

PENYIAPAN PENDIDIKAN SDM KUALIFIKASI NUKLIR UNTUK PEMBANGUNAN PLTN DI INDONESIA

WISNU ARYA WARDHANA, SUDARYO, SUPRIYONO

*Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-BATAN
Jl. Babarsari Kotak Pos 1008, DIY 55010
Telp. 0274.489716, Faks.489715*

Abstrak

PENYIAPAN PENDIDIKAN SDM KUALIFIKASI NUKLIR UNTUK PEMBANGUNAN PLTN DI INDONESIA. Telah dilakukan peninjauan penyiapan pendidikan SDM kualifikasi Nuklir untuk pembangunan PLTN di Indonesia. Pendidikan kualifikasi SDM nuklir mengacu pada pedoman yang dikeluarkan IAEA, yaitu model *Systematic Approach To Training* yang disesuaikan dengan keadaan di Indonesia. Model SAT sudah banyak digunakan di berbagai negara yang akan membangun PLTN pertama kali dan juga bagi negara yang sudah punya PLTN tapi akan membangun PLTN lagi. Bagaimana penyiapan pendidikan SDM kualifikasi nuklir dengan model SAT akan dibahas dalam makalah ini. Kesimpulannya adalah penyiapan pendidikan dengan model SAT memang tepat dan harus dilaksanakan di Indonesia.

Kata kunci : Kualifikasi nuklir, SAT, PLTN.

Abstract

EDUCATION PROVIDING FOR ATTAINING OF HUMAN RESOURCES QUALIFICATION FOR NUCLEAR POWER PLAN IN INDONESIA. The education providing for attaining of human resources qualification for NPP in Indonesia had been observed and carried out. The education using *Systematic Approach To Training* to attain nuclear human resources which had been proven in many countries and recommended by IAEA. How the application of SAT in Indonesia will be given briefly. The conclusion is SAT model for attaining nuclear human resources qualification is fit and must be realized in Indonesia.

Keywords : Nuclear qualifications, SAT, NPP

PENDAHULUAN

Penyiapan SDM adalah suatu pekerjaan awal dalam rangka pembangunan PLTN, apalagi bagi Indonesia yang baru pertama kali akan memiliki PLTN, maka penyiapan SDM harus ditangani dengan sungguh-sungguh^[1]. Usaha penyiapan SDM ini melalui peninjauan permasalahan yang ada, kemudian dilakukan penelaahan kajian teoritis, lantas dilakukan penelaahan implikasi praktis. Melalui implikasi praktis, dapat diterapkan "*Systematic Approach To Training*" (SAT) sehingga diperoleh suatu bentuk pendidikan dan pelatihan yang dibutuhkan untuk penyiapan SDM yang

berkualifikasi nuklir. Atas dasar implikasi praktis, dikembangkan usaha penyiapan SDM melalui perguruan tinggi, institusi pendidikan dan pelatihan, termasuk Pusdiklat BATAN yang memiliki fasilitas nuklir di Indonesia (reaktor dan laboratorium nuklir). Kerjasama antara Pusdiklat BATAN dengan lembaga-lembaga lain yang terkait dengan PLTN, seperti BAPETEN, PLN, Departemen ESDM dapat membentuk Diklat Introduksi Energi Nuklir sebagai usaha penyiapan SDM berkualifikasi nuklir^[17].

Systematic Approach To Training yang disingkat SAT adalah suatu sistem pendidikan dan pelatihan untuk menghasilkan SDM yang

berkualifikasi di bidang nuklir yang diperlukan oleh suatu proyek PLTN. SAT ini telah digunakan oleh negara-negara yang memiliki PLTN, karena telah terbukti dapat menghasilkan (*attaining*) dan memelihara (*maintaining*) kompetensi SDM di bidang nuklir. IAEA sendiri telah merekomendasikan SAT sebagai sistem pendidikan dan pelatihan untuk digunakan oleh negara yang akan memulai proyek PLTN. Bagaimana bentuk penerapan SAT akan dibahas dalam makalah ini.^[2,3,4]

MASALAH

Pembangunan berkelanjutan yang sedang berjalan pada saat ini harus tetap dijaga kelangsungannya, jangan sampai berhenti di tengah jalan. Hal ini dapat terlaksana apabila ada kepastian jaminan ketersediaan energi yang cukup. Sedangkan untuk memastikan jaminan ketersediaan energi bagi pembangunan berkelanjutan, diperlukan data yang lengkap mengenai cadangan sumber daya energi di Indonesia. Sumber daya energi di Indonesia pada saat ini lebih mengandalkan pada sumber daya energi konvensional. Berdasarkan data yang ada, pemerintah telah menetapkan energi nuklir perlu dimanfaatkan sebagai energi alternatif pendamping energi fosil yang cadangannya pada saat ini sudah mengkhawatirkan.^[3]

