

## ANALISIS PENILAIAN KINERJA BATCHING PLANT MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY, AVAILABILITY, MAINTAINABILITY, DAN DEPENDABILITY (RAMD)* DI PT XYZ

### *PERFORMANCE ANALYSIS OF BATCHING PLANT USING THE METHODS OF RELIABILITY, AVAILABILITY, MAINTAINABILITY, AND DEPENDABILITY (RAMD) AT PT XYZ*

M Rapih Atmanegara<sup>1</sup>, Judi Alhilman<sup>2</sup>, Aji Pamoso<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi S1 Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom

<sup>1</sup>rapihatmanegara@student.telkomuniversity.ac.id, <sup>2</sup>alhilman@telkomuniveristy.co.id <sup>3</sup>humamsiddiq@telkomuniveristy.co.id

#### Abstrak

PT XYZ merupakan perusahaan yang memproduksi semen beton untuk pembangunan berkelanjutan di Indonesia. Berdasarkan data yang diperoleh dari sistem batching plant dari tahun 2017 hingga 2019 diperoleh system breakdown structure dari sistem tersebut seperti wheel loader, compressor, genset, dan plant. Dari keempat subsistem tersebut akan dipilih subsistem kritis berdasarkan dari downtime dan repair time pada setiap subsistem. Dikarenakan sistem batching plant tersusun menjadi sistem serial yang akan mengakibatkan apabila terdapat subsistem yang mengalami kegagalan sistem maka sistem lainnya akan terhenti. Oleh karena itu diperlukan analisis Reliability, Availability, Maintainability, dan Dependability dari sistem tersebut guna mendapatkan analisis terhadap performa dari tiap subsistem dan menentukan subsistem kritis yang merugikan perusahaan.

Dari hasil pengolahan RAMD (Reliability, Availability, Maintainability, dan Dependability) menggunakan pemodelan Reliability Block Diagram berdasarkan analytical approach, pada saat  $t = 8$  jam sistem memiliki nilai Reliability (59%). Rata-rata nilai Maintainability sistem pada saat  $t = 24$  jam sebesar (97,19%). Nilai Availability markov process sebesar (80,27%), inherent availability (80,68%) dan operational availability (88,05%). Berdasarkan world class maintenance Key Performance Indicator, indicator leading dan lagging availability belum mencapai standar target indicator. Nilai dependability terkecil terdapat pada subsistem plant sebesar (5,07) dan merupakan subsistem kritis yang perlu diteliti lebih lanjut.

**Kata kunci :** Reliability, Availability, Maintainability, Dependability, Reliability Block Diagram, Markov Process, Key Performance Indicator

#### Abstract

PT XYZ is a company that produces concrete cement for sustainable development in Indonesia. Based on data obtained from the batching plant system from 2017 to 2019 a system breakdown structure was obtained from the system such as wheel loader, compressor, generator set, and plant. Of the four subsystems, critical subsystems will be sorted based on downtime and repair time on each subsystem. Because the batching plant system is arranged into a serial system that will result if there are subsystems that experience system failure then other systems will be stopped. Therefore we need an analysis of Reliability, Availability, Maintainability, and Dependability of the system to get an analysis of the performance of each subsystem and determine critical subsystems that are detrimental to the company.

From the results of RAMD processing (Reliability, Availability, Maintainability, and Dependability) using Reliability Block Diagram modeling based on the analytical approach, when  $t = 8$  hours the system has a Reliability value (59%). The average value of system Maintainability at  $t = 24$  hours is (97.19%). The availability Markov process value is (80.27%), inherent availability (80.68%), and operational availability (88.05%). Based on the world-class maintenance of Key Performance Indicators, leading indicators and lagging availability have not yet reached the target indicator standard. The smallest dependability value is found in the plant subsystem (5.07) and is a critical subsystem that needs further investigation.

