

## **STUDI PENYIAPAN SDM, MANUFAKTUR, FABRIKASI DAN PERALATAN KONSTRUKSI PLTN GEN III+ DI AMERIKA SERIKAT**

**DHARU DEWI, SAHALA LUMBANRAJA**

*Pusat Pengembangan Energi Nuklir-BATAN*

*Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta 12710*

*Telp/Faks. 021.5204243*

*Email: dharudewi@yahoo.com*

### ***Abstrak***

*Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) GEN III+ merupakan jenis PLTN generasi ke tiga yang memiliki kelebihan ciri keselamatan pasif, penggunaan teknik konstruksi sistem modularisasi dan jadwal konstruksi relatif lebih singkat yang akan dibangun di Amerika Serikat pada kerangka waktu 2010 – 2017 untuk mengantisipasi kekurangan energi. Terdapat 3 desain Sistem Pembangkit Uap Nuklir dari PLTN GEN III+, yakni desain dari General Electric (ESBWR), Toshiba (ABWR), dan Westinghouse (AP 1000). Makalah ini mengkaji studi tentang persyaratan dan penyiapan sumber daya manusia, manufaktur, fabrikasi dan peralatan konstruksi yang harus disiapkan oleh pemerintah dan industri nasional di Amerika Serikat. Adapun tujuan studi adalah mengidentifikasi persyaratan dan penyiapan sumber daya manusia, manufaktur, fabrikasi, peralatan konstruksi PLTN GEN III+ serta tindakan yang dilakukan pemerintah Amerika untuk menyiapkan dan mengantisipasi kekurangan infrastruktur konstruksi pada saat konstruksi. Metode studi dilakukan dengan kajian studi literatur dan pelacakan melalui internet. Studi ini sangat penting dilakukan sebagai bahan masukan dan memberikan gambaran umum bagi pemerintah dan para pemangku kepentingan dalam membangun PLTN pertama di Indonesia dalam hal untuk mempersiapkan segala infrastruktur konstruksi yang diperlukan jika PLTN pertama jadi dibangun di Indonesia.*

*Kata Kunci: infrastruktur, PLTN GEN III+, tenaga kerja*

### ***Abstract***

*Nuclear Power Plant (NPP) GEN III+ is the type of the third generation NPP which have passive safety characteristics, using the construction technique with modularization system and construction schedule is more shorten which will be built in United States in the frametime 2010 – 2017 to anticipate the energy shortage. There are 3 designs of Nuclear Steam Supply System of NPP GEN III+. They are design of General Electric (ESBWR), Toshiba (ABWR) and Westinghouse (AP1000). This paper studies the requirements and preparation of human resources, manufacturing, fabrication and construction equipment which must be prepared by government and national industries in United States. The aim of the study is to identify the requirements and preparation of human resources, manufacturing, fabrication, construction equipments of NPP GEN III+ and the actions which should be done by government to provide and anticipate construction infrastructure shortage at the construction time. The methods of study is carried out by studying literature and browsing internet. This study is very important as an input and give general description for government and stakeholder to construct The First Nuclear Power Plant in Indonesia, in the case for preparation of the all construction infrastructure which is needed if the First NPP will be built in Indonesia.*

*Keywords: infrastructure, Nuclear Power Plant GEN III+, labor*

## PENDAHULUAN

Makalah ini mengkaji infrastruktur untuk proyek konstruksi PLTN Generasi ketiga yakni PLTN GEN III+ di Amerika Serikat untuk unit tunggal. Pengkajian infrastruktur konstruksi ini adalah untuk memberikan informasi tentang rencana penyebaran PLTN baru di Amerika Serikat. Berdasarkan Badan Informasi Energi Amerika Serikat, PLTN telah menyumbang sekitar 20,9% daya listrik yang dihasilkan sampai tahun 2003 di Amerika. Kapasitas pembangkitan PLTN diprediksi akan meningkat dari 99,2 Gigawatt pada tahun 2003 menjadi 102,7 Gigawatt pada tahun 2025. Jika tanpa ada konstruksi PLTN baru, maka PLTN akan menghasilkan 15,1% dari daya listrik Amerika pada tahun 2025. *Department of Energy (DOE)* Amerika Serikat menginisiasi Program Nuclear Power 2010 (NP2010) pada bulan Februari 2002 sebagai suatu kerjasama program pemerintah dengan industri nasional di Amerika untuk mengembangkan teknologi reaktor maju dan memberikan proses regulasi baru yang akan menyebabkan keputusan sektor privat untuk memesan PLTN baru.

Sebagai bagian program NP2010, DOE menugaskan Asosiasi MPR (*MPR Associates, Inc.*) sebagai *consultant engineer* untuk mengevaluasi infrastruktur konstruksi yang penting untuk mendukung konstruksi PLTN baru generasi III+ (GENIII+) pada kerangka waktu 2010. Infrastruktur konstruksi tersebut terdiri dari penyiapan sumber daya manusia, manufaktur, fabrikasi dan peralatan konstruksi PLTN GEN III+. MPR mengkonfirmasi kelayakan sumber daya dasar dengan para vendor Sistem Pembangkit Uap Nuklir, manufaktur peralatan, pemasok material, fabrikator modul, kontraktor EPC (*Engineering, Procurement, Construction*), Departemen Tenaga Kerja Amerika Serikat, Uni Serikat Buruh, organisasi perdagangan dan NRC (*Nuclear Regulatory Commission*) untuk menyelidiki kemampuan mereka untuk mendukung penyebaran unit GEN III+. Kemampuan ini akan dikembangkan sesuai dengan persyaratan sumber daya yang terkait dengan skenario hipotetis yang melibatkan konstruksi 8 unit PLTN selama periode 2010 s/d 2017.

Tujuan studi ini adalah mengidentifikasi persyaratan sumber daya manusia, manufaktur, fabrikasi dan peralatan konstruksi PLTN GEN III+ dan mengidentifikasi tindakan-tindakan yang sesuai untuk mengantisipasi kekurangan infrastruktur dan dampak potensial pada jadwal konstruksi PLTN GEN III+. Khusus untuk pengkajian sumber daya manusia mencakup pengembangan sumber daya manusia yang diperlukan untuk konstruksi PLTN unit tunggal berdasarkan informasi PLTN GEN III+ yang tersedia. Pada studi ini dilakukan identifikasi kemampuan sumber daya manusia/tenaga kerja yang tersedia pada negara bagian Illionis, Mississippi, Virginia dan Alabama di Amerika Serikat.

