

STRATEGI ALIH TEKNOLOGI PLTN
Belajar dari Pengalaman Korea

Sriyana, Nurlaila^{*)}

ABSTRAK

STRATEGI ALIH TEKNOLOGI PLTN : *Belajar dari Pengalaman Korea*. Teknologi adalah salah satu elemen sosial ekonomi yang memainkan peranan penting dalam proses modernisasi. Ketika gagasan modernitas mengalir ke masyarakat, teknologi menjadi prasyarat fundamental demi terwujudnya sistem sosial ekonomi yang modern di masyarakat tersebut. Oleh karena itu, berbagai upaya modernisasi masyarakat mengikutsertakan program alih teknologi dalam agenda utamanya. Tujuan studi ini adalah memilih proses alih teknologi yang baik dan sesuai untuk dapat meraih kemampuan teknologi PLTN secara mandiri. Studi proses alih teknologi ini dilakukan dengan penelusuran literatur yang ada, yakni belajar dari pengalaman Korea yang telah berhasil mengembangkan teknologi pembangkit listrik tenaga nuklir dengan kemampuan sendiri. Sedangkan lingkup penelitian ini adalah mendiskripsikan proses alih teknologi yang baik dan sesuai untuk dapat meraih kemampuan teknologi PLTN secara mandiri. Studi ini menyimpulkan bahwa program alih teknologi harus dimulai sejak masa persiapan pembangunan PLTN, masa Pra-pembangunan PLTN, masa Pembangunan PLTN maupun pada masa pengoperasian PLTN. Untuk meraih kemampuan teknologi PLTN yang mandiri perlu dilakukan program jangka panjang dan perlu dibangun unit-unit PLTN yang cukup untuk sebuah alih teknologi. Peran dan komitmen pemerintah juga harus kuat untuk mendorong terjadinya alih teknologi. Institusi-institusi yang terlibat harus jelas dan bertanggung jawab sesuai kompetensinya masing-masing. Industri nasional sebagai eksekutor alih teknologi perlu diberikan peluang yang lebih besar dalam proses alih teknologi ini.

ABSTRACT

STRATEGY OF NUCLEAR POWER TECHNOLOGY: *Learn from Korea Experience*. Technology is one of the economic and social elements which play an important role in modernization process. When modernity ideas come into society, technology will become fundamental prerequisite for the shake of its form of modern economic social system of the society. Therefore, various effort modernize society involve program of transfer technology in main agenda. Purpose of this study is to choose a process of technology transfer and according to be able to reach for technological ability of nuclear power self-reliance. This research is conducted by study of existing literature, namely learn from experience of Korea which have succeeded to develop nuclear energy technology with self-reliance. While this research scope is to describe the process of technology transfer and according to be able to reach for technological ability of nuclear energy self-reliance. This study conclude that program of technology transfer have to start since nuclear power development pre-project period, project construction of NPP period and also in operation period. To reach for technological ability of self-reliance require to be done by long-term program and require to be build by several units which last for a transfer of technology. Government Commitment to have important role also have to be strong to push the happening of technology transfer. Institutions in concerned should have to be clear and hold responsible according to its interest. National industries as executor of technology transfer require to be given by larger ones opportunity in course of transfer this technology.

^{*)} Staf Bidang Partisipasi Industri Nasional - P2EN

1. Pendahuluan

Teknologi adalah salah satu elemen sosial ekonomi yang memainkan peranan penting dalam proses modernisasi. Ketika gagasan modernitas mengalir ke masyarakat, teknologi menjadi prasyarat fundamental demi terwujudnya sistem sosial ekonomi yang modern di masyarakat tersebut. Oleh karena itu, berbagai upaya modernisasi masyarakat mengikutsertakan program alih teknologi dalam agenda utamanya.

Seperti diketahui bahwa alih teknologi merupakan proses belajar, sehingga diperlukan waktu dan pengelolaan secara seksama. Alih teknologi tidak hanya sekedar pengalihan dokumen teknis dari pihak donor kepada pihak penerima teknologi tetapi juga tercapainya kemampuan pihak penerima teknologi untuk mempraktekkan teknologi yang diterima, mampu menyerap informasi yang tersedia dan menerapkannya dalam rancangan yang selanjutnya direalisasikan dalam usaha pabrikan, pembangunan dan operasi serta perawatan. Demikian juga halnya dengan pembangunan PLTN di Indonesia, dimana kita masih belum berpengalaman sehingga kita perlu melakukan alih teknologi dari negara-negara yang sudah memiliki pengalaman dalam pengembangan PLTN. Salah satu contoh negara di Asia yang sudah mengembangkan PLTN adalah Korea Selatan, yang menjadi acuan dalam studi ini, yakni jenis KSNP 1000 (Korean Standard Nuclear Plant – 1000 MWe).

