

PENGEMBANGAN PLTN DI KOREA SELATAN : PEMBELAJARAN UNTUK PENINGKATAN KEMAMPUAN SDM NUKLIR INDONESIA

TJIPTA SUHAEMI, DJEN DJEN DJAINAL DAN SUDARNO

*Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir
Kawasan Puspiptek GD 80, Serpong Tangerang 15310*

Abstrak

PENGEMBANGAN PLTN DI BEBERAPA NEGARA ASIA : PEMBELAJARAN UNTUK PENINGKATAN KEMAMPUAN SDM NUKLIR INDONESIA. Dewasa ini penggunaan energi nuklir di dunia telah mencapai 439 buah dengan kapasitas 371.855 MWe, porsi pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) di dunia mencapai 14% dari total energi keseluruhan. Untuk Asia saja telah beroperasi 109 buah PLTN di 5 negara, yaitu Jepang, Korea Selatan, China, India, dan Pakistan. Dalam makalah ini pembahasan dititikberatkan pada pengembangan PLTN di Korea Selatan. Korea Selatan termasuk negara yang sangat berhasil dalam melaksanakan program pengembangan energi nuklir dengan pembangunan PLTN. Korea Selatan melaksanakan program nuklir secara ambisius sejalan dengan kebijakan industrialisasi nasional, dan mempunyai komitmen yang kuat terhadap pengembangan nuklir sebagai bagian integral dari kebijakan negara untuk mengurangi pengaruh eksternal dan mulai terbatasnya energi fosil. Untuk merealisasikan bertambahnya permintaan kebutuhan energi dan listrik serta perlunya mendukung pembangunan sosial ekonomi, Indonesia perlu belajar dari pengembangan PLTN di Korea Selatan. Dari pembahasan dapat diketahui pembelajaran untuk meningkatkan kemampuan SDM nuklir Indonesia. Diperlukan kebijakan nasional energi yang tegas dan didukung oleh semua pihak, pembagian tanggung jawab dan wewenang dari instansi yang terkait dalam pembangunan PLTN, pemilihan jenis PLTN, program transfer teknologi, dan standarisasi PLTN.

Kata kunci : kemampuan, pengembangan, PLTN, pembelajaran. SDM, standardisasi.

Abstract

DEVELOPMENT OF NUCLEAR POWER PLANTS IN SOUTH KOREA : A LESSON LEARNED FOR INDONESIA NUCLEAR MANPOWER CAPABILITIES ESTABLISHMENT. Worldwide, nowadays there were 439 nuclear power reactors in operation, totaling 371,855 MWe of generating capacity. Nuclear power supplied about 14 % of the world's electricity. Out of 439 operational NPP's in the world, there are 109 NPP's operating in five countries of the region : Japan, South Korea, China, Taiwan, India, and Pakistan. In this paper the discussion is focused on the development of NPP in South Korea. The South Korea has carried out a very ambitious nuclear power programme in parallel with the nation's industrialization policy, and has maintained a strong commitment to nuclear power development as an integral part of the national policy aimed at reducing external vulnerability and insuring against global fossil fuel shortage. For realizing the increasing electricity and energy demand and necessity to support social-economic development, Indonesia should follow the South Korea nuclear development. It is known how to conduct development of nuclear capabilities for Indonesia. Indonesia should established the energy policies, selection of nuclear power plant, transfer technology programme, and standardization of NPP.

Keywords : capabilities, development, nuclear power plant, lesson learned, standardization

PENDAHULUAN

Dewasa ini penggunaan energi nuklir di dunia yang dimulai sejak tahun 1955 sampai sekarang terus meningkat menjadi 439 buah dengan kapasitas 371.855 MWe pada akhir tahun 2007. Sumbangan dari energi nuklir adalah sebanyak 14 % dari total energi listrik dunia. Ada 3 buah PLTN yang masuk ke grid, masing-masing 1 buah di China, India, dan Romania. Pada tahun 2006, dua buah PLTN dan pada tahun 2005 sebanyak empat buah PLTN baru yang masuk grid. Sebanyak 16 negara yang menggantungkan seperempat kebutuhan listriknya dari energi nuklir, Perancis dan Lithuania tigaperempatnya. Belgia, Bulgaria, Slovakia, Korea Selatan, Swedia, Swiss, Slovenia, dan Ukraina lebih dari sepertiganya. Jepang, Jerman, dan Finlandia lebih dari seperempat.^[1,2]

Pada awal tahun 2008 ini pengembangan PLTN mengalami stagnasi di dunia barat, sedikit meningkat di Eropa Timur, dan meningkat tajam di Asia Timur dan Selatan. Banyak negara yang telah membangun maupun yang berkeinginan membangun PLTN. Di beberapa Negara, PLTN merupakan sumber listrik yang sangat penting. Berbeda dengan negara-negara di Amerika Utara dan Eropa Barat yang pertumbuhan pembangunan PLTNnya melambat, namun di Asia terutama Asia Timur dan Asia Selatan terus merencanakan dan membangun PLTN untuk memenuhi kebutuhan listrik yang terus meningkat.

Negara-negara Asia adalah negara yang sedang berkembang, serta ditandai dengan padatnya penduduk dan konsumsi energi per kapita, konsumsi listrik per kapita maupun pendapatan perkapita (*gross domestic product*, GDP) yang relatif rendah. Beberapa negara di Asia yang sudah membangun PLTN adalah Jepang, Korea Selatan, India, Pakistan, dan China.

