

## **PERKEMBANGAN TEKNOLOGI PWR DI JEPANG**

Ahmad Syaukat<sup>1)</sup>

### **Abstrak**

**PERKEMBANGAN TEKNOLOGI PWR DI JEPANG.** Energi nuklir di Jepang merupakan sumber listrik yang stabil dan ekonomis. Dengan kontribusi lebih dari sepertiga daya listrik di Jepang dan akan terus meningkat di masa mendatang, PLTN memiliki peran yang penting dan strategis dalam mendukung pembangunan di Jepang. Semenjak awal pembangunan dan pengembangan program energi nuklir nasional, perusahaan listrik di Jepang telah mengadopsi PLTN berpendingin air dari Amerika Serikat. Semua peserta bisnis nuklir termasuk industri dan pemerintah telah berusaha untuk meningkatkan faktor keselamatan, keandalan, dan ekonomi PLTN melalui program pengembangan dan standardisasi PLTN. PWR yang dibangun sekarang oleh Mitsubishi adalah PWR generasi ketiga yang memiliki ciri keandalan dan operasi yang sesuai dengan tuntutan operator dan lingkungan. Dengan telah disusunnya rancangan maju APWR oleh Jepang maka negara tersebut mencapai tahapan integrasi teknologi PWR dalam transformasi teknologi PLTN yang telah diusahakannya selama sekitar seperempat abad.

### **Abstract**

**THE DEVELOPMENT OF PWR TECHNOLOGY IN JAPAN.** Nuclear energy in Japan is a stable and economical electric source. With a contribution of more than one third of the electric source in Japan, and more in the future, Nuclear Power Plant's will have an important and strategic role in Japan's industrial development. At the beginning of the national nuclear energy program, the Japanese electrical utilities have adopted the water moderated nuclear power plants from the USA. All elements of the Japanese nuclear business, including industry and governments agencies made efforts to improve the safety, reliability and economic of NPPs through the improvement and standardization program of NPPs. The PWRs being constructed by Mitsubishi belong to the third generation PWRs which has reliability and operation characteristics suitable for the operator and environmental demand. Having achieved the advanced APWR design, Japan enters the technology integration phase of the NPPs technology transformation, which has been being implemented in nearly one fourth of a century.

---

<sup>1)</sup> Pusat Pendayagunaan Iptek Nuklir - BATAN

## I. PENDAHULUAN

Jepang pertama kali memiliki PLTN dengan mengimpor PWR dari Amerika Serikat. PWR Mihama 1 berdaya 340 MWe mulai beroperasi pada tahun 1970. Pada tahap awal penguasaan teknologi dari Amerika Serikat, perakitan fasilitas nuklir dan utilitas mulai mengumpulkan pengalaman konstruksi dan operasi PLTN impor untuk mewujudkan produksi domestik PLTN. Sampai sekitar tahun 1975 usaha Jepang adalah bersifat absorpsi dan penguasaan teknologi impor. PLTN generasi pertama seperti Mihama 1, Mihama 2, Takahama 1 semuanya didasarkan atas teknologi asing.

Pada periode PLTN impor, Jepang mengalami kesulitan-kesulitan yang tidak diketahui sebelumnya. Kebocoran kecil dari komponen sistem pendingin baik primer maupun sekunder serta ketidakandalan komponen dari sistem I&C terjadi. Pada awal tahun tujuh puluhan trip rata-rata per reaktor tahun mencapai lebih dari satu. Faktor ketersediaan PLTN impor mencapai titik rendah, pada akhir tahun tujuh puluhan faktor ini mencapai sekitar 50%.

Agar supaya PLTN dapat berperan besar dalam pembangkitan energi, Jepang menetapkan program pengembangan dan standardisasi untuk PLTN, baik untuk PWR maupun BWR. Di dalam negeri program ini merupakan pengembangan teknologi berkelanjutan yang dilaksanakan melalui kerja sama antara pemerintah, industri dan utilitas listrik di Jepang. Selain itu Jepang memiliki kerjasama nuklir dengan Amerika Serikat.

Dalam kurun waktu seperempat abad lebih pembangunan energi nuklir di Jepang mencapai sepertiga lebih dari suplai listrik nasional. Perkembangan PLTN ini tidak lepas dari kebutuhan Jepang akan energi bagi kehidupan industri yang kurang didukung oleh sumber daya energi domestik. Jepang yang merencanakan sistem energi untuk jangka panjang melihat PLTN sebagai opsi pembangkit listrik yang sangat dibutuhkan di masa depan. Dengan industrialisasi yang pesat, Jepang membutuhkan sumber listrik andal yang dapat memenuhi beban dasar listrik nasional. Sebagai pembangkit listrik yang sangat efisien PLTN merupakan pilihan utama yang perlu dikuasai, dibangun, dan dikembangkan teknologinya.

