



ID0000052

PENILAIAN FAKTOR KEANDALAN OPERATOR REAKTOR DAYA

Oleh : Itjeu Karliana, Piping Supriatna, Suharyo W, Kussigit Santosa, Darlis,
Bambang S, Sasongko Y.

Abstrak

PENILAIAN FAKTOR KEANDALAN OPERATOR REAKTOR DAYA. Kecanggihan teknologi suatu sistem belum menjamin keandalan dari sistem itu sendiri, karena dari sistem tersebut selalu ada bagian yang harus dioperasikan oleh manusia. Keandalan operasi reaktor dapat dilihat dari unjuk kerjanya pada waktu menjalankan tugas. Unjuk kerja operator sangat menentukan tingkat keberhasilan jalannya pengoperasian reaktor, apakah dapat berjalan dengan lancar dan selamat atau terjadi kemacetan operasi yang selanjutnya dapat menimbulkan kegagalan operasi reaktor tersebut, yang akhirnya dapat menimbulkan suatu kecelakaan. Telah dilakukan penilaian faktor keandalan operator reaktor daya jenis ABWR yang meliputi kriteria keahlian (*skill*) dan tingkat beban kerja (*workload*) operator berdasarkan NUREG/CR-2254, NUREG/CR-4016, NUREG-0835. Keandalan operasi reaktor jika ditinjau dari segi operatornya merupakan sinergi antara keahlian (*skill*) dan beban kerja (*workload*) operator yang bersangkutan. Keahlian yang dimiliki oleh seseorang pekerja akan menentukan jenis dan tingkat pekerjaan bagi pekerja tersebut. Tingkat keahlian dari seseorang operator sangat ditentukan oleh unsur Pendidikan dan pengalaman kerja, Jabatan atau tanggung jawab pekerjaan, kondisi jasmani (usia, tidak cacat fisik/mental, kesehatan, dll) dan Dedikasi (unsur pembinaan, disiplin, dll). Beban kerja adalah perasaan fisik, mental dan psikologis seseorang dalam melaksanakan pekerjaannya. Adapun unsur-unsur yang menentukan tingginya tingkat beban kerja seorang operator adalah beban waktu (*time load*), beban usaha mental (*mental effort load*) dan beban tekanan psikologis (*psychological stress load*). Rancangan ukuran RKU, Pendidikan dan training operator suatu reaktor daya jenis ABWR, tingkat otomatisasi, ukuran fasilitas kontrol dan display akan mempengaruhi tingkat keselamatan reaktor dan keandalan operator. Secara keseluruhan faktor keandalan operator jenis ABWR berdasarkan kriteria keahlian (*skill*), tingkat beban kerja (*workload*) dan rancangan RKU reaktor daya menunjukkan tingkat yang sangat baik sesuai kriteria standar ergonomi untuk masalah tugas-tugas operator ruang kendali berdasarkan NUREG/CR-2254, NUREG/CR-4016 dan NUREG-0835.

Abstract

The Evaluation of Operator Reliability Factors on Power Reactor. The Sophisticated technology system was not assured the reliability system itself because it has contained a part of human dependence. The operator reliability performance shown during taking their tasks. The operator performance affected successfully of reaktor operation either how their work smoothly and safe or failure occurred and then accident appears promptly. The evaluation of operator reliability factor on ABWR power reactor has been carried out which consist of criterion skill and workload according to NUREG/CR-2254, NUREG/CR-4016 dan NUREG-0835. The reactor operator reliability emphasize to the operator are synergic between skill and workload themselves. The employee's skill will affect to the type and level of their tasks. The operator's skill depend on education and experiences, position or responsibility of tasks, physical conditions (age, uninvalid of physic/mental

Pendahuluan

Keandalan pengoperasian suatu reaktor daya akan tergantung pada keandalan operator dan disain sistem peralatan. Untuk itu diperlukan suatu tatanan, manajemen, antaramuka, pendidikan, pelatihan diharapkan dapat memelihara dan meningkatkan kinerja operator. Reaktor secara umum merupakan tempat terjadinya interaksi antar reaktor dalam kondisi tertentu yang dikendalikan oleh manusia/operator. Kegagalan dan keberhasilan pengoperasian reaktor atau instalasi operasi selain diakibatkan oleh faktor rancangan instalasi/reaktor tersebut juga oleh peranan manusia sebagai pelaksana operasi. Keandalan manusia sebagai pelaksana operasi atau operator sangat berkaitan dengan keandalan peralatannya sendiri. Oleh karena itu kedua faktor tersebut merupakan parameter mutlak dalam sistem operasi reaktor.

