



ID0000051

PENILAIAN FAKTOR KEANDALAN PERALATAN DAN INSTRUMENTASI RKU REAKTOR DAYA

Pelaksana : Piping Supriatna, Itjeu Karliana, Suharyo Widagdo, Kussigit
Santosa, Darlis, Bambang Sudiyono, Sasongko Yuniyanta, Sudarmin

ABSTRAK

PENILAIAN FAKTOR KEANDALAN PERALATAN DAN INSTRUMENTASI RKU REAKTOR DAYA. Keandalan Peralatan dan Instrumentasi pada RKU Reaktor Daya jenis BWR, ditentukan oleh pola dan desainnya. Prinsip ergonomi yang diterapkan pada pengaturan pola tataletak dari sistem peralatan dan instrumentasi yang ada pada RKU ABWR ini adalah pola geometri yang mengikuti prinsip ekonomi gerakan, data antropometri operator rata-rata yang digunakan terutama dalam hal jangkauan tangan operator, jarak pandang, sudut pandang, pencahayaan, pengaturan warna dan keserasian serta kemudahan operator dalam mengoperasikan sistem peralatan tersebut. Kriteria batasan untuk semua parameter tersebut di atas diambil berdasarkan dokumen EPRI NP-3659, NUREG-0700, dan NUREG/CR-3331. Selain itu juga faktor parameter fisik lingkungan kerja pada RKU ini didisain harus memenuhi kriteria standar kondisi ergonomik berdasarkan NUREG-0800. Penilaian keandalan untuk sistem peralatan dan instrumentasi ini juga ditinjau dari unsur Interaksi Manusia Mesin yang terjadi antara operator dengan peralatan dan instrumentasi yang ada pada RKU reaktor daya jenis ABWR. Dari analisis IMM ini akan dapat diketahui kemungkinan kesalahan kerja yang dapat ditimbulkan oleh operator. Hasil penilaian dari segi keandalan peralatan dan instrumentasi untuk RKU reaktor daya jenis ABWR ini menunjukkan bahwa disain dari RKU ABWR ini sudah baik dan memenuhi kriteria standar ergonomi yang telah ditentukan.

PENDAHULUAN

RKU pada reaktor daya merupakan lokasi kerja yang sangat penting, karena dari ruang ini semua proses yang terjadi di dalam reaktor dipantau dan dikendalikan. Keandalan sistem peralatan dan instrumentasi di dalam RKU atau keandalan operatornya saja belum bisa menjamin keselamatan dalam pengoperasian reaktor, melainkan diantara keduanya (sistem peralatan dan instrumentasi dengan operatornya) harus terdapat keserasian dan kesesuaian agar dapat berinteraksi secara optimal. Faktor kecelakaan dalam pengoperasian reaktor sebagian besar disebabkan oleh faktor kesalahan manusia (*human error*). Ketidaksempurnaan dalam membuat disain RKU reaktor daya, akan menyebabkan sistem kerja yang ada dapat menimbulkan kelelahan dan kejenuhan pada operator sewaktu bekerja, yang pada gilirannya akan mengakibatkan menurunnya tingkat kewaspadaan bagi operator yang bekerja di RKU. Dalam keadaan seperti ini operator cenderung mempunyai peluang tinggi untuk melakukan suatu tindakan yang salah.

Proses kerja merupakan interaksi antara manusia dengan peralatan di dalam ruang kerja. Setiap pekerjaan merupakan beban bagi pelakunya, baik sebagai beban fisik, kimia, biologis, fisiologis dan mental fisiologis. Faktor-faktor tersebut dalam kuantitas tertentu dapat mengganggu daya kerja dari operator. Sebaliknya jika faktor-faktor tersebut diatur kondisinya dapat menciptakan suasana kerja yang lebih nyaman dan serasi, seperti misalnya penerangan yang diatur intensitas dan penyebarannya, warna yang diatur cara dekorasinya, pengaturan temperatur dan kelembaban ruang kerja dan perencanaan interaksi manusia mesin yang lebih serasi. Pengaturan dan perencanaan ruang kerja seperti di atas dapat mengurangi beban kerja yang dirasakan oleh operator.

