

ASPEK OPERASIONAL DI RUANG KENDALI UTAMA PLTN

Sahala M. Lumbanraja

Pusat Pengembangan Energi Nuklir (PPEN) BATAN

Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan Jakarta 12710

Telp/Fax: (021)5204243 Email : sahala_radja@yahoo.com

ABSTRAK

ASPEK OPERASIONAL DI RUANG KENDALI UTAMA PLTN. Ruang kendali utama PLTN merupakan pusat operasional untuk mengendalikan seluruh aktivitas operasi PLTN. PLTN harus dioperasikan secara baik dan aman.. Berbagai aspek yang berperan dalam operasi PLTN, antara lain adalah sumber daya manusia yang mengoperasikan, jenis teknologi yang digunakan, ergonomika ruang kendali, manajemen operasi, dll. Berbagai gangguan komunikasi di ruang kendali utama perlu diantisipasi agar unjuk kerja PLTN tinggi dapat dicapai. Ergonomika ruang kendali PLTN yang akan digunakan di Indonesia harus dirancang sesuai dengan kondisi antropometrik masyarakat Indonesia.

Kata kunci: ruang kendali, keselamatan, unjuk kerja, manajemen

ABSTRACT

OPERATION ASPECT OF THE MAIN CONTROL ROOM OF NPP. The main control room of Nuclear Power Plant (NPP) is operational centre to control all of the operation activity of NPP. NPP must be operated carefully and safely. Many aspect that contributed to operation of NPP, such as man power whose operated, technology type used, ergonomic of main control room, operational management, etc. The disturbances of communication in control room must be anticipated so the high availability of NPP can be achieved. The ergonomic of the NPP control room that will be used in Indonesia must be designed suitable to anthropometric of Indonesia society.

Key words: control room, safety, availability, management

1. PENDAHULUAN

Dalam rangka rencana pemanfaatan PLTN, pemerintah Indonesia telah mengundang Undang-undang No. 17 tahun 1997 tentang pemanfaatan tenaga nuklir dilakukan secara tepat dan hati-hati serta ditujukan untuk maksud damai, Peraturan Pemerintah No. 5/2006 tentang Bauran Energi Nasional, Undang-undang No. 17 tahun 2007 tentang pemanfaatan tenaga nuklir untuk pembangkitan listrik dengan mempertimbangkan faktor keselamatan yang ketat, dan Undang-undang No. 30 tahun 2007 tentang Diversifikasi dan Konservasi Energi. Oleh karena itu BATAN sebagai institusi penelitian perlu melakukan berbagai studi yang mendukung rencana tersebut, antara lain studi tentang manajemen operasional di ruang kendali utama PLTN.

Paska kecelakaan *Tree Miles Island (TMI)* tahun 1979 dilakukan berbagai evaluasi terhadap seluruh sistem yang berperan dalam operasi PLTN. Salah satu hal yang dievaluasi kembali adalah sistem manajemen operasi di ruang kendali utama. Sistem yang berperan penting adalah manajemen sumber daya manusia yang mengoperasikan, sistem instrumentasi dan kendali, ergonomika, dll. Pemangku kepentingan, seperti BAPETEN, ESDM, BATAN, dll. mensyaratkan bahwa semua sistem yang berperan dalam operasi harus mempunyai unjuk kerja tinggi dan andal sehingga dicapai tingkat ketersediaan tinggi dan diperoleh tingkat keekonomian yang dapat bersaing dengan pembangkit lain.

Perkembangan teknologi informatika, seperti penggunaan mikroprosesor pada sistem instrumentasi dan kendali akan memudahkan pengimplementasian strategi sistem pertahanan berlapis yang dapat menjamin sistem operasi dapat berjalan dengan normal.

Ruang kendali utama PLTN merupakan pusat operasional yang mengendalikan seluruh aktivitas operasi pembangkit sehingga fungsinya menjadi sangat strategis dan penting. Dengan demikian, seluruh sistem yang berperan di dalamnya harus dikelola secara profesional. Ergonomika ruang kendali utama harus didesain sesuai dengan kondisi antropometrik suatu bangsa yang akan mengoperasikannya, sehingga operator dapat mengoperasikannya dengan baik dan nyaman.

Keandalan dan keselamatan operasi PLTN sangat tergantung pada sistem komunikasi antar seluruh sistem yang berperan. Kesalahan komunikasi sekecil apapun dapat mengakibatkan kegagalan operasi PLTN. Gangguan komunikasi antar operator-operator, operator-sistem, dan sistem-sistem dapat berasal dari dalam maupun dari luar. Gangguan komunikasi merupakan faktor utama kegagalan operasi yang berakibat pada menurunnya unjuk kerja pembangkit.

