DOI: https://doi.org/10.26593/jrsi.v12i1.6318.35-42

Jurnal Rekayasa Sistem Industri
Volume 12 No 1 - April 2023
http://journal.unpar.ac.id/index.php/jrsi/index
ISSN 2339-1499 (*online*) – ISSN 0216-1036 (*print*)

Disampaikan : 16 Desember 2022
Direview : 20 Desember 2022
Diterima : 31 Januari 2023

Pengembangan Pendekatan Matematis dan Penyelesaiannya untuk Reliabilitas Sistem Dengan Distribusi Kegagalan Berbeda

Kinley Aritonang[1], Sugih Sudharma T[2], Cynthia Pritadevi J[3], Yani Herawati[4], Gideon[5]
[1,2,3,4,5)] Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Industri, Universitas Katolik Parahyangan
Jl. Ciumbuleuit 94, Bandung 40141
Email: kinley@unpar.ac.id, sugih.sudharma@unpar.ac.id, juwonocp@unpar.ac.id, yani.herawati@unpar.ac.id, 8132101001@student.unpar.ac.id

Abstract

The productivity of a company or industry is highly dependent on the performance of the machines or equipment used. Reliability is one measure of machine or equipment performances. In industry, machines usually will form a complex configuration with each component having a different failure distribution. Research has been carried out for three systems installed in parallel where the three systems have different of failure distributions. The failure distribution used is the Normal, Weibull, and Normal Log distribution. Reliability calculations can be accomplished by making the three distributions have a similar shape even if could e the same. The three distributions have their respective parameters whose values will be determined so that there is a similarity in the shape of the three distributions. System reliability od system with parallel configuration can then be calculated.

Keywords*: parallel configuration, reliability, distribution of failures*

Abstrak

Produktivitas suatu perusahaan atau industri sangat bergantung dari performansi mesin atau peralatan yang digunakan. Keandalan merupakan salah satu ukuran performansi mesin atau peralatan. Pada industri, mesin-mesin akan membentuk sistem yang kompleks dengan masing-masing komponen dapat mempunyai distribusi kegagalan yang berbeda. Penelitian telah dilakukan untuk tiga sistem yang dipasang paralel dimana ketiga sistem memiliki distribusi kegagalan yang berbeda. Distribusi kegagalan yang digunakan adalah distribusi Normal, Weibull, dan distribusi Log Normal. Perhitungan keandalan dapat dilakukan dengan membuat ketiga distribusi memiliki bentuk yang mirip bahkan kalau bisa sama. Ketiga distribusi memiliki parameter masing-masing yang sedemikian rupa yang akan ditentukan nilainya sehingga ada kesamaan bentuk ketiga distribusi tersebut. Reliabilitas sistem dengan konfigurasi paralel kemudian dapat dihitung.

Kata kunci: konfigurasi paralel, reliabilitas, distribusi kegagalan

Pendahuluan

Performansi mesin atau peralatan merupakan hal penting dalam produktivitas perusahaan atau industri. Salah satu yang menjadi ukuran performansi mesin atau peralatan adalah reliabilitas atau keandalan. Suatu mesin atau peralatan andal apabila dalam periode waktu tertentu, mesin atau peralatan berfungsi tanpa mengalami kegagalan pada kondisi tertentu. Keandalan akan semakin baik, jika nilai reliabilitas semakin tinggi (Mochamad & Muhammad (2017)). Pada industri atau perusahaan tentunya jumlah mesin dan peralatan yang digunakan cukup banyak dan biasanya membentuk suatu sistem dan masing-masing akan saling mempengaruhi atau tidak mempengaruhi. Mesin-mesin tersebut dapat dipasang secara seri, paralel, atau membentuk suatu rangkaian yang kompleks. Diagram blok reliabilitas (*reliability block diagram* atau RBD) adalah salah satu cara untuk menunjukkan rangkaian mesin atau

