

## Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir di Korea Selatan: Pembelajaran Bagi Indonesia

Tjipta Suhaemi

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka  
Jalan Tanah Merdeka No.6, Kp Rambutan, Jakarta Timur  
Telp. +62 21-8400941, +62 21-87782739, Fax No: +62 21 87783818  
E-mail : tjipta@

---

**Abstrak** – Dewasa ini penggunaan energi nuklir di dunia telah mencapai 441 buah dengan kapasitas 382.9 GWe, porsi pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) di dunia mencapai 11% 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 mencukupkan kebutuhan energi di Indonesia melalui pembangunan PLTN. Diperlukan kebijakan nasional energi yang tegas berwujud 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, standarisasi.

*Worldwide, nowadays there were 441 nuclear power reactors in operation, totalling 389.2 GWe of generating capacity. Nuclear power supplied about 11% of the world's electricity. Out of 441 operational NPP's in the world, there are 109 NPP's operating in five countries of the region i.e 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 paralel 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 sosial-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, transfers technology programme and standardization of NPP.*

**Key Words:** ability, development, PLTN, education, standardization.

---

### I. Pendahuluan

Dewasa ini penggunaan energi nuklir di dunia yang dimulai sejak tahun 1955 terus meningkat dan pada awal tahun 2016 mencapai 441 buah dengan kapasitas 382,9 GWe.

Sumbangan dari energi nuklir adalah sebanyak 11 % dari total produksi listrik dunia. Diperkirakan kapasitas PLTN dalam 15 tahun ke depan akan menjadi 150 GW(e) skenario rendah dan 300 GW(e) skenario tinggi. Ada 10 buah PLTN yang masuk ke grid, yaitu 8 buah di China,

masing-masing satu di Rusia (Beloyarsk-4) dan Korea Selatan (Shin-Wolsong). PLTN yang sudah memasuki masa konstruksi ada 8 buah, yaitu 6 buah di China, 1 di Pakistan (K-2) dan sebuah di United Arab Emirates (Barakah-4). 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. Sejak 2005 sudah 68 buah PLTN yang memasuki masa konstruksi, 45 buah diantaranya terletak di Asia. Dari 45 buah tersebut yang telah masuk ke grid berjumlah 39 buah.[1-4,]

Pada dekade terakhir 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. Diperkirakan pula prospek pengembangan PLTN kelihatannya akan terlihat juga di Afrika, Eropa Timur dan Amerika Latin.

Negara-negara Asia adalah negara yang sedang berkembang, serta ditandai dengan padatnya penduduk dan konsumsi energi per kapita, konsumsi listrik per kapita maupun pendapatan per kapita (*gross domestic product*, GDP) yang relatif rendah. Beberapa negara di Asia yang sudah membangun PLTN adalah Jepang, Korea Selatan, India, Pakistan, China, dan terakhir di United Arab Emirates.. Korea Selatan termasuk negara nomor enam terbanyak di dunia menggunakan PLTN dan kini termasuk negara pemasok PLTN ke negara lain. Korea Selatan termasuk negara yang miskin dalam sumber daya alam, hanya mempunyai deposit batubara jenis anthrasit yang terbatas.

Kebutuhan listrik Korea Selatan juga meningkat dengan pesat seiring dengan pertumbuhan ekonomi yang juga meroket. Pada tahun 2015 total produksi listrik yang dibangkitkan sebesar 549 TWh dengan kapasitas terpasang 98,8 GWe, pada tahun 2000 sebanyak 239 TWh dengan kapasitas terpasang 46.978 MWe, dibandingkan dengan 35,5 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[5,6]

Dilihat dari jenis pembangkit listrik, pada tahun 2015 produksi listrik sebesar 549 TWh berasal dari batubara sebesar 236 TWh, 165 TWh dari PLTN (31%), 118 TWh dari gas, 16,5 TWh dari minyak, 6 TWh dari PLTA, dan 3,8 TWh dari tenaga angin dan solar. Sedangkan kapasitas pembangkit listrik yang terpasang adalah 28.55 GWe PLTU, 30.4 GWe PLTG, 21.7 GWe PLTN, 4.1 GWe

PLTD, 14.0 dan PLTA dan pembangkit energi terbarukan lainnya. Kapasitas dari nuklir 22% menghasilkan suplai daya sebesar 31%.