Korea Selatan termasuk negara nomor enam terbanyak di dunia menggunakan PLTN. Korea Selatan termasuk negara yang miskin dalam sumber daya alam, hanya mempunyai deposit batubara jenis anthrasit yang terbatas. Kebutuhan listrik Korea Selatan meningkat dengan pesat seiring dengan pertumbuhan ekonomi yang juga meroket. Total listrik yang dibangkitkan pada tahun 2000 sebanyak

239.325 GWh dengan kapasitas terpasang 46.978 MWe, dibandingkan dengan 35.510 GWh dan kapasitas terpasang 6.916 MWe pada tahun 1978 saat pengoperasian pertama PLTN di Korea Selatan. Listrik per kapita pada tahun 1999 sebesar 5.107 kWh meningkat 35 kali dibandingkan dengan tahun 1968 saat keputusan pemerintah untuk membangun PLTN pertama.^[3]

Korea Selatan termasuk negara yang sangat berhasil dalam melaksanakan program pengembangan energi nuklir dengan pembangunan PLTN. Negara ini menjadi negara ke enam di dunia yang paling banyak menggunakan energi nuklir. Di samping itu pula pengembangan kemampuan industri nuklir semakin berkembang maju dan berambisi menjadi salah satu dari 5 negara industri nuklir pada tahun 2035, Negara ini mencanangkan pula pada tahun 2035 sebanyak 60% dari energi listriknya berasal dari energi nuklir. Korea Selatan pertama kali dikenalkan pada PLTN tahun 1978, dan dewasa ini sudah mencapai 20 buah PLTN dengan kapasitas total 17.451 MWe atau 35,3 % dari total energi listrik. Kesuksesan Korea dipicu oleh adanya organisasi proyek nuklir yang efektif, pendekatan teknologi secara bertahap langkah demi langkah, dan partisipasi nasional dalam mendukung pembangunan dan pengembangan energi nuklir. Sejak pembangunan PLTN pertama Kori unit I pada tahun 1978, energi nuklir telah menjadi energi yang penting bagi Korea. Meskipun perkembangan industri nuklir Amerika Serikat dan Eropa menurun, pemerintah Korea malah meningkatkan kegiatan energi nuklir sebagai tantangan meningkatnya permintaan energi, pencarian lokasi dan tapak, dan mendukung pengembangan teknologi komersial.

Dalam penggunaan PLTN untuk pembangkit listrik ini, sebenarnya Indonesia sudah ketinggalan jauh dari negeri lain. Korea Selatan yang pada tahun 1960-an dalam hal penguasaan iptek nuklir sejajar dengan Indonesia, pada tahun 1978 telah membangun PLTN berjenis PWR buatan Westinghouse. Berikutnya adalah PLTN jenis CANDU Wolsung-1 yang didesain tahun 1973, konstruksi tahun 1977, dan dioperasikan pada tahun 1983.

Dewasa ini bila dibandingkan antara Korea Selatan dan Indonesia dalam konsumsi energi per kapita, konsumsi listrik per kapita,

serta *gross domestic product* berbeda. Pada tahun 2002 konsumsi listrik perkapita di Korea Selatan dan Indonesia masing-masing adalah 6172 kWh dan 511 kWh, GDP 11479 US \$ dan 698 US \$.^[4,5]

Indonesia sejak lama telah berencana membangun PLTN. Berbagai studi kelayakan telah dilakukan, namun proses introduksi PLTN berjalan alot. Begitu pula Indonesia bukan lagi negara yang mengeksport minyak, tetapi telah menjadi pengimpor minyak, sebab kebutuhan dalam negeri telah melebihi produktivitas minyak. Selain itu, ketergantungan pembangkit listrik pada minyak bumi mengakibatkan pembengkakan subsidi yang luar biasa besar saat ini, mengingat kenaikan harga minyak dunia sudah di luar kemampuan kita untuk memprediksinya. Untuk mendukung program energi dan mengingat sumber daya migas yang terbatas dan kondisi sumber energi Indonesia yang ada dewasa ini, salah satu pilihan yang patut dipikirkan untuk pemenuhan kebutuhan energi listrik di Indonesia adalah memanfaatkan energi nuklir. Namun untuk mengimplementasikan program pembangunan PLTN di Indonesia ternyata banyak kendala dan permasalahan yang dihadapi. Oleh karena itu pengalaman pengembangan PLTN di Korea Selatan diharapkan dapat menjadi pelajaran berharga bagi Indonesia untuk mengembangkan kemampuan sumber daya manusia dalam menyongsong pembangunan PLTN pertama di Indonesia.

METODE

Metode yang digunakan dalam kajian ini adalah dengan melakukan penelusuran pustaka dan informasi, pengumpulan data sekunder, dan melakukan analisis perbandingan terhadap pengembangan PLTN di Korea Selatan termasuk pengembangan sumber daya manusia. Selanjutnya kajian tersebut dapat menjadi pembelajaran dalam pengembangan SDM nuklir di Indonesia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aktivitas nuklir di Korea Selatan dimulai pada tahun 1957 ketika Korea Selatan menjadi anggota IAEA. Pada tahun 1959 dibentuk *Office of Atomic Energy* dan *Atomic Energy Research Institute* (AERI) sebagai instansi pemerintah yang diberi wewenang untuk merencanakan penggunaan energi nuklir. Tahun

berikutnya diterbitkan the Atomic Energy Law. Menyusul pada tahun 1961 dibentuk *Korea Electric Power Corporation* (KEPCO) sebagai badan tunggal penyedia energi listrik. Pada tahun 1962 dibentuk *Korea Heavy Industries and Construction Co, Ltd* (KHIC). Pada tahun 1973 dibentuk *Korea Atomic Energy Research Institute* yang menggabungkan AERI, *Radiological Research Institute* (RRI) dan *Radiation Research Institute in Agriculture* (RRIA). Selanjutnya pada tahun 1975 dibentuk *Korea Power Engineering Co, Inc* (KOPEC), dan *Korea Nuclear Fuel Company, Ltd* (KNFC) pada tahun 1962. KHIC sekarang menjadi *Doosan Heavy Industries Company*.^[6]

