

PENENTUAN KEBOLEHJADIAN KESALAHAN MANUSIA PADA PENGOPERASIAN SISTEM PENDINGIN KOLAM RSG GA SIWABESSY

Syarip *), M. Salman Suprawardhana *), Alim Tarigan **)

*) Bid. Reaktor, Pusat Penelitian Nuklir Yogyakarta - Badan Tenaga Atom Nasional

***) Bid. Operasi Reaktor, Pusat Reaktor Serba Guna Serpong - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

PENENTUAN KEBOLEHJADIAN KESALAHAN MANUSIA PADA PENGOPERASIAN SISTEM PENDINGIN KOLAM RSG GA SIWABESSY. Telah dilakukan suatu analisis untuk mengkuantifikasikan kebolehhjadian kesalahan manusia di dalam pengoperasian sistem pendingin kolam RSG GA Siwabessy. Tindakan operator dianggap terdiri dari tiga fase yaitu fase diagnosis (dan keputusan untuk bertindak), fase tindakan dan fase pemulihan (pulih kembali jika fase tindakan gagal). Kebolehhjadian kesalahan manusia atau operator dihitung dengan menggunakan metode pohon kejadian kesalahan manusia. Data yang digunakan di dalam analisis ini, diturunkan dari "Handbook for Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications" NUREG-1278. Hasil analisis menunjukkan bahwa besarnya kebolehhjadian kesalahan manusia pada pengoperasian sistem pendingin kolam RSG GA Siwabessy, bervariasi antara 10^{-2} sampai 10^{-4} .

ABSTRACT

HUMAN ERROR PROBABILITY QUANTIFICATION IN THE OPERATION OF REACTOR POOL COOLING SYSTEM OF RSG GA SIWABESSY. Quantification of human error probabilities in the operation of reactor pool cooling system of RSG GA Siwabessy, has been done. The operator action is modelled to consist of three phases: diagnosis (and decision to act), action and recovery (when the action phase fails). Human error probability (HEP) is calculated using human error event trees methods or Techniques for Human Error Rates Prediction or THERP. Data used in this analysis are derived from NUREG CR-1278, "Handbook for Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications". The analysis results show that the quantification of HEP in the system varies from 10^{-2} up to 10^{-4} .

PENDAHULUAN

Analisis kebolehhjadian kesalahan manusia atau analisis kesalahan manusia adalah suatu metode untuk memperkirakan dan mengkuantifikasikan kesalahan manusia. Metode analisis keandalan manusia yang sering digunakan pada umumnya di dalam studi keselamatan berdasarkan kebolehhjadian atau *Probabilistic Safety Studies* (PSA) untuk reaktor nuklir adalah *Techniques for Human Error Rate Prediction* atau THERP.

Di dalam makalah ini THERP digunakan untuk mengkuantifikasikan kesalahan manusia pada pengoperasian sistem pendingin kolam reaktor GA Siwabessy (RSG GAS). Walaupun sistem pendingin kolam tidak termasuk dalam sistem proteksi reaktor, namun pada akhirnya sistem ini harus bisa beroperasi dengan baik untuk memindahkan bahang peluruhan baik

dalam kondisi normal *shut-down* maupun darurat. Pengoperasian sistem pendingin kolam dinyatakan gagal apabila dalam interval waktu 10 jam operator gagal menghidupkan sistem pendingin kolam.

Untuk memperoleh hasil perhitungan yang konservatif, dipilih nilai kebolehhjadian kesalahan manusia atau *human error probability* (HEP) rerata dari distribusi lognormal. Hal ini berarti nilai median HEP pada sumber data yaitu NUREG CR 1278, diubah menjadi nilai HEP rerata.

