

PENINGKATAN KEANDALAN LOAD LUGGER DENGAN PENDEKATAN FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS

IMPROVING LOAD LUGGER RELIABILITY WITH FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS APPROACH

Fitriah, Heri Setiawan, Ahmad Nalhadi, Eko Hadi Sucipto, Supriyadi

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Serang Raya
fitriah582@gmail.com, herisetiawan2209@gmail.com, irqi02@gmail.com,
supriyadi@unsera.ac.id

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Sekolah Tinggi Teknologi Mutu
Muhammadiyah Tangerang eko_hadisucipto@yahoo.com

Abstract

Problems: *The reliability of equipment is one of the factors to increase work productivity. The high downtime rate on the load-lugger machine creates job delays that impact equipment performance.*

Purpose: *To determine the level of load-lugger availability and improve the downtime level to increase the availability of the load-lugger.*

Methodology: *This study uses the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method to determine the process that causes the greatest downtime.*

Results/Findings: *Improvements by modifying the pin hook design and changing the pin hook material to make it more robust to withstand the weight of the scrap box and increasing the lifetime of the pin hook can increase the availability value from 74% to 99%. The implementation of FMEA effectively identifies the level of damage to equipment as a basis for making repairs.*

Paper Type: *field research*

Keywords: *Availability; Equipment; FMEA; Load-lugger*

Abstrak

Masalah: Keandalan peralatan merupakan salah faktor untuk meningkatkan produktivitas kerja. Tingkat downtime yang tinggi pada mesin load lugger membuat delay pekerjaan yang berdampak pada kinerja peralatan

Tujuan: mengetahui tingkat availability load lugger dan perbaikan terhadap tingkat downtime untuk meningkatkan availability load lugger.

Metodologi: penelitian ini menggunakan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) untuk mengetahui proses yang menyebabkan downtime terbesar.

Temuan/Hasil Penelitian: Perbaikan dengan cara memodifikasi desain pin hook serta mengganti material pin hook agar lebih kuat menahan beban scrap box dan meningkatkan lifetime pin hook dapat meningkatkan nilai availability dari 74% menjadi 99%. Implementasi FMEA efektif dalam mengidentifikasi tingkat kerusakan suatu peralatan sebagai dasar melakukan perbaikan.

Jenis penelitian: Riset lapangan

Kata kunci: Availability; Peralatan; FMEA; Load Lugger

A. PENDAHULUAN

Kehandalan mesin merupakan salah satu faktor dalam menjaga kualitas dan produktivitas. Keandalan mesin memerlukan sistem perawatan yang baik diperlukan untuk mendukung kinerja peralatan. Manajemen perawatan mempunyai fungsi membuat kebijakan terkait dengan memperbaiki kerusakan fungsi operasional dengan meningkatkan umur pakai (Parinduri et al., 2018; Supriyadi et al., 2019), mengurangi kemungkinan kerusakan dan downtime (Ardyanto and Felecia, 2015).

Load Lugger (LUG) merupakan sebuah kendaraan yang digunakan oleh sebuah perusahaan jasa logistik di daerah Cilegon. Selama periode bulan Januari sampai Juli 2019 sebesar 357 jam dengan 141 kejadian. Besarnya jam hilang yang disebabkan peralatan tidak beroperasi sangat berdampak pada kinerja peralatan yang secara tidak langsung akan mempengaruhi kinerja perusahaan.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisa kegagalan peralatan adalah Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). FMEA sering digunakan untuk mendeteksi mode kegagalan sistem yang kompleks dalam meminimalkan faktor risiko dan meningkatkan keandalan peralatan (Mohsen and Fereshteh, 2017). Metode ini memerlukan pengalaman para ahli untuk menentukan mode kegagalan utama dan mendeteksi faktor paling kritis untuk mencegah risiko (Lo et al., 2019). FMEA membuat ranking berdasarkan nilai RPN untuk memudahkan prioritas perbaikan dari mode kegagalan (Supriyadi and Nabilla, 2020).

