ISBN: 978-602-14387-0-1

KAJIAN AVAILABILITAS PADA SISTEM PARALEL

Riana Ayu Andam P.[1], Sudarno[2], Suparti[3]
[1]Mahasiswa Jurusan Statistika FSM UNDIP
[2,3]Staff Pengajar Jurusan Statistika FSM UNDIP

Abstract

Availabilitas merupakan ukuran performa suatu komponen atau sistem yang merupakan kombinasi antara reliabilitas, perwatan, dan dukungan logistik yang dimiliki komponen atau sistem tersebut. Availabilitas sistem paralel berasal dari ketersediaan melekat sistem yang berlaku dari rata-rata waktu kegagalan (MTTF) dan rata-rata waktu perbaikan (MTTR). Data waktu yang diamati adalah data pada mesin katrol yang terdiri dari crane dan hoist yang terangkai menjadi sistem paralel, data tersebut untuk mengukur availabilitas sistem. Metode regresi linier sederhana dan maximum likelihood estimator (*MLE*) digunakan untuk mencari estimasi parameter, ditentukan setelah distribusi data diketahui, untuk rata-rata waktu. Crane mempunyai distribusi eksponensial untuk data waktu kegagalan dengan λ = 0,00023 dan distribusi normal untuk waktu perbaikan dengan μ = 45,70 dan σ = 13,1356. Sedangkan hoist mempunyai distribusi weibull untuk data waktu kegagalan dengan μ_l = 3,7717 dan σ_l = 0,7948. Pada crane diperoleh MTTF sebesar 4000 jam dan MTTR sebesar 45,70 jam, sehingga availabilitas pada crane sebesar 98,87%. Pada hoist diperoleh MTTF sebesar 5821,61 jam dan MTTR sebesar 67,80 jam, sehingga availabilitas pada hoist sebesar 98,84%. Availabilitas pada sistem paralel adalah 99,986% yang artinya probabilitas sistem dalam keadaan berfungsi pada waktu tertentu adalah 99,986%.

Keywords: Availability, MTTF, MTTR, MLE

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam memenuhi kebutuhannya, manusia memerlukan mesin untuk mempermudah dalam melakukan usahanya. Sebagian besar aktivitas manusia sangat bergantung pada mesin. Sejak penemuan mesin uap oleh James Watt pada tahun 1764 dan menjadi pendorong terjadinya revolusi industri pada abad 18, mesin menjadi bagian yang tidak terpisahkan dalam perkembangan industri dunia. Sejak saat itu, penggunaan mesin-mesin dalam industri menjadi kebutuhan mutlak dalam aktivitas produksi dan manufakturing.

Mesin dapat diuraikan menjadi komponen - komponen tersendiri seperti baut-sekrup, pasak, poros, kopling, rem, dan sebagainya. Sebuah sistem mesin dapat disusun dari komponen - komponen mesin menjadi sebuah kesatuan. Namun, kesatuan yang telah diperoleh tersebut dapat diterapkan sebagai sebuah bagian atau sebuah komponen lagi dari sistem yang lebih besar (Hagendoorn, 1989). Pemasangan komponen mesin

ISBN: 978-602-14387-0-1

harus sesuai dengan rancanangan yang dibuat dan pengukurannya harus tepat agar mesin tidak mudah mengalami kegagalan. Untuk mengontruksi, menghitung dan membuat suatu komponen mesin, perlu untuk mengetahui tujuannya guna menentukan fungsi komponen dan syarat yang harus dipenuhi dari komponen tersebut (Stolk, Kros, 1981). Jenis-jenis komponen, jumlah, kualitas dan cara di mana mereka diatur dalam sistem berdampak langsung pada keandalan sistem. Dalam prakteknya sistem paralelng digambarkan sebagai jaringan dimana komponennya terhubung bersama-sama baik secara paralel, paralel atau kombinasi keduanya (Kumar, Crocker, etc., 2006)

Sistem adalah kumpulan dari komponen - komponen, subsistem atau rakitan yang disusun dalam pola tertentu untuk memperoleh fungsi yang diinginkan dengan kinerja dan keandalan yang dapat diterima (Kumar, Crocker, etc.,2006). Sistem paralel adalah sistem dimana kegagalan sistem hanya akan terjadi ketika semua komponen dalam sistem gagal (Kumar, Crocker, etc., 2006). Pada proses industri, mesin dengan sistem paralel yang digunakan lebih dari satu, seperti recoiler - bridle (pada mesin produksi), mesin crane - hoist (pada mesin katrol), dan mesin blower - nozzle (pada mesin penghasil udara). Mesin-mesin tersebut bekerja dalam satu sistem yaitu sistem paralel. Pada sistem paralel, jika terdapat satu komponen yang gagal bekerja maka sistem masih akan tetap berjalan atau sistem akan gagal jika semua komponennya gagal bekerja.

