

Analysis Keandalan untuk Meningkatkan Efektivitas Penggunaan Forklift dengan Metode Reliability Analysis dan Machine's Effectiveness

M. Kastalani, Mochammad Basjir*, Cepi Yazirin, dan Nur Robbi
Teknik Mesin, Universitas Islam Malang, Malang, Indonesia
*m.basjir@unisma.ac.id

OPEN ACCESS

Citation: M. Kastalani, Mochammad Basjir, Cepi Yazirin, dan Nur Robbi. 2023. *Analysis Keandalan untuk Meningkatkan Efektivitas Penggunaan Forklift dengan Metode Reliability Analysis dan Machine's Effectiveness*. *Journal of Research and Technology* Vol. 9 No. 2 Desember 2023: Page 233–246.

Abstract

Production machine maintenance is an activity to maintain the machine's reliability to operate as planned. Apart from reliability, evaluating the effectiveness of the machine is also equally important. Therefore, this research has two main objectives: determining the system's criticality and increasing the effectiveness value of using forklifts using reliability analysis and machine's effectiveness (ME). The research began with collecting operation and maintenance data to calculate the initial conditions of machine reliability and effectiveness. The initial reliability calculation results were 36.79%. Availability is 98.89%, performance is 93.53%, and ME value is 92.49%. The performance value is still below world-class standards, so it needs to be improved. Next, rank the problem using the Pareto diagram for determining system criticality. Efforts to increase performance values to reach world-class standards are carried out by analyzing maintainability and implementing a policy that maintainability values are at least 50% for forklifts and their critical systems. As a result, the availability value increased to 99.74%, the performance value increased to 95.57%, and the ME value increased to 95.32%. So availability, performance, and ME meet the requirements because they exceed world-class standards. Therefore, companies can implement a forklift maintenance policy using maintainability of at least 50% reliability to increase the value of availability, performance, and ME.

Keywords: *Forklift, Reliability Analysis, Machine's Effectiveness, Maintainability.*

Abstrak

Pemeliharaan mesin produksi merupakan aktivitas untuk menjaga keandalan mesin agar dapat beroperasi sesuai dengan yang telah direncanakan. Selain keandalan mengevaluasi efektivitas mesin juga sama pentingnya. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki 2 tujuan utama yaitu menentukan kriticalitas sistem dan meningkatkan nilai efektivitas penggunaan forklift menggunakan reliability analysis dan machine's effectiveness (ME). Penelitian dimulai dengan pengumpulan data-data operasi dan pemeliharaan untuk dilakukan perhitungan kondisi

awal keandalan dan efektivitas mesin. Hasil perhitungan keandalan awal sebesar 36,79%. Availability sebesar 98,89%, performance sebesar 93,53% dan nilai ME sebesar 92,49%. Nilai performance masih di bawah standar kelas dunia sehingga perlu ditingkatkan. Selanjutnya memberikan peringkat masalah dengan diagram Pareto penentuan kritikal sistem. Upaya peningkatan nilai performance agar mencapai standar kelas dunia, dilakukan dengan analisa maintainability serta penerapan kebijakan bahwa nilai maintainability minimal bernilai 50% pada forklift dan sistem kritisnya. Hasilnya nilai availability meningkat menjadi 99,74%, nilai performance meningkat menjadi 95,57% dan nilai ME meningkat menjadi 95,32%. Sehingga availability, performance dan ME memenuhi syarat karena telah melebihi standar kelas dunia. Oleh karena itu, perusahaan dapat menerapkan kebijakan pemeliharaan forklift menggunakan maintainability minimal 50% keandalan. Agar dapat meningkatkan nilai availability, performance dan ME.

Kata Kunci: Forklift, Reliability Analysis, Machine's Effectiveness, Maintainability.

1. Pendahuluan

Pemeliharaan mesin merupakan aktivitas untuk menjaga mesin agar dapat beroperasi sesuai dengan yang telah direncanakan (Ferdinand et al., 2023). Pemeliharaan yang baik dan terencana tentunya tidak terlepas dari keandalan mesin tersebut (Asmoro & Widiasih, 2022). Oleh karena itu, pentingnya dilakukan analisa keandalan pada suatu mesin untuk meminimalkan gangguan atau kegagalan mesin tersebut (Basjir & Suhartini, 2019; Muliana & Hartati, 2022; Pamungkas et al., 2021).

Beberapa penelitian terdahulu terkait analisa keandalan dilakukan oleh Rinoza et al. (2021), Ferdinand et al. (2023), Pamungkas et al. (2021), Alhadi et al. (2021) untuk dapat menentukan jadwal pemeriksaan berkala terhadap mesin tersebut. Hanya Susanto et al. (2021) dan Priambodo dan Mahbubah (2021) menggunakan metode *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Sedangkan Asmoro dan Widiasih (2022) menggunakan metode OEE dan *reliability* yang menggabungkan keandalan dengan efektivitas untuk menganalisa keandalan untuk meningkatkan efektivitas mesin. Namun penelitian Susanto et al. (2021) terkait keandalan hanya terbatas perhitungan *risk priority number* (RPN) dengan nilai keandalan 63,27%. Sama halnya dengan yang dilakukan Priambodo dan Mahbubah (2021) yang hanya menghitung RPN dengan nilai OEE sebesar 41,25%. Sedangkan Asmoro dan Widiasih (2022) hanya dapat menentukan keandalan mesin 60,26% sampai dengan 62,39% dan akhirnya didapatkan nilai OEE sebesar 79,69%.

Penelitian terdahulu telah melakukan analisa keandalan dan pengukuran efektivitas mesin, namun dapat dilihat nilai OEE masih di bawah standar OEE kelas dunia 85% (Setiawannie & Marikena, 2022; Wahid et al., 2022). Dengan demikian, merujuk dari penelitian terdahulu diketahui permasalahan yang belum diselesaikan adalah menetapkan nilai keandalan yang baik untuk mesin sehingga dapat meningkatkan nilai OEE agar dapat

mencapai target yang diinginkan. Oleh karena itu, penelitian ini akan melakukan upaya dengan menganalisa keandalan untuk peningkatan efektivitas penggunaan mesin *forklift* dengan metode *Reliability Analysis* dan *Machine's Effectiveness* (ME). *Forklift* dipilih karena meruakan mesin yang sangat penting untuk mendukung aktivitas-aktivitas di bagian pemeliharaan perusahaan seperti mengangkat dan memindahkan barang, penataan barang dan aktivitas lainnya. Dengan menganalisa keandalan dan meningkatkan efektivitas penggunaan *forklift* maka hal tersebut diharapkan akan meningkatkan kemampuan *forklift* untuk terus beroperasi sesuai kebutuhan dan menjaga produktivitas perusahaan.

