

STRATA SDM UNTUK INDUSTRI NUKLIR DI INDONESIA DENGAN PERTIMBANGAN TEKNO-EKONOMI

AHMAD SYAUKAT*, TJIPTA SUHAEMI**

* Pusat Kemitraan Teknologi Nuklir-BATAN

Kawasan Puspitek Serpong, Tangerang 15310, Banten

Telp. 021.7560567, Faks. 7560895

** Pusat Teknologi Reaktor dan keselamatan Nuklir-BATAN

Kawasan Puspitek Serpong, Tangerang 15310, Banten

Telp, 021.7560912, Faks. 7560913

Abstrak

STRATA SDM UNTUK INDUSTRI NUKLIR DI INDONESIA DENGAN PERTIMBANGAN TEKNO-EKONOMI. Menghadapi kelangkaan bahan bakar minyak Indonesia perlu memiliki skema industrialisasi nuklir untuk penyediaan energi diperbaharui. Dengan waktu diklat yang panjang mulai sekarang SDM untuk industri nuklir perlu dipersiapkan. Kebutuhan akan SDM bagi industri nuklir sangatlah bergantung kepada skenario nuklir yang dipilih tetapi kualitas SDM bagi suatu industri nuklir tetap diperlukan guna menciptakan industri nuklir yang aman dan andal. Makalah ini membahas aspek strategis penyediaan SDM dan strata SDM untuk pembangunan industri nuklir yang mandiri berdasarkan titik pandang tekno-ekonomi dimana struktur atau karakteristik teknologi dianalisis secara lengkap. Disamping perlu adanya strategi pengembangan energi nuklir nasional analisis kebutuhan SDM yang dilaksanakan seperti ini sangat berguna untuk suatu perencanaan strategis dimana segenap sumber daya secara bertahap dapat digunakan untuk memanfaatkan teknologi nuklir yang dipilih.

Kata kunci : industri, nuklir, strata, SDM

Abstract

THE STRATA OF THE NUCLEAR INDUSTRIES MANPOWER USING TECHNO-ECONOMICAL CONSIDERATION. With a view of limited oil reserve, Indonesia need to have nuclear industry scheme to provide renewable energy. As the training of nuclear industry takes many years, from now man power for nuclear industry needs to be prepared. The need for man power's quantity depends on the nuclear power scenario but the manpower's quality for any nuclear industry is indispensable if we want to have a safe and reliable industry. This paper present strategical aspects in preparing manpowers for nuclear industries with techno-economical point of view where technological structur and characteristic are well analized. Besides the necessity of strategical NPP program, the above mentioned manpower analysis is needed for a strategical planning where power resources are to be utilized step by step to develop nuclear technologies.

Keywords : industry, nuclear, strata, manpower

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki fasilitas fasilitas nuklir untuk penelitian nuklir dan produksi elemen bakar di kawasan Puspitek sejak lebih dari dua dekade yang lampau. Fasilitas fasilitas ini telah memberi pengalaman dalam mengoperasikan reaktor berukuran besar, penelitian nuklir, memproduksi elemen bakar

nuklir, mengolah limbah nuklir, analisis keselamatan nuklir maupun penelitian nuklir lainnya. Spektrum keahlian sumber daya manusia yang menyertai fasilitas-fasilitas ini meliputi tenaga teknisi, operator, supervisor, peneliti maupun manajer. Meskipun demikian untuk mengoptimalkan penelitian masih

diperlukan peningkatan keahlian baik dibidang penelitian maupun manajemen nuklir.

Usaha untuk lebih mengefektifkan penelitian dan produksi perangkat nuklir dirasakan perlu untuk dapat memberikan kontribusi yang memadai bagi pembangunan bangsa. Untuk itu selain usaha penelitian /produksi nuklir juga kegiatan manajemen dan informasi nuklir terus ditingkatkan kualitasnya, termasuk kegiatan identifikasi "end user" dan membangun kemitraan dengan kalangan pengusaha, pemda dan lembaga pemerintah lainnya. Pembangunan manajemen nuklir dan penelitian nuklir yang terkait langsung dengan program PLTN akan memacu penyediaan sumber daya manusia dengan berbagai keahlian di berbagai bidang.

Kebutuhan akan sumber daya manusia bagi penelitian nuklir secara jangka panjang ditentukan baik oleh kebutuhan untuk membangun infrastruktur pendukung program PLTN dan juga untuk membangun pengembangan ekonomi bangsa. Dalam mendukung program PLTN diperlukan fasilitas dan kemampuan untuk menangani limbah nuklir, berhubung tugas menangani limbah nuklir dibebankan kepada pemerintah. Partisipasi nasional yang lebih luas dapat dicapai dengan mengembangkan fasilitas elemen bakar nuklir maupun perangkat nuklir lainnya yang dapat mendukung program energi nuklir berkelanjutan di Indonesia.

Semua program ini diharapkan bermuara kepada industri nuklir yang berperan dalam pembangunan energi berkelanjutan di Indonesia sesuai dengan peraturan pemerintah No.5 tahun 2006. Dengan demikian nampak bahwa penyiapan sumber daya manusia bagi penelitian nuklir di Indonesia harus dilakukan secara bertahap untuk berbagai bidang yang diperlukan dan dalam rangka industrialisasi nuklir. Diperlukan skema untuk proses industrialisasi jangka panjang yang menghasilkan kontribusi energi diperbaharui termasuk nuklir sebesar 5% pada tahun 2025. Makalah ini membahas pola penyediaan sumber daya manusia, khususnya strata SDM dalam menunjang industrialisasi nuklir di Indonesia berdasarkan pertimbangan tekno ekonomi pembangunan.

