

Analisa Kerusakan Mesin Digester Menggunakan Metode *Failure Mode Dan Effect Analysis* (FMEA) Di PT. Beurata Subur Persada

Yusnazri*¹, Pribadyo*², Masykur³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar
Alue Penyareng, 23615, Meulaboh
e-mail: *²pribadyo@utu.ac.id

Abstrak

Mesin yang mengalami kerusakan atau gangguan saat produksi akan menimbulkan kerugian bagi perusahaan. Upaya menjaga agar mesin tidak mengalami kerusakan, maka dibutuhkan sistem perawatan serta pemeliharaan mesin yang baik. PT. Beurata subur Persada adalah perusahaan yang bergerak di sektor perkebunan dan pengolahan kelapa sawit. Penerapan sistem pemeliharaan *scheduled maintenance* seringkali terhambat, dimana mesin Digester berhenti beroperasi akibat *breakdown*. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui kerusan pada mesin digester. Berdasarkan hasil penelitian dengan metode *Failure Modes and Effect Analysis* (FMEA) pada penilaian *Severity*, *Occurance* dan *Detection* dari 4 komponen yang sering mengalami kegagalan. Hasil penelitian mendapati tingkat *Severity*, *Occurance* dan *Detection* dari empat komponen yang mengalami kegagalan dengan tingkat *Severity* yang paling tinggi ada pada komponen *Long Arm* serta *Short Arm* sebesar 57,14%. evaluasi *Occurance* dan *Severity* memiliki nilai yang sama di setiap komponen masing-masing 7 dan 3. Namun untuk nilai *Detection* memiliki nilai yang berbeda terutama pada komponen *gearbox* dan *v belt*. *Risk Priority Number* dari perhitungan *Severity*, *Occurance* serta *Detection* didapatkan nilai tertinggi pada komponen *long arm* serta *short arm* sebesar 16,67%, sedangkan nilai *Risk Priority Number* yang paling rendah ada dikomponen *gearbox* dan *v-belt* yakni sebesar 14,29%.

Kata kunci— *Digester, FMEA, Maintenance, Minyak Sawit Mentah*

Abstract

Machines that experience damage or disruption during production will cause losses to the company. Efforts to keep the machine from experiencing damage require a good and perfect machine maintenance and care system. PT. Beurata Subur Persada is a company engaged in the palm oil plantation and processing sector. The implementation of the scheduled maintenance system is often hampered, where the Digester machine stops operating due to breakdown. The purpose of the study was to determine the damage to the digester machine. Based on the results of the study using the Failure Modes and Effect Analysis (FMEA) method on the Severity, Occurance and Detection assessment of 4 components that often fail. The results of the study found the levels of Severity, Occurance and Detection of the four components that failed with the highest Severity levels in the Long Arm and Short Arm components of 57.14%. The evaluation of Occurance and Severity has the same value in each component, namely 7 and 3. However, the Detection value has a different value, especially in the gearbox and v belt components. Risk Priority Number from the calculation of Severity, Occurrence and Detection obtained the highest value in the long arm and short arm components of 16.67%, while the lowest Risk Priority Number value was in the gearbox and v-belt components, namely 14.29%.

Keywords— *Digester, FMEA, Maintenance, Crude Palm Oil*

1. PENDAHULUAN

Sangat penting untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya mesin dalam proses produksi, memastikan mesin dan peralatan produksi siap dioperasikan, karenanya perlu adanya sistem pemeliharaan dan perbaikan yang berkala [1]. Mesin atau peralatan yang sering dirawat dan diperhatikan dengan baik maka akan berada dalam kondisi jauh lebih siap digunakan pada saat beroperasi dibandingkan dengan mesin yang tidak di rawat [2].

