2
LWGR	16	1		8
PHWR	42	6	4	5
PWR	264	18		33
SGHWR	-	-	-	1
Tipe lain	-	-	-	2
TOTAL	435	29	6	119

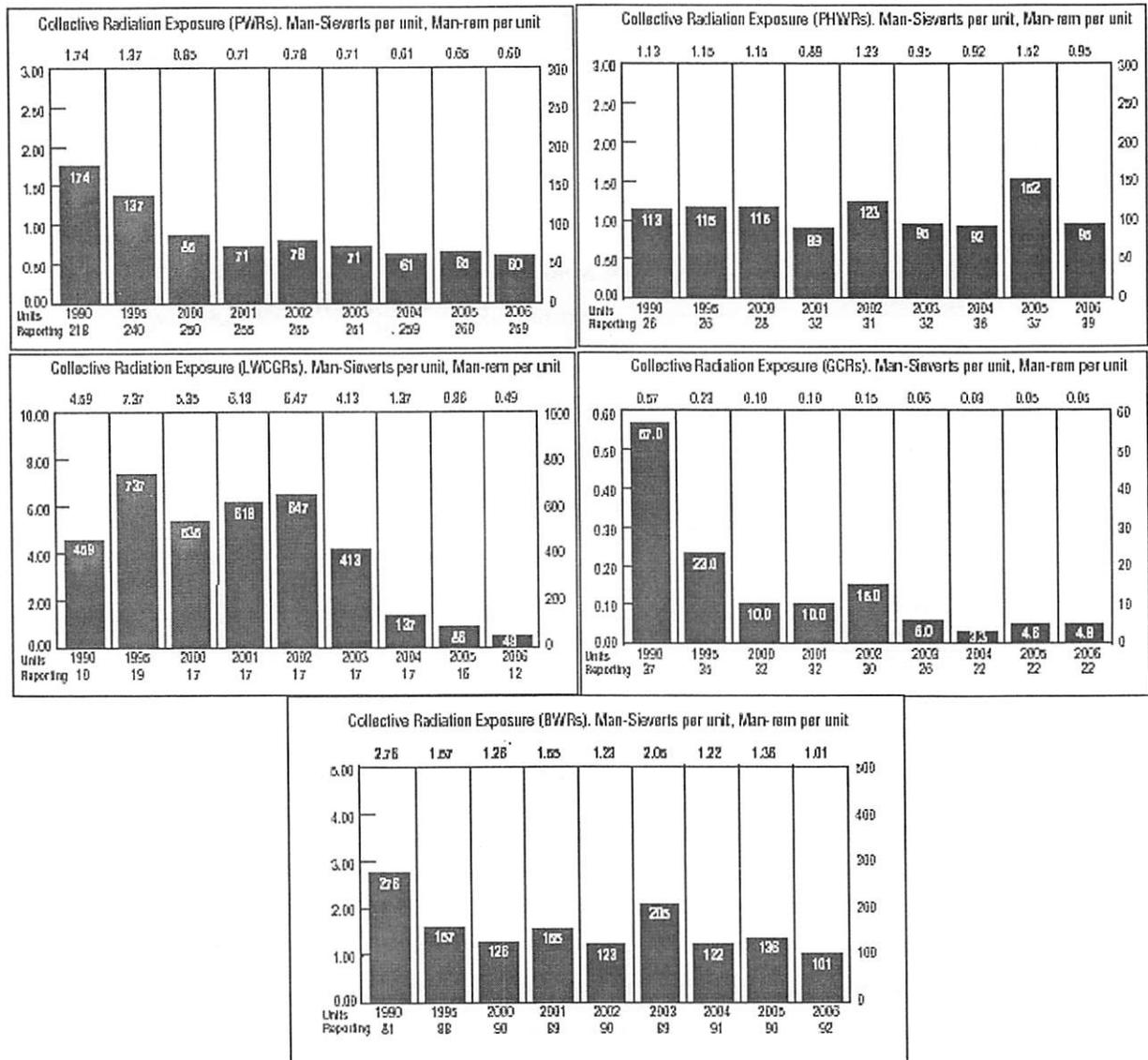
Keterangan:

