

## PENTINGNYA HUMAN ENGINEERING PEMBANGKIT TENAGA NUKLIR

Iftikar Z. Satalaksana

Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Bandung

### PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi telah menghasilkan sangat banyak produk-produknya ke tengah kehidupan manusia sekarang. Di dalam kehidupan sehari-hari baik sebagai pribadi maupun dalam bentuk masyarakat, manusia sudah tidak lepas dari produk-produk teknologi yang diciptakannya sendiri. Reaktor nuklir adalah salah satu produk teknologi yang memiliki sifat-sifat demikian. Dan sebagaimana produk-produk lain pula, reaktor menyimpan potensi-potensi negatif di samping yang positif.

Salah satu sumber potensi negatif reaktor pembangkit tenaga listrik adalah kegagalan dalam mengamankan pengoperasiannya dari kebocoran yang menimbulkan bencana besar. Berbagai kejadian dalam pengalaman manusia hidup dengan reaktor - reaktor demikian mengisyaratkan bahwa betapa pun kecilnya suatu kesalahan pada pengoperasian reaktor, harus mendapat perhatian besar.

Di antara penyebab kesalahan pengoperasian setiap produk didapat kesalahan manusia. Berbagai penelitian menunjukkan besarnya faktor manusia berperan dalam kelancaran pemakaian produk. Memang kesalahan adalah manusiawi, tetapi penelitian lebih jauh menunjukkan bahwa kesalahan manusia banyak disebabkan oleh kesalahan rancangan produk. Ini menunjukkan bahwa "tidak manusiawinya" rancangan suatu produk berawal pada tahap perancangannya dan berakibat pada tahap pemakaiannya sebagaimana halnya juga pada perawatannya. Sekurang-kurangnya dua hal akan timbul dengan rancangan yang demikian yaitu kurang efektifnya produk menjalankan tugasnya dan adanya bahaya-bahaya yang dapat muncul setiap saat.

Dalam tulisan ini akan dibahas Human Engineering khususnya berkenaan dengan kesalahan kerja dalam meningkatkan efektifitas produk tersebut dan dalam menekan besarnya potensi negatif suatu produk ke tingkat yang serendah-

rendahnya. Pembahasan dalam kaitannya dengan reaktor nuklir dilakukan dalam suatu bab tersendiri dengan maksud menunjukkan pentingnya Human Engineering bagi pembangkit tenaga nuklir.

### INTERAKSI MANUSIA DENGAN PRODUK TEKNOLOGI

Manusia tampaknya merupakan satu-satunya makhluk yang mampu mengubah alam sehingga lebih sesuai dan semakin sesuai dengan kebutuhan hidupnya. Hal ini sudah berlangsung sejak awal peradaban manusia di mana teknologi mulai merupakan bagian dari kemanusiaan di saat manusia menemukan dan mengembangkan berbagai perkakas sebagai bagian dari usaha mempertahankan hidupnya. Perkakas-perkakas ini terus dikembangkan sehingga didapatlah peralatan dari berbagai jenis dengan berbagai kegunaan dan dengan tingkat kecanggihannya yang semakin tinggi.

Abad dua puluh ditandai oleh tak terhitung macam pelengkap hidup manusia yang tidak lagi semata-mata untuk memenuhi kebutuhan hidupnya sebagaimana pada awalnya, tetapi juga untuk memenuhi keinginan-keinginannya. Teknologi memang mampu menyediakannya. Dapatlah dikatakan bahwa saat ini produk-produk teknologi selalu berada bersama kita dimana pun berada. Bahkan di rimba raya perawan atau di tengah padang gurun yang jauh dari mana-mana, selama kita berpakaian, mungkin jam tangan atau sepatu atau ikat pinggang atau pisau hutan adalah produk teknologi yang kita hadapi. Ini semua juga menunjukkan intensitas interaksi antara manusia dengan produk teknologi semakin tinggi.

Di antara berbagai cara melihat karakteristik produk-produk teknologi mutakhir adalah dari kemampuannya. Produk-produk tersebut memiliki daya memenuhi keinginan manusia yang tinggi dan mempunyai berbagai kebolehan yang mungkin masih dalam abad ini juga hanya berada dalam khayalan

mustahil manusia, bahkan mungkin sampai beberapa tahun yang lalu terdhayalkan pun tidak. Di samping itu (pada saat yang sama) produk-produk teknologi berpotensi negatif. Sebuah pabrik bisa menghasilkan pupuk atau pestisida, tetapi juga menimbulkan pengrusakan lingkungan bahkan secara langsung bisa membunuh seperti yang terjadi dengan pabrik Union Carbide di Bhopal, India. Alat-alat angkut masa kini dengan mudahnya menerbangkan orang dari satu ujung dunia ke penjuru yang lain dalam waktu singkat sehingga meningkatkan persaudaraan antar bangsa. Tetapi pesawat yang sama dapat dialih fungsikan menjadi pesawat pengangkut bom penghancur. Bahkan sambungan kabel yang dapat menerangi seisi rumah dengan cerah bisa pula mematikan anak kecil yang tanpa sadar memakainya. Karena hal-hal semacam itulah teknologi kerap kali diibaratkan sebagai pedang bermata dua, pedang democles.