Desain Konsol Kendali RKU dari reaktor daya dari generasi pertama (tahun 1970) sampai generasi ke-4, saat ini telah mengalami banyak perubahan. Pada generasi pertama sistem pengkabelan konvensional belum disusun secara teratur dan belum diterapkan teknologi CRT monitor. Konsol Kendali didesain untuk operator cara berdiri, banyak tombol kendali letaknya terlalu tinggi. Banyaknya alat kendali yang tidak tersusun secara hierarki, dan kadang-kadang letaknya tersembunyi dan bisa membingungkan operator. Pada generasi kedua (tahun 1980), desain RKU telah menerapkan ukuran antropometri manusia, pengaturan dekorasi warna dan penggunaan teknologi CRT monitor. Perkembangan sistem kecerdasan buatan pada tahun 1990 telah mendorong penerapan sistem otomasi dan penerapan informasi grafis untuk memonitor parameter instalasi pada RKU generasi ke-3. Selain itu juga telah diterapkan prinsip ekonomi gerakan pada pola tata letak RKU dan pengaturan parameter fisik lingkungan. Pengembangan *expert system*, *artificial neural network* dan *fuzzy logic* pada tahun 1994, telah merubah peran operator yang semula hanya menjalankan alat beralih menjadi '*system manager*', hal ini dapat dilihat dengan meningkatnya otomasi sistem seperti *start-up*, *shut down* maupun manuver daya dapat dilakukan secara otomatis. Penggunaan *flat display* dan sistem layar sentuh ikut mewarnai disain dari RKU reaktor daya generasi ke-4.

Perkembangan disain pada ruang kendali utama reaktor daya akhir-akhir ini lebih difokuskan pada pengembangan penerapan teknologi sistem kecerdasan buatan tingkat tinggi pada desain sistem peralatan dan instrumentasi yang kompak, ringkas dan nyaman diopeasikan, yang secara keseluruhan akan membantu meningkatkan unjuk kerja baik untuk operatornya maupun instalasinya.

TINJAUAN TEORI

Ruang Kendali Utama dari suatu reaktor daya merupakan tempat pengendalian dan pemantauan parameter fisik unjuk kerja dari reaktor daya tersebut. Pelaksanaan desain dari RKU ini harus dilakukan secara seksama, yang mana proses desain dari RKU untuk reaktor daya ini meliputi 5 tahap, yaitu :

1. Inventarisasi peralatan yang dioperasikan melalui RKU.
2. Penyusunan dan pengelompokan fungsi-fungsi dari peralatan.
3. Alokasi fungsi dan penentuan SDM yang dipersyaratkan.
4. Pembuatan konsep desain dari Konsol Kendali dan Panel Display.
5. Penyesuaian desain :
 - Konsol Kendali dan Panel Display terhadap stasiun kerja
 - Stasiun kerja terhadap jumlah SDM.
 - Jumlah SDM terhadap tata letak dari RKU.

Dalam proses realisasi pembangunan RKU Reaktor Daya ini juga harus diperhatikan lokasi dari RKU harus merupakan daerah beradiasi rendah, karena hampir sebagian besar perangkat elektronik dan mekanik sistem instrumentasi dan kendali sangat peka terhadap radiasi. Peralatan, instrumentasi dan lain-lain di dalam RKU tata letaknya harus diatur sedemikian rupa agar memenuhi ketentuan ergonomis, yang diatur berdasarkan dokumen EPRI NP-3659, seperti misalnya daerah lintasan antar meja dengan Konsol Kendali harus lebih besar dari 61 cm, tinggi antara lantai dengan plafon harus lebih besar dari 203 cm, ketinggian meja Konsol Kendali harus cukup untuk bekerja dengan nyaman yaitu max. 80 cm, ketinggian kursi harus dapat diatur sesuai dengan yang diinginkan, dan dapat berputar ke arah yang dikehendaki. Ketinggian tempat duduk dapat diatur antara 39-51 cm (tanpa footrest), dll. Untuk panel display, NUREG-0700 memberikan persyaratan rancangan sistem pemberitahuan untuk peringatan secara umum sbb :

- Memberikan adanya tanda penyimpangan pada sistem dan proses pada operator.
- Menginformasikan arti dan sifat penyimpangan yang penting kepada operator.
- Memberitahukan/menegaskan apakah tanggapan operator telah menindaklanjuti penyimpangan tersebut atau belum.