DASAR TEORI

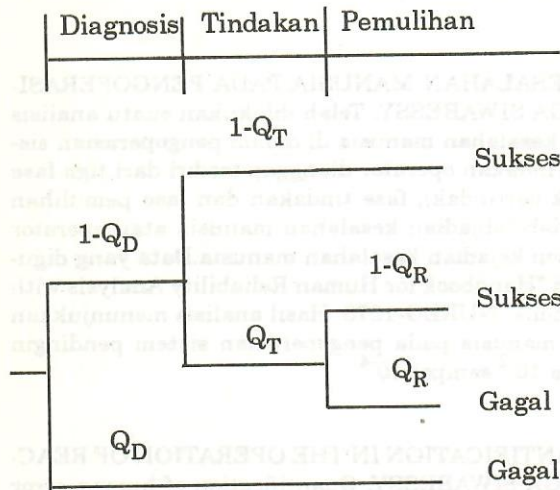
Model kebolehhjadian kesalahan manusia

Sesuai dengan THERP untuk mengkuantifikasikan kebolehhjadian kesalahan manusia maka dibuat suatu model. Dalam hal ini setiap

tindakan manusia atau operator dianggap terdiri dari tiga fase yaitu:

- a. fase diagnosis (dan keputusan untuk bertindak)
- b. fase tindakan
- c. fase pemulihan atau pulih kembali jika fase tindakan gagal

Pohon kejadian dari kesalahan manusia dilukiskan pada Gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Pohon kejadian kesalahan manusia

Jika kebolehjadian kegagalan untuk masing-masing fase adalah:

Q_D = kebolehjadian kegagalan dari fase diagnosis

Q_T = kebolehjadian kegagalan dari fase tindakan

Q_R = kebolehjadian kegagalan dari fase pemulihan

maka:

$$\text{Sistem gagal} = Q_D + (1 - Q_D)Q_TQ_R$$

$$\text{Sistem sukses} = (1 - Q_D)(1 - Q_T) + (1 - Q_D)(1 - Q_R)Q_T$$

Kebolehjadian kesalahan manusia (HEP) dihitung berdasarkan sistem gagal yaitu:

$HEP = Q_D + (1 - Q_D)Q_TQ_R$
 untuk kondisi tertentu $(1 - Q_D) = 1$, sehingga persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi:

$$HEP = Q_D + Q_TQ_R$$

Sumber data dan asumsi-asumsi

Sumber data dan asumsi yang diambil dalam analisis ini adalah sebagai berikut:

- a. Data-data HEP diturunkan dari NUREG CR-1278, *Handbook for Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications*.
- b. Selama fase diagnosis dianggap bahwa suatu tambahan atau bantuan operator dari luar ruang kendali (second crew) akan tersedia dalam waktu 5 menit.
- c. Selama fase tindakan dianggap tidak ada bantuan operator dari luar ruang kendali. Sedangkan pada fase pemulihan dianggap tersedia dua orang operator dengan dependensi yang cukup (moderat) diantara mereka, satu orang membaca juklak untuk keadaan darurat sementara operator kedua melaksanakan tindakan yang diperlukan.
- d. Operator dianggap telah terlatih dan berpengalaman dengan pengalaman lebih dari enam bulan.
- e. Tidak ada deviasi *stereotype*.
- f. Tingkat *stress* dari operator dianggap *moderately high stress*. Hal ini berarti nilai HEP dikalikan dengan faktor 2 untuk tugas-tugas bertahap dan dikalikan dengan faktor 5 untuk tugas-tugas dinamik.

Data-data kebolehjadian kesalahan manusia yaitu HEP median dari NUREG CR-1278 dikonversi menjadi HEP rerata dari distribusi kebolehjadian lognormal. Hasil konversi tercantum pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. HEP untuk kesalahan diagnosis (dari NUREG CR-1278 dengan tingkat stress moderately high)

Simbol	Waktu sesudah kejadian awal (menit)	HEP rerata
Q_1	30	$4,2 \times 10^{-3}$
Q_2	40	$2,0 \times 10^{-3}$
Q_3	60	$8,8 \times 10^{-4}$
Q_4	1500	$8,8 \times 10^{-5}$