Kebijakan energi Korea Selatan dipengaruhi oleh pertimbangan keamanan suplai energi dan perlunya mengurangi ketergantungan kepada impor. Kebijakan tersebut dilanjutkan dengan keputusan pengembangan PLTN sebagai unsur utama produksi pembangkitan listrik. Korea Selatan pada tahun 1978 membangun PLTN berjenis PWR buatan Westinghouse. Berikutnya adalah PLTN jenis CANDU Wolsung-1 yang didesain tahun 1973, konstruksi tahun 1977, dan dioperasikan pada tahun 1983. Pembangunan kedua PLTN tersebut dilakukan cara kontrak putar kunci (*turn-key contract*). Pembangunan PLTN berikutnya mulai dilakukan peningkatan partisipasi nasional industri Korea Selatan secara bertahap. Korea melaksanakan program nuklir secara ambisius dan paralel dengan kebijakan industrialisasi nasional, dan menjaga komitmen yang kuat terhadap pengembangan energi nuklir sebagai bagian integral dari kebijakan energi nasional dengan tujuan mengurangi pengaruh eksternal dan menjamin ketahanan energi terhadap merosotnya bahan bakar fosil dunia.

Dewasa ini 20 buah PLTN yang sudah dibangun di Korea Selatan dan 4 buah lagi yang sedang dalam pembangunan, dan 2 buah lagi yang sedang dalam pembicaraan PLTN yang sedang dibangun untuk Kori adalah 2 unit PWR 1000 dan 2 unit PWR 1400. Untuk lokasi Wolsung dibangun PHWR dengan daya 1000 MWe sebanyak 2 unit. PLTN yang sedang/akan dibangun adalah didesain dan direncanakan oleh pihak Korea sendiri.^[3,7]

Dalam pembangunan PLTN di Korea dapat dibagi kedalam 4 fase program, yaitu :

1. Fase pertama Periode kontrak putar kunci (*turn-key*) dengan kontraktor luar negeri. Dalam hal ini contohnya adalah PLTN Kori unit 2, 3, dan Wolsong unit 1.
2. Fase kedua; Tanggung jawab pembangunan pada Korea sedangkan kontrak peralatan dengan pihak luar negeri. Seperti Kori unit 3, 4, Yonggwang unit 1, 2, dan Ulchin unit 1, 2.
3. Fase ketiga: Sebagian peralatan dibuat oleh kontraktor domestik, misalnya Yonggwang unit 3, 4.
4. Fase keempat : Seluruhnya produk nasional.

Fase pertama dibangun dengan basis putar kunci dimana pihak pemilik (*owner*) Korea tidak terlibat di dalam pelaksanaan pembangunan proyek dan kegiatan pembangunan, dan pengadaan peralatan diserahkan sepenuhnya dan menjadi tanggung jawab kontraktor utama. Fase kedua PLTN dibangun dengan tanggung jawab di pihak Korea. Pada fase ketiga usaha dilakukan untuk memaksimalkan partisipasi industri lokal, yang akan menghasilkan biaya modal yang lebih rendah, waktu pembangunan yang lebih singkat.

Dalam pembahasan pembangunan PLTN Korea Selatan, ada beberapa aspek yang dibahas yaitu aspek kemampuan teknologi, dan upaya yang dilakukan untuk mencapai kemandirian dalam energi nuklir di Korea Selatan.

Kronologi program PLTN Korea Selatan

Ditinjau dari sisi kemampuan teknologi (*technological self-reliance*), pembangunan PLTN di Korea Selatan dapat dikategorikan ke dalam 3 generasi, yaitu ketergantungan total dan imitasi, persiapan kemandirian (*self-reliance preparation*), dan promosi kemandirian (*self-reliance promotion*).

Untuk generasi pertama yang dimulai akhir tahun 1960-an hingga awal 1970-an, terdapat tiga unit PLTN, Kori 1 & 2 dan Wolsong 1 yang dibangun melalui kontrak putar kunci (*turn key project*) dengan vendor asing sebagai kontraktor utama. Periode ini dikarakterisasikan dengan ketergantungan total dan peniruan teknologi. Disebabkan kurangnya pengalaman domestik dalam industri nuklir, *Korea Electric Power Corporation* (KEPCO) suatu perusahaan listrik Korea, mempercayakan

keseluruhan pembangunan pembangkit pada suplai luar negeri, memberikan tanggungjawab penuh untuk manajemen proyek dari mulai desain dan konstruksi hingga *start-up* PLTN. Adapun industri domestik terbatas sebagai subkontrak hanya untuk bangunan sipil dan arsitektur. Sasaran utama kemandirian dalam periode ini adalah untuk mengidentifikasi item-item yang tersedia bagi lokal dan meniru teknologi (persis seperti yang diinstruksikan) dari suplai luar negeri. PLTN pertama, Kori-1 adalah jenis PWR dengan daya 587 MWe dipasok oleh Westinghouse dan dikomisioning tahun 1978 sesudah 7 tahun konstruksi.