Penempatan dan disain kendali, display dan indikator pada konsol kendali dan panel display didasarkan pada kriteria sbb :

- Alat kendali yang sering digunakan harus berada pada tempat yang mudah dijangkau oleh operator. Disain dari alat kendali harus dapat meminimalkan terjadinya kesalahan kerja oleh operator. Bentuk, ukuran, warna, kode dan susunan kelompok dari alat kendali harus tetap dijaga konsistensinya untuk memudahkan operator dalam pemahaman dan penguasaan alat kendali tersebut.
- Sistem display harus dapat dilihat dan dibaca dari stasiun kerja operator dan supervisor. Sistem display berfungsi untuk memberikan informasi kondisi operasi instalasi, baik kondisi normal maupun kondisi abnormal. Tipe display (CRT, LCD, *touch screen display*) harus disesuaikan dengan fungsi dan tujuan pemakaiannya.
- Indikator alarm dan indikator sejenis lainnya yang terletak pada *wide panel display*, harus dapat diindra dari semua bagian daerah pengoperasian pada RKU. Indikator ini berfungsi untuk memberitahukan kondisi abnormal dari pengoperasian instalasi dan memberikan petunjuk penanganan kondisi abnormal.

Kemiripan bentuk dan tata letak dari alat kendali, display dan indikator pada konsol kendali dan panel display harus dihindari, untuk mencegah terjadinya kekeliruan dalam pengoperasian. Secara teknis display dan kendali dibedakan atas enam kelompok berdasarkan :

1. Fungsi dan keterkaitannya.
2. Hierarki dan urutan pengoperasian alat.
3. Frekuensi penggunaan.
4. Prioritas keselamatan sistem.
5. Jenis prosedur pengoperasian (normal atau darurat).
6. Tampilan untuk simulasi proses.

Prinsip-prinsip yang diterapkan pada pengaturan pola tata letak dari sistem dan peralatan yang ada pada RKU reaktor daya ini adalah pola geometri yang mengikuti prinsip ekonomi gerakan, data antropometri operator rata-rata yang digunakan terutama dalam hal jangkauan tangan operator, jarak pandang, sudut pandang, pencahayaan, pengaturan warna dan keserasian, serta kemudahan operator dalam mengoperasikan sistem peralatan tersebut. Kriteria batasan untuk semua parameter tersebut di atas diambil berdasarkan dokumen EPRI NP-3659,

NUREG-0700 dan NUREG/CR-3331. Konsol kendali status instalasi, didisain harus memenuhi kriteria standar ergonomik berdasarkan NUREG-0800. Penilaian keandalan untuk sistem peralatan dan instrumentasi ini juga ditinjau dari unsur Interaksi Manusia Mesin yang terjadi antara operator RKU dengan peralatan yang ada pada RKU reaktor daya jenis ABWR.

METODOLOGI YANG DIGUNAKAN

Ruang lingkup dari penelitian ini meliputi pengumpulan data dari sistem peralatan dan instrumentasi dari RKU ABWR, diskripsi dan cara kerjanya. Selanjutnya dilakukan analisis sistem peralatan dan instrumentasi termasuk diskripsi, tata letak dan sistem hirarkinya yang dibandingkan dengan standar ergonomi dari EPRI dan NUREG. Langkah berikutnya adalah melakukan evaluasi sistem kerja untuk sistem peralatan dan instrumentasi pada RKU ABWR, yang meliputi hal-hal sebagai berikut :

1. Penilaian tata letak dan disain dari konsol kendali dan panel display pada RKU ABWR.
2. Penilaian fungsi kendali, display dan indikator pada RKU ABWR.
3. Penilaian persyaratan Interaksi Manusi Mesin yang harus dipenuhi.

PEMBAHASAN

Desain dari ABWR (*Advanced Boiling Water Reactor* = Reaktor Air Didih Tingkat Maju) tujuan utamanya secara global adalah penyederhanaan rancang bangun, peningkatan keamanan dan keandalan, penghematan waktu konstruksi serta penghematan biaya operasi dan bahan bakarnya. Program rancangan ini dititikberatkan pada kepastian pengoperasian reaktor melalui RKU agar dapat dilakukan dengan mudah dan bebas dari kesalahan (*error-free execution*). Unit pertama reaktor ini dioperasikan TEPCO pada tahun 1996 sedangkan unit keduanya dioperasikan tahun 1997. Pada RKU generasi baru ini peran operator yang semula hanya menjalankan alat beralih menjadi '*system manager*', hal ini dapat dilihat dengan meningkatkan otomasi sistem seperti *Star-up*, *shut down* maupun manuver daya dapat dilakukan secara otomatis. Hal ini dapat dilakukan berkat diterapkannya sistem kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) khususnya expert sistem. Penggunaan CRT (*Cathode Ray Tube*) dan *flat display* (LCD) serta penerapan kecerdasan buatan merupakan salah satu contoh perkembangan implementasi interaksi manusia mesin pada RKU ABWR. Tujuan dari pengembangan ini adalah untuk memudahkan pengoperasian, perawatan dan

meningkatkan tingkat keselamatan operasi. Operator hanya melihat kapan ia harus men-startup maupun men-*shutdown* sistem-sistem keselamatan. Dengan demikian beban kerja operator akan semakin berkurang.