Seperti diketahui bahwa pembangunan berkelanjutan akan menyebabkan pertumbuhan permintaan energi nasional akan terus naik dan hal ini menjadi tantangan bagi penyediaan energi di Indonesia. Dengan kata lain harus ada jaminan kepastian ketersediaan energi di Indonesia.^[7] Mengingat cadangan energi konvensional (bahan bakar fosil) tinggal sedikit, maka strategi penyediaan energi harus menggunakan sistem energi mix.^[8] Kebijakan energi mix yang sudah dilakukan pada saat ini, tidak jauh berbeda dengan kebijakan energi mix yang dilakukan Indonesia pada tahun sebelumnya. Kebijakan energi mix yang sudah dilakukan adalah sebagai berikut :^[7]

Tabel 1. Energi Mix Di Indonesia.

No.	Jenis energi	% per jenis	Total %
1.	Energi fosil :		86,02
	1. Batubara	34,67	
	2. Gas alam	32,73	
	3. Minyak bumi	16,79	
II.	Energi terbarukan :		13,98
	4. Lain-lain	1,83	
	1. Hidropower	10,35	
	2. Geothermal	3,13	
III.	3. Lain-lain	0,50	0,0
	Energi baru (energi nuklir)		

Sumber : Ariono Abdulkadir, Majalah Energi Edisi No. 17, Yogyakarta 2002.

Dari Tabel 1 di atas tampak bahwa pada energi mix yang sudah dilakukan Indonesia, belum ada peranan energi baru sama sekali, yaitu energi nuklir. Padahal kalau saja energi nuklir dapat dimasukkan pada kebijakan energi mix, akan banyak energi fosil (minyak dan batubara) yang dapat dihemat dan ini berarti import minyak bisa dikurangi. Apabila import minyak dapat dikurangi, berarti cadangan devisa akan makin baik. Pada saat ini pemanfaatan energi nuklir melalui PLTN di berbagai negara sudah cukup banyak. Sudah terbukti bahwa pemakaian energi nuklir melalui PLTN dapat menghemat pemakaian energi fosil dan kegiatan industri berkembang dengan baik.

PEMECAHAN MASALAH

Setiap negara yang akan memulai program PLTN, pada umumnya harus menyiapkan SDM berkualitas yang mampu menangani PLTN. Penyiapan SDM perlu waktu yang cukup lama, mengingat bahwa suatu proyek PLTN harus dimulai 12-15 tahun sebelum PLTN beroperasi, bahkan demi amannya untuk proyek PLTN yang akan dibangun pertama kali, waktu tersebut bisa mencapai 20 tahun. Oleh karena itu, untuk mendapatkan SDM sesuai dengan kualifikasi proyek PLTN, maka perlu disiapkan SDM kualifikasi nuklir.

Kebutuhan SDM Untuk Pembangunan PLTN

Untuk mengetahui kebutuhan SDM pada setiap tahapan proyek pembangunan PLTN, dapat mengacu pada petunjuk dan panduan

yang telah diterbitkan oleh IAEA yaitu :”*Manpower Development For Nuclear Power*” *Technical Report Series No. 200* dan kebutuhan SDM yang telah dibuat oleh BATAN beserta kualifikasinya. Data kebutuhan SDM pada setiap tahapan proyek pembangunan sebuah PLTN dengan daya sekitar 600 MW

sudah dibuat dan data tersebut bukanlah sebagai harga final, akan tetapi suatu perkiraan atau pendekatan berdasarkan pengalaman negara lain yang sudah pernah melakukan pembangunan PLTN adalah sebagai berikut:^[8,10]

Tabel 2. Kebutuhan SDM Untuk Pembangunan Sebuah PLTN (600 MW).

No	Tahapan	Profesional	Teknisi	Tukang Ahli	Jumlah
1.	Pre Project	24 – 38	1-2	-	25 – 40
2.	Project Management				
	- Utility	48 – 63	8 – 11	-	56 – 74
	- Main Contractor	27 – 36	3 – 4	-	30 – 40
3.	Project Engineering	180 – 240	130 – 190	-	310 – 430
4.	Procurement	17 – 28	8 – 12	-	25 – 40
5.	QA / QC Activity	30 – 50	50 – 70	-	80 – 120
6.	Plant Construction	70 – 100	280 – 400	2000 – 3000	2350 – 3200
	(tidak termasuk pekerja kasar)			(+ 2000)	(+ 2000)
7.	Commissioning	38 – 50	40 – 60	80 – 120	158 – 230
8.	Operation & Maintenance	40 – 55	110 – 180	20 – 35	170 – 270
9.	Licensing & Regulat'n	45 – 65	-	-	45 – 65

Sumber : Prof. Dr. Soedyartomo Soentono M.Sc, Ph.D., pidato di depan civitas akademika STTN BATAN Yogyakarta, 2005.