Persoalannya bukanlah memilih mata pedang yang mana, yaitu apakah teknologi akan kita pakai untuk menghasilkan produk yang bermanfaat atau bermudarat. Karena pada hal demikian pilihannya sudah jelas : untuk meningkatkan taraf hidup manusia.

Permasalahannya justru terletak pada kenyataan bahwa hal-hal yang negatif yang dapat ditimbulkan produk teknologi sama-sama bersarang di dalam produk yang sama dengan hal-hal yang positif, dan muncul pada setiap kesempatan yang memungkinkan walaupun teknologi diniati untuk hal-hal yang bermanfaat bagi kemanusiaan. Keadaannya adalah sedemikian sehingga usaha menghindari dari yang negatif juga menyingkir dari yang positif.

Dengan lain perkataan, untuk setiap produk yang dibuat, pembuatnya menyediakan sekaligus dua hal : yang baik dan yang tidak. Hal ini ternyata merupakan sifat alami. Dan ternyata pula produk-produk teknologi dan persoalannya berada pada manusia sendiri, yang berteknologi, membuahakan produk-produknya dan memakainya. Namun demikian hal ini bukan tidak bisa diatasi sama sekali. Faktor manusia dapat dipelajari dan karenanya akibat-akibat negatif yang bisa timbul dapat ditekan serendah mungkin dan tidak menimbulkan kerugian-kerugian yang tidak perlu.

Disinilah masuknya peranan Human Engineering, suatu disiplin keilmuan yang mempelajari kemampuan manusia dalam menghadapi lingkungannya termasuk produk-produk teknologi yang ditanganinya.

## HUMAN ENGINEERING

Human Engineering (HE) adalah suatu cabang keilmuan yang mempelajari kemampuan manusia berinteraksi dengan lingkungannya. Dalam berbagai penerapan, kata lingkungan sering sekali diartikan sebagai pekerjaan atau lebih spesifik lagi diartikan sebagai benda-benda buatan manusia dan lingkungan fisik nirhayati yang dipakai atau dihadapi manusia dalam pekerjaannya. Yang dibahas disini sesuai dengan judul tulisan adalah HE dalam pengertian yang disebutkan terakhir. Dengan demikian HE didefinisikan sebagai cabang keilmuan yang mempelajari kemampuan manusia berinteraksi dengan benda-benda buatan manusia dan lingkungan fisik nirhayati di tempat kerjanya.

Meskipun dengan pengertian yang lebih terbatas semacam itu, HE bertempat terapan sangat banyak mulai dari kantor direktur sampai ke ruang generator listrik, mulai dari lantai pabrik sampai ke meja sekretaris. Namun interaksi-interaksi yang terjadi antara manusia dengan pekerjaannya pada tempat-tempat tersebut memiliki karakteristik-karakteristik yang sama yang dapat digambarkan dengan skema seperti pada gambar-1 dengan penjelasan sebagai berikut :