Tata letak dan disain Konsol Kendali dan Panel Display RKU ABWR.

RKU reaktor daya jenis ABWR berukuran 62,0 feet x 37,4 feet memiliki beberapa stasiun kerja, diantaranya dua buah stasiun kerja berbentuk setengah lingkaran dengan diameter dalam 7,5 feet dan diameter luar 18 feet, ditempati oleh dua orang operator. Sebuah stasiun kerja terletak 4,3 feet di belakang stasiun kerja operator, untuk supervisor pembantu atau *safety engineer* yang untuk memonitor saja.

Desain dari RKU ABWR ini adalah sudah mengimplementasikan prinsip-prinsip *human factor* dengan baik, yang mana hal ini dapat dilihat pada bentuk konsol kendali utamanya yang kompak, merupakan tempat utama pemantauan dan pengendalian, serta papan peraga lebar yang menyajikan ringkasan status dari jalannya operasi reaktor (lihat gambar-1). Layar lebar terletak tepat di depan operator dan apa yang disajikan pada layar lebar dapat dilihat semua orang yang ada di dalam RKU tersebut. Selain RKU ABWR juga dilengkapi dengan konsol supervisor yang terletak di belakang operator sehingga supervisor dapat mengamati dengan jelas semua peristiwa jalannya operasi reaktor (lihat gambar-2). Instrumentasi dari sistem kendali dan penampil ikut menunjang kinerja dari RKU. Pada sistem ini diterapkan sistem redundansi dengan tujuan untuk meningkatkan kesiapan operasi.

Konsol kendali utama yang ada di RKU ini merupakan *primary interface* antara operator dengan sistem reaktor yang dioperasikannya, dengan bentuknya yang kompak dan berbentuk huruf 'V' terpancung. Desain seperti ini memungkinkan operator menjalankan semua tugasnya hanya dari 1 posisi tempat duduk, sehingga hal ini akan mengurangi beban dari operator. Semua kegiatan pemantauan dan pengendalian terpusat di konsol kendali utama, yang dilakukan melalui beberapa CRT maupun flat display yang dilengkapi dengan sistem layar sentuh. Proses tampilan pada CRT ini dikendalikan oleh beberapa komputer proses yang bersifat redundans antara satu dengan yang lainnya, sedangkan flat display yang ada dikendalikan oleh beberapa controller yang juga bersifat redundan satu dengan yang lainnya, dan tidak tergantung pada sistem komputer proses.

Operator dalam melaksanakan tugasnya, CRT yang ada pada konsol kendali utama ini merupakan sarana utama dalam melaksanakan pekerjaannya. Fungsi

pemantauan dan pengendalian instalasi pada keadaan normal dilakukan oleh CRT yang ada di bagian tengah konsol, dan sistem BOP (*Balance Of Plant*) dilakukan dari bagian sayap kanan konsol. Panel display lebar (*Wide Display Panels*) terletak kira-kira 3 meter dari depan konsol kendali utama, yang fungsinya membantu operator memantau jalannya operasi reaktor. Panel ini dibagi menjadi 3 bagian, yang mana di bagian kiri terdapat panel alarm dari kategori *plant level alarm* dan di bagian tengah terdapat *fixed mimic display* yang menampilkan status jalannya operasi reaktor. Pada bagian atas dari *fixed mimic display* terdapat alarm yang termasuk ke dalam kategori *system level alarm*. Pada bagian kanan layar lebar terdapat variable display dan CCTV (*Closed Circuit Television*), dan pada bagian bawah dari panel ini terdapat beberapa CRT dan flat display yang juga dapat digunakan untuk memantau dan mengendalikan instalasi. Hal penting lainnya dari sistem IMM reaktor ABWR ini adalah adanya *Remote Shutdown System*, yaitu sistem yang dapat melakukan shutdown reaktor dari luar RKU. RKU ABWR ini dirancang untuk 4 orang operator yang mengoperasikan, sedangkan pada kondisi normal cukup seorang operator untuk memonitor dan mengendalikan reaktor ABWR ini.

Penilaian fungsi kendali, display dan indikator pada RKU ABWR.