Alasan mengapa dipilih Korea sebagai acuan studi oleh karena Korea telah cukup maju dalam menguasai teknologi PLTN dan mempunyai program alih teknologi yang relatif cukup baik, serta promosi yang cukup antusias. Hal ini dapat dibuktikan bahwa sampai dengan tahun 2003 ini telah mengoperasikan 18 unit PLTN jenis PWR (*Pressurized Water Reactor*) 14 unit dan PHWR (*Pressurized Heavy Water Reactor*) 4 unit. Disamping itu Korea telah mampu memasak bahan bakar nuklir untuk keperluan operasi PLTN tersebut, baik untuk jenis PWR maupun PHWR.

Lingkup penelitian ini adalah mendiskripsikan serta memilih proses alih teknologi yang baik dan sesuai untuk dapat meraih kemampuan teknologi PLTN secara mandiri. Misalnya alih teknologi dengan : *Class Room Training* (CRT), *On the Job Training* (OJT), transfer dokumen, transfer kode komputer (paket program computer), dan media alih teknologi yang lainnya, seperti partisipasi riset dan desain, serta dengan konsultasi.

2. Pengalaman Korea

Pengalaman dan kebijaksanaan lokalisasi teknologi PLTN Korea adalah mencakup program PLTN, yang meyakini bahwa tenaga nuklir merupakan sumber energi yang *semi-independent*, maksudnya bahwa hanya uranium (bahan bakar nuklir) yang diimpor, sedangkan komponen lain secara domestik tersedia, mampu mendesain,

membuat dan membangun sendiri. Disamping itu pemerintah Korea memilih nuklir sebagai salah satu sumber energi listrik utama dengan tujuan untuk menjamin kestabilan pasokan daya listrik, untuk mencukupi kebutuhan energi sendiri dan hal ini bukan sebagai sebuah opsi pilihan tetapi merupakan sebuah kebutuhan, karena memang sumber daya energinya terbatas.

Saat ini PLTN yang beroperasi di Korea sebanyak 18 unit (14 PWR dan 4 PHWR), yang sedang dibangun sebanyak 8 unit PWR dan yang baru direncanakan untuk dibangun sampai dengan tahun 2015 sebanyak 4 unit.

Pembangkitan listrik tenaga nuklir di Korea pada tahun 2001 adalah sebesar 112.133 GWh dengan kapasitas terpasang 13.716 MWe (pangsa pembangkitan tenaga nuklir sebesar 39% dan pangsa kapasitas pembangkitan : 27%). Rencana jangka panjang ke-5 bidang kelistrikan Korea ditetapkan dan diumumkan pada Januari 2000, yaitu :

- 106 unit (45.130 MWe) akan dibangun selama 1999 – 2015
- 14 unit (15.300 MWe) merupakan pembangkit nuklir (3 unit telah beroperasi, 7 unit sedang dibangun, 4 direncanakan yang terdiri dari 6 unit KSNP, 4 unit KSNP+, 4 unit APR1400).

Jumlah PLTN Korea yang telah beroperasi sampai saat ini adalah seperti pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. PLTN Korea yang Beroperasi

Nama PLTN	Ukuran (MWe)	Tipe	Pemasok NSSS	Pemasok T/G	COD
Kori-1	587	PWR	W	GEC	April 1978
Kori-2	659	PWR	W	GEC	Juli 1983
Wolsong-1	679	PHWR	AECL	Houden	April 1983
Kori-3	950	PWR	W	GEC	September 1985
Kori-4	950	PWR	W	GEC	April 1986
Yonggwang-1	950	PWR	W	W	Agustus 1986
Yonggwang-2	950	PWR	W	W	Juni 1987
Ulchin-1	1000	PWR	Framatome	Alsthom	September 1988
Ulchin-2	1000	PWR	Framatome	Alsthom	September 1989
Yonggwang-3	1000	PWR	Hanjung/CE	Hanjung/GE	Maret 1995
Yonggwang-4	1000	PWR	Hanjung/CE	Hanjung/GE	Desember 1996
Wolsong-2	700	PHWR	AECL/Hanjung	Hanjung/GE	Juli 1997
Wolsong-3	700	PHWR	AECL/Hanjung	Hanjung/GE	Juli 1998
Ulchin-3	1000	PWR	Hanjung/CE	Hanjung/GE	Agustus 1998
Ulchin-4	1000	PWR	Hanjung/CE	Hanjung/GE	Desember 1999
Wolsong-4	700	PHWR	AECL/Hanjung	Hanjung/GE	Oktober 1999
Yonggwang-5	1000	PWR	Doosan	Doosan	April 2002
Yonggwang-6	1000	PWR	Doosan	Doosan	Des. 2002

NSSS : Nuclear Steam Supply System
T/G : Turbine Generator
COD : Commercial Operation Date
GE : General Electric