Keandalan pengoperasian reaktor jika ditinjau dari segi operator merupakan sinergi antara keahlian (skill) dan beban kerja mental (mental Workload) operator. Kedua parameter ini sangat spesipik dan menentukan unjuk kerja operasi reaktor disamping itu parameter ini dapat diukur.

Operator dapat meningkatkan upaya kerjanya sesuai dengan tugas yang dibebankan tetapi tetap menjaga kinerjanya yang tinggi. Beberapa kajian menyatakan terdapat hubungan erat antara beban mental, perilaku dan pengukuran subyektif. Kenaikan volume kinerja akan mengisi porsi kegiatan mental antara lain proses informasi, pengambilan keputusan dan sistem pemantauan. Dalam hal ini kenaikan beban kerja mental berarti juga meningkatnya kegiatan fisik. Jika seorang operator mempunyai cadangan kapasitas mental yang kecil dalam kondisi beban kerja yang tinggi cenderung akan memberikan keputusan yang sulit dan tidak terkendali. Diduga ada keterkaitan antara beban mental operator dengan disain prosedur pelaksanaan kerja dan evaluator. Tetapi dengan berkembangnya teknologi komputer dan sensor maka sebgaiian besar peralatan yang dikendalikan oleh operator bersifat otomatis sehingga yang diterima oleh operator berupa displai. Beban kerja mental akan meningkat karena operator sistem informasi menjadi lebih sibuk, tombol yang sama dapat berfungsi ganda, selain menerima informasi operator juga harus memikirkan informasi apa yang diperlukan dan dimana harus ditampilkan. Seandainya terjadi kecelakaan maka akan tertuju kepada kesalahan manusia oleh karena itu dibutuhkan metoda yang andal efektif untuk mengukur beban kerja.

Teori

Keahlian dan Beban Kerja

Faktor keandalan operator terdiri dari keahlian (skill) dan beban kerja (workload). Keahlian (skill) meliputi : pendidikan (formal dan non formal), jabatan (tanggung jawab pekerjaan), kondisi jasmani (usia, tidak cacad fisik/mental, kesehatan dll), dedikasi (unsur pembinaan, disiplin dll) beban kerja (workload) meliputi : Beban waktu (jam kerja, jam istirahat, shift kerja, jenis pekerjaan, jumlah pekerjaan dll), beban usaha mental (mental effort load) : tingkat kesulitan pekerjaan, tingkat resiko pekerjaan, keragaman kerja, frekwensi pekerjaan dll. Beban tekanan psikologi (psychological stress load) : keharmonisan manajemen organisasi, keharmonisan lingkungan kerja, kesesuaian tugas (the right man on the right place), unsur keamanan kerja, unsur keselamatan kerja dll.

Perancangan Training Operator ABWR

Perancangan training operator ABWR merupakan upaya meningkatkan keahlian operator agar mampu mengoperasikan reaktor daya sesuai dengan prosedur. Training (pelatihan) dapat dilakukan secara berjenjang maupun berlangsung sesuai kebutuhan. Jenis pelatihan antara lain :

a Kursus Pelatihan Pemula

Ditujukan untuk semua keahlian (overall skill) dalam mengoperasikan RCU dengan materi kursus terdiri dari pelatihan simulator, kuliah-kuliah, observasi dan ujian. Kursus ini merupakan memperoleh kenaikan jabatan menjadi operator senior

b Kursus Penyelenggara

Ditujukan untuk memelihara keahlian (skill) operator senior dengan materi kursus terdiri dari : pelatihan simulator, kuliah-kuliah. Pelatihan ini merupakan peluang kenaikan pangkat menjadi Shift Supervisor

c Kursus individu jangka panjang

Ditujukan untuk peserta pemula menjadi Shift Supervisor

Jabatan	Standar Pengalaman Kerja	Training BTC
Peserta Pemula	1 Tahun	Pengantar Training untuk pekerja pemula
Operator alat Penunjang	10-13 Tahun	Kursus Training untuk pemula
Asisten Operator Senior	Tergantung kemampuan pengalaman dan	Kursus Penyelenggara
Operator Senior	Tergantung kemampuan pengalaman dan	Kursus Penyelenggara
Asisten Shift Supervisor	Tergantung kemampuan pengalaman dan	Kursus untuk operator senior
Shift Supervisor	Tergantung kemampuan pengalaman dan	Kursus untuk operator senior