Kerusakan mesin produksi atau gangguan pada saat produksi akan menimbulkan kerugian bagi pihak Perusahaan [3]. Kerugian tersebut dapat berupa hilangnya waktu proses disaat produksi yang diakibatkan kerusakan mesin, ketidakmampuan perusahaan memenuhi target produksi, dan biaya pemeliharaan yang dikeluarkan untuk mengoptimalkan kinerja mesin produksi. Rusaknya mesin atau peralatan produksi yang ditimbulkan pada saat proses produksi seringkali disebabkan oleh kerusakan mesin dan peralatan produksi secara tiba-tiba [3]. Permasalahan tersebut seringkali berupa kerusakan mesin yang tidak terdeteksi pada saat produksi, mesin berhenti secara tiba-tiba, berkurangnya kecepatan mesin, mesin menghasilkan produk cacat dan mesin berjalan tetapi tidak menghasilkan produk sesuai dengan kapasitas [5].

Guna menjamin kondisi mesin tidak mengalami kerusakan atau setidaknya mempersingkat waktu terjadinya kerusakan, sehingga proses produksi tidak terhenti terlalu lama, maka diperlukan suatu sistem perawatan yang efektif dan sesuai terhadap mesin atau peralatan tersebut sehingga mesin atau peralatan produksi tersebut pada akhirnya dapat meningkatkan kinerja mesin atau peralatan serta kerugian yang diakibatkan oleh kerusakan mesin dapat teratasi. Penanganan dan pemeliharaan mesin dan peralatan yang tidak tepat tidak hanya dapat menyebabkan kerusakan (*breakdown*) pada mesin dan peralatan tersebut, namun biaya yang dikeluarkan pada saat melakukan perbaikan juga sangat besar. Manajemen pemeliharaan mesin/peralatan meliputi teknik dan kegiatan yang bertujuan untuk menjaga, mempertahankan dan meningkatkan produktivitas dan efisiensi mesin dan peralatan, yang secara langsung juga akan meningkatkan kualitas produk [3].

PT. Beurata Subur Persada adalah salah satu diantara perusahaan yang bergerak pada bidang industri perkebunan serta mengolah produk kelapa sawit setengah jadi hingga menjadi minyak *Crude Palm Oil* (CPO). Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di perusahaan serta informasi dari workshop pemeliharaan, yang menjelaskan bahwa perusahaan menganut dan menerapkan sistem perawatan terjadwal untuk mendukung kelancaran proses produksinya. Akan tetapi pada kenyataannya, proses produksi masih seringkali mengalami hambatan. Adapun masalah yang sering di alami pihak perusahaan adalah salah satu mesin pengolah minyak CPO yaitu pada mesin *Digester* sering berhenti bekerja karena rusak dan harus dilakukan proses perbaikan dengan cara mencari part yang rusak dan menggantinya dengan part yang baru (*Corrective maintenance*). Selain hal tersebut, mesin *Digester* juga memerlukan waktu *setup* yang lebih lama karena adanya aktivitas perbaikan mesin. Hal tersebut justru akan membuang banyak waktu bagi perusahaan, sehingga menyebabkan kegagalan mencapai tujuan produksi, yang diakibatkan rendahnya kinerja mesin. Berikut menunjukkan data jumlah kerusakan (*breakdown*) pada mesin *Digester* pengolah buah TBS menjadi minyak CPO selama Bulan Januari sampai dengan Oktober 2023 yang dilihat pada Tabel 1. berikut:

Tabel 1. Data Kerusakan (*Breakdown*) Mesin *Digester*

No	Periode (Bulan)	Durasi Kerusakan (Jam)
1	Januari	27,12
2	Februari	22,63
3	Maret	26,48
4	April	24,18
5	Mei	23,22

6	Juni	21,19
7	Juli	24,14
8	Agustus	25,16
9	September	23,04
10	Oktober	20,02
Durasi Kerusakan Rata-Rata		23,72

(Sumber: PT. Beurata Subur Persada, 2023)

