

PREDIKSI KEANDALAN SISTEM DAN KOMPONEN SISTEM PROSES RSG-GAS DENGAN METODE REGRESI

Jupiter Sitorus Pane

ABSTRAK

PREDIKSI KEANDALAN SISTEM DAN KOMPONEN SISTEM PROSES REAKTOR RSG-GAS DENGAN METODE REGRESI. Dengan semakin bertambahnya usia reaktor, semakin besar pula kemungkinan suatu sistem dan komponen mengalami kegagalan fungsi maupun penurunan unjuk kerja, yang dikenal dengan istilah degradasi. Gejala ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti habisnya masa pemakaian, korosi, dan kelelahan. Untuk mengetahui keandalan komponen tersebut umumnya dilakukan dengan dua cara yaitu cara deterministik dan statistik, dan dalam makalah ini akan diuraikan analisis keandalan secara statistik, yaitu dengan metode regresi Cox. Tujuan analisis adalah untuk memperoleh informasi tentang keandalan komponen dan kekuatan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa resiko kegagalan yang besar terdapat pada komponen sistem proses reaktor yang termasuk pada komponen dinamis, *nonsafety related system*, dan komponen mekanik. Sedangkan resiko kegagalan yang kecil terdapat pada komponen yang termasuk komponen statis, *safety related*, dan listrik. Nilai resiko relatif untuk peubah gerak komponen, kualitas, dummy1, dan dummy 2 berturut-turut adalah sebesar 1.54, 1.59, 1.50, dan 0.83. Komponen dengan resiko yang lebih tinggi yaitu komponen dinamis, *nonsafety related system*, dan mekanik akan mempunyai peluang daya tahan lebih rendah daripada komponen dengan resiko lebih rendah.

ABSTRACT

RELIABILITY PREDICTION OF SYSTEM AND COMPONENT OF PROCESS SYSTEM OF RSG-GAS REACTOR. The older the reactor the higher the probability of the system and components suffer from loss of function or degradation. This phenomenon occurred because of wear, corrosion, and fatigue. Study on component reliability was generally performed deterministically and statistically. This paper would describe an analysis of using statistical method, i.e. regression Cox, in order to predict the reliability of the components and their environmental influence's factors. The result showed that the dynamics, non safety related, and mechanic components have higher risk of failure, whereas static, safety related, and electric have lower risk of failures. The relative risk value for variable of components dynamics, quality, dummy 1 and dummy 2 are of 1.54, 1.59, 1.50, and 0.83 compare to other components type with each variable. Component with the higher risk have lower reliability than lower one.

PENDAHULUAN

Dengan semakin bertambahnya usia reaktor, semakin besar pula kemungkinan sistem dan komponen mengalami kegagalan fungsi maupun penurunan unjuk kerja yang dikenal dengan istilah degradasi. Gejala ini disebabkan oleh beberapa faktor yang bergayut waktu seperti habisnya masa pemakaian, korosi, dan kelelahan.

Usaha-usaha untuk memeriksa, mempertahankan, meningkatkan kondisi komponen telah dilakukan melalui pelaksanaan *in-service inspection*, perawatan, maupun perbaikan, namun seberapa efektif pelaksanaan kegiatan tersebut masih perlu dipelajari dengan

mengevaluasi ketersediaan (*availability*) dan keandalan (*reliability*) komponen tersebut.

Langkah evaluasi terhadap keandalan komponen dapat dilakukan dengan dua cara yaitu cara deterministik maupun secara statistik. Pada evaluasi secara deterministik dilakukan analisis terhadap kinerja komponen secara analitik dengan memperhatikan parameter-parameter prosesnya, sedangkan secara statistik dilakukan dengan menganalisis data riwayat pemakaian, perawatan, dan perbaikan komponen sepanjang usia komponen.

Dalam makalah ini akan diuraikan hasil analisis terhadap data riwayat komponen untuk memprediksi keandalan sistem dan komponen sistem proses reaktor RSG-GAS dengan tujuan diperolehnya suatu informasi tentang keandalan komponen dan faktor

faktor yang mempengaruhi keandalan tersebut. Metode analisis yang digunakan adalah metode regresi Cox. Sebagai data untuk analisis diambil dari data yang telah dikumpul pada dokumen PPIK (Permintaan Perbaikan dan Instruksi kerja). Untuk menghindari salah pengertian tentang data yang tercatat pada PPIK maka dilakukan dengan diskusi dengan pelaksana untuk memastikan suatu kejadian. Dengan terkumpulnya data ini maka dilakukanlah perhitungan-perhitungan untuk menduga parameter statistik yang diperlukan untuk mengambil kesimpulan tentang keadaan komponen.

