



Strategi Pemeliharaan Komponen pada Sistem Pendingin RSG-GAS Berdasarkan Estimasi Interval Waktu Perawatan

Entin Hartini*

Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Kawasan Puspiptek, Tangerang Selatan, 15310, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima:

08 November 2018

Diterima dalam bentuk revisi:

24 Januari 2019

Disetujui:

06 Februari 2019

Kata kunci:

Keandalan
Perawatan
Sistem pendingin
RSG-GAS

ABSTRAK

STRATEGI PEMELIHARAAN KOMPONEN PADA SISTEM PENDINGIN RSG-GAS BERDASARKAN ESTIMASI INTERVAL WAKTU PERAWATAN. Proses penuaan akan menyebabkan penurunan keandalan dan kinerja reaktor, oleh karena itu diperlukan pemeliharaan sistem/komponen reaktor yang optimal. Pemeliharaan korektif terhadap sistem/komponen berdampak pada frekuensi kerusakan dan biaya perawatan yang tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan proses pendekatan manajemen keandalan dengan melakukan perencanaan interval pemeliharaan. Skenario pemeliharaan dapat dilakukan berdasarkan penggantian komponen sesuai dengan mean time to failure (MTTF) dan ketika keandalan komponen memenuhi presentase yang ditargetkan. Metodologi yang digunakan adalah uji distribusi data dan estimasi parameter untuk menentukan interval waktu perawatan dan keandalan komponen. Data yang dievaluasi adalah data perawatan komponen dari sistem pendingin RSG-GAS teras 81 sampai 94 tahun 2013-2017. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa untuk meminimalkan jumlah downtime berdasarkan interval waktu perawatan dan nilai keandalan komponen, maka strategi perawatan yang dapat dilakukan adalah untuk komponen Pompa Primer (JE-01 (AP01-02)) interval perawatan 245,27 hari dengan peluang keandalan komponen $R(t) = 35,2\%$. Untuk komponen Instrumentasi Pengukuran Aktivitas γ (PA01-02/CR001) interval perawatan 203,57 hari dengan peluang keandalan komponen $R(t) = 51,1\%$. Sedangkan jika diinginkan keandalan komponen sebesar 60% maka dapat dilakukan interval waktu perawatan 144,23 hari untuk komponen JE-01 (AP01-02) dan 160,35 hari untuk komponen PA01-02/CR001.

ABSTRACT

COMPONENT MAINTENANCE STRATEGY IN RAG-GAS COOLING SYSTEM BASED ON ESTIMATION OF MAINTENANCE TIME INTERVALS. The aging process will cause a decrease in the reliability and performance of the reactor, therefore it requires optimal maintenance of the system/component in the reactor. Corrective maintenance of the system/component has an impact on the frequency of damage and high maintenance costs. The purpose of this research is to conduct a process of reliability management approach by planning maintenance intervals. Maintenance scenarios can be carried out based on component replacement according to Mean Time to Failure (MTTF) and when the reliability of components meets on the targeted percentage. The methodology used is test data distribution and parameter estimation to determine maintenance time intervals and component reliability. The data evaluated is component maintenance data from the RSG-GAS cooling system in core number 81 to 94 for years 2013 until 2017. The results of data processing show that to minimize the amount of downtime based on maintenance time intervals and component reliability values, the maintenance strategy that can be done is for Primary Pump components (JE-01 (AP01-02)) maintenance interval is 245.27 days with opportunities for component reliability For Components of Measurement Instrumentation Activity γ (PA01-02/CR001) the maintenance interval is 203.57 days with the probability of component reliability $R(t)=51.1\%$. While if the component reliability is 60%, 144.23 days maintenance interval for JE-01 (AP01-02) and 160.35 days for PA01-02/CR001 components can be carried out.