Sebagai contoh mengkonversi HEP median menjadi HEP rerata adalah sebagai berikut:
 - Dari Tabel 2 pada tabel NUREG CR-1278, 13-3, kesalahan komisi dalam mengoperasikan sistem kendali manual atau salah memilih kendali pada panel yang terdiri atas susunan panel atau deretan kendali yang

Tabel 2. HEP untuk kesalahan tindakan operator

Simbol	Uraian	Tabel NUREG-1278	HEP rerata
Q5	Kesalahan omisi	15 - 3	$7,2 \times 10^{-3}$
Q6	Kesalahan komisi	13 - 3	$2,2 \times 10^{-3}$
Q7	Kesalahan baca-catat	11 - 3	$3,0 \times 10^{-2}$
Q8	Kesalahan baca-periksa	11 - 4	$2,4 \times 10^{-3}$
Q9	Gagal menanggapi <i>annunciator</i> jika terjadi <i>alarm</i>	11 - 13	$1,3 \times 10^{-2}$

serupa adalah HEP = 0,001 dengan faktor kesalahan (error factor) EF = 3.

- Nilai HEP = 0,001 adalah nilai median untuk 5 - 95% *confident limit* dengan faktor kesalah-

lahan atau batas ketidakpastian EF = 3, berarti :

$$\text{batas atas } u = 0,001 \times 3 \times 95\% = 2,85 \times 10^{-3}$$

$$\text{batas bawah } l = 0,001/3 - (0,001/3 \times 5\%) = 3,13 \times 10^{-4}$$

$$\text{- HEP rerata} = \frac{10^u - 10^l}{(u - l) \ln 10} = 1,1 \times 10^{-3}$$

untuk *moderately high stress*:

$$\text{- HEP rerata} = 2 \times 1,1 \cdot 10^{-3} = 2,2 \times 10^{-3}$$

DISKRIPSI SISTEM PENDINGIN KOLAM REAKTOR GA SIWABESSY

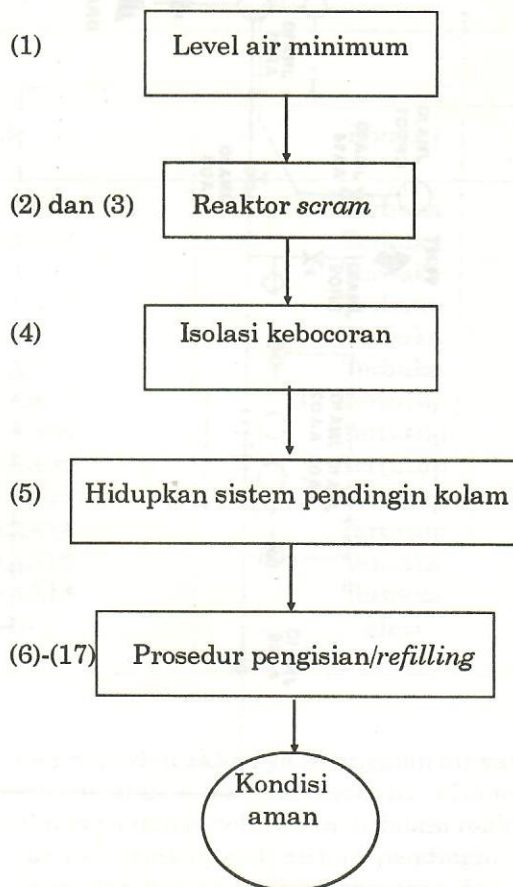
Sistem pendingin kolam merupakan bagian dari sistem pendingin teras reaktor GA Siwabessy yang berfungsi untuk membantu memindahkan panas sisa atau panas keseluruhan setelah reaktor *shut-down*. Pendinginan teras dilakukan dengan sistem pendingin primer dan pendingin sekunder. Dalam keadaan operasi normal sistem pendingin primer dan sekunder didisain mampu untuk mempertahankan integritas bahan bakar.