Konsol kendali utama yang berbentuk huruf 'V' terpancung, telah menerapkan otomasi, optimalisasi dan hierarki fungsi untuk mengurangi jumlah alat kendali sehingga diperoleh suatu bentuk konsol kendali yang kompak (lihat gambar-3). Alat-alat kendali pada konsol kendali ini terdiri dari :

- Saklar untuk membangkitkan dan mereset Sistem Pendingin Reaktor Darurat (ECCS), saklar trip untuk modus otomatis.
- Saklar Master Sekuensial, termasuk saklar kekritisasi, star-up turbin dan sinkronisasi turbin, berfungsi untuk mengoperasikan instalasi secara kontinyu dan pengoperasian pengendalian sistem secara otomatis. Konfigurasi alat kendali ini memudahkan operator untuk mengingat lokasinya untuk setiap tahap proses operasinya.
- Alat kendali dalam bentuk CRT touch screen digunakan sebagai sistem pemantauan dan pengendalian terdapat pada konsol kendali utama.

Fixed mimic display berbentuk setengah lingkaran berjarak 3,1 feet dari stasiun kerja operator. Tata letak RKU seperti ini memudahkan operator untuk bekerja dengan nyaman dan leluasa, serta memudahkan komunikasi antara

operator dengan supervisor. Jumlah alat kendali manual dikurangi dan digantikan dengan sistem otomasi dan mengoptimalkan fungsi-fungsi kendali, sehingga diperoleh konsol kendali yang kompak.

Untuk sistem display, layar atau monitor pada sistem instrumentasi RKU ABWR terdiri dari 4 level, dimana tampilannya disesuaikan dengan kondisi operasi dari instalasi (lihat Gambar-4.a dan Gambar-4.b) :

- a. Level-0, merupakan tampilan layar lebar untuk plant level summary yang dilengkapi dengan switch on/off otomatis, untuk modus operasi start-up, manuver daya dan shutdown.
- b. Level-1, merupakan tampilan CRT monitor untuk sistem level summary (*cooling system, feedwater pump, dll*), yang dilengkapi dengan switch on/off otomatis, dengan pilihan modus otomasi instalasi.
- c. Level-2, merupakan tampilan CRT monitor untuk sistem level khusus, yang dioperasikan secara manual untuk mengetahui kondisi sistem secara cepat, misalnya tekanan reaktor, level air reaktor sistem *gland seal*, sistem *gas treatment, dll*.
- d. Level-3, layar pemantauan dan pengendalian sistem non safety related, yang dioperasikan secara manual untuk memantau dan mengendalikan komponen tertentu, misalnya katup-katup tertentu, motor pompa, dll. Pengoperasian dilakukan melalui sistem layar sentuh (*touch screen*, lihat Gambar 5).

Penilaian persyaratan Interaksi Manusia Mesin yang harus dipenuhi.

Penerapan MMI pada RKU ABWR bertujuan untuk meningkatkan kemudahan dan kenyamanan dalam pengoperasian, meminimalkan beban kerja yang dialami oleh operator sehingga peluang terjadinya kesalahan kerja dapat dihindari. Adapun karakterisasi MMI yang diterapkan pada RKU ABWR ini adalah sbb :

- Teknologi kecerdasan buatan tingkat tinggi yang bertujuan untuk meningkatkan akurasi, kecepatan proses dan kehandalan sistem.
- Desain peralatan dan instrumentasi yang menunjang MMI lebih ditekankan untuk meningkatkan fungsi kendali dan fungsi informasi display.
- Prosedur diagnosis, perumusan rencana dan prosedur perawatan rutin tambahan merupakan sistem penunjang operasi yang memudahkan bagi operator.

- Teknologi Sistem Pakar yang diterapkan menghasilkan otomasi sistem, menggantikan sistem sebelumnya yang bersifat manual ataupun semi otomatis.
- Konfigurasi konsol kendali yang meliputi fungsi, hierarki dan distribusi, konfigurasi panel display yang berfungsi menampilkan variable operasi secara realtime, sangat membantu operator dalam pengambilan keputusan pada kondisi operasi normal maupun abnormal.

Penerapan teknologi *artificial intelligence* tingkat tinggi yang meliputi expert system, Artificial Neural Network dan Fuzzy Logic pada RKU ABWR, merupakan ciri khas dari RKU reaktor generasi ke-4 yang sangat memudahkan prosedur pengoperasian reaktor bagi operator. Sebagai contoh misalnya pengenalan suara manusia (voice) dalam bentuk kata-kata maupun paduan kata, *full graphic CRT, flat display, touch screen monitor, large screen monitor dan advance technology I/ device* lainnya, ikut memudahkan operator dalam mengoperasikan reaktor daya ABWR secara aman, selamat, handal dan berhasil guna. Dengan demikian keuntungan yang diperoleh dari desain RKU ABWR ini adalah :

- Mengurangi beban kerja operator, mengurangi peluang terjadinya kesalahan operasi serta meningkatkan kualitas interaksi manusia mesin antara operator dengan peralatan dan instrumentasi yang ada pada RKU ABWR.
- Mengoptimalkan implementasi '*Human Factor EGINEERING*' pada semua aspek disain dari konsol kendali, display dan pengaturan konfigurasi RKU, sehingga pengoperasian reaktor ABWR dapat lebih ditingkatkan kemudahan dan kenyamanan dalam pengoperasiannya.