Korea Selatan termasuk negara yang sangat berhasil dalam melaksanakan program pengembangan energi nuklir dengan pembangunan PLTN. 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 24 buah PLTN dengan kapasitas total 22,5 GWe atau 31% dari total energi listrik. Kesuksesan Korea dipicu oleh adanya organisasi proyek nuklir yang efektif, pendekatan teknologi secara bertahap langkah demi langkah, partisipasi nasional dalam mendukung pembangunan dan pengembangan energi nuklir. Sejak pembangunan PLTN pertama Kori unit 1 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 negara 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. Malahan sekarang sudah mempunyai kemampuan mendesain sendiri PLTN dan sudah pula memasok/mengekspor PLTN ke UAE.

Dewasa ini bila dibandingkan antara Korea Selatan dan Indonesia dalam konsumsi energi per kapita, konsumsi listrik per kapita, serta *gross domestic product* berbeda. Konsumsi listrik per kapita di Korea Selatan pada tahun 2013 sebesar 9700 kWh, tahun 2002 6172 kWh meningkat dari 860 kWh pada tahun 1980, sedangkan Indonesia baru mencapai 500 kWh<sup>4,5</sup> Lebih dari 3½ dekade, Korea selatan telah menikmati kenaikan GDP sebesar 8.6% per tahun, pada tahun 2015 GDP 11.479 US \$. Indonesia tahun 2016 baru US \$3603, tahun 2002 US \$698, dan 1980 \$511.[7-9,15]

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 mengekspor minyak, tetapi telah menjadi pengimpor minyak, sebab kebutuhan dalam negeri telah melebihi produktivitas minyak. 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 pembelajaran berharga bagi Indonesia untuk meningkatkan kemampuan dan ketahanan energi dalam mencapai kesejahteraan masyarakat Indonesia.

## II. Tata Kerja

Metode yang digunakan dalam kajian ini adalah dengan melakukan penelusuran pustaka, pengumpulan data sekunder, dan melakukan analisis perbandingan terhadap pengembangan program energi. Selanjutnya kajian tersebut dapat menjadi pembelajaran dalam pengembangan kemampuan energi Indonesia termasuk pengembangan energi nuklir.

## III. 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 (KHC)*. Pada tahun 1973 dibentuk *Korea Atomic Energy Research Institute* yang menggabungkan AERI, *Radiological Research Institute (RRI)* dan *Radiation Reserach 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. KHC sekarang menjadi *Dosan Heavy Industries Company*. [10]

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 secara 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 24 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 Wolsong dibangun PHWR dengan daya 1000 MWe sebanyak 2 unit. PLTN yang sedang/akan dibangun adalah didesain dan direncanakan oleh pihak Korea sendiri. Pada gambar 1 dapat dilihat lokasi PLTN di Korea Selatan. [5,11]

### Nuclear Power Plants in South Korea



Source: World Nuclear Association

Gambar 1. Lokasi PLTN Korea selatan

Korea Selatan mempunyai lokasi daerah pembangkit yang terbatas, hanya ada 4 lokasi, namun pada setiap lokasi terdapat empat buah pembangkit malah ada yang lebih banyak. Lihat Tabel 2.a dan Gambar 2. Dapat dikatakan bahwa produksi energi nuklir Korea dari setiap lokasi dengan pembangkit multiple membuat perawatan lebih efisien dan biaya yang lebih sedikit. Pada tahun 2013, atas permintaan para nelayan, Korea Hydro and Nuclear Power (KHNP) mengganti nama Yonggwang menjadi reaktor Hanbit, dan Ulchin menjadi Hanul. Pada tahun 2014 telah ditandatangani konstruksi 2 buah reaktor APR-1400 sebagai di Hanul sebagai Shin Hanul-3 and -4; construction akan dimulai tahun 2017 dan 2 unit lagi yang belum diberi nama di Yeongdeok County. Gambar 2 menunjukkan



Shin-Kori Unit 3 and 4 use APR1400 Technology

Gambar 2. Lokasi PLTN Shin-Kori

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 tanggungjawab 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.