Pada generasi kedua dari akhir 1970-an hingga 1980-an, dibangun 6 unit PLTN yaitu Kori 3 & 4, YGN (Yonggwang) 1 & 2, dan UCN (Ulchin) 1 & 2. Unit PLTN ini dibangun melalui kontrak basis komponen diberikan kepada kontraktor utama asing. Pada waktu itu, KEPCO memimpin proyek konstruksi dengan bantuan perusahaan arsitek/rekayasa asing. KEPCO mendapatkan (*procured*) peralatan BOP (*balance of plant*) dan kontraktor Korea menangani konstruksi lokasi, sedangkan industri domestik mengembangkan peran suplai peralatan dan rekayasanya. Selama periode ini, partisipasi domestik meningkat, dan berbagai sarana dan wahana kemandirian teknologi terbuka.

Pada generasi ketiga dari akhir 1980-an hingga akhir 1990-an, KEPCO memimpin proyek basis komponen seperti sebelumnya, tetapi manajemen proyek konstruksi adalah internal. KEPCO mengambil tanggungjawab keseluruhan dengan memberikan kontrak utama pada perusahaan Korea, sedangkan suplai asing bertindak sebagai subkontraktor. Pada periode ini, PLTN YGN 3 & 4 merupakan proyek pertama dari jenis ini, dimulai bersamaan dengan kontrak transfer teknologi untuk meningkatkan kemandirian dan paralel dengan konstruksi PLTN. Untuk proyek UCN 3 & 4, perusahaan/badan Korea mengambil tanggungjawab keseluruhan proyek sedangkan suplai asing merupakan konsultan utama.

Faktor kunci kemandirian teknologi

Ada tiga faktor kunci tercapainya kemandirian Korea Selatan dalam teknologi, yaitu komitmen pemerintah yang kuat, transfer teknologi dan standarisasi PLTN, dan pembagian tanggung jawab yang jelas.

Kebijakan energi nuklir nasional dilaksanakan dengan mempertimbangkan tercapainya kemandirian jangka panjang dalam desain, bahan bakar, manufaktur, konstruksi dan pengoperasian PLTN. Untuk melaksanakan kebijakan tersebut dipilih transfer teknologi dan standardisasi PLTN sebagai wahana (kendaraan) utama untuk kemandirian. Pada tahun 1985 masing-masing instansi/perusahaan Korea diberi cakupan dan tanggungjawab yang jelas oleh pemerintah Korea seperti terlihat pada Tabel 1, dan terkait dengannya dilaksanakan standardisasi PLTN. Untuk transfer teknologi yang efektif, mekanisme implementasinya dilakukan *joint design* dengan mitra (*counterpart*) luar negeri..

Tabel 1. Pembagian Tanggungjawab (Akhir Desember 1996)^[3]

Badan (Entity)	Tanggungjawab
1. Korea Institute of Nuclear Safety (KINS)	Pengawasan dan lisensi
2. Korea Electric Power Corporation (KEPCO)	Managemen dan pengoperasian
3. Korea Power Engineering Co, Inc (KOPEC)	Desain PLTN (Arsitektur dan rekayasa) dan pengembangan teknologi desain
4. Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI)	Desain NSSS, desain bahan bakar dan yang berhubungan dengan R & D
5. Korea Heavy Industries & Construction, Co, Ltd (HANJUNG)	Desain & manufaktur komponen dan pengembangan teknologi manufaktur
6. KEPCO Nuclear Fuel Co, Ltd (KNFC)	Manufaktur bahan bakar dan pengembangan teknologi manufaktur bahan bakar
7. Universitas	R & D teknologi kunci

Strategi untuk mencapai kemandirian dalam bidang PLTN didukung dengan 4 aspek, yaitu pelaksanaan proyek yang aktual, transfer teknologi, standardisasi pembangkit daya, dan pengembangan kemampuan secara gradual melalui R & D.

Proyek YGN 3 & 4 dipilih sebagai basis awal untuk kemandirian. Pada waktu itu tawaran lebih terbuka dan pembeli lebih diperhatikan, pemerintah Korea memasukkan transfer teknologi sebagai salah satu kondisi

kontrak. Transfer teknologi dan proyek aktual dilakukan secara paralel. Proyek ini merupakan titik awal (*turning point*) dalam sejarah nuklir Korea, sebab transfer formal dari teknologi nuklir yang dikembangkan oleh negara maju dibuat mungkin untuk pertama kali di Korea. Untuk itu KEPCO menominasikan perusahaan domestik sebagai kontraktor utama, sedangkan subkontraktor asing menjamin proyek. Pelatihan yang terencana baik dan desain bersama (*joint design*) diadopsi sebagai mekanisme implementasi. Cakupan transfer teknologi mencakup transfer informasi teknologi, lisensi paten, pelatihan di kelas dan *on job training* (OJT), serta partisipasi R & D dan konsultasi.

