

KAJIAN AVAILABILITAS PADA SISTEM KOMPONEN SERI

Avida Anugraheni C.¹, Sudarno², Triastuti Wuryandari³

¹Mahasiswa Jurusan Statistika FSM UNDIP

^{2,3}Staff Pengajar Jurusan Statistika FSM UNDIP

ABSTRACT

Availability is a measure of system performance and measures the combined effect of reliability, maintenance and logistic support on the operational effectiveness of the system. Availability of series system is derived from inherent availability of system that takes effect from mean time to failure (MTTF) and mean time to repair (MTTR). Given observed time data of microcontroller consists of processor core, memory and programmable I/O peripheral in series, is measured its system availability. By simple linier regression method, the parameter estimation is determined after data distribution known, for the mean time. Processor core has Weibull distribution for failure time data with $\hat{\beta} = 1.17$, $\hat{\eta} = 12000$ and $\hat{y}_i = -11.0142 + 1.1726x_i$ as regression model while repair time data is lognormal distribution with $\hat{\mu}_i = 2.83$, $\hat{\sigma}_i = 1.34$ and regression model is $\hat{y}_i = -2.1078 + 0.8322x_i$. Memory has exponential failure time data with $\hat{\lambda} = 0.00005$ and $\hat{y}_i = 0.00005x_i$ as regression model while normal repair time data has $\hat{\mu} = 27$ dan $\hat{\sigma} = 14.49$ and regression model is $\hat{y}_i = -1.8632 + 0.0699x_i$. Failure time data distribution of programmable I/O peripherals is Weibull with $\hat{\beta} = 1.21$, $\hat{\eta} = 20000$ and regression model $\hat{y}_i = -11.9695 + 1.2086x_i$ while lognormal repair time data has $\hat{\mu}_i = 3.05$, $\hat{\sigma}_i = 1.1$ and regression model is $\hat{y}_i = -2.7677 + 0.9069x_i$. Due to MTTF is 11364.57 hours and MTTR is 41.59 hours, processor core's availability is 99.64%. Availability of memory is 99.87% from MTTF is 20000 hours and MTTR is 27 hours. Programmable I/O peripheral has 18773.41 hours as MTTF and MTTR is 38.67 hours that deliver availability 99.79%. The series system availability is 99.30% means the probability of system is in the state of functioning at given time is 99.30%.

Keywords: Availability, MTTF, MTTR, Regression

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan sejarah, dari awal ditemukannya konsep mesin sederhana hingga menjadi mesin industri, jenis-jenis mesin baru terus bermunculan sehingga menggambarkan bahwa fungsi yang dimiliki adalah untuk membantu kerja manusia agar lebih efektif dan efisien. Untuk membuat sebuah mesin dibutuhkan komponen-komponen yang terangkai dan terintegrasi secara tepat. Tujuan dari proses rancangan mesin adalah untuk mendapatkan desain faktor yang tepat, sehingga dapat dipastikan komponen yang terangkai aman (Mott, 1985). Kata aman tersebut dapat diinterpretasikan sebagai pemasangan komponen pembentuk mesin sudah sesuai dengan rancangan yang terbaiknya. Agar mesin yang dirancang dapat bekerja dengan aman, maka setiap unsur komponen harus diperhatikan. Rangkaian komponen yang diperlukan harus memiliki pengukuran tepat dan bahan-bahan yang sesuai. Apabila seluruh standar yang diminta dalam rancangan terpenuhi, maka komponen-komponen pembentuk mesin akan bekerja sesuai dengan fungsinya dan mesin dapat melaksanakan tujuannya.

Rangkaian pengendali mikro terdiri dari inti prosesor, memori dan antarmuka I/O. Rangkaian tersebut dapat bekerja di dalam sistem seri. Sistem merupakan kumpulan dari komponen-komponen, subsistem atau bagian-bagian yang disusun pada pola tertentu

dalam rangka untuk memperoleh fungsi yang diinginkan dengan performa dan reliabilitas yang dapat diterima (Kumar, et al., 2006). Terdapat berbagai jenis rangkaian sistem, salah satunya sistem seri. Suatu sistem di mana setiap komponen harus bekerja dalam satu state fungsi disebut dengan sistem seri (Kumar, et al., 2006). Pada sistem seri jika terdapat satu komponen gagal bekerja, maka seluruh sistem juga akan gagal. Itulah sebabnya sistem seri hanya akan berjalan jika setiap komponen berfungsi dengan baik.