LANDASAN TEORI

Dengan mengasumsikan bahwa kegagalan komponen adalah acak dan karakteristik komponen selama pengamatan adalah tetap maka resiko kegagalan mengikuti disitribusi eksponensial [1], dimana

$$h(t, X) = h_0(t)e^{(\beta^T X)} \quad (1)$$

dengan

- $h(t, X)$ = resiko kegagalan komponen pada waktu t dengan karakteristik X
- $h_0(t)$ = fungsi hazard komponen pada keadaan baku $X = 0$, tidak tergantung dari karakteristik
- β^T = $[\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_p]$ adalah vektor koefisien regresi atau vektor parameter
- X = karakteristik komponen yang diasumsikan tetap selama pengamatan.

Model tersebut di atas dinamakan *hazard proportional* yang dikenal dengan Regresi Cox dengan alasan nisbah fungsi hazard dari dua komponen dengan vektor kovariat X_1 dan X_2 .

$$\frac{h(t, X_1)}{h(t, X_2)} = \exp(\beta^T (X_1 - X_2)) \quad (2)$$

yang tak gayut t .^[2]

Rasio tersebut juga disebut sebagai hazard relatif,^[2] dan rasio tersebut menunjukkan peningkatan atau penurunan resiko yang dialami komponen atau sistem yang dikenai pelakuan atau kondisi tertentu.

Pendugaan Parameter

Untuk menduga parameter model $\beta^{[1]}$ Cox menyarankan prosedur pendugaan kemungkinan maksimum (*maximum likelihood estimation*) berdasar atas fungsi kemungkinan bersyarat.

Misalkan ada n pengamatan dengan r pengamatan yang tak tersensor ($n-r$ tersensor) yang diurutkan :

$$t_{(1)} < t_{(2)} < t_{(3)} \dots \dots < t_{(n)}$$

dan $R_i = R(t_{(i)})$ adalah himpunan resiko pada waktu $t_{(i)}$ berisi komponen-komponen yang bertahan hidup hingga $t_{(i)}$. Peluang bahwa komponen i mati pada t_i jika diketahui komponen tersebut dalam R_i pada waktu t_i adalah :

$$\frac{h(t_i, X_i)}{\sum_{I \in R_i} h(t_i, X_i)} \quad (3)$$

atau

$$\frac{\exp(\beta^T X_i)}{\sum_{I \in R_i} \exp(\beta^T X_i)} \quad (4)$$

Perkalian peluang untuk setiap observasi waktu yang tidak tersensor membentuk waktu yang tidak tersensor membentuk fungsi kemungkinan yang hanya tergantung pada β . Fungsi ini disebut fungsi kemungkinan bersyarat^[3]:

$$L_o(\beta) = \prod_{i=1}^r \left[\frac{\exp(\beta^T X_i)}{\sum_{I \in R_i} \exp(\beta^T X_i)} \right] \quad (5)$$

Fungsi di atas tidak tergantung pada $h_0(t)$, karena untuk menduga parameter-parameter di dalam model Regresi Cox tidak perlu mengetahui $h_0(t)$, asalkan data berasal dari populasi yang sama.

Untuk mempermudah mencari penduga kemungkinan maksimum $L_o(\beta)$, maka digunakan $L_n(L_o(\beta))$ yang dimaksimumkan dengan menurunkan terhadap β .

$$\frac{\partial}{\partial \beta} \ln L_o(\beta) = 0 \quad (6)$$

Pengujian Signifikasi Peubah

Untuk menguji signifikansi peubah dalam analisis peubah tunggal dapat digunakan uji Wald dengan statistik uji

$$W = \left(\frac{\beta}{SE(\beta)} \right)^2 \quad (7)$$

dengan $SE(\hat{\beta})$ adalah galat baku penduga parameter. W diasumsikan menyebar khi-kuadrat.