PARADIGMA TEKNO-EKONOMI DAN INDUSTRIALISASI

Ada pandangan yang menyatakan bahwa sains dan teknologi adalah cara yang dapat diandalkan untuk meningkatkan kemakmuran. Dengan teknologi produktifitas dapat ditingkatkan baik untuk kebutuhan bernegara, keamanan, ekonomi, sosial dan kebutuhan pribadi. Bangsa yang memiliki teknologi memiliki peluang untuk berdikari dan kemudian maju di bidang sosio politik dan ekonomi. Bahwa tidak semua teknologi berdampak positif menunjukkan bahwa manajemen teknologi harus diterima sebagai hal pokok. Masa depan ditentukan oleh kemampuan mengembangkan teknologi serta manajemen pengembangan teknologi.

Perkembangan teknologi bergantung kepada kemajuan sains tetapi aplikasi teknologi bergantung kepada politik, ekonomi dan budaya. Oleh karena itu pembangunan berbasis teknologi dihasilkan lebih dari tarikan pasar daripada dorongan sains. Studi empiris menunjukkan bahwa baik proses substitusi dan difusi teknologi mengikuti pola pertumbuhan berbentuk kurva S, dengan teknologi mapan berada dibagian atas kurva yang relatif stabil. Pada jaman dahulu teknologi berkembang sebagai respon terhadap tuntutan perubahan sosial yang lambat, tetapi sekarang perkembangan teknologi jauh lebih cepat akibat perubahan sosial yang juga lebih cepat.

Pentingnya peran teknologi bagi pembangunan ekonomi suatu bangsa telah menyebabkan munculnya ukuran ukuran bagi penilaian pencapaian teknologi. Sahal, telah menggunakan istilah *technometric* dengan merujuk kepada fondasi pengukuran teknologi. Sedangkan Grupp dan Hohmeyer menggunakan istilah itu untuk merujuk kepada kompilasi spesifikasi produk nasional yang bermuatan teknologi dan perbandingan internasionalnya. Sharif dan Ramanathan membagi teknologi kedalam empat komponen yaitu *technoware*, *humanware*, *inforware* dan *orgaware*. Pendekatan pendekatan ini menunjukkan perlunya kerangka kerja analitis yang melibatkan pemeriksaan terhadap spesifikasi teknologi termasuk di dalamnya adalah pemeriksaan terhadap SDM sebagai bagian dari karakteristik teknologi yang kompetitif. Melalui pendekatan ini diakui adanya tingkat

kecanggihan yang berlaku bagi seluruh komponen teknologi yang tiap-tiap tingkatnya saling berkaitan membentuk tingkat operasi transformasi input-output^[2].

Searah dengan pola pandang *technometric* adalah proses inovasi teknologi. Proses ini melibatkan tidak saja analisis teknik tetapi juga analisis pasar dan perencanaan bisnis yang diperlukan oleh top manajemen dalam menyiapkan pengembangan, produksi dan komersialisasi produk. Analisa teknologi dan perencanaan bisnis menjadi dua elemen pokok dalam proses pengembangan teknologi yang berorientasi kepada pasar^[3].

Industrialisasi memerlukan transformasi dari sistem produksi. Evaluasi karakteristik teknologi yang terlibat didalamnya berperan bagi berbagai segi yaitu perencanaan lapangan kerja, *foreign exchange* maupun perencanaan strategis untuk meningkatkan sistem produksi yang mandiri dan kompetitif. Apabila analisis "value added" dengan penilaian nilai ekonomi output/input dapat berperan untuk membandingkan unjuk kerja dari fasilitas produksi maka evaluasi karakteristik teknologi dapat melengkapinya untuk tujuan perencanaan bahkan penyiapan kebijaksanaan^[4].

Industrialisasi sendiri memerlukan waktu yang sesuai dengan pengembangan sumber daya baik SDM maupun finansial. Tarikan pasar menyangkut kebutuhan energi juga akan mempengaruhi perkembangannya. Demikian juga spesifikasi yang diciptakan pasar menyangkut keandalan dan keselamatan berperan dalam inovasi teknologi dan perkembangan industri. Demikian juga industri nuklir yang telah berkembang selama hampir sekitar setengah abad dipengaruhi oleh tarikan pasar selain dorongan teknologi. Pembangunan PLTN air ringan yang bermula dari Amerika Serikat sekarang telah menyebar keberbagai penjuru dunia dalam memenuhi kebutuhan akan energi dan listrik dunia.

Pertimbangan tekno ekonomi dan industrialisasi di atas adalah dasar pemikiran bagi pengembangan suatu teknologi. Ini selanjutnya menimbulkan persyaratan bagi manajemen teknologi, penjenjangan keahlian teknologi maupun sistem produksi yang kompetitif. Pencapaian dalam berbagai bidang ilmu dan spektrum keahlian maupun organisasi dapat dilaksanakan dengan pengadaan SDM

sesuai strategi industrialisasi nasional yang mantap.