Metode penelitian yang digunakan adalah melakukan kajian literatur melalui pelacakan internet. Diharapkan dari hasil studi ini dapat dipetik manfaat sebagai bahan masukan dan memberikan gambaran umum kepada pemerintah dan para pemangku kepentingan terhadap kebutuhan infrastruktur konstruksi untuk proyek konstruksi PLTN pertama di Indonesia.

## PERSYARATAN INFRASTRUKTUR PLTN GEN III+

Pengkajian infrastruktur konstruksi untuk pembangunan PLTN sangat penting dan harus disiapkan secara matang sejak awal perencanaan. Infrastruktur konstruksi meliputi prasarana-prasarana dan sumber daya yang harus disiapkan dan disediakan antara lain sumber daya manusia, manufaktur, fabrikasi dan peralatan konstruksi untuk mendukung seluruh proses pekerjaan proyek konstruksi PLTN. Pada saat ini, terdapat 3 desain PLTN GEN III+ yang sedang dipertimbangkan untuk memasukan aplikasi ijin konstruksi dan operasi (COL). Pembangkit GEN III+ sedang dipertimbangkan berdasarkan pada 3 desain reaktor Sistem Pembangkit Uap Nuklir sebagai berikut: *General Electric* dengan desain *Economic Simplified Boiling Water Reactor (ESBWR)*, *Toshiba* dengan versi desain GE yakni desain *Advanced Boiling Water Reactor (ABWR)*, dan *Westinghouse* dengan desain *Advanced Pressurized Water Reactor 1000 (AP1000)*. Teknologi PLTN GEN III+ direncanakan akan dibangun di Amerika Serikat sebanyak 8 unit pada periode 2010 – 2017,

dimana konstruksi setiap unit PLTN GEN III+ diperkirakan memakan waktu 4 tahun (42 s/d 48 bulan) termasuk komisioning dan pengujian. Berdasarkan data/informasi dari PLTN GEN III+, persiapan tapak untuk konstruksi sekitar 12 – 18 bulan, konstruksi (mulai dari beton pertama sampai dengan pengisian bahan bakar) sekitar 36 – 42 tahun, komisioning dan pengujian sekitar 6 – 12 bulan. Gambaran secara rinci perencanaan konstruksi PLTN GEN III+ dapat dilihat pada Tabel 1.

#### Persyaratan Manufaktur PLTN GEN III+

Persyaratan manufaktur difokuskan pada komponen Sistem Pembangkit Uap Nuklir dan komponen yang terkait dengan keselamatan nuklir. Diharapkan sumber daya lokal di Amerika dapat menyediakan peralatan unit

PLTN GEN III+. Spesifikasi teknis untuk persyaratan manufaktur PLTN GEN III + dijelaskan pada Tabel 2.

Tabel 1. Jadwal Konstruksi dan Operasi PLTN GEN III+ di Amerika Serikat <sup>[1]</sup>

UNIT	Tahun mulai konstruksi (Beton Pertama)	Tahun operasi komersial
PLTN 1, unit 1	2010	2014
PLTN 2, Unit 1	2010	2014
PLTN 3, Unit 1	2011	2015
PLTN 4, unit 1	2012	2015
PLTN 5, unit 1	2012	2015
PLTN 6, unit 1	2013	2016
PLTN 3, unit 2	2013	2016
PLTN 7, unit 1	2014	2017

Tabel 2. Spesifikasi Teknis untuk Persyaratan Manufaktur PLTN GEN III+ <sup>[1]</sup>

no	Komponen	Spesifikasi
1.	Bejana Tekan Reaktor	- berat ~1200 tons; - diameter dalam ~ 23 feet; - tinggi ~ 90 feet Masing-masing GENIII+ mempunyai 1 bejana tekan reaktor
2.	Generator Uap	- berat ~ 730 ton; - tinggi ~ 79 feet; - diameter bagian atas ~ 18 feet - diameter bagian bawah ~ 14 feet; Masing-masing unit menggunakan salah satu dari 2 generator uap
3.	<i>Reheater</i> Pemisah Uap	- berat ~ 440 ton; - panjang ~ 100 feet; - diameter 13 feet; Masing-masing unit menggunakan 4 <i>reheater</i> pemisah uap
4.	Penggerak batang kendali dan elemen bahan bakar	s/d 200 penggerak batang kendali digunakan per reaktor s/d 1000 elemen bahan bakar digunakan per reaktor
5.	Generator Turbin Uap	- daya Generator Turbin Uap ~ 1540 MVA - turbin uap tekanan rendah memiliki <i>blade</i> dengan panjang 52 inci - turbin uap tekanan tinggi dengan berat ~ 550 ton - 3 Rotor tekanan rendah dengan berat masing-masing ~ 250 ton - berat Stator generator ~ 500 ton - berat Rotor generator ~ 250 ton
6.	Kondenser	- kondenser generator turbin uap bagian bawah, berat masing-masing 660 ton dengan dimensi 57 feet, 31 feet, 34 feet. Masing-masing generator turbin uap mempunyai 3 kondenser
7.	Pompa	- 10 pompa pendingin reaktor untuk masing-masing reaktor - 2 pompa air umpan pengendali turbin - 2 pompa air umpan pengendali motor - 9 unit pompa besar terkait keselamatan (> 400 HP), 24 pompa besar lainnya. - 10 pompa kecil yang terkait keselamatan < 400 HP, 82 pompa kecil lainnya AP1000 dan ESBWR memiliki ciri keselamatan pasif dan tidak memerlukan banyak pompa yang terkait dengan keselamatan

Tabel 2. Spesifikasi Teknis untuk Persyaratan Manufaktur PLTN GEN III+ (Lanjutan)<sup>[1]</sup>

no	Komponen	Spesifikasi
8.	Katup	Masing-masing unit GEN III+ menggunakan 2100 katup untuk sistem reaktor. Masing-masing unit mempunyai total 3000 – 6000 katup dengan ukuran > 3 inci, dan 6000 – 12.000 katup dengan ukuran < 2,5 inci. Jumlah total katup yang digunakan pada unit PLTN GEN III+ adalah 9000 – 18.000 katup dengan jumlah 2100 katup digunakan untuk sistem reaktor pembangkit.
9.	Switchgear class 1E	- 3 panel <i>switchgear</i> tegangan menengah - 3 generator diesel darurat 5 MW - 9 pusat kendali motor 480 V  - 4 sistem suplai daya <i>uninterruptible</i> 125 V DC, 3 suplai daya <i>uninterruptible</i> 120 V.AC AP1000 dan ESBWR tidak memerlukan generator diesel darurat karena memiliki ciri keselamatan pasif
10	Peralatan Kendali	2000 – 3500 instrumen, sistem kendali pembangkit digital, panel kendali utama, panel proteksi reaktor, panel lokal dan sebuah simulator pembangkit.