Untuk pengujian signifikansi peubah secara bersama-sama dalam analisis peubah ganda, digunakan uji nisbah kemungkinan dengan statistik uji.

$$\chi^2 = -2 [LnL_{m-r} - LnL_m] \quad (8)$$

dengan L_m adalah kemungkinan dengan m peubah pada model yang lebih lengkap dan L_{m-r} adalah kemungkinan dengan peubah yang disisihkan sebanyak r pada model yang kurang lengkap. Nilai χ^2 pada taraf $\alpha = 0.05$ yang melebihi nilai χ^2 tabel dengan derajat bebas r menunjukkan peubah-peubah tersebut berpengaruh nyata pada taraf α .

Pendugaan Fungsi Ketahanan

Pendugaan fungsi ketahanan dalam model Regresi Cox ini menggunakan penduga Breslow. Fungsi ketahanan komponen sampai t dengan kovariat X adalah

$$S(t, X) = S_o(t)^{\exp(\beta^T X)} \quad (9)$$

Dari persamaan di atas terlihat bahwa untuk menduga $S(t, X)$, $S_o(t)$ harus diduga terlebih dahulu.

Menurut Breslow dalam buku Anderson^[4], $S_o(t)$ dapat ditentukan sebagai berikut

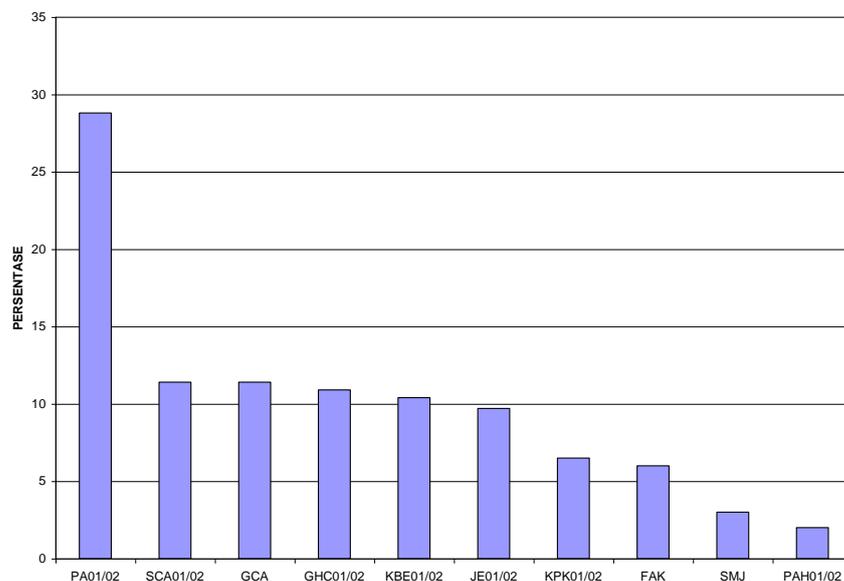
$$\hat{S}_o(t_i) = \prod 1 \frac{d_i}{\sum \exp(\beta^T X_j)} \quad (10)$$

dengan d_i adalah jumlah kegagalan pada t_i .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dilakukan pengamatan terhadap data kegagalan komponen proses RSG-GAS dan diperoleh bahwa untuk sistem proses telah terjadi kegagalan komponen sebanyak 412 kegagalan pada sistem proses reaktor nuklir, dan sebanyak 10 pengamatan tersensor (2,43%).

Dari pengamatan sub sistem maka frekuensi kegagalannya dapat dilihat pada Gambar 1, Subsistem PA01/02 mengalami kegagalan paling dominan, yaitu sebesar 28,8%. Berikutnya adalah subsistem SCA01/02, GCA, GHC01/02, KBE01/02, dan JE01/02 yang mempunyai nilai masing-masing sebesar 11,4%, 11,4%, 10,9%, 10,4%, dan 9,7%. Sedangkan KPK01/02, FAK, SMJ dan PAH01/02 merupakan subsistem-subsistem yang kurang dominan kegagalannya yang bernilai masing-masing sebesar 6,5%, 6,0%, 3,0%, dan 2,0%. Berdasarkan data-data inilah selanjutnya dilakukan analisis regresi Cox.