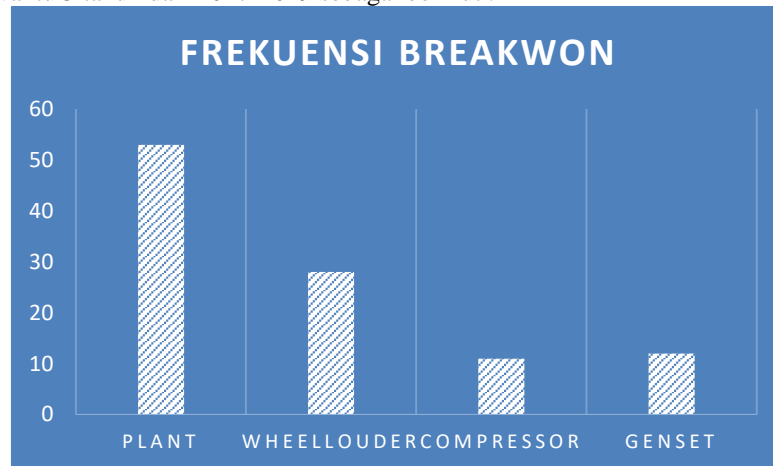
**Keywords:** Reliability, Availability, Maintainability, Dependability, Reliability Block Diagram, Markov Process, Key Performance Indicator

## 1. PENDAHULUAN

PT XYZ merupakan salah satu industri manufaktur yang bergerak di bidang pembuatan beton dalam menunjang pembangunan infrastruktur seperti jalan dan jembatan di Indonesia. PT XYZ merupakan anak

perusahaan dari PT ABC yang mana memproduksi semen untuk pembangunan. Proses pembuatan beton dilakukan dari hasil semen yang dihasilkan akan diolah kembali menjadi semen beton. Dalam proses pembuatan beton dibutuhkan sebuah lini produksi bernama Batching Plant yang terdiri dari 4 sistem untuk menunjang pembuatan semen beton. Batching Plant terdiri dari 4 sistem besar antara lain *Wheel Louder*, *Genset*, *Compressor*, dan *Plant* yang memiliki subsistem antarlain *Screw Conveyor*, *Belt Conveyor*, *Mixer*, dan *Command Batch*.

Mengetahui manfaat dari Reliability Block Diagram, maka dapat dilakukan usulan perbaikan sistem yang bertujuan untuk mengurangi failure rate dan mengurangi mean downtime[1]. Untuk melakukan analisis performansi suatu sistem diperlukan data kerusakan mesin pada objek, data ini tersaji jumlah kerusakan tiap sistem dalam rentan waktu 3 tahun dari 2017-2019 sebagai berikut .



Gambar I Frekuensi Kerusakan pada sistem *Batching Plant*

Berdasarkan data frekuensi kerusakan, sistem batching plant subsistem plant mengalami kerusakan yang paling sering. Adapun penyebab kerusakan dari sistem batching plant selain dari pengoperasian yang terus-menerus, terdapat beberapa faktor lain yaitu dari kegiatan maintenance yang dilakukan, kemampuan operator dalam mengoperasikan mesin, lingkungan, sistem temperatur, serta kualitas oli. Nilai-nilai tersebut menunjukkan kondisi mesin, sehingga akan lebih banyak aspek yang diperhatikan selain aspek finansialnya. Dengan ditambahkan aspek kondisi mesin maka perlunya Reliability, Availability, Maintainability and Dependability RAMD Analysis pada sistem sehingga dapat menentukan kebijakan maintenance.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Markov Process

Proses Markov sebagai proses yang terdiri dari urutan tahapan yang dapat dihitung yang dapat dinilai pada setiap tahap jatuh ke salah satu dari jumlah negara yang dapat dihitung. Dalam proses Markov, ketika proses bergerak dari satu tahap ke tahap berikutnya [2], probabilitas perpindahannya dari keadaan tertentu "i" ke keadaan lain "j" tidak tergantung pada bagaimana proses tersebut mencapai keadaan "i" di tempat pertama. . Properti yang terakhir ini dikenal sebagai properti tanpa memori dari proses Markov dan untuk menggunakan proses Markov, tidak semua elemen sistem perlu memamerkan properti tanpa memori; melainkan, sistem secara keseluruhan harus menunjukkan properti ini. Sifat-sifat proses Markov adalah sebagai berikut :

1. Proses ini terdiri dari sejumlah tahap yang dapat dihitung. Dan pada setiap tahap, prosesnya bisa dalam jumlah yang memungkinkan.
2. Peluang untuk berpindah dari status "i" pada tahap "k" ke status "j" pada tahap k + 1 tidak tergantung pada bagaimana proses sebenarnya sampai pada status "i."