2. Metode Penelitian

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan pengumpulan data-data operasi dan pemeliharaan mesin untuk dilakukan perhitungan kondisi awal keandalan dan efektivitas mesin. Setelah diketahui kondisi awalnya dilanjutkan dengan mengidentifikasi dengan memberikan peringkat masalah dengan diagram Pareto sebagai penentu sistem kritis. Setelah didapatkan sistem kritisnya, berdasarkan data *Time Between Failure* (TBF) dan *Time to Repair* (TTR) nya dilakukan pencarian data distribusi probabilitas dan uji kesesuaian data statistik dengan *software* minitab 18 (Minitab, 2020; Rahman, 2023). Dalam penelitian ini uji distribusi probabilitas menggunakan syarat pertama yaitu dengan nilai Anderson Darling terkecil, koefisien korelasi terbesar dan *P-value* yang terbesar (C. F. Prasetyo et al., 2021). Selanjutnya dibuatkan *Reliability Block Diagram* (RBD) untuk semua sistem, sistem yang tidak termasuk kritikal yaitu tidak terjadi kegagalan sebanyak 2 kali selama periode penelitian langsung di masukan ke sistem RBD dengan distribusi probabilitasnya eksponensial (Ben-Daya et al., 2009). Setelah RBD dibuat dilakukan analisa keandalan dan efektivitas mesin. Kemudian dilanjutkan dengan melakukan analisa hasil dan pembahasan. Bagian terakhir dalam penelitian ini adalah membuat kesimpulan terkait analisa keandalan dan efektivitas penggunaan *forklift*.

2.2 Data Penelitian

Pengumpulan data pemeliharaan didapatkan peneliti melalui kegiatan observasi lapangan langsung dan *interview* di PT. ABC. Adapun PT. ABC merupakan perusahaan kontraktor pertambangan batubara yang berlokasi di Batulicin, Kabupaten Tanah Bumbu, Kalimantan Selatan. Untuk menjalankan bisnisnya, PT. ABC membutuhkan alat angkat yaitu *forklift*. Hasil pengumpulan data historis *forklift* mulai 1 Mei 2022 sampai 30 April 2023 yaitu pemeliharaan dinyatakan sebagai data TTR dan operasi sebagai data *Time Between Failure* (TBF). Berdasarkan data *Preventive Maintenance* (PM) dan *Corrective Maintenance* (CM) *forklift* didapatkan data TBF dan TTR sebagai berikut:

Tabel 1. Data PM TBF dan TTR *Forklift*

TBF (menit)	27780	27880	15460	23115	27145	12570	28950	19590
TTR (menit)	300	200	335	285	350	300	300	300

Sumber: PT. ABC (2023)

Diketahui pada tabel 1, data PM TBF dan TTR *forklift* masing-masing sebanyak 8 kali. Variasi durasi TBF mulai dari 12.570 menit yang terendah sampai dengan 28.950 menit yang tertinggi. Sedangkan variasi TTR mulai dari 200 menit yang terendah sampai dengan 350 menit yang tertinggi.

Tabel 2. CM TBF dan TTR Sistem *Forklift*

TBF (menit)	TTR (menit)	TBF (menit)	TTR (menit)	TBF (menit)	TTR (menit)	TBF (menit)	TTR (menit)
PTR		SSB		RCC		PPF	
29835	585	1050	120	213525	0	213525	0
22110	120	95700	240	KOK		MFA	
21060	2340	8535	240	78210	180	66105	585
48405	150	2925	1170	48420	135	SH	
30420	1170	61425	1755	3975	120	179535	60
15210	1170	465	120	64575	360		
7020	2340	17430	120				
18720	585						

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2023)

Pada Tabel 2, data CM TBF dan TTR pada masing-masing sistem yaitu: *Powertrain* dan Rem (PTR) sebanyak 8 kali. Sistem *steering* dan ban (SSB) sebanyak 7 kali. Kabin operator dan kelistrikan (KOK) sebanyak 4 kali. *Mast* dan *fork assy* (MFA) sebanyak 1 kali. Sistem hidrolik (SH) sebanyak 1 kali. Rangka dan *Counterweight* (RCC) dan perlengkapan pengaman (PPF) merupakan sistem yang belum terjadi kegagalan selama periode penelitian.

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Analisis Data Penelitian

Perhitungan awal *reliability* dan ME, dimulai dari pengumpulan data total jumlah hari kerja adalah 365 hari dengan 720 menit per hari kerjanya. Diketahui waktu tersedia produktif (TAT) *forklift*/tahun 213.525 menit, *downtime* PM 2.370 menit, banyaknya PM 8 kali. Kemudian waktu operasi (OT) 211.155 menit, *downtime* CM 13.665 menit, banyaknya CM 21 kali dan *net operating time* (NOT) 197.490 menit. Kemudian dilakukan perhitungan awal *reliability forklift* menggunakan distribusi probabilitas eksponensial. Perhitungan awal *reliability forklift* terdiri dari perhitungan *mean time between failure* (MTBF), *mean time to repair* (MTTR), *failure rate* (λ) dan *reliability* mengikuti rumus berikut (T. E. Prasetyo et al., 2022; Rahman, Sugiono, Sonief, et al., 2022; Rinoza et al., 2021):

1. Keandalan Awal Forklift

$$MTBF = \frac{TBF}{fail} = \frac{213.525 \text{ menit}}{8} = 26.394,375 \text{ menit} ; MTTR = \frac{TTR}{fail} = \frac{2370 \text{ menit}}{8} = 650,71 \text{ menit}$$

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{26.394,375 \text{ menit}} = 0,000038 \text{ kali/menit}$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-26.394,375 \times 0,000038} = 36,79\%$$

Hasil perhitungan keandalan awal *forklift* didapatkan MTBF sebesar 26.394,375 menit, MTTR sebesar 650,71 menit dan *reliability* awal sebesar 36,79%. Selanjutnya akan dilakukan perhitungan awal *availability* (A), *performance* (P) dan penilaian ME.