Dari Tabel 2 tersebut di atas, jumlah SDM nuklir yang sudah terlibat dalam tahapan kegiatan proyek pembangunan PLTN adalah pada tahapan Pra Proyek, Manajemen Proyek, tahapan Jaminan Kualitas/Pengawasan Kualitas, tahapan Komisioning dan tahapan Operasi & Perawatan. Pada tahapan Pra Proyek, kebutuhan SDM relatif sedikit sekali, akan tetapi SDMnya berkualifikasi tenaga ahli (*Professional*).

Kenaikan daya PLTN praktis tidak terlalu mempengaruhi kebutuhan SDM. Kebutuhan SDM tersebut relatif tetap untuk daya PLTN sampai dengan 1300 MW. Jadi, seandainya akan dibangun 2 buah PLTN dengan daya 600 MW secara bersamaan atau berselang waktu kira-kira 1 tahun, maka kebutuhan SDMnya relatif tetap / sama dengan sebuah PLTN 600 MW.^[10]

Kualifikasi SDM

Mengenai kualifikasi personil untuk pembangunan suatu PLTN dengan daya 600 MW, dapat dilihat pada Tabel 2 tersebut di atas yang terdiri dari :

Tenaga ahli (*Professional*) : 519 - 725 orang
Teknisi (*Technician*) : 630 – 929
Tukang ahli (*Craftsman*) : 2100–3155
----- +
Jumlah 3249 - 4509 orang

Pengertian kualifikasi personil tersebut berdasarkan definisi yang ditentukan IAEA yang merupakan hal yang serius (*magnitude*) dalam penyiapan SDM untuk pembangunan PLTN, kurang lebih adalah sebagai berikut.^[6, 11]

Tenaga ahli (*Professional*), adalah orang yang mempunyai pendidikan sarjana dalam bidang sains dan teknologi, mempunyai keahlian khusus (*specilized scope*, misalnya ahli bahan bakar nuklir) serta berpengalaman dalam bidangnya dan mempunyai kemampuan intelektual yang bisa dikembangkan ke jenjang lebih tinggi lagi.

Teknisi (*Technician*), adalah orang yang mempunyai pendidikan SLTA eksakta yang memiliki pengetahuan aplikasi teknologi tertentu, mempunyai kemampuan intelektual yang bisa ditingkatkan sesuai dengan bidang tugasnya, mempunyai kemampuan untuk membantu tugas tukang ahli.

Tukang ahli (*Craftsman*), adalah orang yang mempunyai pendidikan kejuruan dengan keahlian tertentu, mempunyai kemampuan intelektual yang bisa ditingkatkan lagi, terutama kemampuan "manual skill" yang dapat ditingkatkan menjadi "highly developed".

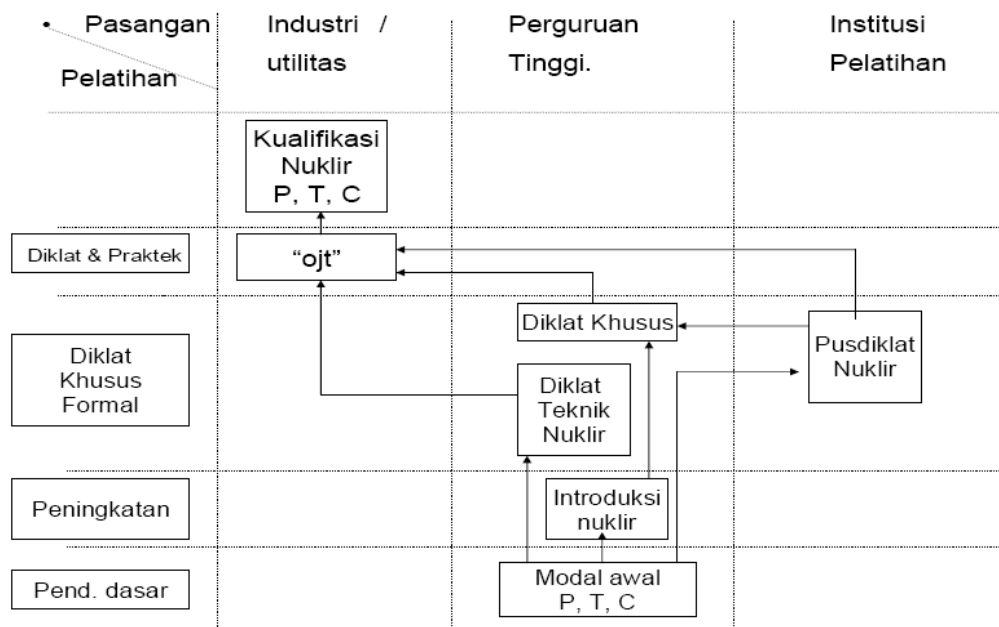
Pendidikan dan Pelatihan.