Suatu mesin yang dapat berfungsi tidak terlepas dari kemungkinannya untuk rusak. Kerusakan (*failure*) muncul pada saat item (mesin) berhenti menjalankan fungsi yang seharusnya. Waktu kegagalan sering kali berlangsung lama, tapi juga dapat berlangsung singkat, tergantung pada kerusakan yang disebabkan karena alasan tertentu pada saat mesin bekerja (Biroli, 2007). Sebuah mesin yang gagal bekerja dalam suatu kondisi tertentu membutuhkan beberapa waktu untuk memulihkannya. Jika suatu mesin gagal bekerja, maka diperlukan pemeliharaan (*maintenance*) agar mesin dapat kembali berfungsi. Terdapat dua jenis pemeliharaan yaitu *preventive maintenance* yang bertujuan untuk menguatkan mesin dan *corrective maintenance* untuk memperbaiki mesin yang gagal bekerja. *Preventive maintenance* disebut juga perawatan sedangkan *Corrective maintenance* disebut perbaikan. Selama proses perbaikan dibutuhkan waktu yang lamanya tergantung pada jenis kerusakan yang dialami mesin.

Dalam ilmu reliabilitas terdapat sebuah metode perhitungan yang berguna untuk mengukur performa suatu sistem untuk bekerja, yaitu availabilitas. Availabilitas merupakan suatu ukuran dari performa sistem serta untuk mengukur efek kombinasi dari reliabilitas, pemeliharaan dan dukungan logistik pada efektifitas operasional sistem. Suatu sistem yang tidak berjalan sebagaimana mestinya hanya akan merugikan penggunaannya baik dari segi waktu maupun biaya (Kumar, et al., 2006). Untuk mengukur availabilitas suatu sistem, dibutuhkan waktu kegagalan dan juga waktu perbaikan masing-masing mesin atau komponen dalam sistem. Dalam penulisan Tugas Akhir ini akan dijelaskan mengenai availabilitas suatu sistem komponen seri yang terdiri dari tiga komponen dengan distribusi waktu kegagalan dan waktu perbaikan masing-masing.

1.2 Permasalahan

Performa suatu sistem dilihat melalui waktu yang dicapai masing-masing komponen dari awal bekerja hingga mengalami kerusakan dan lama waktu yang dibutuhkan komponen tersebut untuk diperbaiki. Sehingga dengan adanya kedua waktu tersebut dapat digunakan untuk mengukur availabilitas sistem. Dalam penulisan tugas akhir ini ingin diketahui tingkat availabilitas dari rangkaian tiga komponen pada suatu sistem seri.

1.3 Tujuan Penulisan

Tujuan dari penelitian dalam penulisan tugas akhir ini adalah

1. Menentukan distribusi waktu kegagalan dan waktu perbaikan komponen.
2. Menentukan model regresi antara waktu dengan distribusinya.
3. Mencari estimator parameter dari distribusi waktu kegagalan dan waktu perbaikan komponen.
4. Menghitung rata-rata waktu kegagalan (MTTF) komponen dan rata-rata waktu perbaikan (MTTR) komponen.
5. Mengukur availabilitas pada sistem komponen seri.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ruang Sampel

Ruang sampel yang biasa disimbolkan dengan S, merupakan himpunan dari seluruh hasil percobaan. Suatu fungsi yang menetapkan nilai riil pada tiap sampel dalam ruang sampel biasa disebut dengan variabel acak atau *random variabel*. Ruang sampel waktu yang memiliki bilangan tak terhingga merupakan salah satu contoh variabel acak kontinu (Kumar, et al., 2006).