2. Perhitungan awal Availability (A), Performance (P) dan penilaian ME dengan rumus (Rahman, Sugiono, As’ad, et al., 2022; Siregar et al., 2023; Susanto et al., 2021):

$$A = \frac{OT}{TAT} \times 100\% = \frac{211.155 \text{ menit}}{213.525 \text{ menit}} \times 100\% = 98,89\%$$

$$P = \frac{NOT}{OT} \times 100\% = \frac{197.490 \text{ menit}}{211.155 \text{ menit}} \times 100\% = 93,53\%$$

$$ME = A \times P = 98,89\% \times 93,53\% = 92,49\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan diketahui bahwa nilai A sebesar 98,89% telah memenuhi indikator kelas dunia (90%). Nilai P sebesar 93,53% belum memenuhi indikator kelas dunia (95%), sehingga nilai P perlu ditingkatkan agar mencapai kelas dunia. Nilai ME sebesar 92,49% telah memenuhi indikator kelas dunia. Selanjutnya untuk meningkatkan nilai P agar bisa mencapai indikator kelas dunia, maka akan dilakukan analisa keandalan tiap-tiap sistem pada *forklift* menggunakan beberapa alat seperti diagram Pareto (Basjir et al., 2023; Candra et al., 2022; Priambodo & Mahbubah, 2021; Suhartini et al., 2020) dan distribusi probabilitas (Alhadi et al., 2021). Namun sebelum dilakukan analisa menggunakan alat-alat tersebut maka tiap-tiap sistem *forklift* akan dilakukan perhitungan *reliability* awalnya terlebih dahulu, sehingga nantinya dapat dibandingkan dengan hasil analisa selanjutnya.

1. Perhitungan MTBF, MTTR, *availability* (A) dan *Reliability* (R) sistem *forklift*.

a. Sistem PTR

Uptime/TBF = 205.065 menit; *Downtime*/TTR = 8.460 menit; Kerusakan / fail = 8 kali

$$MTBF = \frac{TBF}{fail} = \frac{205.065 \text{ menit}}{8} = 25633,13 \text{ menit} ; MTTR = \frac{TTR}{fail} = \frac{8460 \text{ menit}}{8} = 1057,50 \text{ menit}$$

$$Ai = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} = \frac{25633,13 \text{ menit}}{25633,13 + 1057,50 \text{ menit}} \times 100\% = 96,04\%$$

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{25633,13 \text{ menit}} = 0,00003901 \text{ kali/menit}$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-0,00003901 \times 25633,13} = 36,79\%$$

Secara jelas perhitungan MTBF, MTTR, *availability* (A) dan *Reliability* (R) sistem *forklift* dirangkumkan dalam tabel berikut:

Tabel 3. Perhitungan MTBF, MTTR, *Availability* (A) dan *Reliability* (R) Sistem *Forklift*

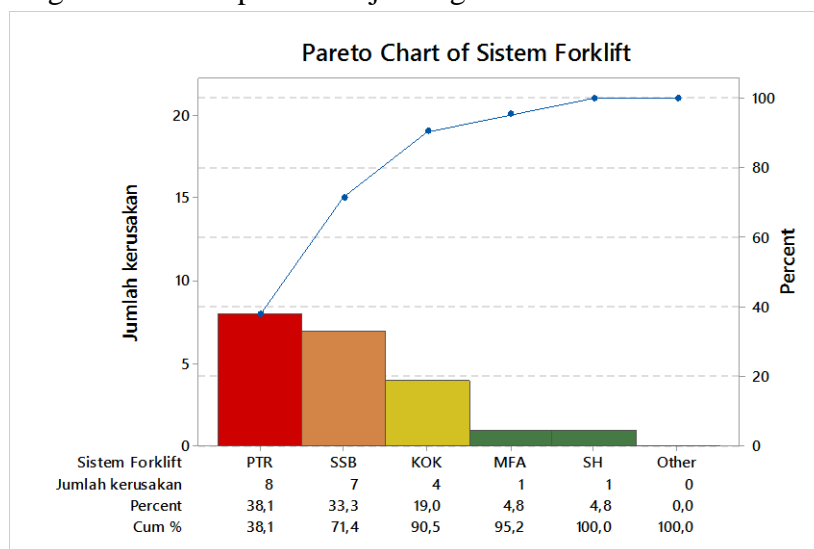
Sistem	TAT (menit)	Total <i>Uptime</i> /TBF (menit)	Total <i>Downtime</i> /TTR (menit)	Kerusakan/ fail (kali)	MTBF (menit)	MTTR (menit)	Ai	R
PTR	213525	205065	8460	8	25633,13	1057,50	96,04%	36,79%
RCC	213525	213525	0	0	□	0	100,00%	100,00%
SSB	213525	209760	3765	7	29965,71	537,86	98,24%	36,79%
KOK	213525	212730	795	4	53182,50	198,75	99,63%	36,79%
SH	213525	213465	60	1	213465	60	99,97%	36,79%
MFA	213525	212940	585	1	212940	585	99,73%	36,79%
PPF	213525	213525	0	0	□	0	100,00%	100,00%
Total			13665	21				

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2023)

Berdasarkan perhitungan dan tabel MTBF, MTTR, *availability* (A) dan *reliability* (R) sistem *forklift* diketahui terdapat 7 sistem utama *forklift* yang terdiri dari PTR dengan jumlah kerusakan 8, nilai MTBF sebesar 25.633,13 menit, MTTR sebesar 1.057,50 menit, A sebesar 96,04% dan R sebesar 36,79%. SSB dengan jumlah kerusakan 7, nilai MTBF sebesar 29.965,71 menit, MTTR sebesar 537,86 menit, A sebesar 98,24% dan R sebesar 36,79%. KOK dengan jumlah kerusakan 4, nilai MTBF sebesar 53.182,50 menit, MTTR sebesar 198,75 menit, A sebesar 99,63% dan R sebesar 36,79%. SH dengan jumlah kerusakan 1, nilai MTBF sebesar 213.465 menit, MTTR sebesar 60 menit, A sebesar 99,97% dan R sebesar 36,79%. MFA dengan jumlah kerusakan 1, nilai MTBF sebesar 212.940 menit, MTTR sebesar 585 menit, A sebesar 99,73% dan R sebesar 36,79%. RCC dan PPF tidak terjadi kerusakan selama periode penelitian sehingga nilai R sebesar 100%.