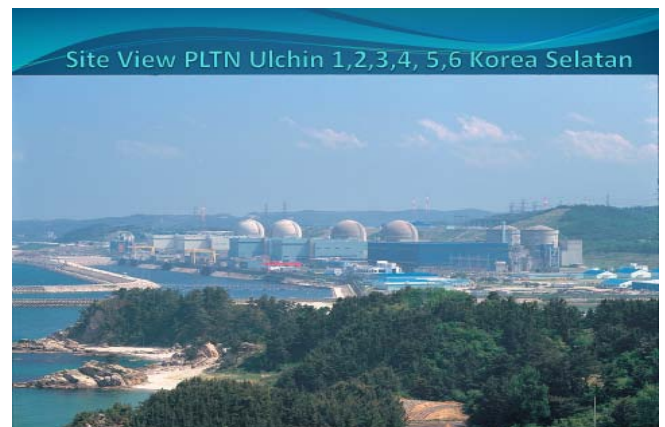
### 3. 1. Kronologi program PLTN Korea Selatan

Ditinjau dari sisi kemampuan teknologi (*technological self-reliance*), pembangunan PLTN di Korea Selatan dapat dikategorikan kedalam 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 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 suplair luar negeri, memberikan tanggung jawab 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 (persis seperti yang diinstruksikan) dari suplair luar negeri. PLTN pertama, Kori-1 adalah jenis PWR dengan daya 587 Mwe dipasang 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 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. Gambar 3 menunjukkan view point PLTN indi lokasi Ulchin.



Gambar 3. View point PLTN Ulchin 1-6

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 tanggung jawab keseluruhan dengan memberikan kontrak utama pada perusahaan Korea, sedangkan suplair 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 kontratuksi PLTN. Untuk proyek UCN 3 & 4, perusahaan/badan Korea mengambil tanggung jawab keseluruhan proyek sedangkan suplair asing merupakan konsultan utama. eroperasi dan yang akan dibangun dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. PLTN di Korea Selatan

No	PLTN	Tipe	Kapasitas, MWe	Mulai operasi
1	Kori-1	PWR	587	1978
2	Kori-2	PWR	650	1983
3	Kori-3	PWR	950	1985
4	Kori-4	PWR	950	1986
5	Hanul-1 (Ulchin-1)	PWR	950	1988
6	Hanul-2 (Ulchin-2)	PWR	950	1989
7	Hanul-3 (Ulchin-3)	KSNP	1000	1998
8	Hanul-4 (Ulchin-4)	KSNP	1000	1999
9	Hanul-5 (Ulchin-5)	KSNP	1000	2004
10	Hanul-6 (Ulchin-6)	KSNP	1000	2005
11	Wolsong-1	CANDU	679	1983
12	Wolsong-2	CANDU	700	1997
12	Wolsong-3	CANDU	700	1998
13	Wolsong-4	CANDU	700	1999
14	Hanbit-1 (Yeonggwang-1)	PWR	950	1986
15	Hanbit-2 (Yeonggwang-2)	PWR	950	1987
16	Hanbit-3 (Yeonggwang-3)	System 80	1000	1995
17	Hanbit-4 (Yeonggwang-4)	System 80	1000	1996
18	Hanbit-5 (Yeonggwang-5)	KSNP	1000	2002
19	Hanbit-6 (Yeonggwang-6)	KSNP	1000	2002
20	Shin Kori 1	OPR-1000	1000	2011
21	Shin Kori 2	OPR-1000	1000	2011
22	Shin Wolsong 1	OPR-1000	1000	2012
23	Shin Wolsong 2	OPR-1000	1000	2015
24	Shin Kori 3	APR-1400	1400	2015
25	Shin Kori 4	APR-1400	1400	2016
26	Shin Hanul 1	APR-1400	1400	2016
27	Shin Hanul 2	APR-1400	1400	2017
28	Shin Kori 5	APR-1400	1400	2018 (rencana)
29	Shin Kori 6	APR-1400	1400	2019 (rencana)
30	Shin Hanul 3	APR-1400	1400	2022 (rencana)
31	Shin Hanul 4	APR-1400	1400	2022 (rencana)
32	Unnamed 1 (Yeongdeok county)	Unknown	unknown	Unknown
33	Unnamed 2 (Yeongdeok county)	Unknown	unknown	Unknown