DOI: https://doi.org/10.26593/jrsi.v12i1.6318.35-42

peralatan pada sistem dan pengaruhnya terhadap keandalan sistem. Masing-masing blok memiliki nilai reliabilitas masing-masing dan bisa dihubungkan seri atau paralel. Ebeling (1997) telah membahas beberapa model sistem yang dapat diselesaikan dengan metode Markov, namun masih terbatas pada mesin atau peralatan dengan laju kegagalan konstan atau waktu kegagalan distribusi eksponensial. Reliabilitas atau keandalan adalah kemungkinan suatu produk akan berjalan sesuai fungsi yang diperlukan tanpa kegagalan dalam kondisi yang ditentukan dalam jangka waktu tertentu (Ebeling, 1997). Reliabilitas diukur dengan beberapa cara. Kita dapat menentukan reliabilitas sebagai jumlah rata-rata kegagalan dalam suatu hal waktu (tingkat kegagalan), atau sebagai waktu rata-rata antara kegagalan, MTBF (mean time between failures) untuk item yang diperbaiki dan kembali digunakan, atau sebagai waktu rata-rata untuk kegagalan, MTTF (mean time to failure) untuk barang yang tidak diperbaiki, atau sebagai proporsi dari total populasi item yang gagal selama masa tertentu (O'Connor, 2007). Untuk barang yang tidak dapat diperbaiki seperti bola lampu, atau komponen elektronika seperti transistor, reliabilitas adalah probabilitas kelangsungan hidup selama masa pakai. Karakteristik keandalan yang bisa dipakai, misalnya *mean life* atau *mean time to failure* (MTTF), atau rata-rata harapan hidup dimana persentase tertentu mungkin gagal (katakanlah 10%.) (umur persentil). Untuk produk yang diperbaiki ketika gagal, keandalan adalah probabilitas bahwa kegagalan tidak akan terjadi di periode yang diinginkan, ketika lebih dari satu kegagalan dapat terjadi. Ini juga dapat dinyatakan sebagai laju kemunculan kegagalan (ROCOF)(rate of occurrence of failure), yang kadang-kadang disebut sebagai laju kegagalan, biasanya dilambangkan sebagai λ (Xavier et al. 2012). Keandalan sistem yang dapat diperbaiki juga dapat ditandai dengan waktu rata-rata antara kegagalan (MTBF), tetapi hanya di bawah asumsi bahwa kegagalan terjadi di laju konstan, dalam hal ini laju kegagalan λ = $(\mathrm{MTBF})^{-1}$.

Pada mesin atau peralatan industri, mayoritas akan bersifat dapat diperbaiki (repairable). Artinya setelah mesin atau peralatan mengalami kegagalan, masih dapat diperbaiki untuk menjalankan fungsinya kembali secara normal (Kumar et al., 2013; Zhang et al., 2019). Pada kenyataannya distribusi waktu kegagalan dari mesin atau peralatan tidak selalu eksponensial. Distribusi yang terjadi mungkin normal, Weibull, lognormal atau distribusi lainnya seperti yang dibahas pada Wang et al. (2019) mengenai *load sharing* pada distribusi selain distribusi eksponensial.

Komponen dalam suatu sistem terkait satu sama lain dalam beberapa cara: konfigurasi seri, konfigurasi paralel, atau konfigurasi yang kompleks. Secara seri, semua komponen harus berfungsi agar sistem dapat berfungsi. Secara paralel setidaknya satu komponen harus berfungsi agar sistem dapat berfungsi. Dalam konfigurasi seri, semua komponen dianggap kritis, yang berarti bahwa setiap komponen harus berfungsi agar sistem dapat terus bekerja. Jika salah satu dari dua komponen yang terkait secara seri gagal, sistem akan gagal. Sedangkan dua atau lebih komponen disebut paralel atau redundan (berlebih), jika semua komponen harus gagal agar sistem gagal. Jika satu atau lebih komponen masih berfungsi atau beroperasi, sistem akan terus beroperasi.