PARTISIPASI NASIONAL DALAM INDUSTRI NUKLIR

Ada beberapa kegiatan dalam program PLTN yang harus diambil oleh organisasi nasional dan ditangani oleh SDM dalam negeri, tanpa memandang bentuk kontrak pengadaan PLTN. Kegiatan pokok ini meliputi baik kegiatan program/manajemen maupun kegiatan pekerjaan teknik. Termasuk kedalam kegiatan program/manajemen dan kebijakan nuklir adalah perencanaan, koordinasi dan pengendalian program PLTN, pengembangan program SDM, regulasi dan lisensing nuklir serta kebijakan QA, perencanaan darurat nuklir serta informasi dan hubungan masyarakat. Sedangkan yang termasuk ke dalam kegiatan teknik yaitu *safeguard* dan proteksi fisik, penyiapan tapak (*site*), kegiatan sipil seperti ereksi bangunan dan struktur, instalasi peralatan, operasi dan pemeliharaan fasilitas proteksi radiologi dan survei lingkungan, manajemen dan penyimpanan elemen bakar di kompleks serta transportasi dan penyimpanan *off site* dan manajemen limbah^[5].

Sementara itu infrastruktur sains dan teknologi berperan pada tingkat partisipasi nasional yang sesuai dengan strategi pengembangan program PLTN. Fungsi lembaga R&D adalah untuk memahami, asimilasi dan adaptasi teknologi yang akan dicapai dan menyiapkan prinsip dasar/kerja untuk eksploitasi di masa depan oleh industri. Disiplin ilmu yang biasanya diterapkan oleh lembaga R&D adalah fisika reaktor, kimia dan material, mekanikal, elektrikal, elektronik dan teknik kimia, sains komputer, fisika kesehatan dan sains lingkungan^[6].

Tuntutan akan perencanaan dan ketahanan energi nasional yang mantap, pembangunan sistem energi yang andal dan ekonomis serta keselamatan personel dan lingkungan menentukan peran nasional secara mendasar. Bentuk partisipasi nasional I dengan uraian kegiatan seperti disebutkan di atas merujuk kepada partisipasi nasional dasar apabila program PLTN hendak dilaksanakan. Tabel 1 menunjukkan ruang lingkup partisipasi nasional dasar maupun tingkat kesulitan dari proyek PLTN^[7].

Partisipasi nasional 2 melibatkan kegiatan nuklir lainnya yang dapat memberikan dalam jangka panjang jaminan suplai komponen dan servis berkaitan dengan operasi PLTN maupun barang modal untuk pemenuhan pasar domestik. Peran lain dari lembaga R&D dalam meningkatkan partisipasi nasional adalah sebagai pendukung kepada infrastruktur nuklir lainnya yang harus dikembangkan. Peran pendukung ini dilaksanakan dalam beberapa aspek teknologi seperti: transfer teknologi, training, QA/QC, *engineering*, *manufacturing*, daur bahan bakar nuklir, utilitas/operator PLTN dan konsultasi^[6].

Lembaga R&D menyediakan saluran dan mengadaptasi teknologi untuk industri yang akan dikembangkan di dalam negeri. Pilihan pilihan teknologi sudah tentu dilaksanakan berdasarkan prioritas yang konsisten dengan strategi pengembangan program energi nuklir dan sumber daya, baik SDM dan finansial yang tersedia untuk mengeksploitasi teknologi. Pengalaman dari Korea dan Jepang

menunjukkan bahwa pengembangan kemandirian yang lebih cepat terjadi di bidang konstruksi dan perakitan bahan bakar (15 dan 20 tahun). Berikutnya adalah pengembangan di bidang arsitek/keinsinyuran dan peralatan. Pengembangan yang lebih lambat adalah perancangan reaktor nuklir dan sistem primer (sekitar 30 tahun). Sebesar apapun skenario industri nuklir 2, skenario ini perlu memiliki strategi pengembangan program PLTN dan sumberdaya yang mantap.

PRINSIP PENGADAAN SDM BAGI INDUSTRI NUKLIR

SDM yang berkualitas sangat diperlukan untuk suatu industri nuklir yang aman dan andal. Setiap negeri yang hendak memulai industrialisasi memiliki tanggung jawab untuk perencanaan dan pelaksanaan program pengembangan SDM. Perencanaan ini perlu dilaksanakan dalam jangka panjang mengingat perlunya waktu panjang (10 sampai 15 tahun) untuk menghasilkan SDM berkualifikasi tinggi.

Tabel 1. Aktivitas Program PLTN^[7]

NO	Aktivitas	Pentingnya Partisipasi Nasional *	Tingkat Kesulitan Teknis**	Upaya SDM **
1.	Perencanaan dan Kordinasi PLTN	Ya	3	1
2.	Perencanaan sistem daya	Ya	2	1
3.	Pengembangan kerangka kerja organisasi dan hokum	Ya	1-2	1
4.	Perjanjian dan pengaturan internasional	Ya	1-2	1
5.	Perencanaan dan koordinasi partisipasi nasional	Ya	2	1
6.	Perencanaan dan implementasi pengembangan SDM	Ya	2-3	2-3
7.	Studi kelayakan	Ya	3	2
8.	Evaluasi tapak	Ya	2-3	1-2
9.	Persiapan spesifikasi penawaran (<i>bid</i>)	Ya	2-3	1-2
10.	Evaluasi penawaran	Ya	3	2
11.	Kontrak	Ya	3	1
12.	Manajemen proyek (<i>utility</i>)	Ya	3	1-2
13.	Manajemen proyek (kontrak utama)	Tidak	3	2
14.	Desain konsep Instalasi	Tidak	3-4	2
15.	Rekayasa desain dasar	Tidak	3-4	3
16.	Rekayasa desain rinci	Tidak	2-3	4
17.	Persiapan dan review spesifikasi peralatan dan instalasi	Tidak	3-4	2
18.	Pelaksanaan kebijakan jaminan kualitas	Ya	2-3	1
19.	Implementasi kendali kualitas dan jaminan kualitas	Tidak	2-3	2
20.	Pengadaan (<i>procurement</i>)	Tidak	1-2	1-2
21.	Pelaporan analisis keselamatan	Tidak	3	2
22.	Perencanaan darurat	Ya	2	1
23.	Hubungan masyarakat dan informasi masyarakat	Ya	1-2	1