PLTN di Jepang dikembangkan sesuai dengan tuntutan masyarakat pada sistem energi yang semakin *restriktif* baik dari segi ekonomi, keselamatan maupun keandalan. Mitsubishi sebagai suplier PWR di Jepang melaksanakan program pengembangan teknologi PLTN sejak akhir tahun tujuh puluhan. Sekarang PLTN di Jepang memiliki faktor kapasitas rata-rata di atas 85%, hampir dua kali lipat dibanding dengan faktor kapasitas PLTN generasi pertama.

## II. METODE

Jepang melaksanakan berbagai seminar internasional untuk dapat tukar-menukar informasi ilmiah mengenai teknologi PLTN. Pada tahun 1992, Jepang melaksanakan konferensi internasional mengenai "*Design and Safety of Advanced Nuclear Power Plants*", 25-29 Oktober, di Tokyo. Pada tahun 1997, kerjasama Batan dengan Jepic juga melaksanakan seminar

mengenai "*Improvement and Standardization of Nuclear Power Plants*", 12-13 Nopember, di Jakarta. Seminar-seminar ini menghasilkan informasi iptek PLTN maju untuk tahun 2000-an.

Studi literatur dilaksanakan dengan memanfaatkan berbagai informasi dari seminar tersebut di atas. Untuk perbandingan, informasi terdahulu dari Jerman mengenai PWR rancangan KWU dan dari Amerika Serikat mengenai PWR Palo Verde 2 juga digunakan. Selain itu informasi teknis yang didapat selama kunjungan ke berbagai PLTN di Jepang seperti: Mihama, Takahama, Ohi, Kashiwazaki Kariwa, Tsuruga, dan Tomari juga digunakan untuk melengkapi analisis pengembangan teknologi PLTN Jepang.

Analisis sistem dan komponen PLTN Jepang dilaksanakan untuk mengecek pola transformasi teknologi, yaitu diawali dengan penguasaan teknologi melalui lisensi, pengembangan teknologi, integrasi teknologi untuk menghasilkan produk inovasi dan penelitian dasar. Perbandingan teknologi juga dilakukan untuk melihat efektifitas perkembangan teknologi PLTN di Jepang.

### **III. PEMBAHASAN**

#### **A. Pembangunan PLTN di Jepang**

Jepang memahami bahwa pengadaan sumber energi di masa mendatang akan lebih sulit, baik dari segi suplai, biaya maupun persyaratan lingkungan. Sumber energi fosil akan semakin menipis cadangannya, pemakaiannyapun mendapat persyaratan lingkungan yang lebih ketat. Dengan demikian sumber-sumber energi yang dapat meminimalkan batasan-batasan ini perlu dipilih dan digunakan dengan hemat. Di lain pihak kebutuhan akan energi bagi pembangunan industri dan rumah tangga terus berkembang sesuai tingkat kemakmuran yang hendak dicapai. Bila tidak direncanakan dengan baik maka timbullah ketimpangan antara kebutuhan dengan suplai energi. Sangatlah penting untuk menyiapkan sumber-sumber energi strategis yang dapat direncanakan dalam jangka panjang.

Sumber-sumber energi yang dapat memenuhi persyaratan di atas adalah sumber energi terbarukan dan energi nuklir. Sumber energi terbarukan seperti panas matahari dan angin meskipun relatif mahal dapat digunakan sebagai sumber dalam sistem yang terdesentralisasi. Bagi negeri yang memiliki perkembangan ekonomi yang pesat seperti Jepang, pembangunan PLTN adalah opsi yang praktis.

Jepang bergantung kepada luar negeri dalam pengadaan 80% energi primer. Dalam situasi seperti ini pengembangan daya listrik yang bergantung hanya pada satu sumber energi saja dapat menimbulkan masalah keamanan dan lainnya. Solusi yang terbaik bagi Jepang adalah memilih satu kombinasi optimal dari tiga kelompok energi yaitu hidro, nuklir, dan bahan bakar fosil seperti minyak, batubara dan LNG.

Komposisi sumber listrik Jepang saat ini adalah 10% hidro, 56% bahan bakar fosil dan 34% nuklir. Komposisi ini akan berubah menjadi sekitar 10% hidro, 45% fosil dan 42% nuklir

pada tahun 2010. Selanjutnya sumber energi baru diharapkan memberikan kontribusi dari 3.6-5.8% dari daya total pada tahun 2010.