Keywords: reliability, maintenance, cooling system, RSG-GAS

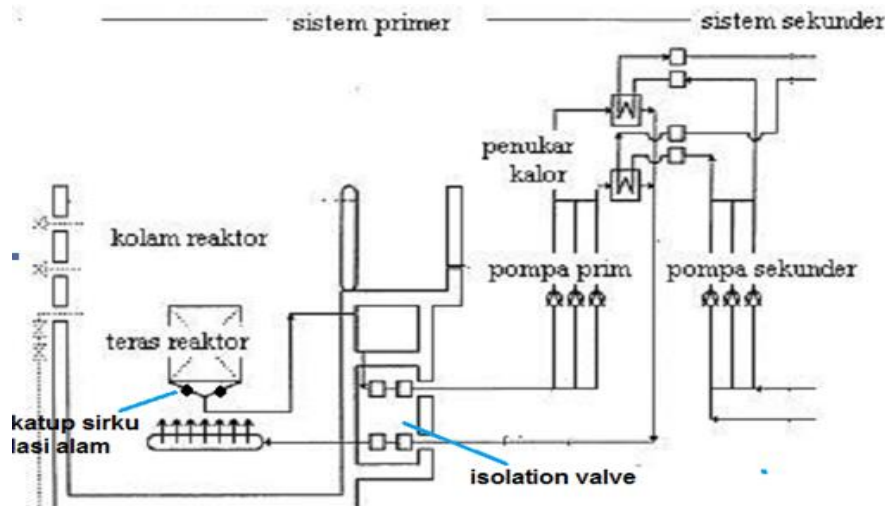
© 2018 Jurnal Pengembangan Energi Nuklir. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Proses operasi suatu reaktor ditentukan oleh kondisi sistem/komponen untuk melakukan fungsinya. Kerusakan salah satu unit sistem/komponen dapat mengganggu bahkan

menyebabkan terhentinya operasi reaktor. Proses perbaikan memegang peranan yang sangat penting dalam menjamin availabilitas dari sistem/komponen oleh sebab itu dibutuhkan sistem manajemen keandalan yang baik. Manajemen keandalan diperlukan agar dapat memprediksi kerusakan pada

*Penulis korespondensi.
E-mail: entin@batan.go.id



Gambar 1. Diagram Sistem Pendingin pada RSG-GAS.

sistem/komponen dan dapat diberikan pemeliharaan yang tepat pada seluruh sistem dan komponen sehingga dapat mendukung manajemen penuaan RSG-GAS [1-5].

Perawatan sistem/komponen RSG-GAS yang selama ini dilakukan adalah perawatan preventif untuk jangka waktu tertentu. Untuk efisiensi dan optimasi maka diperlukan evaluasi data kegagalan komponen pada sistem untuk estimasi interval perawatan. Perencanaan pemeliharaan diperlukan untuk mengurangi frekuensi kerusakan yang terjadi serta meminimalkan *downtime* dan biaya karena kegiatan pemeliharaan [6-10].

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan proses pendekatan manajemen keandalan dengan melakukan perencanaan interval pemeliharaan pada komponen dari sistem pendingin RSG-GAS. Skenario pemeliharaan dapat dilakukan berdasarkan penggantian komponen sesuai dengan *Mean Time to Failure* (MTTF) dan ketika keandalan komponen dari sistem pendingin RSG-GAS presentase yang ditargetkan. Hasil ini dapat digunakan untuk sistem manajemen penuaan RSG-GAS.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah menentukan waktu antar kerusakan komponen dengan *downtime* dan frekuensi kerusakan tinggi serta uji distribusi data yang sesuai menggunakan nilai *index of fit* (koefisien korelasi) terbesar. Uji kecocokan distribusi data kerusakan komponen menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov. Uji ini dilakukan untuk mengetahui pola distribusi dari set data. Sedangkan estimasi parameter menggunakan metode *Maximum Likelihood*. Uji ini dilakukan

untuk menentukan nilai estimator parameter berdasarkan data yang memaksimalkan fungsi *Likelihood*. Tahap berikutnya adalah menentukan estimasi interval perawatan dan nilai keandalan komponen pada komponen sistem pendingin primer dan sekunder dari RSG-GAS pada teras 81 sampai 94 tahun 2013 sampai 2017 [1, 5,7-8,11-15].

2. TEORI

2.1. Sistem Pendingin Reaktor

Sistem utama reaktor terdiri dari sistem pendingin primer dan sistem pendingin sekunder. Fungsi sistem pendingin primer dan sekunder adalah untuk menjamin temperatur di dalam teras dan reflektor sesuai batas operasi yang diijinkan selama reaktor beroperasi normal sampai daya termal desain.