W : Westinghouse
AECL : Atomic Energy Canada Limited
CE : Combustion Engineering

Sedangkan PLTN Korea yang masih berada dalam tahap perencanaan dan konstruksi dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. PLTN Korea dalam Tahap Perencanaan dan Konstruksi

Status	Nama Pembangkit	Ukuran (MWe)	Tipe	Pemasok NSSS	Pemasok T/G	COD
Tahap Konstruksi	Ulchin-5	1000	PWR	Doosan	Doosan	Juni 2004
	Ulchin-6	1000	PWR	Doosan	Doosan	Juni 2005
	ShinKori-1	1000	PWR	Doosan	Doosan	Sep. 2008
	ShinKori-2	1000	PWR	Doosan	Doosan	Sep. 2009
	Shin-Wolsong-1	1000	PWR	Doosan	Doosan	Sep. 2009
	Shin-Wolsong-2	1000	PWR	Doosan	Doosan	Sep. 2010
Tahap Perencanaan	ShinKori-3	1400	PWR			Sep. 2010
	ShinKori-4	1400	PWR			Sep. 2011
	APR1400 # 3	1400	PWR			Juni 2014
	APR1400 # 4	1400	PWR			Juni 2015

3. Kronologi Program Nuklir di Korea

Perkembangan teknologi PLTN di Korea dari aspek kemandirian teknologi dapat dikategorikan menjadi : masa imitasi (meniru teknologi) dan ketergantungan penuh, masa persiapan kemandirian teknologi dan masa promosi kemandirian teknologi.

Selama generasi pertama, yakni dari tahun 1960-an dan awal tahun 1970-an 3 unit PLTN dibangun dengan kontrak putar kunci, yakni PLTN Kori-1&2 (PWR), serta Wolsong-1 (PHWR). Generasi ini merupakan masa imitasi dan ketergantungan penuh, oleh karena masih minimnya pengalaman Korea (dalam hal ini KEPCO, *Korea Electric Power Corporation*). Hal ini bisa dimengerti dengan jenis kontrak yang dipilih, semua dilakukan oleh pemasok asing beserta tanggung jawab untuk manajemen proyek dari desain, konstruksi hingga start-up/komisioning PLTN. Partisipasi domestiknya hanya terbatas pada pekerjaan sipil dan arsitektur dalam hal pelayanan jasa sebagai subkontraktor. Tujuan utama untuk meraih kemandirian teknologi dalam generasi ini adalah identifikasi item-item yang bisa disediakan secara domestik dan meniru teknologi dari pemasok asing.

Generasi kedua dimulai dari akhir tahun 1970-an hingga awal tahun 1980-an, 6 unit PLTN (Kori 3&4, Yonggwang 1&2, dan Ulchin 1&2) dibangun dengan pendekatan kontrak berbasis komponen dengan kontraktor asing sebagai kontraktor utamanya (*main-contractor*). KEPCO mengelola proyek pembangunan PLTN dengan bantuan kontraktor A/E (Architect/Engineering) asing. KEPCO melakukan pengadaan komponen BOP (Balance of Plant), dan kontraktor-kontraktor Korea mengelola konstruksi di lokasi tapak, sementara itu industri domestik memperluas perannya dalam hal kemampuan dibidang engineering dan pasokan peralatan PLTN. Pada periode generasi ini partisipasi domestik meningkat dan berbagai macam cara menuju kemandirian teknologi terbuka lebih lebar.

Generasi ketiga, akhir tahun 1980-an hingga akhir 1990-an, KEPCO melakukan proyek berbasis komponen sebagaimana telah dilakukan pada generasi sebelumnya, namun manajemen proyek dilakukan sendiri. KEPCO memberikan tanggung jawab

keseluruhan proyek kepada kontraktor Korea, sedangkan pemasok asing sebagai subkontraktor. Proyek pertama pada periode ini adalah Yonggwang 3&4 dimulai dengan kontrak alih teknologi untuk meningkatkan kemandirian teknologi seiring dengan konstruksi PLTN. Tanggung jawab proyek pembangunan Ulchin 3&4 ditangani oleh perusahaan Korea sendiri sedangkan pemasok asing berperan sebagai konsultan.