Berdasarkan Tabel 1.1. diatas menunjukkan niali rata-rata waktu kerusakan mesin Digester pada Bulan Januari-Oktober 2023 dimana nilai rata-rata kerusakan mencapai 23.72 jam. Penyebab terjadinya *Breakdown* pada mesin Digester disebabkan karena tidak adanya jadwal perawatan mesin yang rutin pada perusahaan tersebut karena sistem perawatan mesin yang diterapkan pada PT. Beurata Subur yaitu sistem perawatan *Breakdown* dimana tindakan yang dilakukan untuk memperbaiki mesin setelah terjadi kerusakan pada mesin Digester pengolahan buah TBS menjadi minyak CPO tersebut dengan mengganti komponen-komponen mesin yang mengalami kerusakan. Hal ini apabila tidak segera ditindak lanjuti dengan segera mungkin akan berdapak kerugian bagi perusahaan baik dari segi waktu, produksi bahkan dapat menurunkan tingkat produktivitas perusahaan dalam menghasilkan produk. Adapun untuk mengatasi kerusakan mesin atau peralatan produksi salah satu metode yang dapat digunakan yaitu dengan metode *Faiilure Moodes and Efficct Analyssis* (FMEA). Dimana metode *Faiilure Moodes and Efficct Analyssis* (FMEA) adalah suatu teknik untuk menilai keandalan sistem untuk mengetahui dampak yang terjadi dari kesalahan sistem guna mencegah risiko terjadinya *breakdown* selama pengoperasian mesin atau peralatan produksi disaat sedang proses produksi berlangsung

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan kerusakan mesin digester yaitu metode *Faiilure Moodes and Efficct Analyssis* (FMEA). Dimana metode *Faiilure Moodes and Efficct Analyssis* (FMEA) adalah suatu teknik untuk menilai keandalan sistem untuk mengetahui dampak yang terjadi dari kesalahan sistem guna mencegah risiko terjadinya *breakdown* selama pengoperasian mesin atau peralatan produksi disaat sedang proses produksi berlangsung. Metode FMEA ini memfokuskan pada tiga elemen yaitu *Severity* (S), yakni rating yang mengacu pada besarnya dampak serius dari kegagalan mesin (*potential failure mode*), *Occurrence* (O), yakni mengacu pada seberapa sering terjadinya mesin mengalami kerusakan (*frequeency pottential failurre*), dan *Detection* (D), yakni mengacu pada kemungkina metode deteksi yang sekarang dapat mendeteksi *potential failure mode* sebelum produk tersebut di pasarkan ke konsumen. Hal ini dimaksudkan agar pemeliharaan yang dilakukan dalam jangka waktu tertentu dapat tercapai kondisi dan biaya perbaikan yang minimal agar proses produksi sesuai dengan apa yang direncanakan. Adapun langkah-langkah menganalisis rusaknya mesin digester menggunakan metode *Faiilure Moodes and Efficct Analyssis* (FMEA) adalah sebagai berikut:

1. *Severity* (S), adalah skor yang berpatokan pada banyaknya dari dampak kegagalan mesin (*pottential failllure mode*). Adapun skor untuk menilai *severity* dapat di jabarkan pada Tabel 2. berikut ini:
2. *Occurrence* (O), yakni mengacu pada seberapa sering terjadinya mesin mengalami kerusakan (*frequeency pottential failurre*). Adapun skor untuk menilai *Occurance* seperti yang di jabarkan pada Tabel 3. sebagai berikut:
3. *Dettection*, ada skor yang berpatokan pada mungkinnya metode untuk mendeteksi *pottential failuree modee* sebelum proses produksi sebuah produk. Adapun skor penilaian *Dettection* di jabarkan seperti pada Tabel 4. berikut:
4. Menentukan nilai RPN dengan Metode FMEA:

Analisis risk dengan metode FMEA dimana *Risik Priority Number* (RPN), adalah nilai yang menjabarkan tindakan yang harus dipsegerakan. RPN dinilai dari pertimbangan skor dari ketiga variabel FMEA yaitu *severrity*, *occurrennce*, dan *detection*. Adapun rumus yang digunakan sesuai dengan persamaan berikut:

$$RPN = rating\ severity \times rating\ occurrence \times rating\ detection \quad (1)$$

– *Root Cause Analysis* (RCA)

RCA adalah proses desain yang digunakan untuk menginvestigasi dan mengkategorikan akar penyebab dari sebuah peristiwa yang berhubungan dengan keselamatan, lingkungan, kualitas, keandalan, dan dampak dari produksi. Secara sederhana, RCA digunakan untuk membantu mengidentifikasi bukan hanya apa dan bagaimana suatu peristiwa terjadinya. Secara umum, kesalahan tidak terjadi begitu saja tetapi dapat kita analisa seperti mengetahui penyebabnya. Mengidentifikasi akar penyebab adalah salah satu kunci untuk menghindari terjadinya kejadian yang sama [6].

– *Reliability Block Diagram* (RDB)

RBD adalah model logika simbolis mundur (top-down) yang dihasilkan dalam domain sukses. Setiap RBD memiliki input dan output dan mengalir dari kiri ke kanan dari input ke output. Blok dapat menggambarkan peristiwa atau fungsi elemen sistem dalam suatu sistem. Namun, blok ini biasanya hanya fungsi elemen sistem. Elemen sistem dapat menjadi subsistem, *subassembly*, komponen, atau bagian [7].

Menurut [8], untuk menghitung keandalan maka yang harus dilakukan adalah mengetahui nilai dari *mean time between failure* (MTBF) dan nilai *failure rate*.

1. *Mean time between failure* (MTBF)

MTBF adalah ukuran yang menunjukkan berapa lama mesin/komponen dapat beroperasi tanpa mengalami kerusakan atau kegagalan. MTBF juga dapat diartikan sebagai total waktu operasi dibagi jumlah kerusakan [9]. Rumus menghitung MTBF adalah sebagai berikut:

$$MTBF = \frac{Operating\ Time}{Failure} \quad (2)$$

2. Laju kegagalan (*failure rate*)

Laju kegagalan adalah probabilitas terjadinya kegagalan per satuan waktu dalam sebuah interval waktu. Dimana interval ini disebut juga sebagai MTBF. Adapun rumus untuk menghitung laju kegagalan adalah sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (3)$$

Setelah didapat nilai MTBF dan failure rate maka dihitung nilai keandalan (reliability) menggunakan rumus sebagai berikut:

$$R = e^{-(\lambda)(t)} \quad (4)$$

Dimana:

- *R* adalah Keandalan
- $e \approx 2,71828182846$
- λ adalah lambda
- *t* adalah asumsi waktu operasi mesin

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bedasarkan hasil pengamatan lapangan di PT. Beurata Subur Persada dengan menggunakan data histori perusahaan pada bagian *maintenance Workshop* PT. Beurata Subur Persada, maka hasil analisa kerusakan mesin digester dengan menggunakan metode *Failture Modde And Effeect Anallysis* (FMEA) dengan langkah-langkah perhitungannya rincikan sebagai berikut:

- 1) Menentukan Jenis Gagalnya Mesin Degister pada saat Proses Produksi
 Berdasarkan dari data histori perusahaan pada bagian *maintenance Workshop* PT. Beurata Subur Persada diperoleh empat jenis komponen mesin digester yang sering mengakibatkan kegagalan dan berpotensi besar membuat mesin digester *Breakdown* hal ini terjadi selama proses produksi seperti yang di tunjukan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Jenis Kegagalan Potensial pada Mesin Digester

No	Komponen/Part Mesin Digester	Kerusakan
1	<i>Gearbox</i>	Keausan/terkikis
2	<i>Long Arm</i>	Keausan/terkikis
3	<i>Short Arm</i>	Keausan/terkikis
4	<i>V-belt</i>	Keausan/putus