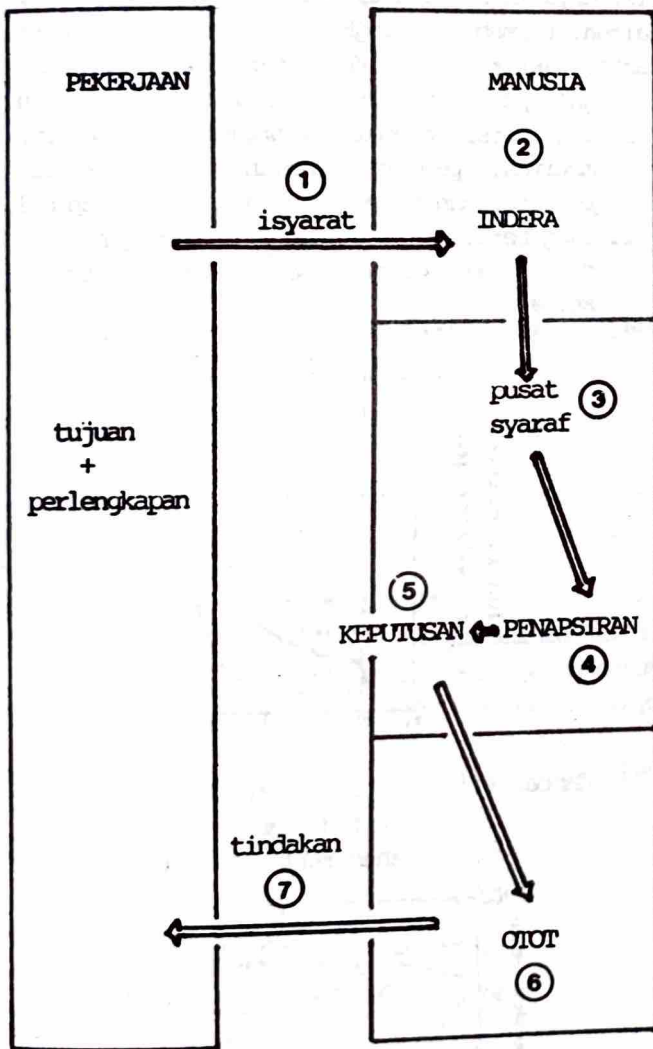
1. Pekerjaan, sesuai dengan sifat-sifatnya, menyampaikan isyarat pada manusia tentang keadaan pekerjaan tersebut pada suatu saat.
2. dan 3. Isyarat ini diterima oleh indera-indera pekerja yang relevan dan dikirimkan ke pusat syaraf.
4. Oleh pusat syaraf, isyarat tersebut ditafsirkan artinya.
5. Keputusan yang dianggap tepat diambil.
6. Otot-otot yang relevan digerakkan untuk mengejawantahkan keputusan dalam bentuk tindakan.
7. Tindakan berefek pada pekerjaan yang mengakibatkan perubahan pada keadaan pekerjaan.

Maksud dari penangkapan isyarat sampai diambilnya tindakan oleh manusia tiada lain untuk mengatur, memelihara, mengendalikan pekerjaan sehingga berada pada keadaan yang diharapkan sesuai dengan misi pekerjaan yang bersangkutan. Jika setelah pengambilan suatu tindakan keadaan pekerjaan belum sesuai dengan yang diharapkan, isyarat-isyarat yang ditimbulkan keadaan tersebut ditangkap lagi oleh pekerja (manusia). Ditafsirkan, diputuskan dan diambil tindakan lagi yang diharapkan dapat memperbaiki keadaan.

Proses berputar ini berjalan terus selama pekerjaan berlangsung.

Jika suatu pekerjaan direpresentasikan oleh sebuah mesin maka didapat sistem manusia-mesin. Isyarat-isyarat yang disampaikan mesin adalah keadaannya, misalnya kecepatan putar poros atau temperatur dalamnya. Pekerja akan menafsirkan isyarat ini dan dengan merujuk pada misi penugasannya dia mengetahui apakah mesin berada keadaan semestinya. Jika tidak, dia akan memutuskan tindakan apa yang harus dilakukannya untuk melepaskan keadaan mesin.

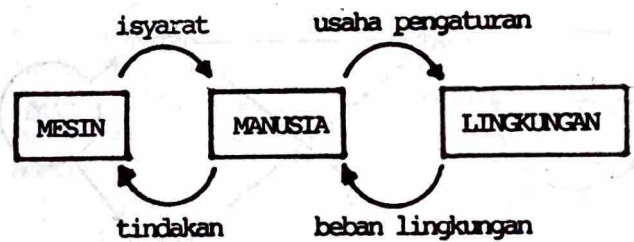
Misalnya dengan meningkatkan kecepatan putar atau mematikan mesin jika dianggap berbahaya. Jika ya, dia akan menjalankan usaha-usaha untuk membuat mesin tetap pada keadaannya.



Gambar 1 : Interaksi antara manusia dengan pekerjaannya

Apa yang mampu dilakukan oleh manusia dalam menghadapi mesin (pekerjaannya) banyak dipengaruhi oleh keadaan lingkungannya seperti suhu tempat bekerja, kelembaban, pencahayaan, kegaduhan, getaran, kebersihan udara, dll. Jika mesin dengan segala perangkat kelengkapannya adalah obyek-obyek fisik (buatan) pekerjaan, maka berdasarkan definisi HE di atas, suhu pencahayaan dan lain-lain adalah lingkungan pekerjaan yang nirhayati. Maka sistem dari itu semua dapat dilukiskan dengan skema seperti pada gambar-2.

Suatu kenyataan penting pada sistem ini manusia pekerjaan adalah bahwa pekerja (manusia) tidak lepas dari kelemahan-kelemahannya dalam menerima isyarat, memrosesnya dan dalam tindakan-tindakannya, serta sangat peka terhadap keadaan lingkungannya. Keadaan ini terwujud dalam apa yang disebut Human Error atau Kesalahan Kerja. Masalahnya adalah bahwa kesalahan kerja sangat besar pengaruhnya pada efektifitas mesin dan pada keselamatan kerja. Kesalahan kerja adalah salah satu pusat perhatian Human Engineering.