4. Faktor Kunci untuk Kemandirian Teknologi

Dukungan dan komitmen pemerintah yang kuat adalah salah satu kunci kemandirian teknologi. Dukungan pemerintah ini diwujudkan dalam kebijakan energi nasional dalam jangka panjang mengenai program energi nuklir. Disamping itu institusi-institusi terkait di dalam pemerintahan tersebut harus secara seksama memiliki komitmen dan dukungan yang kuat pula. Kebijakan pemerintah diperlukan untuk pengembangan industri pendukung PLTN. Untuk implementasi kebijakan pemerintah tersebut, Korea memilih alih teknologi dan standardisasi PLTN sebagai sarana untuk meraih kemandirian teknologi PLTN. Lingkup tugas dan tanggung jawab dibagi untuk berbagai institusi di Korea sebagai berikut (tahun 1985 hingga akhir Desember 1996) :

Tabel 1. Pembagian tugas dan tanggung jawab

Institusi	Lingkup Tugas dan Tanggung Jawab
KINS, Korea Institute of Nuclear Safety	Badan pengawasan tenaga nuklir
KEPCO, Korea Electric Power Company	Manajemen proyek dan operasi PLTN
KOPEC, Korea Power Engineering Co., In.	Desain dan pengembangan desain PLTN (A/E).
KAERI, Korea Atomic Energy Research Institute	Desain NSSS, bahan bakar, R&D.
HANJUNG, (sekarang DOOSAN)	Desain, pabrikasi komponen dan pengembangan teknologi pabrikasinya.
KNFC, KEPCO Nuclear Fuel Co. Ltd.	Pabrikasi bahan bakar nuklir dan pengembangan teknologinya.
Universitas	Penelitian dan pengembangan teknologi kunci (key technology)

Strategi yang diterapkan untuk memperoleh kemandirian teknologi PLTN adalah dengan empat cara, yaitu pelaksanaan proyek yang sebenarnya (implementasi), alih teknologi, standardisasi PLTN dan perbaikan secara bertahap melalui penelitian dan pengembangan.

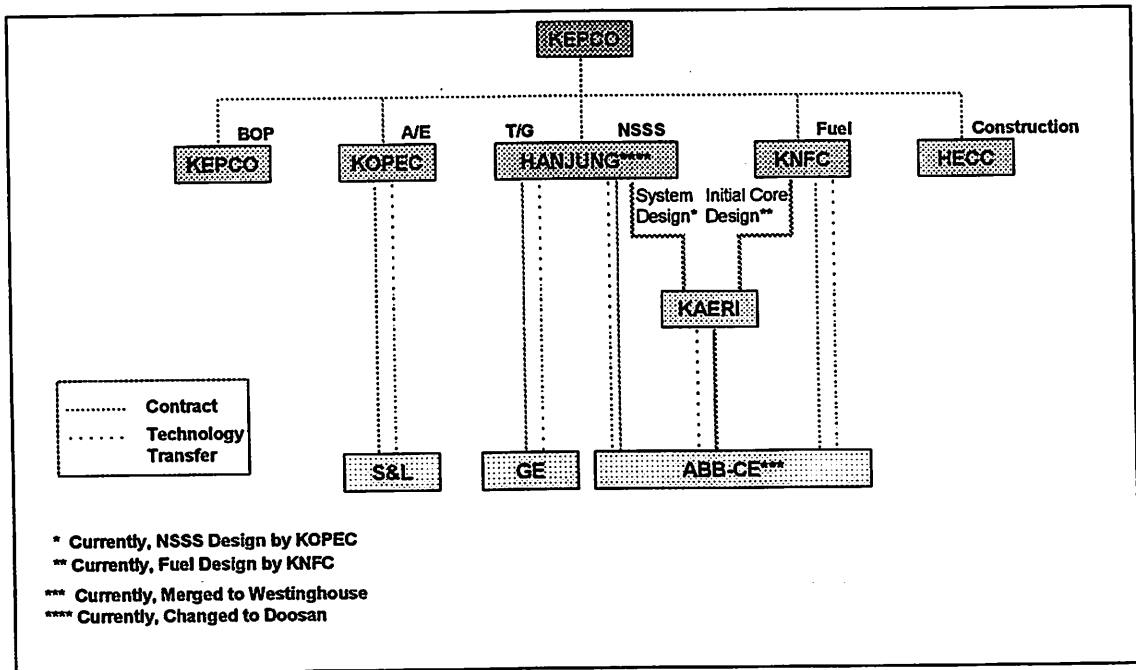
Proyek Yonggwang 3&4 dipilih sebagai basis kemandirian teknologi. Oleh karena pada saat perencanaan proyek tersebut pasar nuklir ada pada pihak pembeli, pemerintah memilih alih teknologi sebagai persyaratan di dalam kontrak. Pelaksanaan proyek dan alih teknologi dilakukan secara paralel. Proyek ini merupakan titik balik dalam sejarah tenaga

nuklir di Korea, karena proses alih teknologi secara formal dari teknologi nuklir yang ada di negara maju ke Korea untuk pertama kalinya dilakukan. Sebagai hasilnya KEPCO dinominasikan sebagai kontraktor utama sedangkan subkontraktor asing memberikan jaminan proyeknya. Perencanaan pelatihan dan kerja sama desain diadopsi sebagai mekanisme pelaksanaannya. Lingkup alih teknologi termasuk di dalamnya alih informasi teknis, lisensi dan paten, pelatihan di kelas, dan pelatihan di tempat kerja (OJT), serta konsultasi dan partisipasi dalam penelitian dan pengembangan.