Suatu mesin akan mengalami kemunduran kinerjanya dan mengalami kerusakan atau kegagalan pada waktu tertentu. Kerusakan atau kegagalan terjadi pada saat item (mesin) berhenti menjalankan fungsi yang diperlukan. Kegagalan juga dapat diklasifikasikan menjadi kegagalan mendadak dan kegagalan bertahap. Kegagalan tiba-tiba dan kegagalan lengkap yang disebut kegagalan berhubung dengan katalepsia dan Kegagalan bertahap dan parsial disebut kegagalan degradasi (Birolini, 1994). Ketika suatu mesin gagal atau mengalami kerusakan, maka diperlukan suatu pemeliharaan atau perbaikan agar mesin dapat bekerja kembali. Pemeliharaan terdiri dari tindakan apapun yang mengubah suatu produk atau sistem sedemikian rupa untuk tetap dalam kondisi operasional atau untuk mengembalikannya kekondisi operasional jika berada dalam kondisi gagal atau rusak. Ada dua jenis utama dari tindakan perawatan, antara lain adalah: preventive maintenance, tindakan ini umumnya dibutuhkan saat kerusakan pada sistem operasional dan dimaksudkan untuk meningkatkan lamanya masa hidup dan

ISBN: 978-602-14387-0-1

corrective maintenance, terdiri dari tindakan yang diambil untuk memperbaiki produk gagal atau sistem kekeadaan operasional. (Blischke, Murthy, 2003).

Availabilitas adalah ukuran dari kinerja sistem dan ukuran efek gabungan dari keandalan, pemeliharaan dan dukungan logistiknya pada efektivitas operasional sistem. Suatu sistem yang gagal tidak menguntungkan bagi penggunanya bahkan dapat merugikan dari segi biaya. Availabilitas didefinisikan sebagai Probabilitas bahwa item dalam keadaan berfungsi pada suatu titik tertentu dalam waktu (titik availabilitas) atau selama periode menyatakan waktu (selang availabilitas) ketika dioperasikan, dipelihara dan didukung dalam cara yang telah ditentukan (Kumar, Crocker, etc., 2006).

1.2 Permasalahan

Kinerja suatu sistem dapat dilihat berdasarkan waktu yang dicapai masing-masing komponen dari awal bekerja hingga mengalami kerusakan dan lama waktu yang dibutuhkan komponen untuk diperbaiki. Dengan adanya waktu tersebut dapat digunakan untuk mengukur availabilitas sistem.

1.3 Tujuan Penulisan

Tujuan dari penelitian dalam penulisan tugas akhir ini adalah

1. Menentukan distribusi waktu kegagalan dan waktu perbaikan komponen.
2. Mencari estimator parameter dari distribusi waktu kegagalan dan waktu perbaikan komponen.
3. Menghitung rata-rata waktu kegagalan (MTTF) komponen dan rata-rata waktu perbaikan (MTTR) komponen.
4. Mengukur availabilitas pada sistem komponen paralel.

2. Tinjauan Pustaka

Ruang Sampel

Ruang sampel merupakan himpunan semua hasil yang diperoleh dari suatu eksperimen dan dilambangkan dengan S. Anggota dalam ruang sampel dinamakan titik sampel. Kejadian adalah himpunan bagian dari ruang sampel. Himpunan kosong adalah himpunan bagian ruang sampel yang tidak mengandung unsur. Himpunan ini dinyatakan dengan lambang $\emptyset$. (Walpole, et al., 2012)

ISBN: 978-602-14387-0-1

Distribusi Peluang

Terdapat dua distribusi peluang, yaitu distribusi peluang distkrit dan distribusi peluang kontinyu.