Standardisasi pembangkit daya dimulai dengan YGN 3 & 4 sebagai pembangkit referensi dan dokumen persyaratan utility standar Korea (*Korean-standard utility requirement documents* (K-SRED) dan *Korean-standard safety analysis report* (K-SSAR) merupakan luaran standardisasi utama. Tujuan dan sasaran standardisasi adalah untuk mengembangkan konsep, mengidentifikasi item untuk pengembangan desain, dan meningkatkan desain lebih baik. Standardisasi berarti mengontruksi pembangkit sesuai dengan spesifikasi yang sama dengan spesifikasi standar, hal ini bermanfaat ditinjau dari pertimbangan ekonomi dari pekerjaan yang berulang. Namun teknologi baru harus diadaptasi untuk meningkatkan keselamatan dan kinerja. UCN 3 & 4 adalah pembangkit standardisasi pertama yang diikuti dan direplikasi oleh YGN 5 & 6 dan UCN 5 & 6, meskipun peningkatan gradual melalui R & D tetap dilakukan. Dewasa ini, Korea sedang mengembangkan reaktor generasi mendatang dengan kapasitas yang lebih tinggi berbasis teknologi yang dicapai melalui kemandirian dalam implementasi pembangkit standar 1000 MWe.^[8,9]

Transfer teknologi

PLTN unit YGN 3 & 4 adalah proyek PLTN yang diimplementasikan pada basis komponen oleh kontraktor utama lokal. Unit ini merupakan titik awal dalam sejarah nuklir Korea sebab ditingkatkannya keterlibatan domestik yang ditandai oleh transfer teknologi. KEPCO sebagai pemilik, menentukan KOPEC sebagai kontraktor utama untuk

arsitek/rekayasa, HANJUNG untuk suplai sistem catu uap nuklir, KNFC untuk manufaktur bahan bakar nuklir, dan HECC untuk konstruksi. Untuk *balance of plant* adalah tanggung jawab KEPCO sebagai pemilik. Masing-masing KAERI ditunjuk sebagai subkontraktor kepada HANJUNG dan KNFC untuk desain NSSS dan teras awal. Badan-badan/perusahaan Korea ini melakukan subkontrak dengan perusahaan asing seperti Sargent & Lundy (S&L), General Electric (GE) dan ASEA Brown Boveri-Combustion Engineering (ABB-CE) untuk rekayasa dan peralatan dan teknologi yang terkait.

Ada berbagai metoda transfer teknologi seperti transfer dokumen teknik, code komputer dan informasi yang terkait dengan paten, pelatihan dan konsultasi. Selain itu, badan-badan/instansi Korea menambahkan lebih metoda untuk mengamankan kemandirian yaitu : *joint design*, partisipasi program pengembangan dan litbang bersama dengan pihak lain.

Dokumen yang ditransfer adalah dokumen generik, mencakup manual yang berkaitan dengan lisensi, dokumen dan prosedur jaminan kualitas, dan dokumen referensi, mencakup dokumen desain, catatan perhitungan, manual, gambar, spesifikasi, dan prosedur. Instalasi, verifikasi dan validasi adalah tugas besar dalam transfer code komputer, mencakup program sumber (*source program*), manual dan dokumen verifikasi QA. Selama dilakukan transfer, konsultasi tetap dilakukan. Perjanjian transfer teknologi selama 10 tahun dibuat tahun 1987 dengan ABB-CE dan diperbaharui dan diperluas untuk 10 tahun berikutnya dalam persetujuan kerjasama teknologi pada 15 Mei 1997.

Desain dan rekayasa NSSS

Transfer teknologi untuk desain NSSS diimplementasikan melalui 4 fase. Fase pertama adalah periode kemandirian untuk teknologi bahan bakar nuklir. Selama periode ini, KAERI secara independen mengembangkan teknologi bahan bakar PHWR, dan mengimpor teknologi bahan bakar PWR dari Siemens-KWU melalui transfer teknologi dan *joint design*.

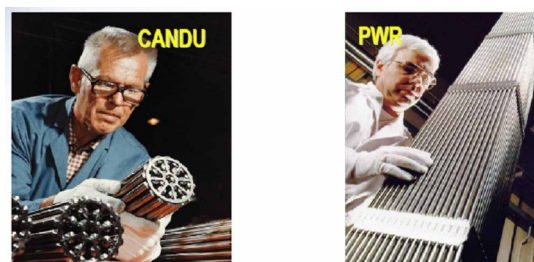
Pada fase kedua, YGN 3 & 4 dilakukan melalui transfer teknologi dan *joint design* dengan ASEA Brown Boveri – Combustion Engineering (ABB-CE). Dalam periode ini,

desain sistem didukung melalui review teknik, pengulangan desain, desain *mock-up* dan joint R & D. KAERI mencapai kemandirian teknologi melalui partisipasi dalam *joint design* NSSS bersamaan dengan implementasi kontrak transfer teknologi. Agar transfer teknologi terlaksana dengan sukses, konsep *joint design* diperkenalkan dengan pelatihan di kelas secara efektif, *on job training* (OJT) dan transfer dokumen desain dan *code* komputer.

Pada fase ketiga, KAERI menyiapkan sendiri pekerjaan desain NSSS dengan konsultasi teknik dari ABB-CE. YGN 3 & 4 merupakan proyek pertama dari periode dan menjadi pembangkit referensi yang mengacu *Korean Standard Nuclear Power Plants* (KSNP). Kemudian proyek standardisasi diluncurkan, dan K-SRED dan K-SSAR adalah luaran utama, diaplikasikan keberlanjutan R & D dan fitur desain yang meningkat.

Pada fase keempat, proyek YGN 5 & 6 dan UCN 5 & 6 dilakukan secara independen oleh Badan/Perusahaan Korea, sedangkan konsultasi dengan ABB-CE mulai berkurang banyak. Pengembangan reaktor generasi mendatang telah dimulai dengan baik.