3.2 Identifikasi Masalah dengan Diagram Pareto

Berdasarkan data kerusakan akibat CM maka akan dibuatkan peringkat dengan diagram Pareto untuk mengetahui sistem yang kritis pada *forklift*. Hasil pengolahan data CM dengan diagram Pareto seperti ditunjukkan gambar berikut:



Sumber: Hasil Pengolahan Data (2023)

Gambar 1. Diagram Pareto Sistem Kritis *Forklift*

Berdasarkan diagram Pareto, sistem yang memiliki kumulatif 90,5% terjadi kegagalan adalah pada PTR, SSB dan KOK. Ketiga sistem tersebut merupakan sistem utama yang kritis dan memiliki prosentase dan penyumbang *downtime* tertinggi sampai dengan 90,5%. Sehingga ketiga sistem tersebut perlu dilakukan analisa lebih lanjut untuk mengurangi nilai *downtime forklift*.

3.3 Pencarian Distribusi Probabilitas dan Uji Kecocokan Data TBF dan TTR

Sistem PTR, SSB dan KOK terkategori sebagai sistem kritis. Penelitian ini menggunakan 4 distribusi probabilitas yaitu normal, lognormal, eksponensial dan Weibull. Hasil pencarian distribusi probabilitas dan parameteranya dituliskan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Distribusi probabilitas dan nilai parameter TBF dan TTR *forklift* serta sistem

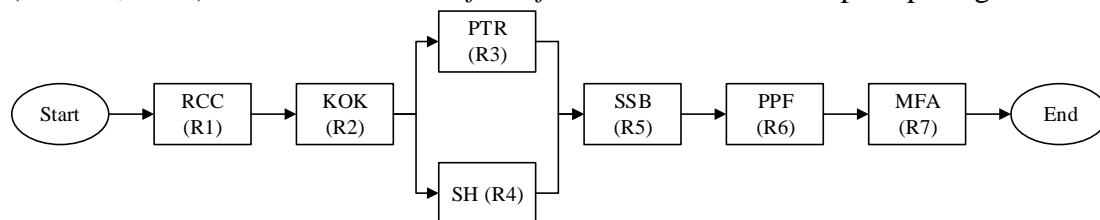
Data PM <i>forklift</i>	Distribusi probabilitas	Parameter				
		Shape (β)	Scale (α)	Mean (μ)	StDev ($\sigma=s$)	Median (tmed)
TBF	Normal			22811,3	5876,21	
TTR	Weibull	9,59244	312,683			
Data CM Sistem (TBF)						
PTR	Weibull	2,20638	27263,5			
SSB	Lognormal		1,85616			7429,03
KOK	Normal			48795	27942,9	
Data CM Sistem (TTR)						
PTR	Weibull	1,19552	1121,52			
SSB	Weibull	0,928329	516,87			
KOK	Lognormal		0,426502			180

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2023)

Hasil pencarian nilai parameter TBF dan TTR *forklift* dan masing-masing sistem kritis dengan menggunakan *software* minitab 18 disajikan dalam Tabel 4 di atas. Setelah nilai parameter didapatkan selanjutnya akan dilakukan analisa keandalan untuk meningkatkan nilai ME daripada *forklift* secara keseluruhan. Untuk analisa keandalan penting juga untuk menggambarkan RBD-nya agar diketahui langkah dan fungsi masing-masing sistem.

3.4 Pemodelan Sistem dengan RBD

RBD berfungsi menggambarkan hubungan fungsi kerja sistem secara keseluruhan (Dhillon, 2002). RBD sistem utama *forklift* secara keseluruhan seperti pada gambar berikut ini:



Sumber: Hasil Pengolahan Data (2023)

Gambar 2. Reliability block diagram (RBD) *forklift* secara keseluruhan

Terlihat bahwa sistem utama *forklift* terangkai dalam susunan secara kombinasi seri-parallel. Hasil perhitungan keandalan sistem *forklift* secara keseluruhan adalah sebagai berikut: Rumus RBD kombinasi seri-parallel *forklift* adalah mengikuti rumus pola berikut ini:

$$R_{sp}(t) = R_1 \times R_2 \times (1 - (1 - R_3) \times (1 - R_4)) \times R_5 \times R_6 \times R_7$$

$$R_{sp}(t) = 36,79\% \times 100\% \times (1 - (1 - 36,79\%) \times (1 - 36,79\%)) \times 36,79\% \times 36,79\% \times 100\%$$

$$R_{sp}(t) = 2,99\%$$

Hasil perhitungan keandalan secara keseluruhan sistem *forklift* sebesar 2,99%. Hal tersebut dikarenakan PT. ABC menerapkan kebijakan CM pada setiap sistem *forklift*. Kebijakan CM adalah melakukan perbaikan setelah adanya kerusakan sistem. Namun secara individual atau masing-masing sistem *forklift* berada pada keandalan di 36,79%.

3.5 Analisa Reliability dan Peningkatan ME

Analisa keandalan dan peningkatan ME dimulai dari analisa keandalan seperti perhitungan MTBF, MTTR, *reliability* (R), *maintainability* (M) dan *Availability* (Ai) pada unit

forklift secara keseluruhan dan masing-masing sistem. Perhitungannya mengikuti rumus distribusi probabilitas yang telah ditentukan pada sub-bab sebelumnya (Ebeling, 1997). Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan keandalan *forklift* secara keseluruhan

Diketahui:

- a. TBF terdistribusi : Normal

$$MTBF = \mu = 22811,3 \text{ menit}$$

- b. TTR terdistribusi : Weibull

$$MTTR = \alpha \times \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 312,683 \times \Gamma \left(1 + \frac{1}{9,59244} \right) = 296,94 \text{ menit}$$

$$\text{dengan: } \Gamma \left(1 + \frac{1}{9,59244} \right) = \Gamma(1,104248763) \text{ (lihat tabel gamma)} = 0,949651729$$

- c. *Availability* (A)

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100\% = \frac{22811,3}{22811,3 + 296,94} \times 100\% = 98,72\%$$

- d. *Reliability* (R)

$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right) = 1 - \Phi \left(\frac{22811,3 - 22811,3}{5876,21} \right) = 50,00\%$$

$$\text{dengan: } \Phi \left(\frac{22811,3 - 22811,3}{5876,21} \right) = \Phi(0) \text{ (lihat tabel z)} = 0,5$$

Ditentukan PM dilakukan secara berkala pada waktu (t) = MTBF, dengan keandalan *forklift* tersisa 50% secara keseluruhan.