Sistem *Balance of Plants (BOP)* yakni meliputi menara pendingin, gedung administrasi, gudang, sistem pengolahan air, jalan dan *switchyard*. Sistem dan struktur BOP tidak dipertimbangkan dalam pengkajian infrastruktur ini. Hal ini dikarenakan sistem BOP bukan merupakan lintasan kritis proyek karena serupa seperti yang diperlukan oleh pembangkit listrik konvensional lainnya.

#### Persyaratan Fabrikasi PLTN GEN III+

Penggunaan modul untuk konstruksi GEN III+ direncanakan sekitar 600 modul pra-

fabrikasi. Sebanyak 350 modul pra-fabrikasi dan perakitan pipa untuk difabrikasi di luar tapak PLTN. Ukuran maksimum sebuah modul atau submodul yang difabrikasi di luar lokasi dengan dimensi panjang 12 feet, lebar 12 feet, dan tinggi 80 feet untuk pengapalan atau truk. Sekitar 250 modul baja diperkuat dan perakitan pipa difabrikasi pada fasilitas fabrikasi di lokasi PLTN. Persyaratan fabrikasi PLTN GEN III+ dijelaskan pada Tabel 3.

Tabel 3. Persyaratan Fabrikasi PLTN GEN III+ <sup>[1]</sup>

No.	Modul	Jumlah Modul
1.	Modul peralatan mekanik (pipa, peralatan, pendukung pipa, katup, tabung instrumentasi, <i>conduit, cable tray, junction boxes, structural base, structural support</i> )	140 (untuk masing-masing unit pembangkit dengan desain modularisasi)
2.	Modul pipa/katup/listrik dan perakitan pipa	130 (per unit)
3.	Modul struktur	60 (per unit)
4.	Modul peralatan listrik	20 (per unit)
5.	Modul baja diperkuat ( <i>reinforced steel</i> ) dan perakitan pipa	250 (per unit)

#### Persyaratan Peralatan Konstruksi PLTN GEN III+<sup>[1,2]</sup>

- a. Crane VHL (Very Heavy Lift (VHL) Crane)

Konstruksi GEN III+ memerlukan crane VHL dengan kapasitas modul 1200 ton dan komponen dengan jari-jari 130 feet dan tinggi 200 feet. Konstruksi pembangkit memerlukan crane VHL untuk mengambil dan memindahkan modul yang besar. Berdasarkan data dari vendor Sistem Pembangkit Uap Nuklir, satu crane VHL

akan diperlukan pada masing-masing tapak konstruksi. Dengan perencanaan dan penjadwalan yang baik, sebuah crane VHL dapat mendukung konstruksi 2 unit pada pembangkit unit kembar (*twin unit*). Jadi total diperlukan 7 crane VHL untuk mendukung GEN III+.

- b. Mesin Pembengkok pipa (*Pipe Bending Machines*)

Mesin pembengkok pipa akan digunakan oleh modul dan fabrikator pipa untuk mendukung kegiatan konstruksi

c. Mesin Pengelasan Otomatis (*Automatic Welding Machines*)

Mesin pengelasan otomatis dari berbagai tipe akan dimanfaatkan untuk pengelasan pipa bor besar, saluran sungkup reaktor (*containment liners*), tabung kondenser, dan penutup kondenser.

d. Mesin Perakitan Besi Otomatis (*Automatic Rebar Assembly Machines*)

Mesin perakitan besi otomatis digunakan oleh konstruktor sipil Jepang. Jadwal ABWR mengasumsikan bahwa sebuah mesin perakitan besi otomatis akan digunakan untuk meningkatkan produktifitas fabrikasi besi dan mengurangi jumlah jam tenaga kerja yang terkait. Sebuah mesin perakitan besi otomatis dapat digunakan pada masing-masing tapak konstruksi.

**Persyaratan Material Konstruksi**

Perkiraan jumlah material yang digunakan untuk konstruksi sebuah unit tunggal PLTN GEN III+ adalah sebagai berikut:

- a. Beton sekitar 460.000 yard kubik (tidak termasuk beton untuk persiapan tapak)
- b. Baja diperkuat (*Reinforced Steel*) dan bagian-bagiannya sekitar 46.000 ton
- c. *Structural Steel, Miscellaneous Steel dan Decking* sekitar 25.000 ton
- d. Pipa bor besar (> 2,5 inci) sekitar 260.000 feet

e. Pipa bor kecil (< 2,5 inci) sekitar 430.000 feet

- f. *Cable Tray* sekitar 220.000 feet
- g. *Conduit* sekitar 1.200.000 feet
- h. Kabel Daya sekitar 1.400.000 feet
- i. Kawat Kontrol sekitar 5.400.000 feet
- j. Tabung Proses dan instrumen sekitar 740.000 feet.

**Persyaratan Sumber Daya Manusia**

Berdasarkan data yang tersedia dari vendor GEN III+, jumlah jam (*manhour*) sumber daya manusia/tenaga kerja konstruksi berbeda-beda untuk masing-masing 3 desain GEN III+. Pada studi ini, diasumsikan penggunaan data untuk tenaga kerja rata-rata per unit PLTN dari 3 desain PLTN GEN III+. Tenaga kerja tukang hanya sebagian dari tenaga kerja yang diperlukan untuk membangun PLTN baru. Selain tukang, juga melibatkan pengawas tukang, tenaga kerja di lokasi (personil gudang, staf administrasi, bendahara pembuat daftar gaji, personil keamanan dll), inspektur kendali mutu, staf vendor, manager kontraktor EPC (*Engineering, Procurement, Construction*), para sarjana dan pembuat jadwal, staf operasi dan perawatan *Owner*, personil *start-up*, dan staf inspeksi NRC. Sedangkan untuk sistem manajemen pembangkit *Owner, engineering*, staf keamanan yang berada di lokasi selama periode konstruksi tidak termasuk dalam staf ini.