2.2 Distribusi Peluang

Hubungan antara nilai variabel acak dan peluangnya dicerminkan oleh distribusi peluang. Dalam teori statistika dikenal berbagai distribusi peluang yang masing-masingnya memiliki karakteristik tertentu (Siagian dan Sugiarto, 2000). Terdapat dua distribusi peluang, yaitu distribusi peluang diskrit dan distribusi peluang kontinu.

Fungsi distribusi kumulatif $F(x)$ suatu peubah acak X yang memiliki distribusi peluang diskrit adalah (Walpole, et al., 2012)

$$F(x) = P(X \leq x) = \sum_{t \leq x} f(t)$$

Fungsi distribusi kumulatif $F(x)$ suatu peubah acak X yang memiliki distribusi peluang kontinu adalah (Walpole, et al., 2012)

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt$$

2.3 Rata-rata Waktu Kegagalan dan Rata-rata Waktu Perbaikan

Rata-rata waktu dapat digunakan sebagai alat ukur untuk mengetahui performa suatu alat. Rata-rata waktu kegagalan (*mean time to failure* (MTTF)) menggambarkan variabel acak waktu kegagalan yang dimiliki suatu alat. Rata-rata waktu perbaikan (*mean time to repair* (MTTR)) merupakan rata-rata dari waktu perbaikan suatu alat. MTTF dan MTTR diperoleh dengan mencari nilai rata-rata sesuai dengan distribusi masing-masing (Kumar, et al., 2006):

$$E(T) = \int_{-\infty}^{\infty} t f(t) dt$$

2.4 Distribusi Peluang Kontinu

Jika variabel T adalah data waktu pengamatan, maka variabel T memiliki distribusi peluang kontinu. Distribusi data yang termasuk distribusi peluang kontinu adalah (Kumar, et al., 2006)

Tabel 2.1 Tabel Distribusi Peluang Kontinu

| Distribusi | Fungsi Densitas ($f(t)$) | Fungsi Distribusi Kumulatif ($F(t)$) | Rataan ($E(T)$) |
|---------------------|--|---|--|
| Eksponensial | $\lambda \exp(-\lambda t); t \geq 0$ | $1 - \exp(-\lambda t)$ | $\frac{1}{\lambda}$ |
| Weibull | $\frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]; \eta, \beta \geq 0;$ $t > 0$ | $1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]$ | $\eta \times \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right)$ |
| Normal | $\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right)$ | $\Phi(z) = \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)$ | μ |
| Lognormal | $\frac{1}{t\sigma_l\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \mu_l}{\sigma_l}\right)^2\right); t \geq 0$ | $\Phi\left(\frac{\ln a - \mu_l}{\sigma_l}\right)$ | $\exp\left(\mu_l + \frac{1}{2}\sigma_l^2\right)$ |

2.5 Uji Kecocokan Model Distribusi

Untuk menguji kecocokan model distribusi atau *goodness of fit* dari data kontinyu dapat menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov (K-S). Langkah-langkah yang diterapkan adalah berikut (Conover, 1980)

1. Menentukan hipotesis
 $H_0 : F(t) = F^*(t)$ (Data mengikuti distribusi yang ditetapkan)
 $H_1 : F(t) \neq F^*(t)$ (Data tidak mengikuti distribusi yang ditetapkan)
2. Menentukan taraf signifikansi
Taraf signifikansi yang digunakan nantinya sebesar 5%
3. Statistik uji
 $D_n = \sup_{-\infty < t < \infty} |F^*(t) - S(t)|$
 $S(t)$: Fungsi distribusi empiris
 $F^*(t)$: Fungsi distribusi yang dihipotesiskan
4. Kriteria pengambilan keputusan
Nilai supremum yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan tabel Kolmogorov-Smirnov. Jika nilai D_n lebih besar sama dengan nilai tabel, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima. Sebaliknya jika nilai D_n lebih kecil nilai tabel maka H_0 diterima dan H_1 ditolak.