Kontribusi nuklir di bidang energi khususnya penyediaan PWR dilaksanakan *Mitsubishi Heavy Industries (MHI)* sebagai satu-satunya supplier PWR di Jepang. Dengan sekitar 24 PWR di Jepang maka MHI menjadi supplier utama bagi energi nuklir di Jepang. Dalam melaksanakan perannya MHI telah membentuk organisasi dan keahlian untuk menyediakan berbagai produk/suplai untuk generasi energi dengan nuklir. Saat ini MHI memproduksi Sistem Reaktor nuklir, Sistem Turbin Generator, Sistem I&C, Elemen Bakar Nuklir, AIE dan Servis post operasi.

PWR yang telah mendapat penerimaan yang baik dibangun di seluruh pulau utama di Jepang. Perusahaan listrik Kansai telah membangun 11 PWR di Mihama, Takahama dan Ohi di Pulau Honshu, Perusahaan listrik Shikoku telah membangun 3 PWR Ikata di Pulau Shikoku. Perusahaan Listrik Kyushu membangun 6 PWR di Genkai dan Sendai di Pulau Kyushu. Satu PWR lainnya dioperasikan di Tsuruga di Pulau Honshu oleh Japco. 2 PWR lainnya yang berdaya lebih kecil sekitar 600 MWe dioperasikan oleh perusahaan listrik *Hokkaido Electric Co* di Pulau Hokkaido akhir-akhir ini. Sekitar 20 MWe dihasilkan oleh PWR yang berarti sekitar 50% dari listrik total dari keseluruhan PLTN di Jepang saat ini.

## **B. Pengembangan Teknologi PWR**

Semenjak awal pengembangan program nuklir nasional, perusahaan listrik di Jepang telah mengadopsi PLTN berpendingin air dari Amerika Serikat. Kementerian Perdagangan dan Industri (*MITI*) yang berperan sentral dalam proses legal perizinan PLTN di Jepang dibantu oleh beberapa komisi di bidang keselamatan nuklir, riset nuklir dan teknologi energi nuklir. Semua partisipan termasuk industri dan pemerintah bertujuan meningkatkan aspek keselamatan, keandalan dan ekonomi dari PLTN melalui program pengembangan dan standardisasi PLTN.

Dengan lisensi dari Amerika Serikat, MHI mencapai keahlian dan prasarana untuk membangun PWR di Jepang. MHI telah membentuk organisasi industri dan keahlian teknologi nuklir untuk mendukung peran sentralnya sebagai supplier PWR di Jepang. Untuk menjamin keahlian dan transfer teknologi PWR yang dibutuhkan dari *Westinghouse*, Amerika Serikat dibentuk Perjanjian Asistensi Teknis (1961) yang kemudian ditransformasikan ke dalam Perjanjian Kerja Sama Teknis Bilateral (1984). Sekarang kelompok industri Mitsubishi telah mampu menyediakan berbagai komponen sistem energi nuklir seperti Reaktor Nuklir dan Sistem Pendinginnya, Sistem Turbin generator, Sistem Listrik, Sistem I&C, Elemen Bakar Nuklir Arsitek & Enjineri serta Servis Post operasi.

Generasi pertama PWR dirancang, dipabrikasi, dan dibangun sebagian besar berdasarkan teknologi impor dari Amerika Serikat. PWR ini beroperasi secara komersial pada tahun tujuh puluhan. Ada 9 PWR generasi pertama di Jepang termasuk Mihama 1,2 3, Takahama 1,2, Ohi 1,2, Genkai 1 dan Ikata 1. Jepang mengalami banyak kesulitan dengan

sistem generator uap dan harus menghentikan operasi untuk reparasi dan pemeliharannya. Kerusakan dan penggantian S/G pada PWR Mihama 1 pada tahun 90-an menunjukkan hal ini.