Sistem pendingin kolam reaktor dapat dioperasikan baik dari ruang kendali utama maupun dari ruang kendali darurat. Sistem pendingin kolam reaktor terdiri dari 3 buah rangkaian yaitu rangkaian JNA10, JNA20 dan

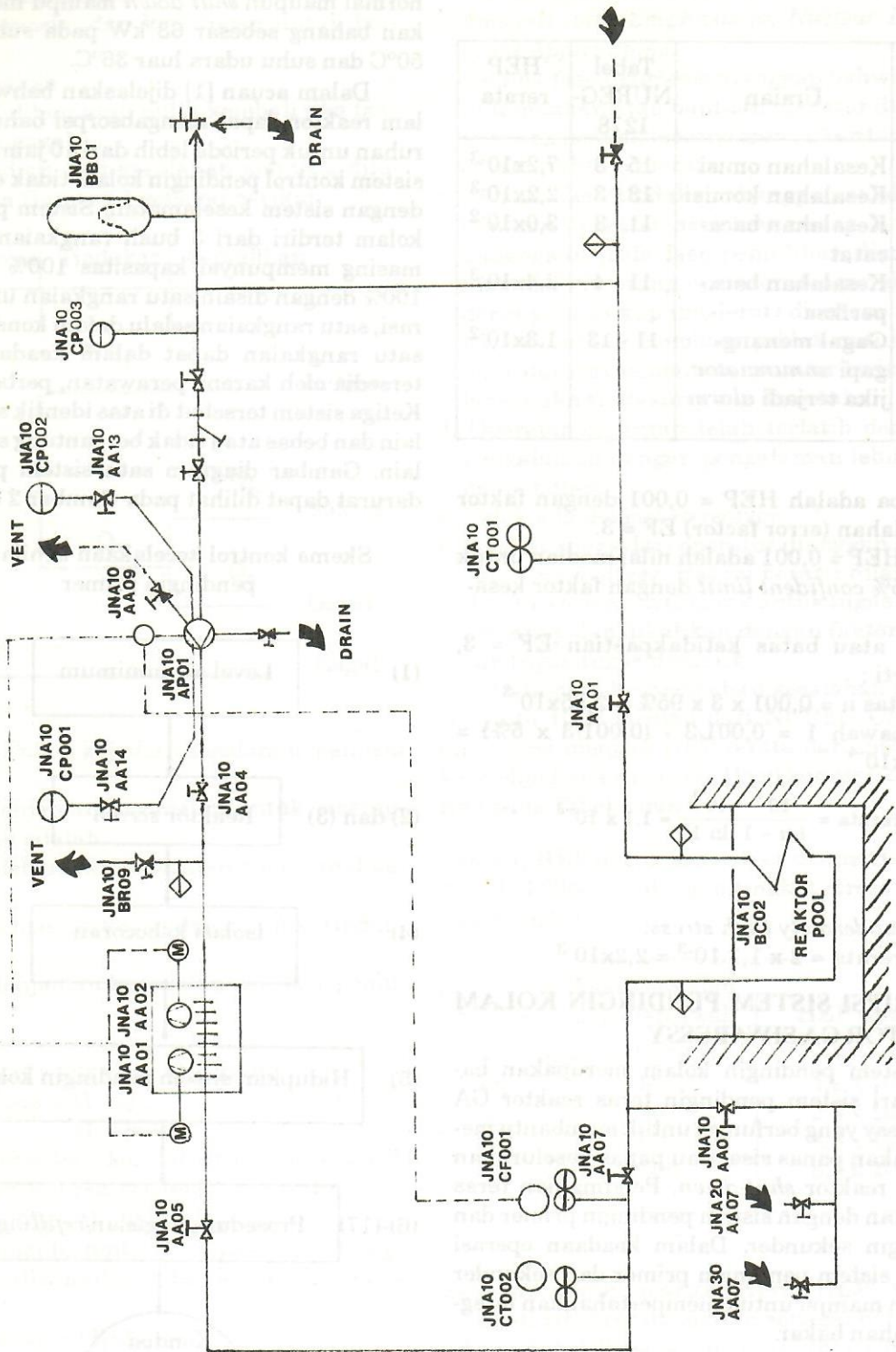
JNA30. Setiap sistem pendingin kolam reaktor normal maupun *shut down* mampu memindahkan bahang sebesar 63 kW pada suhu kolam 50°C dan suhu udara luar 36°C.