BTC (BWR Training Course)

Lingkup training operator meliputi : pemula konstruksi, uji pra-operasi pada instalasi yang sebenarnya, operasi secara komersial pada instalasi yang sebenarnya. Sebagai sarasannya adalah operator senior dengan tujuan untuk meningkatkan keahlian (skill) manajemen operasi.

Materi yang diberikan berupa training simulator yang terdiri dari :

- Reaktor start-up dan shut down
- Training daur kecelakaan (accident recovery training) : kegagalan sistem komponen, kegagalan sistem kendali dan prosedur post scram

Interaksi Manusia Mesin

Mekanisme interaksi manusia dengan mesin dimulai dari mesin yang menyampaikan isyarat baik dalam keadaan diam, bekerja baik maupun bekerja buruk akan tertangkap oleh operator dengan inderanya. Isyarat tadi selanjutnya dilaksanakan sebagai keputusan disalurkan melalui tindakan-tindakan oleh anggota badan operator yang diarahkan pada mesin diteruskan ke pusat syaraf untuk ditafsirkan dan diputuskan, tindakan apa yang harus diambil. Tindakan ini selanjutnya diharapkan akan memberikan perubahan yang dipantau oleh indera melalui isyarat-isyarat yang mewakili perubahan tadi dan disiarkan oleh mesin kemudian ditangkap oleh indera. Demikian seterusnya berlangsung siklus interaksi antara operator dengan mesin (Gb.1)

Dari sini terlihat sejumlah kemungkinan dimana kesalahan manusia bersumber dari ketidakmampuan :

- Mesin menyampaikan atau menampilkan isyarat dengan baik
- Indera menangkap isyarat dengan baik
- Operator menafsirkan dengan baik
- Operator memutuskan dengan baik
- Anggota badan melaksanakan gerakan-gerakan kerja (pengendalian) sesuai dengan keputusan
- Mesin menerima gerakan-gerakan pengarah (pengendalian) dari anggota badan operator

Pada rantai interaksi manusia mesin diatas, terlihat faktor kesalahan manusia tidak hanya disebabkan oleh manusia itu sendiri tetapi juga berasal dari mesinnya. Mesin yang tidak dirancang dengan baik akan memiliki sifat-sifat seperti yang dinyatakan pada nomor 1 (sistem penampil/display) dan nomor 6 (sistem kendali atau kontrol) diatas dapat menimbulkan kesalahan manusia yang bukan

karena faktor manusianya melainkan kesalahan rancangan mesin (kesalahan manusia karena disain).

Interaksi manusia mesin (MMI) adalah antar muka antara staf operasi dan sistem instrumentasi serta sistem kontrol yang berhubungan dengan instalasi. Antar muka tersebut meliputi sistem display, kontrol dan antar muka sistem penunjang operator.

Sistem Alarm sebagai salah satu bentuk display harus memenuhi persyaratan antara lain:

- Mampu memberi tanda pada operator atas suatu kejadian abnormal.
- Mampu memberi petunjuk tindakan untuk mengantisipasi keadaan abnormal.

Kontrol adalah alat yang digunakan operator untuk mengirim sinyal yang di butuhkan pada pengendalian sistem dan instalasi. Sistem kontrol MMI harus memenuhi syarat sebagai berikut:

- Untuk meminimalkan kesalahan operator, pemindahan kontrol sebaiknya disesuaikan dengan populasi stereotype.
- Konsistensi/ketetapan harus dijaga untuk ketetapan warna, bentuk dan ukuran pengkodean, pengoprasian kontrol, serta susunan kelompok yang sama untuk kontrol-kontrol tersebut.