Generasi kedua PWR melibatkan pengembangan teknologi berdasarkan pengalaman konstruksi dan pabrikasi dari MHI serta pengalaman operasi PWR generasi pertama. Tahap pertama dari program pengembangan dan standardisasi PLTN dilaksanakan oleh Jepang yang melibatkan semua partisipan khususnya perancang. MHI melakukan perbaikan rancangan khususnya aspek ketersediaan dan keselamatan operasi berdasarkan pengalaman pabrikasi dan keahlian A&E yang dimilikinya serta pengalaman operasi PWR di Jepang. Sebagai satu-satunya supplier PWR di Jepang MHI dapat melaksanakan hal ini melalui kerja sama dengan pihak perusahaan listrik yang mengoperasikan produknya. Pengembangan rancangan S/G dan sistem kontrol kimia Sistem Sekunder merupakan pencapaian pengembangan teknologi PWR oleh MHI. Selain itu untuk meningkatkan keselamatan, khususnya dalam kondisi transien, pada PLTN dilakukan perbaikan sistem sekunder dengan pemanfaatan katup *by pass* turbin berkapasitas 100%, pompa *feedwater T/D emergency*, kontrol mikrokomputer untuk aliran *feedwater*. Condenser dengan bahan Titanium juga digunakan. Pengembangan teknologi konstruksi juga dicapai Jepang sehingga jadwal konstruksi dipersingkat menjadi sekitar 50 bulan. Termasuk ke dalam PWR generasi kedua adalah PLTN Takahama 3, 4, Tsuruga 2 di Pulau Honshu, Genkai 2, Sendai 2 di Pulau Kyushu dan Ikata 2 di Pulau Shikoku.

PWR generasi ketiga yang dibangun pada akhir tahun 80-an mencerminkan kemampuan Jepang dalam perbaikan total rancangan PWR. Optimasi rancangan dimungkinkan dengan peran MHI yang sentral dalam pengembangan rancangan PWR di Jepang. Pada tahap kedua dari program pengembangan dan standardisasi PLTN ini, aspek operabilitas, keandalan dan keselamatan dari PWR diperbaiki sesuai tuntutan operator dan lingkungan. Penggunaan teknologi mikro komputer dan rancangan *man-machine interface* khususnya pada Ruang Kendali adalah ciri yang menonjol dari PWR generasi ketiga. Termasuk kedalam PWR generasi ketiga adalah PWR Tomari 1, 2 di Hokkaido, Ohi 3, 4 di Pulau Honshu, serta Genkai 3, 4, dan Ikata 3 di Pulau Shikoku.

PWR generasi keempat yang selesai dirancang pada awal tahun 90-an adalah PWR jenis maju. Rancangan APWR bertujuan khususnya untuk mengurangi biaya bahan bakar, mengurangi dosis paparan radiasi, dan mengurangi limbah kadar rendah yang dihasilkan oleh pendingin teras reaktor. APWR akan memiliki teras *spectral shift* berukuran 3823 MWt termal dengan elemen bakar berukuran 19x19, grid teras dari Zircaloy dan *reflector radial* sehingga efisien neutron, sistem pendingin dengan efisiensi termal lebih baik, sistem *safeguard* maju serta ruang kendali dan sistem kendali modern.

### C. Integrasi Teknologi

Dalam sekitar seperempat abad Jepang mencapai penguasaan dan pengembangan teknologi. Dengan pengalaman membangun dan mengoperasikan sekitar limapuluh PLTN, Jepang terus melaksanakan program pengembangan dan standardisasi PLTN berkelanjutan yang mulai memasuki tahap ketiga. Sekarang Jepang siap membangun PLTN generasi keempat. Mitsubishi yang berperan sentral dalam pembangunan dan pengembangan PWR di Jepang telah menyiapkan rancangan reaktor maju APWR. Reaktor ini diharapkan memiliki unjuk kerja yang cocok dengan tantangan abad 21 yaitu berkurangnya bahan bakar fosil, keselamatan lingkungan serta keselamatan operator yang lebih baik. Target pengembangan teknologi untuk APWR adalah sebagai berikut:

- a. Peningkatan ekonomis : Pengurangan biaya kWh dari PWR sebesar 10%
- b. Peningkatan faktor ketersediaan : 85-90%
- c. Penghematan Uranium : 10-20% dari PWR
- d. Pengurangan Dosis Paparan : 0.5-1 man Sv/ reaktor thn
- e. Pengurangan Limbah tingkat rendah LLW : 100-200 drum/ reaktor thn

Seperti disebutkan di muka APWR akan memiliki teras *spectral shift* berukuran 3823 MWt termal dengan elemen bakar berukuran 19x19, grid teras dari Zircaloy dan *reflector radial* sehingga efisien neutron, sistem pendingin dengan efisiensi termal lebih baik, sistem safeguard maju, serta ruang kendali dan sistem kendali modern. Sistem APWR juga dirancang dengan prinsip kegandaan dan pemisahan alat keselamatan, penggunaan material mekanik yang andal dan non korosif/dapat aktif, sistem kontrol kimiawi yang andal, tata letak peralatan dan perisai yang memudahkan pemeliharaan. Tabel 1 menunjukkan spesifikasi teknis APWR yang dibandingkan dengan PWR generasi ke tiga seperti Ohi 3 dan 4.