### 3. 2. 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 standirisasi PLTN sebagai wahana (kendaraan) utama untuk kemandirian. Pada tahun 1985 instansi/perusahaan Korea masing-masing diberi cakupan dan tanggungjawab yang jelas oleh pemerintah Korea seperti terlihat pada Tabel 2, dan terkait dengannya dilaksanakan standirisasi PLTN. Untuk transfer teknologi yang efektif, mekanisme implementasinya dilakukan *joint-design* dengan meminta mitra (*counterpart*) luar negeri.

Tabel 2. Pembagian Tanggungjawab [5]

No	Badan (Entity)	Tanggungjawab
1	Korea Institute of Nuclear Safety (KINS)	Pengawasan dan lisensi
2	Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI)	Desain NSSS, desain bahan bakar dan yang berhubungan dengan R & D
3	Korea Electric Power Corporation (KEPCO)	Distribusi dan transmisi
4	Korea Hydro & Nuclear Power Co Ltd - (KHNP)	Managemen energi nuklir dan hydro
5	Korea Power Engineering Co, Institute (KOPEC)	Desain PLTN (Arsitektur dan rekayasa) dan pengembangan teknologi desain
6	Korea Heavy Industries & Construction, Co, Ltd (HANJUNG)	Desain & manufaktur komponen dan pengembangan teknologi manufaktur
7	KEPCO Nuclear Fuel (KEPCO NF)	Manufaktur bahan bahan bakar dan pengembangan teknologi bahan bakar
8	KEPCO EC	Rekayasa
9	KEPCO KPS	Perawatan/Maintenance
10	Universitas	R & D teknologi kunci

Strategi untuk mencapai kemandirian dalam bidang PLTN didukung dengan 4 aspek, yaitu pelaksanaan proyek yang aktual, transfer teknologi, standirisasi pembangkit daya, 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 meningkatkan desain lebih baik. Standardisasi berarti mengkonstruksi 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 standar 1000 MWe.[12,13]

### 3. 3. Transfer Teknologi

PLTN unit YGN 4 & 5 adalah proyek PLTN yang diimplementasikan 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 tanggungjawab 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 metode 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 metode 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.

### 3. 4. 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 transfer teknologi dan *joint-design* dengan ASEA 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 rlanjutan R & D dan fitur desain ak 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 Plant (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 sng 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 4 menunjukkan perbandingan antara bundel bahan bakar PHWR dan PWR.



Gambar 4. Perbandingan bundel bahan bakar PHWR dan PWR [14]

### 3. 5. 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 melokalisasi 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.

### 3. 6. 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 kedalam 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.

Kemandirian teknologi skala tinggi tercapai melalui konstruksi Yonggwang (YGN) unit 3 & 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.

### 3. 7. PLTN jenis APR-1400

Dewasa ini APR 1400 dipakai sebagai model PLTN buatan Korea Selatan untuk diekspor. Dalam desain APR 1400 telah ditingkatkan kemampuan keselamatan dan peningkatan kapasitas dayanya, dan memperhatikan performance, waktu konstruksi, ekonomi.. APR 1400 didesain menggunakan teknologi model PLTN terdahulu yang sudah terbukti (proven technology). PLTN ini didesain dengan mengadopsi fitur desain maju didasarkan atas self-echnologies sebagaimana juga mengadopsi teknologi System 80+ yang disertifikasi oleh Nuclear Regulatory Commission. Korea Selatan mengembangkan APR1400 untuk memenuhi dokumen persyaratan pengguna Korea, KURD (*Korean Utility Requirement Document*). Umur hidup APR 1400 bisa bertambah menjadi 60 tahun., yang 20 tahun lebih lama dibandingkan OPR-1000.