Tabel 1. Aktivitas Program PLTN^[7] (lanjutan)

NO	Aktivitas	Pentingnya Partisipasi Nasional *	Tingkat Kesulitan Teknis**	Upaya SDM **
24.	Safeguard dan proteksi fisik	Ya	1	2
25.	Manufaktur peralatan	Tidak	1-4	1-4
26.	Manajemen konstruksi	Tidak	2-3	2
27.	Persiapan tapak	Ya	1	2-3
28.	Ereksi bangunan dan struktur instalasi	Ya	2	4
29.	Instalasi sistem dan peralatan instalasi	Ya	2-3	3
30.	Uji komponen dan sistem instalasi	Tidak	2-3	2
31.	Uji kekritisan dan penerimaan instalasi	Tidak	3-4	1-2
32.	Pengoperasian dan perawatan instalasi	Ya	3-4	3
33.	Proteksi radiologi dan bimbingan lingkungan	Ya	1-2	1
34.	Pengadaan bahan bakar	Ya	2	1
35.	Eksplorasi bahan bakar	Tidak	1-2	3-4
36.	Eksplorasi uranium, pertambangan (mining & milling)	Tidak	1-2	1-2
37.	Pengkayaan	Tidak	4	3
38.	Fabrikasi bahan bakar	Tidak	3	2
39.	Manajemen bahan bakar dan penyimpanan di lokasi	Ya	2-3	1
40.	Transportasi bahan bakar dan penyimpanan dalam negeri	Ya	1-2	1
41.	Pemrosesan bahan bakar bekas	Tidak	4	3
42.	Manajemen limbah	Ya	2-3	2
43.	Lisensi dan regulasi nuklir	Ya	3-4	2-3
44.	Penelitian dan pengembangan PLTN	Tidak	3-4	3

Catatan :

* Aktivitas penting sangat bervariasi tergantung pada kebijakan dan kemampuan partisipasi nasional dan pada pengaturan kontrak untuk proyek PLTN

** indek nomor : 1 = rendah 2 = medium 3 = tinggi

Langkah pertama di bidang organisasi adalah membentuk grup proyek berukuran 25-40 profesional terdiri dari perencana dan insinyur yang berpengalaman dalam perencanaan dan instalasi industri energi ditambah dengan beberapa spesialis di bidang reaktor *engineering* dan PLTN. Kelompok ini bertanggung jawab bagi pengambilan keputusan utama dan penyajian rekomendasi mengenai komitmen dan investasi yang diperlukan^[5].

Industrialisasi nuklir di negara berkembang seperti Indonesia perlu didahului dengan pengkajian yang realistis mengenai kemampuan organisasi, pendidikan dan industrinya dan kemudian menentukan kebutuhan untuk mengembangkan kualitas dan kuantitas SDM bagi suatu program industrialisasi yang sukses. Teknologi energi nuklir merupakan teknologi modern yang

canggih yang memerlukan berbagai disiplin ilmu pengetahuan dan teknologi dan dengan dampak dari kesalahan bersifat luas dan lama. Untuk alasan itu diperlukan perancangan, konstruksi dan operasi dengan ketelitian dan presisi yang tinggi disertai dengan program QA yang memadai untuk menunjang keandalan dan keselamatan peralatan.

Membangun industri nuklir memerlukan ribuan SDM ahli maupun semi ahli: *tradesman*, teknisi dan profesional yang kompeten dalam disiplin *engineering* dan sains yang relevan. Sebagian dari mereka memerlukan diklat dan pengalaman melebihi tingkat pendidikan profesional. Training untuk personel seperti itu bukan semata-mata diperankan oleh lembaga R&D berhubung fungsi training dasar dilakukan oleh universitas, sekolah tinggi teknik dan sekolah perdagangan. Berhubung training di luar negeri terbatas maka

infrastruktur pendidikan dan training dalam negeri dikembangkan dan disesuaikan dengan persyaratan dan skenario industri nuklir yang dipilih. Dengan demikian untuk mencapai sasaran-sasaran pengembangan SDM di Indonesia diperlukan peran pemerintah, departemen pendidikan, lembaga riset (Batana) dan PLN serta dunia industri yang masing-masingnya berkontribusi kedalam pelaksanaan program energi nuklir nasional^[6].

Dengan membangun konsep komprehensif mengenai keselamatan nuklir, program QA dan kultur keselamatan IAEA telah berperan dalam memberikan persyaratan teknis, panduan teknis, manajemen, inspeksi/audit, pola pengambilan keputusan keselamatan, spesifikasi mental dan sikap keselamatan bagi berbagai tahap pembangunan instalasi nuklir. Dengan demikian badan internasional ini langsung atau tidak langsung telah memberikan spektrum persyaratan bagi penyiapan SDM industri nuklir. Badan Tenaga Nuklir Nasional pun menindaklanjuti persyaratan dari IAEA itu dengan membangun sistem diklat, berbagai jenjang fungsional dan keahlian, organisasi keselamatan nuklir, organisasi QA^[8,9].