Selama reaktor beroperasi pada daya tinggi, panas yang dibebaskan di dalam teras dan sekitar reflektor diambil oleh sistem pendingin primer yang mengalir ke bawah melewati teras dan reflektor. Sistem pendingin primer didinginkan di dalam penukar panas dimana panas dipindahkan ke rangkaian sistem pendingin sekunder kemudian dibuang ke atmosfer melalui menara pendingin beraliran udara paksa [1].

Sistem pendingin sekunder didesain untuk membuang panas yang dilepaskan sistem primer termasuk panas yang ditimbulkan oleh pompa primer dan sekunder pada operasi reaktor dengan daya nominal ke atmosfer

melalui menara pendingin evaporatif. Sistem pendingin pada reaktor ditampilkan pada Gambar 1 [1,4].

2.2. Keandalan Komponen/Sistem

Tingkat keandalan sebuah sistem merupakan probabilitas sebuah sistem untuk dapat menjalankan fungsinya. Nilai keandalan berbentuk probabilitas, maka nilainya berkisar antara 0 hingga 1. Jika $R(t)$ menyatakan fungsi keandalan dari komponen atau suatu sistem sebagai fungsi waktu, maka hubungan antara fungsi keandalan $R(t)$ dan distribusi kerusakan kumulatif $F(t)$ adalah [5][7][8].

$$R(t) = 1 - F(t) = Pr(T \geq t) \tag{1}$$

Untuk $t > 0$

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt \tag{2}$$

dimana: $F(t)$ adalah fungsi kerusakan kumulatif dari t ; $Pr(T \geq t)$ adalah probabilitas suatu sistem berfungsi setelah waktu t ; dan $f(t)$ adalah fungsi peluang dari $F(t)$.

Fungsi keandalan untuk distribusi Normal mengikuti persamaan (3)

$$R(t) = 1 - \phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \tag{3}$$

Sedangkan untuk distribusi Lognormal mengikuti persamaan (4)

$$R(t) = 1 - \phi\left(\frac{1}{\sigma} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \tag{4}$$

2.3. Indeks of Fit (r) dari Distribusi Data

Perhitungan *index of fit* atau koefisien korelasi (r) dilakukan untuk mengetahui jenis distribusi data yang digunakan. Koefisien korelasi menunjukkan hubungan linier yang kuat antara dua variabel acak X dan Y. Salah satu kriteria untuk mengidentifikasi distribusi data adalah dengan memilih *index of fit* terbaik. *Index of fit* terbaik jika diperoleh nilai r paling besar. Untuk distribusi Normal nilai $x_i = t_i$ dan $y_i = \phi^{-1}[F(t_i)]$ sedangkan untuk distribusi Lognormal $x_i = \ln t_i$ dan $y_i = \phi^{-1}[F(t_i)]$. Nilai ϕ^{-1} diperoleh dari tabel $\Phi(z)$ yaitu tabel distribusi Normal. Sedangkan $F(t_i)$ merupakan nilai fungsi distribusi kumulatif dari distribusi

kerusakan yang umumnya berdistribusi: Weibull, Eksponensial, Normal dan Lognormal [7,8].

2.4. Pengujian Kecocokan Distribusi

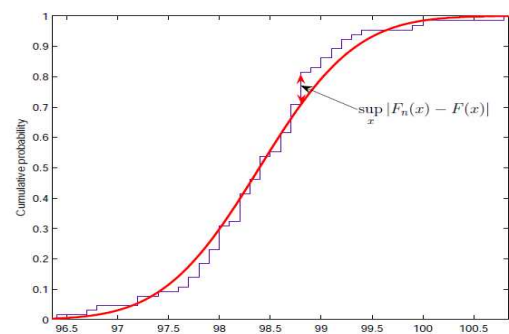
Tahap berikutnya dilakukan pengujian kecocokan distribusi. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah set data termasuk ke dalam pola distribusi tertentu atau tidak. Oleh karena itu, pengujian dilakukan menggunakan Kolmogorov-Smirnov. Jika H_0 ditolak maka lakukan pengujian hipotesis dengan menggunakan nilai koefisien korelasi terbesar kedua dan seterusnya [11].

Uji Kolmogorov-Smirnov dirancang untuk distribusi kontinu dan dapat digunakan untuk distribusi diskrit. Uji ini tepat bila ukuran sampel yang tersedia ≤ 30 .