Berdasarkan pada Tabel 2 di atas menunjukan bahwa komponen mesin Digester yang berpotensi besar membuat mesin digester mengalami *breakdown* selama proses produksi sedang berlangsung dimana jenis sebab gagalnya pada mesin digester dapat dilihat pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Identifikasi Sebab Gagalnya Mesin Digester

No	Komponen/Part Mesin Digester	Kerusakan
1	<i>Gearbox</i>	Kekurangan Oli
2	<i>Long Arm</i>	Uap Panas, Berondolan yang jatuh ke tabung digester
3	<i>Short Arm</i>	Uap Panas, Berondolan yang jatuh ke tabung digester
4	<i>V-belt</i>	V-belt bergesekan dengan puli

Berdasarkan pada Tabel 6 diatas menunjukan bahwa hasil indentifikasi penyebab potensi kegagalan yaitu disebabkan mesin digester kekurangan oli, uap panas, berondolan yang jatuh ke tabung digester yang berdampak terjadinya *breakdown* pada mesin digester hal ini di karena tidak berjalanya dengan baik jadwal perawatan mesin yang rutin pada perusahaan tersebut karena sistem perawatan mesin yang diterapkan pada PT. Beurata Subur yaitu sistem perawatan *breakdown* dimana tindakan yang dilakukan untuk memperbaiki mesin setelah terjadi kerusakan pada mesin digester.

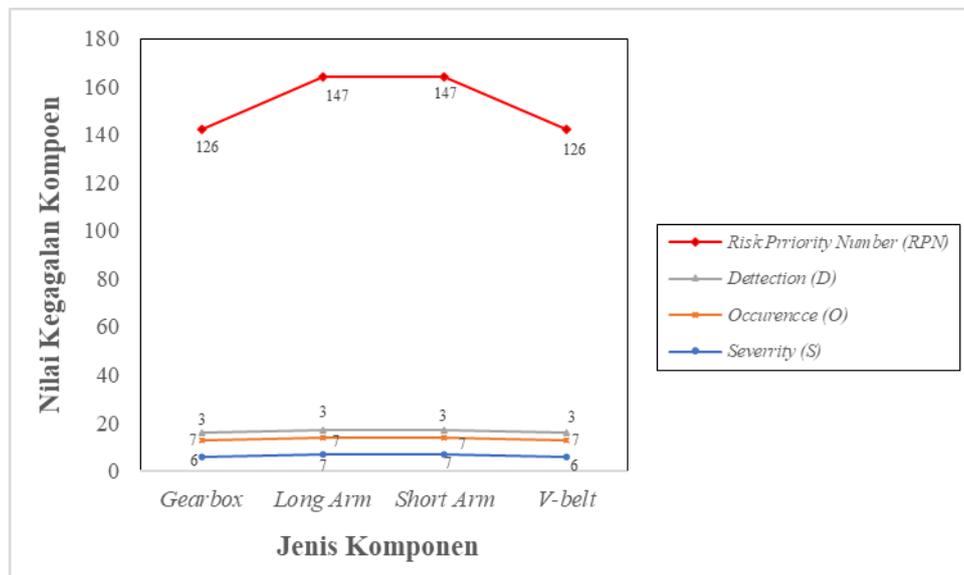
- 2) Perhitungan *Risk Prriority Number* (RPN)
Risk Prriority Number merupakan skor yang menjabarkan nilai parahnya efek yang di sebabkan oleh gagalnya mesin produksi (*Severrity*), frequency kegagalan (*Occurrenncce*) serta tingkat mendekteksi (*Dettection*) dimana nilai RPN dihitung dengan mengalikan nilai *severrity*, *occurannce* dan *dettection* sesuai dengan rumus pada persamaan 1 dengan acuan skala penilaian pada Tabel 1, 2, dan 3.