2.6 Regresi Linier Sederhana

Dengan menentukan model regresi linier dapat diperoleh beberapa kegunaannya sebagai berikut (Kumar, et al., 2006)

1. Memeriksa apakah terdapat hubungan linier antara variabel dependen dan variabel independen,
2. Memprediksi nilai variabel terikat atau \hat{Y} ,
3. Mengestimasi konstanta ' α ' dan koefisien ' β ' dari model $Y = \alpha + \beta X + e$.

Pada analisis reliabilitas, X adalah waktu pengamatan dan Y adalah fungsi linier X. Fungsi distribusi kumulatif nantinya diestimasi menggunakan Bernard's *median rank*, karena memiliki pendekatan terbaik untuk mengestimasi $\hat{F}(t_i)$ (Abernethy 1993 dan Kumar et. al. 2006), yaitu

$$\hat{F}(t_i) = \frac{i-0.3}{n+0.4}$$

Nilai dari konstanta a dan koefisien b diestimasi menggunakan metode *least square* atau metode kuadrat terkecil. Sehingga nilai konstanta a dan koefisien b adalah (Kumar, et al., 2006)

$$a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i - \frac{b}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i Y_i) - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2}$$

Apabila pada kasus tertentu nilai konstanta $a = 0$, maka koefien b adalah

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i Y_i)}{\sum_{i=1}^n X_i^2}$$

Seperti yang dikemukakan oleh Bingham dan Fry (2010), kegunaan dari distribusi Fisher F adalah untuk menguji hipotesis linier. Sehingga dengan menggunakan uji ANOVA satu arah atau biasa disebut uji F dapat diketahui apakah model regresi yang didapat linier atau tidak. Berikut langkah-langkah dalam uji signifikansi model:

1. Menentukan hipotesis
 $H_0 : b = 0$ (Model regresi tidak signifikan)
 $H_1 : b > 0$ (Model regresi signifikan)

2. Menentukan taraf signifikansi
Taraf signifikansi yang digunakan nantinya sebesar 5%
3. Statistik uji

Tabel 2.3 Tabel ANOVA Satu Arah

| Sumber Keragaman | Derajat Kebebasan | Jumlah Kuadrat | Kuadrat Tengah | F |
|------------------|-------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Regresi | P | $JKR = b \sum x_i y_i$ | $KTR = \frac{JKR}{p}$ | $F_{hit} = \frac{KTR}{KTG}$ |
| Galat | n-p-1 | $JKG = JKT - JKR$ | $KTG = \frac{JKG}{n-p-1}$ | |
| Total | n-1 | $JKT = \sum y_i^2$ | | |

4. Kriteria pengambilan keputusan

Nilai F_{hit} yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan nilai tabel $F_{(\alpha, p, n-p-1)}$.

Jika nilai F_{hit} lebih besar dari nilai tabel, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima.

Sebaliknya jika nilai F_{hit} lebih kecil nilai tabel maka H_0 diterima dan H_1 ditolak.

Pada tahun 2006, Kumar, et al. menyatakan bahwa koefisien korelasi adalah ukuran untuk mengetahui keeratan hubungan antara dua variabel. Koefisien korelasi, r ditunjukkan sebagai berikut

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i Y_i) - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2} \times \sqrt{n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2}}$$

Apabila nilai yang dihasilkan positif artinya korelasi antara X dan Y positif dimana jika nilai X meningkat, nilai Y juga ikut meningkat. Apabila nilai yang diperoleh negatif artinya korelasi antara X dan Y negatif dimana jika nilai X meningkat, nilai Y berkurang. Untuk menilai keeratan hubungan antara X dan Y dapat menggunakan tabel berikut

Tabel 2.4 Keeratan Hubungan yang Ditunjukkan oleh r

| Ukuran r | Interpretasi |
|----------------|--------------------------------------|
| $\pm(0.9-1.0)$ | Sangat Kuat |
| $\pm(0.8-0.9)$ | Kuat |
| $\pm(0.6-0.8)$ | Moderate |
| $\pm(0.2-0.6)$ | Lemah |
| $\pm(0.0-0.2)$ | Sangat lemah atau tidak ada hubungan |

Sumber: Willemse, I. (1992)

Diungkapkan oleh Kumar, et. al. (2006) dan Pasha, et. al. (2006) bahwa koefisien korelasi dapat digunakan untuk uji kecocokan model distribusi.