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

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

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

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

Distribusi Peluang Kontinyu

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

Tabel 2.1 Tabel Distribusi Peluang Kontinyu

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	$\frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}\right]$; $\eta, \beta \geq 0; t > 0$	$1 - \exp - \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}$	$\eta \times \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right)$
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	$\frac{1}{t\sigma_l\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t-\mu_l}{\sigma_l}\right)^2\right)$; $t \geq 0$	$\Phi\left(\frac{\ln a-\mu_l}{\sigma_l}\right)$	$\exp\left(\mu_l + \frac{1}{2}{\sigma_l}^2\right)$

Uji Kolmogorov-Smirnov

Asumsi Uji Kolmogorov-Smirnov adalah data terdiri atas pengamatan bebas X_1, $X_2, \ldots, X_n$ yang merupakan sebuah sampel acak berukuran n dari suatu fungsi distribusi yang belum diketahui dan dinyatakan dengan F(x). Adapun langkah-langkah uji Kolmogorov-Smirnov sebagai berikut (Daniel, 1978)

1. Menentukan hipotesis

ISBN: 978-602-14387-0-1

H_0 : distribusi yang diamati sama dengan distribusi yang diduga

H_1 : distribusi yang diamati tidak sama dengan distribusi yang diduga

2. Menentukan taraf signifikansi

   Disini akan digunakan interval kepercayaan (1-α)100% dengan taraf signifikansi α=5%

3. Statistik uji

   D = Sup |S(x)-F_0(x)|

   S(x) : distribusi frekuensi kumulatif data sampel

   F_0(x) : Distribusi kumulatif dari distribusi yang dihipotesiskan

4. Kriteria uji

   Tolak H_0 pada interval kepercayaan (1-α)100% jika nilai D > nilai D*(α). Nilai D*(α) adalah nilai kritis yang diperoleh dari tabel Kolmogorov-Smirnov.

Regresi Linier Sederhana

Dengan menentukan model regresi liner dapat diperoleh beberapa kegunaanya 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. Mengestimasikan 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 mengetimasi $\hat{F}(t_i)$ (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)

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

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

ISBN: 978-602-14387-0-1

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

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

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

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

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 2.2 Keeratan Hubungan yang Ditunjukkan oleh r

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

Sumber: Willemse, I. (1992)

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

Maximum Likelihood Estimator **(MLE)**

Metode *maximum likelihood estimator* (MLE) biasa digunakan untuk mengestimasikan parameter suatu data yang berdistribusi. Dengan menganggap bahwa masing-masing anggota ruang sampel waktu $t_1, t_2, \dots, t_n$ seluruhnya independen dan berdistribusi identik dengan fungsi probabilitas $f(t; \hat{\theta})$, maka dapat dihitung likelihoodnya yaitu (Kumar, et al., 2006)

ISBN: 978-602-14387-0-1

$$l = \prod_{i=1}^{n} f(t_i;\ \hat{\theta})$$

Agar lebih mudah secara matematis dan mereduksi persoalan yang berhubungan dengan angka-angka yang mendekati nilai nol, digunakanlah transformasi logaritma natural :

$$-log_e(l) = -\ln(l) = L = -\sum_{i=1}^{n} \ln\left(f\left(t_i;\ \hat{\theta}\right)\right)$$

Karena nilai *f(t)* akan selalu berada di antara 0 dan 1, natural logaritma akan selalu bernilai negatif. Karena itulah agar nilai yang dihasilkan positif, tanda negatif disematkan. Metode MLE didasari pada asumsi bahwa parameter didapat dengan cara memaksimalkan likelihood dan meminimalkan nilai L. Maka fungsi maksimal dan minimum likelihood menjadi

$$\frac{dL}{d\hat{\theta}} = 0$$

Setelah nilai L diturunkan, langkah berikutnya adalah mensubstitusikan anggota ruang sampel waktu dan menyelesaikan persamaan yang didapat untuk mendapatkan parameter estimasi terbaik.

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 rataan sesuai dengan distribusi masing-masing (Kumar, et al., 2006):

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

Availabilitas Sistem Paralel

Availabilitas merupakan ukuran performa suatu komponen atau sistem yang merupakan kombinasi antara reliabilitas, pemeliharaan, dan dukungan logistik yang

ISBN: 978-602-14387-0-1

dimiliki komponen atau sistem tersebut. Untuk mengukur nilai availabilitas sebuah sistem paralel dengan n item digunakan fungsi sebagai berikut