Langkah-langkah uji Kolmogorov-Smirnov untuk distribusi Normal dan Lognormal:

- a. Menentukan hipotesis
- b. Menentukan taraf signifikansi menggunakan interval kepercayaan $(1 - \alpha)100\%$ dengan taraf signifikansi $\alpha = 5\%$
- c. Statistik uji [12]

$$D = Sup_x(F_1, F_2) \tag{5}$$



Gambar 2. Uji Statistik Kolmogorov-Smirnov.

Nilai D_1 dan D_2 untuk distribusi Normal adalah:

$$D_1 = \max \left[\phi\left(\frac{t_i - \bar{t}}{s}\right) - \left(\frac{i-1}{n}\right) \right] \tag{6}$$

$$D_2 = \max \left[\left(\frac{i}{n}\right) - \phi\left(\frac{t_i - \bar{t}}{s}\right) \right] \tag{7}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((t_i) - \bar{t})^2}{n-1}} \tag{8}$$

Untuk distribusi Lognormal:

$$D_1 = \max \left[\varphi \left(\frac{\ln t_i - \bar{t}}{s} \right) - \left(\frac{i-1}{n} \right) \right] \quad (9)$$

$$D_2 = \max \left[\left(\frac{i}{n} \right) - \varphi \left(\frac{\ln t_i - \bar{t}}{s} \right) \right] \quad (10)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln(t_i) - \bar{t})^2}{n-1}} \quad (11)$$

dimana: t_i adalah waktu kerusakan ke I; F_i adalah probabilitas kumulatif; $\varphi \left(\frac{t_i - \bar{t}}{s} \right)$ adalah probabilitas nilai Z; dan n adalah banyaknya data.

d. Kriteria uji

Tolak hipotesis pada taraf signifikansi α jika nilai $D >$ nilai D^* (Nilai D^* adalah nilai kritis yang diperoleh dari tabel Kolmogorov Smirnov).

2.5. Estimasi Interval Perawatan

Estimasi interval perawatan dapat dilakukan dengan terlebih dahulu melakukan estimasi parameter distribusi menggunakan *Maximum Likelihood* (menentukan nilai estimator parameter yang memaksimalkan fungsi likelihood berdasarkan data) [7-8].

Jika x_1, x_2, \dots, x_n merupakan sampel acak $f(x, \theta)$, maka fungsi *Likelihood*nya di definisikan sebagai berikut:

$$L(\theta) = f(x_1, \theta), \dots, f(x_n, \theta) \quad (12)$$

$$= \prod f(x_i; \theta)$$

Bila $L(\theta)$ terdeferensial maka estimator *Maximum Likelihood* (MLE) adalah suatu penyelesaian dari persamaan maksimum *likelihood*, maka:

$$\frac{d(L(\theta))}{d\theta} = 0 \quad (13)$$

Nilai dari θ yang memaksimalkan $L(\theta)$, juga akan memaksimalkan $\ln L(\theta)$, sehingga:

$$\frac{d(\ln L(\theta))}{d\theta} = 0 \quad (14)$$

Estimasi parameter menggunakan *Maximum Likelihood* untuk fungsi densitas dari distribusi Normal di ekspresikan pada persamaan (15).

$$\mu = \bar{x} \text{ dan } s = \sqrt{\sigma^2} \quad (15)$$

Sedangkan estimasi parameter untuk distribusi Lognormal di ekspresikan pada persamaan (16).

$$S = 1/b \text{ dan } t_{med} = e^\mu \quad (16)$$

Dari hasil estimasi parameter tersebut dapat ditentukan optimasi waktu perawatan menggunakan nilai MTTF. MTTF untuk distribusi Normal pada persamaan (17).

$$MTTF = \mu \quad (17)$$

Dan MTTF untuk distribusi Lognormal disajikan pada persamaan (18).

$$MTTF = t_{med} \cdot e^{s^2/2} \quad (18)$$

3. METODOLOGI

Metode yang digunakan adalah menentukan skenario perawatan sistem/komponen dengan penggantian komponen berdasarkan nilai MTTF dan ketika keandalan komponen telah mencapai presentase yang ditargetkan.