Berikut adalah fungsi regresi yang telah disesuaikan dengan distribusi datanya sehingga dapat diperoleh estimasi parameter regresi dan estimasi parameter distribusi

Tabel 2.5 Fungsi Regresi Masing-masing Distribusi

| Distribusi | x_i | y_i | Estimasi Parameter Distribusi | |
|---------------------|-----------|---|-------------------------------|--------------------------|
| Eksponensial | t_i | $\ln \frac{1}{1-F(t_i)} = \lambda t_i$ | $\lambda = b$ | |
| Weibull | $\ln t_i$ | $\ln \left(\ln \left(\frac{1}{1-F(t)} \right) \right) = \beta \ln t - \beta \ln \eta$ | $\beta = b$ | $\eta = \exp(-a/b)$ |
| Normal | t_i | $z_i = \frac{t_i - \mu}{\sigma} = \Phi^{-1}[F(t_i)]$ | $\mu = -\frac{a}{b}$ | $\sigma = \frac{1}{b}$ |
| Lognormal | $\ln t_i$ | $\frac{\ln t - \mu_l}{\sigma_l} = \Phi^{-1}[F(t)]$ | $\mu_l = -\frac{a}{b}$ | $\sigma_l = \frac{1}{b}$ |

2.7 Availabilitas Sistem Seri

Availabilitas merupakan ukuran performa suatu komponen atau sistem yang merupakan kombinasi antara reliabilitas, pemeliharaan, dan dukungan logistik yang dimiliki komponen atau sistem tersebut. Untuk mengukur nilai availabilitas sebuah sistem seri dengan n item digunakan fungsi sebagai berikut

$$A_s(t) = \prod_{k=1}^n A_i(t) = \prod_{k=1}^n \frac{MTTF_i}{MTTF_i + MTTR_i}$$

Dimana $A_i(t)$ adalah availabilitas item i yang dimiliki oleh suatu sistem. Availabilitas item yang melekat pada sistem, $A_i(t)$, merupakan probabilitas *steady state* (yaitu, $t \rightarrow \infty$) bahwa sebuah item akan berada pada kondisi berfungsi (*state of functioning*), dengan berasumsi bahwa probabilitas ini hanya bergantung pada waktu kegagalan dan waktu perbaikan.

$$A_i(t) = \frac{MTTF_i}{MTTF_i + MTTR_i}$$

Nilai availabilitas sistem yang telah diperoleh dapat dituangkan dalam bentuk persen. Jika availabilitas sistem yang dicari adalah rangkaian pengendali mikro, maka nilai availabilitas sistem yang diperoleh memiliki arti bahwa probabilitas ketersediaan rangkaian tersebut dalam melakukan kontrol pada saat yang dikehendaki sebesar nilai availabilitas yang dimiliki (Kumar, et al., 2006).

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Data simulasi yang digunakan terdiri dari tiga jenis item yang masing-masing memiliki waktu kegagalan dan waktu perbaikan dengan distribusi variabel masing-masing.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan adalah rangkaian pengendali mikro atau *microcontroller* yang memiliki komponen terdiri dari inti prosesor, memori dan antarmuka I/O dalam sistem seri. Masing-masing variabel diamati sebanyak 33 kali dengan distribusi data yaitu

1. Waktu Kegagalan

Prosesor sebagai Komponen 1: distribusi Weibull

Memori sebagai Komponen 2: distribusi eksponensial

Antarmuka I/O sebagai Komponen 3: distribusi Weibull

2. Waktu Pengamatan

Komponen 1: distribusi lognormal

Komponen 2: distribusi normal

Komponen 3: distribusi lognormal

3.3 Tahapan Analisis

Tahapan analisis terdiri dari langkah-langkah yang harus diambil agar tujuan dari penulisan tugas akhir ini tercapai. Terdapat tiga tahapan analisis yang harus diaplikasikan, yaitu

