

ANALISIS PERFORMANSI NAKAYAMA PLANT MENGGUNAKAN METODE RAMD DI PT XYZ

¹Sheila Sekar Soka, ²Fransiskus Tatas Dwi Atmaji, ³Marina Yustiana Lubis

Universitas Telkom, Jl. Telekomunikasi No. 1, (022) 7564108, Bandung
e-mail: sheilasekarsoka@student.telkomuniversity.ac.id

Abstrak

PT XYZ merupakan salah satu industri manufaktur yang bergerak dibidang pembuatan *spare part* berskala nasional. Salah satu produk yang dihasilkan oleh PT XYZ adalah *pipe intake magnifold* yang proses pembuatannya dilakukan di *nakayama plant*. Berdasarkan data dari *nakayama plant* diperoleh *system breakdown structure* dari sistem yaitu *Sand Core, Tungku Gravity, Finishing, Machining, Leaktest*. Dari lima subsistem akan dipilih subsistem kritis berdasarkan hasil RAMD analisis. Hasil dari pengolahan data yang telah dilakukan diketahui bahwa nilai *Reliability* dari sistem pada saat $t = 8$ jam yaitu sebesar 63.92%. Nilai *Availability markov process* sebesar 98.546%. Nilai rata-rata *Maintainability* pada saat $t = 8$ jam yaitu sebesar 98.951%. Nilai *Dependability* dan *Dependability Ratio* terendah yaitu pada subsistem *Tungku Gravity* dengan nilai sebesar 95.634% dan 131.759. Untuk itu dapat diketahui bahwa subsistem kritis pada sistem adalah *Tungku Gravity* sehingga perlu dilakukan pemeliharaan secara rutin dan terjadwal.

Kata kunci: *Reliability, Availability, Maintainability, Dependability, Markov Process*

Abstract

PT XYZ is one of the manufacturing industries engaged in the manufacture of spare parts on a national scale. One of the products produced by PT XYZ is *magnifold intake pipe* which is made in *nakayama plant*. Based on data from *nakayama plant* obtained *system breakdown structure* of the system namely *Sand Core, Furnace Gravity, Finishing, Machining, Leaktest*. Of the five subsystems will be selected critical subsystems based on the results of RAMD analysis. The result of the data processing that has been done is known that the *Reliability* value of the system at the time of $t = 8$ hours is 63.92%. *Availability markov process* value is 98.546%. The average value of *Maintainability* at the time of $t = 8$ hours is 98.951%. The lowest *Dependability* and *Dependability Ratio* values are in the *Gravity Furnace* subsystem with values of 95.634% and 131.759. Therefore, it can be known that the critical subsystem in the system is *gravity furnace* so it needs to be maintained regularly and scheduled.

Keywords: *Reliability, Availability, Maintainability, Dependability, Markov Process*

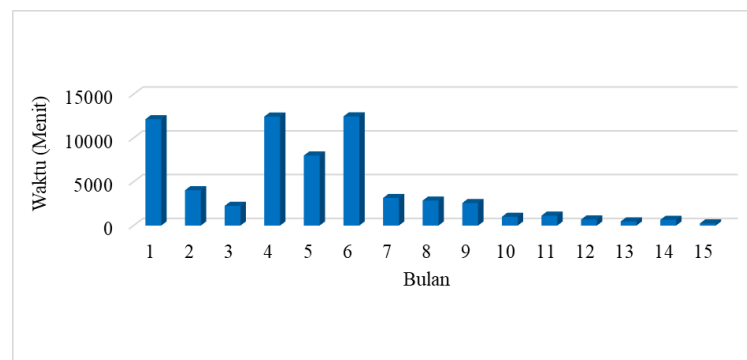
Diterima 19 September 2021
Disetujui 17 Desember 2021
Dipublikasi 31 Desember 2021

©2020 Sheila Sekar Soka, Fransiskus Tatas Dwi Atmaji, Marina Yustiana Lubis
Under the license CC BY-SA 4.0

Pendahuluan

PT XYZ merupakan salah satu industri manufaktur yang bergerak di bidang pembuatan *spare part* berskala nasional. PT XYZ merancang khusus semua alat-alat produksi untuk pembuatan *spare part* dengan standar internasional sehingga mutu produk terjamin kualitasnya. PT XYZ menghasilkan sangat banyak varian produk, varian produk tersebut kemudian digolongkan menjadi 5 kategori produk, yaitu produk pengecoran untuk *Iron Casting, Aluminium Casting, Plastic Injection, Rubber*, dan *Machining*. PT XYZ memiliki 15 *plant* produksi dan *warehouse general* untuk menunjang proses produksi. Pada penelitian kali ini kita akan memilih sistem yang ada pada