Reaktor PHWR-CANDU dipertimbangkan sebagai tipe reaktor komplementer di Korea. Berdasar pengalaman desain PWR, suatu strategi yang agresif diletakkan dalam upaya pencapaian kemandirian dalam teknologi PHWR, agar secara sukses membawa tentang transfer teknologi, konsep *joint design* yang diadopsi bersamaan dengan OJT yang efektif, begitu pula transfer dokumen desain dan code komputer melalui kontrak transfer teknologi antara KAERI dan AECL. Untuk pengamanan suplai bahan bakar, Korea Selatan mempunyai kebijakan untuk menggunakan bahan bakar bekas dari PWR untuk digunakan di PLTN PHWR. Gambar 1 menunjukkan perbandingan antara bundle bahan bakar PHWR dan PWR.



Gambar 1. Perbandingan bundle bahan bakar PHWR dan PWR ^[10]

Rekayasa arsitektur

Teknologi program kemandirian untuk Architec and Engineering (A/E) ada dalam 3 fase: yaitu impor, lokalisasi, dan konsolidasi kemandirian. Selama fase pertama, teknologi yang terkait diimpor dari perusahaan yang telah berpengalaman dalam proyek PLTN. Bechtel menyiapkan pelayanan rekayasa dalam proyek rekayasa untuk Kori 3 & 4 dan YGN 1 & 2. Perusahaan Perancis seperti EdF, Framatome dan Alsthom menyediakan pelayanan untuk UCN 1 & 2, dan perusahaan Kanada seperti AECL dan CANATOM menyediakan pelayanan untuk Wolsong 2, 3 & 4. KOPEC berpartisipasi sebagai subkontraktor dengan kontraktor A/E utama dari luar dalam desain dan rekayasa.

Untuk melokalisir teknologi impor selama fase kedua, proyek YGN 3 & 4 juga merupakan wahana /sarana untuk kemandirian bagi KOPEC. KOPEC menandatangani kontrak transfer teknologi dengan S/L dan informasi teknik, yang mencakup dokumen dan program komputer ditransfer. Untuk rekayasa arsitektur dari YGN 3 & 4, S/L adalah desain final. Untuk menambah kemampuan teknik, KOPEC menggunakan konsultasi untuk transfer teknologi. Selama periode ini, sekitar 13 juta halaman dokumen teknik dan 300 code komputer telah ditransfer sedangkan 650 orang telah mendapat pelatihan, yaitu 550 orang pelatihan di kelas dan 100 orang pelatihan OJT.

Selama fase ini, KOPEC mencoba mengonsolidasikan kemandirian melalui penggunaan dan peningkatan teknologi yang ditransfer. Proyek untuk Korean Standard Nuclear Power Plants seperti UCN 3 & 4, YGN 5 & 6 dilaksanakan dengan peningkatan desain secara gradual.

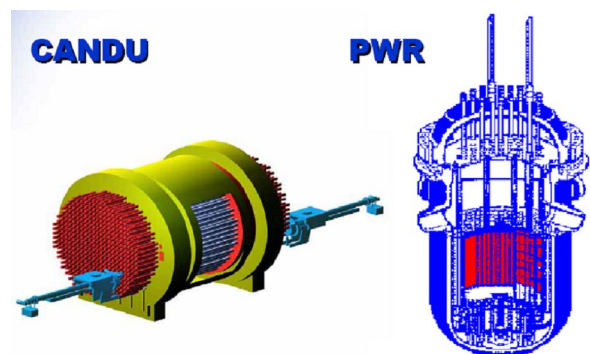
Standardisasi PLTN

Standardisasi PLTN berarti pembangkit yang dibangun merujuk kepada spesifikasi standar pembangkit yang sama dan tidak membangun dan mengembangkan PLTN jenis lainnya. Namun, teknologi baru harus diadopsi untuk meningkatkan keselamatan dan kinerja.

Standardisasi PLTN di Korea diimplementasikan ke dalam 4 fase. Pada fase pertama dari bulan April 1983 s/d Juli 1985 dikembangkan konsep standardisasi pendahuluan diformulasikan selama fase

pertama. Untuk fase kedua dari September 1985 hingga Agustus 1987, standardisasi dikembangkan dengan mereview pengalaman konstruksi dan operasi, pengembangan teknologi maju, dan identifikasi item-item untuk pengembangan desain. Untuk fase ketiga dari Februari 1989 hingga April 1991. Pada fase ini dikarenakan proyek YGN 3 & 4 dilakukan dengan transfer teknologi, proyek YGN 3 & 4 digunakan sebagai referensi PLTN standar Korea (KSNP). Pada KSNP dikembangkan referensi YGN 3 & 4 dan memasukkan fitur desain maju yang terseleksi. Pada fase keempat dari April 1991 sampai 2006 merupakan periode konstruksi Standar Korea dengan UCN 3 & 4 merupakan pembangkit yang dipilih. Pada periode ini akan dibangun beberapa unit yang mencakup YGN 5 & 6 dan UCN 5 & 6. Meskipun PLTN dengan desain KSNP akan dibangun berulang, desain akan ditingkatkan secara gradual dan reaktor generasi masa depan dengan kapasitas yang lebih tinggi sedang dikembangkan juga.

Untuk desain PLTN standar Korea ada empat faktor utama yang dipertimbangkan, yaitu : peningkatan keselamatan, peningkatan kinerja, penggunaan teknologi terbukti, dan kecelakaan parah.