Tabel 4. Persyaratan Tenaga Kerja Tukang Konstruksi pada Periode Puncak<sup>[1]</sup>

Deskripsi Tukang	% tukang	Rata-rata jumlah personil periode puncak untuk unit tunggal (orang)	Jumlah personil periode puncak untuk unit banyak ( <i>multiple unit</i> ) (orang)
Tukang boiler	4	60	300
Tukang kayu	10	160	800
Tukang listrik/instrumen	18	290	1450
Tukang besi	18	290	1450
Tukang penyekat	2	30	150
Buruh ( <i>laborer</i> )	10	160	800
Tukang batu	2	30	150
Tukang giling	3	50	250
Tukang pengoperasian	8	130	650
Tukang cat	2	30	150
Tukang pemasang pipa	17	270	1350
Tukang logam lembaran	3	50	250
Pengemudi truk alat berat	3	50	250
Tenaga kerja konstruksi total	100	1600	8000

1. Tukang

Jumlah jam tukang konstruksi total, untuk unit tunggal dari ABWR, ESBWR dan

AP1000 dirata-ratakan untuk memberikan informasi persyaratan jumlah jam. Berdasarkan pengkajian persyaratan

infrastruktur, tidak ada pengurangan tukang untuk konstruksi unit kedua selama penyebaran unit kembar PLTN GEN III+.

2. Pengawas Tukang

Jumlah pengawas tukang bervariasi dari 3% sampai dengan 7%. Hal tersebut diperkirakan bahwa pengawas tukang rata-rata 5% dari tenaga kerja tukang dan 80 personil per unit GEN III+. Mandor (kepala tukang) tidak termasuk dalam pengawas tukang. Mandor merupakan bagian dari tenaga kerja tukang.

3. Tenaga Kerja Tak Langsung

Tenaga kerja tak langsung terdiri dari 10 – 15% tenaga kerja konstruksi. Tenaga kerja tak langsung meliputi personil yang diperlukan untuk membantu tukang dan pengawas tukang. Tenaga kerja tak langsung meliputi personil gudang, personil pemasok alat kecil, personil perawatan peralatan, staf administrasi dan pembuat daftar gaji, personil keamanan, *cleaning service*, pekerja pelayanan makanan. Diperkirakan tenaga kerja tak langsung 10% dari tenaga kerja konstruksi untuk di lokasi PLTN atau 160 personil per unit PLTN GEN III+.

4. Inspektur Kendali Mutu

Diperkirakan 40 inspektur kendali mutu yang diperlukan pada masing-masing unit selama periode konstruksi puncak.

5. Vendor Sistem Pembangkit Uap Nuklir dan Staf Subkontraktor

Diperkirakan diperlukan sekitar 140 personil administrasi, insinyur, dan personil kendali pada masing-masing unit selama

periode konstruksi. Perkiraan ini tidak termasuk pengawas tukang, kendali mutu, dan personil *start-up* yang terkait dengan *vendor* dan subkontraktor jika dihitung secara terpisah.

6. Staf Kontraktor EPC

Diperkirakan perlu staf kontraktor EPC 100 personil untuk masing-masing unit selama periode konstruksi puncak. Staf tersebut meliputi manajemen proyek, engineering, pembuat jadwal, dan personil administrasi.

7. Staf Operasi dan Perawatan

Diperkirakan *Owner* akan mempunyai staf perawatan dan pengoperasian sebanyak 200 orang yang mendukung pekerjaan komisiioing, *start-up*, dan perawatan dari sistem unit selama periode konstruksi puncak. Staf total sekitar 650 orang untuk unit tunggal dan 400 orang untuk unit kedua dari 2 unit pembangkit kembar (*twin*).

8. Staf personil *Start-up*

Diperkirakan perlu sekitar 60 personil *start-up* yang berada di lokasi selama periode konstruksi puncak.

9. Inspektur NRC

Berdasarkan jumlah inspektur NRC yang dipekerjakan selama konstruksi PLTN pada periode 1980 - 1990 dan kebutuhan untuk pemantauan kegiatan manufaktur dan fabrikasi, diperkirakan bahwa NRC akan mempunyai 10-20 orang inspektur NRC di lokasi tapak dan lokasi di luar tapak selama periode konstruksi puncak dan periode pengujian.

Tabel 5. Persyaratan Tenaga Kerja di tapak PLTN <sup>[1]</sup>

Deskripsi Personil	Jumlah personil rata rata pada periode puncak untuk unit tunggal PLTN (orang)	Jumlah personil pada periode puncak pada unit banyak PLTN (orang)
Tukang	1600	8000
Pengawas tukang	80	400
Tenaga kerja tak langsung	160	800
Inspektur Kendali Mutu	40	200
<i>Vendor</i> Sistem Pembangkit Uap Nuklir (SPUN) dan staf subkontraktor	140	700
Manajer kontraktor EPC, insinyur dan pembuat jadwal	100	500
Staf Operasi dan perawatan dari <i>Owner</i>	200	1000
Personil <i>Start-Up</i>	60	300
Inspektur NRC	20	100
TOTAL	2400	12000

Tabel 5 merupakan ringkasan tenaga kerja tukang total dan tenaga kerja di lokasi untuk mendukung konstruksi dan *start-up*.

Diperkirakan 800 personil akan berada di lokasi dengan dukungan 1600 tenaga kerja tukang. Total jumlah tenaga kerja di tapak untuk unit

tunggal diperkirakan sekitar 2.400 orang (Tabel 5).

#### Ketersediaan Tenaga Kerja Konstruksi.

Mayoritas tenaga kerja yang diperlukan untuk konstruksi PLTN baru merupakan tenaga kerja tukang. Tenaga kerja tukang diperlukan untuk mendukung jumlah konstruksi PLTN

untuk 60% di lokasi selama konstruksi PLTN berdasarkan persyaratan tenaga kerja.

Tabel 6 menunjukkan perkiraan jumlah pekerja pada periode puncak dari masing-masing yang diperlukan untuk unit tunggal dan unit banyak PLTN (8 unit selama konstruksi serentak melintas negara bagian).