Standardisasi PLTN dimulai dengan Yonggwang 3&4 sebagai PLTN acuan (reference plant) dimana outputnya adalah standar URD-Korea (K-SRED) dan laporan analisis keselamatan standar Korea (K-SSAR). Tujuan dari standardisasi adalah mengembangkan konsep, mengidentifikasi item-item yang ada untuk perbaikan desain, dan memperbaiki desain dari PLTN acuan. Standardisasi berarti membangun PLTN dengan spesifikasi yang sama dan berulang untuk memperoleh keuntungan ekonomi. Namun demikian tentunya teknologi baru juga diadaptasikan untuk memperoleh unjuk kerja dan tingkat keselamatan yang tinggi. PLTN Ulchin 3&4 adalah PLTN standar yang pertama dan diikuti Yonggwang 5&6 serta Ulchin 5&6 namun begitu diterapkan perbaikan secara bertahap melalui penelitian dan pengembangan. KSNP adalah nama PLTN standar Korea dengan kapasitas 1000 MWe. Saat ini Korea sedang mengembangkan generasi reaktor dengan kapasitas yang lebih besar, yakni 1400 MWe.

5. Alih Teknologi

YGN 3&4 merupakan proyek PLTN yang pertama dengan kontrak berbasis komponen dengan kontraktor utama dari Korea sendiri, yang merupakan sejarah keterlibatan domestik dalam teknologi PLTN untuk meningkatkan alih teknologinya. KEPCO yang menunjuk KOPEC sebagai kontraktor utama untuk A/E (architect/engineering), HANJUNG untuk pemasok NSSS dan turbin/generator, KNFC untuk penyediaan dan pabrikasi elemen bakar nuklir, dan HECC untuk konstruksinya. Pengadaan komponen dan sistem BOP merupakan tanggung jawab KEPCO sebagai pemilik proyek. KAERI ditugasi sebagai subkontraktornya HANJUNG dan KNFC untuk desain NSSS dan pengisian awal teras reaktor. Pelaksanaan pembangunan YGN 3,4 ini didukung oleh subkontraktor asing, yaitu Sargent & Lundy (S&L), General Electric (GE), dan ASEA Brown Boveri-Combustion Engineering (ABB-CE) untuk rekayasa (engineering) dan peralatan teknologi terkait. Struktur kontrak dapat dilihat pada gambar berikut :



Pada umumnya ada berbagai metode untuk melakukan alih teknologi, seperti misalnya alih dokumen-dokumen teknis, alih paket program komputer dan informasi terkait paten, pelatihan dan konsultasi. Korea juga menerapkan metode alih teknologi yang lain sebagai tambahan dari metode di atas, yakni dengan kerja sama desain, partisipasi dalam pengembangan program serta kerjasama penelitian dan pengembangan. Dokumen yang diperoleh dalam proses alih teknologi tersebut terdiri dari *dokumen umum* (generic documents), termasuk manual yang berhubungan dengan lisensi, dokumen jaminan kualitas dan prosedur-prosedurnya, serta *dokumen acuan* (reference documents) seperti misalnya dokumen desain, catatan-catatan kalkulasi/perhitungan teknis, manual-manual, gambar-gambar, spesifikasi dan prosedur-prosedurnya. Proses alih paket program komputer dilakukan dengan instalasi program, verifikasi dan validasi termasuk juga alih *source program*, manual dan dokumen verifikasi jaminan kualitasnya. Selama alih teknologi tersebut konsultasi selalu terbuka apabila muncul pertanyaan rinci maupun bila diperlukan tambahan pekerjaan.

Perjanjian alih teknologi selama 10 tahun dibuat tahun 1987 diperbaharui pada 15 Mei 1997 untuk perpanjangan perjanjian 10 tahun berikutnya.

5.1. Desain dan Rekayasa NSSS

Alih teknologi untuk desain NSSS dilaksanakan dalam 4. (empat) tahap. Tahap pertama merupakan periode kemandirian teknologi bahan bakar nuklir. Pada tahap ini

KAERI mengembangkan teknologi bahan bakar nuklir PHWR dan mengimpor teknologi bahan bakar PWR dari Siemens-KWU melalui kontrak alih teknologi dan kerja sama desain.