Selain asumsi kegagalan independen di antara komponen, kegagalan komponen dapat terjadi secara dependen antar komponen (Kim et al., 2022). Dua hal yang umum ditemui adalah *load sharing system* atau sistem pembagian beban (Xiujie *et al.*, 2018) dan *standby system* atau sistem cadangan (Jia *et al.*, 2018). Pada *load sharing system*, diberikan dua komponen secara paralel seperti sebelumnya, namun sekarang ada ketergantungan antara dua komponen. Jika satu komponen gagal, tingkat kegagalan komponen lain meningkat sebagai akibat dari beban tambahan. Sedangkan dua komponen sistem *standby* berbeda dari sistem redundan aktif. Unit *standby* tidak akan mengalami kegagalan atau tingkat kegagalan yang berkurang saat dalam keadaan *standby.* Setelah aktif, unit cadangan mungkin mengalami tingkat kegagalan yang sama dengan yang *on-line* (primer) sistem (jika mereka adalah unit yang identik) atau mungkin memiliki tingkat kegagalan yang berbeda. Ketergantungan muncul karena tingkat kegagalan unit *standby* tergantung pada keadaan unit utama.

DOI: https://doi.org/10.26593/jrsi.v12i1.6318.35-42

Terdapat beberapa distribusi kegagalan yang biasa digunakan, yaitu ((Montgomery & Runger, 2003):

a) Fungsi distribusi eksponensial
Distribusi eksponensial mempunyai laju kegagalan yang konstan.
Fungsi keandalan:
$R(t) = e^{-\lambda t}$ Pers. 1
Fungsi distribusi kumulatif:
$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ Pers. 2
Fungsi kepadatan peluang:
$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ Pers. 3

b) Fungsi distribusi normal
Distribusi normal mempunyai laju kegagalan yang naik dengan bertambahnya umur pemakaian mesin atau peralatan.
Fungsi keandalan:
$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)$ Pers. 4
Fungsi distribusi kumulatif:
$F(t) = \int_{-\infty}^{t} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\frac{(t-\mu)^2}{\sigma^2}\right] dt$ Pers. 5
Fungsi kepadatan peluang:
$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\frac{(t-\mu)^2}{\sigma^2}\right]$ Pers. 6

c) Fungsi distribusi Weibull Problem
Distribusi Weibull dapat digunakan untuk model dengan laju kegagalan naik atau turun.
Fungsi keandalan:
$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}}$ Pers. 7
Fungsi distribusi kumulatif:
$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}}$ Pers. 8
Fungsi kepadatan peluang:
$f(t) = \frac{\beta}{\theta}\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}}$ Pers. 9

d) Fungsi distribusi Log Normal
Fungsi keandalan:
$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} ln \frac{t}{t_{med}}\right)$ Pers.10
Fungsi kepadatan peluang:
$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}st} exp\left[-\frac{1}{2s^2}(ln\frac{t}{t_{med}})^2\right]$ Pers.11

Pada penelitian ini telah dilakukan suatu pendekatan berupa sebuah analisa dan penyelesaiannya untuk keandalan sistem yang memiliki laju kegagalan yang berbeda dan dilanjutkan dengan analisa dan penyelesaian dengan distribusi kegagalan yang berbeda. Pada penelitian ini distribusi yang akan digunakan adalah distribusi Normal, Weibull, dan Log Normal.

Metode Penelitian

Berikut adalah metode penelitian untuk penelitian ini.

1. Studi literatur
Pada tahap ini dilakukan studi literatur mengenai keandalan, variasi distribusi kegagalan dan keandalan sistem.
2. Perumusan masalah
Pada perhitungan reliabilitas, khusus untuk konfigurasi paralel, sering diketemukan bahwa setiap sistem memiliki distribusi kegagalan yang berbeda. Perlu suatu pendekatan yang mempermudah perhitungan tersebut.
3. Pengembangan model
Pada tahap ini akan dilakukan pendekatan matematis dan penyelesaiannya untuk keandalan sistem dengan distribusi kegagalan yang berbeda
4. Pengujian model
Pada tahap ini dilakukan pendekatan model
5. Analisis dan pembahasan
Pada tahap ini akan dilakukan analisis dan pembahasan terkait dengan hasil pendekatan model dan pengujian model
6. Kesimpulan dan saran
Pada tahap ini dilakukan penarikan kesimpulan dan juga saran untuk penelitian selanjutnya.