Sumber daya manusia merupakan bagian terpenting dari sistem operasional PLTN. Operator yang mengoperasikannya harus mempunyai etos kerja yang baik dan mempunyai lisensi sesuai dengan tugas yang akan diembannya. Secara umum, tugas kognitif operator adalah memantau & mendeteksi, mengkaji, merencanakan, dan mengimplementasikan berbagai keadaan operasi pembangkit. Operator menginterpretasikan dan mengintegrasikan semua informasi berdasarkan pelatihan, pengalaman, dan komunikasi mereka. Lisensi diberikan oleh instansi yang berwenang, seperti BAPETEN di Indonesia atau *National Regulatory Commission (NRC)* di Amerika Serikat.

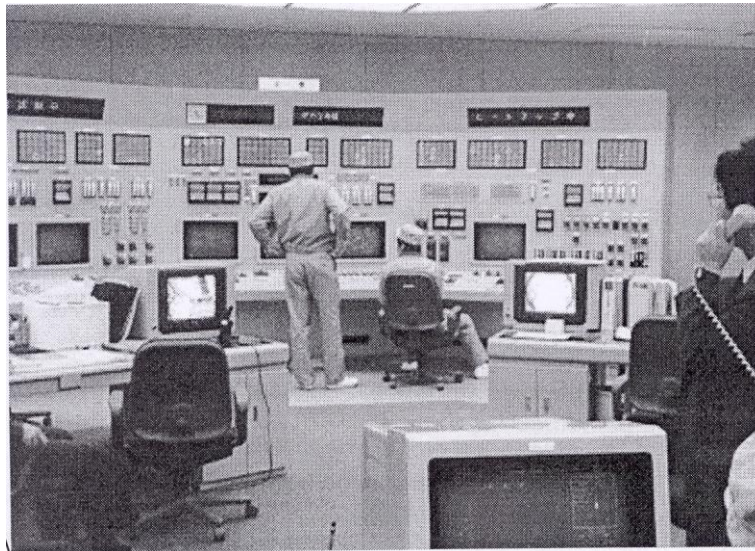
Makalah ini disusun berdasarkan studi literatur. Pada makalah ini akan dibahas teknologi ruang kendali utama, manajemen antarmuka manusia-sistem, sistem komunikasi, dan sumber daya manusia yang dibutuhkan sesuai persyaratan yang telah ditentukan. Perkembangan manajemen operasional, teknologi, dan ergonomi ruang kendali, perlu diikuti, dipahami, dan dikaji lebih mendalam untuk melengkapi *data base* PLTN, sehingga dapat digunakan sebagai acuan bila Indonesia akan mengoperasikan PLTN di masa mendatang.

2. RUANG KENDALI UTAMA PLTN

Ruang kendali utama merupakan pusat kendali seluruh operasi PLTN, sehingga fungsinya sangat strategis dan penting tidak hanya untuk mengendalikan perintah yang logis tetapi juga untuk menyelaraskan hubungan antarmuka manusia-sistem. Ruang kendali terdiri dari satu *panel board* yang mengoperasikan setiap unit PLTN. Misalnya, dalam satu fasilitas yang terdiri dari dua reaktor, ada dua *panel board* yang satu sama lain dapat ditempatkan dalam ruang yang sama atau ruangan terpisah. *Panel board* berisi banyak saklar, indikator, sistem *display* komputer, dan panel *alarm* yang fungsi masing-masing berbeda. Salah satu desain ruang kendali utama dan konfigurasi sistemnya ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.