Pendekatan normatif yang implisit dalam kebanyakan panduan keselamatan nuklir kemudian diikuti dalam pembangunan jenjang fungsional dan keahlian SDM. Pendekatan ini dilaksanakan dan disesuaikan dengan pengalaman atau kebutuhan organisasi. BATANA membina jenjang pranata nuklir yang berkaitan dengan kegiatan pengelolaan instalasi nuklir. BPPT membina jenjang perekayasa yang berkaitan dengan perancangan dan pembuatan peralatan. Sedangkan BAPETEN membina jenjang pengawas radiasi yang berkaitan dengan pengaturan, perizinan dan inspeksi serta supervisi pemanfaatan tenaga nuklir^[10-12].

Pengembangan SDM dengan prosedur formal ini dapat menghasilkan keahlian yang juga bersifat lokal apabila spesifikasi keahlian sebagai acuan penilaian tidak cukup komprehensif. Banyak faktor yang mempengaruhi hal ini termasuk di dalamnya adalah status teknologi domestik dan kebutuhan organisasi yang bersifat jangka pendek. Tetapi apapun alasannya spesifikasi berbagai aktivitas inovasi teknologi (yang biasanya untuk kegiatan pembuatan produk barang

dikategorikan kepada jenis produk, proses dan aplikasi) haruslah cukup jelas^[1,2,4].

STRATA & PEMBINAAN SDM UNTUK INSTALASI DAN INDUSTRI NUKLIR

Pengadaan tenaga pengelola fasilitas nuklir dimulai dengan pengadaan operator. Untuk jenjang yang lebih tinggi pengadaan dilakukan melalui jenjang jabatan pranata nuklir. Batana telah menyiapkan persyaratan dan aturan bagi jabatan pranata nuklir pada tahun 1990. Spesifikasi tugas pokok bagi jabatan pranata nuklir mencerminkan penjenjangan keahlian atau strata keahlian yang diterapkan bagi pengelola instalasi nuklir. Dengan keahlian inovasi sebagai jenjang tertinggi, jenjang pranata nuklir dari Batana mencoba mengakomodasikan keperluan untuk menciptakan pengembangan teknologi atau menerapkan teknologi baru.

Menurut analisis teknometrik tingkat kecanggihan *humanware* adalah : kemampuan operasi, kemampuan setting peralatan, kemampuan reparasi, kemampuan reproduksi, kemampuan adaptasi, kemampuan meningkatkan kapasitas, kemampuan inovasi. Analisis teknometrik jelas dapat menyumbangkan perbaikan spesifikasi dengan pendekatan multidimensi atau struktur teknologi yang lengkap. Pemahaman akan tingkat kecanggihan *teknaware* (peralatan manual, mesin umum, mesin khusus, peralatan otomatis seperti pabrik minuman, peralatan dengan komputer sampai peralatan terintegrasi seperti pabrik dengan robot) akan memperluas wawasan teknik atau jenis inovasi yang perlu dikerjakan. Selain adanya tingkat kecanggihan teknologi juga perlu diketahui *state of the art* teknologi yang merujuk kepada spesifikasi kecanggihan yang dicapai. Spesifikasi aktivitas bagi jenjang pranata utama tidak terbatas kepada pengkajian ataupun penerapan teknologi baru ataupun penyiapan materi penyuluhan tetapi perlu menyertakan penciptaan teknologi yang bermanfaat. Dengan demikian spesifikasi tadi dapat dilihat dari jenis inovasi, nilai teknologi dan *state of the art* atau siklus kehidupan teknologi. Spesifikasi dengan 3 jenis inovasi yaitu: produk/barang, proses dan aplikasi yang memiliki nilai atau kebutuhan baik dari pasar, perdagangan, efisiensi teknologi maupun lingkungan/keselamatan. Tabel 2 menunjukkan struktur inovasi teknologi

berdasarkan jenis dan nilainya. (Sebagai contoh dalam industri baja: produk dapat berbentuk *special/corrosion resistant steel*, proses dapat berbentuk *continuous casting/rolling*, aplikasi dapat berbentuk *steel* panjang untuk jembatan. Dalam industri limbah nuklir produk dan proses dapat berbentuk vitrifikasi sedangkan aplikasi adalah kemasan untuk penyimpanan lestari. Dalam penyuluhan nuklir produk dapat berbentuk konsep *defence in depth*, proses dapat berbentuk analisis deterministik dan probabilistik, aplikasi dapat berbentuk forum atau paper konsultasi untuk para stakeholder seperti yang disarankan IAEA)

Pengadaan tenaga pembuat perangkat nuklir dilakukan melalui jenjang jabatan perekayasa. Penyiapan persyaratan dan aturan bagi jabatan perekayasa telah dilakukan pada tahun 1990. Spesifikasi tugas pokok bagi jabatan perekayasa mencerminkan penjenjangan keahlian atau strata keahlian yang diterapkan bagi pembuat perangkat nuklir. Perekayasa Utama adalah jenjang tertinggi bagi pembuat peralatan. Semakin tinggi jenjang semakin canggih peralatan yang dibuatnya. Terkait dengan spesifikasi perekayasa, analisis teknometrik menyebutkan kecanggihan peralatan sebagai berikut: peralatan manual, peralatan berdaya listrik sederhana, peralatan mesin umum, peralatan mesin khusus, peralatan otomatis, peralatan dengan kendali komputer, peralatan terintegrasi^[2]. Perekayasa Utama diharapkan mampu membuat peralatan dengan kecanggihan tertinggi, disertai studi tekno ekonomi maupun kelayakannya. Bagi program energi nuklir di Indonesia peran dari perekayasa mendapatkan tempatnya dalam site evaluation (seperti asistensi peralatan seismik dan soil analisis) ataupun dalam transfer teknologi *design engineering*^[5]. Bagi program kedokteran nuklir perekayasa diharapkan mampu membuat peralatan untuk diagnosis maupun terapi sesuai dengan tuntutan pasar maupun persaingan teknologi kedokteran. Selain diperlukan memiliki kemampuan teknik SDM perekayasa juga diperlukan memiliki kemampuan untuk membuat Bussines Plan yang diperlukan para manajemen top untuk mengembangkan program pembuatan peralatan sehingga menjadi komersial^[3].