Tahap kedua, YGN 3&4 dibangun melalui kontrak alih teknologi dan kerja sama desain dengan ABB-CE. Pada tahap ini desain sistem dilakukan dengan kaji ulang secara teknis, pengulangan desain, desain maket dan kerja sama penelitian dan pengembangan dengan ABB-CE. Sedangkan KAERI meraih kemandirian teknologi dengan cara berpartisipasi dalam kerja sama desain NSSS selama pelaksanaan kontrak alih teknologi. Untuk mewujudkan keberhasilan alih teknologi, kerja sama dalam membuat konsep desain diawali dengan pelatihan kelas (*class room training*) yang efektif, pelatihan *on-the-job* (OJT) dan alih dokumen desain dan paket program komputer.

Satu tim desain dari KAERI telah dikirim ke ABB-CE, di Windsor, Connecticut, USA dan melakukan desain NSSS bekerja sama dengan insinyur-insinyur dari ABB-CE sejak tahap awal proyek. Dua tahun kemudian, pusat desain untuk NSSS dipindahkan dari ABB-CE di Windsor ke KAERI, Taejon, Korea. Hal ini menunjukkan bahwa desain NSSS untuk YGN 3&4 dilakukan oleh insinyur-insinyur Korea dibawah supervisi ABB-CE di Korea.

Pada tahap ini ada sekitar 4.700 dokumen teknis dan 110 paket program komputer telah menjadi milik Korea, sementara itu ada 500 orang telah melakukan pelatihan, 300 orang diantaranya melakukan pelatihan di kelas dan 200 orang OJT.

Tahap ketiga, KAERI melakukan pekerjaan desain NSSS sendiri dengan sedikit konsultasi teknis dari ABB-CE. Ulchin 3&4 merupakan proyek pertama pada tahap ini dan menjadi PLTN acuan (*reference plant*) untuk PLTN Standar Korea berikutnya (KSNP, *Korean Standard Nuclear Power Plants*). Pada tahap ini proyek standardisasi dimulai dan *out-put* utamanya adalah K-SRED dan K-SSAR. Penelitian dan pengembangan dilanjutkan dan perbaikan keunggulan desain diaplikasikan untuk PLTN selanjutnya.

Tahap keempat, proyek Yonggwang 5&6 dan Ulchin 5&6 dilaksanakan oleh perusahaan dan institusi Korea terkait sedikit konsultasi dengan konsultaan asing (ABB-CE) dan pengembangan reaktor generasi berikutnya dimulai.

PLTN jenis CANDU-PHWR dipertimbangkan sebagai pelengkap jenis reaktor yang dikembangkan di Korea. Berdasar pada pengalaman dalam mendesain PWR, diharapkan kemandirian teknologi untuk jenis PHWR akan lebih cepat diraih. Sehubungan dengan hal ini Korea juga melakukan kerja sama dalam membuat konsep desain dengan cara OJT, demikian juga alih dokumen desain dan paket program komputer melalui kontrak alih teknologi antara KAERI dan AECL.

5.2. Architect / Engineering

Kemandirian teknologi dalam bidang arsitek engineering terdiri dari tiga tahap yaitu: impor, lokalisasi dan konsolidasi kemandirian teknologi.

Selama tahap pertama, teknologi diimpor dari negara yang berpengalaman dalam proyek PLTN. Bechtel memberikan jasa *engineering* (perekayasaan) untuk proyek Kori 3&4 dan Yonggwang 1&2. Perusahaan Perancis seperti EdF (*Electricite de France*), Framatome dan Alsthom memberikan jasa untuk proyek Ulchin 1&2, dan perusahaan Kanada seperti AECL dan CANATOM memberikan jasa untuk proyek Wolsong 2, 3&4. KOPEC berpartisipasi sebagai subkontraktor dengan kontraktor utamanya (desain and engineering) adalah pihak asing.

Pada tahap kedua dilakukan lokalisasi kemampuan dalam desain dan engineering, proyek Yonggwang 3&4 merupakan sarana alih teknologi bagi KOPEC. KOPEC menandatangani kontrak alih teknologi dengan S&L dan informasi teknis, termasuk dokumen-dokumen dan paket program komputer dialihkan ke Korea. A/E pada proyek Yonggwang 3&4, S&L bertanggung jawab terhadap desain awal sedangkan KOPEC bertanggung jawab untuk penyelesaian desainnya. Untuk meningkatkan kemampuan teknisnya, KOPEC melakukan konsultasi alih teknologi. Selama tahap kedua ini sebanyak 13 juta lembar dokumen teknis dan 300 paket program komputer telah dialihkan ke Korea, dan 650 orang telah melakukan pelatihan (550 pelatihan di kelas dan 100 orang OJT).

Tahap ke tiga adalah tahap konsolidasi kemandirian teknologi melalui pemanfaatan dan perbaikan alih teknologi. Proyek KSNP seperti Ulchin 3&4, YGN 5&6 dan UCN 5&6 dilakukan dengan perbaikan desain secara bertahap.