KESIMPULAN

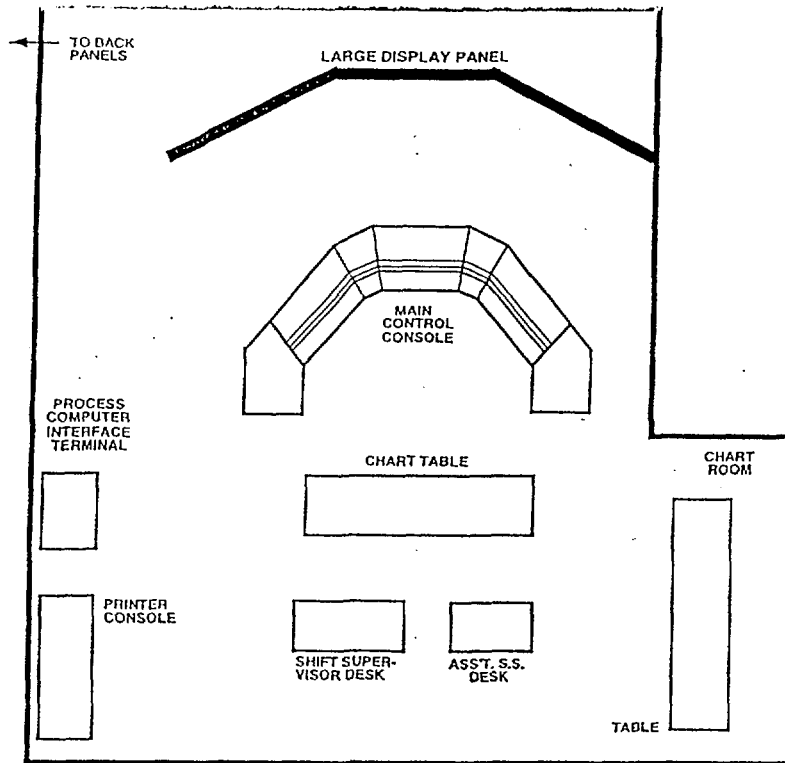
Program ekstensif pengembangan dan evaluasi RKU ABWR telah menghasilkan disain yang dapat mengatasi banyak permasalahan yang dihadapi operator pada saat bekerja. Sistem redundansi dan diversifikasi telah diterapkan pada arsitektur peralatan dan instrumentasi RKU telah meningkatkan keberhasilan dalam pengoperasian. Keberhasilan dari desain RKU ini adalah pada konsol kendali utamanya yang kompak, merupakan tempat utama pemantauan dan pengendalian, serta panel display lebar yang menyajikan ringkasan status instalasi. Pola dan disain dari RKU reaktor daya jenis ABWR menunjukkan bahwa desainnya bertujuan untuk mengoptimalkan implementasi '*human factor engineering*'.

Sistem peralatan dan instrumentasinya, dengan diimplementasikannya teknologi *Artificial Intelligence* tingkat tinggi khususnya '*expert system*', maka unjuk kerja dari sistem kendali dan penampil pada RKU reaktor daya jenis ABWR ini lebih dapat ditingkatkan lagi, antara lain dapat dioperasikannya sistem layar sentuh, sistem otomasi, remote shutdown system, dll, sehingga pengoperasian reaktor melalui RKU lebih memudahkan bagi operatornya, mengurangi beban kerja operator, mengurangi peluang terjadinya kesalahan operasi serta meningkatkan kualitas Interaksi Manusia Mesin di dalam RKU.