Reliabilitas Untuk Sistem yang Memiliki Laju Kegagalan yang Berbeda

Misalkan sebuah sistem memiliki n komponen yang memiliki laju kegagalan yang konstan dengan nilai yang berbeda. Komponen-komponen ini akan memiliki distribusi eksponensial dengan laju kegagalan λ_1, λ_2 dan $\lambda_3 \ldots\ldots\ldots\ldots \lambda_n$. Jika n komponen dipasang secara seri, maka reliabilitas sistem pada waktu t dapat dituliskan sebagai berikut (Songhao *et al.,* 2020):

$$\mathrm{R(t)} = \prod_{i=1}^{n} \mathrm{R_i(t)} = \prod_{i=1}^{n} \exp\left[-\int_0^t \lambda_i(t')dt'\right]$$
$$= \exp\left[-\int_0^t \sum_{i=1}^{n} \lambda_i(t')dt'\right]$$
$$= \exp\left[-\int_0^t \lambda(t')dt'\right]$$

Dimana : $\lambda(t) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i(t)$

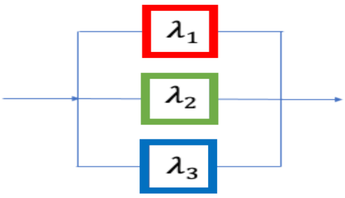
Pada penelitian ini, konfigurasi sistem secara serial tidak dianalisis. Diketahui bahwa

DOI: https://doi.org/10.26593/jrsi.v12i1.6318.35-42

konfigurasi secara serial mengharuskan bahwa setiap komponen memiliki nilai reliabilitas yang tinggi. Jika komponen mengikuti konfigurasi paralel, maka reliabilitas sistem dapat dituliskan sebagai berikut (Diasumsikan bahwa setiap komponen adalah independent) (O'Connor & Kleyner 2007):

$$\mathrm{R(t)} = 1 - \left(1 - \mathrm{e}^{-\lambda_1 \mathrm{t}}\right)\left(1 - \mathrm{e}^{-\lambda_2 \mathrm{t}}\right)\left(1 - \mathrm{e}^{-\lambda_3 \mathrm{t}}\right) \dots\dots\dots\dots (1 - \mathrm{e}^{-\lambda_n \mathrm{t}})$$

Jika n = 3, konfigurasi sistem adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Kofigurasi tiga sistem paralel

Reliabilitas sistem dapat dihitung sebagai berikut;

$$\begin{aligned}\mathrm{R(t)} &= 1 - \left(1 - \mathrm{e}^{-\lambda_1 \mathrm{t}}\right)\left(1 - \mathrm{e}^{-\lambda_2 \mathrm{t}}\right)\left(1 - \mathrm{e}^{-\lambda_3 \mathrm{t}}\right) \\ &= \mathrm{e}^{-\lambda_1 \mathrm{t}} + \mathrm{e}^{-\lambda_2 \mathrm{t}} + \mathrm{e}^{-\lambda_3 \mathrm{t}} - \mathrm{e}^{-(\lambda_1+\lambda_2)\mathrm{t}} \\ &\quad - \mathrm{e}^{-(\lambda_1+\lambda_3)\mathrm{t}} - \mathrm{e}^{-(\lambda_2+\lambda_3)\mathrm{t}} \\ &\quad + \mathrm{e}^{-(\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3)\mathrm{t}}\end{aligned}$$

Dengan menggunakan hubungan berikut :

$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt}$ dan

$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$ Pers.12

Laju kegagalan sistem, λ_{TOTAL}, pada waktu t, dapat dituliskan sebagai berikut;

$$\lambda_{TOTAL} = \frac{A + B + C + D}{E + F}$$

Dimana :

$A = \lambda_1 e^{-\lambda_1 t} + \lambda_2 e^{-\lambda_2 t} + \lambda_3 e^{-\lambda_3 t}$