Sistem penunjang operator sebagai suatu sistem penunjang tugas pengolahan informasi mental operator berderajat tinggi, khususnya untuk operator di RKU. Sistem penunjang operator harus memenuhi persyaratan antara lain:

- Untuk menambah tingkat keselamatan instalasi dan keandalan pengoperasian, maka diperlukan fungsi penunjang operator seperti display, parameter keselamatan, dan fungsi diagnosis instalasi.
- Semua fungsi tersebut harus dirancang secara mudah, untuk digunakan dan terpadu terhadap peralatan reaktor lainnya pada RKU.

Tata kerja

Dalam melakukan penilaian keandalan operator reaktor daya jenis ABWR telah dilaksanakan dengan mengkaji berbagai sumber informasi antara lain yang berasal dari NUREG/CR-2254, NUREG/CR-0700, NUREG-0835 seperti yang tercantum dalam acuan.

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil kajian terhadap penilaian faktor keandalan operator jenis ABWR terdapat tiga hal yang dominan yaitu:

- Keahlian
- Beban kerja
- Rancangan RKU

(NUREG/CR - 2254, NUREG/CR 4016, NUREG-0835)

Keahlian (*skill*) merupakan kualifikasi yang sangat penting dalam menilai keandalan operator reaktor. Keahlian meliputi : pendidikan (formal dan non formal), jabatan (tanggung jawab pekerjaan), kondisi jasmani (usia, tidak cacat fisik/mental, kesehatan dll) dedikasi (unsur pembinaan, disiplin dll)

Beban kerja (*workload*) merupakan tugas dan tanggung jawab secara moral. Beban kerja meliputi : beban waktu (jam kerja, jam istirahat, shift kerja, jenis pekerjaan, jumlah pekerjaan dll), beban usaha mental (*mental effort load*) : tingkat kesulitan pekerjaan, tingkat resiko pekerjaan, keragaman kerja, frekuensi pekerjaan dll, beban tekanan psikologis (*psychological stress load*) : keharmonisan manajemen organisasi, keharmonisan lingkungan kerja, kesesuaian tugas (*the right man on the right place*), unsur keamanan kerja, unsur keselamatan kerja dll.

Peningkatan keahlian operator ABWR dapat dilakukan melalui pelatihan (*training*) yang mencakup pada :

- permulaan konstruksi
- uji pra-operasi pada instalasi yang sebenarnya, yaitu :
 - Reaktor Start-up dan Shut-down
 - Training daur kecelakaan (*accident recovery training*)
 - Kegagalan sistem komponen
 - Kegagalan sistem kendali
 - Prosedur post scram
- Operasi secara komersial pada instalasi yang sebenarnya.

Rancangan ukuran RKU, pendidikan dan training operator suatu reaktor daya, tingkat otomasi, ukuran fasilitas kontrol dan display akan mempengaruhi tingkat krselamatan reaktor dan keandalan operator. Kecakapan dari staf operator harus diverifikasi selama proses desain, melalui maket dan simulasi dinamik. Selama startup, shutdown, transien dan kondisi darurat RKU akan memerlukan jumlah personil yang lebih banyak. Jumlah maksimum operatind staff dan pengamat (tidak termasuk untuk maintenance) yang terdiri dari 1 orang Shift Supervisor (SRO), 1 orang Senior reactor operator, 3 orang reactor operator (RO), 1 orang technical advisor, 1 orang NRC observer, 1 orang plant owner management observer dan 1 orang communicator.

Kebutuhan operator dalam pengoperasian reaktor daya jenis ABWR antara lain :

- Tata letak panel kontrol pada RCU reaktor daya jenis ABWR memberikan unjuk kerja yang cukup baik bagi operator karena ruang kontrol utama telah dirancang secara ergonomis, sehingga memperkecil faktor kesalahan manusia. Pada rancang tata letak panel kontrol dan ruang kontrol perlu diperhatikan masalah kebutuhan operator per unit pada operasi normal, per unit pada operasi cadangan, kebutuhan ruang bebas dalam pusat ruang kontrol dan ukuran ruang kontrol utama.
- Sistem Display
 - Persyaratan umum sistem display dipenuhi oleh ABWR, antara lain :
 - Sistem displaynya konsisten dalam menganalisis keselamatan reaktor dan dengan memberikan informasi kondisi instalasi pada operasi normal, maupun pada kondisi kecelakaan.
 - Display dilengkapi dengan penunjukan secara langsung dari kondisi operasi suatu instalasi dan perlengkapannya
 - Tipe display dipilih berdasarkan tujuan masing-masing fungsi tertentu