6. Standardisasi PLTN

Standardisasi adalah membangun PLTN dengan spesifikasi yang sama secara berseri atau berurutan dengan tujuan untuk memperoleh keuntungan ekonomi melalui pekerjaan yang sama dan berulang. Namun begitu, teknologi yang baru harus diadaptasikan untuk memperbaiki tingkat keselamatan dan unjuk kerjanya.

6.1. Perencanaan

Standardisasi dari PLTN di Korea dilakukan dalam 4 (empat) tahap mulai April tahun 1983. Konsep awal diformulasikan selama tahap pertama, yakni dari April 1983 hingga Juli 1985.

Pada tahap kedua, yakni September 1985 hingga Agustus 1987, standardisasi dikembangkan dengan mengkaji ulang dari pengalaman konstruksi dan operasi, pengembangan teknologi, dan identifikasi hal-hal yang berkaitan dengan perbaikan desain.

Tonggak alih teknologi adalah pembangunan PLTN Yonggwang 3 & 4 yang digunakan sebagai PLTN acuan (*reference plant*) KSNP. Tahap berikutnya adalah tahap ke-3 yang dimulai pada Februari 1989 hingga April 1991. Pada tahap ini KSNP

dikembangkan berpijak pada teknologi PLTN Yongggwang 3&4, dengan melibatkan keunggulan desain yang dipilih.

Tahap ke-4 merupakan periode pembangunan KSNP dengan Ulchin 3&4 sebagai pionernya. Beberapa unit PLTN termasuk YGN 5&6, dan UCN 5&6 dibangun dalam tahap ke-4 ini. Meskipun KSNP akan secara berulang dibangun, desain secara bertahap akan selalu diperbaiki dan reaktor generasi berikutnya dikembangkan dengan kapasitas daya yang lebih besar.

6.2. Desain

Ada empat faktor yang menjadi pertimbangan dalam mendesain KSNP, yakni peningkatan keselamatan, perbaikan unjuk kerja, penggunaan teknologi terbukti (*proven technology*) dan kecelakaan terparah. Keselamatan nuklir merupakan perhatian utama, oleh karena itu keunggulan desain maju disertakan dalam pertimbangan desain standar. Perbaikan desain dicapai dengan modularisasi komponen dan peralatan dan juga melalui standardisasi, perbaikan desain secara bertahap dan proses konstruksi. Teknologi terbukti diperlukan dalam proses lisensi PLTN standar, dan untuk itu digunakan desain terbukti dan metode analisis, sistem, komponen dan struktur.

Kecelakaan terparah diuji sebagai kategori terpisah sebagai *margin* keselamatan tambahan di atas DBA (*design basis accidents*, kecelakaan sebagai dasar desain). Untuk melakukan hal ini, hal-hal terkait dengan isu keselamatan setelah kejadian kecelakaan TMI, yakni isu-isu keselamatan yang belum terpecahkan (*unresolved safety issues*, USI) dan isu-isu keselamatan umum (*generic safety issues*, GSI) secara selektif diselesaikan serta keunggulan desain terkait dengan pencegahan terjadinya kecelakaan terparah diperhatikan.

6.3. Pengembangan

Perbaikan bertahap adalah kunci dari KSNP. YGN 3&4 (yang merupakan penurunan kapasitas dari System 80 buatan ABB-CE) dipilih sebagai PLTN acuan untuk KSNP dan diperbaiki dengan memilih keunggulan desain maju. EPRI – URD (persyaratan desain dari EPRI) untuk ALWR dan pengalaman sebelumnya dalam konstruksi dan operasi dipertimbangkan dalam pengembangan KSNP.

Unit pertama dari KSNP adalah Ulchin 3&4 dan diikuti oleh YGN 5&6 dan UCN 5&6 sedang dibangun sebagai rangkaian dari KSNP kelas 1000 MWe. Meskipun KSNP dibangun secara berulang, desain tersebut akan secara bertahap diperbaiki melalui penelitian dan pengembangan.

Program alih teknologi pembangkit listrik tenaga nuklir di Korea secara garis besar dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Program Nuklir Korea

The 1 st Generation	The 2 nd Generation	The 3 rd Generation	The 4 th Generation
<i>Total Dependence/Imitation</i>	<i>Self-Reliance Preparation</i>	<i>Self-Reliance Promotion (KNSP)</i>	<i>Consolidation & Improvement (APR1400)</i>
Late 1960s-Early 1970s	Late 1970s-Early 1980s	Late 1980s-Early 1990s	Early 2000s-
Turnkey basis with foreign prime contractor <i>Foreign : Entire construction</i>	Component basis with foreign prime contractor - <i>Domestic: Site construction</i> - <i>Foreign : Overall project management</i>	Component basis with Korean prime contractors - <i>Domestic: Overall project mgt.</i> - <i>Foreign : Consulting</i>	Component basis with Korean prime contractors - <i>Domestic: Overall project mgt.</i> - <i>Foreign : Consulting (limited Scope)</i>
Kori-1&2, Wolsong-1	Kori-3&4, YGN-1&2, UCN-1&2	YGN-3&4 (T/T Contract), 5&6 UCN-3&4, 5&6 Wolsong-2, 3&4	ShinKori-1&2 ShinWolsong-1&2 ShinKori-3&4
	<i>PHWR fuel localization started (1981)</i>	<i>PHWR fuel localization (1987)</i> <i>PWR fuel localization (1989)</i> <i>PWR system technology self-reliance (1995)</i>	<i>KSNP* Implementation APR1400 Implementation</i>