Tahap I : Uji data masing-masing variabel

- Menentukan tipe data.
- Uji distribusi dengan uji Kolmogorov-Smirnov

Tahap II : Membuat Model Regresi Linier

- Menghitung nilai fungsi kumulatif distribusi

- b. Mendapatkan fungsi linier, yaitu y_i , dengan transformasi $F(t)$ masing-masing distribusi
- c. Menentukan model regresi linier masing-masing data pengamatan waktu
- d. Mengukur koefisien korelasi antar variabel
- e. Melakukan uji F
- f. Melakukan estimasi parameter distribusi

Tahap III : Menentukan avabilitas sistem

- a. Menghitung rata-rata waktu kegagalan (MTTF) dan rata-rata waktu perbaikan (MTTR) masing-masing variabel.
- b. Menghitung availabilitas masing-masing komponen dalam sistem $A_i(t)$
- c. Menghitung availabilitas sistem seri $A_s(t)$.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Waktu Kegagalan dan Waktu Perbaikan

Kerusakan (*failure*) muncul pada saat komponen berhenti menjalankan fungsi yang seharusnya. Waktu kegagalan sering kali berlangsung lama, tapi juga dapat berlangsung singkat, tergantung pada kerusakan yang disebabkan karena alasan tertentu pada saat mesin bekerja (Biolini, 1994). Agar komponen yang rusak kembali bekerja perlu dilakukan pemeliharaan. Terdapat dua jenis pemeliharaan, yaitu *preventive maintenance* yang bertujuan untuk meningkatkan mesin dan *corrective maintenance* untuk memperbaiki mesin yang gagal bekerja. *Corrective maintenance* disebut juga perbaikan. Baik saat komponen rusak maupun saat sedang diperbaiki, keduanya membutuhkan waktu sehingga data waktu yang dikumpulkan disebut data waktu kegagalan dan waktu perbaikan. Dalam pengukuran availabilitas sistem, data yang dibutuhkan adalah data pengamatan waktu kegagalan dan perbaikan masing-masing komponen dalam sistem.

4.2 Data Waktu Pengamatan pada Pengendali Mikro

4.2.1 Data

Dalam penelitian ini digunakan data simulasi tentang rangkaian pengendali mikro atau *microcontroller*. Di dalam rangkaian tersebut, terdapat tiga komponen, yaitu inti prosesor, memori dan antarmuka I/O, yang terangkai dalam sistem seri. Data simulasi berikut menggambarkan waktu pengamatan masing-masing komponen sebanyak 33 pengamatan dengan satuan jam. Pada waktu pengamatan processor core (komponen 1) dan antarmuka I/O (komponen 3), waktu keagalannya berdistribusi Weibull dan waktu perbaikannya berdistribusi lognormal. Waktu pengamatan memori (komponen 2) memiliki distribusi waktu kegagalan eksponensial dan waktu perbaikan berdistribusi normal.

4.2.2 Uji Kecocokan Model Distribusi

Uji kecocokan model distribusi menggunakan Uji Kolmogorov-Smirnov dengan hasil berikut

1. Hipotesis
 - H_0 : Data mengikuti distribusi yang ditetapkan
 - H_1 : Data tidak mengikuti distribusi yang ditetapkan
2. Taraf Signifikansi sebesar 5% sehingga diperoleh nilai tabel sebesar 0,231
3. Kriteria Penolakan: tolak H_0 jika $D_n \geq$ nilai table

Tabel 4.1 Hasil Uji Kolmogorov-Smirnov Masing-masing Data Komponen Waktu Pengamatan

| Komponen | Waktu Pengamatan | D_n | Keputusan |
|------------|------------------|--------|----------------|
| Komponen 1 | Kegagalan | 0,1960 | H_0 diterima |
| | Perbaikan | 0,1064 | H_0 diterima |
| Komponen 2 | Kegagalan | 0,2158 | H_0 diterima |
| | Perbaikan | 0,1629 | H_0 diterima |
| Komponen 3 | Kegagalan | 0,1257 | H_0 diterima |
| | Perbaikan | 0,1093 | H_0 diterima |