Implementasi FMEA membantu perusahaan dalam mengidentifikasi dan membuat kebijakan perbaikan sesuai dengan tingkat risiko kegagalan yang terjadi. Memodifikasi langkah kerja gripper bar dengan membuat pembatas agar tidak melebihi sudut 90o mampu mengatasi kegagalan jamming pada mesin Mandrel Tension Reel yang mempunyai nilai RPN terbesar (Reza et al., 2017). Implementasi

metode FMEA pada mesin insulating mampu menurunkan tingkat kecacatan dari 3,22% menjadi 0,91% dengan cara memfokuskan perbaikan pada insulation bocor dan kawat putus yang mempunyai nilai RPN tertinggi (Rochmoeljati, 2008).

Penelitian ini bertujuan mengetahui nilai availability mesin Load Lugger sebagai dasar kebijakan perbaikan. Langkah perbaikan dengan menggunakan diharapkan mampu mengatasi kegagalan yang terjadi dan meningkatkan nilai availability. Peningkatan ini akan berdampak pada peningkatan produktivitas mesin Load Lugger.

B. KERANGKA TEORI

Maintenance adalah semua tindakan yang sesuai untuk mempertahankan bagian/peralatan atau mengembalikannya ke kondisi tertentu. Tujuan utama pemeliharaan adalah untuk memastikan fungsi sistem (ketersediaan, efisiensi dan kualitas produk), umur sistem (manajemen aset) dan keamanan sistem dengan konsumsi energi yang rendah (Velmurugan and Dhingra, 2015). Pemeliharaan juga berfungsi untuk mengurangi tingkat kerugian yang diakibatkan kerusakan peralatan dan meningkatkan kinerja serta ketersediaan dengan biaya yang efisien (Simeu-Abazi and Sassine, 2001).

Manajemen Perawatan Industri merupakan suatu sistem pemeliharaan fasilitas industri untuk mengatur aktivitas peralatan agar dapat menjaga proses produksi dalam menghasilkan produk yang berkualitas. Faktor penentu keberhasilan strategi pemeliharaan antara lain personel pemeliharaan memiliki pengetahuan untuk mencegah kegagalan pada tahap awal, keterampilan manajemen termasuk perencanaan, manajemen sumber daya manusia dan manajemen tugas, untuk memanfaatkan tren dan peluang riwayat pemeliharaan (Velmurugan and Dhingra, 2015).

FMEA adalah metode analisis keandalan yang sistematis dan preventif (Luko, 2013) untuk menganalisis mode kegagalan potensial dan penyebab kegagalan serta dampak yang dihasilkan pada kinerja sistem (Zhou et al., 2016) untuk menentukan kebijakan penanganan lebih lanjut (Hasrul et al., 2017). FMEA menggunakan tiga parameter yang biasanya dievaluasi melalui ekspresi linguistik yang mudah ditafsirkan (1 - 10) yaitu Severity (S), Occurrence (O), dan Detection (D) (Wang et al., 2012). Severity mengukur keseriusan efek mode kegagalan. Occurrence terkait dengan kemungkinan terjadinya mode kegagalan. Detection menunjukkan visibilitas kegagalan yang merupakan sikap mode kegagalan untuk diidentifikasi oleh kontrol dan inspeksi. Risk Priority Number (RPN) diperoleh dari hasil ketiga parameter tersebut yang digunakan untuk mengukur risiko dan tingkat keparahan mode kegagalan.

C. METODE PENELITIAN

Objek penelitian ini pada unit load lugger (LUG) di salah satu perusahaan yang bergerak di bidang logistik service. Data yang diambil adalah data kerusakan selama 6 bulan dari bulan Januari 2019 hingga Juni 2019. Data awal diolah menggunakan perhitungan performance maintenance untuk mengetahui performance Load Lugger saat ini.

$$MTBF = \frac{\text{Total Operation Time}}{\text{Frekuensi Breakdown}} \quad (1)$$

$$MTTR = \frac{\text{Breakdown Time}}{\text{Frekuensi Breakdown}} \quad (2)$$

$$\text{Availability} = \frac{\text{Total Operation Time}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \quad (3)$$

Identifikasi kegagalan unit load lugger menggunakan pendekatan FMEA. FMEA adalah alat keandalan yang banyak digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan sebelum terjadi dengan tujuan meminimalkan risiko yang terjadi (Chen, 2013). Fungsi dasar FMEA adalah menemukan, memprioritaskan, dan meminimalkan

kan kegagalan, terutama dalam industri manufaktur yang berkaitan dengan permasalahan keandalan per-alat-an (Geum et al., 2011).