Nakayama Plant. *Nakayama Plant* berfokus pada *Aluminium Casting* dengan beberapa produk yang dihasilkan antara lain: *Pipe Intake Magnifold*, *Pipe Exhaust Magnifold*, *Shoe*, *Handle*, *Brake Drum*. Beberapa produk yang dihasilkan oleh *Nakayama Plant* menjadi *Semi Finish Good* untuk lini yang lain. Dalam melaksanakan kegiatan produksinya, PT XYZ khususnya pada *Nakayama Plant* tidak terlepas dari permasalahan yang berkaitan dengan kerusakan mesin karena mesin tersebut digunakan secara terus menerus. Hal tersebut dapat diketahui dari adanya frekuensi waktu kerusakan mesin sehingga diperlukan tindakan pemeliharaan mesin yang tepat untuk mengurangi dan mencegah terjadinya kerusakan. Berikut merupakan rekap data *downtime Nakayama Plant* pada bulan November 2019 hingga Januari 2021.



Gambar 1 *Downtime Nakayama Plant*
Sumber: (PT XYZ)

Berdasarkan Gambar 1 dapat diketahui bahwa *downtime* tertinggi yaitu pada bulan ke 1, 4, dan 6 dari data yang digunakan dengan jumlah *downtime* lebih dari 10000 menit. *Pipe Intake Magnifold* merupakan salah satu produk andalan yang dihasilkan oleh *Nakayama Plant*. Produk tersebut merupakan hasil kerja sama dari PT XYZ dan PT Hino Motors Manufacturing Indonesia, sehingga perusahaan ingin selalu memastikan mulai dari proses produksi hingga proses distribusi berjalan dengan lancar dan sesuai dengan permintaan. Terdapat 5 sistem dalam proses pembuatan *Pipe Intake Magnifold* yaitu *Sand Core*, *Tungku Gravity*, *Finishing*, *Machining*, dan *Leaktest*.

Proses produksi bertipe seri sehingga proses saling berkelanjutan dan pada setiap proses memiliki peran yang sama penting karena apabila terdapat satu sistem maupun subsistem mengalami kerusakan maka dapat mengakibatkan lini produksi tidak dapat berjalan. Perusahaan perlu memastikan bahwa mesin yang digunakan dalam kondisi yang baik dan mendapatkan pemeliharaan yang sesuai. Jika terjadi kerusakan pada mesin, sistem penggantian komponen dilakukan ketika mesin benar-benar rusak, Jika komponen mesin masih dapat digunakan, maka komponen mesin akan dipertahankan sampai benar-benar rusak tanpa memperhatikan dan mempertimbangkan efek dari

kerusakan pada komponen seperti waktu istirahat yang lama karena proses produksi berhenti (Atmaji, 2015). Untuk mencegah kerusakan atau kesalahan yang menghambat akurasi operasional waktu produksi, diperlukan manajemen pemeliharaan yang baik yang akan memberikan kesempatan bagi mesin untuk bekerja dengan baik pula. Oleh karena itu, sebagai langkah awal untuk mengetahui perawatan yang tepat perlu diteliti untuk menghindari kerugian akibat kerusakan mesin, keandalan, ketersediaan dan pemeliharaan mesin perlu ditingkatkan dengan menggunakan metode *Reliability, Availability, Maintainability* (RAM) (Nainggolan, Alhilman, & Supratman, 2017) dan akan ditambahkan variabel baru yaitu *Dependability* untuk mengetahui subsistem penting saat beroperasi. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Singh, 2015) menggunakan metode RAMD untuk menghitung *Dependability, Dependability Ratio*, serta parameter MTBF dan MTTR yang akan dianalisa secara serentak dengan tambahan parameter RAM guna mengevaluasi performansi dari sistem produksi susu bubuk skim pada kondisi nyata. (Choudhary, Tripathi, & Shankar, 2019) Melakukan penelitian mengenai keandalan, ketersediaan, dan pemeliharaan subsistem di pabrik semen di India.