$B = -(\lambda_1 + \lambda_2)e^{-(\lambda_1+\lambda_2)t} - (\lambda_1 + \lambda_3)e^{-(\lambda_1+\lambda_3)t}$

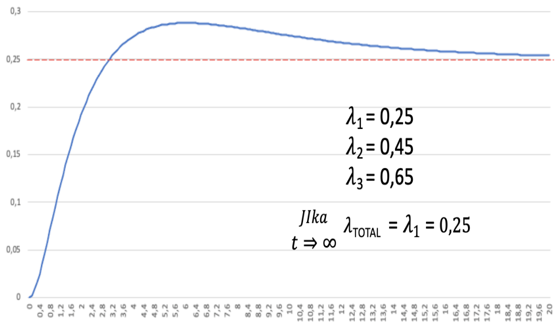
$C = (\lambda_2 + \lambda_3)e^{-(\lambda_2+\lambda_3)t}$

$D = -(\lambda_1 + \lambda_3)e^{-(\lambda_1+\lambda_3)t}$

$E = e^{-\lambda_1 t} + e^{\lambda_2 t} + e^{-\lambda_3 t} - e^{(\lambda_1+\lambda_2)t}$

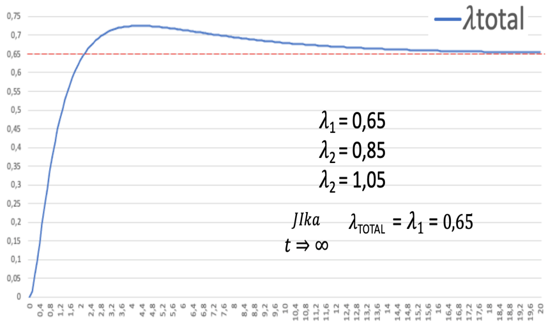
$F = -e^{-(\lambda_1+\lambda_3)t} - e^{-(\lambda_2+\lambda_3)t} + e^{-(\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3)t}$

Suatu simulasi telah dilakukan untuk konfigurasi paralel tersebut dengan menggunakan $\lambda_1 = 0{,}25, \lambda_2 = 0{,}45$, dan $\lambda_3 = 0{,}65$. Simulasi menunjukan bahwa untuk $\lim_{t\to\infty} \lambda_{Total} = 0{,}25$ seperti ditunjukan gambar berikut:



Gambar 2. Laju kegagalan total total pada t ⟹ ∞

Begitu pula untuk $\lambda_1 = 0{,}65, \lambda_2 = 0{,}85$, dan $\lambda_3 = 1{,}05$, simulasi menunjukan bahwa untuk $\lim_{t\to\infty} \lambda_{TOTAL} = 0{,}65$ seperti ditunjukan gambar berikut;



Gambar 3. Laju kegagalan total pada t ⟹ ∞

Dari hasil simulasi ini dapat dikatakan bahwa untuk konfigurasi paralel maka $\lim_{t\to\infty} \lambda_{TOTAL}$ akan mendekati λ terkecil dari komponen. Hasil ini akan digunakan untuk konfigurasi parallel yang memiliki distribusi f(t) yang berbeda pada berikut ini.

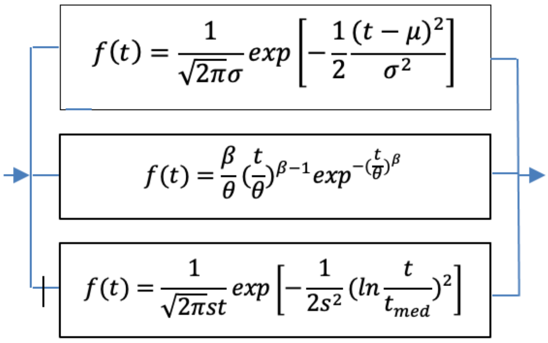
Perhitungan Reliabilitas Untuk Sistem yang Memiliki Distribusi Kegagalan yang Berbeda

Berikut adalah tiga sistem (komponen) yang mengikuti konfigurasi paralel yang masing-masing memiliki distribusi kegagalan (Montgomery & Runger, 2003):