Keselamatan nuklir adalah kegiatan teknis, hukum dan manajemen yang terencana dan teratur untuk mencegah dampak negatif

penggunaan tenaga nuklir. Pengawasan berfungsi untuk melakukan pengaturan, perijinan dan inspeksi serta pembinaan berupa bimbingan dan penyuluhan pemanfaatan tenaga nuklir. Pengawasan bertujuan untuk menjamin kesejahteraan, keamanan dan ketentraman masyarakat. Juga, menjamin keselamatan dan kesehatan pekerja dan anggota masyarakat serta perlindungan terhadap lingkungan hidup. Dalam rangka meningkatkan kemampuan SDM diciptakan dua rumpun jabatan fungsional yaitu jabatan fungsional keahlian dan jabatan fungsional ketrampilan. Jabatan fungsional keahlian adalah jabatan fungsional kualifikasi profesional yang pelaksanaan tugas dan fungsinya mensyaratkan penguasaan iptek di bidang keahliannya. Tugas utama jabatan keahlian meliputi pengembangan pengetahuan, penerapan konsep dan teori, ilmu dan seni untuk pemecahan masalah, dan pemberian pengajaran dengan cara yang sistimatis.

Tabel 2. Struktur Inovasi Teknologi

Jenis Inovasi	Nilai Teknologi		
	Efisiensi	Kompetisi	Keuntungan Keandalan
Produk	Butir-butir dan Spesifikasi Inovasi Teknologi		
Proses			
Aplikasi			

Adapun jabatan fungsional ketrampilan adalah jabatan fungsional kualifikasi teknisi atau penunjang profesional yang pelaksanaan tugas dan fungsinya mensyaratkan penguasaan teknis di satu bidang ilmu pengetahuan atau lebih. Tugas utama jabatan ketrampilan meliputi pelaksanaan kegiatan teknis yang berkaitan dengan penerapan konsep dan metoda operasional di bidang ilmu pengetahuan tersebut serta pemberian pengajaran di tingkat pendidikan tertentu. Jabatan fungsional berdasar keahlian untuk pengawas radiasi adalah pengawas pertama, pengawas muda, pengawas madya dan pengawas utama^[12,13].

Peran dari jabatan keahlian sangat vital sebagai evaluator keselamatan nuklir baik pada perancangan, konstruksi maupun operasi nuklir. Kerjasama yang seimbang dengan para aplikasi/licensee sangatlah penting untuk menjamin fungsi inspeksi dari Bapeten secara efektif dan efisien. Kesemua tugas itu hanya dapat dilaksanakan dengan kompetensi dan kekuatan hukum yang mencukupi. Tantangan

yang dihadapi dalam pengembangan program PLTN adalah membangun kualifikasi keahlian yang dapat menerapkan kriteri, pedoman, aturan keselamatan dari Badan Badan yang terkait dengan keselamatan nuklir, terutama dari IAEA.

(Sebagai contoh diperlukan kemampuan untuk mengefektifkan sistem dan manajemen keselamatan nuklir nasional dengan penerapan teknologi dan kultur keselamatan nuklir seperti yang dianjurkan oleh IAEA, misalnya dengan meningkatkan kepatuhan operator terhadap peraturan/prosedur keselamatan ataupun terhadap pemeliharaan standar peralatan)

KESIMPULAN

Industrialisasi memerlukan transformasi dari sistem produksi kearah yang lebih efisien sehingga memerlukan waktu yang sesuai dengan pengembangan sumber daya baik SDM maupun finansial. Tarikan pasar menyangkut kebutuhan energi juga akan mempengaruhi perkembangan industri nuklir di Indonesia

Skenario industri nuklir jangka panjang melibatkan pembangunan PLTN dan kegiatan nuklir lainnya yang dapat memberikan dalam jangka panjang jaminan suplai komponen dan servis berkaitan dengan operasi PLTN maupun barang modal untuk pemenuhan pasar domestik.

Lembaga R&D menyediakan saluran dan mengadaptasi teknologi untuk industri yang akan dikembangkan di dalam negeri. Pilihan-pilihan dan waktu pengembangan teknologi sudah tentu dilaksanakan berdasarkan prioritas yang konsisten dengan strategi pengembangan program energi nuklir dan sumber daya, baik SDM dan finansial yang tersedia untuk mengeksploitasi teknologi.

Pendekatan normatif yang implisit dalam kebanyakan panduan keselamatan nuklir dari IAEA langsung atau tidak langsung diikuti dalam pembangunan jenjang fungsional dan keahlian SDM. Pendekatan ini dilaksanakan dan disesuaikan dengan pengalaman atau kebutuhan organisasi. Batan membina jenjang pranata nuklir yang berkaitan dengan kegiatan pengelolaan instalasi nuklir. BPPT membina jenjang perekayasa yang berkaitan dengan perancangan dan pembuatan peralatan. Sedangkan Bapeten membina jenjang pengawas radiasi yang berkaitan dengan pengaturan, perizinan dan inspeksi serta supervisi

pemanfaatan tenaga nuklir. Pengembangan SDM dengan prosedur formal ini dapat menghasilkan keahlian yang juga bersifat lokal apabila spesifikasi keahlian sebagai acuan penilaian tidak cukup rinci. Kecanggihan teknologi menurut pandangan tekno-ekonomi khususnya teknometrik dapat membantu memahami karakteristik teknologi komersial serta strata keahlian bagi SDM.