Metode

Reliability

Menurut (Ebeling, 1997) *Reliability* adalah suatu probabilitas yang menunjukkan dimana suatu komponen atau sistem dapat berfungsi sesuai dengan yang dibutuhkan dalam periode waktu tertentu saat digunakan dalam kondisi operasi. Fungsi keandalan untuk distribusi Weibull, Eksponensial, dan Normal adalah sebagai berikut:

- a. Distribusi Weibull

$$R(T) = e^{-\left(\frac{T-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

- b. Distribusi Eksponensial

$$R(T) = e^{-\lambda T}$$

- c. Distribusi Normal

$$R(T) = \int_T^\infty \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t - t^-}{\sigma_t} \right)^2}$$

Availability

Availability merupakan kemampuan dari suku barang untuk bekerja sesuai dengan fungsinya pada waktu tertentu atau pada periode waktu yang ditentukan (Dhillon, 2006).

Operational Availability (A_o)

$$A_o = \frac{\text{uptime}}{\text{total time}} = \frac{\text{Operational time} - DT}{\text{Operational Time}}$$

Maintainability

Maintainability merupakan probabilitas atau kemampuan pada kondisi tertentu untuk diperbaiki dalam periode waktu tertentu (Calixto, 2016).

$$M(t) = 1 - \exp\left(\frac{-t}{MTTR}\right) = 1 - \exp(\mu t)$$

Dependability

Menurut (Wohl, 1966) dalam jurnal (Singh, 2015), *dependability* menampilkan kondisi performansi dengan menggunakan pengukuran tunggal dari kondisi kinerja dengan kombinasi dari kegagalan dan tingkat perbaikan yang terkait dengan keandalan dan pemeliharaan. *Dependability* didefinisikan sebagai probabilitas sebuah komponen untuk berhasil atau gagal dan dapat diperbaiki dalam periode waktu tertentu. Menurut (Ertas, 1993) dalam jurnal (Singh, 2015) terdapat peningkatan yang signifikan pada *dependability ratio* apabila nilai *availability* lebih dari 0.9. Nilai minimum dari *dependability (D_{min})* adalah sebagai berikut:

$$D_{min} = 1 - \frac{1}{(d-1)} \times \left(e^{\frac{-lnd}{d-1}} - e^{\frac{-dln d}{d-1}} \right)$$

Dimana *d* merupakan nilai *dependability ratio*.

Markov Process

Markov Process merupakan sebuah proses yang digunakan untuk *dependability analysis*. Menurut (Mehmood & Lu, 2011) *markov process* adalah sebuah proses yang dapat dihitung dan dinilai dari satu tahap ke tahap lain. Dalam *markov process* probabilitas perpindahan dari satu keadaan "*i*" ke keadaan lain "*j*" tidak tergantung

terhadap bagaimana proses tersebut sampai pada keadaan awal “*i*”. Berikut merupakan sifat proses markov.

1. Proses terdiri dari tahapan-tahapan yang dapat dihitung.
2. Probabilitas perpindahan dari keadaan “*i*” pada keadaan “*k*” ke keadaan “*j*” pada keadaan “*k+1*” tidak tergantung pada bagaimana proses sampai ke keadaan “*i*”.

Birth and death process merupakan kasus spesial dari *continuous time* dalam proses markov dengan karakteristik yaitu *the birth rate* (μ) dan *death rate* (λ). Analisis Markov adalah salah satu dari banyak teknik untuk menghitung ketersediaan dan keandalan sistem yang dapat diperbaiki (I. & Reza, 2014).

Hasil dan Pembahasan

Hasil

Perhitungan *Reliability* dengan *Analytical Approach*

Perhitungan *reliability* dengan *analytical approach* merupakan perhitungan dari keandalan yang dilakukan dengan menggunakan *reliability block diagram* pada kondisi sistem dengan *frozen state*. Waktu yang ditentukan pada penelitian kali ini antara 8 jam hingga 120 jam dengan interval waktu setiap 8 jam.