### 2.2. Reliability

*Reliability* merupakan probabilitas bahwa suatu komponen atau sistem akan menjalankan suatu fungsi yang dibutuhkan dalam periode waktu tertentu ketika digunakan dalam kondisi operasi.

Perhitungan nilai Fungsi keandalan untuk distribusi Eksponensial, Normal, dan Weibull adalah sebagai berikut [3]:

1. Distribusi Eksponensial  

$$R(t) = e^{(-\lambda t)}$$
2. Distribusi Normal

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

### 3. Distribusi Weibull

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

### 2.3. Availability

*Availability* dapat didefinisikan sebagai probabilitas suatu sistem beroperasi sesuai fungsinya dalam suatu waktu tertentu dalam kondisi operasi yang telah ditetapkan. *Availability* terbagi menjadi dua yakni *inherent availability* dan *operational availability*. Berikut merupakan persamaan untuk menghitung *inherent availability* [4]:

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Sedangkan untuk menghitung *operational availability* dapat menggunakan persamaan di bawah ini :

$$A_o = \frac{Uptime}{Siklus\ Operasi}$$

### 2.4. Maintainability

*Maintainability* adalah peluang suatu sistem atau komponen yang rusak dikembalikan ke fungsi awal komponen atau sistem dalam suatu periode waktu yang telah disepakati dan dilakukan dengan prosedur perawatan tertentu [5]. Perhitungan *maintainability* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan :

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

### 2.5. Dependability

*Dependability* menyatakan bahwa ketergantungan menyediakan pengukuran tunggal dari kondisi kinerja dengan kombinasi dari kegagalan dan tingkat perbaikan yang terkait dengan keandalan dan pemeliharaan [6]. Analisisnya didasarkan pada asumsi bahwa tingkat kegagalan dan perbaikan mengikuti distribusi eksponensial dalam kedua kasus [7]:

$$d = \frac{\mu}{\lambda} = \frac{MTTF}{MTTR}$$

*Dependability* menyatakan bahwa ada peningkatan yang signifikan dalam rasio ketergantungan (d) jika nilai ketersediaan di atas 0,9 dan ada penurunan yang sesuai jika nilai ketersediaan <0,1. Nilai minimum ketergantungan (Dmin) Diberikan oleh [8]:

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

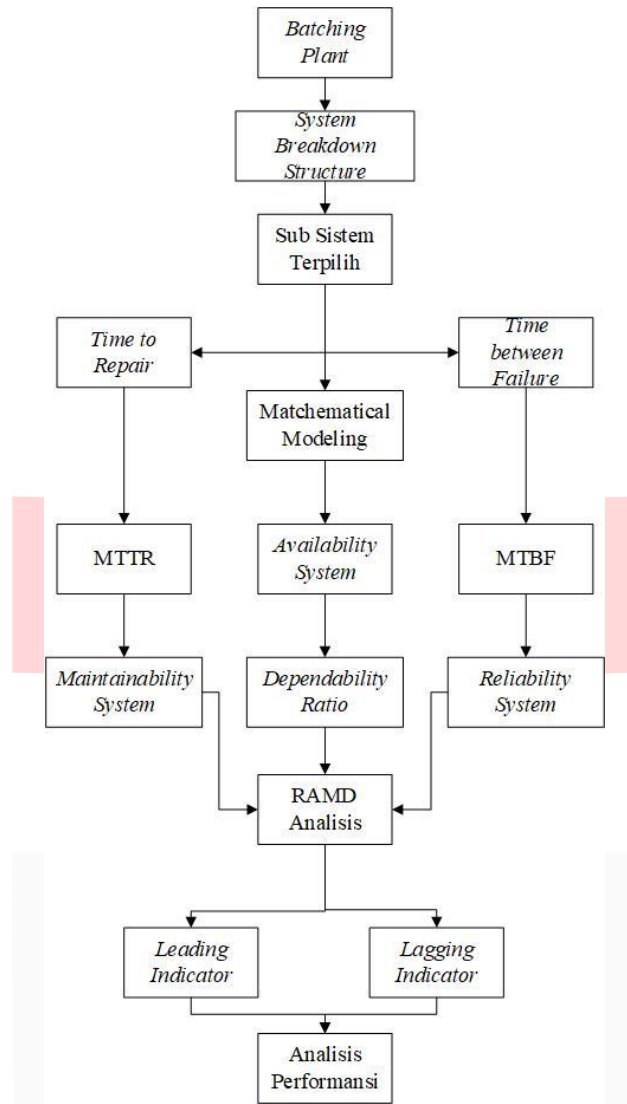
### 2.6. RAM Analisis

*Reliability, Availability, & Maintainability (RAM) Analysis* merupakan suatu metode yang dapat digunakan untuk memprediksi kinerja keandalan (*reliability*), ketersediaan (*availability*), kemampuan perawatan (*maintainability*) dari suatu komponen atau sistem. RAM Analysis juga merupakan suatu alat yang dapat digunakan untuk memberikan pedoman dalam optimasi dari suatu komponen atau sistem [9] .

## 3. PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

### 3.1. Model Konseptual

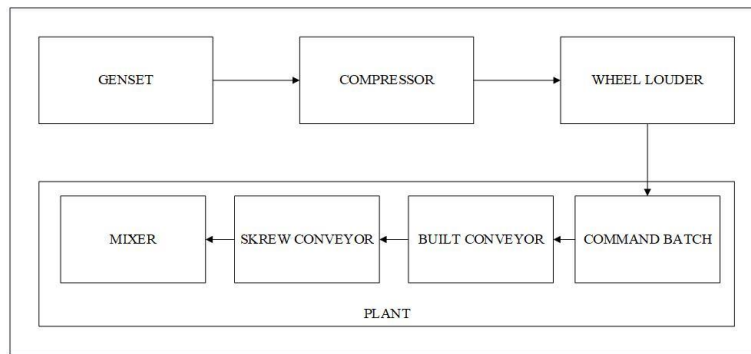
Dalam menyelesaikan penelitian ini, digunakan model konseptual seperti pada Gambar II.



Gambar II. Model Konseptual

Berdasarkan model konseptual langkah pertama yang dilakukan adalah pengumpulan data, seperti *time to repair*, *time to failure*, dan *time between failure*. Setelah mendapatkan distribusi yang paling baik untuk mewakili failure dan repair dari komponen kritis, dapat dilakukan plotting data untuk menentukan parameter distribusi terpilih yang dilakukan dengan menggunakan *software* minitab 18. Hasil yang didapat adalah nilai MTR dan MTBF yang akan digunakan dalam *RAM analysis*. Perhitungan nilai dari RAM Analysis dapat dilakukan dengan menggunakan nilai parameter distribusi dari setiap mesin dan pemodelan *Reliability block diagram* (RBD) untuk mempermudah dalam perhitungan *RAMD Analisis*. Hasil dari perhitungan *RAMD analysis* adalah *analytical RAMD*, yaitu *analytical inherent availability* dan *operational availability*. Hasil dari perhitungan *RAMD Analisis* adalah *analytical RAMD* untuk mengetahui apakah sistem sudah berjalan dengan baik atau belum dengan membandingkannya berdasarkan *Maintenance Performance Indicator*.

**3.2. Pemodelan *Reliability block Diagram* (RBD)**



Gambar III. Reliability Block Diagram system Batching Plant

Pemodelan sistem dilakukan dengan cara seri apabila salah satu sistem mengalami kerusakan maka menyebabkan mesin tidak bisa digunakan dan akan mengganggu proses produksi.

### 3.3. RAMD analisis pada subsistem genset

Pada subsistem genset hanya terdapat satu nilai laju kerusakan dan laju perbaikan karena hanya memiliki satu komponen pekerjaan dalam melaksanakan fungsinya.