DAFTAR PUSTAKA

1. BOWONDER B AND MIYAKE T; "Measurement of Technology at Industry Level", Science and Public Policy August 1988, Beech Tree Publishing, Surrey, England
2. NAWAZ SHARIF M; "Basis for Techno-Economic Policy Analysis", Science and Public Policy August 1988, Beech Tree Publishing, Surrey, England.
3. TAREK KHALIL; *Management of Technology*, Mc Graw Hill, Boston 2000.
4. RAMANATHAN; "Measurement of Technology at the Firm Level", Science and Public Policy August 1988, Beech Tree Publishing, Surrey, England
5. IAEA Technical Reports Series No 217, "Guidebook on the Introduction of Nuclear Power", Vienna 1982.
6. IAEA Technical Reports series No.298, "Guidebook on Research and Development Support for Nuclear Power", Vienna 1989.
7. MAUTNER-MARKHOF F; "Engineering and Science Education for Nuclear Power", IAEA Bulletin 2/1988, Vienna 1988.
8. IAEA Safety Report Series No. 42; "Safety Culture in the Maintenance of Nuclear Power Plants", Vienna 2005.
9. IAEA INSAG No. 17; "Independence in Regulatory Decision Making", Vienna 2003.
10. BATAN; "Angka Kredit Bagi Jabatan Pranata Nuklir", Jakarta 1990.
11. PEMERINTAH RI; PP No 87 Tahun 1999 tentang "Rumpun Jabatan Fungsional Pegawai Negeri Sipil".
12. MENPAN; Kep No 67/KEP/M.PAN/7/2003 Tgl 17 Juli 2003. Tentang "Jabatan Fungsional Pengawas Radiasi".

13. BAPETEN; Seri Peraturan Keselamatan Nuklir; Undang-Undang No 10/1997 Tentang "Ketenagaan Nuklir", Jakarta 1997.
14. PUSDIKLAT BATAN; "Jenjang Fungsional dalam Analisis Jabatan", Jakarta 1990.

TANYA JAWAB

Pertanyaan

1. Pada abstrak dijelaskan bahwa makalah bapak membahas strategi penyiapan SDM dan strata SDM. Pada presentasi bapak tidak menjelaskan hal tersebut mohon penjelasan? (Bambang)
2. Mohon dijelaskan tentang kerjasama yang dilakukan antara BATAN-BAPETENnya spayol dan India dalam program PLTN. Penetapan kebijakan diperlukan sebagai TSO untuk Owner atau untuk kegiatan Bodeg tidak bisa dua-duanya akan ada koefisien dan TSO oleh reg bodeg harus independent terhadap kepentingan Owner? (Yusri-BAPETEN)

Jawaban

1. Yang dibicarakan adalah aspek strategis saja seperti disebutkan dalam abstrak. Strategi SDM nuklir memerlukan program pengembangan NPP, strategi ini antara lain :
 - a. Perlu adanya koordinator nasional
 - b. Evaluasi status teknologi dan SDM dalam negeri
 - c. Perlu adanya penyiapan strategi implementasi program NPP
 - d. Penyiapan pengembangan SDM lembaga R & W
 - e. Penyiapan pengembangan info struktur lainnya untuk NPP dan peningkatan partisipasi Nasional.
 - f. Penyiapan proyek NPP.
2. Kerjasama antara CIEMAT dan CNS di Spayol ada dalam Gudang Pembuatan Software analisis keselamatan nuklir. Kerjasama ini sudah tentu didasarkan kepada kadar partisipasi nasional semakin besar partisipasi nasional semakin besar kerjasama antara "core competency" dari lembaga riset nasional dengan pengatur nuklir.

LAMPIRAN

“STRATA SDM UNTUK INDUSTRI NUKLIR DI INDONESIA DENGAN PERTIMBANGAN TEKNO EKONOMI.”

1. Kebijakan dan peraturan nuklir:
Peraturan pemerintah no.5 tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional:
 - a. Kontribusi energi diperbaharui sebesar 5% padatahun 2025
 - b. Undang-undang no. 10 tahun 1997: tentang ketenagaan nuklir
 - c. Peraturan kepala batan 2006:
Pedoman penerapandan pengembangan sistem energi nuklir berkelanjutan di indonesia
2. Tanggung jawab nasional:
 - a. Perencanaan dan implementasi program npp melalui partisipasi nasional.
 - b. Kegiatan pokok perlu dilaksanakan oleh sdm lokal. (menyiapkan perencanaan dan manajemen untuk seluruh tahap pembangunan, sesuai kebijakan yang diambil, pengaturan dan pengawasan nuklir, keselamatan lingkungan, penanganan limbah, hubungan masyarakat dll)
3. Peran organisasi r&d:
(bergantung kepada program partisipasi nasional dan program npp)
 - a. Promosi penggunaan tenaga nuklir
 - b. Pengembangan strategi implementasi program tenaga nuklir
 - c. Bantuan teknis untuk pengembangan infra struktur nuklir/peran pendukung dari r&d (yaitu asimilasi, adaptasi, transfer & pengembangan teknologi)
 - d. Program r&d diarahkan kepada kebutuhan program npp, memecahkan masalahnya dan juga menyediakan basis pengetahuan dan keahlian untuk kemajuan masa depan npp
peran & program tradisional r&d:
(aplikasi teknologi oleh berbagai organisasi r&d di: universitas, lembaga riset, industri, utilitas dan organisasi pemerintah lainnya)
menetapkan dan memelihara "core capability" dalam disiplin: fisika reaktor, material dan kimia, mekanikal, elektrikal, elektronik dan teknik kimia, sains komputer, fisika kesehatan dan sains lingkungan.
4. Peran pendukung r&d:
(membantu terciptanya berbagai infrastruktur nuklir untuk proses pembangunan)
 - a. Teknologi transfer, training, regulasi nuklir, qa, a/e, manufaktur, konstruksi, daur bahan bakar & limbah dan operasi
 - b. Organisasi r&d menyediakan training lanjutan untuk staff profesional, sebelum dan permulaan npp untuk personel kunci dan pemimpin industri nuklir.
5. Persyaratan instalasi & industri nuklir:
(sebagaimana diatur ole iaea)
 - a. Ditentukan oleh: faktor keperluan akan keandalan dan keamanan operasi instalasi nuklir dengan penerapan program qa/qc untuk berbagai tahap, dampak radiasi nuklir dan keselamatan lingkungan, analisis yang kompleks dan penggunaan& penyimpanan bahan nuklir.
 - b. Kodifikasi objektif, prinsip/ strategi teknis, tanggung jawab manajemen untuk berbagai tahap pembangunan dan operasi instalasi nuklir.