1. Normal dengan parameter μ dan σ^2.
2. Weibull dengan parameter β dan θ.
3. Log Normal dengan parameter s dan t_{med}.

Konfigurasi paralel dapat ditunjukkan sebagai berikut;

DOI: https://doi.org/10.26593/jrsi.v12i1.6318.35-42



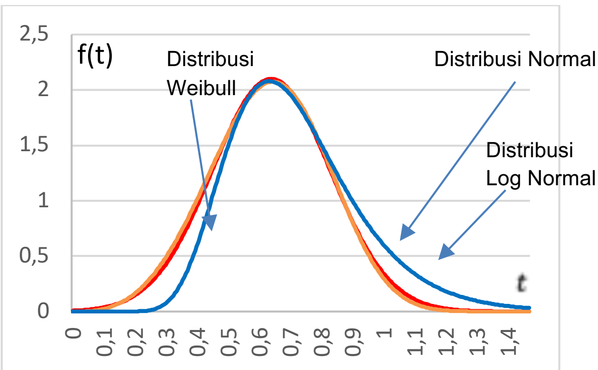
Gambar 4. Konfigurasi tiga sistem paralel dengan distribusi yang berbeda

Ketiga distribusi akan memiliki bentuk yang tergantung dari nilai parameter masing-masing. Pada penelitian ini akan dicari nilai parameter dari ke tiga distribusi yang akan memberikan bentuk distribusi yang hampir serupa. Hal ini dilakukan agar perhitungan reliabilitas sistem dapat dipertanggungjawabkan. Perhitungan reliabilitas dapat juga dilakukan dengan mengasumsikan bahwa ketiga sistem adalah independen. Berikut adalah nilai parameter untuk masing-masing distribusi yang akan memberikan bentuk distribusi yang hampir serupa.

Tabel 1. Nilai parameter ketiga distribusi

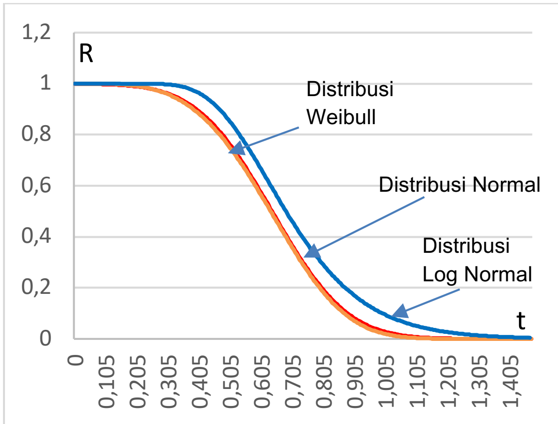
Distribusi	Nilai Parameter
Normal	μ = 0,19 σ = 0,64
Weibull	β = 3,6 θ = 0,7
Log Normal	s = 0,29 t_{med} = 0,69

Bentuk ketiga distribusi tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.



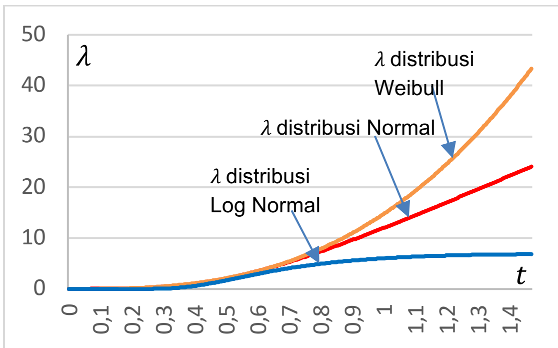
Gambar 5. Bentuk ketiga distribusi dengan nilai parameter yang telah ditentukan

Persamaan 4 digunakan untuk menghitung Reliabilitas dengan distribusi Normal, Persamaan 7 digunakan untuk menghitung reliabilitas dengan distribusi Weibull, sedangkan persamaan 10 digunakan untuk menghitung reliabilitas distribusi Log Normal. Gambar berikut menunjukkan kurva reliabilitas dengan menggunakan persamaan-persamaan tersebut.