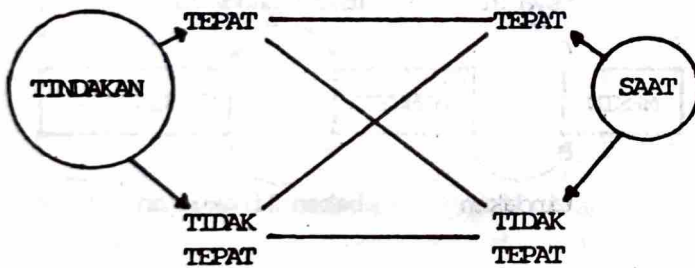
Gambar -2 : Sistem manusia - pekerjaan

Teknologi yang semakin maju seperti yang berjalan sekarang ini menghadapkan manusia pada produk-produk yang semakin canggih, Manusia kini bukanlah yang dahulu hanya berurusan dengan cangkul atau menjadi sais gerobak sapi saja. Tetapi manusia yang sudah bergaul dengan komputer, panil-panil yang rumit, radar, pesawat angkasa, dll. Namun keunggulan teknologi tidak menjadikan lahan kerja berkurang dengan sendirinya. Setiap produk teknologi baru membawa karakteristiknya masing-masing : sebagian belum dikenal perilakunya dalam beinteraksi dengan manusia, sebagian lagi mengulang yang lama, yang tetap membuka peluang bagi kesalahan kerja untuk muncul. Mengingat pentingnya persoalan kesalahan kerja, maka hal ini akan dibahas terlebih dahulu sebelum membicarakan peran HE dalam mengatasinya.

KESALAHAN KERJA

Seorang pekerja dikatakan menjalankan tugasnya dengan baik jika untuk suatu keadaan dia mengambil tindakan yang tepat pada saat yang tepat. Jika ketidak tepatan terjadi pada salah satu atau keduanya dari tindakan atau saat, maka timbulah kesalahan kerja yaitu seperti yang tergambarakan dengan garis-garis tebal pada gambar-3. Kesalahan kerja adalah suatu hal yang manusiawi; kita tidak dapat mengharapkan hadirnya seorang pekerja yang sempurna (perfect, infallible operator) di pekerjaan manapun. Gambar-gambar 4 s/d 7 memberikan berbagai gambaran ihwal kesalahan kerja. Gambar-5 memperlihatkan bagaimana karakteristik isyarat dan waktu memainkan peranannya.

Jika kita memperlakukan manusia dan mesin masing-masing sebagai suatu komponen yang independen satu dari lainnya di dalam sistem manusia-mesin, maka keandalan sistem tersebut secara keseluruhan sebagai fungsi dari keandalan kedua komponennya ditunjukkan pada gambar-6. Gambar -7 memperlihatkan andil kesalahan kerja pada kegagalan-kegagalan berbagai sistem buatan.



Gambar-3 : Terjadinya kesalahan, jika salah satu atau keduanya dari tindakan dan saat tidak tepat.

Masih banyak gambar atau informasi lain yang dapat juga dikemukakan disini, tetapi seperti telah diperlihatkan pada gambar-gambar di atas semuanya menunjukkan bahwa besarnya kesalahan kerja dipengaruhi oleh banyak faktor. Pada gilirannya, kesalahan tersebut turut menentukan keandalan sistem manusia-mesin.

Kesalahan kerja hanyalah suatu yang tampil ke permukaan sebagai akibat dari tidak sempurnanya proses berputar : penyampaian isyarat, penerimaan dan penafsirannya lalu pengambilan keputusan dan tindakan, dalam model yang diperlihatkan pada gambar-1. Secara ringkas dapat dinyatakan

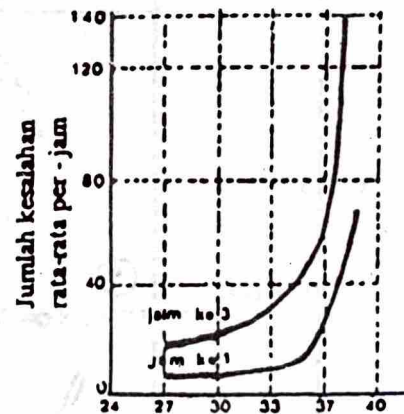
kan bahwa letak kesalahan terjadi pada proses masukan, proses pengolahan dan/atau proses keluaran (MOK). Artinya kesalahan dapat timbul sejak penginderaan isyarat (misalnya angka 4 tertangkap sebagai 7), pada pengolahannya (angka 7 dianggap tidak membahayakan padahal sebaliknya) atau pada pengambilan tindakannya (gerakan tangan bermaksud menekan tombol merah tetapi yang tertekan tombol lain).