2.1. Teknologi Ruang Kendali

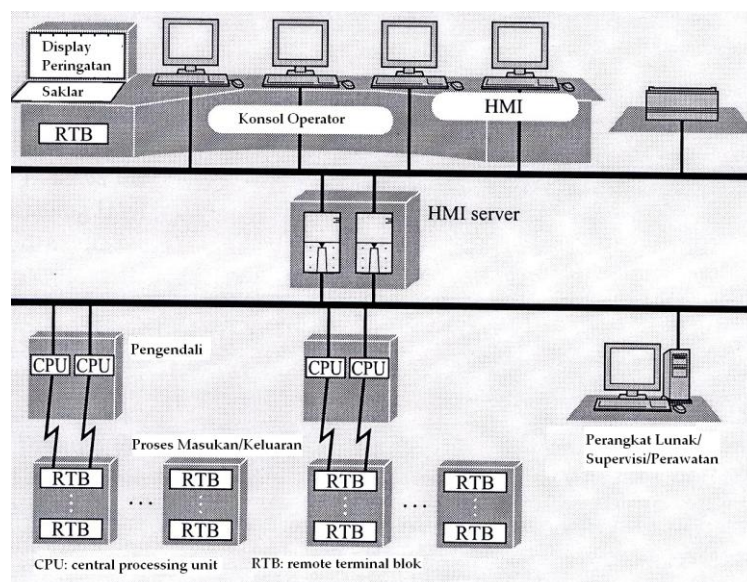
Ukuran ruang kendali utama adalah bervariasi dari 15 m x 15 m hingga 15 m x 30 m^[1]. Umumnya, dua unit PLTN dapat dikendalikan oleh sebuah ruang kendali. Saat ini telah dikembangkan ruang kendali utama yang dilengkapi dengan teknologi modern (*computerized, digitalized*) dan ergonomis. Teknologi ini mempunyai kemampuan lebih baik untuk menyediakan dan memanfaatkan informasi tepat waktu, serta meningkatkan produktivitas dengan mengganti berbagai sistem yang tidak dapat diandalkan, usang, dan lebih mahal biaya operasi dan perawatannya.



Gambar 1. Desain Ruang Kendali Utama PWR oleh Mitsubishi^[1]

Modernisasi ruang kendali PLTN bertujuan untuk^[2]:

- memaksimalkan tingkat kapasitas/daya keluaran pembangkit
- memperoleh dan mempertahankan keandalan tinggi
- memperoleh dan mempertahankan ketersediaan tinggi
- mempertahankan tingkat kehati-hatian operator tetap tinggi dari keadaan pembangkit dan peralatan
- meminimumkan kesalahan manusia, dan
- mengintegrasikan toleransi kesalahan dan perbaikan kesalahan ke dalam sistem (baik potensi kesalahan manusia dan peralatan).



Gambar 2. Konfigurasi Sistem Kendali di Ruang Kendali Utama^[3].

Sistem instrumentasi dan kendali (*instrumentation and control, I&C*) merupakan sistem yang terdiri dari perangkat instrumentasi, monitoring, proteksi, kendali untai terbuka dan tertutup, dan penampil data informasi. Hirarki fungsi proses memperlihatkan derajat otomatisasi dan ruang lingkup yang independen satu sama lain untuk setiap tingkat. Perintah yang datang dari sistem kendali otomatis dihubungkan ke perangkat aksi dalam ruang kendali utama dan selanjutnya ke pembangkit. Proses aliran informasi diterjemahkan ke dalam bahasa I&C dan diteruskan ke perangkat kendali otomatis di ruang kendali utama. Panel kendali, umumnya dibagi dalam tiga bagian, yaitu:

- sistem sekunder terdiri dari air sirkulasi, air umpan kondensat, turbin generator, dan sistem pendukung
- reaktor, pendingin reaktor, generator uap, dan sistem kendali reaktor
- pendukung pendingin reaktor dan sistem kedaruratan.

2.2 Manajemen Antarmuka Manusia-Sistem

Manajemen antarmuka manusia-sistem (*human system interface, HSI*) merupakan bagian penting pada PLTN sehingga interaksi antara keduanya dapat berjalan dengan mulus. Bagian-bagian utama yang termasuk dalam interaksi antarmuka manusia-sistem di ruang kendali adalah *display*, kendali, *alarm*, dan peralatan-peralatan pendukung lainnya.

Teknologi ruang kendali, antarmuka manusia-sistem, dan instrumentasi & kendali modern dilengkapi peralatan untuk menggabungkan tujuan-tujuan kritis di atas. Oleh karena itu, prosedur untuk ruang kendali dan HSI digital dikembangkan untuk mendukung pencapaian tujuan kritis pembangkit.

2.3 Sistem Komunikasi

Komunikasi yang baik dan lancar merupakan salah satu kunci sukses pengoperasian PLTN. Gangguan komunikasi dapat berkontribusi terhadap ketidakstabilan (kekacauan) sebagian atau seluruh sistem pembangkit. Dengan demikian, gangguan komunikasi harus diminimalisir bahkan ditiadakan supaya operasi pembangkit dapat dipertahankan sesuai tujuan yang ditentukan. Komunikasi di ruang kendali terdiri dari komunikasi operator-operator, operator-sistem, dan sistem-sistem. Komunikasi antar operator harus dilakukan dengan jelas dan tepat untuk menghindari kesalahan interpretasi saat melaksanakan perintah operasi. Komunikasi harus dilakukan sesuai dengan prosedur operasional standar yang telah ditetapkan.