4.2.3 Estimasi Parameter dengan Regresi Linier

Tabel 4.2 Hasil Regresi Linier Masing-masing Data Komponen Waktu Pengamatan

| Komponen | Waktu Pengamatan | Model | r | Hasil Uji F | Estimasi Parameter | |
|------------|------------------|----------------------------------|-------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Komponen 1 | Kegagalan | $\hat{y}_i = -11,014 + 1,173x_i$ | 0,928 | Model regresi signifikan | $\hat{\beta} = 1,173$ | $\hat{\eta} = 12000$ |
| | Perbaikan | $\hat{y}_i = -2,108 + 0,746x_i$ | 0,994 | Model regresi signifikan | $\hat{\mu}_i = 2,8264$ | $\hat{\sigma}_i = 1,3409$ |
| Komponen 2 | Kegagalan | $\hat{y}_i = 0,00005x_i$ | 0,953 | Model regresi signifikan | $\hat{\lambda} = 0,00005$ | |
| | Perbaikan | $\hat{y}_i = -1,8632 + 0,069x_i$ | 0,972 | Model regresi signifikan | $\hat{\mu} = 27$ | $\hat{\sigma} = 14,4915$ |
| Komponen 3 | Kegagalan | $\hat{y}_i = -11,970 + 1,209x_i$ | 0,981 | Model regresi signifikan | $\hat{\beta} = 1,209$ | $\hat{\eta} = 20000$ |
| | Perbaikan | $\hat{y}_i = -2,768 + 0,907x_i$ | 0,988 | Model regresi signifikan | $\hat{\mu}_i = 3,0520$ | $\hat{\sigma}_i = 1,1027$ |

4.3 Rata-rata waktu Kegagalan dan Rata-rata waktu Perbaikan

Untuk mencari nilai rata-rata waktu kegagalan (MTTF) dan rata-rata waktu perbaikan (MTTR), digunakan fungsi rata-rata sesuai distribusi data masing-masing. Parameter yang diaplikasikan ke dalam fungsinya menggunakan hasil estimasi parameter dengan analisis regresi linier.

Tabel 4.3 Hasil Regresi Linier Masing-masing Data Komponen Waktu Pengamatan

| Komponen | MTTF (Jam) | MTTR (Jam) |
|------------|------------|------------|
| Komponen 1 | 11364,57 | 41,59 |
| Komponen 2 | 20000 | 27 |
| Komponen 3 | 18773,41 | 38,67 |

4.4 Availabilitas Sistem Seri

Availabilitas suatu sistem diperoleh dengan cara mencari nilai availabilitas masing-masing komponen dalam sistem terlebih dahulu dengan fungsi

$$A_i(t) = \frac{MTTF_i}{MTTF_i + MTTR_i}$$

Availabilitas masing-masing komponen dalam sistem adalah

$$A_1 = \frac{11364,57}{11364,57 + 41,59} = 0,9964$$

$$A_2 = \frac{20000}{20000+27} = 0,9987$$

$$A_3 = \frac{18773,41}{18773,41+38,67} = 0,9979$$

Setelah availabilitas masing-masing komponen pada sistem diperoleh, maka availabilitas sistem seri dapat diperoleh dengan cara berikut

$$A_s(t) = \prod_{k=1}^n \frac{MTTF_i}{MTTF_i + MTTR_i} = \prod_{k=1}^n A_i(t)$$

Sehingga availabilitas sistem seri tersebut adalah

$$A_s(t) = \prod_{k=1}^n A_i(t) = 0,9964 \times 0,9987 \times 0,9979 = 0,9930$$

5. KESIMPULAN

Pada penulisan tugas akhir ini, diperoleh kesimpulan yang merupakan hasil analisis dari bab hasil dan pembahasan, sebagai berikut