Dalam acuan [1] dijelaskan bahwa air kolam reaktor dapat mengabsorpsi bahang peluruhan untuk perioda lebih dari 10 jam sehingga sistem kontrol pendingin kolam tidak dikaitkan dengan sistem keselamatan. Sistem pendingin kolam terdiri dari 3 buah rangkaian masing-masing mempunyai kapasitas 100% atau 3 x 100% dengan disain satu rangkaian untuk operasi, satu rangkaian selalu dalam kondisi siaga, satu rangkaian dapat dalam keadaan tidak tersedia oleh karena perawatan, perbaikan dll. Ketiga sistem tersebut di atas identik satu sama lain dan bebas atau tidak bergantung satu sama lain. Gambar diagram satu sistem pendingin darurat dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3.

Skema kontrol kecelakaan kehilangan pendingin primer



Gambar 3. Skema kontrol kecelakaan dan *start up*



Gambar 2. MPR 30 - Sistem pendingin kolam

Sistem pendingin darurat terdiri dari rangkaian pompa, katup, penukar panas, *blower* dan berbagai alat ukur. Panil pengukuran laju aliran (JNA10 CF001, JNA20 CF001 dan JNA30 CF001) suhu JNA10 CT001, JNA10 CT002 diletakkan di ruang kendali utama dan ruang kendali darurat. Sedangkan panil pengukuran tekanan JNA10 CP001, JNA10 CP002 terdapat di ruang kendali utama. Bahang dari kolam reaktor yang diambil oleh sistem kolam pendingin di sekeliling dinding kolam melalui penukar panas JNA10-BC002, JNA20-BC002 dan JNA30-BC002 dibuang ke lingkungan dengan sistem pendingin JNA10-BC001, JNA20-BC001, JNA30-BC001 dan pompa JNA10-AP001, JNA20-AP001, JNA30-AP001 diletakkan di atas atap gedung reaktor. Semua komponen didisain tahan terhadap gempa bumi. Ringkasan data teknis komponen atau kondisi saat operasi dan pengesetan dasar dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4.

sistem pendingin. Dalam hal ini peristiwa yang memerlukan sistem pendingin kolam beroperasi dengan baik adalah peristiwa kehilangan pendingin primer (bukan kehilangan air) dan peristiwa kehilangan pelepas panas utama (*loss of main heat sink*). Diagram alir dari kedua peristiwa tersebut dan bagaimana peranan dari sistem pendingin kolam disajikan pada Gambar 2.

Peristiwa atau kejadian tersebut di atas yang diperkirakan mungkin terjadi sesuai dengan skenario seperti yang diuraikan pada pustaka [2] yaitu kecelakaan dalam batas-batas disain. Skenario tersebut meliputi kejadian awal kebocoran di luar *valve chamber*, kebocoran antara kolam dan katup isolasi primer, dan berkurangnya air pendingin yang diakibatkan oleh kegagalan. Terjadinya kebocoran antara kolam reaktor dan sistem katup isolasi primer, mengakibatkan level ketinggian air kolam turun, reaktor akan *scram* secara otomatis, pompa pri-