2.4 Simulator

Pemanfaatan teknologi komputer yang canggih dan murah, serta perkembangan teknik *modelling* pada pembuatan simulator PLTN banyak digunakan untuk meningkatkan keandalan pembangkit. Saat ini, ada 100 simulator PLTN yang telah digunakan dan sedang dibangun di seluruh dunia^[4]. Simulator merupakan bagian penting dari pelatihan operator, karena mereka dapat dilatih menghadapi berbagai kondisi, baik kondisi operasi normal maupun abnormal.

2.5 Sumber Daya Manusia

Operator ruang kendali utama PLTN umumnya direkrut dari operator pembangkit listrik berbahan bakar fosil dan/atau tamatan dari perguruan tinggi & sekolah kejuruan di bidang elektrikal dan mekanikal yang kemudian diberi pelatihan sesuai persyaratan operasi PLTN. Syarat utama operator ruang kendali utama PLTN adalah harus mendapat program pelatihan secara ekstensif sesuai dengan bidangnya, dan memperoleh lisensi dari instansi yang berwenang memberikannya. Setiap tahun dilakukan re-kualifikasi yang terdiri dari

pelatihan penyegaran. NRC Amerika Serikat mensyaratkan bahwa lisensi operator harus diperbaharui setiap 6 tahun, dan tetap melalui tahap-tahap pelatihan dan ujian. Secara umum skema pelatihan jangka panjang operator adalah sebagai berikut:

- klasifikasi pelatihan terdiri dari pelatihan operator peralatan utama, pelatihan operator generator turbin, pelatihan operator reaktor/operator reaktor senior, dan pelatihan *supervisor/shift manager*,
- sistem pelatihan terdiri dari 3 jenis, yaitu pelajaran teori, *on the job training* dan pelatihan menggunakan simulator. Pelajaran teori pengenalan PLTN meliputi peraturan keselamatan PLTN, jaminan kualitas, faktor manusia, teknologi turbin dan generator, dan teknologi reaktor. Pelatihan *on the job training* meliputi pelatihan keahlian mengoperasikan peralatan-peralatan bantu, dan pelatihan praktek mengoperasikan turbin, generator dan reaktor. Sedangkan pelatihan menggunakan simulator dilakukan secara berkelanjutan yang terdiri dari pelatihan tingkat pemula, pelatihan lanjutan terhadap operator & operator senior, serta pelatihan lanjutan *shift supervisor*. Pelatihan tingkat operator pemula dilakukan dengan simulator yang terdiri dari tiga tahap yaitu tahap pertama mempelajari teori tentang fisika teras, teori reaktor, dll., tahap kedua mempelajari sistem pembangkit PLTN, sistem kendali, dll., dan tahap akhir praktek menggunakan simulator saat operasi normal dan operasi darurat. Setiap dua tahun bekerja di ruang kendali utama, operator wajib mengikuti pelatihan berkelanjutan.

Meskipun sebagian besar fungsi operasional dan kendali PLTN dilakukan dengan sistem kendali otomatis, tetapi peran dan tanggungjawab operator di ruang kendali reaktor tetap menjadi faktor kunci dan strategis atas keandalan dan keselamatan operasi PLTN. Operator dalam melakukan tugasnya sangat ditentukan oleh etos kerja, daya nalar, kebugaran, kemampuan berkreasi, dan lain sebagainya. Faktor keselamatan merupakan faktor yang mutlak pada pengoperasian PLTN, karena kesalahan yang terjadi akan berakibat fatal, baik terhadap modal maupun lingkungan sekitarnya. Peran operator dalam sistem keselamatan operasi PLTN adalah:

- menetapkan terlebih dahulu peralatan operasi dan kesiapan untuk melakukan aksi keselamatan otomatis dan manual jika dibutuhkan
- mengoperasikan pembangkit sehingga meminimalkan frekuensi dan kepelikan/kerumitan dari kejadian abnormal, dan
- memonitor aksi keselamatan otomatis dan memastikan aksi keselamatan secara manual yang dibutuhkan selama kejadian abnormal, dan mempertahankan atau memulihkan fungsi keselamatan.