Tabel 1 *Reliability Nakayama Plant*

Waktu	Sand Core	Tungku Gravity	Finishing	Machining	Leaktest	Reliability system
8	93.946%	83.051%	86.452%	95.536%	99.208%	63.93%
16	89.126%	75.752%	80.987%	92.008%	98.423%	49.51%
24	84.819%	70.371%	76.956%	88.833%	97.644%	39.84%
32	80.878%	66.018%	73.677%	85.899%	96.870%	32.73%
40	77.227%	62.334%	70.879%	83.153%	96.103%	27.27%
48	73.821%	59.131%	68.425%	80.563%	95.343%	22.94%
56	70.627%	56.294%	66.230%	78.108%	94.588%	19.45%
64	67.621%	53.746%	64.241%	75.770%	93.839%	16.60%
72	64.784%	51.436%	62.420%	73.539%	93.096%	14.24%
80	62.101%	49.325%	60.738%	71.405%	92.359%	12.27%
88	59.559%	47.381%	59.175%	69.358%	91.628%	10.61%
96	57.146%	45.583%	57.715%	67.394%	90.902%	9.21%
104	54.853%	43.912%	56.344%	65.506%	90.182%	8.02%
112	52.671%	42.352%	55.053%	63.688%	89.468%	7.00%
120	50.593%	40.891%	53.832%	61.937%	88.760%	6.12%

Perhitungan *Maintainability* dengan *Analytical Approach*

Perhitungan *maintainability* dilakukan pada setiap komponen sistem yang terpilih dengan menggunakan data *time to repair* dimana data tersebut dapat

mempresentasikan secara jelas seberapa besar peluang untuk memperbaiki setiap subsistem dari sistem kritis. Jangka waktu yang digunakan dalam perhitungan pada penelitian ini adalah jangka waktu 1 jam sampai dengan 15 jam dimana perhitungan ini menggunakan interval waktu tiap satu jam.

Tabel 2 *Maintainability Nakayama Plant*

Waktu	<i>Sand Core</i>	Tungku Gravity	<i>Finishing</i>	<i>Machining</i>	<i>Leaktest</i>
1	72.354%	43.766%	61.734%	92.412%	98.625%
2	92.357%	68.377%	85.357%	99.699%	99.981%
3	97.887%	82.217%	94.397%	99.988%	100%
4	99.416%	90.000%	97.856%	100%	100%
5	100%	94.376%	99.180%	100%	100%
6	100%	96.838%	99.686%	100%	100%
7	100%	98.222%	99.880%	100%	100%
8	100%	99.000%	99.954%	100%	100%
9	100%	99.438%	99.982%	100%	100%
10	100%	99.684%	99.993%	100%	100%
11	100%	99.822%	99.997%	100%	100%
12	100%	99.900%	99.999%	100%	100%
13	100%	99.944%	100%	100%	100%
14	100%	99.968%	100%	100%	100%
15	100%	100%	100%	100%	100%

Perhitungan Availability dengan Analytical Approach

Perhitungan nilai *availability* dengan *analytical approach* adalah perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan konsep *reliability block diagram* pada kondisi dari sistem *frozen state*. Untuk melakukan perhitungan *availability* pada penelitian ini terdapat 3 tipe yaitu menggunakan *operational availability*, *inherent availability*, dan perhitungan persamaan dari *markov process*.

Perhitungan Availability dengan Operational Availability

Availability merupakan salah satu *critical characteristic* yang mendeskripsikan persentase dari waktu sistem atau subsistem mampu untuk memenuhi misinya. *Operational Availability* yang didefinisikan sebagai berikut:

Tabel 3 Hasil *Operational Availability*

<i>Sand Core</i>	Tungku Gravity	<i>Band Saw</i>	<i>Machining</i>	<i>Leaktest</i>	<i>Availability System</i>
98.993%	98.587%	99.702%	99.87%	99.972%	97.150%

Perhitungan *Availability* dengan *Markov Process*

Berdasarkan hasil perumusan *analytical availability* pada RBD yang telah dilakukan, kemudian akan dilakukan perhitungan nilai *availability* dari rumus *markov process*. Analisa *markov process* hanya menilai tentang hal-hal yang diturunkan ke dalam sistem adalah laju kerusakan dan laju perbaikan.

Tabel 4 Hasil *Markov Process Availability*

<i>Sand Core</i>	<i>Tungku Gravity</i>	<i>Band Saw</i>	<i>Machining</i>	<i>Leaktest</i>	<i>Availability System</i>
99.607%	99.247%	99.802%	99.907%	99.977%	98.546%

Perhitungan *Dependability* dengan *Analytical Approach*

Berdasarkan hasil perhitungan *availability* dengan menggunakan *markov process* maka akan dilakukan perhitungan *dependability ratio* dan *dependability*. Berikut merupakan hasil perhitungan *dependability ratio* dan *dependability* menggunakan persamaan diferensial *markov process*.