Tabel 6. Perkiraan Jumlah Pekerja yang Diperlukan pada Periode Puncak <sup>[1]</sup>

Deskripsi Tukang	Presentase Tukang	Jumlah personil rata-rata unit tunggal PLTN pada periode puncak (orang)	Jumlah personil 2 unit dalam 1 negara bagian (orang)	Jumlah personil untuk 8 unit PLTN secara nasional (orang)
Tukang boiler	4	60	96	300
Tukang kayu	10	160	256	800
Pemasang listrik & instrumentasi	18	290	464	1450
Tukang besi	18	290	464	1450
Tukang isolator/penyekat	2	30	48	150
Pekerja/buruh	10	160	256	800
Tukang beton	2	30	48	150
Tukang giling	3	50	80	250
Tukang pengoperasian	8	130	208	650
Tukang cat	2	30	48	150
Pemasang pipa	17	270	432	1350
Pekerja logam lembaran	3	50	80	250
Pengemudi truk alat berat	3	50	80	250
Tenaga kerja konstruksi total	100	1600	2560	8000

Tabel 6 memperkirakan persyaratan tenaga kerja untuk masing-masing tukang dibandingkan dengan penyebaran tukang secara statistik. Hasil perbandingan ini kemudian digunakan untuk menentukan kendala yang terkait dengan ketersediaan tenaga kerja untuk konstruksi PLTN baru dan memberikan pandangan terhadap tindakan-tindakan yang mungkin untuk mengurangi kendala ketersediaan tenaga kerja. Sebagai informasi, sumber daya manusia yang diperlukan untuk konstruksi unit kembar umumnya lebih kecil daripada sumber daya untuk 2 unit tunggal PLTN karena adanya *share* infrastruktur sumber daya.

#### Pekerjaan Konstruksi Nasional

Berdasarkan data dari Biro Statistik Tenaga Kerja Amerika Serikat, industri konstruksi merupakan salah satu industri terbesar nasional, yang memperkerjakan 6.700.000 pekerja pada tahun 2002. Industri konstruksi diharapkan tumbuh sebesar 15,1% dan tambahan sekitar 1.000.000 pekerjaan baru antara 2002 dan 2012 <sup>[2]</sup>. Pertumbuhan 15,1% ini serupa dengan 14,8% pertumbuhan yang diharapkan untuk seluruh industri pada periode tersebut. Sebagai tambahan, pengaruh kombinasi pertumbuhan pekerjaan, pensiun dan pengurangan tenaga kerja akan memerlukan 240.000 pekerja memasuki industri konstruksi tiap-tiap tahun untuk menggantikan yang pensiun atau pengurangan tenaga kerja

konstruksi lebih dari 10 tahun, persyaratan ini serupa dengan jumlah total 2,4 juta pekerja baru. Tabel 7 menggambarkan pekerjaan dan pertumbuhan yang diramalkan dalam kategori tukang konstruksi yang diperlukan untuk konstruksi PLTN berdasarkan proyeksi pekerjaan untuk tahun 2012. Nilai-nilai dari pekerjaan yang diproyeksikan meningkat, yang datanya diambil dari industri konstruksi sistem Utilitas.

Tabel 7 menunjukkan perbedaan dalam pekerjaan tukang pada industri yang dispesifikasikan lebih rinci. Sebagai contoh, konstruksi teknik sipil akan memperkerjakan sekitar 13% dari industri konstruksi keseluruhan sedangkan industri konstruksi

sistem utilitas spesifik akan memperkerjakan sekitar 5,4% dari seluruh pekerja dalam industri konstruksi. Bagaimanapun, pekerjaan spesifik yang berbeda secara signifikan, dalam persyaratannya sebagai contoh sejumlah fraksi besar dari tukang pengoperasian peralatan dalam industri konstruksi keseluruhan (17,5%) akan bekerja pada konstruksi sistem utilitas, sedangkan sejumlah kecil tukang logam lembaran dalam industri konstruksi akan bekerja pada konstruksi sistem utilitas (0,2%). Fraksi ini dievaluasi pada satu tukang ke tukang lain untuk menentukan pengaruh *breakdown* industri pada ketersediaan tenaga kerja yang berpengalaman untuk mendukung konstruksi PLTN.

Tabel 7. Prediksi Pekerjaan Tukang Konstruksi Nasional tahun 2012 <sup>[1]</sup>

Deskripsi Tukang	Pekerjaan Total (seluruh industri), 2012	Pekerjaan Industri Konstruksi, 2012	Pekerjaan Konstruksi Teknik Sipil, 2012	Pekerjaan Konstruksi Sistem Utilitas, 2012
Tukang boiler	24.994	17.783	1685	1322
Tukang kayu	1.331.047	781.681	32.825	9343
Tukang listrik	813.908	547.468	7829	5568
Tukang besi struktur	90.443	73.537	5.309	1.865
Tukang besi diperkuat	33.445	30.474	3.120	685
Tukang penyekat/ isolator	61.938	51.135	1.564	639
Tenaga kerja/buruh	1.070.466	764.705	206.306	90.239
Tukang batu beton	229.047	199.098	18.408	3809
Tukang giling	73.151	29.649	2252	1242
Tukang pengoperasian	389.439	232.878	111.987	40.798
Tukang cat	499.570	215.447	5710	814
Tukang pipa/uap	584.068	423.807	16.793	13.094
Tukang logam lembaran	245.604	164.109	557	357
Pengemudi truk alat berat	2.103.667	110.648	42.882	11.468
Seluruh pekerjaan	165.318.670	7.745.400	991.700	421.400

Tabel 8. Persentase pekerja dari industri yang diperlukan untuk konstruksi PLTN unit banyak <sup>[1]</sup>

Deskripsi	% pekerja konstruksi yang diperlukan	% pekerja konstruksi teknik sipil dan komponen berat yang diperlukan	% pekerja konstruksi sistem utilitas yang diperlukan
Tukang boiler	1,7%	17,8%	22,7%
Tukang kayu	0,1%	2,4%	8,6 %
Tukang listrik	0,3%	18,5%	26,0%
Tukang besi struktur	1,4%	17,2%	56,9%
Tukang isolator/penyekat	0,3%	9,6%	23,5%
Tenaga kerja/buruh	0,1%	0,4%	0,9%
Tukang batu beton	0,1%	0,8%	3,9%
Tukang giling	0,8%	11,1%	20,1%
Tukang pengoperasian	0,3%	0,6%	1,6%
Tukang cat	0,1%	2,6%	18,4%
Tukang pipa & Pemasang uap	0,3%	8,0%	10,3%
Pekerja logam lembaran	0,2%	44,9%	70,0%
Pengemudi truk alat berat	0,2%	0,6%	2,2%

Tabel 8 menggambarkan prosentase pekerjaan yang diproyeksikan total dari masing-masing industri yang akan diperlukan untuk mendukung konstruksi dari 8 unit PLTN secara serentak.