Gambar 2. Perbandingan bejana calandria PHWR dan bejana tekan PWR^[10]

Kemandirian teknologi skala tinggi tercapai melalui konstruksi pembangunan Yonggwang (YGN) unit 3 dan 4 dalam berbagai lapangan industri nuklir. Dewasa ini Korea mencapai kedewasaan dalam teknologi PLTN dan teknologi bahan bakar PLTN. Dewasa ini keseluruhan bahan bakar, sistem suplai uap nuklir, turbin, generator, bangunan sipil dan listrik, sepenuhnya dilakukan oleh perusahaan Korea Selatan sendiri. KHC

(HANJUNG) berfungsi untuk membuat dan menyuplai mesin dan peralatan konstruksi industri berat, antara lain sebagai penyuplai utama untuk bagian sistem suplai uap nuklir (NSSS), turbin, dan generator untuk Yonggwang unit 3, 4 dan Ulchin unit 3,4, begitu pula turbin dan generator untuk Wolsong 2, 3, 4. Perusahaan konstruksi domestik lainnya yang mengembangkan bidang rekayasa sipil, arsitektur, mekanik dan listrik. HDEC telah melaksanakan konstruksi sipil 7 unit PLTN, yaitu Kori unit 1-4, Yonggwang unit 1 & 2, dan Wolsong 1.

Dampak sosial dan ekonomi

Pemerintah Korea Selatan menyadari terbatasnya sumber energi dan ketergantungan yang tinggi pada impor energi khususnya minyak. Oleh karenanya pemerintah mempunyai komitmen yang kuat untuk meningkatkan keamanan suplai energi nasional dengan membangun PLTN. Peningkatan energi dilakukan sejalan dengan meningkatkan dan mempertahankan pertumbuhan ekonomi, serta memperhatikan pula masalah lingkungan. Dengan pembangun PLTN di Korea Selatan, industri nasional semakin maju. Kita melihat bahwa Korea Selatan sudah bisa membuat sendiri komponen-komponen PLTN, seperti pembangkit uap, bahan bakar, dll. Bahkan Korea Selatan sedang mendesain sendiri PLTN jenis PWR standar KSNP. Pendapatan per kapita Korea Selatan dari US \$ 1.673,- pada tahun 1980 meningkat menjadi US \$ 12.628,- pada tahun 2003.

Dalam pembangunan PLTN, masyarakat Korea Selatan diberi pemahaman tentang segala aspek yang berkaitan dengan pengembangan energi nuklir dan merespon pertanyaan dan kekhawatiran masyarakat terhadap nuklir secara terbuka dan demokrasi. Dengan demikian masyarakat Korea Selatan mendukung pembangunan PLTN.

Pembelajaran untuk meningkatkan kemampuan SDM Nuklir Indonesia

Sebagai anggota IAEA, Indonesia telah sejak lama membangun kerjasama dengan negara lain dalam melakukan penelitian dan pemanfaatan teknologi nuklir maupun transfer teknologi nuklir. Selain dari IAEA, Indonesia telah membangun kerja sama dengan Amerika Serikat, Kanada, Jerman, Perancis, Jepang,

Korea Selatan. Begitu pula dengan bahan bakar uranium cadangannya di dunia melimpah, dan akses pengembangannya di dunia melimpah, dan akses pengembangan bahan bakar tidak terlalu sulit. Berdasarkan hal di atas dan berbagai kajian tentang perencanaan energi masa depan, disimpulkan bahwa PLTN merupakan salah satu opsi dalam mengantisipasi permintaan energi masa depan yang bersih dan berkelanjutan. Keputusan untuk segera membangun PLTN di Indonesia harus segera dilaksanakan, agar krisis energi di Indonesia dapat teratasi.

Dari pengalaman pembangunan PLTN di Korea Selatan terlihat bahwa industri nasional ikut berkembang. Pembangunan PLTN pertama dilakukan dengan sistem proyek *turn-key*, dewasa ini mereka sudah dapat membangun PLTN dengan kemampuan sendiri. Bagi Indonesia pembangunan PLTN bisa menjadi pemacu pengembangan industri nasional, asalkan keputusan untuk membangun PLTN pertama di Indonesia direncanakan dengan baik. Kesalahan dalam pemilihan jenis PLTN yang akan dibangun tentu tidak akan memberikan banyak manfaat bagi peningkatan kesejahteraan masyarakat, karena selalu akan tergantung terus dengan pihak pemasok PLTN. Selain itu tantangan yang dihadapi bagaimana menyiasati negara industri/vendor agar bersedia mentransfer teknologi nuklirnya ke Indonesia.

Dari bahasan terlihat bahwa kesuksesan pelaksanaan program PLTN di Korea Selatan dipicu oleh komitmen bersama dari semua pihak untuk menyukseskan program PLTN. Mereka menyadari betapa pentingnya sumber energi bagi pembangunan negara. Program untuk mencapai kemandirian telah dirancang sejak awal melalui program alih teknologi dan *joint design*. Pelajaran yang dapat dipetik bagi Indonesia adalah diperlukannya komitmen nasional terhadap pentingnya pembangunan PLTN bagi Indonesia. Harus diupayakan sinergi antara instansi yang terkait dengan pengembangan PLTN. Patut disadari bahwa pengembangan bidang nuklir merupakan program jangka panjang dan berkelanjutan, sehingga pembangunan PLTN harus direncanakan dengan sebaik-baiknya dengan melibatkan semua instansi yang terkait. Perlu dibangun kebersamaan antar organisasi dan instansi baik pemerintah maupun swasta, untuk bersama-sama mendiskusikan pembangunan

negara pada umumnya dan pembangunan PLTN pada khususnya, secara arif, terbuka, serta melihat wawasan masa depan demi untuk tercapainya kesejahteraan masyarakat dan negara. Semua pihak perlu bergandeng tangan, berat sama dipikul, ringan sama dijinjing dalam melaksanakan rencana mencukupkan energi bagi keperluan masyarakat dan industri.