Mengingat bahwa proyek pembangunan PLTN memerlukan pengetahuan dari berbagai macam disiplin ilmu pengetahuan dan teknologi, selain ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir, maka untuk mendapatkan personil yang memadai sesuai dengan kualifikasi yang diinginkan, perlu diadakan pendidikan dan pelatihan bagi personil tersebut. [4, 5, 6, 12, 13] Model pendidikan dan pelatihan tersebut untuk setiap negara berbeda dan mengenai hal ini akan disampaikan kemudian. Sedangkan model yang akan diutarakan berikut ini adalah model yang paling mungkin dan mendekati kesamaan model pendidikan dan pelatihan untuk berbagai negara.

Pendidikan dan pelatihan bagi personil yang akan terlibat di dalam proyek pembangunan PLTN, merupakan kelanjutan

dari pendidikan dasar yang sudah diterima oleh masing-masing personil sesuai dengan kualifikasinya. Pendidikan dasar untuk tenaga ahli (*Profesional, disingkat P*) adalah perguruan tinggi. Untuk teknisi (*Technician, disingkat T*) adalah SLTA eksakta, sedangkan untuk tukang ahli (*Craftsman, disingkat C*) adalah Sekolah Menengah Kejuruan (STM). Berdasarkan pendidikan dasar yang sudah dimiliki sesuai dengan kualifikasinya, maka pendidikan dan pelatihan berikutnya adalah pengembangan dan peningkatan pengetahuan yang diperoleh pada pendidikan dasar. Secara garis besar pendidikan dan pelatihan yang dimaksud, dapat dilihat pada bagan alir pada Gambar 1.

Tampak dari bagan alir pada Gambar 1, bahwa untuk mendapatkan personil dengan kualifikasi : tenaga ahli (*Profesional, P*), teknisi (*Technician, T*) dan tukang ahli (*Craftsman, C*), peranan perguruan tinggi sangat penting, karena merupakan tempat pendidikan dan pelatihan lanjutan dalam bidang iptek nuklir. Pendidikan dan pelatihan yang bisa dikembangkan di perguruan tinggi, meliputi kursus introduksi teknologi nuklir.



Gambar 1. Pendidikan dan Pelatihan Personil Untuk Mendapatkan Kualifikasi Bidang Nuklir

Kursus keteknik-nukliran (*nuclear engineering*), kursus yang bersifat spesialisasi untuk bidang keahlian tertentu, misalnya operator reaktor yang diikuti oleh peserta yang berpendidikan sarjana atau berkualifikasi

tenaga ahli (*professional*). Sedangkan "Specialized Courses" merupakan kelanjutan Kursus Introduksi Teknologi Nuklir yang disiapkan untuk mengikuti "on the job training".

Disamping itu, peranan institusi lain di luar perguruan tinggi yang mengkhususkan dalam "nuclear training", seperti halnya Pusdiklat BATAN, juga sangat penting sebagai wadah pengembangan iptek nuklir. Kedua lembaga tersebut, perguruan tinggi dan pusdiklat "nuclear training", dapat menjadi perantara sebelum personil mengikuti "on the job training" (ojt) pada industri atau utilitas bidang nuklir (seperti halnya dengan PLTN) yang akan mengantarkan personil ke tingkatan (level) tenaga yang benar-benar berkualifikasi dalam bidang nuklir. Pengalaman kerja yang diperoleh selama mengikuti "on the job training" sangat penting artinya bagi personil, oleh karena itu setiap personil yang mendapatkan kesempatan mengikuti "on the job training", hendaknya memanfaatkan kesempatan tersebut dengan sebaik-baiknya.

Systematic Approach To Training

Systematic Approach To Training yang disingkat SAT adalah suatu sistem pendidikan dan pelatihan untuk menghasilkan SDM yang berkualifikasi di bidang nuklir yang diperlukan oleh suatu proyek PLTN. SAT ini telah digunakan oleh negara-negara yang memiliki PLTN, karena telah terbukti dapat menghasilkan (attaining) dan memelihara (maintaining) kompetensi SDM di bidang nuklir. IAEA sendiri telah merekomendasikan SAT sebagai sistem pendidikan dan pelatihan untuk digunakan oleh negara yang akan memulai proyek PLTN.