## PEMBAHASAN

Pada saat ini ada 4 tapak PLTN yang merupakan calon lokasi konstruksi PLTN baru di Amerika Serikat. Tapak tersebut yakni di negara bagian Alabama, Virginia, Illionis, dan Mississippi. NRC saat ini mereview Ijin Tapak Awal (*Early Site Permits*) dari 3 pemohon yakni Dominion Nuclear North Anna, LLC untuk *North Anna Site* di Virginia, *Exelon Generating Company*, LLC untuk Tapak Clinton di Illionis, dan *System Energy Resources Inc*, untuk tapak Grand Gulf di Mississippi. Departemen Energi Amerika Serikat telah menugaskan Asosiasi MPR untuk melakukan pengkajian terhadap infrastruktur konstruksi PLTN GEN III+. Analisis didasarkan pada asumsi desain teknologi PLTN GEN III+ yang mengacu pada desain Sistem Pembangkit Uap Nuklir (SPUN) versi desain

General Electric (ESBWR), Toshiba (ABWR) dan Westinghouse (AP1000).

Persyaratan infrastruktur konstruksi dibuat untuk mengantisipasi seluruh proses penyiapan manufaktur, fabrikasi, peralatan konstruksi dan sumber daya manusia yang diperlukan dalam konstruksi PLTN GEN III+ yang dijadwalkan pada periode tahun 2010 – 2017. Untuk pengkajian sumber daya manusia/tenaga kerja, dalam kajian ini diambil nilai rata-rata dari jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan berdasarkan versi General Electric, Toshiba dan Westinghouse.

## Analisis Infrastruktur Manufaktur PLTN GEN III+

Kemampuan industri manufaktur domestik dan asing dievaluasi. Ada 7 pemasok komponen yang disurvei untuk masing-masing jenis peralatan. Adapun 7 pemasok peralatan utama yakni General Electric, Toshiba, Westinghouse, Alstom, Ansaldo Camozzi, Doosan Heavy Industries, Equipos Nucleares SA (ENSA), Hitachi, Ishikawajima – Harima Heavy Industries (IHI) dan Mitsubishi Heavy Industries. Hasil survei kemampuan industri dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Analisis Infrastruktur Manufaktur untuk PLTN GEN III+ <sup>[1]</sup>

Industri manufaktur	Bejana Tekan Reaktor	Perakitan Bahan Bakar	Generator Uap dan Reheater Pemisah Uap	Generator Turbin Uap	Kondenser
General Electric	tidak	ya	tidak	ya	tidak
Toshiba	ya	ya	ya	ya	ya
Westinghouse	tidak	ya	tidak	tidak	tidak
Alstom	tidak	tidak	ya	ya	ya
Ansaldo Camozzi	ya	Tidak	ya	<i>casing</i>	ya
Doosan Heavy Industries	ya	tidak	ya	ya	ya
Equipos Nucleares SA (ENSA)	ya	tidak	ya	tidak	tidak
Hitachi	ya	ya	ya	ya	tidak
Ishikawajima Harima Heavy Industries (IHI)	ya	tidak	ya	Tidak	Tidak
Mitsubishi Heavy Industries	ya	ya	ya	ya	tidak

### Analisis Infrastruktur Fabrikasi PLTN GEN III+

Fabrikasi modular merupakan teknik konstruksi yang umum digunakan dalam berbagai industri. Sebuah modul dibentuk oleh deretan pengoperasian perakitan yang melibatkan pra-fabrikasi dan pra-perakitan. Modul-modul dapat difabrikasi atau dikonstruksikan pada lokasi pekerjaan. Ada beberapa keuntungan atau manfaat yang diperoleh dari penggunaan modul ini yakni produktivitasnya lebih tinggi, ongkos tenaga kerja lebih rendah, dampak pembatasan ruang lokasi yang lebih rendah, jumlah pekerja yang diperlukan lebih sedikit, mempersingkat jadwal konstruksi dan kendali mutu yang lebih ditingkatkan karena lebih mudah dilakukan inspeksi dan pengujian. Adapun pemasok modul peralatan dari PLTN GEN III+ dapat dilihat pada Tabel 10, Tabel 11, dan Tabel 12.

Tabel 10. Pemasok Modul Peralatan Mekanik <sup>[1]</sup>

Industri	Pemasok Modul Potensial
Kontraktor EPC	<i>Bechtel</i> <i>The Shaw Group (Stone and Webster)</i>
Vendor Sistem Pembangkit Uap Nuklir	<i>General Electric</i> <i>Toshiba</i> <i>Westinghouse</i>
Manufaktur peralatan dan fabrikator pemipaan	<i>Anderson Water System</i> <i>GE Water</i> <i>Joseph Oat Corporation</i> <i>Taylor Forge Engineering</i> <i>Turner International</i> <i>J. Ray Mc. Dermott, BMX Technologies</i>

Tabel 11. Pemasok Modul Struktur <sup>[1]</sup>

Industri	Pemasok Modul Potensial
Shipyards	<i>Electric Boat</i> <i>General Dynamics</i> <i>Northrup Grumman Newport News Shipbuilding</i>

Tabel 12. Pemasok Modul Listrik <sup>[1]</sup>

Industri	Pemasok Modul Potensial
Manufaktur Peralatan Listrik	<i>Eaton Cutler – Hammer</i> <i>Power</i> <i>ABB</i>

### Analisis Infrastruktur Peralatan Konstruksi PLTN GEN III+

Adapun untuk analisis infrastruktur peralatan konstruksi terdiri dari industri-industri yang dapat menyediakan perlengkapan konstruksi yakni *crane* VHL, mesin pembengkok pipa, mesin pengelasan otomatis, dan mesin perakitan besi otomatis. Daftar pemasok *crane* VHL dijelaskan pada Tabel 13.