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

Dimana $A_i(t)$ adalah availabilitas item i yang dimiliki oleh suatu sistem. Avabilitas item yang melekat pada sistem, $A_i(t)$, merupakan probabilitas *steady state* (yaitu, $t \to \infty$) 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 mesin katrol, maka nilai availabilitas sistem yang diperoleh memiliki arti bahwa probabilitas ketersediaan rangkaian tersebut dalam melakukan katrol 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 dua 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 mesin katrol yang memiliki komponen terdiri dari crane dan hoist dalam sistem paralel. Masing-masing variabel diamati sebanyak 30 kali dengan distribusi data yaitu

3.3 Waktu Kegagalan

Crane sebagai Komponen 1: distribusi eksponensial

Hoist sebagai Komponen 2: distribusi weibull

ISBN: 978-602-14387-0-1

3.4 Waktu Perbaikan

Komponen 1: distribusi normal

Komponen 2: distribusi lognormal

3.5 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

a. Menentukan tipe data.
b. Uji distribusi dengan uji Kolmogorov-Smirnov
c. Mengestimasi parameter data kegagalan dan perbaikan yang berdistribusi weibull dengan analisis regresi dan data yang berdistribusi eksponensial, normal, dan lognormal dengan MLE (Maximum Likelihood Estimator.)

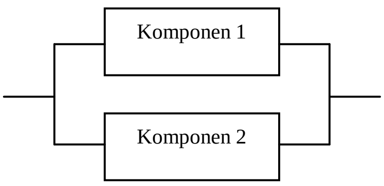
Tahap III : Menentukan titik avabilitas sistem

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

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Susunan Sistem (Paralel)

Akan dibahas suatu sistem yang terdiri dari 2 komponen, yaitu crane dan hoist. Untuk lebih jelasnya, akan dijelaskan pada sub bab di bawah ini



ISBN: 978-602-14387-0-1

4.2 Fungsi Bentuk

Dimisalkan komponen 1 dinamakan X_1 dan komponen 2 dinamakan X_2. Komponen tersebut mempunyai dua kemungkinan, yaitu hidup atau mati. Dari kemungkinan tersebut dihasilkan fungsi indikator sebagai berikut :

$$X_i = \begin{cases} 1, & jika\ komponen\ ke\ i\ hidup \\ 0, & jika\ komponen\ ke\ i\ mati \end{cases}$$

Jika dinyatakan dalam bentuk vektor, yaitu **X** = (X_1, X_2) sehingga akan diperoleh vektor – vektor sebagai berikut : (1,1) yang berarti sistem hidup, (1,0) yang berarti sistem hidup, (0,1) yang berarti sistem hidup, (0,0) yang berarti sistem mati. Artinya suatu komponen dalam sistem paralel, kemungkinan hidupnya lebih panjang dibandingkan dengan kemungkinan matinya.

Vektor tersebut akan menghasilkan suatu keputusan sistem akan hidup atau akan mati. Mesin akan hidup jika jika terdapat komponen yang bernilai 1 dan akan mati jika semua komponen bernilai 0. Maka vektor **X** ini disebut vektor state atau keadaan. Akibatnya akan muncul suatu fungsi Φ(X) sedemikian hingga

$$\Phi(X) = \begin{cases} 1 & ,jika\ sistem\ berfungsi \\ 0 & ,jika\ sistem\ mati \end{cases}$$

Fungsi Φ(X) disebut fungsi bentuk dari sistem. Fungsi bentuk bernilai 1 jika sistem berfungsi, dengan kata lain vektor **X** berfungsi. Sedangakan fungsi bentuk bernilai 0 jika sistem mati, dengan kata lain vektor **X** mati. Suatu sistem paralel akan berfungsi jika sekurang-kurangnya satu komponennya hidup. Sehingga fungsi bentuknya diberikan dengan

$$\Phi(X) = \max(\boldsymbol{X}) = \max(X_1, X_2)$$

Karena sifat nilainya adalah biner yaitu 0 dan 1 maka fungsi bentuknya menjadi

$$\Phi(X) = 1 - \prod_{i=1}^{2}(1 - X_i) = 1 - \big((1 - X_1)(1 - X_2)\big)$$

$$= 1 - (1 - X_1 - X_2 + X_1X_2) = X_1 + X_2 - X_1X_2$$

4.3 Data Waktu Pengamatan pada Mesin Katrol

Dalam penelitian ini digunakan data simulasi tentang dua komponen mesin katrol, yaitu crane dan hoist yang terangkai menjadi satu sistem yaitu sistem paralel. Data simulasi tersebut masing-masing memiliki 30 pengamatan dengan distribusi pada crane

ISBN: 978-602-14387-0-1

(komponen 1) untuk waktu kegagalan berdistribusi eksponensial dan waktu perbaikan berdistribusi normal sedangkan hoist (komponen 2) untuk waktu kegagalan berdistribusi weibull dan waktu perbaikan berditribusi lognormal.