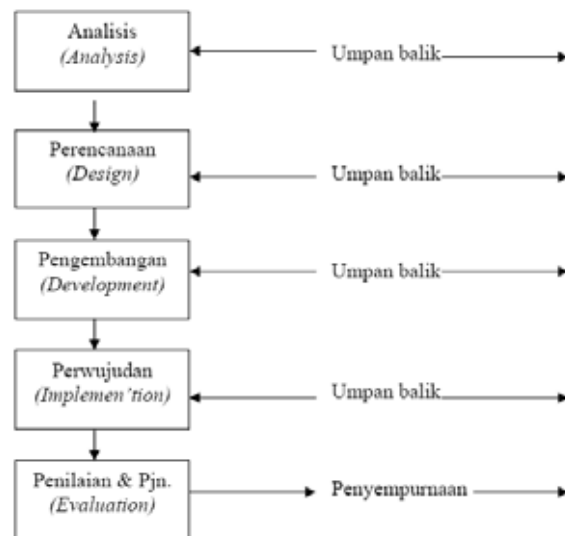
SAT sebagai sistem pendidikan dan pelatihan mudah beradaptasi bila ada perubahan sebagai akibat adanya masukan maupun adanya umpan balik dari hasil proses penilaian dan peninjauan (evaluasi) terhadap kurikulum dan silabus yang digunakan. SAT sebagai sistem pendidikan dan pelatihan terdiri atas fase berikut ini.^[14]

- Analisis terhadap kebutuhan pelatihan (*Analysis of training needs*), yaitu fase yang terdiri atas identifikasi kebutuhan pelatihan dan kemampuan/kecakapan yang disyaratkan untuk tugas tertentu.
- Perencanaan program pelatihan (*Design of training programs*), yaitu fase kemampuan / kecakapan yang dikonversikan ke dalam bentuk pelatihan yang nyata, seperti pembuatan GBPP (Garis-garis Besar Pedoman Pembelajaran) termasuk TIU

(Tujuan Instruksional Umum), TIK (Tujuan Instruksional Khusus) dan juga pembuatan kurikulum dan silabus.

- Pengembangan bahan pelatihan (*Development of training material*), yaitu fase menyiapkan semua bahan pelatihan, seperti pembuatan diktat, modul, petunjuk praktikum, sehingga pelatihan dapat dilaksanakan.
- Perwujudan pelatihan (*Implementation of training*), yaitu fase pelatihan dapat dilaksanakan dengan pengembangan bahan pelatihan.
- Penilaian dan peninjauan keberhasilan pelatihan (*Evaluation of training effectiveness*), yaitu semua perencanaan program pelatihan dinilai dan ditinjau kembali (evaluasi) atas dasar umpan balik dan masukan yang diterima, diikuti dengan usaha penyempurnaan bahan-bahan pelatihan yang ada.

Hubungan kelima macam fase SAT tersebut di atas adalah sebagai berikut :^[14]



Gambar 2. Hubungan Kelima Fase SAT, Umpan Balik dan Penyempurnannya

Berdasarkan Gambar 2 tersebut di atas, setiap fase bisa mendapat umpan balik selama proses SAT berjalan dan penilaian / peninjauan (evaluasi) dilakukan pada akhir proses SAT, untuk selanjutnya dilakukan penyempurnaan sesuai umpan balik yang diterima. SAT yang telah disempurnakan, dipakai pada program pelatihan berikutnya.

Program pendidikan dan pelatihan yang dibutuhkan sehubungan dengan rencana

pembangunan PLTN di Indonesia, tidak terlepas dari keadaan pendidikan yang ada di negeri kita dan pengalaman negara lain dalam pembangunan PLTN. Dalam menyusun program pendidikan, harus mengacu pada "Systematical Approach To Training" (SAT). Sehubungan dengan itu, program pendidikan dan pelatihan disusun berdasarkan latar belakang peserta diklat. Latar belakang peserta diklat bisa berupa :

- a. Pengalaman kerja sebelumnya.
- b. Pendidikan peserta diklat berasal dari Sekolah Menengah Umum atau Sekolah Kejuruan Teknik.
- c. Pendidikan peserta diklat berasal dari Perguruan Tinggi.

Peserta diklat yang mempunyai pengalaman kerja sebelumnya, terutama yang berkaitan dengan industri pembangkitan daya, misalnya pernah bekerja di Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA), Pusat Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU), akan memberikan nilai lebih bagi peserta diklat yang bersangkutan. Untuk peserta diklat yang mempunyai pengalaman kerja tersebut, bila jumlahnya banyak dapat dikumpulkan menjadi satu kelompok dengan program pendidikan dan pelatihan khusus. Pengertian khusus disini, adalah tinggal memberikan materi yang tidak ada pada pusat listrik konvensional, misalnya : sistem pembangkit pemanas ketel uap dari panas reaksi nuklir, instrumentasi serta sistem kontrol, proteksi radiasi dll. Penjelasan lebih lanjut tentang pendidikan dan pelatihan dengan program khusus ini (sebut sebagai program A), sedangkan untuk peserta yang berlatar belakang pendidikan Sekolah Menengah Umum atau Sekolah Kejuruan Teknik (sebut sebagai program B) dan bagi peserta yang berijazah Perguruan Tinggi (sebut sebagai program C) adalah sebagai berikut :

a. Program A

materi diklat yang diberikan :

1. Dasar-dasar fisika nuklir.
2. Fisika reaktor.
3. Bahan bakar reaktor.
4. Introduksi jenis PLTN.
5. Sistem pendukung PLTN.
6. Instrumentasi dan sistem kontrol.
7. Proteksi radiasi.
8. Analisis keadaan darurat.
9. Bahasa Inggris.