Tabel 13. Daftar Pemasok Crane VHL dan Kemampuan Modelnya <sup>[1]</sup>

Vendor	Model Crane dan kemampuannya
Lampson	Model LTL-900 s/d LTL -2600 Kemampuan antara 900 – 2600 ton
Manitowoc	Model 18000 dan 21000 Kemampuan 825 ton dan 1100 ton
Liebherr	Model LR 1800 s/d LR 11200 Kemampuan antara 826 - 1100 ton
Demag	Model CC 8800 dan CC 12600 Kemampuan 1375 ton dan 1750 ton

Teknologi mesin pembengkok pipa saat ini tersedia dalam 2 pilihan yakni pembengkokan dingin (cold bending) dan pembengkokan induksi panas (heat induction bending). Teknik pembengkokan dingin tidak menggunakan panas untuk pembengkokan pipanya dan biasanya dipakai untuk pipa bor yang lebih kecil (< 8 inci). Teknik pembengkokan dingin tersedia banyak dari industri pemasoknya, sedangkan pipa pembengkok induksi panas menggunakan pemanasan terlokalisasi pada lokasi pembengkokan yang diinginkan. Biasanya digunakan untuk pipa bor besar (s/d diameter luar 66 inci dan ketebalan dinding s/d 4 inci). Pemanasan dengan induksi menggunakan suhu dari suhu kamar 800 OF menuju 1200 OF. Tabel 14 menunjukkan data industri dan ukuran pembengkokan pipa maksimum dan Tabel 15 menunjukkan data pemasok mesin peralatan pengelasan otomatis dan mesin peralatan pengelasan robotik.

Tabel 14. Data Industri dan Ukuran Pembengkokan Pipa Maksimum<sup>[1]</sup>

Industri	Ukuran pembengkokan pipa maksimum
Bend-tec	Diameter luar 66 inci
Tulsa Tube Bending	Diameter luar 28 inci
Shaw Group	Diameter luar 66 inci
Houston Pipe Benders	Diameter luar 36 inci
BendCo	Diameter luar 36 inci
Triple DDD Bending	Diameter luar 36 inci

Tabel 15. Pemasok Mesin Peralatan Pengelasan Otomatis dan Mesin Peralatan Pengelasan Robotik<sup>[1]</sup>

Vendor Mesin Pengelasan Otomatis	Vendor Mesin Pengelasan Robotik
Magnatech	ABB Flexible Automation
Arc Machines Inc.	Motoman
Koiki Aronson Inc.	FANUC
Pro-Fusion Technologies	-
Liburdi Dimetrics Corporation	-

Untuk mesin perakitan besi otomatis saat ini telah digunakan untuk konstruksi unit ABWR yakni Kashiwazaki Kariwa unit 7 di Jepang. Sistem perakitan besi otomatis terdiri dari sebuah sistem *Computer Aided Design (CAD)* dan *software database* yang

mengotomatisasi desain besi. Perusahaan yang pioner dalam teknologi ini adalah Shimizu Corporation, sebuah konstruktur sipil Jepang.

### Analisis Infrastruktur Sumber Daya Manusia

Tabel 16 sampai dengan Tabel 19 menggambarkan proyeksi pekerjaan tukang konstruksi tahun 2010 - 2012 untuk masing-masing 4 negara bagian. Sebagai tambahan, *breakdown* industri yang tersedia (pekerjaan kontraktor gedung, pekerjaan konstruksi teknik sipil) bervariasi di antara 4 negara bagian.

Beberapa tindakan yang dilakukan untuk mengurangi risiko yang terkait dengan ketersediaan sumber daya manusia/tenaga kerja ahli yang dilakukan oleh Departemen Energi Amerika Serikat adalah sebagai berikut :

- a. *Vendor* Sistem Pembangkit Uap Nuklir dan kontraktor EPC sebaiknya menyelesaikan desain pembangkit (termasuk pipa, tabung) sebelum memulai konstruksi, mempersiapkan jadwal konstruksi yang rinci dan terencana untuk perekrutan staf yang cukup untuk tim tanggap cepat terhadap penyelesaian masalah. Untuk pencapaian maksimal, personil dengan pengalaman desain dan pembangunan unit nuklir sebaiknya digunakan untuk mendesain dan mengkonstruksikan unit PLTN GEN III+. Langkah-langkah ini diperlukan untuk melanjutkan laju produktifitas tenaga kerja yang cukup tinggi, yang sangat penting untuk pencapaian jadwal konstruksi dan biaya proyek sesuai yang diinginkan.
- b. Kontraktor EPC sebagai suatu kelompok kontraktor sebaiknya melakukan negosiasi dan menandatangani perjanjian tenaga kerja nasional dengan serikat buruh utama untuk menyediakan fleksibilitas perekrutan staf proyek konstruksi yakni dengan membolehkan anggota serikat buruh dari wilayah yang berbeda untuk bekerja pada lokasi konstruksi PLTN. Tahapan ini membantu menjamin pekerja konstruksi yang diperlukan akan tersedia.
- c. NRC, utiliti PLTN, vendor Sistem Pembangkit Uap Nuklir, pemasok komponen, pemasok material dan kontraktor EPC sebaiknya memastikan bahwa program jaminan mutu dan program kendali mutu terlaksana dengan baik dan

diterapkan untuk desain, fabrikasi, konstruksi dan inspeksi unit PLTN GEN III+. Pada dokumen Badan Tenaga Nuklir Internasional (IAEA) yakni NUREG 1055 menunjukkan bahwa masalah jaminan mutu dan kendali mutu menyebabkan kesulitan-kesulitan utama pada awal proyek konstruksi. Tahapan ini menjamin bahwa pekerja sesuai, tepat waktu dan tepat jadwal serta tenaga kerja konstruksi tambahan tidak diperlukan untuk menutupi kekurangan-kekurangan yang terjadi.

- d. Operator PLTN sebaiknya merekrut dan melatih sarjana fisika kesehatan, operator dan teknisi perawatan pada PLTN yang ada untuk pelayanan sebagai pengganti staf pembangkit yang ada dan untuk staf baru bagi GEN III+. Hal ini untuk memastikan bahwa staf operator PLTN akan tersedia untuk pelatihan dan mendukung pekerjaan *start-up*, komisioning dan pengujian unit GEN III+ yang baru.

Tabel 16. Prediksi Pekerjaan Tukang Konstruksi Alabama <sup>[1]</sup>

Deskripsi Tukang	Pekerjaan Total (seluruh industri) 2012	Pekerjaan konstruksi alat berat kecuali pekerjaan jalan raya, 2010
Tukang boiler	470	---
Tukang kayu	19.990	300
Tukang listrik	14.260	18
Tukang besi struktur	1.630	100
Tukang besi diperkuat	590	16
Tukang isolator/penyekat	1.640	31
Tukang konstruksi	16.560	2.100
Tukang batu beton	3.050	200
Tukang giling	1.870	27
Tukang pengoperasian	8.190	1.000
Tukang cat	9.700	16
Tukang pipa dan tukang uap	7.730	100
Tukang logam lembaran	4.380	--
Pengemudi truk alat berat	46.290	400
Seluruh Pekerjaan	2.402.150	10.428

Catatan: \* Pekerjaan total yang diproyeksikan untuk tukang boiler pada tahun 2010 sebagai pengganti tahun 2012.