Ada dua kategori personel yang diizinkan untuk mengoperasikan ruang kendali, yaitu senior operator dan staf operator yang telah mendapat lisensi dari badan yang berwenang, seperti BAPETEN di Indonesia dan NRC di Amerika Serikat. Operator senior dan operator bertugas untuk mengoperasikan dan memonitor peralatan-peralatan utama pembangkit di ruang kendali utama. Untuk mendapatkan lisensi, operator senior dan operator harus mampu mendemonstrasikan kemampuan mengambil keputusan, mengkaji kecelakaan yang akan timbul, mengawasi, dan mampu bekerja sebagai tim.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

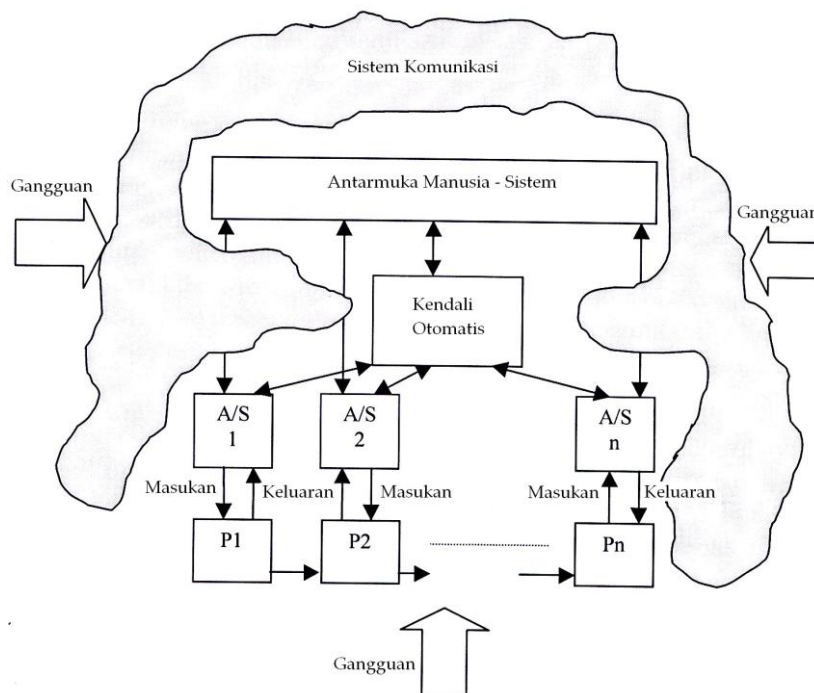
PLTN merupakan pembangkit listrik berteknologi tinggi, beresiko tinggi dan padat modal. Dalam operasi PLTN, faktor kesalahan manusia merupakan faktor yang sangat diperhatikan. Oleh karena itu, manajemen operasionalnya harus ditata sebaik mungkin untuk meningkatkan unjuk kerja, dan keselamatan operasi sesuai tujuan yang dikehendaki. Personel harus menjalankan seluruh pekerjaan sesuai dengan tugas dan fungsi masing-

masing, serta sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan. Etos kerja dan disiplin tinggi harus tetap dipertahankan.

Ruang kendali utama merupakan urat nadi dari pengoperasian PLTN, sehingga perlu dirancang dengan baik dan sempurna, dengan tujuan untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi setiap pembangkit. Hal ini dapat dilakukan dengan meningkatkan kualitas data, mengurangi hambatan operator, meningkatkan sistem kerja *alarm*, dan meningkatkan fungsi alat bantu diagnostik. Penerapan ergonomika di ruang kendali merupakan faktor yang sangat penting sehingga sesuai dengan kemampuan, keterbatasan, dan kebutuhan operator. Ergonomika ruang kendali meliputi tata ruang (panel-panel, fasilitas kerja, dll.), tata pencahayaan, dll. Semua sistem kendali harus mudah dioperasikan, dijangkau, dikenali, diadaptasi, dan dibedakan.

Ergonomika dari ruang kendali utama harus sesuai dengan antropometrik suatu bangsa yang akan mengoperasikannya. Jika PLTN yang akan dioperasikan di Indonesia dari Eropa atau Amerika, maka ergonomika dari ruang kendalinya harus disesuaikan dengan antropometrik bangsa Indonesia, tetapi jika berasal dari Jepang dan Korea Selatan, maka ergonomikanya tidak perlu dirubah karena secara fisik hampir sama dengan bangsa Jepang, dan Korea Selatan. Seluruh bahasa dan tulisan yang digunakan di *panel board* harus disesuaikan dengan bahasa dan tulisan yang mudah dipahami dan telah umum (*familiar*) digunakan oleh seluruh operator yang akan mengoperasikannya.

Sistem komunikasi di dalam ruang kendali utama PLTN tidak terlepas dari berbagai gangguan komunikasi, baik yang datang dari dalam maupun dari luar sistem. Gangguan komunikasi dapat terjadi antar sistem (operator-operator, sistem-operator, dan sistem-sistem), seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses Kendali Dasar pada Sistem Komunikasi^[5].