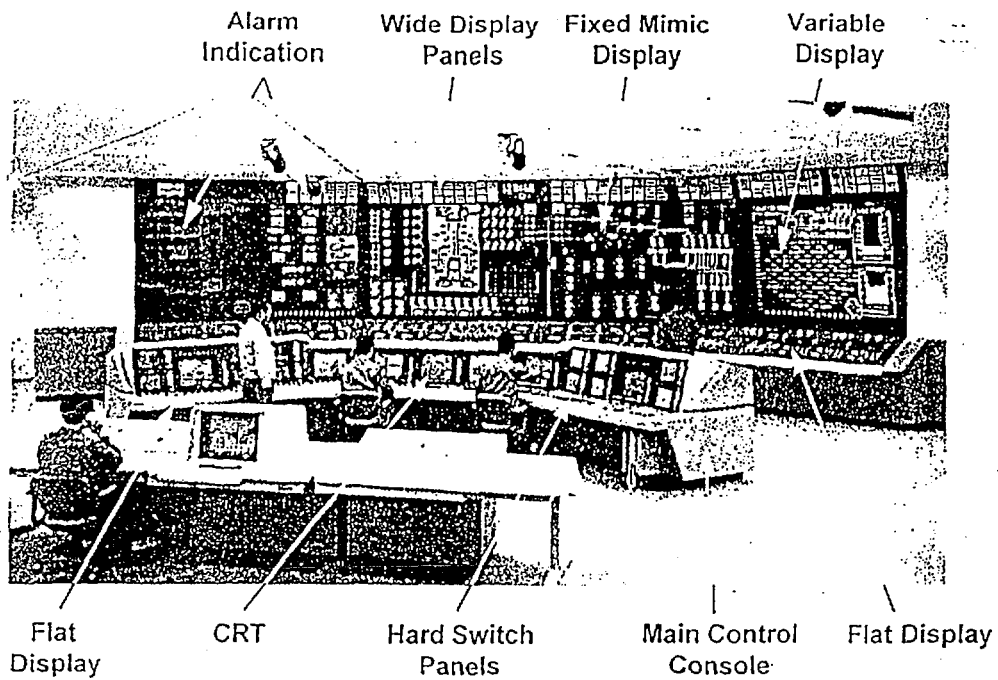
Pengaturan kondisi parameter fisik lingkungan kerja telah dilakukan untuk mengurangi beban kerja dan stress operator akibat kerja di RKU ABWR, sehingga faktor kesalahan manusia dapat ditekan serendah mungkin dan kegagalan operasi dapat dihindari. Dengan demikian dari segi keandalan peralatan dan instrumentasi untuk RKU reaktor daya jenis ABWR ini menunjukkan bahwa disain dari RKU ABWR ini sudah baik dan memenuhi kriteria standar ergonomi yang telah ditentukan.

DAFTAR PUSTAKA

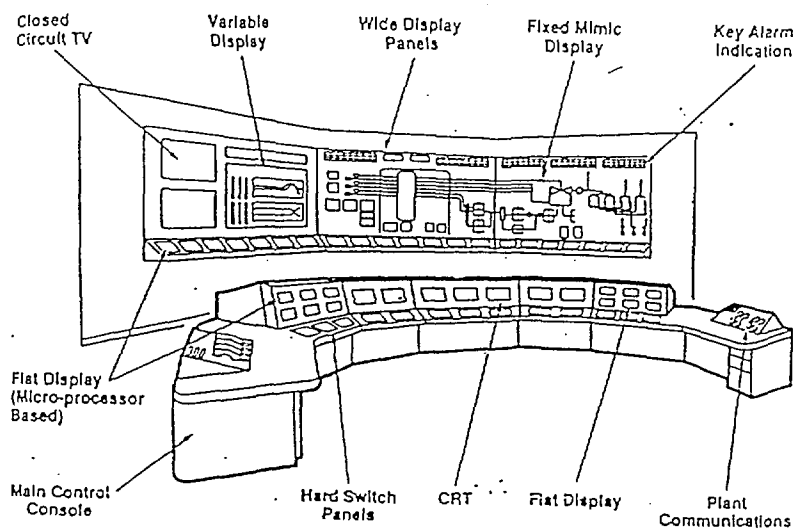
1. '*Control Room Design and Automation in the ABWR*', M.A. Ross, K. Iwaki, M. Makino, IEEE Nuclear Power System Symposium, Arlington, VA, October 24-26, 1990.
2. '*Human Factor Guide for Nuclear Power Plant Control Room Development*', EPRI NP-3659, August 1984.
3. '*Guide Line for Control Room Design Review*', NUREG-0700, August 1981.
4. '*Standard Review Plan, Human Factor Engineering*', NUREG-0800.
5. Wesley E. Woodson, '*Human Factors Design Handbook*', Mc. Graw Hill Book Company, 1981.