Pelaksanaan:

 - a. Organisasi r&d menjadi mekanisme penerapan qa/qc kepada industri konstruksi dan manufaktur. pengalaman batan sewaktu membangun puspipstek adalah contoh yang baik meskipun pemerintah belum memiliki program npp.
 - b. Menetapkan dan memelihara "core capability". junta energi nuklir spanyol yang bertanggung jawab untuk mengendalikan dan supervisi instalasi nuklir serta advis kepada pemerintah dengan uu energi-nuklir 1964 mengarahkan dan mengelola program riset,

- studi dan kegiatan lain untuk pengembangan aplikasi energi nuklir dan promosi pengembangan industri material dan manufaktur.
- c. Pada tahun 1983 junta membentuk ciemat yang membawahi 5 institut yang menangani teknologi nuklir, proteksi radiologi dan lingkungan, fusi dan energi tinggi, energi diperbaharui dan studi energi.
 - d. Membantu terciptanya berbagai infrastruktur nuklir untuk proses pembangunan. junta membentuk csn yang berfungsi pengaturan dan pengawasan nuklir. csn didukung ciemat, mendapat advis mengenai pengaturan nuklir dan standard serta dukungan riset dibidang keselamatan dan proteksi radiasi. junta dan ciemat melakukan transfer teknologi kepada enusa (perusahaan nasional el bakar dan enresa (limbah radioaktif))
6. Karakteristik organisasi r&d yang berhasil:
 - a. Melaksanakan aplikasi teknologi yang dicapai
 - b. Mendukung industri dalam mengembangkan keahlian yang diperlukan untuk mencapai keberdikarian dalam teknologi nuklir sesuai tujuan nasional.
 - c. Responsif terhadap kebutuhan dari program npp
 - d. Titik penting untuk koordinasi nasional keahlian yang relevan
 7. Paradigma tekno-ekonomi dan industrialisasi.
 - a. Dipicu oleh kehadiran npp
 - b. Tuntutan persyaratan nuklir
 - c. Tarikan pasar dan tuntutan perlunya busines plan sebagai langkah awal kearah industrialisasi.
 - d. Didukung oleh analisis teknometrik dan analisis ekonomi lainnya.
 - e. Diikuti oleh persyaratan manajemen teknologi dan kualifikasi sdm
 8. Pola pengadaan dan pembinaan sdm.
 - a. Organisasi r&d nasional di india menyediakan saintis dan insinyur kualified untuk perancangan, konstruksi dan operasi npp.
 - b. Sebagai center of excellence ciemat di spanyol memberikan transfer pengalaman, teknologi, instalasi dan personel kepada perusahaan nasional elemen bakar dan limbah radioaktif.
 - c. BATAN membina jenjang pranata nuklir yang berkaitan dengan kegiatan pengelolaan instalasi nuklir di puspipstek. operator reaktor dan instalasi nuklir lainnya yang merupakan centre-centre of excellence memiliki kapasitas untuk memberikan technical-assistance kepada infrastruktur nuklir lainnya di indonesia
- Pelaksanaan.
- a. Jenjang pranata nuklir dengan keahlian inovasi teknologi sebagai jenjang tertinggi.
 - b. Jenjang perekayasa untuk pembuat peralatan dengan.
 - c. Jenjang pengawas radiasi yang berkaitan dengan pengaturan, perizinan dan inspeksi serta supervisi pemanfaatan tenaga nuklir.
9. Perbandingan analisis.
 - a. Pendekatan sistem teknologi seperti teknometri.
 - b. Pendekatan ekonomi seperti analisis value added
 - c. Pendekatan manajemen dan jaminan mutu.
- Pendekatan multi dimensi diperlukan untuk memperbaiki spesifikasi jenjang keahlian maupun spesifikasi teknis lainnya. ini memerlukan pertimbangan adanya tingkat kecanggihan komponen teknologi (humanware, technoware, inforware dan orgaware), state of the art teknologi (spesifikasi kecanggihan teknologi), jenis inovasi teknologi (sesuai bentuk/aplikasi produk), nilai teknologi (sesuai proses industri)
10. Kesimpulan
- Pendekatan multi dimensi akan memperbaiki spesifikasi jenjang keahlian sebagai acuan penilaian. ini akan membantu penilaian dan status keahlian SDM.