Penyebab gaagalnya rantai MOK berfungsi dengan baik dapat dikelompokkan pada dua sumber:

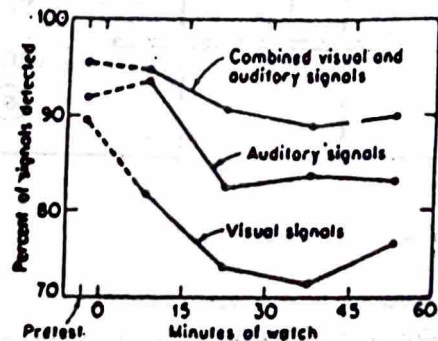
1. Kesalahan manusianya
2. Kesalahan pada rancangan dari pekerjaannya.

Meskipun dalam beberapa hal antara keduanya tidak selalu dapat dipisahkan secara jelas, kesalahan manusia dimaksudkan sebagai yang bersumber dari orangnya itu sendiri seperti bekerja lamban karena sedang tidak sehat dan tidak memiliki daya ingat yang tinggi dan lain sebagainya. Hal-hal tersebut seringkali disebut juga sebagai faktor-faktor diri. Kesalahan pada rancangan (design) pekerjaan terdiri dari dua macam yaitu

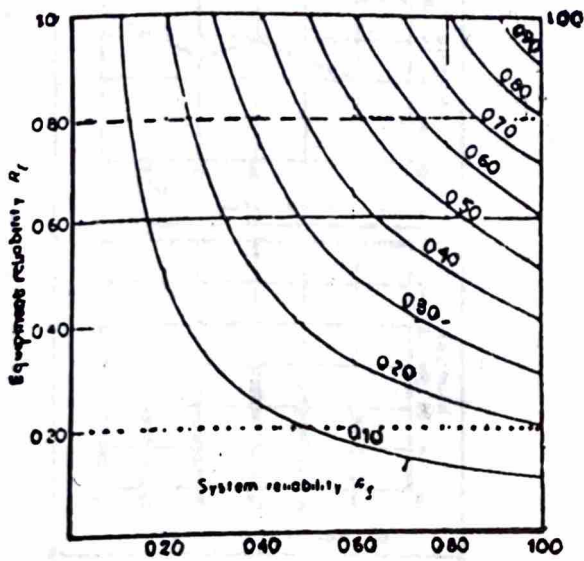
1. Yang bersifat sosial keorganisasian seperti motivasi, pengorganisasian kerja, kejelasan prosedur dan petunjuk kerja, pengawasan dll.
2. Yang bersifat fisik seperti rancangan mesin dan peralatannya, serta kondisi tempat kerja



Gambar 4 : Hubungan antara temperatur efektif dengan jumlah kesalahan rata-rata per jam.



Gambar 5 :



Gambar 6 :

Bab berikut ini akan membahas beberapa hal tentang suatu segi dari Human Engineering yang mempelajari masalah-masalah kesalahan kerja.

#### KESALAHAN KERJA DALAM HUMAN ENGINEERING

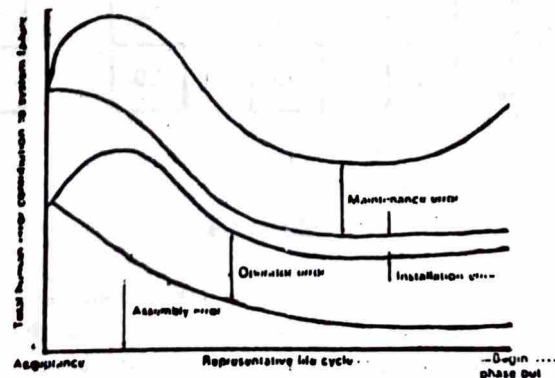
Tujuan human engineering adalah untuk memperoleh pengetahuan tentang manusia dan interaksinya dengan pekerjaannya dengan maksud memantulkannya untuk merancang Sistem Kerja yang terdiri dari manusia, mesin dan peralatan kerja, bahan dari lingkungan kerja sehingga didapat sistem kerja yang mampu menjalankan misinya dengan aman, nyaman, efektif dan efisien. Adanya kesalahan kerja jelas merupakan penghalang terwujudnya sistem kerja demikian karena misalnya, kesalahan melakukan tindakan yang tepat pada saat yang tepat dimanapun letak kesalahannya pada rantai MOK, dapat menyebabkan rusaknya mesin yang berarti mengurangi efektifitas mesin. Dalam keadaan yang lebih buruk kesalahan tersebut dapat juga menimbulkan kecelakaan. Pada gilirannya kenyamanan kerja menjadi kurang dan di ujung dari semuanya itu adalah rendahnya efisiensi sistem kerja tersebut. Karena hal-hal semacam itu, masalah-masalah kesalahan kerja mendapatkan tempat khusus dalam HE, bahkan dalam hazanahnya berkembang apa yang disebut sebagai Error Human Engineering.