Gangguan komunikasi antara operator-operator dapat terjadi akibat komunikasi tidak dilakukan secara jelas dan efektif sehingga mengakibatkan kesalahan interpretasi. Data *Licensee Event Report* mencatat bahwa lebih dari 2000 gangguan yang terjadi, termasuk kesalahan manusia selama kurun waktu tahun 1981-1983^[5]. Dari hasil investigasi dan

evaluasi yang dilakukan, gangguan ini dipengaruhi oleh faktor kelelahan, *strees*, pelatihan yang minim, ketidakjelasan atau ketidaklengkapan prosedur, sistem pencahayaan, suhu, kelembaban, ventilasi, ergonomika ruang kerja, dan kendala waktu. Ketidakjelasan dalam komunikasi sangat tergantung pada jenis bahasa, tingkat komunikasi, kondisi sistem (kegagalan sistem instrumentasi dan kendali).

Untuk mengurangi kegagalan operasi akibat gangguan dari internal dan eksternal, *Electric Power Research Institute (EPRI)* dan *Nuclear Energy Plant Organization (NEPO)* melakukan modernisasi ruang kendali utama serta mengembangkan prosedur yang dibutuhkan untuk pengoperasian pembangkit. Prosedur ini digunakan untuk mengurangi kesalahan manusia dan resiko pemberian lisensi, sehingga diperoleh keuntungan maksimum dari pengembangan teknologi yang diimplementasikan^[6,7].

Menurut *IAEA Safety Guide NS-G-2.8 Recruitment, Qualification and Training of Personnel for Nuclear Power Plant*, kebutuhan sumber daya manusia minimum yang diijinkan secara formal untuk mengoperasikan PLTN yaitu^[8]:

- *Shift Supervisor* ditugaskan untuk memberikan supervisi secara langsung terhadap operasi pembangkit, memutuskan batasan-batasan keselamatan selama operasi normal, atau kecelakaan, menetapkan jadwal *shift* operator, dan bertanggung jawab pada unjuk kerja pembangkit.
- Operator ditugaskan mengoperasikan peralatan instrumentasi dan kendali di ruang kendali utama sesuai prosedur keselamatan yang telah ditentukan.

Dua kategori utama personil yang diijinkan untuk mengoperasikan PLTN yaitu operator dan operator senior. Operator harus selalu siap siaga memantau dan mengawasi operasi semua komponen dari unit kendali, juga melaksanakan fungsi operasional jika diperlukan. Tugas ini tidak membutuhkan kerja fisik sehingga dapat mengakibatkan kantuk dan/atau lelah. Pada keadaan darurat, operator harus mampu untuk mengkaji situasi dan memilih prosedur yang tepat untuk menanggulangnya. Operator senior bertanggungjawab mengawasi aktivitas semua operator di dalam ruang kendali, dan memberi supervisi, mengendalikan kerja, dan tugas lain yang berhubungan dengan perusahaan, bahkan harus siap untuk membantu operator.

Kebutuhan sumber daya manusia dan struktur organisasi ruang kendali utama PLTN di berbagai negara berbeda-beda, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1^[8]. Struktur organisasi untuk setiap negara sangat tergantung pada karakter, spesialisasi dan kebutuhan. Misalnya, Cina, Kanada, Perancis dan USA memisahkan *Plant/Dual Unit Supervisor* dan *Unit Shift Supervisor*, sedangkan beberapa negara menyatukannya. Sementara SDM untuk operator ruang kendali, ada yang membedakan atas senioritas dan ada yang menurut spesialisasinya, seperti Brazil, Cina, Rusia, dan Swedia.

Dari hasil kerjasama studi antara PPEN – BATAN dan Pusat Studi Ekonomi dan Kebijakan Publik (PSEKP) - UGM tahun 2005 diperoleh kebutuhan jabatan sumber daya manusia yang terdiri dari *Unit Shift Supervisor* 5–6 orang, *Deputy Shift Supervisor* 5–6 orang, Operator Senior 10–18 orang, Operator 10–18 orang, dan Asisten Operator 5–12 orang^[9], seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Paska kecelakaan *TMI* pada tahun 1979, dilakukan re-evaluasi dan analisis terhadap semua sistem yang berperan dalam pengoperasian reaktor nuklir, dan dihasilkan beberapa rekomendasi untuk setiap negara yang mengoperasikan PLTN, yaitu:

- mengintensifkan pelatihan dan pendidikan operator untuk mengendalikan kejadian-kejadian abnormal
- meningkatkan organisasi dan prosedur tanggap darurat
- memperbaiki disain pembangkit, khususnya instrumentasi, kendali dan operasi
- menciptakan sistem yang lebih komprehensif dan akurat.

Tabel 1. Kebutuhan SDM yang Diiijinkan Bekerja di Ruang Kendali di beberapa negara^[8].