Tahapan metodologi :

1. Identifikasi masalah
2. *Collecting data*
Data yang dievaluasi adalah data sekunder. Data berupa data perawatan komponen sistem pendingin primer dan sekunder dari RSG-GAS pada teras 81 sampai 94 (tahun 2013-2017) yang ditunjukkan pada Tabel 1.
3. Menentukan komponen kritis dan *time to failure (TTF)*. Dimana komponen kritis merupakan komponen yang sering mengalami kerusakan dengan downtime tinggi.
4. Menentukan distribusi data yang sesuai dari data kerusakan dengan menghitung nilai *index of fit* terbesar.
5. Uji kecocokan distribusi data kerusakan komponen.
6. Estimasi parameter menggunakan metode *Maximum Likelihood*.
7. Mencari nilai MTTF untuk menentukan optimasi interval perawatan berdasarkan jenis distribusi data.

8. Menentukan interval perawatan berdasarkan nilai keandalan komponen yang ditargetkan (nilai keandalan 10% sampai 90%).

Tabel 1. Kode Komponen Sistem Pendingin RSG-GAS Teras 81-94

Subsistem	Komponen	Kode
Sistem Pendingin Primer	Pompa Primer	JE01 (AP0102)
	Instrumentasi sistem primer (sensor ultrasonik indikator level air)	JAA01 (CL001)
Sistem Pendingin Sekunder	Pompa cadangan	PA-03 AP-01
	Pipa tekan dan pipa aliran balik dilengkapi dengan katup isolasi	PA01-02/ (AA-14 dan AA 16)
	Katup-katup isolasi isap	PA-01-02-03/ AA-03
	Alat ukur konduktivitas	PA-01 CQ001
	Instrumentasi sistem aliran sekunder	PA01-02/CF002
	Instrumentasi pengukuran aktivitas γ	PA01-02/CR001

Hasil estimasi distribusi data untuk sistem/komponen RSG-GAS menggunakan *index of fit* ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 3. Data TTF pada Pompa Primer JE-01 (AP01-02)

No Teras	Waktu Kerusakan	TTF (hari)
83	02-06-2013	0
85	07-03-2014	278
85	01-04-2014	25
87	18-02-2015	323
88	04-08-2015	167
91	07-05-2016	277
91	19-09-2016	135

Tabel 4. Data TTF pada Komponen Instrumentasi Pengukuran Aktivitas γ (PA01-02/CR001)

No Teras	Waktu Kerusakan	TTF (hari)
83	02-06-2013	0
83	21-08-2013	80
85	19-01-2014	151
85	06-05-2014	107
87	24-02-2015	294
87	09-03-2015	13
91	27-05-2016	445
93	17-05-2017	355

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data perawatan (*maintenance*) untuk sistem/komponen RSG-GAS pada sistem pendingin primer dan sekunder untuk teras 81 sampai 94 tahun 2013 -2017 ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data *Maintenance* Sistem Pendingin RSG-GAS Teras 81-94

Kode Komponen	Frekuensi	Downtime (jam)
JE-01 (AP01-02)	7	1704
JAA-01 (CL001)	2	168
PA-03AP-01	1	120
PA01-02/(AA14 dan AA16)	4	936
PA01-02-03/AA03	1	48
PA-01/CQ001	2	1344
PA01-02/CF002	3	984
PA01-02/CR001	8	2664

Berdasarkan Tabel 2. Komponen dengan kode JE-01 (AP01-02) dan PA01-02/CR001 merupakan komponen dengan frekuensi kerusakan dan downtime tinggi. Data kerusakan komponen pompa primer (JE-01 (AP01-02)) dan Instrumentasi Pengukuran Aktivitas γ (PA01-02/CR001) ditampilkan pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 5. Hasil Perhitungan *Index of Fit* (r)

Distribusi	Kode Komponen	
	JE-01 (AP01-02)	PA01-02/CR001
Weibull	0.097	0.239
Eksponensial	0.110	0.606
Normal	0.068	0.618
Lognormal	0.115	0.054

Berdasarkan Tabel 5, maka distribusi yang terpilih untuk komponen JE-01 (AP01-02) adalah distribusi Lognormal dan untuk komponen PA01-02/CR001 adalah distribusi Normal. Hasil perhitungan uji kesesuaian distribusi Lognormal ditampilkan pada Tabel 6. Sedangkan untuk distribusi Normal ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Uji Kesesuaian Distribusi JE-01 (AP01-02)

t=x	C= Φ	D1= $C-(i-1)/n$	D2= $i/n-C$	Maks (D1,D)
25	0.028	0.028	0.138	0.138
135	0.442	0.275	0.109	0.275
167	0.529	0.196	0.030	0.196
277	0.595	0.095	0.072	0.095
278	0.728	0.061	0.106	0.106
323	0.778	0.055	0.222	0.222