Dari tabel di atas dapat dijelaskan secara ringkas sebagai berikut : Pengembangan PLTN Korea terdiri dari 4 generasi yang dimulai sejak akhir tahun 1960 sampai awal tahun 2000-an, yaitu:

a. Generasi I dimulai akhir tahun 1960 – awal tahun 1970

Pada generasi ini Korea masih sepenuhnya bergantung pada teknologi luar negeri. Pembangunan PLTN dilakukan dengan *Turnkey Contract* dengan kontraktor utamanya berasal dari negara yang berpengalaman dalam mendesain, fabrikasi, membangun dan mengoperasikan PLTN. PLTN yang dibangun ada 3 unit, yakni Kori 1&2 dan Wolsong 1.

b. Generasi II dimulai akhir tahun 1970 – awal tahun 1980

Pada generasi ke-dua ini, Korea mulai mempersiapkan kemandirian teknologi melalui kontrak berbasis komponen dengan kontraktor utama dari luar negeri (seluruh manajemen proyek) dan porsi dalam negerinya pada konstruksi tapak atau sipil. PLTN yang dibangun sebanyak 6 unit yaitu Kori 3 & 4, YGN 1 & 2, UCN 1 & 2. Pada tahap ini mulai dilakukan lokalisasi bahan bakar untuk PHWR yaitu pada tahun 1981.

c. Generasi III dimulai akhir tahun 1980 – awal 1990.

Pada generasi ini merupakan masa promosi kemandirian teknologi (untuk PLTN KNSP) melalui kontrak berbasis komponen, tetapi kontraktor utamanya sudah dalam negeri dan porsi luar negeri dalam lingkup konsultasi. PLTN yang dibangun ada 11 unit yakni YGN 3 & 4 (kontrak alih teknologi), YGN 5 & 6, UCN 3 & 4, 5 & 6 dan Wolsong 2, 3 & 4. Pada tahap ini dilakukan lokalisasi bahan bakar PHWR (1987), PWR (1989) dan kemandirian dalam sistem teknologi PWR (1995).

d. Generasi IV dimulai awal 2000.

Pada generasi ini sudah ada konsolidasi dan perbaikan (APR 1400) dengan kontraktor utamanya dalam negeri dan porsi luar negeri dalam lingkup konsultasi (terbatas pada hal-hal tertentu). PLTN yang dibangun ada 6 unit, yaitu ShinKori 1 & 2, ShinWolsong 1 & 2 dan ShinKori 3 & 4. Pada tahap ini sudah dilakukan implemetasi desain untuk PLTN jenis KNSP* dan APR 1400.

7. Penutup

Dalam hal kemandirian teknologi Korea memiliki faktor kunci untuk melakukan penguasaan teknologi nuklir (PLTN), yaitu :

- a. Komitmen pemerintah yang kuat. Dalam hal ini kebijakan nasional energi nuklir harus ditetapkan dengan mempertimbangkan kemandirian teknologi jangka panjang.
- b. Memilih proses alih teknologi dan standardisasi PLTN sebagai media untuk kemandirian teknologi.
- c. Lingkup dan tanggung jawab yang jelas pada institusi yang terkait

Dari pengalaman alih teknologi yang dilakukan oleh Korea dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Faktor kunci untuk kemandirian teknologi adalah:
 - Ditetapkan suatu perencanaan nasional jangka panjang untuk mencapai kemandirian Teknologi Pembangkit Nuklir
 - Kontrak pembangunan PLTN dengan perjanjian yang memberikan kesempatan alih teknologi
 - Perlu adanya rencana standarisasi PLTN untuk pematapan penguasaan teknologi.
- Ditetapkan rencana jangka panjang untuk kemandirian teknologinya
 - Tipe kontrak, lingkup pekerjaan, bidang alih teknologi, dan hal yang terkait perlu diselaraskan dengan tujuan alih teknologi.
- Ada orientasi sejak awal tentang Alih Teknologi
 - Meminta secara detail program transfer teknologi yang dituangkan pada dokumen penawaran.

DAFTAR PUSTAKA

- KAERI, Nuclear Power Project : Policy and Korean Experience, First Edition, Daejeon 2002.