Dari hasil perpindahan diagram tersebut didapatkan persamaan matematika untuk mendapatkan nilai *availability* pada suatu sistem, untuk persamaan diferensial nya dapat dilihat dibawah ini :

$$P'0(t) = -\lambda_1 P_0(t) + \mu_1 P_1(t)$$

$$P'1(t) = -\mu_1 P_1(t) + \lambda_1 P_0(t)$$

Persamaan dibawah ini merupakan kondisi *steady state* dari sistem genset yang belum di reduksi.

$$\mu_1 P_1 = \lambda_1 P_0$$

$$\mu_1 P_1 = \lambda_1 P_0$$

Persamaan dibawah ini merupakan hasil reduksi dari persamaan diferensial diatas, langkah selanjutnya adalah setelah proses normalisasi menggunakan persamaan berikut ini.

$$P_0 + P_1 = 1$$

Persamaan dibawah ini merupakan hasil dari persamaan guna mencari nilai *availability* dari subsistem 1 dimana nilai  $P_0$  sama dengan nilai *availability*.

$$P_0 \left( 1 + \frac{\lambda_1}{\mu_1} \right) = 1$$

Nilai *reliability* pada sistem genset dapat diturunkan pada rumus dibawah ini:

$$R(t) = e^{\left( \frac{t-0}{539,51} \right)^{0.69}}$$

Nilai *maintainability* pada sistem genset dapat diturunkan pada rumus dibawah ini:

$$M(t) = 1 - e^{\left( \frac{t}{7.26} \right)}$$

### 3.4. RAMD analisis pada subsistem compressor

Pada subsistem compressor hanya terdapat satu nilai laju kerusakan dan laju perbaikan karena hanya memiliki satu komponen pekerjaan dalam melaksanakan fungsinya.

Dari hasil perpindahan diagram tersebut didapatkan persamaan matematika untuk mendapatkan nilai *availability* pada suatu sistem, untuk persamaan diferensial nya dapat dilihat dibawah ini :

$$P'0(t) = -\lambda_2 P_0(t) + \mu_2 P_1(t)$$

$$P'1(t) = -\mu_2 P_1(t) + \lambda_2 P_0(t)$$

Persamaan dibawah ini merupakan kondisi *steady state* dari sistem *compressor* yang belum di reduksi.

$$\mu_2 P_1 = \lambda_2 P_0$$

$$\mu_2 P_1 = \lambda_2 P_0$$

Persamaan dibawah ini merupakan hasil reduksi dari persamaan diferensial diatas, langkah selanjutnya adalah setelah proses normalisasi menggunakan persamaan berikut ini.

$$P_0 + P_1 = 1$$

Persamaan dibawah ini merupakan hasil dari persamaan guna mencari nilai *availability* dari subsistem 1 dimana nilai  $P_0$  sama dengan nilai *availability*.

$$P_0 \left(1 + \frac{\lambda^2}{\mu^2}\right) = 1$$

Nilai *reliability* pada sistem *compressor* dapat diturunkan pada rumus dibawah ini:

$$R(t) = 1 - \varphi\left(\frac{t - 962,85}{681,93}\right)$$

Nilai *maintainability* pada sistem *compressor* dapat diturunkan pada rumus dibawah ini:

$$M(t) = 1 - e^{\left(\frac{t}{8,21}\right)}$$

### 3.5. RAMD analisis pada subsistem *wheel loader*

Pada subsistem *weheel loader* hanya terdapat satu nilai laju kerusakan dan laju perbaikan karena hanya memiliki satu komponen pekerjaan dalam melaksanakan fungsinya.

Dari hasil perpindahan diagram tersebut didapatkan persamaan matematika untuk mendapatkan nilai *availability* pada suatu sistem, untuk persamaan diferensial nya dapat dilihat dibawah ini :

$$P'_0(t) = -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t)$$

$$P'_1(t) = -\mu P_1(t) + \lambda P_0(t)$$

Persamaan dibawah ini merupakan kondisi *steady state* dari sistem *wheel loader* yang belum di reduksi.

$$\mu P_1 = \lambda P_0$$

$$\mu P_1 = \lambda P_0$$

Persamaan dibawah ini merupakan hasil reduksi dari persamaan diferensial diatas, langkah selanjutnya adalah setelah proses normalisasi menggunakan persamaan berikut ini.