10. "On the job training" di PLTN (kerjasama dengan vendor).

b. Program B

Kelompok ini yang berasal dari Sekolah Menengah Umum atau Sekolah Kejuruan Teknik, sesuai dengan kebutuhan tenaga operator reaktor PLTN, program pendidikan dan pelatihan B masih dibagi menjadi :

Program B. 1. Kelompok Teknik Mesin, materi yang diberikan (# 3680 jam):

1. Matematika.
2. Fisika.
3. Kimia.
4. Ilmu Bahan
5. Komputer grafis.
6. Teknologi konstruksi.
7. Perancangan Mesin.
8. Termodinamika.
9. Mekanika teknik.
10. Teknik listrik.
11. Teknik produksi.
12. Instrumentasi dan kontrol.
13. Teknik pembangkit daya.
14. Hidrolika.
15. Manajemen proyek.
16. Teori reaktor.
17. PLTN.
18. Proteksi radiasi.
19. Energi.
20. Karya tulis.
21. Praktek.
22. Bahasa Inggris.
23. "On the job training".

Program B. 2. Kelompok Teknik Listrik, materi yang diberikan (# 3680 jam):

1. Matematika
2. Fisika.
3. Kimia.
4. Termodinamika.
5. Teori realibilitas.
6. Teknologi material.
7. Sirkuit elektronika.
8. Sistem sinyal.
9. Elektromagnetik & energi.
10. Elektrodinamika.
11. Tek. tenaga listrik
12. Pengukuran & kontrol.
13. Komputer grafis.
14. Ilmu Bahan.
15. Elemen mesin.
16. Mekanika teknik.
17. Jar. Elektronik.

18. Tek. Kontrol otomatis.
19. Proteksi radiasi.
20. PLTN.
21. Teori reaktor & kontrol.
22. Manaj. Indus. & proyek.
23. Karya tulis.
24. Bahasa Inggris.
25. "On the job training".

Program B. 3. Kelompok Teknik Kimia, materi yang diberikan (# 3710 jam) :

1. Matematika.
2. Fisika.
3. Mekanika teknik.
4. Ilmu bahan.
5. Komputer grafis.
6. kimia dasar.
7. Analisis kimia.
8. Kimia anorganik
9. Elemen mesin.
10. Mekanika fluida.
11. Kimia organik
12. Kimia fisika.
13. Teknik listrik.
14. Kontrol proses
15. Teknik kimia.
16. K. Analit terapan
17. Panas & tenaga.
18. Perancangan.
19. Tek. Reaksi kimia.
20. Man. Indus & pro.
21. Prot. Radiasi & k. Nuklir.
22. PLTN.
23. Tugas akhir
24. Praktikum.
25. Bahasa Inggris
26. "On the job training".

c. Program C :

Untuk program C, pendidikan dan pelatihan yang pesertanya adalah para sarjana teknis (eksakta), bentuk program diklatnya lain dengan program A dan B, karena pesertanya sudah lebih tinggi bekal pengetahuan dasarnya, sehingga secara umum jumlah jam diklatnya bisa lebih sedikit dari pada program A dan B Program pendidikan dan pelatihan C ini hampir mirip dengan Diklat Keahlian Dasar (DKD) bagi sarjana baru (teknis dan eksakta) yang pernah diselenggarakan oleh Pusdiklat BATAN, sekitar 20 tahun yang lalu. Akan tetapi program DKD lebih "sederhana" karena hanya sekedar mengenalkan keahlian dasar nuklir untuk dapat bekerja dan mengikuti

program BATAN, belum sampai kepada program pendidikan dan pelatihan operator reaktor PLTN.

Pada program C, pendidikan dan pelatihan bisa dibagi jadi 3 kelompok seperti program B, yaitu : kelompok Teknik Mesin (C. 1), kelompok Teknik Listrik (C. 2) dan kelompok Teknik Kimia (C. 3). Penjelasan lebih lanjut tentang program C. 1, C. 2 dan C. 3 secara garis besar dapat dilihat sebagai berikut :

Program C. 1 Kelompok Teknik Mesin
(# 1350 jam) :

1. Matematika dan metode numerik.
2. Panas dan transfer masa.
3. Mekanika fluida & hidrolika.
4. Teori elastisitas & plastisitas.
5. Teori reaktor.
6. Disain sistem reaktor.
7. Keselamatan reaktor PLTN.
8. Disain sistem pembangkit daya.
9. Manajemen proyek.
10. Ekonomi dan administrasi bisnis.
11. Bahan reaktor.
12. Introduksi daur bahan bakar.
13. Kimia nuklir dan radiokimia.
14. Tugas akhir.
15. "On the job training".