BWR: *Boiling Light-Water-Cooled and Moderated Reactor*, FBR: *Fast Breeder Reactor*, GCR: *Gas-Cooled, Graphite-Moderated Reactor*, HTGR: *High-Temperature Gas-Cooled, Graphite-Moderated Reactor*, HWGCR: *Heavy-Water-Moderated, Gas-Cooled Reactor*, HWLWR: *Heavy-Water-Moderated, Boiling Light-Water-Cooled Reactor*, LWGR: *Light-Water-Cooled, Graphite-Moderated Reactor*, PHWR: *Pressurized Heavy-Water-Moderated and Cooled Reactor*, PWR: *Pressurized Light-Water-Moderated and Cooled Reactor*, SGHWR: *Steam-Generating Heavy-Water Reactor*

Disamping gambaran mengenai banyaknya jumlah unit yang beroperasi, PWR juga memiliki kelebihan dalam hal paparan radiasi kolektif (*collective radiation exposure*). Paparan yang dikeluarkan oleh PLTN tipe PWR lebih kecil dari pada tipe lainnya, dalam satuan *Man-Sieverts* per unit atau *Man-rem* per unit. Gambar 3 berikut menunjukkan hal ini. Indikator paparan radiasi kolektif berperan untuk memantau keefektifan pengontrolan paparan radiasi terhadap pekerja. Paparan yang rendah mengindikasikan perhatian dari pihak manajemen yang kuat untuk proteksi radiasi.

Paparan radiasi kolektif untuk BWR rata-rata sebesar 154,07 *Man-rem* per unit, untuk PWR sebesar 87,3 *Man-rem* per unit, untuk PHWR sebesar 109,7 *Man-rem* per unit, untuk tipe LWGCR sebesar 426,3 *Man-rem* per unit dan untuk GCR sebesar 18,5 *Man-rem* per unit.

Dari kedua gambaran di atas nampak bahwa PWR disamping sebagai PLTN yang paling banyak, juga memberikan paparan radiasi kolektif per unitnya relatif kecil. Memang paparan radiasi kolektif PWR masih lebih besar dari pada GCR, namun dari aspek jumlah unit komersialnya PWR jauh lebih besar jika dibanding GCR.



Gambar 3. Paparan radiasi kolektif dari beberapa tipe PLTN^[5]

6. DATA DAN PERHITUNGAN UNJUK KERJA PWR

Agar lebih memberikan gambaran bagaimana sebenarnya kondisi PLTN di negara pembuat atau pemasok atau penyedia teknologi, akan diuraikan unjuk kerja PLTN khususnya tipe PWR di negara pemasok. Pada studi ini dilakukan penilaian unjuk kerja teknologi PWR dari Jepang dan Korea Selatan. Kedua negara ini dapat dianggap mewakili teknologi dari Timur atau Asia.

Studi unjuk kerja PLTN ini hanya dibatasi pada satu parameter saja, yakni faktor ketersediaan energi. Faktor ketersediaan energi merupakan perbandingan antara energi yang dapat diproduksi selama periode tertentu terhadap energi yang dapat diproduksi menurut unit acuan dayanya (daya terpasang) selama periode tersebut.^[6, 7]

$$EAF (\%) = \frac{(REG - PEL - UEL - XEL) \times 100}{REG}$$

EAF = Faktor Ketersediaan Energi (%)

REG = Jumlah energi maksimum yang dapat dibangkitkan (net), MWe.h untuk periode tertentu

PEL = Jumlah energi hilang (tidak dibangkitkan) yang direncanakan, MWe.h

UEL = Jumlah energi hilang (tidak dibangkitkan) yang tidak direncanakan, MWe.h

XEL = Jumlah energi hilang (tidak dibangkitkan) oleh karena faktor eksternal (diluar kontrol manajemen), MWe.h

Faktor ketersediaan ini menggambarkan besarnya kemampuan yang sebenarnya pembangkit untuk menghasilkan energi listrik, dengan mempertimbangkan faktor kegagalan internal maupun eksternal dalam menghasilkan listrik.