Negara	<i>Plant/Dual Unit Shift Supervisor</i>	<i>Unit Shift Supervisor</i>	<i>Deputy Shift Supervisor</i>	<i>Senior Reactor Operator</i>	<i>Control Room Operator</i>	<i>Reactor Operator</i>	<i>Turbine Operator</i>
Brazil		X				X	X
Cina	X	X	X			X	X
Kanada	X	X	X		X		
Korea		X				X	
Perancis	X	X			X		
Jerman		X	X			X	
India	X		X		X		
Jepang		X				X	
Rusia		X				X	X
Swedia		X				X	X
USA	X	X		X		X	
Indonesia		X	X	X	X		

Dari berbagai pengalaman selama ini menunjukkan bahwa manajemen kualitas merupakan faktor yang sangat penting terhadap keselamatan operasi PLTN. Investigasi terhadap kecelakaan TMI disimpulkan bahwa masalah manajemen merupakan penyebab utama kejadian ini, khususnya pada manajemen sumber daya manusia^[1].

Sumber daya manusia Indonesia mampu untuk mengoperasikan PLTN dengan baik, walaupun ada yang sinis terhadap kemampuan bangsanya sendiri. Sumber daya manusia Indonesia terdiri dari berbagai macam suku dan mempunyai berbagai jenis karakter, hal ini menjadi keuntungan sekaligus kelemahan terhadap kerja tim di ruang kendali utama. Rekrutmen sumber daya manusia yang akan mengoperasikan PLTN harus memenuhi 4 dimensi karakter berikut ini, yaitu *etos* kerja (paradigma, pola pikir, pengetahuan) yang baik, *habitus* (keahlian, sifat, disiplin) yang baik, *spirit* yang kuat, dan *pathos* (sikap, motivasi, emosi) yang baik. Hal ini dibutuhkan karena PLTN merupakan pembangkit listrik yang beresiko tinggi baik dari segi keselamatan dan modal.

Umumnya, jadwal kerja operator PLTN dibagi menjadi tiga *shift* per hari, dan masing-masing *shift* berdurasi 8 jam. Jadwal *Shift Operator* di ruang kendali utama PLTN diatur dan diimplementasikan oleh pihak manajemen, terkadang diperoleh dari hasil negosiasi antara manajemen dan operator. Setiap operator dapat bekerja dengan jadwal *shift* yang berbeda. Manajer dan supervisor *shift* harus mendapat lisensi dari badan yang berwenang dan kepegangannya lebih tinggi dari staf operator ruang kendali.

Performa (unjuk kerja) manusia dapat ditingkatkan dengan rekayasa terhadap berbagai faktor yang dipunyai oleh manusia, seperti sifat-sifat manusia, keahlian, kemampuan dan keterbatasan, tugas, sistem, dan lingkungan. Dari berbagai informasi-informasi ini, manusia dapat direkayasa sehingga lebih produktif, efektif, dan andal. Hasil rekayasa ini dimanfaatkan untuk meningkatkan kemampuan operator, sehingga peralatan yang digunakan lebih berdayaguna dan efektif.

Tabel 2. Kebutuhan Sumber Daya Manusia di Ruang Kendali Utama PLTN di Indonesia^[9].