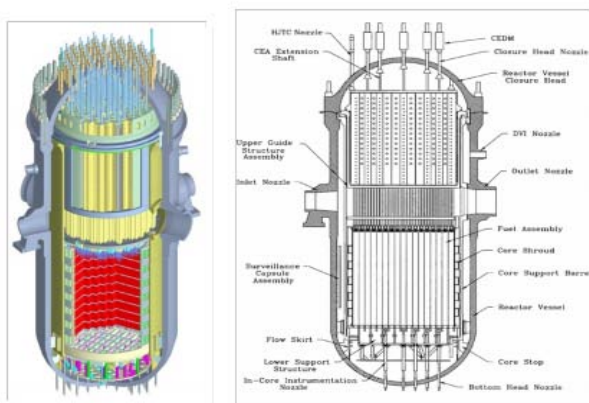
Reaktor jenis APR-1400 merupakan evolusi dari reaktor PWR (*Advanced Light Water Reactor*) yang didasarkan pada desain reaktor terdahulu yaitu desain OPR-1000. OPR-1000 merupakan reaktor Korea yang dikembangkan sebagai bagian integral dari program standardisasi yang dimulai tahun 1984. Di tangan Korea, reaktor APR-1400 ini menghasilkan daya listrik nominal gross 1455 MW dengan kapasitas daya termal sebesar 3983 MW (4000 MW nominal).

Desain dikembangkan untuk memenuhi 43 buah persyaratan desain, dengan pengembangan utama adalah pda peningkatan kapasitas, penambahan umur reaktor, dan peningkatan keselamatan. Pengembangan juga difokuskan pada sasaran ekonomi dan persyaratan lisensi. Peningkatan tersebut berupa: [15]

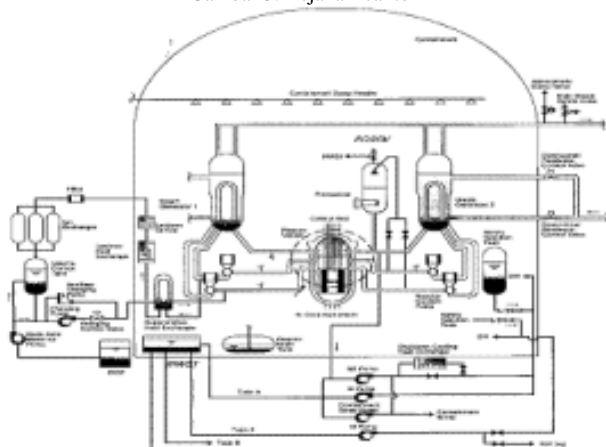
- a. Peningkatan daya listrik 1400 ME (meningkat 40%)
- b. Umur reaktor : 60 tahun (meningkat 50%)
- c. Basis Desain Seismik (Seismic Design Basis: 0.3g (meningkat 50%)

- d. Basis Frekuensi Kerusakan Teras (Core Damage Frequency): kurang dari  $10^{-5}$ /tahun (10x berkurang)  
 e. Perangkat bahan bakar : 241 buah (bertambah 36%)

Teras reaktor APR-1400 berisikan 241 buah perangkat bahan bakar, 93 buah perangkat kendali, dan 61 buah perangkat instrumentasi di dalam teras. Setiap perangkat bahan bakar mempunyai 236 buah yang tersusun dalam susunan 16 x 16 (beberapa diambil untuk tempat lokasi elemen kendali) mengandung UO<sub>2</sub> Uranium dioxide dengan pengkayaan 2,6 w/o) yang dapat memproduksi rapat daya volumetrik sebesar 100.9 W/cm<sup>3</sup>. Sampai dengan 30% dari teras dapat juga dimuat dengan bahan bakar campuran dengan Mixed Oxide dengan sedikit modifikasi minor. Teras didesain untuk siklus pengoperasian 18 bulan dengan burnup sampai 60,000 MWD/MTU, dengan margin termal sebesar 10% Untuk perangkat kendali, sebanyak 76 buah batang pelet Boron carbide digunakan sebagai batang kendali kekuatan 17 buah batang Inconel-625 digunakan untuk kendali kekuatan tidak penuh. Gambar 5 menunjukkan bejana reaktor dengan perangkat bahan bakar dan perangkat kendali dan Gambar 6 adalah skema diagram APR-1400.