Tabel 5 Hasil *Dependability*

Subsistem	<i>Availability</i>	<i>Dependability Ratio</i>	<i>Dependability</i>
<i>Sand Core</i>	99.607%	253.524	97.455%
<i>Tungku Gravity</i>	99.247%	131.759	95.634%
<i>Bandsaw</i>	99.802%	502.901	98.574%
<i>Machining</i>	99.907%	1069.041	99.257%
<i>Leaktest</i>	99.977%	4314.086	99.783%

Pembahasan

Reliability merupakan salah satu factor yang memengaruhi kualitas sistem, keandalan yang tinggi sangat penting dalam industri karena kegagalan mesin dapat mengakibatkan kerugian produksi (Lienig & Bruemmer, 2017). Pada sistem *nakayama plant* mengalami penurunan sejalan dengan lamanya pemakaian. Pada interval 120 jam operasi nilai *reliability* pada subsistem di *nakayama plant* yaitu *Sand Core* sebesar 50.593%, *Tungku Gravity* sebesar 40.891%, *Finishing* sebesar 53.832%, *Machining* sebesar 61.937%, dan *Leaktest* sebesar 88.760%. *Reliability* yang tinggi dapat dicapai dengan melakukan pemeliharaan preventif lebih sering pada subsistem (Ahmadi, Moosazadeh, Hajihassani, Moomivand, & Rajaei, 2019). Pada tingkat keandalan 70% dibutuhkan pemeliharaan yang lebih sering dibandingkan dengan ketika tingkat keandalan adalah 80% atau lebih (Choudhary, Tripathi, & Shankar, 2019). *Tungku Gravity* membutuhkan pemeliharaan lebih karena memiliki nilai keandalan yang rendah dibandingkan dengan subsistem yang lain. Ketersediaan sistem ditandai dengan

probabilitas bahwa sistem bekerja dengan baik bila diperlukan untuk digunakan (Kumar & Ram, 2021). *Availability* pada sistem *nakayama plant* telah lebih dari 95% yang berarti bahwa probabilitas mesin dapat digunakan ketika dibutuhkan yaitu sangat baik. Nilai *availability* yang tinggi dapat diperoleh dengan memperbaiki *reliability* dan *maintainability* (Tsarouhas, 2019). Berdasarkan penelitian dapat diketahui bahwa waktu yang diperlukan untuk memperbaiki sistem berkisar antara 1 jam hingga 15 jam. Hal tersebut dipengaruhi oleh rata-rata waktu perbaikan tiap subsistem. Berdasarkan nilai *dependability* maka dapat diketahui bahwa peluang subsistem untuk bekerja secara optimal yaitu *Sand Core* sebesar 97.455%, *Tungku Gravity* sebesar 95.634%, *Finishing* sebesar 98.574%, *Machining* sebesar 99.257%, dan *Leaktest* sebesar 99.783%. *Tungku Gravity* memiliki nilai *dependability* terkecil sebesar 95.634% yang artinya peluang *Tungku Gravity* bisa menjalankan fungsinya dengan optimal atau probabilitas bahwa komponen tidak gagal atau gagal dan dapat diperbaiki dalam periode waktu yang dapat diterima yaitu sebesar 95.634%.

Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan RAMD yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa *reliability* atau persentase probabilitas yang menunjukkan subsistem dapat berfungsi sesuai dengan yang dibutuhkan dalam periode waktu tertentu saat digunakan yaitu pada waktu 120 jam pemakaian persentase probabilitas *Sand Core* sebesar 50.593%, *Tungku Gravity* sebesar 40.891%, *Finishing* sebesar 53.832%, *Machining* sebesar 61.937%, dan *Leaktest* sebesar 88.760% dengan *reliability system* pada waktu 120 jam sebesar 6.12%. Nilai *availability* atau persentase probabilitas subsistem untuk bekerja sesuai dengan fungsinya pada waktu tertentu atau pada periode waktu yang ditentukan. Nilai *availability* dengan menggunakan *markov process* untuk *Sand Core* sebesar 99.607%, *Tungku Gravity* sebesar 99.247%, *Finishing* sebesar 99.802%, *Machining* sebesar 99.907%, dan *Leaktest* sebesar 99.977% dengan *availability system* sebesar 98.546%. Nilai *availability* dengan menggunakan *operational availability* untuk *Sand Core* sebesar 98.993%, *Tungku Gravity* sebesar 98.587%, *Finishing* sebesar 99.702%, *Machining* sebesar 99.87%, dan *Leaktest* sebesar 99.972% dengan *availability system* sebesar 97.150%. Nilai *availability* dengan menggunakan *inherent availability* untuk *Sand Core* sebesar 99.607%, *Tungku Gravity* sebesar 99.247%, *Finishing* sebesar 99.802%, *Machining* sebesar 99.907%, dan *Leaktest* sebesar 99.977% dengan *availability system* sebesar 98.546%. Berdasarkan perhitungan *maintainability* atau kemampuan subsistem untuk dapat diperbaiki dalam periode waktu tertentu setelah mengalami *breakdown* yaitu berkisar antara 1 jam – 15 jam. Berdasarkan perhitungan *dependability ratio* atau skala