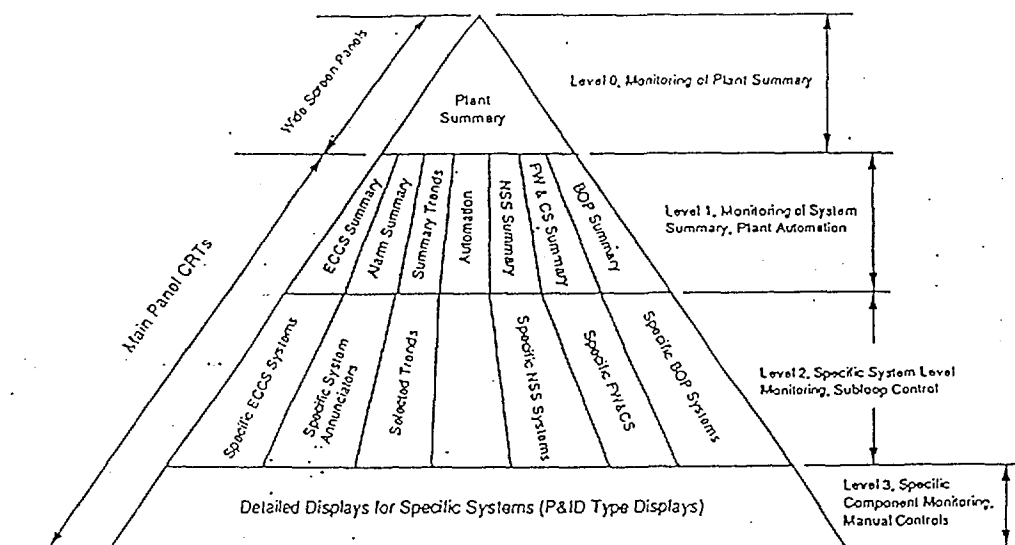
Gambar 1 ABWR Control Room Arrangement



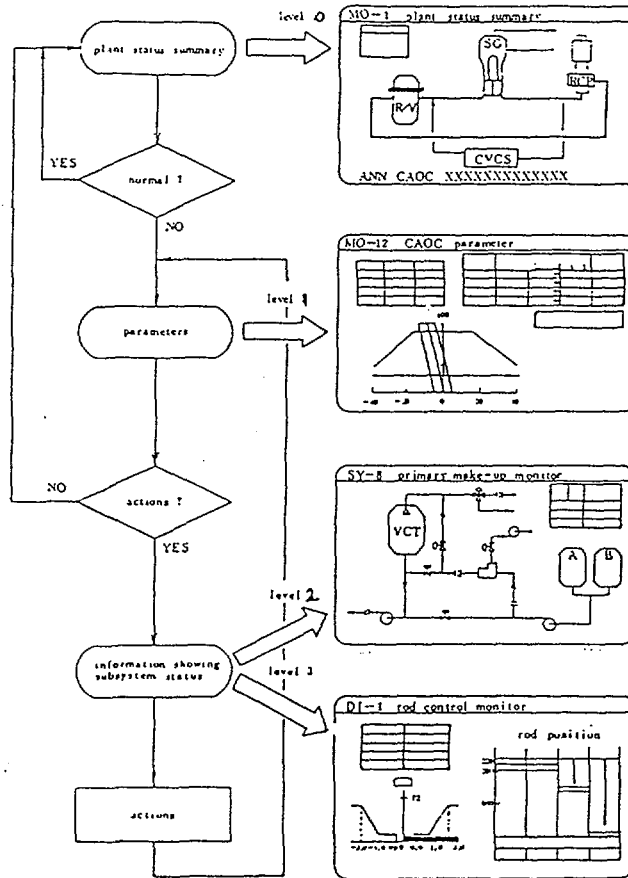
Gambar II Gambaran Visual Ruang Kendali Utama ABWR



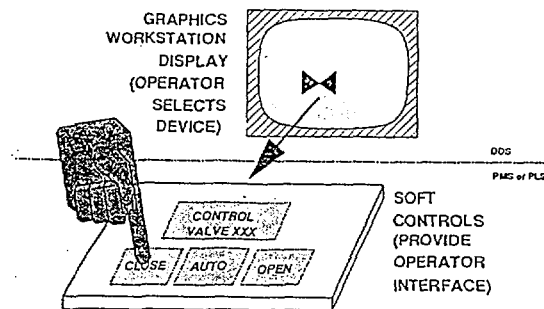
Gambar III Konsol Kendali dan Panel Display ABWR



Gambar IVA Hierarki Level Display pada Panel Display ABWR



Gambar IVB Konstruksi Hierarki Informasi dari VDU ABWR



Gambar V Pengoperasian Sistem Layar Sentuh