- e. *Maintainability* (M)

$$M(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{296,94}{5876,21}\right)^{22811,3}} = 99,99\%$$

Apabila dilakukan perbaikan dengan maksimum waktu (t) = MTTR, maka dapat mengembalikan kondisi *forklift* atau menambah keandalan mencapai 99,99%.

2. Perhitungan keandalan PTR

- a. TBF terdistribusi : Weibull

$$MTBF = \alpha \times \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 27263,5 \times \Gamma \left(1 + \frac{1}{2,20638} \right) = 24145,47 \text{ menit}$$

$$\text{dengan: } \Gamma \left(1 + \frac{1}{2,20638} \right) = \Gamma(1,453231084) \text{ (lihat tabel gamma)} = 0,885633514$$

- b. TTR terdistribusi : Weibull

$$MTTR = \alpha \times \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 1121,52 \times \Gamma \left(1 + \frac{1}{1,19552} \right) = 1055,99 \text{ menit}$$

$$\text{dengan: } \Gamma \left(1 + \frac{1}{1,19552} \right) = \Gamma(1,836456103) \text{ (lihat tabel gamma)} = 0,941568067$$

- c. *Availability* (A)

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100\% = \frac{24145,47}{24145,47 + 1055,99} \times 100\% = 95,81\%$$

- d. *Reliability* (R)

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{24145,47}{27263,5}\right)^{2,20638}} = 14,17\%$$

Ditentukan PM dilakukan secara berkala pada waktu (t) = MTBF, dengan keandalan PTR tersisa 14,17%.

- e. *Maintainability* (M)

$$M(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{1055,99}{1121,52}\right)^{1,19552}} = 67,56\%$$

Apabila dilakukan perbaikan dengan maksimum waktu (t) = MTTR, maka dapat mengembalikan kondisi *forklift* atau menambah keandalan mencapai 67,56%.

Berdasarkan analisa dan perhitungan yang telah dilakukan. Dengan melakukan tindakan PM mengikuti nilai MTBF dan tindakan CM mengikuti nilai MTTR terhadap unit *forklift*, maka didapatkan nilai *reliability* sebesar 50% dan *maintainability* sebesar 99,99%.

3. Perhitungan *downtime* akibat tindakan CM pada masing-masing sistem utama *forklift*

Perhitungan *downtime* menggunakan analisa MTBF dan MTTR masing-masing sistem utama *forklift*. Salah satu sistem utama yaitu PTR.

Diketahui:

Waktu tersedia produktif *forklift*/tahun : 213.525 menit
 MTBF : 24.145,47 menit
 Banyaknya CM (Waktu tersedia produktif *forklift*/tahun / MTBF) : 8,84 kali
 MTTR : 1.055,99 menit
Downtime CM (Banyaknya CM × MTTR) : 9.338,39 menit

Hasil perhitungan semua sistem utama *forklift* adalah sebagai berikut:

Tabel 5. Perhitungan *Downtime* dan *Net Operating Time*

Sistem	Waktu tersedia produktif <i>forklift</i> /tahun (menit)	MTBF (menit)	Banyaknya CM	MTTR (menit)	<i>Downtime</i> CM (menit)
PTR	213.525	24.145,47	8,84	1.055,99	9.338,39
RCC	213.525	□	0	0,00	0,00
SSB	213.525	41.598,34	5,13	535,03	2.746,32
KOK	213.525	48.795	4,38	197,14	862,67
SH	213.525	213.465	1,00	60	60,02
MFA	213.525	212.940	1,00	585	586,61
PPF	213.525	□	0	0	0,00
		Total	20,36		13.594

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2023)

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa banyaknya CM 20,36 kali selama setahun. Total *downtime* PTR sebesar 9.338,39 menit, SSB sebesar 2.746,32 menit, KOK sebesar 862,67 menit, SH sebesar 60,02 dan MFA sebesar 586,61 menit. Sedangkan RCC dan PPF tidak terdapat nilai *downtime* karena tidak pernah terjadi kegagalan sistem selama periode penelitian. Adapun total *downtime* seluruh sistem sebesar 13.594 menit.

4. Perhitungan *machine's effectiveness* (ME)

Perhitungan kegunaan *forklift* menggunakan *machine's effectiveness* (ME) dimulai dengan menghitung waktu operasi dan *net operating time forklift secara keseluruhan*. Hasil perhitungannya sebagai berikut:

Waktu tersedia produktif *forklift*/tahun : 213.525 menit
 MTBF (PM *forklift*) : 22.811,3 menit
 Banyaknya PM (Waktu tersedia produktif *forklift*/tahun / MTBF) : 9,36 kali
 MTTR (PM *forklift*) : 296,94 menit
Downtime PM (Banyaknya PM × MTTR) : 2.779,50 menit
 Waktu operasi *forklift* : 210.745,5 menit
 Banyaknya CM seluruh sistem : 20,36 kali
 Total *downtime* CM seluruh sistem : 13.594 menit

Net operating time forklift (Waktu operasi- Total downtime CM) : 197.151,49 menit

Setelah didapatkan waktu operasi dan *net operating time forklift*. Selanjutnya menganalisa nilai ME dengan kedua variabelnya yaitu *availability* (A) dan *performance* (P). *Availability* didapatkan dari waktu operasi *forklift* dibagi dengan waktu tersedia produktif *forklift*/tahun. *Performance* didapatkan dari *net operating time forklift* dibagi dengan waktu operasi *forklift*. Untuk ME didapatkan dari hasil perkalian kedua variabelnya yaitu $A \times P$. Hasil analisa ME didapatkan seperti ditunjukkan tabel berikut:

Tabel 6. Perhitungan *availability*, *performance* dan ME

Variabel	Nilai	Indikator	Hasil
A	98,70%	90%	Memenuhi
P	93,55%	95%	Perlu ditingkatkan
ME	92,35%	85%	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2023)

Hasil perhitungan menunjukkan nilai *availability* 98,70% telah memenuhi indikator kelas dunia (90%). Nilai *performance* sebesar 93,55% belum memenuhi indikator kelas dunia (95%), meskipun nilai *performance* terjadi peningkatan dari 93,53% menjadi 93,55%. Oleh karena itu, nilai *performance* perlu ditingkatkan agar mencapai kelas dunia. Nilai ME sebesar 92,49% telah memenuhi indikator kelas dunia (85%).