Hasil uji kecocokan distribusi Lognormal dan Normal menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov ditampilkan pada Tabel 8.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Uji Kesesuaian Distribusi PA01-02/CR001

t=x	C=Φ	D1= C-(i-1)/n	D2= i/n-C	Maks (D1,D)
80	0.113	0.113	0.030	0.113
151	0.214	0.072	0.071	0.071
107	0.366	0.081	0.062	0.081
294	0.267	0.161	0.304	0.304
13	0.719	0.148	0.005	0.148
445	0.938	0.224	0.081	0.224
335	0.796	0.060	0.203	0.203

Tabel 8. Nilai Kriteria Uji

Komponen/Distribusi	D(hitung)	D*(tabel)
JE-01 (AP01-02)	0.275	0,519
Lognormal		
PA01-02/CR001	0.304	0,483
Normal		

Kriteria uji adalah Tolak hipotesa pada taraf signifikansi α jika nilai $D >$ nilai $D^*(\text{tabel})$, Sehingga berdasarkan hasil pada Tabel 8 nilai $D <$ nilai D^* , maka distribusi Lognormal untuk komponen JE-01 (AP01-02) dan Normal untuk komponen PA01-02/CR001.

Hasil estimasi parameter data kerusakan sistem/komponen menggunakan metode MLE untuk distribusi normal dan distribusi Lognormal ditampilkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Estimasi Parameter Distribusi Data

Komponen	Jenis Distribusi/ (Parameter)	Estimasi
JE-01 (AP01-02)	Lognormal(S, tmed)	297.942 155.281
PA01-02/CR001	Normal (μ)	203.571

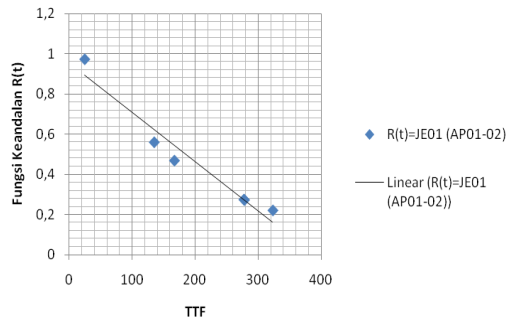
Estimasi parameter untuk komponen JE-01 (AP01-02) yang berdistribusi Lognormal adalah $S = 297.942$ dan $tmed = 155.281$, sedangkan untuk komponen PA01-02/CR001 yang berdistribusi normal: $\mu = 203.571$. Hasil tersebut dapat digunakan untuk menghitung optimasi interval perawatan komponen berdasarkan nilai MTTF dan reliabilitas komponen yang diharapkan.

Hasil perhitungan Keandalan ($R(t)$) dari komponen JE-01 (AP01-02) dari sistem pendingin primer RSG-GAS tahun 2013-2017 ditampilkan pada Tabel 10 dan Gambar 3. Sedangkan untuk komponen PA01-02/CR001 ditampilkan pada Tabel 11 dan Gambar 4.

Berdasarkan hasil Tabel 10 dan Gambar 3, untuk komponen JE-01 (AP01-02) interval perawatan 25 hari maka reliabilitas komponen sebesar 97,19%. Sedangkan interval perawatan 135 hari maka reliabilitas komponen sebesar 55,96%.

Tabel 10. Nilai Keandalan Komponen JE-01 (AP01-02)

t	$\Phi(\ln(t/t_{med}))$	Z	1-Z=R(t)
25	-1,910131967	0,02807	0,97193
135	-0,14638384	0,44038	0,55962
167	0,076091866	0,53188	0,46812
277	0,605325083	0,72575	0,27425
278	0,609093975	0,72751	0,27249
323	0,766006587	0,77938	0,22062



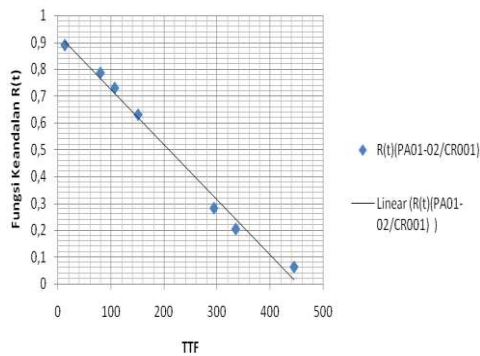
Gambar 3. Fungsi Keandalan Komponen JE-01 (AP01-02)

Berdasarkan hasil Tabel 11 dan Gambar 4, untuk komponen PA01-02/CR001 interval perawatan 13 hari maka reliabilitas komponen sebesar 88,88%. Sedangkan interval perawatan 151 hari maka reliabilitas komponen sebesar 62,93%.