6.1. Jepang ^[4, 7, 8]

Jepang mulai membangun PLTN komersial yang pertama tahun 1960 dengan tipe BWR kapasitas daya 13 MWe. Tahun 1961 membangun PLTN tipe GCR dengan daya 159 MWe. Dan kemudian beberapa tahun berikutnya, tepatnya tahun 1966 membangun PLTN tipe BWR dengan daya yang relatif lebih besar, yakni sebesar 341 MWe. Kemudian tahun 1967 membangun lagi satu unit BWR dengan daya 439 MWe. Tahun 1968 membangun PLTN dengan tipe yang berbeda dengan sebelumnya, yakni PWR kapasitas 470 MWe. Tahun 1969 dan 1970 membangun masing-masing satu unit BWR dan 1971 dan 1972 membangun masing-masing satu unit PWR dengan kapasitas yang lebih besar dari tahun sebelumnya. Demikian secara terus menerus secara progresif Jepang membangun PLTN untuk memenuhi kebutuhan energinya.

Hingga Januari 2007, jumlah PLTN yang beroperasi di Jepang berjumlah 55 unit dengan kapasitas daya yang bervariasi dari 300 – 1350 MWe. Dari 55 unit PLTN yang beroperasi saat ini 22 unit diantaranya adalah tipe PWR, sisanya, yakni sebesar 28 unit adalah tipe BWR.

Dalam studi ini, analisis dilakukan terhadap tipe PWR yang berjumlah 22 unit. Pengalaman operasi total hingga awal tahun 2007 untuk tipe ini adalah sebesar 526 reaktor-tahun, dengan faktor ketersediaan energi rata-rata untuk tiap unit tiap tahun sebesar 70,7%.

Apabila dilihat dari umur PLTN, jumlah PLTN yang berumur lebih dari atau sama dengan 25 tahun operasi adalah sebanyak 11 unit dan faktor ketersediaan energi rata-ratanya adalah sebesar 62,9% tiap unit tiap tahun. Sedangkan yang berumur operasi dari 10 hingga 25 tahun adalah sebanyak 11 unit dan faktor faktor ketersediaan energi rata-ratanya adalah sebesar 84,7% tiap unit tiap tahun.

Untuk kelas PWR 1000, yakni yang berkapasitas daya lebih besar dari 780 MWe hingga 1.127 MWe berjumlah 14 (empat belas) unit dengan umur operasi total sebesar 307 reaktor-tahun. Kelas daya ini memiliki faktor ketersediaan rata-rata sebesar 69,6% tiap unit tiap tahun.

Tabel 2. Ringkasan hasil analisis kondisi PWR di Jepang

Item	Besar	Satuan
Jumlah PWR	22	Unit
Umur operasi total PWR	526	reaktor tahun
Umur operasi lebih besar 25 tahun	11	Unit
Umur operasi antara 10 – 25 tahun	11	Unit
Umur operasi antara 5 – 10 tahun	-	-
Umur operasi di bawah 5 tahun	-	-
Faktor ketersediaan rata-rata total	70.7%	per unit per tahun
Jumlah unit kelas PWR 1000	14	Unit
Umur operasi total kelas PWR 1000	307	reaktor-tahun
Faktor ketersediaan rata-rata kelas PWR 1000	69.6%	per unit per tahun