Selanjutnya untuk meningkatkan nilai *performance* agar bisa mencapai indikator kelas dunia, maka akan dilakukan analisa *maintainability* pada *forklift* dan sistem kritisnya dengan menerapkan kebijakan dan ketentuan bahwa nilai peningkatan *maintainability forklift* minimal bernilai 50%. Alasan dilakukannya analisis lanjutan terhadap *maintainability* dikarenakan dengan menerapkan nilai MTTR pada masing-masing sistem untuk melakukan pemeliharaan dan perbaikan sistem belum dapat meningkatkan nilai *performance* sampai dengan memenuhi indikator kelas dunia 95%. Oleh karena itu, penelitian ini akan dilanjutkan lebih jauh dengan analisis *maintainability* pada *forklift* dan sistem kritisnya.

5. Analisis *maintainability* pada *forklift* dan sistem kritisnya

Analisis *maintainability* unit *forklift* dan sistemnya dengan nilai minimum 50%. Perhitungan *maintainability* untuk mendapatkan nilai minimum 50% menerapkan 60 menit pemeliharaan dan kelipatannya dengan nilai maksimum adalah nilai maksimum TTR pemeliharaan. Perhitungan *maintainability* unit *forklift* dan sistemnya mengikuti distribusi probabilitasnya (Ebeling, 1997).

a. Analisis *Maintainability Forklift*

Berdasarkan data PM dilakukan pemeliharaan *forklift* dengan TTR maksimum 350 menit dan nilai MTTR 296,94 menit. Hasil perhitungan *maintainability* unit *forklift* sebagai berikut:

Tabel 7. Perhitungan *maintainability forklift*

TTR (waktu pemeliharaan) t (menit)	M (t) Distribusi Weibull = $1 - e^{-(t/\alpha)^\beta}$
60	84,13%
120	97,48%
180	99,60%
296,94	99,99%

TTR (waktu pemeliharaan) t (menit)	M (t) Distribusi Weibull = $1-e^{-(t/\alpha)^\beta}$
..... 360 100,00%

Sumber: Hasil pengolahan data (2023)

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa dengan menerapkan TTR pada $t = 60$ menit menghasilkan nilai *maintainability* sebesar 84,13%. Sehingga tindakan PM berkala pada unit *forklift* ditetapkan dengan waktu 60 menit untuk aktivitas visual inspeksi, pelumasan, *greasing* dan lainnya. Selanjutnya akan dilakukan perhitungan *maintainability* untuk sistem kritis *forklift*.

b. Analisis *Maintainability* Sistem Kritis

Berdasarkan data CM, dilakukan pemeliharaan sistem PTR dengan TTR maksimum 2340 menit dan nilai MTTR 1055,99 menit. Hasil perhitungan PTR sebagai berikut:

Tabel 8. Perhitungan *Maintainability* PTR

TTR (waktu pemeliharaan) t (menit)	M (t) Distribusi Weibull = $1-e^{-(t/\alpha)^\beta}$	TTR (waktu pemeliharaan) t (menit)	M (t) Distribusi Weibull = $1-e^{-(t/\alpha)^\beta}$
60	6,20%	1020	66,29%
120	12,01%	1055,99	67,56%
.....
660	50,52%	2340	91,75%

Sumber: Hasil pengolahan data (2023)

Hasil perhitungan sistem PTR menunjukkan bahwa dengan menerapkan TTR pada $t = 660$ menit menghasilkan nilai *maintainability* sebesar 50,52%. Dengan cara yang sama dalam perhitungan *maintainability*-nya, hasil perhitungan sistem SSB menunjukkan bahwa dengan menerapkan TTR pada $t = 420$ menit menghasilkan nilai *maintainability* sebesar 52,97%. Kemudian hasil perhitungan sistem KOK menunjukkan bahwa dengan menerapkan TTR pada $t = 180$ menit menghasilkan nilai *maintainability* sebesar 50,00%. Sehingga tindakan CM berkala ditetapkan dengan waktu 660 menit untuk sistem PTR, 420 menit untuk sistem SSB dan 180 menit untuk sistem KOK. Adapun aktivitasnya adalah perbaikan minor dan penggantian komponen yang rusak.

6. Peningkatan *Machine's Effectiveness* (ME)

Perhitungan untuk peningkatan kegunaan *forklift* menggunakan ME dimulai dengan menghitung waktu operasi dan *net operating time forklift secara keseluruhan*. Tahapan awal menggunakan nilai MTBF masing-masing sistem untuk perawatan berkala pada masing-masing sistem. Selanjutnya nilai TTR masing-masing sistem yang telah dianalisa digunakan sebagai ketentuan untuk melakukan aktivitas perbaikan minor dan penggantian komponen. Selanjutnya dengan menggunakan nilai MTBF *forklift* sebesar 22.811,3 menit sebagai tindakan PM berkala dengan waktu TTR yang telah ditetapkan selama 60 menit. Detail hasil perhitungannya ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Perhitungan *downtime* CM dengan ketentuan nilai TTR

Sistem	Waktu tersedia produktif <i>forklift</i> /tahun (menit)	MTBF (menit)	Banyaknya CM	TTR (menit)	<i>Downtime</i> CM (menit)
PTR	213.525	24.145,47	8,84	660	5836,56

Sistem	Waktu tersedia produktif <i>forklift</i> /tahun (menit)	MTBF (menit)	Banyaknya CM	TTR (menit)	Downtime CM (menit)
RCC	213.525	□	0	0,00	0,00
SSB	213.525	41.598,34	5,13	420,00	2155,87
KOK	213.525	48.795	4,38	180,00	787,67
SH	213.525	213.465	1,00	60	60,02
MFA	213.525	212.940	1,00	585	586,61
PPF	213.525	□	0	0	0,00
Total			20,36		94.26,72

Sumber: Hasil pengolahan data (2023)

Tabel 10. Perhitungan *downtime* dan *net operating time* akibat PM dan CM dengan ketentuan nilai TTR

Waktu tersedia produktif <i>forklift</i> /tahun (menit)	Downtime PM (menit)	Banyaknya PM	Waktu Operasi (menit)	Downtime CM (menit)	Banyaknya CM	<i>Net Operating Time</i> (menit)
213.525	561,63	9,36	212.963,37	9.426,72	20,36	203.536,65

Sumber: Hasil pengolahan data (2023)

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai *downtime* PM dengan ketentuan nilai TTR sebesar 561,63 menit. Kemudian *downtime* CM dengan ketentuan nilai TTR sebesar 94.26,72 menit. Sehingga waktu operasi *forklift* setelah pengurangan *downtime* PM sebesar 212.963,37 menit dan *net operating time forklift* setelah pengurangan *downtime* akibat CM sebesar 203.536,65 menit.