Gambar 6. Kurva reliabilitas ketiga distribusi

Dapat dilihat bahwa dengan menggunakan nilai-nilai parameter yang telah ditentukan, nilai reliabilitas untuk ketiga distribusi memiliki nilai yang hampir sama. Persamaan 12 dapat digunakan untuk menghitung laju kegagalan λ untuk system dengan distribusinya masing-masing. Gambar berikut menunjukan laju kegagalan untuk setiap distribusi:



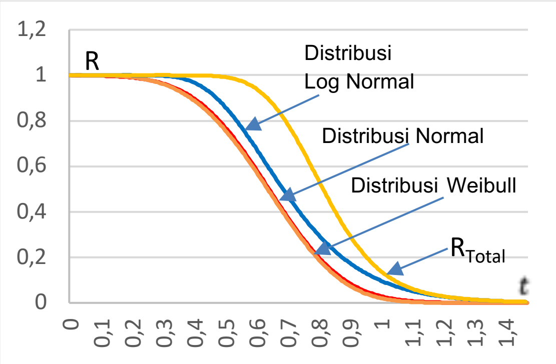
Gambar 7. Kurva Laju kegagalan ketiga sistem

Nilai R_{Total} dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut;

$$R_{Total} = (1 - (1 - R_1)(1 - R_2)(1 - R_3) \quad \text{Pers.13}$$

Dimana R_1, R_2, R_3 adalah reliabilitas dari komponen yang mengikuti distribusi Log Normal, distribusi Normal, dan distribusi

Weibull. Gambar berikut menunjukkan nilai reliabilitas ke tiga distribusi dan R_{Total}.

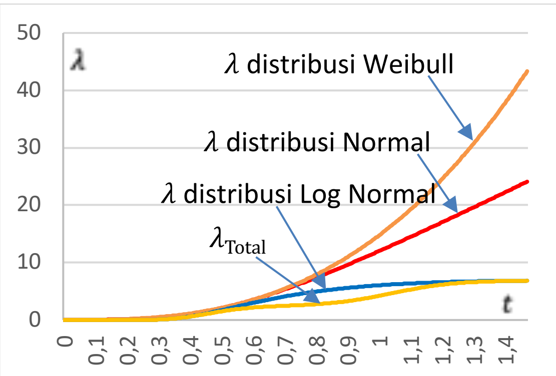


Gambar 8. Kurva reliabilitas ketiga sistem dan sistem total

Dengan menggunakan hasil dari yang didapatkan, $\lim_{t\to\infty} \lambda_{TOTAL}$ akan mendekati λ terkecil dari komponen, maka λ_{TOTAL} dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 12 dengan f(t) adalah distribusi Log Normal. Gambar 9 menunjukkan kurva nilai-nilai λ untuk ke tiga komponen dengan distribusinya masing masing dan λ_{TOTAL}.

Hasil dan Analisis

Perhitungan telah dilakukan untuk tiga sistem dengan konfigurasi paralel. Ketiga sistem memiliki laju kegagalan λ yang konstan (mengikuti distribusi eksponensial). Dapat ditunjukan bahwa $\lim_{t\to\infty} \lambda_{TOTAL}$ akan mendekati λ terkecil dari komponen seperti ditunjukan pada gambar 2 dan 3.



Gambar 9. Kurva laju kegagalan dari ketiga sistem dan sistem total

Reliabilitas dari suatu konfigurasi parallel yang terdiri dari distribusi f(t) yang berbeda, dengan parameter masing-masing, juga dapat dihitung dengan cara pendekatan yaitu dengan membuat bentuk distribusi yang hampir sama. Hal ini dapat dilakukan dengan cara mencari dan menentukan nilai parameter dari setiap distribusi tersebut sehingga ketiga distribusi memiliki bentuk yang hampir sama. Pada penelitian ini telah dipilih tiga sistem dengan konfigurasi paralel dengan distribusi masing-masing adalah distribusi Log Normal, distribusi Normal, dan distribusi Weibull dengan nilai parameter pada tabel 1. Bentuk ketiga distribusi dapat dilihat pada gambar 5. Kurva nilai reliabilitas dari setiap distribusi akan memiliki bentuk yang hampir sama juga dan dapat dilihat pada gambar 6. Begitu pula kurva nilai laju kegagalan dari setiap distribusi dapat dilihat pada gambar 7. Kurva nilai reliabilitas untuk sistem (R_{Total}), dibandingkan dengan nilai reliabilitas setiap sistem, dapat dilihat pada gambar 8. Dapat dilihat pada gambar 8 bahwa nilai R_{Total} lebih besar dari nilai R individu untuk setiap sistem.