Tabel 17. Prediksi Pekerjaan Tukang Konstruksi di negara bagian Illionis <sup>[1]</sup>

Deskripsi Tukang	Pekerjaan Total (seluruh industri), 2012
Tukang boiler	1.766
Tukang kayu	64.067
Tukang listrik	37.725
Tukang besi struktur	3.614
Tukang besi diperkuat	669
Tukang isolator/penyekat	1.282
Tukang konstruksi	43.352
Tukang batu beton	9.470
Tukang giling	2.369
Tukang pengoperasian	10.423
Tukang cat	16.183
Tukang pipa dan tukang uap	24.870
Tukang logam lembaran	7.925
Pengemudi truk alat berat	88.674
Seluruh Pekerjaan	6.928.400

Tabel 18. Prediksi Pekerjaan Tukang Konstruksi di negara bagian Mississippi <sup>[1]</sup>

Deskripsi Tukang	Pekerjaan yang diproyeksikan (seluruh industri), 2010	Pekerjaan kontraktor Gedung Umum, 2010
Tukang boiler	690	142
Tukang kayu	11.910	3.794
Tukang listrik	5.710	68
Tukang besi struktur diperkuat	950	412
Tukang isolator/penyekat	590	18
Tukang konstruksi	930	11
Tukang batu beton	9.320	3.050
Tukang giling	1.160	217
Tukang pengoperasian	1.740	508
Tukang cat	3.340	250
Tukang pipa dan pemasang uap	4.410	219
Tukang logam lembaran	5.420	128
Pengemudi truk alat berat	2.860	55
Seluruh Pekerjaan	27.260	58
Seluruh Pekerjaan	1.516.777	17.316

Tabel 19. Prediksi Pekerjaan Tukang Konstruksi di negara bagian Virginia <sup>[1]</sup>

Deskripsi Tukang	Pekerjaan yang diproyeksikan (seluruh industri), 2012	Pekerjaan Konstruksi Teknik Sipil, 2002
Tukang boiler	364	--
Tukang kayu	29.396	1.350
Tukang listrik	22.306	--
Tukang besi struktur	2.790	57
Tukang besi diperkuat	506	137
Tukang isolator/penyekat	--	--
Tukang konstruksi	23.764	7.661
Tukang batu beton	6.327	801
Tukang giling	1.428	--
Tukang pengoperasian	8.921	3.049
Tukang cat	10.169	165
Tukang pipa dan tukang uap	15.956	--
Tukang logam lembaran	7.866	--
Pengemudi truk alat berat	41.128	1.651
Seluruh Pekerjaan	4.097.672	34.930

## KESIMPULAN

1. Pengkajian infrastruktur konstruksi PLTN GEN III+ di Amerika Serikat sangat penting dilakukan untuk melakukan analisis infrastruktur/sumber daya yang diperlukan dan infrastruktur yang tersedia sehingga dapat mengantisipasi ketepatan jadwal dan biaya konstruksi untuk dapat dilaksanakan seefektif mungkin.
2. Dengan rencana jadwal konstruksi yang ketat, Departemen Energi Amerika Serikat telah berupaya mempersiapkan skenario penyediaan sumber daya manusia, manufaktur, fabrikasi dan peralatan konstruksi untuk mendukung rencana konstruksi 8 unit PLTN GEN III+ pada periode waktu 2010 – 2017.

## DAFTAR PUSTAKA

1. DEPARTMENT OF ENERGI, 2005, "DOE NP 2010 Nuclear Power Plant Construction Infrastructure Assessment", Washington DC, [www.nuclear.gov/np2010/reports/mpr2776Rev0102105.pdf](http://www.nuclear.gov/np2010/reports/mpr2776Rev0102105.pdf), diakses tanggal 29 Juli 2007.

2. DEPARTMENT OF ENERGY, 2004, "Application of Advanced Construction Technologies to New Nuclear Power Plants", MPR 2610, revision 2, [www.nuclear.gov/np2010/reports/mpr2610Rev2Final924.pdf](http://www.nuclear.gov/np2010/reports/mpr2610Rev2Final924.pdf), diakses tanggal 31 juli 2007.
3. U.S. BUREAU OF LABOUR STATISTIC, 2008, "2006-16 National Employment Matrix", Detailed Industry by Occupation, <http://www.bls.gov/emp/empioils.htm>, diakses tanggal 19 juli.

## TANYA JAWAB

### Pertanyaan

1. Dalam abstrak tertulis makalah tentang persyaratan SDM, namun dalam isi ternyata persyaratan manufaktur, fabrikasi dll, termasuk jenis dan jumlah SDM, sehingga sebaiknya abstrak diperbaiki supaya sesuai dengan isi dan kesimpulan. (Mulyono Syamsuar-BAPETEN)
2. Judul makalah sebaiknya dicari/ditambahi kata pengalaman Amerika dalam pengelolaan PLTN Gen III (misal) atau judul disempurnakan. (Mulyono Syamsuar-BAPETEN)
3. yang ibu sajikan adalah mengenai SDM manufaktur, fabrikasi dan peralatan konstruksi untuk PLTN di AS. Apakah PPTN sudah mengkaji kemampuan SDM dalam negeri untuk melakukan fabrikasi, dll. Jika suatu saat Indonesia membangun PLTN? (Sri Nitiswati-PTRKN-BATAN)

### Jawaban

1. Dalam abstrak, kami akan menambahkan/mengoreksi bahwa makalah ini mengkaji studi tentang persyaratan dan penyiapan SDM, manufaktur, fabrikasi dan peralatan konstruksi yang harus disiapkan oleh pemerintah dan industri nasional.
2. Benar, tetapi terlalu panjang sehingga kami mempersingkat judul tanpa mengurangi arti secara keseluruhan.
3. Sampai saat ini, PPTN sudah melakukan kajian partisipasi Industri Nasional dan Ahli Teknologi. Dalam kajian partisipasi Industri Nasional, PPTN juga telah melakukan kajian terhadap kemampuan SDM pada industri manufaktur/fabrikator, industri konstruksi dll, seperti misalnya

industri dari PT Boma Bisma Indra, PT PAL, PT Barata Indonesia, PT Trafoindo, PT Hutama karya, PT Waskita Karya, PT Puspertino, PT Pupuk KALTIM dll.