$$P_0 + P_1 = 1$$

Persamaan dibawah ini merupakan hasil dari persamaan guna mencari nilai *availability* dari subsistem 1 dimana nilai  $P_0$  sama dengan nilai *availability*.

$$P_0 \left(1 + \frac{\lambda}{\mu}\right) = 1$$

Nilai *reliability* pada sistem *weheel loader* dapat diturunkan pada rumus dibawah ini:

$$R(t) = e^{\left(\frac{t-0}{241,41}\right)^{0,78}}$$

Nilai *maintainability* pada sistem *wheel loader* dapat diturunkan pada rumus dibawah ini:

$$M(t) = 1 - e^{\left(\frac{t}{7,29}\right)}$$

### 3.6. RAMD analisis pada subsistem *plant*

Pada subsistem *plant* hanya terdapat satu nilai laju kerusakan dan laju perbaikan karena hanya memiliki satu komponen pekerjaan dalam melaksanakan fungsinya.

Dari hasil perpindahan diagram tersebut didapatkan persamaan matematika untuk mendapatkan nilai *availability* pada suatu sistem, untuk persamaan diferensial nya dapat dilihat dibawah ini :

$$P'_0(t) = -(\lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6 + \lambda_7)P_0(t) + \mu_4 P_1(t) + \mu_5 P_2(t) + \mu_6 P_3(t) + \mu_7 P_4(t)$$

$$P'_1(t) = -\mu_4 P_1(t) + \lambda_4 P_0(t)$$

$$P'_2(t) = -\mu_5 P_1(t) + \lambda_5 P_0(t)$$

$$P'_3(t) = -\mu_6 P_1(t) + \lambda_6 P_0(t)$$

$$P'_4(t) = -\mu_7 P_1(t) + \lambda_7 P_0(t)$$

Persamaan dibawah ini merupakan kondisi *steady state* dari sistem *plant* yang belum di reduksi.

$$(\lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6 + \lambda_7)P_0 = \mu_4 P_1 + \mu_5 P_2 + \mu_6 P_3 + \mu_7 P_4$$

$$\mu_4 P_1 = \lambda_4 P_0$$

$$\mu_5 P_1 = \lambda_5 P_0$$

$$\mu_6 P_1 = \lambda_6 P_0$$

$$\mu_7 P_1 = \lambda_7 P_0$$

Persamaan dibawah ini merupakan hasil reduksi dari persamaan diferensial diatas, langkah selanjutnya adalah setelah proses normalisasi menggunakan persamaan berikut ini.

$$P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 1$$

Persamaan dibawah ini merupakan hasil dari persamaan guna mencari nilai *availability* dari subsistem 1 dimana nilai  $P_0$  sama dengan nilai *availability*.

$$P0 \left( 1 + \frac{\lambda 4}{\mu 4} + \frac{\lambda 5}{\mu 5} + \frac{\lambda 6}{\mu 6} + \frac{\lambda 7}{\mu 7} \right) = 1$$

Nilai *reliability* pada sistem *plant* dapat diturunkan pada rumus dibawah ini:

$$R(t) = e^{-0.0085t} \times e^{\left(\frac{t-0}{208,63}\right)0,66} \times e^{\left(\frac{t-0}{133,24}\right)1,17} \times e^{\left(\frac{t-0}{231,57}\right)1,12}$$

Nilai *maintainability* pada sistem *plant* dapat diturunkan pada rumus dibawah ini:

$$M(t) = \left( 1 - e^{\left(\frac{t}{5,85}\right)} \right) \times \left( 1 - e^{\left(\frac{t}{9,64}\right)} \right) \times \left( 1 - e^{\left(\frac{t}{6,635}\right)} \right) \times \left( 1 - e^{\left(\frac{t}{8,72}\right)} \right)$$