Kesimpulan

Perhitungan keandalan sistem-sistem secara paralel dapat dilakukan jika sistem-sistem tersebut memiliki bentuk distribusi yang mirip atau bahkan sama. Distribusi Normal, Weibull, dan Log Normal adalah anggota dari distribusi eksponensial yang memiliki parameter masing-masing dan bentuk distribusi yang berbeda. Ke tiga distribusi ini dapat dibuat mirip dengan memberikan nilai parameter tertentu (lihat tabel 1). Dengan memiliki distribusi yang mirip maka nilai keandalan sistem dapat dihitung.

Daftar Pustaka

Ebeling, C. E. (1997), *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*, Boston: McGraw-Hill Companies, Inc Garret, R., *Design for Assembly*, [Online], Diakses dari: http://engineer.gvsu.edu/vac/ [2001, 5 Mei].

Jia, H., Levitin, G., Ding, Y., Song, Y. (2018), Reliability Analysis of Standby Systems with Multi-State Elements Subject to Constant Transition Rates, *Quality and Reliability Engineering International*, https://doi.org/10.1002/qre.2401.

Kim, Y. S., Song, K. Y., Hoang Pham,. Chang, I. H. (2022), A Software Reliability Model with Dependent Failure and Optimal

DOI: https://doi.org/10.26593/jrsi.v12i1.6318.35-42

Release Time, *Symmetri,* 14(2), 343; https://doi.org/10.3390/sym14020343.

Kumar, G., Jain, V. & Gandhi, O.P. (2013), Availability Analysis of Repairable Mechanical System Using Analytical Semi Markov Approach, *Quality Engineering*, 25, 97-107.

Mochamad, S., & Muhammad, H,R. (2017) Analisis Keandalan Alat Berat Terhadap Tingkat Produktivitas Studi Kasus PCS, *G-Tech Jurnal Teknologi Terapan,* FTIKA Unira Malang, 1(1).

Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2003), *Applied Statistics and Probability for Engineers,* 3rd edition, John Wiley & Son, Inc.

O'Connor, P. & Kleyner, A. (2007), *Practical Reliability Engineering, 5*th ed., New York: John Wiley & Sons.

Songhao, I., Chen, Xu., Yawen, W. & Liyang Xie. (2020), Serial and Parallel Reliability Model for Robot Arm Reliability Analysis, *Journal of Physics: Conference Series,* DOI: 10.1088/1742-6596/1605/1/012043.

Wang, D., Jiang, C. & Park, C. (2019), Reliability Analysis of Load Sharing System with Memory, *Lifetime Data Analysis*, 25, 341-360.

Xavier, J. C. de M. Azevedo, I. Wilson, C. S., & Nishikawa, A. (2012), Rate of Occurrence of Failures Based on a Nonhomogeneous Poisson Process, *Environmental Monitoring and assessment,* 185(2), DOI:10.1007/s10661-012-2645-6

Xiujie, Z., Bin, L., & Yiq, L. (2018), Reliability Modelling and Analysis of Load-Sharing System with Continuously Degrading Components, *IEEE Transactions on Reliability,* 67(3), DOI: 10.1109/TR.2018.2846649.

Zhang, Z., Yang, Y. & Guo, Z. (2019), Reliability Analysis for a Repairable Load Sharing Parallel System, *Advanced in Computer Science Research*, 93, 128 -132.

DOI: https://doi.org/10.26593/jrsi.v12i1.6318.35-42

This page is intentionally left blank.