Berdasarkan Gambar 3 dan 4, dapat diestimasi nilai keandalan komponen JE-01 (AP01-02) dan PA01-02/CR001 untuk nilai MTTF yang diperoleh sesuai distribusi data kerusakannya. Hasil nilai keandalan komponen di tampilkan pada Tabel 12.

Tabel 11. Nilai Keandalan Komponen PA01-02/CR001

t	Φ	Z	1-Z=R(t)
13	-1.21579	0.11123	0.88877
80	-0.78835	0.21475	0.78525
107	-0.61610	0.27093	0.72907
151	-0.33539	0.37071	0.62929
294	0.57691	0.71904	0.28096
335	0.83848	0.79673	0.20327
445	1.54025	0.93822	0.06178



Gambar 4. Fungsi Keandalan Komponen PA01-02/CR001.

Tabel 12. Nilai Keandalan Komponen untuk Nilai MTTF

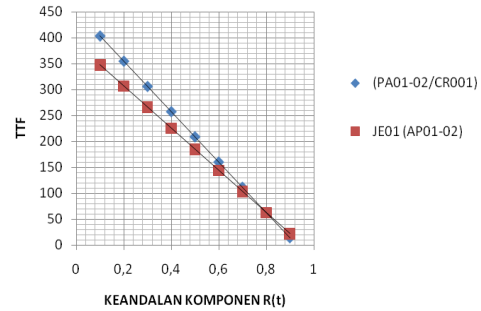
Sub Sistem	Komponen	MTTF (hari)	R(t)
Sistem Pendingin Primer	Pompa Primer (JE-01 (AP01-02))	245,27	0.352
Sistem Pendingin Sekunder	Instrumentasi pengukuran aktivitas γ (PA01-02/CR001)	203,57	0.511

Berdasarkan Tabel 12. Untuk komponen Pompa Primer (JE-01 (AP01-02)) nilai MTTF = 245,267 hari dengan peluang keandalan komponen $R(t) = 35,22\%$. Untuk komponen Instrumentasi Pengukuran Aktivitas γ (PA01-02/CR001) nilai MTTF = 203,571 hari dengan peluang keandalan komponen $R(t) = 51,12\%$.

Interval waktu perawatan komponen JE01 (AP01-02) dan (PA01-02/CR001) untuk nilai keandalan yang diharapkan (10%-90%) ditampilkan pada Tabel 13 dan Gambar 5.

Tabel 13. Interval Waktu Perawatan untuk Nilai Keandalan R(t)

R(t)	TTF	
	JE01 (AP01-02)	(PA01-02/CR001)
0,90	21.9174787	14.32488
0,80	62.6888735	62.99928
0,70	103.460268	111.67368
0,60	144.231663	160.34808
0,50	185.000395	209.02248
0,40	225.774453	257.69688
0,30	266.545847	306.37128
0,20	307.317242	355.04567
0,10	348.088824	403.72087



Gambar 5. Nilai TTF Untuk Nilai Keandalan Komponen PA01-02/CR001.

Berdasarkan Tabel 13 dan Gambar 5, untuk komponen JE01 (AP01-02) maka jika diinginkan keandalan komponen sebesar 60% maka dapat dilakukan interval waktu perawatan 144.23 hari. Sedangkan untuk komponen PA01-02/CR001 maka dapat dilakukan interval waktu perawatan 160.35 hari.