**4. KESIMPULAN**

RAMD analisis pada sistem *batching plant* disimpulkan bahwa berdasarkan nilai RAMD, MTBF dan nilai *dependability* pada subsistem *plant* memiliki nilai terkecil diantara subsistem lainnya dan harus menghasilkan nilai MTTR pada subsistem tersebut dalam kondisi terbaik diantara subsistem lainnya dikarenakan meminimasi lamanya *breakdown* sistem terlalu lama. Berdasarkan nilai *inherent availability* didapatkan nilai *availability* sebesar 80,64% yang dapat disimpulkan bahwa sistem tersebut belum memenuhi kriteria dari *leading indicator* yang berarti memiliki performansi mesin yang buruk. Sedangkan berdasarkan nilai *operational availability* didapatkan nilai *availability* sebesar 88,05% yang dapat disimpulkan bahwa sistem tersebut belum memenuhi kriteria dari *lagging indicator* yang berarti memiliki performansi mesin yang buruk.

**Tabel I RAMD anlisis**

RAMD pada sistem batching Plant	Subsistem Genset	Subsistem Compressor	Subsistem Wheel Louder	Subsistem Plant
Availability Markov Process	99.08%	99.16%	97.50%	83.79%
Inherent Availability	99.00%	99.15%	97.48%	84.31%
Operational Availability	98.55%	98.52%	96.69%	93.79%
Dependability Ratio	107.43	118.62	39.05	5.17
Dependability (Dmin)	99.11%	99.19%	97.67%	86.95%

**Tabel II Reliability System**

t(hours)	Wheel Louder	Compressor	Genset	Plant	Reliability System
8	93.31%	85.03%	95.07%	78.44%	59.17%
16	88.77%	84.79%	92.15%	63.66%	44.15%
24	84.89%	84.54%	89.73%	51.91%	33.43%
32	81.45%	84.29%	87.62%	42.41%	25.51%

**Tabel III Maintainability System**

t(hours)	Wheel Louder	Compressor	Genset	Plant	Reliability System
1	4.33%	1.42%	3.06%	0.00%	0.00%
2	11.77%	5.22%	9.12%	0.03%	0.00%
3	20.54%	10.98%	16.85%	0.19%	0.00%
4	29.81%	18.25%	25.47%	0.76%	0.01%

Dari hasil kesimpulan diatas RAMD analisis membantu karyawan *maintenance* dalam mengambil kebijakan perawatan sistem dan mendapatkan subsistem kritis terpilih yang akan dilakukan penelitian lebih lanjut.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] J. Barabady and U. Kumar, "Reliability analysis of mining equipment: A case study of a crushing plant at Jajarm Bauxite Mine in Iran," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, 2008.
- [2] R. Mehmood and J. A. Lu, "Computational Markovian analysis of large systems," *J. Manuf. Technol. Manag.*, 2011.
- [3] D. J. Nainggolan, J. Alhilman, and N. A. Supratman, "Analisis Performansi Kerja Berbasis Reliability Pada Mesin Weaving M251 Menggunakan Metode Reliability , Availability & Maintainability ( Ram ) Dan Cost of Unreliability ( Cour ) ( Studi Kasus : Pt Buana Intan Gemilang ) Performance Assessment Based on Re," *Int. J. Innov. Enterp. Syst.*, vol. 01, no. 01, pp. 13–18, 2017.
- [4] U. T. Kirana, J. Alhilman, and Sutrisno, "Perencanaan Kebijakan Perawatan Mesin Corazza FF100 Pada Line 3 PT XYZ Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) II," *J. Rekayasa Sist. Ind.*, vol. 03, no. 1, pp. 47–53, 2016.
- [5] C. E. Ebeling, "Intro to Reliability & Maintainability Engineering.pdf." p. 486, 1997.
- [6] J. G. Wohl, "System Operational Readiness and Equipment Dependability," *IEEE Trans. Reliab.*, 1966.
- [7] A. Aggarwal, S. Kumar, and V. Singh, "Performance modeling of the skim milk powder production system of a dairy plant using RAMD analysis," *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 32, no. 2, pp. 167–181, 2015.
- [8] J. R. Fragola, "Reliability and risk analysis data base development: An historical perspective," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, 1996.
- [9] S. Saraswat and G. S. Yadava, "An overview on reliability, availability, maintainability and supportability (RAMS) engineering," *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 25, no. 3, pp. 330–344, 2008.