6.2. Korea Selatan ^[4, 7, 9]

Korea Selatan mulai membangun PLTN yang pertama pada tahun 1971 dengan tipe PWR. Tidak seprogresif Jepang, pembangunan PLTN yang kedua baru dilakukan pada tahun 1977 dengan kapasitas yang sama dengan PLTN pertama, yakni 650 MWe bersamaan tahun terintegrasinya PLTN pertama pada jaringan listrik. Dua unit PLTN berikutnya dibangun tahun 1979 dengan kapasitas daya yang lebih besar, 950 MWe. Tahun 1980 membangun kembali 2 unit dengan kapasitas masing-masing 950 MWe, hingga saat ini telah beroperasi 20 unit yang terdiri dari 16 unit tipe PWR dan 4 unit tipe PHWR. Pengalaman operasional tipe PWR hingga awal tahun 2007 adalah sebesar 222 reaktor-tahun, dengan faktor ketersediaan energi 86,9%.

Apabila dilihat dari umur PLTN, jumlah PLTN yang berumur lebih dari atau sama dengan 25 tahun operasi hanya ada 1 (satu) unit dan faktor ketersediaan energi rata-ratanya adalah sebesar 76,7% tiap unit tiap tahun. Sedangkan yang berumur operasi dari 10 hingga 25 tahun adalah sebanyak 9 (sembilan) unit dan faktor faktor ketersediaan energi rata-ratanya adalah sebesar 86,5% tiap unit tiap tahun. PLTN berumur operasi antara 5 – 10 tahun ada sebanyak 2 (dua) unit dengan faktor ketersediaan energi rata-rata sebesar 90,5% tiap unit tiap tahun, dan yang berumur operasi di bawah 5 tahun sebanyak 4 unit dengan faktor ketersediaan energi sebesar 86,9% tiap unit tiap tahun.

Tabel 3. Ringkasan hasil analisis kondisi PWR di Korea Selatan

Item	Besar	Satuan
Jumlah PWR	16	unit
Umur operasi total PWR	222	reaktor tahun
Umur operasi lebih besar 25 tahun	1	unit
Umur operasi antara 10 – 25 tahun	9	unit
Umur operasi antara 5 – 10 tahun	2	unit
Umur operasi di bawah 5 tahun	4	unit
Faktor ketersediaan rata-rata total	86,9%	per unit per tahun
Jumlah unit kelas PWR 1000	14	unit
Umur operasi total kelas PWR 1000	170	reaktor-tahun
Faktor ketersediaan rata-rata kelas PWR 1000	87,0%	per unit per tahun

7. ANALISIS UNJUK KERJA PWR

Dari data dan perhitungan di atas terlihat bahwa pengalaman mengoperasikan PLTN tipe PWR Jepang lebih banyak (526 reaktor-tahun) dibanding dengan Korea Selatan (222 reaktor-tahun). Ini bisa dimengerti karena Jepang lebih dahulu membangun PLTN dan lebih progresif, dalam arti lebih banyak dan terus menerus membangun pada dekade tahun 1960 dan 1970 dan terus membangun hingga saat ini bahkan merencanakan untuk masa mendatang.

Unjuk kerja PWR di Jepang yang diukur dengan faktor ketersediaan energi rata-rata per unit per tahun adalah sebesar 70,7%, sedangkan PWR di Korea Selatan sebesar 86,9%. Bila dibandingkan untuk PWR yang berumur operasi antara 10 dan 25 tahun, faktor ketersediaan energi PWR Jepang sebesar 84,7% sedangkan PWR Korea Selatan yang berumur operasi sama adalah sebesar 86,5%. Korea Selatan sedikit lebih tinggi, yakni selisih 1,8%.

Jumlah unit pada PWR kelas 1000 MWe baik di Jepang maupun di Korea Selatan sama banyak, yakni 14 (empat belas) unit. Pengalaman operasi pada kelas ini di Jepang sebesar 307 reaktor-tahun, sementara di Korea Selatan sebesar 170 reaktor-tahun, dengan faktor ketersediaan masing-masing sebesar 69,6% dan 87,0%. Agar lebih mudah melihat perbandingan unjuk kerja PWR di Korea Selatan dan di Jepang, berikut disajikan.