Berdasarkan hasil perhitungan RPN didapati nilai *faiilure modde and effectt anallysis* (FMEA) untuk setiap jenis komponen kegagalan potensial yang terjadi pada mesin digester yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi *Faillure Modde and Effetct Anallysis* (FMEA)

No	Komponen	Jenis Kegagalan Potensial	Penyebab	Penentuan Gagalnya Msein Degister	Mengidentifikasi Pengendalian Kegagalan	S	O	D	RPN
1	<i>Gearbox</i>	Terkikis	Kekurangan Oli	Performa mesin menurun	Melakukan perawatan mesin secara berkala	6	7	3	126
2	<i>Long Arm</i>	Keausan dan terkikis	Uap panas	<i>Long Arm</i> tidak dapat melumatkan berondolan	Melakukan perawatan mesin secara berkala	7	7	3	147
3	<i>Short Arm</i>	Keausan dan terkikis	Uap panas	<i>Short Arm</i> tidak dapat melumatkan berondolan	Melakukan perawatan mesin secara berkala	7	7	3	147
4	<i>V-belt</i>	Keausan dan putus	<i>V-belt</i> bergesekan dengan puli	Mesin tidak dapat beroperasi	Melakukan perawatan mesin secara berkala	6	7	3	126

Dari tabel 4 diketahui bahwa ausnya komponen gearbox sebesar 7 pada *Occurence* dimungkinkan adanya gesekan berlebih atau pemakaian dalam jangka panjang mengakibatkan penurunan efisiensi transmisi daya, selain itu kurangnya pelumasan berdampak terhadap peningkatan gesekan antar komponen, yang dapat menimbulkan keausan sehingga digester berpotensi *overheating*. Sementara penggunaan jangka panjang dan gesekan tinggi antar komponen, material long arm dan short arm dapat mengalami degradasi akibatnya efektivitas kinerja digester kehilangan daya hancur yang diperlukan untuk proses produksi. Disini lain penggunaan jangka panjang ketegangan *V-belt* sebesar 7 diprediksi dapat mengalami keausan hingga berakibat putus. Gesekan yang terus-menerus dengan puli mempercepat keausan *V-belt*, terutama jika pemasangan atau penyetelan tidak tepat. Kegagalan *V-belt* berdampak langsung pada sistem transmisi tenaga, sehingga mesin tidak dapat bekerja optimal atau bahkan berhenti beroperasi.



Gambar 1. Nilai Kegagalan pada setiap komponen

Hasil yang ditunjukkan pada Gambar 1. grafik diatas menjelaskan bahwa perhitungan nilai RPN berdasarkan variabel *Severrity*, *Occurence* dan *Dettection* dapat diperoleh hasil sebagai berikut:

- 1) Nilai Ranking *Severrity* 6 mempengaruhi jalanya proses produksi terhambat. Meskipun produksi berjalan akan tetapi menurunkan kinerja mesin degister yang dapat berpengaruh terhadap kualitas produk akibat adanya kerusakan pada *Gearbox* dan *V-belt* pada mesin Degister.
- 2) Nilai Ranking *Severrity* 7 sehingga *downttime* meningkat secara signifikan akibatnya kualitas produk juga terdampak, dimana hal ini terjadi akibat kerusakan *Long Arm* dan *Short Arm* pada mesin Degister.
- 3) Nilai *Occurrence* 7 menunjukkan besarnya nilai kegagalan yang terjadi akibat rusaknya mesin Degister.
- 4) Nilai *Dettection* disemua komponen yang rusak pada mesin Degister memberikan nilai *Ranking Dettection* 3 akibatnya pengendalian pada mesin Degister yang cukup tinggi dalam mendeteksi mesin Degister yang rusak.

4. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari hasil Penelitian yaitu dengan metode *Failure Modes and Effect Analysis* (FMEA) adalah sebagai berikut:

- Penilaian *Severity*, *Occurance* dan *Detection* dari empat buah komponen yang mengalami kegagalan dengan tingkat *Severity* yang paling tinggi ada pada komponen *Long Arm* serta *Short Arm* sebesar 57,14%.
- Evaluasi *Occurance* memiliki nilai yang sama di setiap komponen yakni sebesar 7 dan evaluasi *Detection* juga memiliki nilai yang sama untuk setiap komponen yaakni sebesar tiga. Namun demikian untuk nilai *Detection* mengalami perbedaan untuk komponen *gearbox* dan *V belt* dibawah nilai *Occurrence*.
- *Risk Priority Number* dari perhitungan *Severity*, *Occurance* serta *Detection* didapatkan nilai tertinggi pada komponen *long arm* serta *short arm* sebesar 16,67%, sedangkan nilai *Risk Priority Number* yang paling rendah ada di komponen *gearbox* dan *v-belt* sebesar 14,29%.

5. SARAN

Adapun saran yang dapat penulis berikan selama melakukan penelitian sebagai berikut:

1. Berdasarkan 4 (empat) komponen pada mesin Degister yang sudah di analisis menggunakan metode *Faillure Modde and Effetct Analyssis* dimana kerusakan pada komponen mesin Degister yang sering mengalami kerusakan seperti *long arm* dan *short arm*. Maka peneliti menyarankan bagi pihak perusahaan memaksimalkan pengecekan dan melakukan perawatan pada komponen mesin Degister tersebut secara rutin dan berkala guna mencegah terjadinya *breakdown* ketika proses produksi CPO saat beroperasi.
2. Disarankan bagi pihak perusahaan untuk melakukan penjadwalan khusus pada mesin digester, khususnya pada bagian-bagian mesin Degister dengan nilai RPN tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Buerata Subur Persada yang telah memberi dukungan data terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. M. Arsyad and A. Z. Sultan, Manajemen Perawatan, Yogyakarta: *Deepublish*, 2018.
 - [2] Almeanazel, (2010). Total Productive Maintenance Review and Overall Equipment Effectiveness Measurement, *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, Vol. 4 No. 4.
 - [3] Said Maulidin, Syahrul Fathi dan Pribadyo, (2023). Analisa Kerusakan Mesin Screw Press dengan Kapasitas 15 Ton/Jam Di PT Fajar Baizury & Brothers, *Jurnal Mahasiswa Mesin UTU (JMMUTU)*, vol. 2 No. 2, pp. 72-81.
 - [4] M. Ben-Daya, S. O. Duffua, A. Raouf, J. Knezevic and D. Ait-Kadi, *Handbook of Maintenance Management and Engineering*, London: Springer-Verlag London Ltd., 2009.
 - [5]. Ningrum, (2016). Analisis Efisiensi Dan Efektivitas Performansi *Line Machining Propeller Shaft* Untuk Produk *Flange* Menggunakan Metode *Overall Equipment Effectiveness (OEE)* (Studi Kasus di PT Hino Motors Manufacturing Indonesia). *Jurnal Optimasi Sistem Industri (OPSI)*. vol. 9. No. 2.
 - [6] M. D. Amperajaya and Daryanto, "Identifikasi Penyebab Cacat Pulley Pada Proses Pengecoran Di PT. Himalaya Nabeya Indonesia Dengan Metode FMEA & RCA," *Jurnal Inovasi*, pp. 1-24, 2007.
 - [7] B. E. Goldberg, K. Everhart, R. Stevens, N. Babbitt, P. Clemens and L. Stout, System engineering toolbox for design-oriented engineers, Alabama: *Marshall Space Flight Center*, 1994.
 - [8] R. Gulati, *Maintenance and Reliability Best Practices*, New York: Industrial Press, Inc, 2009
 - [9] N. Shivananda, *World Class Maintenance Management*, New Delhi: McGraw Hill Education (India) Ltd, 2015.
-