GAMBAR 1 : FREKUENSI KEGAGALAN SUB SISTEM

Pemodelan dengan Regresi Cox dapat memberikan informasi pengaruh peubah penjelas (*prognostic factor*) terhadap peubah tak bebas. Dengan metode *forward selection* dapat diketahui pengaruh masing-masing peubah penjelas terhadap peubah tak bebas, beserta taraf nyatanya. seperti yang terlihat pada Tabel 1, 2, 3.

Peubah-peubah penjelas yang mempunyai nilai-p terkecil sampai dengan terbesar secara berturut-turut adalah : gerak komponen, dummy 1, kualitas komponen dan peubah dummy 2. Seluruh peubah ini untuk selanjutnya dilibatkan dalam proses pemilihan model.

Pada tahap awal, dimasukkan peubah gerak komponen pada model, nilai khi-kuadrat kemungkinan maksimum nyata pada taraf 0.05, sehingga cukup beralasan untuk memasukkan peubah ini ke dalam model. Nilai koefisien β yang positif memberikan informasi bahwa resiko kegagalan akan meningkat pada komponen yang dinamis. Berikutnya dimasukkan peubah kualitas komponen ke dalam model yang sudah mengandung peubah penjelas gerak komponen.

Tabel 1. Pengaruh Tunggal Peubah Penjelas

Peubah	Score	Derajat Bebas	Nilai -p
Gerak Komponen	12.5723	1	0.0004
Kualitas Komponen	6.2919	1	0.0121
Dummy 1	10.8235	1	0.0010
Dummy 2	0.2804	1	0.5964

Tabel 2. Proses Pemilihan Model

Peubah	β				SE				Nilai-p			
Gerak Komponen	0.3968	0.5364	0.4749	0.4306	0.1126	0.1207	0.1228	0.1309	0.0004	0.0000	0.0001	0.0010
Kualitas Komponen		0.4690	0.1267	0.4620		0.1266	0.1267	0.1280		0.0002	0.0002	0.0003
Dummy 1			0.2984	0.4025			0.1086	0.1473		0.0060	0.0060	0.0063
Dummy 2				-0.184				0.1806				0.3084

Tabel 3. Hasil Pendugaan Parameter

Peubah	β	Wald	Exp(β)	Nilai-p
Gerak komponen	0.4306	10.8181	1.5381	0.0010
Kualitas komponen	0.4620	13.0244	1.5873	0.0003
Dummy 1	0.4025	7.4666	1.4956	0.0063
Dummy 2	-0.184	1.0373	0.8320	0.3084

Pengaruh secara simultan dari kedua peubah dapat dilihat pada lampiran dan menunjukkan pengaruh yang nyata dari masing-masing peubah tersebut. Selanjutnya, peubah *dummy 1* dimasukkan ke dalam model yang sudah mengandung peubah gerak komponen dan kualitas komponen. Nilai-p pada ketiga peubah memberikan informasi bahwa ketiga peubah layak untuk dimasukkan ke dalam model secara simultan dengan nilai-p masing-masing sebesar 0.0010 untuk gerak komponen, 0.0003 untuk *dummy 1* dan 0.0063 untuk peubah kualitas komponen. Pada tahap terakhir, dimasukkan peubah *dummy 2* ke dalam model. Peubah tersebut mempunyai nilai-p sebesar 0.3084 yang berarti tidak berbeda nyata pada taraf 0.05. Model regresi Cox yang didapatkan adalah :

$$h(t, X) = h_0(t)e^{0.4306G+0.4620K+0.4025D1-0.184D2}$$

dengan K : Kualitas Komponen, G : Gerak Komponen, D1 dan D2 adalah peubah boneka dari Jenis Komponen.

Nilai dugaan koefisien β untuk tiga peubah pertama positif, sesuai dengan dugaan sebelumnya, yaitu bahwa komponen-komponen yang termasuk dinamis, yang tidak berkaitan dengan aspek keselamatan (*nonsafety related system*), dan dari jenis mekanik mempunyai resiko kegagalan lebih tinggi daripada kondisi selainya. Sedangkan untuk peubah terakhir, nilai koefisien β negatif yang berarti bahwa komponen listrik mempunyai resiko lebih rendah dari pada dua jenis komponen lainnya.