Gambar 5. Bejana Reaktor



Gambar 6. Diagram Skema APR-1400

### 3. 8. Pembelajaran untuk meningkatkan kebutuhan listrik di Indonesia

Indonesia sebagai anggota IAEA telah sejak lama membangun kerjasama dengan negara lain dalam melakukan penelitian dan pemanfaatan teknologi nuklir maupun transfer teknologi nuklir. Selain dari IAEA, Indonesia juga membangun kerjasama dengan Amerika Serikat, Kanada, Jerman, Perancis, Jepang, Korea Selatan, Rusia. Begitu pula dengan bahan bakar uranium cadangannya 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 seharusnya segera dilaksanakan, agar krisis energi di Indonesia dapat teratasi.

Dari pengalaman pembangunan PLTN di Korea Selatan terlihat 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 pemicu 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.[16]

Dari bahasan terlihat bahwa kesuksesan pelaksanaan program PLTN di Korea Selatan adalah 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 pembangunan 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 dan ke-3 dan seterusnya partisipasi nasional dalam pembangunan semakin meningkat, dan diharapkan pada suatu saat Indonesia tidak lagi tergantung dari negara luar.

#### IV. Kesimpulan

Kemandirian dalam teknologi PLTN di Republik Korea dapat 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 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 pembangunan PLTN di Indonesia.

#### Kepustakaan

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. Anonymous, Nuclear Technology Review 20016, IAEA, Vienna, (2007) "Public Acceptance and Participation in Decision Making".
4. Anonymus, Nuclear Power Resctor in the World2016, IAEA, Vienna, (2017).
5. AVAILABE : [hhhttp://www.kntc.re.kr](http://www.kntc.re.kr). "Republic of Korea"
6. Se Young Jan, *The Development of South Korea's Nuclear Energy Industry in a Resource and Capital Scarce Environment*, Pierre Du Bois Conference 2014h A4.
7. AVAILABE: [hhhttp://wwwpub.iaea.org/MTCD/publication/PDF/cnpp2004/CNPP-Webpage/countryprofiles/Korea/04/11/2008](http://wwwpub.iaea.org/MTCD/publication/PDF/cnpp2004/CNPP-Webpage/countryprofiles/Korea/04/11/2008). "Indonesia"
8. AVAILABE: [hhhttp://localhost/D:/PDFNPP/Indonesia.htm](http://localhost/D:/PDFNPP/Indonesia.htm) /04/14/2008.
9. Aonymous,Korea, (1994)
10. <http://www://www.world-nuclear.org/information/library/country-profiles/countries-g-n/indonesia>
11. Anonymous, 1996 *Nuclear Annual Review*, Korea Electric Power Corporation, Seoul,(1998).
12. Anonymous, *Nuclear Power Plant*, Doosan Heavy Industries & Construction, Seoul.
13. Anonymous,S, *KOPEC*, Korea Power Engineering Company, Inc, Seoul, (2004).
14. Shalaby, B.A., *CANDU Technology for Generation III+ and IV Reactors*, WIN Global Conference, Waterloo, Ont, June (2006).
15. [http://repository.uksw.edu/bitstream/123456789/1400/2/xTi\\_Daftar/pdf](http://repository.uksw.edu/bitstream/123456789/1400/2/xTi_Daftar/pdf).
16. [http://jurnal.stn-batan.ac.id/wp-content/uploads/2010/03/A-15\\_ok.pdf](http://jurnal.stn-batan.ac.id/wp-content/uploads/2010/03/A-15_ok.pdf).