Langkah FMEA dalam penelitian ini adalah (1) melakukan review proses pada kegiatan loading scrap box; (2) membuat daftar pe-nyebab dan efek potensial yang ditimbulkan; (3) menentukan nilai severity, occurrence dan detection; (4) menghitung nilai Risk Priority Number (RPN); (5) melakukan analisa dan perbaikan berdasarkan rangking dari nilai RPN dengan bantuan diagram fishbone.

$$RPN = Severity \times Occurance \times Detection \quad (4)$$

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Selama periode Januari 2019-Juli 2019 load lugger mengalami downtime selama 141 kali dengan kehilangan waktu operasi sebesar 357 jam (Tabel 1). 3 jenis kerusakan dominan pada unit load lugger diantaranya yaitu kerusakan pada pin hook, ban dan hose jack hidrolis. Kerusakan paling sering terjadi yaitu kerusakan pin hook sebanyak 60 kejadian dan menyebabkan delay selama 60 jam dengan persentase se-besar 52,2%, pergantian ban se-banyak 35 kejadian dan menyebabkan delay selama 70 jam dengan persentase sebesar 30,4% serta kerusakan pada hose jack hidrolis sebanyak 20 kejadian dan menyebabkan delay selama 20 jam dengan persentase sebesar 17,4%.

Penelitian ini tidak membahas kerusakan ban meskipun ban memiliki delay terlama yaitu 70 jam karena jika ban rusak maka perbaikan yang dapat dilakukan yaitu hanya pergantian ban (run to failure).

Tabel 1
Data Breakdown Load Lugger

No	Bulan	Breakdown (Jam)
1.	Januari	111,6
2.	Februari	65,3
3.	Maret	43,8
4.	April	80,1
5.	Mei	10,2
6.	Juni	46,7

Selama periode 6 bulan nilai availability load lugger adalah sebesar 78% (Tabel 2). Nilai ini masih jauh dari standar global adalah 90%. Nilai availability adalah rasio performance peralatan yang dipengaruhi oleh faktor downtime (Anthony, 2018). Rendahnya nilai ini berdampak kerugian bagi perusahaan karena peralatan tidak bisa bekerja secara maksimal. Nilai MTBF sebesar 5,8 jam mempunyai pengertian waktu rata-rata antara breakdown dengan breakdown berikutnya sebelum per-baik-an adalah 5,8 jam. Nilai MTTR sebesar 1,3 jam menunjukkan waktu rata-rata yang digunakan oleh mekanik untuk memperbaiki kerusakan pada komponen load lugger.

Tabel 2
Rekapitulasi Performance Load Lugger

Mesin	MTTR (jam)	MTBF (jam)	Avaibility
Load Lugger	1,3	5,8	78%

Load Lugger pada perusahaan digunakan untuk proses loading scrap box. Berdasarkan hasil pengamatan dan wawancara didapatkan jenis kegagalan pada proses loading scrap box yaitu pada proses finger point ada beberapa item pengecekan ter-lewat, posisi mobil tidak sejajar dengan srap box pada saat proses mensejajarkan mobil dengan scrap box; tombol PTO tidak menyala pada saat menyalakan tombol power take off karena sekring putus; silinder lifting arm macet saat menurunkan lifting arm; posisi hook

tidak pas dengan kupingan scrap box pada pemasangan hook; piston macet saat menurunkan hydraulic jack; pada proses menaikkan scrap box pada lantai kabin, posisi scrap box tidak sejajar dengan lantai kabin dan pin hook tidak kuat menahan beban pada scrap box; ketika menaikkan hydraulic jack, piston macet dan ketika akan mematikan tombol PTO, tombol PTO tidak menyala disebabkan sekering putus.