Persyaratan rancangan sistem pemberitahuan suatu peringatan secara umum (NUREG-0700) antara lain : memberikan tanda adanya deviasi pada sistem dan proses kepada operator, menginformasikan arti dan sifat deviasi yang penting kepada operator, memberikan petunjuk langkah dini untuk menanggulangi deviasi kepada operator. Menegaskan apakah tanggapan operator telah mengeliminasi deviasi atau belum.

Persyaratan di atas diterapkan pada reaktor tipe ABWR yang dilengkapi dengan Otomasi Pengoperasian Instalasi sebagai perangkat pemberitahuan secara dini kepada operator dan tindak lanjut yang dilakukan oleh operator, antara lain :

1. Operator dapat memulai/menghentikan operasi secara otomatis setiap waktu.
2. Pengoperasian secara otomatis ke manual pada kejadian major plant upset (misalnya scram). Pemilihan operasi pasca scram rutin digerakkan secara otomatis pada sistem untuk mengurangi *operator burden*
3. Status pengoperasian setiap sistem monitor ada pada fungsi otomasi instalasi dan beralih ke manual jika terdeteksi ada kegiatan.

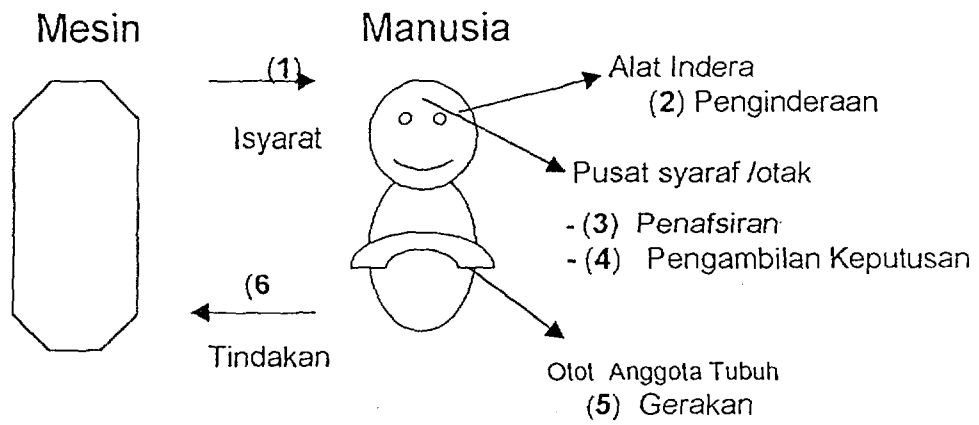
Kesimpulan

Faktor keandalan berdasarkan kriteria keahlian (skil) dan tingkat beban kerja yang dimiliki oleh operator daya jenis ABWR menunjukkan tingkat yang sangat baik.

Rancangan ukuran RKU, pendidikan dan training operator suatu reaktor daya, tingkat otomatisasi, ukuran fasilitas kontrol dan display akan mempengaruhi tingkat keselamatan r dan keandalan operator. Faktor-faktor di atas ditunjang oleh kondisi lingkungan kerja yang ergonomis seperti tekanan, vibrasi, kelembaban, suhu, suara, cahaya dan warna.

Daftar Acuan

1. Nuclear Regulatory Commission, "Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Application, NUREG/CR-1278", August 1983.
2. Nuclear Regulatory Commission, "Guidelines for Control Room Design Reviews", NUREG 700, Washington, September 1981.
3. Tang : "ABWR MMI Design Development Program, ABWR Main Control Room Design Development", GE Proprietary Information, 1991.
4. Barbara Jean Bell, Alan D. Swain : "Human Reliability Analysis for Nuclear Power Plants", Nureg/CR-2254 SAND81-1655 RX, AN Printed May 1983.



Gambar I. Interaksi Masnusia Mesin