Perlu disampaikan bahwa untuk melakukan penilaian secara menyeluruh harus melibatkan berbagai aspek, namun beberapa gambaran di atas setidaknya dapat memberikan masukan sehubungan dengan kelas daya dan tipe PLTN yang nantinya kita pilih dan direncanakan untuk dibangun. Asumsi parameter tekno-ekonomi yang selama ini digunakan dapat dievaluasi dengan kondisi yang sebenarnya dari PLTN yang ada, seperti hasil perhitungan di atas.

Tabel 4. Ringkasan hasil analisis

Item	Korea Selatan	Jepang
Jumlah PWR, unit	16	22
Umur operasi total PWR, reaktor tahun	222	526
Umur operasi lebih besar 25 tahun, unit	1	11
Umur operasi antara 10 – 25 tahun, unit	9	11
Umur operasi antara 5 – 10 tahun, unit	2	-
Umur operasi di bawah 5 tahun, unit	4	-
Faktor ketersediaan rata-rata total, per unit per tahun	86,9%	70.7%
Jumlah unit kelas PWR 1000, unit	14	14
Umur operasi total kelas PWR 1000, reaktor-tahun	170	307
Faktor ketersediaan rata-rata kelas PWR 1000, per unit per tahun	87,0%	69.6%

8. KESIMPULAN

- Jumlah PLTN tipe PWR di Jepang sebanyak 22 unit dengan umur operasi total sebesar 526 reaktor-tahun dengan faktor ketersediaan energi rata-rata tiap unit tiap tahun sebesar 70,7%. Sementara itu tipe yang sama di Korea Selatan sebanyak 16 unit dengan umur operasi total sebesar 222 reaktor-tahun dengan faktor ketersediaan energi rata-rata tiap unit tiap tahun sebesar 86,9%.
- PWR kelas 1000 MWe baik Korea Selatan maupun Jepang memiliki jumlah unit yang sama, yakni sebanyak 14 unit. Umur operasi total untuk kelas ini berturut-turut untuk Korea Selatan dan Jepang adalah sebesar 170 reaktor-tahun dan 307 reaktor-tahun. Sedangkan faktor ketersediaan energi rata-rata tiap unit tiap tahunnya sebesar 87,0% dan 69,6% berturut-turut untuk Korea Selatan dan Jepang.
- Besaran faktor ketersediaan energi rata-rata biasanya dekat sekali dengan besaran faktor kapasitas, untuk itu dirasa penting sebagai masukan dalam penetapan asumsi parameter tekno-ekonomis. Hal ini akan berpengaruh dalam hasil perhitungan ekonomi PLTN secara keseluruhan.

9. DAFTAR PUSTAKA

1. H.H.Situmeang, D.Prasetijo, S.Roesly, *Power Sector Restructuring in Indonesia, Submitted to Electricity Market Reform Workshop, World Energy Council, Manila, December 3, 2003, www.kni-wec.org/Brief-Notes/POWERSECTOR.pdf*
2. BATAN-IAEA, *Comprehensive Assessment of Different Energy Sources for Electricity Generation in Indonesia, phase I and phase II, 2002 – 2003.*
3. Park, Nam Soo, *OPR-1000 : Nuclear Systems and Components, KNPEI, October 2007.*
4. IAEA, *Reference Data Series No. 2 : Nuclear Reactor in the World, 2007 Edition.*
5. WANO, *Performance Indicator, 2006*
6. Sriyana, dkk., *Parameter Unjuk Kerja Pembangkitan Listrik: Parameter Teknis untuk Penilaian Ekonomi, Seminar Nasional Diversifikasi Sumber Energi untuk Mendukung Kemajuan Industri dan Sistem Kelistrikan Nasional, Surakarta, Maret 2007.*
7. IAEA, *Operating Experience with Nuclear Power Stations in Member States in 2006, Vienna.*
8. IAEA, *Country Nuclear Power Profile : Japan, 2004.*
9. IAEA, *Country Nuclear Power Profile : Korea, 2004.*