Program C. 2. Kelompok Teknik Listrik
(# 1130 jam) :

1. Dasar stabilitas sistem daya.
2. Sistem kontrol linier.
3. Sistem digital.
4. Analisis dan sintesis jaringan.
5. Kontrol optimal.
6. Teori statistik komunikasi.
7. Teori deteksi.
8. Teori informasi.
9. Kesalahan deteksi pada sirkit digital.
10. Ekonomi dan administrasi bisnis.
11. Instrumentasi dan kontrol PLTN.
12. Interaksi jaringan dengan PLTN.
13. Sistem kontrol daya dengan komputer.
14. Keselamatan reaktor PLTN.
15. Tugas akhir.
16. "On the job training".

Program C. 3. Kelompok Teknik Kimia
(# 1090 jam) :

1. Teori reaktor dan kontrol.
2. Kimia nuklir dan radio kimia.
3. Proteksi radiasi dan lingkungan.
4. Kimia air.

5. Teknologi daya dan panas.
6. Disain teknik kimia.
7. Ekstraksi sovem kimia.
8. Proses industri kimia.
9. Teknik reaksi kimia.
10. Manajemen proyek.
11. Introduksi daur bahan bakar nuklir.
12. Manajemen limbah radioaktif.
13. Energi
14. Tugas akhir.
15. "On the job training".

Silabus materi yang diberikan untuk program A, program B dan program C dapat dilihat pada : *Technical Report Series No. 266 : "Engineering and Science Education for Nuclear Power, A Guide Book"*.^[15] Program A, B dan C adalah program-program pelatihan bukannya program pendidikan gelar, walaupun jumlah jamnya banyak. Program A, B dan C pada saat ini belum ada di Indonesia. Bila akan dilaksanakan di Indonesia, maka infrastruktur pemerintah (lembaga-lembaga yang terkait dengan PLTN) harus dilibatkan.

PEMBAHASAN

Berdasarkan uraian pemecahan masalah pada Bab III, penerapan SAT untuk pendidikan SDM kualifikasi nuklir perlu diuji coba, agar diperoleh satu bentuk yang tepat. Bentuk uji coba adalah dengan melaksanakan diklat yang sesuai dengan pengelompokan, misalnya untuk Program A yang akan diikuti peserta yang berpengalaman dalam mengoperasikan PLTA, PLTD dan PLTPB. Materi diklat untuk program A sebagai analisis terhadap kebutuhan pelatihan adalah sebagai berikut :

1. Dasar-dasar fisika nuklir.
2. Fisika reaktor.
3. Bahan bakar reaktor.
4. Introduksi jenis PLTN.
5. Sistim pendukung PLTN.
6. Instrumentasi dan sistim kontrol.
7. Proteksi radiasi.
8. Analisis keadaan darurat.
9. Bahasa inggris.
10. "On The Job Training" di PLTN (kerjasama dengan vendor).

Materi diklat program A tersebut di atas dapat dievaluasi pada saat diklat berlangsung atau diuji coba. Setiap materi yang ada pada program A bisa mengalami perubahan silabus, disesuaikan dengan masukan dari umpan balik

yang diperoleh pada setiap fase SAT. Setiap fase dapat mendapatkan umpan balik selama proses SAT berjalan. Misalkan materi Dasar-dasar fisika nuklir, pada saat diberikan kepada peserta diklat tersebut dianggap kurang, maka penambahan kekurangannya bisa segera ditambahkan tanpa menunggu selesai uji coba diklat. Begitu pula terhadap materi yang lain, dapat dilakukan evaluasi pada setiap fase.

Keuntungan model SAT ini adalah dapat memperoleh bentuk diklat yang sesuai dengan kebutuhan. Selain dari pada itu, perubahan terhadap materi diklat langsung dapat diperoleh langsung melalui umpan balik yang diperoleh pada setiap fase SAT.

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian yang telah diberikan pada pemecahan masalah dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Model SAT dapat digunakan untuk pendidikan SDM kualifikasi nuklir di Indonesia.
2. Uji coba SAT perlu dilaksanakan, agar diperoleh masukan untuk suatu program diklat.

SARAN

Perlu dipikirkan bentuk wadah yang resmi sebagai penanggung jawab program PLTN sekaligus sebagai "owner" PLTN.