Sehubungan dengan ini HE mempelajari berbagai aspek kesalahan kerja baik dari sumber-sumber penyebabnya pada rantai MOK maupun cara-cara penanggulangannya. Untuk yang pertama dipelajari antara lain dengan Vigilance Theory (M), Search Theory (M,K), Signal Detection Theory (M,K), Information Theory (M,K), Psychophysiology (M,O,K), Cybernetics (M,O,K), Faal kerja (K), Biomekanika (K) dan Antropometri (K). Untuk penanggulangannya dikaji secara khusus hal-hal yang berkenaan dengan perancangan display, alat kendali, tata letak tempat kerja (workplace layout), pengaturan lingkungan tempat kerja, dll. Sebagai contoh, pada Gambar-gambar 8 s/d 10 ditunjukkan berbagai rancangan display dan pada Gambar-gambar 11 s/d 13 diperlihatkan berbagai rancangan alat kendali, semuanya dengan gambaran kesalahan kerjanya.

#### HUMAN ENGINEERING DAN REAKTOR NUKLIR

Dilihat secara Sistem Manusia-mesin, reaktor nuklir adalah suatu bentuk mesin yang memerlukan penanganan manusia untuk pengoperasiannya dalam berbagai tahapan prosesnya. Ini berarti tidak berbeda dengan sistem-sistem manusia-mesin lainnya yang terbuka untuk terjadinya kesalahan kerja. Perbedaannya terletak pada resiko yang dapat terjadi dan harus ditanggung jika ada kesalahan kerja. Peristiwa-peristiwa di Three Mile Island, Amerika Serikat, ditahun 1979 dan di Chernobyl, Uni Soviet, belum lama ini, cukup memberi bayangan tentang hal tersebut.

Bahkan salah seorang dari lima anggota NRC (Nuclear Regulatory Committee, Amerika Serikat) menyatakan bahwa suatu kejadian di Amerika Serikat seberat Chernobyl dapat diharapkan (bahasa Inggris : expected) terjadi dalam 20 tahun mendatang.