Dari harga $\exp(\beta)$ diketahui bahwa resiko kegagalan sistem proses reaktor dari komponen dinamis adalah sebesar 1.54 kali bila dibandingkan dengan komponen statis.

nonsafety related system adalah 1.59 kali dari komponen yang termasuk ke dalam *safety related system*. Komponen yang berkaitan dengan aspek keselamatan mempunyai kualitas yang lebih baik daripada komponen yang tidak berkaitan dengan aspek keselamatan. Kondisi ini sangat beralasan sebab untuk sebuah reaktor nuklir aspek keselamatan harus mendapatkan perhatian yang lebih serius, sehingga komponen-komponen yang berkaitan dengannya, dibuat dengan baku kualitas yang lebih tinggi, dan daya tahannya juga lebih baik.

Sedangkan resiko kegagalan komponen-komponen mekanik adalah 1.50 kali dibandingkan dengan dua jenis komponen yang lain. Hal ini mendukung kenyataan bahwa komponen mekanik lebih sering berinteraksi dengan komponen lainnya. Akibatnya komponen mekanik lebih cepat aus.

Dugaan peluang daya tahan komponen sistem proses reaktor nuklir setelah berfungsi selama waktu tertentu, bisa dilihat pada Tabel 4. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa semakin lama komponen telah berfungsi, semakin menurun peluang ketahanannya. Komponen yang mempunyai sifat-sifat dinamis, yang termasuk *nonsafety related system*, mekanik dan merupakan komponen listrik mempunyai peluang daya tahan seesar 0.66 jika komponen tersebut telah dipakai selama 8760 jam (1 tahun), dan peluangnya daya tahannya akan menjadi 0.42 jika telah dipakai 2 tahun. Komponen dengan resiko yang lebih tinggi, yaitu komponen tersebut dinamis, *nonsafety related system*, dan mekanik akan mempunyai peluang daya tahan lebih rendah daripada komponen dengan resiko lebih rendah.

Resiko kegagalan sistem proses reaktor nuklir akibat kegagalan pada komponen yang termasuk

Tabel 4. Dugaan Peluang Daya Tahan S(T, X) Komponen Proses Reaktor Nuklir Pada Berbagai Waktu

Gerak komponen	Kualitas Komponen	Jenis Komponen		S(tX)							
		Dummy1	Dummi2	t=1 tahun	t= 2 tahun	t=3 tahun	t=4 tahun	t=5 tahun	t=6 tahun	t=7 tahun	t=8 tahun
Dinamis	Nonsafety	Mekanik	listrik	0.661158	0.430478	0.295064	0.179262	0.077046	0.047464	0.017051	0/005636
Dinamis	Nonsafety	Mekanik	Mekanik/Instr	0.608141	0.352967	0.230585	0.126672	0.045905	0.025643	0.007491	0.00198
Dinamis	Nonsafety	Inst/Listrik	listrik	0.758312	0.560296	0.442142	0.31648	0.180148	0.130304	0.065715	0.031346
Dinamis	Nonsafety	Inst/Listrik	Mekanik/Instr	0.717092	0.498418	0.374938	0.251194	0.127425	0.086331	0.037915	0.015573
Dinamis	Safety	Mekanik	listrik	0.770508	0.579362	0.463485	0.338595	0.198897	0.146582	0.076906	0.038286
Dinamis	Safety	Mekanik	Mekanik/Instr	0.731001	0.518874	0.396798	0.272062	0.143529	0.099453	0.045804	0.019806
Dinamis	Safety	Inst/Listrik	listrik	0.840043	0.69422	0.597993	0.484755	0.339649	0.276952	0.179929	0.112864
Dinamis	Safety	Inst/Listrik	Mekanik/Instr	0.810978	0.644878	0.538995	0.418787	0.273081	0.23678	0.127239	0.072637
Statis	Nonsafety	Mekanik	listrik	0.764114	0.569362	0.452254	0.327098	0.18891	0.137874	0.070864	0.034502
Statis	Nonsafety	Mekanik	Mekanik/Instr	0.723731	0.508128	0.385369	0.260997	0.134911	0.092394	0.041514	0.017477
Statis	Nonsafety	Inst/Listrik	listrik	0.835385	0.686185	0.588265	0.473687	0.328149	0.265838	0.170349	0.105278
Statis	Nonsafety	Inst/Listrik	Mekanik/Instr	0.805576	0.635916	0.528473	0.528473	0.262005	0.203414	0.11914	0.066809
Statis	Safety	Mekanik	listrik	0.84411	0.701276	0.606573	0.49458	0.349965	0.286982	0.188687	0.119897
Statis	Safety	Mekanik	Mekanik/Instr	0.8157	0.652764	0.548305	0.42901	0.283081	0.223014	0.134719	0.078111
Statis	Safety	Inst/Listrik	listrik	0.892867	0.788777	0.715856	0.624528	0.49558	0.434006	0.327889	0.24213
Statis	Safety	Inst/Listrik	Mekanik/Instr	0.872600	0.751861	0.669111	0.567872	0.430053	0.366661	0.261756	0.18181