DAFTAR PUSTAKA

1. SONG SUK CHAE, 1995, "End Of Mission Report", Support For The The First Nuclear Power Plant (INS/4/028-08), IAEA, Viena.
2. Tecdoc 525, 1998, "Guide Book On Training To Establish And Maintain The Qualification And Competence Of Nuclear Power Plant Oprations Personnel", IAEA, Vienna, pp. 11-21, 146-151
3. Safety Standards Series No. NS-G-2.8: "Recruitment, Qualification And Training of Personnel for Nuclear Power Plants, Safety Guide", IAEA, Vienna, 2002, pp. 10-12.
4. Technical Reports Series No, 306, 1989, "Guide Book On The Education And Training Of Technicians For Nuclear Power", IAEA, Vienna, , pp.2-19.
5. ARIONO ABDULKADIR, 2002, "Perkembangan PLTN Saat Ini dan

Kesempatan Bagi Indonesia”, Majalah Energi Edisi No. 17, Yogyakarta.

6. SOEDYARTOMO SOENTONO, 2005, "Bahan Pidato Di Depan Civitas Akademika STTN", Yogyakarta.
7. ADI WARDOYO, 2006, "Rencana Pembangunan PLTN Di Semenanjung Muria", Deputi PTEN-BATAN, Jakarta.
8. Technical Report Series No. 200, "Manpower Development for Nuclear Power", A Guide Book, IAEA, Vienna, 1980, pp. 11-15, 286-298, 299-308.
9. Technical Report Series No. 242, "Qualification Of Nuclear Power Plant Operation Personnel", A Guide Book, IAEA, Vienna, 1984, pp.210-217.
10. Technical Report Series No. 380, "Nuclear Power Plant Personnel Training And Its Evaluation, A Guide Book", IAEA, Vienna, 1996, pp. 127-128.
11. Tecdoc No. 1358, "Means Of Evaluating And Improving The Effectivness Of Training Of Nuclear Power Plant Personnel", IAEA, Vienna, 2003, pp. 67-69.
12. Tecdoc No. 1057, "Experience In Use Of Systematic Approach To Training (SAT) For Nuclear Power Plant Personnel", IAEA, Vienna, 1998, pp.28-30, 47-48.
13. Tecdoc No. 526, "Appendices To The Guidebook On The Education And Ttraining Of Technicians For Nuclear Power", IAEA, Vienna, 1989, pp. 7-18, 127-140.
14. Tecdoc No. 1204, "A Systematic Approach To Human Performance Improvement In Nuclear Power Plant : Training Solutions", IAEA, Vienna, 2001.pp. 118-122.
15. Technical Report Series No. 266, "Engineering and Sciene Education for Nuclear Power, A guide Book". IEA, Vienna, 1986, pp. 1-71.
16. WISNU ARYA WARDHANA, 2005, "Energi Nuklir Sudah Saatnya Dimasukkan Pada Kebijakan Mix-Energi Di Indonesia", Temu Karya Ilmiah Widyaiswara FKW Prop. DIY, Yogyakarta.
17. WISNU ARYA WARDHANA, 2006, "Penyiapan SDM Untuk Persiapan, Pembangunan dan Pengoperasian PLTN Di Indonesia", Hasil penelitian untuk Orasi Ilmiah Widyaiswara Utama, Pudiklat-BATAN Jakarta.

TANYA JAWAB

Pertanyaan

1. Bagaimana caranya mempertahankan kualifikasi SDM PLTN yang sudah ada agar kemampuannya tidak meluruh karena mwenunggu program PLTN yang belum jelas ? (D.T. Sony Tjahyani- BATAN)
2. Belum dibahas contoh-contoh penggunaan SAT. Mohon dijelaskan. (Bambang Suparmono- BAPETEN)
3. SAT sebenarnya sudah mulai diterapkan, sebagai contohnya Pusdiklat BATAN didukung oleh PRSG, PTNBR dan PTRKN telah mulai melakukan analisis, disain, pengembangan, implementasi, dan evaluasi (tahapan SAT) untuk pelatihan operator/supervisor reaktor. (Hendriyanto Pusdiklat – BATAN)
4. Pusdiklat BATAN KEBT-ESDM juga telah menerapkan untuk kompetensi-kompetensi transmisi dan distribusi listrik. (Hendriyanto Pusdiklat – BATAN)

Jawaban

1. Pelajari terus apa sudah pernah didapat mengenai segala sesuatu tentang PLTN. Bila perlu, pengetahuan yang sudah didapat tersebut didokumentasikan dalam bentuk tulisan (makalah atau buku) dan disebarluaskan kepada masyarakat umum.
2. Sebenarnya contoh-contoh yang dimaksud sudah ada pada makalah (lihat makalah pada halaman : 9-14). Karena keterbatasan waktu penyajian secara oral, hanya diberikan secara garis besar saja.
3. Syukurlah bila sudah mulai diterapkan. Sebelum dan sesudah beroperasinya PLTN memang SAT tetap diperlukan dan dilaksanakan sesuai dengan rekomendasi IAEA.