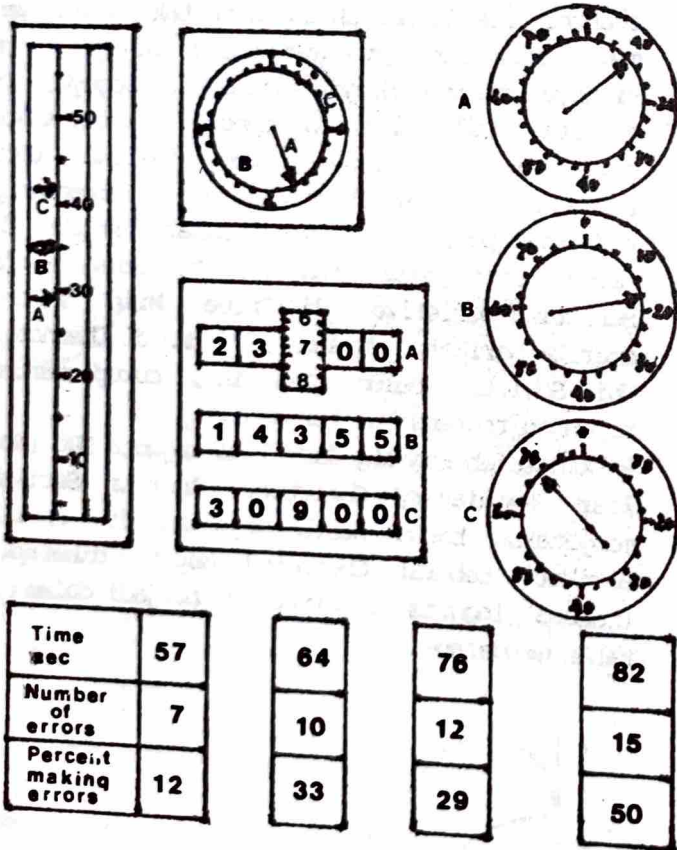


Gambar 7 : Total human error contribution to system failure

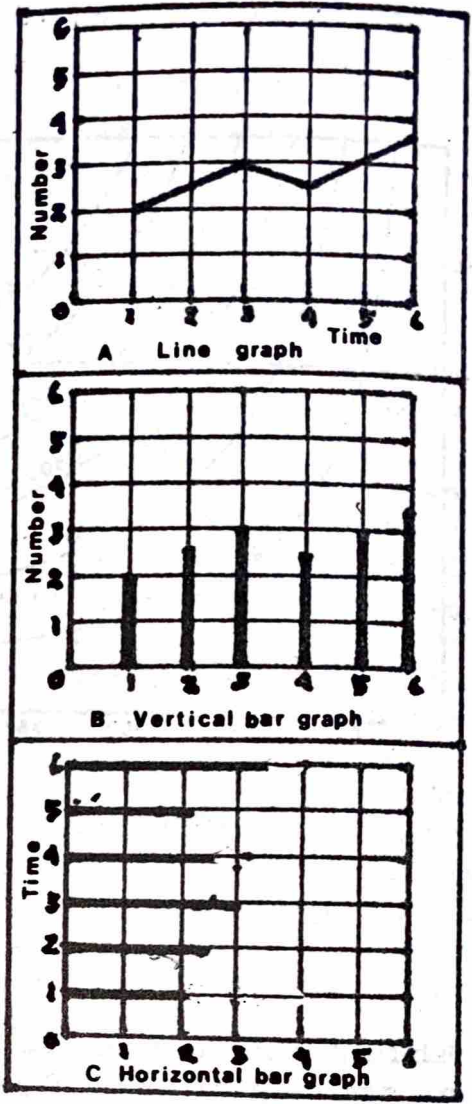
VISUAL DISPLAY

Type of numeral	EXAMPLES	Number of errors
NAMEL	<b>345</b>	187
Sighted segment	<b>345</b>	391
Vertical segment	<b>345</b>	388

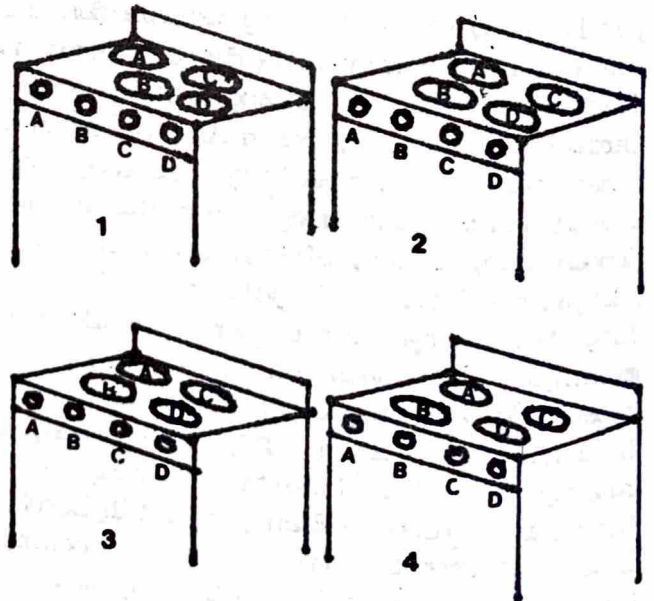
Gambar 8 :



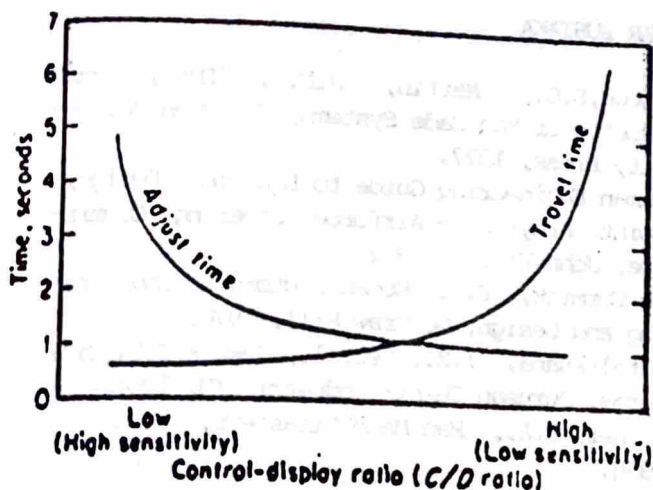
Gambar 9 :



Gambar 10 :



Gambar 11 :



Gambar 12 :

fungsinya alat ( seperti rusaknya sebuah komponen ) tetapi karena operator menekan alat kontrol yang salah sehingga saluran air pendingin tertutup. Persoalan-persoalan Human Engineering pada suatu pembangkit tenaga nuklir adalah sesuatu yang besar karena di samping risiko yang besar, andil kesalahan kerja juga besar. Studi yang dilakukan NRC menunjukkan bahwa besarnya andil kesalahan kerja berkisar antara sepertiga sampai setengah dari semua kejadian.