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan terbukti bahwa semua faktor yang diduga akan berpengaruh terhadap kegagalan sistem proses reaktor nuklir, berpengaruh nyata (*significant*) terhadap kegagalan tersebut. Faktor-faktor tersebut adalah jenis komponen yaitu komponen mekanik, instrumentasi dan listrik, gerak komponen, dan kualitas komponen. Dari analisis yang dilakukan, semua peubah mempunyai peranan yang begitu besar pada kegagalan sistem proses reaktor nuklir.

Resiko kegagalan paling besar terdapat pada komponen pada sistem proses reaktor nuklir yang termasuk komponen yang dinamis, *nonsafety related system*, dan komponen mekanik. Nilai

resiko realatif untuk komponen-komponen tersebut sebesar 1.54, 1.59, dan 1.50 dibandingkan dengan jenis komponen lain untuk masing-masing peubah. Sehingga untuk komponen-komponen dengan karakteristik tersebut perlu ditinjau lebih lanjut untuk tindakan perawatan di masa mendatang. Sedangkan jenis komponen listrik mempunyai resiko kegagalan sebesar 0.932.

Komponen dengan resiko yang lebih tinggi yaitu komponen dinamis, *nonsafety related system*, dan mekanik akan mempunyai peluang daya tahan lebih rendah daripada komponen dengan resiko lebih rendah. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa semakin lama komponen telah berfungsi, semakin menurun nilai peluang daya tahannya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Cox, D.R and Oakes, *Analysis of Survival Data*, Chapman and Hall, London, 1984.
2. SPSS 7.5 for Advance User, State College, USA, 1996.
3. CROWDER M.J, et al, *Statistical Analysis of Reliability Data*, Chapman and Hall, London, 1991.
4. ANDERSON, S, *Statistical Method For Comparative Studies. Technique for Bias Reduction* John Wiley and Sons, New York, 1980.
5. Dokumen PPIK RSG-GAS.

DISKUSI

Pertanyaan : (Tagor Malem Sembiring)

1. Sering kali data langan berbeda dengan hasil uji teoristik (statistik). Kalau terjadi perbedaan kira-kira usaha apa yang akan datang dilakukan untuk penelitian ini.
2. Dalam penelitian ini digunakan *regresi cost* kira-kira bagaimana hasilnya jika dibandingkan dengan metode yang lain ?

Jawaban : (Jupiter S. Pane)

1. Uji statistik hanya dilakukan berdasarkan data sehingga kemungkinan adanya perbedaan hasil dengan kenyataannya sangat mungkin. Untuk menghindari ini maka perlu dilakukan penelitian lanjut dengan memasukkan faktor-faktor yang mempengaruhi sistem secara signifikan. Dengan *regresi cox* hal ini sangat dimungkinkan.
2. Saat ini kami sedang mempengaruhi metoda weibull sebagai pembanding.

Pertanyaan : (Kusno)

Kenapa analisis kegagalan hanya berdasarkan pada keadaan statis dan dinamis. Bagaimana hubungannya dengan kondisi lingkungan sekitar.

Jawaban : (Jupiter S. Pane)

Saat ini penelitian masih dibatasi pada pengaruh karakteristik dinamis komponen, kualitas komponen dan jenis komponen sedangkan kondisi lingkungan akan lebih banyak berpengaruh pada analisis availability dan reliability selanjutnya.