Setelah didapatkan nilai *downtime*, waktu operasi dan *net operating time forklift*. Selanjutnya menghitung peningkatan nilai ME dan kedua variabelnya yaitu *availability* dan *performance*. Hasil perhitungan peningkatan nilai ME dan kedua variabelnya yaitu *availability* dan *performance* seperti ditunjukkan tabel berikut:

Tabel 11. Perhitungan Peningkatan Nilai *Availability*, *Performance* dan ME

Variabel	Nilai	Indikator	Hasil
A	99,74%	90%	Memenuhi
P	95,57%	95%	Memenuhi
ME	95,32%	85%	Memenuhi

Sumber: Hasil pengolahan data (2023)

Berdasarkan perhitungan peningkatan nilai *availability*, *performance* dan ME, didapatkan bahwa nilai *availability*, *performance* dan ME mengalami peningkatan. Nilai ketiganya yaitu *availability*, *performance* dan ME memenuhi syarat karena telah melebihi indikator kelas dunia.

3.6 Pembahasan

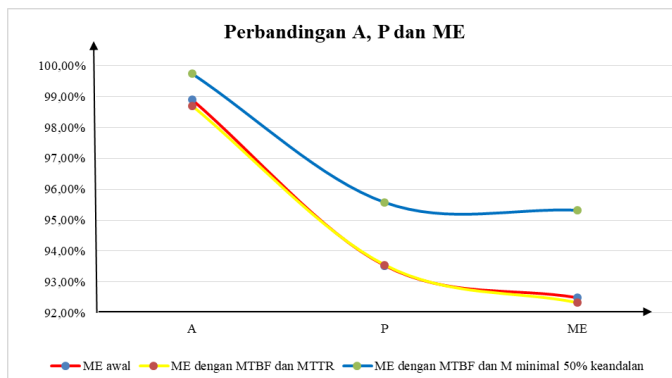
Hasil perhitungan keandalan secara keseluruhan sistem *forklift* menggunakan RBD sebesar 2,99%, namun secara masing-masing sistem *forklift* berada pada keandalan di 36,79%. Kemudian dilakukan analisa keandalan dengan menggunakan rumus distribusi probabilitas dan parameternya didapatkan nilai keandalan *forklift* baru akibat PM meningkat menjadi 50% dari 36,79%. Sistem PTR baru menurun dari 36,79% menjadi 14,17%. Sistem SSB menurun dari 36,79% menjadi 17,67%. Sistem KOK meningkat dari 36,79% menjadi 50%. Sedangkan sistem RCC, SH, MFA dan PPF masih sama dengan kondisi nilai *reliability* awalnya. Detail perbandingan nilai *reliability* ditunjukkan pada gambar berikut:



Sumber: Hasil Pengolahan Data (2023)

Gambar 2. Perbandingan Reliability Awal dengan Reliability Baru Forklift Beserta Sistem-Sistemnya

Berdasarkan hasil analisa *reliability*, selanjutnya perhitungan untuk peningkatan kegunaan *forklift* menggunakan ME dimulai dengan menghitung waktu operasi, *downtime* dan *net operating time forklift* secara keseluruhan. Kemudian menghitung peningkatan nilai ME dan kedua variabelnya yaitu *availability* dan *performance*. Berdasarkan perhitungan didapatkan bahwa nilai *availability*, *performance* dan ME mengalami peningkatan. Selain itu, nilai *availability*, *performance* dan ME telah memenuhi syarat karena telah melebihi indikator kelas dunia. Adapun perbandingan hasil perhitungan awal, setelah analisa (MTBF dan MTTR) dan peningkatan *availability*, *performance* dan ME ditunjukkan perbandingan melalui gambar berikut ini:



Sumber: Hasil Pengolahan Data (2023)

Gambar 3 Perbandingan ME awal, ME dengan MTBF dan MTTR dan ME dengan MTBF dan M Minimal 50% Keandalan

Dapat dilihat pada gambar perbandingan ME awal, ME dengan MTBF dan MTTR dan ME dengan MTBF dan minimal 50% keandalan. Nilai A awal sebesar 98,89%, P awal sebesar 93,53% dan ME awal sebesar 92,49%. Kemudian nilai A dengan analisa MTBF dan MTTR sebesar 98,70%, nilai P dengan analisa MTBF dan MTTR sebesar 93,55% dan nilai ME dengan analisa MTBF dan MTTR sebesar 92,33%. Selanjutnya nilai A dengan MTBF dan M minimal 50% keandalan sebesar 99,74%, nilai P dengan MTBF dan M minimal 50% keandalan sebesar 95,57% dan nilai ME dengan MTBF dan M minimal 50% keandalan sebesar 95,32%.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat ditarik kesimpulan antara lain:

1. Hasil analisa *reliability* terdapat 3 sistem kritis pada *forklift* yaitu PTR, SSB dan KOK. Untuk meningkatkan efektivitas penggunaan *forklift* diketahui bahwa dengan menerapkan kebijakan pemeliharaan pada saat mencapai MTBF dan durasi pemeliharaan mengacu pada nilai MTTR nilai *performance* masih di bawah standar kelas dunia 85%.
2. Peningkatan nilai *availability*, *performance* dan *machine effectiveness* mencapai kelas dunia dapat dilakukan dengan menerapkan kebijakan yaitu pemeliharaan dilakukan pada waktu MTBF dan *maintainability* (M) minimal 50% keandalan. *Maintainability* (M) minimal 50% keandalan didapatkan dari analisa dan perhitungan TTR mulai dari 60 menit dan kelipatannya sampai dengan maksimum nilai TTR tertinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Alhadi, G. P., Aswan, D., & Ritonga, A. (2021). Penentuan Interval Waktu Maintenance Forklift Terhadap Komponen Kritis Berdasarkan Data Kerusakan Mesin Menggunakan Metode Preventive Age Replacement. *JITEKH*, 9(1), 1–7.
- Asmoro, N. D. A., & Widiasih, W. (2022). Analisis Keandalan Mesin Untuk Meningkatkan Kinerja Pada Mesin Extruder di PT. Rapindo Plastama. *Journal of Industrial View*, 04, 11–21.
- Basjir, M., & Suhartini. (2019). Analisa Risiko Prioritas Perbaikan Kegagalan Proses Penjernihan Air Dengan Metode Fuzzy FMEA Kebutuhan manusia produksinya . Kegagalan adalah suatu kejadian dimana terjadi kondisi. *Tecnoscienza*, 03(02), 196–210.
- Basjir, M., Suhartini, & Robbi, N. (2023). Pengendalian Kualitas Produk Plastik Menggunakan Six Sigma Guna Meningkatkan Daya Saing. *Journal of Research and Technology*, 9(1), 33–46.
- Ben-Daya, M., Duffuaa, S. O., Raouf, A., Knezevic, J., & Ait-Kadi, D. (2009). Handbook of Maintenance Management and Engineering. In *Springer-Verlag London Limited*.
- Candra, A., Hendra, F., & Effendi, R. (2022). Usulan Perbaikan Efektivitas Mesin Rollforming Dengan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE). *Jurnal Suara Teknik*, 13(1), 30–38.
- Dhillon, B. S. (2002). Engineering maintenance: A modern approach. In *Engineering Maintenance: A Modern Approach*.
- Ebeling, C. E. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. McGraw-Hill Science.
- Ferdinand, F. A., Haryadi, G. D., & Iskandar, N. (2023). Analisis Keandalan Komponen Kritis Menggunakan Metode Weibull Dan Fault Tree Analysis Pada Hydraulic Axial Pump Berkapasitas 350 LPS. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 11(1), 1–6.
- Minitab, I. (2020). *MINITAB [Internet]*. <http://www.minitab.com/en-US/products/minitab/>
- Muliana, & Hartati, R. (2022). Penentuan Komponen Kritis Mesin pada Stasiun Press Menggunakan Metode Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) di PT. Surya Panen Subur 2. *Jurnal Serambi Engineering*, VII(3), 3439–3445.
- Pamungkas, I., Irawan, H. T., & Pandria, T. M. A. (2021). Implementasi Preventive Maintenance Untuk Meningkatkan Keandalan Pada Komponen Kritis Boiler Di

- Pembangkit Listrik Tenaga Uap. *VOCATECH: Vocational Education and Technology Journal*, 2(April), 73–79. <https://doi.org/10.38038/vocatech.v2i2.53>
- Prasetyo, C. F., Yudo, H., Zakki, A. F., & Muhammad, A. H. (2021). Analisa Perawatan Berbasis Keandalan Sistem Bahan Bakar pada Main Engine di Kapal KM. Kelimutu. *Jurnal Jurnal Penelitian Enjiniring (JPE)*.
- Prasetyo, T. E., Robbi, N., & Basjir, M. (2022). Penerapan Metode RCM (Reliability Centered Maintenance) Pada Pompa LP (Low Pressure) Flare di Saka Indonesia Pangkah Limited. *Jurnal Sains Dan Teknologi Teknik Mesin Unisma*, 18(2), 99–106.
- Priambodo, S., & Mahbubah, N. A. (2021). Implementasi Metode Overall Equipment Effectiveness Berbasis Six Big Losses Guna Mengevaluasi Efektivitas Mesin Packing Semen. *Jurnal Serambi Engineering*, 6(4), 2363–2374. <https://doi.org/10.32672/jse.v6i4.3497>
- Rahman, F. (2023). Efisiensi Biaya Produksi IPA Syarkawi Menggunakan Poly Aluminium Chloride (PAC) Dengan Metode Anova. *BRAHMANA: Jurnal Penerapan Kecerdasan Buatan*, 4(2), 228–232.
- Rahman, F., Sugiono, S., As'ad, S., & Novareza, O. (2022). Optimization maintenance performance level through collaboration of overall equipment effectiveness and machine reliability. *Journal of Applied Engineering Science*, 20(3), 917–936. <https://doi.org/10.5937/jaes0-35189>
- Rahman, F., Sugiono, S., Sonief, A. A., & Novareza, O. (2022). Availability Optimization of the Mobile Crane Using Approach Reliability Engineering at Oil and Gas Company. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 9(1), 178–185. <https://doi.org/10.18280/mmep.090122>
- Rinoza, M., Junaidi, & Kurniawan, F. A. (2021). Analisa RPN (Risk Priority Number) Terhadap Keandalan Komponen Mesin Kompresordouble Screw Menggunakan Metode FMEA di Pabrik Semen PT. XYZ. *Buletin Utama Teknik*, 17(1), 34–40.
- Setiawannie, Y., & Marikena, N. (2022). Pengukuran Efektivitas Mesin Bubut Dengan Metode Overall Equipment Efectiveness (OEE). *IESM Journal*, 3(1), 21–30.
- Siregar, A., Hartono, P., & Basjir, M. (2023). Analisis Efektivitas Mesin Regang Produksi Dengan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) di PT (“X,Y”). *Jurnal Sains Dan Teknologi Teknik Mesin Unisma*, 20(3), 203–211.
- Suhartini, Basjir, M., & Hariyono, A. T. (2020). Pengendalian Kualitas dengan Pendekatan Six Sigma dan New Seventools sebagai Upaya Perbaikan Produk. *Journal of Research and Technology*, 6(2460), 297–311.
- Susanto, M. D., Andesta2, D., & Jufriyanto, M. (2021). Analisis Efektivitas Mesin Injection Moulding Menggunakan Metode OEE dan FMEA (Studi Kasus di PT. Cahaya Bintang Plastindo). *JUSTI (Jurnal Sistem Dan Teknik Industri)*, 2(3).
- Wahid, A., Munir, M., Nuriyanto, Misbah, A., & Pusakaningwati, A. (2022). Mengukur Efektifitas Mesin Chenyueh Menggunakan Overall Equipment Effectiveness (OEE) Dan Six Big Losses Pada CV. ABI Surabaya. *Journal of Industrial View*, 04, 31–39.