Tabel 3. Daftar kondisi/status komponen sistem pendingin kolam

Operasi dengan sistem JNA10		
Sistem/komponen	Kode	Kondisi
Katup setelah HE BC02	JNA10 AA01	Terbuka
Katup sebelum filter	JNA10 AA02	Terbuka
Katup sebelum pompa	JNA10 AA03	Terbuka
Katup sesudah pompa	JNA10 AA04	Terbuka
Katup sesudah HE BC01	JNA10 AA05	Terbuka
Katup sesudah HE BC01	JNA10 AA06	Terbuka
Katup penguras	JNA10 AA07	Tertutup
Katup pengisi	JNA10 AA08	Tertutup
Pompa katup pembuang udara	JNA10 AA09	Tertutup
Pompa katup penguras	JNA10 AA10	Tertutup
Katup pembuang udara	JNA10 AA11	Tertutup
Katup sebelum indikator P	JNA10 AA13	Terbuka
Katup sebelum indikator P	JNA10 AA14	Terbuka
Saklar	JNA10	Mati

ANALISIS DAN KUANTIFIKASI KESALAHAN MANUSIA

Kuantifikasi kebolehjadian kesalahan manusia atau operator pada sistem pendingin kolam, ditentukan berdasarkan skenario terjadinya beberapa peristiwa kejadian awal pada

mer mati dan akhirnya ketinggian air yang masih ada di dalam kolam mencapai +7,5 m. Pada akhirnya panas peluruhan di dalam reaktor harus didinginkan oleh sistem pendingin kolam. Demikian halnya untuk kebocoran dan berkurangnya air pendingin akibat kegagalan katup.

Tabel 4. Daftar pengesetan dasar

Operasi dengan sistem JNA10		
Sistem/komponen	Kode	Pengesetan
Pompa pengatur aliran	JNA10 CF001	28 m ³ / h
Kontrol tekanan/pembuang	JNA10 CP01	> 1,5 bar
Kontrol pengisap tekanan	JNA10 CP02	> 0,5
Kontrol suhu	JNA10 CT002	< 45 °C
Kontrol suhu	JNA10 CT001	> 20 °C < 60 °C
Kontrol suhu	JNA10 CT003	> 20 °C < 60 °C
Keadaan alarm :		
Laju aliran terlalu rendah	JNA10 CF001 <i>low</i>	20 m ³ / h
Suhu terlalu tinggi	JNA10 CF001 <i>high</i>	45 °C

Jika sistem pendingin kolam diperlukan untuk beroperasi maka terjadi urutan operasional sebagai berikut:

- kondisi sistem katup harus sesuai dengan pengesetan dasar (lihat Tabel 3).
- untuk sistem operasi JNA10, lakukan *check list*:
 - periksa tekanan JNA10 CP001 >0,5 bar
 - saklar JNA10, nyala
 - periksa aliran JNA10 CF001, 28 m³/jam
 - periksa tekanan JNA10 CP002 >0,5 bar
- untuk mematikan JNA10, saklar JNA10 mati.

Dalam hal terjadi kelainan pada laju aliran atau suhu air dari sistem pendingin kolam yang melebihi batas yang telah ditetapkan maka akan terjadi alarm di ruang kendali utama (RKU). Apabila kontrol aliran JNA10 CF001 lebih kecil dari 20 m³/jam akan terjadi alarm di RKU, operator bertindak menghentikan dengan (released) melalui tombol indikator aliran JNA10 CF001. Konsekuensinya pompa JNA10 AP01 mati. Langkah berikutnya adalah operator memindahkan sistem JNA10 atau JNA30 dan memeriksa posisi katup-katup sesuai dengan daftar pengesetan dasar (lihat Tabel 3 dan 4). Kemudian memeriksa tekanan pada sistem melalui indikator CP001 dan CP002 > 0,5 bar, jika diperlukan tambahkan air dan *venting* atau mengeluarkan udara dari sistem.

Demikian pula apabila suhu pada JNA CT002 terlalu tinggi yaitu >45°C akan terjadi alarm di RKU. Tindakan operator adalah menghentikan alarm / *released* indikator suhu JNA

CT002, dalam hal ini tidak ada konsekuensi terhadap sistem. Langkah selanjutnya operator memindahkan sistem JNA10 ke sistem JNA20 atau JNA30. Memeriksa kondisi operasi dari *blower* AN01 dan AN02, memeriksa tekanan sistem dan jika diperlukan menambah air dan *venting*.