1. Data simulasi yang diperoleh dibuktikan dengan uji kecocokan distribusi Kolmogorov-Smirnov dengan $\alpha = 5\%$, menunjukkan kecocokan distribusi sesuai dengan yang diujikan. Sehingga diketahui bahwa data waktu pengamatan komponen 1, distribusi waktu kegagalannya Weibull dan distribusi waktu perbaikannya lognormal. Sedangkan data waktu pengamatan komponen 2 memiliki waktu kegagalan berdistribusi eksponensial dan waktu perbaikan berdistribusi normal, dan data waktu kegagalan dan waktu perbaikan komponen 3 mengikuti distribusi Weibull dan distribusi lognormal.
2. Model regresi waktu kegagalan komponen 1 adalah $y_i = -11,0142 + 1,1726x_i$ dengan estimasi parameter $\hat{\beta} = 1,1726$ dan $\hat{\eta} = 12000$. Model regresi waktu perbaikan komponen 1 adalah $y_i = -2,1078 + 0,8322x_i$ dengan estimasi parameter $\hat{\mu}_i = 2,8264$ dan $\hat{\sigma}_i = 1,3409$. Dari analisis regresi pada data waktu kegagalan komponen 2 diperoleh modelnya adalah $y_i = 0,00005x_i$ dengan estimasi parameter yaitu $\hat{\lambda} = 0,00005$. Model regresi waktu perbaikan komponen 2 adalah $y_i = -1,8632 + 0,0699x_i$ dengan estimasi parameter $\hat{\mu} = 27$ dan $\hat{\sigma} = 14,4915$. Model regresi dari waktu kegagalan komponen 3 adalah $y_i = -11,9695 + 1,2086x_i$ dengan estimasi parameter $\hat{\beta} = 1,2086$ dan $\hat{\eta} = 20000$. Sedangkan model regresi waktu perbaikan komponen 3 adalah $y_i = -2,7677 + 0,9069x_i$ dengan estimasi parameter $\hat{\mu}_i = 3,0520$ dan $\hat{\sigma}_i = 1,1027$.
3. Dengan menggunakan parameter yang diperoleh dari estimasi parameter melalui regresi, diperoleh rata-rata masing-masing waktu pengamatan sesuai dengan fungsi rata-ratanya. Rata-rata waktu kegagalan pada komponen 1 adalah 11364,57 jam dan rata-rata waktu perbaikannya adalah 41,59 jam. Komponen 2 memiliki rata-rata waktu kegagalan sebesar 20000 jam dan rata-rata waktu perbaikan 27 jam. Rata-rata waktu kegagalan dan rata-rata waktu perbaikan komponen 3 masing-masing sebesar 18773,41 jam dan 38,67 jam.
4. Nilai availabilitas pada rangkaian ketiga komponen, inti prosesor, memori dan antarmuka I/O, dalam sistem seri adalah 99,30%. Nilai availabilitas tersebut menunjukkan bahwa probabilitas ketersediaan rangkaian tersebut dalam melakukan kontrol pada saat yang dikehendaki sebesar 99,30%.

DAFTAR PUSTAKA

- Bingham, N.H., and Fry, J.M., (2010). *Linier Model in Statistics*, Springer, London.
- Birolini, A., (2007). *Reliability Engineering Theory and Practice*, Fifth Edition, Springer, New York.
- Conover, W.J., (1980). *Practical Nonparametric Statistics*, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., Canada.
- Kumar, U.D., Crocker, J., et al., (2006). *Reliability and Six Sigma*, Springer, New York.
- Mott, R.L., (1985). *Machine Elements in Mechanical Design*, Fourth Edition, Pearson Prentice Hall, New Jersey.
- Pasha, G.R, et. al., (2006). “Empirical Analysis of The Weibull Distribution for Failure Data”, *Journal of Statistics*, Vol: 13, No.1 (2006), ISSN 1684-8403.
- Siagian, D. dan Sugiarto, (2002). *Metode Statistika untuk Bisnis dan Ekonomi*, Gramedia, Jakarta.
- Walpole, R.E., Myers, R.H., et al., (2012). *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*, Ninth Edition, Prentice Hall, Boston.
- Willemse, I., (2009). *Statistical Methods and Calculation Skills*, Third Edition, Juta & Co Ltd., Cape Town.