yang akan digunakan untuk memperoleh nilai *dependability* diperoleh skala untuk *Sand Core* sebesar 253.524, *Tungku Gravity* sebesar 131.759, *Finishing* sebesar 502.901, *Machining* sebesar 1069.041, dan *Leaktest* sebesar 4314.086. *Dependability* atau probabilitas subsistem untuk berhasil atau gagal dan dapat diperbaiki dalam periode waktu tertentu untuk masing-masing subsistem yaitu *Sand Core* sebesar 97.455%, *Tungku Gravity* sebesar 95.634%, *Finishing* sebesar 98.574%, *Machining* sebesar 99.257%, dan *Leaktest* sebesar 99.783%. Perhitungan tersebut menunjukkan bahwa subsistem *Tungku Gravity* memiliki nilai *dependability* terkecil sehingga *Tungku Gravity* merupakan subsistem kritis yang memerlukan pemeliharaan lebih lanjut, untuk itu peneliti selanjutnya dapat menggunakan *Reliability Centered Maintenance* dan *Reliability Centered Spare* untuk mengetahui jadwal *preventive maintenance* yang optimal sehingga dapat meningkatkan performansi *Tungku Gravity* serta jadwal pengadaan *spare part* pada subsistem *Tungku Gravity*.

Daftar Pustaka

- Ahmadi, S., Moosazadeh, S., Hajihassani, M., Moomivand, H., & Rajaei, M. (2019). Reliability, availability and maintainability analysis of the conveyor system in mechanized tunneling. *Measurement*.
- Atmaji, F. T. (2015). Optimasi Jadwal Perawatan Pencegahan Pada Mesin Tenun Unit Satu di PT KSM Yogyakarta. *Jurnal Rekayasa Sistem & Industri*, 7-11.
- Calixto, E. (2016). *Gas and Oil Reliability Engineering (Second Edition)*. Gulf Professional Publishing.
- Choudhary, D., Tripathi, M., & Shankar, R. (2019). Reliability, availability and maintainability analysis of a cement plant: a case. *International Journal of Quality & Reliability Management*.
- Dhillon, B. (2006). *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*.
- Ebeling, C. E. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Unites States : Mc-Graw Companies.
- Ertas, A. (1993). *The Engineering Design Process*. New York: Wiley.
- I., Q. A., & Reza, K. A. (2014). A risk-based availability estimation using Markov method. *International Journal of Quality & Reliability Management*.
- Kumar, A., & Ram, M. (2021). *The Handbook of Reliability, Maintenance, and System Safety through Mathematical Modeling*. Candice Janco.
- Lienig, J., & Bruemmer, H. (2017). *Fundamentals of Electronic Systems Design*. Springer International Publishing.

- Mehmood, R., & Lu, J. A. (2011). Computation Markovian Analysis of Large System. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Nainggolan, D. J., Alhilman, J., & Supratman, N. A. (2017). Performance Assessment Based on Reliability of Weaving M251 Machine Using Reliability, Availability & Maintainability (RAM) and Cost of Unreliability (COUR) Methods (Case Study at PT Buana Intan Gemilang). *International Journal of Innovation in Enterprise System*.
- Singh, A. A. (2015). Performance modeling of the skim milk powder production system of a dairy plant using RAMD analysis. *International Journal of Quality and Reliability Management*.
- Tsarouhas, P. (2019). Statistical analysis of failure data for estimating reliability, availability and maintainability of an automated croissant production line. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*.
- Wohl, J. G. (1966). System Operational Readiness and Equipment Dependability. *IEEE Transactions on Reliability*.