Uji Kecocokan 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 0,242
3. Kriteria Penolakan: tolak H_0 jika $D_n \geq$ nilai tabel

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

Komponen	Waktu Pengamatan	D_n	Keputusan
Komponen 1	Kegagalan	0,208	H_0 diterima
	Perbaikan	0,233	H_0 diterima
Komponen 2	Kegagalan	0,087	H_0 diterima
	Perbaikan	0,199	H_0 diterima

Estimasi Parameter

Tabel 4.2 Estimasi Parameter Masing-masing Data Komponen Waktu Pengamatan

Komponen	Waktu Pengamatan	Estimasi Parameter	
Komponen 1	Kegagalan	$\hat{\lambda} = 0{,}00023$	
	Perbaikan	$\hat{\mu} = 45{,}70$	$\hat{\sigma} = 13{,}1356$
Komponen 2	Kegagalan	$\hat{\beta} = 1{,}6059$	$\hat{\eta} = 6497{,}8893$
	Perbaikan	$\hat{\mu_l} = 3{,}7717$	$\hat{\sigma_l} = 0{,}7948$

Rata-rata waktu Kegagalan dan Rata-rata waktu Perbaikan

ISBN: 978-602-14387-0-1

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	4000	45,70
Komponen 2	5821,61	67,80

Availabilitas Sistem Paralel

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

$$A_1 = \frac{4000}{4000 + 45{,}70} = 0{,}9887$$

$$A_2 = \frac{5821{,}61}{5821{,}61 + 67{,}80} = 0{,}9884$$

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

$$A_s(t) = 1 - \prod_{k=1}^{n} [1 - A_i(t)]$$

Sehingga availabilitas sistem paralel tersebut adalah

$$A_s(t) = 1 - \prod_{k=1}^{n} [1 - A_i(t)] = 1 - [(1 - 0{,}9887) \times (1 - 0{,}9884)] = 0{,}99986$$

ISBN: 978-602-14387-0-1

5. Kesimpulan

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 mempunyai distribusi waktu kegagalan eksponensial dan distribusi waktu perbaikan normal. Sedangkan data waktu pengamatan komponen 2 mempunyai waktu kegagalan berdistribusiweibull dan waktu perbaikan berdistribusi lognormal.

2. Dengan menggunakan metode regresi dan MLE dapat diperoleh estimasi parameter dari tiap-tiap komponen. Estimasi parameter waktu kegagalan komponen 1 adalah $\hat{\lambda} = 0{,}00023$ dan waktu perbaikannya $\hat{\mu} = 45{,}70$ dan $\hat{\sigma} = 13{,}1356$. Sedangkan estimasi parameter waktu kegagalan komponen 2 adalah adalah $\hat{\beta} = 1{,}6059$ dan $\hat{\eta} = 6497{,}8893$dan waktu perbaikannya $\widehat{\mu_l} = 3{,}7717$ dan $\widehat{\sigma_l} = 0{,}7948$.

3. Nilai availabilitas pada rangkaian 2 komponen yaitu crane dan hoist dalam sistem paralel adalah 99,986%. Nilai availabilitas tersebut menunjukkan bahwa probabilitas ketersediaan rangkaian tersebut dalam melakukan katrol pada saat yang dikehendaki sebesar 99,986%.

DAFTAR PUSTAKA

Birolini, A., (2007). *Reliability Engineering Theory and Practice*, Fifth Edition, Springer, New York.

Kumar, U.D., Crocker, J., et al., (2006). *Reliability and Six Sigma*, Springer, New York.

Walpole, R.E., Myers, R.H., et al., (2012). *Probability and Statistics for Engineers and Scientists,* Ninth Edition, Prentice Hall, Boston.

Daniel, W.W., (1978). *Applied Nonparametric Statistics*, Houghton Mifflin Company, Georgia

Hangendorm, J.J.M., (1989). *WerktulgbouwkundeVoor Het MTO*, B. V. Utgeverij Nijgh, Netherlands