Berdasarkan skenario dan uraian di atas maka pada sistem pendingin kolam RSG GA Siwabessy hanya ada dua kemungkinan jenis kesalahan manusia, yaitu:

1. Kegagalan menempatkan kembali komponen-komponen pada posisi yang benar sesudah pengujian dan pemeliharaan.
2. Kegagalan di dalam melaksanakan tindakan yang harus dikerjakan selama misinya (khususnya kegagalan di dalam melakukan tugas memeriksa dan menjaga kondisi operasi sistem/ penambahan air dan *venting*).

Oleh karena sistem pendingin kolam selalu diuji pada jalur utama artinya di dalam *check list* untuk *start up* reaktor, sistem pendingin kolam harus dioperasikan/*stand by*, maka setiap kesalahan menempatkan kembali komponen-komponen pada posisi yang benar sesudah pengujian dan pemeliharaan dapat dengan mudah dikoreksi. Sehingga kesalahan jenis pertama tersebut di atas dapat diabaikan. Untuk suksesnya sistem pendingin kolam akhirnya diperlukan tindakan operator untuk melaksanakan tugas pemeriksaan/baca periksa dan melakukan *venting* serta penambahan/pengisian air dalam sistem tersebut apabila diperlukan, untuk menjaga kondisi operasi sistem.

Kuantifikasi kebolehjadian kegagalan tindakan operator tersebut di atas dapat ditentukan dengan mengambil asumsi sebagai berikut:

- Dua orang operator telah tersedia dan akan mengikuti prosedur yang telah ditentukan .
- Dalam prosedur darurat setiap langkah telah ditentukan.

Dengan asumsi tersebut maka dapat dipostulasikan bahwa kesalahan diagnosis dapat diabaikan, tetapi untuk perhitungan yang lebih konservatif diambil besarnya HEP diagnosis sesudah satu jam kejadian awal yaitu:

$$Q_D = 8,8.10^{-4} \text{ (} Q_3 \text{ pada Tabel 5)}$$

Tabel 5. Daftar *check-list* dari pengesetan dasar untuk pengisian sistem JNA10

Sistem/komponen	Kode	Kondisi
Pompa katup pembuang udara	JNA10 AA09	Terbuka
Katup pembuang udara	JNA10 AA11	Terbuka
Plug HE	-	Terbuka
Katup pengisi	JNA10 AA08	Terbuka
Jika air keluar dari katup pembuang udara :		
Pompa katup pembuang udara	JNA10 AA09	Tertutup
Katup pembuang udara	JNA10 AA11	Tertutup
Plug HE	-	Tertutup
Katup pengisi	JNA10 AA08	Throtle
Tekanan	JNA10 CP001	0,8 bar
Katup pengisi	JNA10 AA08	Tertutup
Hidupkan sistem dan tunggu 10 menit Matikan <i>vent</i> dan isi sampai 0,8 bar lagi		

Oleh karena dua orang operator yang terlibat dan dianggap *moderately dependence* maka:

$$Q_D = Q_3 \left(\frac{1 + 6 Q_3}{7} \right) = 1,26 \times 10^{-4}$$

Fase tindakan dapat dikuantifikasikan sebagai berikut:

- Menghidupkan sistem/saklar JNA10 nyala.
- Memeriksa /membaca kondisi pengesetan dasar dari kontrol laju aliran, kontrol tekanan dan suhu sesuai dengan kondisi seperti pada Tabel 4.

-Melakukan tugas pengisian air pada sistem dan *venting* jika diperlukan sesuai dengan urutan seperti yang tercantum pada Tabel 5. Kegagalan dari ketiga tindakan tersebut di atas memberikan 3 kesalahan omisi dan 3 kesalahan komisi yaitu (Tabel 2):

- 3 kesalahan omisi = $3 Q_5 = 2,2 \times 10^{-2}$
- 3 Kesalahan komisi = $3 Q_6 = 6,6 \times 10^{-3}$

Sehingga total kesalahan tindakan untuk satu rangkaian sistem (JNA10) adalah $Q_T = 2,9 \times 10^{-2}$.