Tugas & Fungsi	Jumlah Personil	Kualifikasi		
		Pendidikan	Pengalaman	Pelatihan Khusus
<i>Operation Superintendent.</i> Bertanggungjawab terhadap operasi pembangkit sesuai prosedur dan kondisi.	1	M.S Teknik	8-10 thn di bidang profesinya; atau 4-5 thn di operasi pembangkit konvensional; atau 2-3 thn di operasi PLTN	<ul style="list-style-type: none"> - Kursus teknologi nuklir (1-2 thn) - Pelatihan khusus (1-2 thn) operator PLTN, seperti keselamatan nuklir, manajemen bahan bakar, proses kendali dan instrumentasi.
<i>Shift Supervisor.</i> Bertanggung jawab untuk mensupervisi <i>Shift Operator</i> dan operasi pembangkit. Otorisasi untuk pemindahan dari servis.	5 - 6	Sarjana teknik (elektro atau mekanik)	5-10 thn di bidang profesinya; atau 3-5 di operasi pembangkit, diutamakan di bidang nuklir	<ul style="list-style-type: none"> - Pelatihan operator PLTN (berlisensi) - Pelatihan khusus (3-4 thn) tentang sistem, keselamatan operasi, termasuk aktif berpartisipasi komisioning dan <i>on the job training</i>
<i>Deputi Shift Supervisor.</i> Membantu tugas <i>Shift Supervisor</i> dan menggantikan jika berhalangan.	5 - 6	Sarjana teknik	5-8 thn di bidang profesinya; atau 3-5 di operasi pembangkit, diutamakan di bidang nuklir	<ul style="list-style-type: none"> - Pelatihan operator PLTN (berlisensi) - Pelatihan khusus (3-4 thn) tentang sistem, keselamatan operasi, termasuk aktif berpartisipasi komisioning dan <i>on the job training</i>
Operator Senior. Melaksanakan operasi di ruang kendali.	10-18	Sarjana Teknik (elektro atau mekanik)	5-10 thn dalam profesinya; 3-5 tahun di operasi pembangkit, khususnya nuklir	Pelatihan ekstensif (2-3 thn) termasuk <i>on the job training</i> dan partisipasi dalam komisioning
Operator. Melaksanakan operasi di ruang kendali.	10-18	Teknisi (STM elektro atau mekanik)	4-6 tahun dalam profesinya; 2-3 thn di operasi pembangkit	Pelatihan ekstensif (2-3 thn) termasuk <i>on the job training</i> dan partisipasi dalam komisioning
Asisten Operator. Melaksanakan operasi di ruang kendali.	5-12	Teknisi	3-5 tahun dalam profesinya; 1-2 thn di operasi pembangkit	Pelatihan operator (1- 2 thn)
Operator Lapangan. yang bertanggung jawab untuk aktivitas operasi di dalam pembangkit, di luar ruang kendali; operasi bantu lokal pada panel-panel kendali terdesentralisasi; memantau peralatan.	15-24	Teknisi (STM elektro atau mekanik)	4-6 tahun dalam profesinya; 2-3 thn di operasi pembangkit	Pelatihan operator lapangan (1-2 thn); proteksi radiasi; pelatihan ekstensif di bidang spesifik sistem, komponen, peralatan pembangkit listrik

4. KESIMPULAN

Ruang kendali utama PLTN merupakan pusat operasional seluruh aktivitas, oleh karena itu berbagai gangguan yang mungkin timbul harus diminimalisir bahkan ditiadakan. Sistem rekrutmen sumber daya manusia harus ditetapkan secara ketat berdasarkan *etos*, *logos*, *phatos* dan *habitus*. Operator harus mempunyai lisensi yang diperoleh setelah lulus pelatihan baik secara teoritis maupun melalui *on the job training* (simulator dan ruang kendali utama). Manajemen pelatihan dan jadwal jam kerja (*shift*) juga harus dilaksanakan secara ketat. Ergonomika dari ruang kendali utama PLTN yang akan digunakan di Indonesia harus disesuaikan dengan antropometrik masyarakat Indonesia. Demikian halnya dengan bahasa dan karakter tulisan yang ada di *panel board* harus mudah dipahami dan/atau telah umum (*familiar*) digunakan oleh operator Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ANONIM, Main Control Room, http://nucleartourist.com/systems/control_rooms.htm, December 2008
- [2]. JOSEPH NASER AND GLENN MORRIS, Guidance for Nuclear Power Plant Control Room and Human-System Interface Modernization, <http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/840373-RAZttI/native/840373.pdf>, December 2008
- [3]. TOSHIHARU YAMAMORI, et.al., Recent Technologies in Nuclear Power Plant Supervisory and Control Syatems, Hitachi Review Vol. 49 (2000) No. 2, Tahun 2000
- [4]. LEONARD KONSTANTINOV, JAMES JOOSTEN, VLADIMIR NEBOYAN, Nuclear power and The Electronic Revolution, IAEA Bulletin, Autum 1985.
- [5]. RONALD L. BORING et. al., Framework and Application for Modelling Control Room Crew Performance at Nuclear Power Plants, In the 52 Annual Human Factors and Ergonomics Society Proceeding, NY, NY, Sept 22 – 26, 2008
- [6]. PAULO VICTOR RODRIGUES DE CARVALHO, et. al. ,The Role of Nuclear Power Plant Operators Communicassions in Providing Resilience and Stability ini System Operation, www.resilience-engineering.org/REpapers/de_Carvalho_e_al_R.pdf, December 2008
- [7]. ANONIM, Plant Operation and Maintenance, Nuclear Power Procon.org/pop/operation.htm, December 2008
- [8]. IAEA, Authorization of Nuclear Power Plant Control Room Personnel: Methods and Practices with Emphasis on the Use of Simulators, IAEA-TECDOC-1502, July 2006
- [9]. DR. CATUR SUGIYANTO, M.A., et.al, Studi Manajemen Proyek PLTN dan Penyiapan Sumber Daya manusia, PPEN-BATAN dan PSEKP – UGM, 2005