5. KESIMPULAN

Strategi pemeliharaan sistem/komponen dapat dilakukan dengan estimasi interval waktu perawatan komponen berdasarkan data kegagalan komponen atau keandalan komponen yang dikehendaki. Dari analisis terhadap data kerusakan sistem pendingin primer dan sekunder RSG-GAS pada teras 81 sampai 94 (tahun 2013-2017) diperoleh hasil untuk komponen Pompa Primer (JE-01 (AP01-02)) nilai MTTF = 245,267 hari dengan peluang keandalan komponen $R(t) = 35,22\%$. Untuk komponen Instrumentasi Pengukuran Aktivitas γ (PA01-02/CR001) nilai MTTF = 203,571 hari dengan peluang keandalan komponen $R(t) = 51,12\%$. Sedangkan jika diinginkan keandalan komponen sebesar 60% maka untuk komponen Pompa Primer (JE-01 (AP01-02)) interval waktu perawatan selama 144,23 hari dan untuk komponen Instrumentasi Pengukuran Aktivitas γ (PA01-02/CR001) interval waktu perawatan selama 160,35 hari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. M. Subekti, yang telah memberikan bimbingan selama penelitian ini. Penelitian yang dilakukan didanai oleh DIPA BATAN 2018.

DAFTAR ACUAN

- [1]. E. Hartini, S. Dibyo, dan S. Pujiarta, "Determination of Maintenance Priority Index (MPI) for Components on RSG-GAS Safety System," *Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir*, vol. 20, no. 2, pp. 77-88, 2018.
- [2]. E. Hartini, "Implementation of Missing Values Handling Method for Evaluating the System/Component Maintenance Historical Data," *Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir*, vol. 19, no. 1, pp. 11-18, 2017.
- [3]. E. Hartini, "Efficiency Comparison of Method of Handling Missing Value in Data Evaluation System or Component," dalam *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2016*, Batam, 2016, pp. 4-5.
- [4]. M. Susmikanti, E. Hartini, A. Saepudin, and J. B. Sulistyono, "Component Analysis of Purification System of RSG-GAS," *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, vol. 20, no. 1, pp. 31-39, 2018.
- [5]. Deswandri, Subekti, M and G. R. Sunaryo, "Reliability Analysis of RSG-GAS Primary Cooling System to Support Aging Management Program Reliability Analysis of RSG-GAS Primary Cooling System to Support Aging Management Program," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 962, pp. 1-16, 2018.
- [6]. Pusat Reaktor Serba Guna, "Laporan Operasi Reaktor RSG-GAS Teras 81-94," 2013-2017.
- [7]. F. Andika, F. Astuti, and M. A. Choiron, "Strategies of Maintenance Model for Exercise Book Manufacturing Machine on Paper Industry by Implementing Monte Carlo Simulation Approuce," *Journal of Engineering and Management Industrial System*, vol. 5, no. 1, pp. 1-7, 2017.
- [8]. J. Hur, D. Pagulayan, B. Kim, and K. Hwang, "Reliability Analysis Based on Field Data," in *2nd International Conference on Advances in Engineering and Technology*, 2017, pp. 136-140.
- [9]. M. Taheri and A. A. Bazzazi, "Reliability Analysis of Loader Equipment : A Case Study of a Galcheshmeh Travertine Quarry in Iran," in *International Black Sea Mining & Tunnelling Symposium*, Trabzon, 2017, pp. 327-335.
- [10]. S. Andriulo, M. A. Arleo, F. De Carlo, M. G. Gnoni, and M. T. Ghonii, "Effectiveness of of maintenance approaches for High Reliability Organizations," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, no. 3, pp. 466-471, 2015.
- [11]. H. Hassani and E. S. Silva, "A Kolmogorov-Smirnov Based Test for Comparing the Predictive Accuracy of Two Sets of Forecasts," *Econometrics*, vol. 3, no. 3, pp. 590-609, 2015.
- [12]. S. Viralinho, I. Lopes, J. A. Oliveira, "Preventive maintenance decisions through maintenance optimization models: a case study", in *27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*, Modena, 2017, pp. 1170-1177.
- [13]. A. Ben Mabrouk, A. Chelbi, M. Radhoui, "Optimal Imperfect Maintenance Strategy for leased equipment," *International Journal of Production Economics*, vol. 178, pp. 57-64, 2016.
- [14]. M. Floriana, J. D. Sorensen, "Planning of Operation & Maintenance Using Risk and Reliability Based Methods", *Energy Procedia*, vol. 80, pp. 357-364, 2015.
- [15]. C. D. Dao and M. J. Zuo, "Selective maintenance of multi-state systems with structural dependence", *Reliability Engineering and System Safety*, vol. 159, pp. 184-195, 2017.