Perencanaan dan tahapan pembangunan PLTN perlu direncanakan dan disiapkan secara matang dan sungguh-sungguh, dan memerlukan pula kehendak politik yang kuat dan didukung oleh semua lapisan masyarakat. Pembangunan PLTN pertama apakah secara *turn key project* ataupun *build operation and transfer* (BOT) tidak menjadi masalah. Yang penting untuk pembangunan PLTN ke 2, ke 3, dan seterusnya, partisipasi nasional dalam pembangunan semakin meningkat, dan di satu saat Indonesia diharapkan tidak lagi tergantung dari negara luar.

KESIMPULAN.

Kemandirian dalam teknologi PLTN di Republik Korea dicapai melalui kebijakan yang dikembangkan dengan baik dan program yang telah ditetapkan benar-benar diimplementasikan. Dari pengalaman Korea dapat diketahui faktor kunci untuk kemandirian teknologi adalah :

1. Pengembangan rencana nasional jangka panjang untuk mencapai kemandirian dalam teknologi PLTN.
2. Dalam kontrak pembangkit nuklir dilakukan pula bersamaan dengan program transfer teknologi, dan
3. Pengembangan rencana standardisasi PLTN

Konsideran pertama yang harus dilakukan adalah pengembangan rencana jangka panjang untuk kemandirian teknologi. sangat penting untuk menyusun suatu *master plan* yang menyatukan semua industri nuklir yang terkait dengan proyek termasuk utility. *Master plan* harus mencakup jenis kontrak, *workshop*, transfer teknologi yang mempertimbangkan peningkatan kemampuan SDM, kemampuan kinerja pekerjaan, dan fasilitas yang tersedia dari industri nuklir yang terkait.

Konsideran kedua harus menjadi refleksi orientasi kebijakan ke arah kemandirian

teknologi dari tingkat awal kontrak. Ini berarti bahwa undangan penawaran atau spesifikasi penawaran (*bid specification*) berisi permintaan kepada *vendor* untuk juga menyerahkan program transfer teknologi yang rinci. Harus dipertimbangkan metode/cara untuk mendapatkan lisensi dari teknologi yang terkait melalui kontrak transfer teknologi. Teknologi nuklir mencakup jangkauan yang luas, sehingga sangat sulit untuk mencapai kemandirian teknologi dalam semua bidang teknologi nuklir dalam waktu yang pendek. Oleh karenanya penting untuk menyusun prioritas bidang-bidang teknologi nuklir tertentu yang harus dikembangkan.

Direkomendasikan bahwa negara sedang berkembang sebaiknya melakukan *joint work*, pelatihan dan teknik serta *code komputer* melalui persetujuan transfer teknologi. Untuk meningkatkan kemampuan teknologi dari industri domestik yang tumbuh melalui transfer teknologi dan *joint work*, harus diikuti dengan kajian sendiri (pengulangan desain dan desain *mock up*) dan R & D. Dengan pemilihan satu jenis PLTN, dapat ditetapkan standardisasi PLTN sehingga lebih mudah memfasilitasi kemandirian dalam teknologi PLTN

Pembangunan PLTN dapat memacu perkembangan industri nasional, karena berbagai macam industri dan partisipasi domestik dapat terlibat dalam pembangunan PLTN. Pembangunan PLTN di Korea Selatan dapat dijadikan contoh dalam pengembangan program pengembangan kemampuan SDM nuklir di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

1. ANONYMOUS, Nuclear Technology Review 2008, IAEA, Vienna, (2008).
2. ANONYMOUS, Nuclear Technology Review 2007, IAEA, Vienna, (2007) "Public Acceptance and Participation in Decision Making"
3. AVAILABLE : <http://www.kntc.re.kr>. "Republic of Korea"
4. AVAILABLE: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publication/PDF/cnpp2004/CNPP-Webpage/countryprofiles/Korea/04/11/2008>. "Indonesia"
5. AVAILABLE: <http://localhost/D:/PDF-NPP/Indonesia.htm/04/14/2008>.

6. ANONYMOUS , *Atomic Energy Activities in Korea*, Ministry of Science and Technology Republic of Korea, (1994)
7. ANONYMOUS, *1996 Nuclear Annual Review*, Korea Electric Power Corporation, Seoul, (1998).
8. ANONYMOUS, *Nuclear Power Plant*, Doosan Heavy Industries & Construction, Seoul.
9. ANONYMOUS, *KOPEC*, Korea Power Engineering Company, Inc, Seoul, (2004)
10. SHALABY, B.A., *CANDU Technology for Generation III+ and IV Reactors*, WIN Global Conference, Waterloo, Ont, June (2006).

TANYA JAWAB

Pertanyaan

1. Komponen apa yang telah di ubah oleh Korea Selatan sehingga mereka dapat membuat lisensi PLTN?(Achmad Chamsudi)
2. Mungkinkah Indonesia (terutama BATAN) mengikuti jejak Korea Selatan? (Achmad Chamsudi)

Jawaban

1. Mereka telah berhubungan sejak lama dengan pihak Westinghouse. Hampir semua komponen, seperti fuel, steam generator, dan komponen sistem mendapatkan lisensi.
2. Kita agak tertinggal Starting Point nya sebab Korea tahun 1970-an sudah membangun PLTN. Kita harus membuat program transfer teknologi, training, dan tujuan untuk mencapai kemandirian.