Pada fase pemulihan dimungkinkan ada 3 cara pemulihan yaitu:

- Operator mempunyai dan mengikuti langkah-langkah prosedur untuk memeriksa/

meneliti kesempurnaan tugas-tugasnya.

- Alarm akan berbunyi yang menandakan tingginya suhu air jika tindakan operator tidak dilaksanakan dengan benar
- Memeriksa sistem katup sesuai dengan kondisi seperti yang tercantum pada Tabel 3.

Pada pemulihan cara pertama akan terjadi dua model kesalahan yaitu kesalahan omisi dan kesalahan baca periksa dari langkah prosedur, sehingga:

$$Q_{R1} = Q_5 \left(\frac{1 + 6 Q_5}{7} \right) + Q_8 \left(\frac{1 + 6 Q_8}{7} \right) = 1,5 \times 10^{-3}$$

Demikian pula pada kemungkinan cara pemulihan yang kedua dan ketiga akan ada dua kemungkinan kesalahan yang terjadi yaitu kegagalan dalam menanggapi *annunciator* dan kegagalan dalam melaksanakan tindakan dengan benar:

$$Q_{R2} = Q_9 \left(\frac{1 + 6 Q_9}{7} \right) + Q_6 \left(\frac{1 + 6 Q_6}{7} \right) = 2,3 \times 10^{-3}$$

Total kegagalan pemulihan $Q_R = 3,8 \times 10^{-3}$

Dengan demikian total kebolehjadian kesalahan manusia/operator dalam sistem pendingin kolam adalah :

$$\begin{aligned} \text{HEP} &= Q_D + (1 - Q_D) Q_T Q_R \\ &= 1,26 \times 10^{-4} + (1 - 1,26 \times 10^{-4}) 2,9 \times 10^{-2} 3,8 \times 10^{-3} \\ &= 2,36 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

KESIMPULAN

Dari analisis/uraian di atas dapat disimpulkan bahwa besarnya kebolehjadian kesalahan manusia/operator pada pengoperasian sistem pendingin kolam RSG GA Siwabessy adalah

$2,36 \times 10^{-4}$ setiap misinya. Dari ketiga fase tugas operator pada pengoperasian sistem tersebut ternyata besarnya kebolehjadian kegagalan pada fase tindakan memberikan kontribusi terbesar yaitu sebesar $2,9 \times 10^{-2}$. Berdasarkan analisis pohon kegagalan yang telah dilakukan untuk sistem pendingin kolam [3] besarnya nilai kebolehjadian tersebut hanya akan memberikan kontribusi sebesar 25% terhadap kejadian puncak "Kegagalan Sistem Pendingin Kolam". Dengan demikian ditinjau dari segi kesalahan manusia maka sistem pendingin kolam RSG GA Siwabessy cukup andal.

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya atas bantuan dan kerja sama seluruh operator dan supervisor reaktor RSG GA Siwabessy demikian pula kepada seluruh staf PRSG.

DAFTAR PUSTAKA

1. Badan Tenaga Atom Nasional, Multipurpose research reactor GA Siwabessy analysis report, (September 1989).
2. Suprawardhana, M.S., dkk., Analisis kejadian tidak terdenginkannya teras RSG GA Siwabessy, Seminar Teknologi Nuklir di PPTN BATAN (Oktober 1991).
3. Suprawardhana, M.S., dkk, Pohon kegagalan sistem pendingin kolam reaktor RSG GAS , Makalah Seminar Penelitian Dasar dan Iptek Nuklir, PPNY (Mei 1991)
4. SWAIN, A.D., Handbook for Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications, NUREG CR-1278, US NRC (August 1983).