Tabel 1. Spesifikasi Teknis Sistem PWR

KOMPONEN	APWR (3823 Mwt)	PWR (3423 Mwt)
Elemen Bakar	19 x 19 <i>spectral shift</i>	17 x 17
Pompa Pendingin	100 A 8000 HP	93 A 6000 HP
Pembangkit Uap (S/G)	65 F 3/4 inch, TT. 690 ~ 19.00 mm dia	52 F 7/8 inch, TT. 690 ~ 22.2 mm dia
Turbin	TC 6 F 52	TC 6 F 44
Safeguard / Sistem Keselamatan	4 subsistem	2 train
Sistem Bantu Feedwater	4 Unit	3 Unit
Frekwensi Pelelehan Teras	$1.5 \times 10^{-6}$ /thn	$5 \times 10^{-5}$ /thn
Efisiensi Termal (%)	35.3	34.5

Sumber: IAEA TECDOC-479, 1988, MHI dan NISHIURA Y., 1997

Peningkatan efisiensi termal dicapai dengan perbaikan sistem S/G dengan rancangan tabung pindah panas TT-690 Alloy berdiameter 3/4 inci, bertekanan uap air 70 kg/cm<sup>2</sup> (12% lebih besar) dan peningkatan unjuk kerja turbin dengan rancangan baling LP turbin 52 inci. *Hot leg* sistem sekunder menjadi lebih tinggi suhunya yaitu 329.4°C. Dibandingkan dengan sistem sekunder PWR konvensional yang menggunakan S/G dengan tabung 7/8 inci ( bertekanan uap air 62,5 kg/cm<sup>2</sup>) dan turbin LP berbaling 44 inci dan memiliki efisiensi termal sekitar 34,4 % maka APWR memiliki efisiensi termal lebih baik yaitu 35,3%

Operasi *spectral shift* teras reaktor yang bertujuan meningkatkan produksi Plutonium di awal operasi dilaksanakan dengan pemakaian *water displacer* dan elemen bakar kerapatan Uranium rendah dan berukuran 19 x 19. Dengan pemakaian reflektor radial yang dapat mengurangi kebocoran neutron, operasi *spectral shift* membutuhkan bahan bakar *reload* yang sama besar dengan PWR konvensional berdaya lebih kecil seperti PWR KWU dan PWR Mitsubishi generasi ketiga yaitu sekitar 40 ton Uranium per siklus. Dengan demikian penghematan biaya daur bahan bakar dapat mencapai 20%.

### III. KESIMPULAN

Pengembangan teknologi PWR di Jepang bertujuan meningkatkan aspek keselamatan operator dan lingkungan, keandalan dan ekonomi dari PLTN melalui program pengembangan dan standardisasi PWR. Ini dicapai dengan kerja sama internasional antara pemerintah Jepang, perusahaan listrik di Jepang, MHI dan Westinghouse, Amerika Serikat. Peran sentral MHI dicapai dengan posisinya sebagai satu-satunya suplier PWR di Jepang dan kemampuannya dalam bidang A&E nuklir.

Reaktor generasi ke-empat yang dicapai saat ini memiliki unjuk kerja yang memenuhi tantangan abad 21 yaitu berkurangnya bahan bakar fosil, tuntutan keselamatan operator dan lingkungan serta keselamatan reaktor yang lebih baik. Dengan telah disusunnya rancangan maju APWR oleh Jepang maka negara tersebut mencapai tahapan integrasi teknologi PWR dalam transformasi teknologi PLTN yang telah diusahakannya selama sekitar seperempat abad.

### DAFTAR PUSTAKA

1. NEWJEC Inc., *Feasibility Study of The First Nuclear Power Plant at Muria Peninsula Region*, 1992.
2. SYAUKAT, A., *Ketersediaan Unit dan Faktor Beban PLTN*, Laporan Teknis PPKTN, 1993.
3. KEPCO, *Looking to the future with Nuclear Power*, Osaka, 1991.
4. IAEA, *TECDOC-479, Status of Advanced Technology and Design for Water Cooled Reactors*, Vienna 1988.

5. NISHIURA Y., *PWR Improvement and Standardization Program*, JEPIC-BATAN Seminar, Jakarta, Nov 12-13,1997.
6. ATOMIC ENERGY SOCIETY of JAPAN, *Proceedings of International Conference on Design and Safety of Advanced Nuclear Power Plants*, Tokyo,Japan,1992.