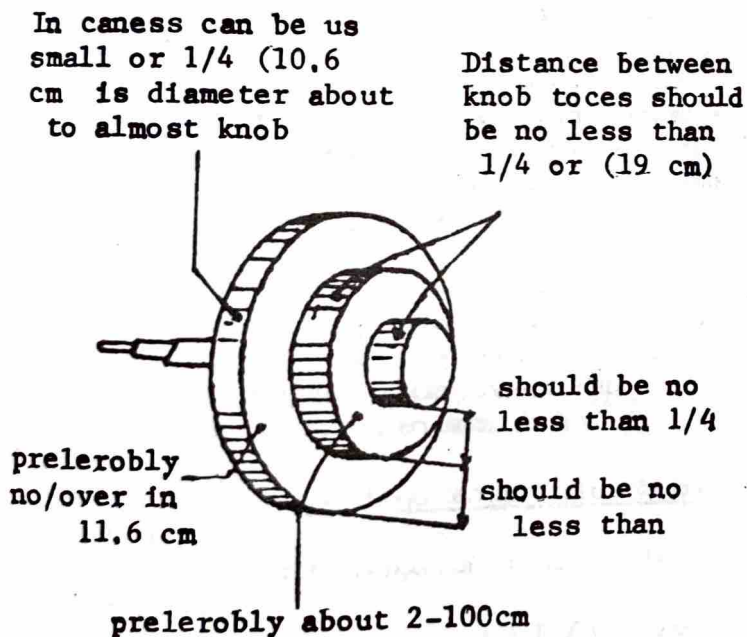
Jika disadari bahwa perancangan suatu produk juga dilakukan oleh manusia, maka perancangan perangkat reaktor dengan segala alat-alat besar dan kecil yang mendukungnya juga tidak lepas dari faktor-faktor manusia. Pertama, berkenaan dengan pengetahuan dan penghayatan si perancang tentang Human Engineering dari produk yang dirancangnya. Kedua, sehubungan dengan kemampuan si perancang mengikutsertakan faktor-faktor manusia dalam rancangannya dan mewujudkannya dalam suatu rancangan yang utuh.

Sebagian dari kesalahan-kesalahan kerja yang terjadi, seperti pada peristiwa di Three Mile Island, disebabkan oleh rancangan produk yang tidak memiliki kompatibilitas tinggi dengan manusia yang menanganinya dalam tahap operasi. Karena itu, seorang perancang produk mempunyai peran yang besar dalam mengurangi risiko bahaya karena kesalahan kerja.

Rancangan produk juga besar pengaruhnya terhadap maintainability produk ybs. Sebagaimana halnya dengan produk-produk lain dimana kegagalan perawatan juga disebabkan oleh rancangan yang secara human engineering salah, maka perangkat keras pada reaktor pun terbuka untuk terjadinya kesalahan melalui jalur perawatan ini.

KESIMPULAN

1. Interaksi antara manusia dengan produk-produk teknologi berlangsung semakin tinggi baik dalam intensitas maupun kompleksitasnya. Menangani panel-panel canggih di suatu ruang kontrol jelas berbeda dengan menangani sebuah kapak. Reaktor nuklir adalah salah satu produk teknologi mutakhir.
2. Kesalahan kerja yang terjadi pada interaksi antara manusia dengan produk-produk teknologi bagaimanapun juga suatu hal yang alamiah. Pada reaktor nuklir, tidak seperti pada kebanyakan produk lainnya, kesalahan kerja yang terjadi dapat menimbulkan bencana besar bagi manusia.



Gambar 13

Di tengah kecanggihan produk teknologi pada suatu reaktor nuklir, kesalahan kerja (masih) merupakan bahaya yang selalu mengintai. Bencana Three Mile Island bukan karena kegagalan ber-

3. Kesalahan pada rancangan (design error) adalah salah satu sebab penting terjadinya kesalahan kerja. Karenanya rancangan yang baik hendaknya juga berarti memiliki kompatibilitas tinggi dengan manusia.
4. Human Engineering perlu mendapatkan tempat baik dalam tahap perancangan, pemakaian maupun perawatan untuk memperkecil bahaya-bahaya yang timbul karena kesalahan kerja.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Brown, S.C., Martin, J.N.T. (Eds), Human Aspects of Man Made Systems, The Open University Press, 1977.
2. Human Engineering Guide to Equipment Design, Joint Army-Navy-Airforce Steering Committee, John Willey, 1972.
3. Mc Cormick, E.J., Human Factors in Engineering and Design, Mc Graw Hill, 1976.
4. Sutalaksana, I.Z., et.al., Teknik Tata Cara Kerja, Jurusan Teknik Industri ITB, 1984.
5. Turner, B.A., Man Made Disasters, Wykeham, 1978.