Tabel 3
Failure Mode and Effect Analysis

Flow	Process Step	Potensi Kegagalan	Potensi Efek Kegagalan	S	Penyebab Kegagalan Proses	O	Proses Kontrol Saat Ini	D	RPN
1	Lakukan finger point	sem pengecekan terlewat	Accident	8	Potensi bahaya tidak terdeteksi	4	Reminder finger point	5	160
2	Mundurkan mobil dan posisikan sejajar dengan scrap box	Mobil tidak sejajar dengan scrap box	Proses loading terganggu	6	Kelalaian driver	5	Dibuatkan garis marka agar terlibat oleh driver	6	180
3	Aktifkan tombol Power Take off	Tombol PTO tidak menyala	Tidak bisa mengangkat scrap box	7	Kerusakan pada sistem belistrikan	5	Ceklist pengecekan unit	5	175
4	Turunkan lifting arm dengan mendorong tuas hidraulik depan sampai tarian maksimal	Cylinder lifting arm macet	Tidak bisa mengangkat scrap box	8	Kerusakan pada seal hydraulic	7	Pemeriksaan volume oli hydraulic	5	280
5	Pasang hook ke kupingan scrap box	Hook tidak pas	Hook tidak bisa di pasang pada kupingan scrap box	6	Posisi kendaraan tidak pas dengan scrap box	6	Posisi kendaraan harus pas dengan scrap box	6	216
6	Turunkan hydraulic jack	piston macet	Mengganggu proses pinalikan scrap box	8	Xerusakan pada seal hidraulic	7	Pemeriksaan volume oli hidrolie	5	280
7	Angkat scrap box dengan menarik tuas hidrolie ke belakang sampai	Cylinder bocor Pin hook patah	Tidak kuat mengangkat scrap box Scrap box terjatuh pada	8 9	Seal silinder atau hose bocor Pin hook patah akibat	8 9	Pemeriksaan kebocoran instalasi dan cylinder Ceklist pengecekan unit	6 7	384 567

Potensi Kegagalan Loading Scrap Box telah didapatkan jenis kegagalan pada setiap proses loading. Analisis penyebab kegagalan yang terjadi menggunakan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Analisis ini bertujuan untuk melihat dan mengetahui proses bagian mana yang lebih potensial terjadinya kegagalan pada proses loading scrap box.

Pembuatan Tabel FMEA dilaku-kan untuk menentukan jenis kegagalan dan menentukan efek dari kegagalan tersebut dan selanjutnya men-cari penyebab akibat

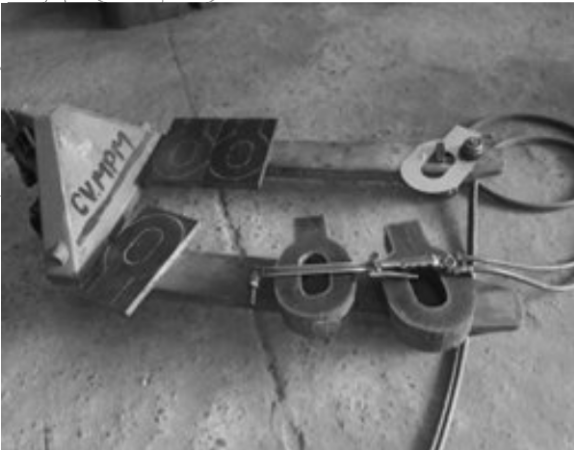
kegagalan tersebut. Penentuan kontrol akan dilakukan beserta upaya penanggulangannya. Jika sudah didapatkan jenis kegagalan, penyebab kegagalan, kontrol yang akan dilakukan serta upaya penanggulangan kegagalan tersebut maka dilakukan perhitungan nilai Risk Priority Number (RPN) yang diperoleh dari hasil perkalian antara nilai Severity, Occurrence dan Detection (Tabel 3).

Nilai RPN terbesar diperoleh pada proses pengangkatan scrap box pada lantai kabin dengan nilai RPN sebesar 567 dimana kegagalan potensial yang terjadi yaitu pin hook patah karena tidak kuat menahan scrap box sehingga jika proses tersebut tidak dapat dilanjut-kan dan unit harus kembali ke workshop untuk dilakukan perbaikan atau penggantian pin hook. Nilai RPN ini merupakan nilai RPN tertinggi sehingga menjadi prioritas utama untuk dilaku-kan perbaikan.

Untuk mengidentifikasi akar penyebab dari permasalahan pada pin hook menggunakan Fishbone Diagram. Faktor material menjadi salah satu penyebab dominan terjadi-nya kerusakan pada pin hook karena pin berbentuk bulat sehingga pin tidak kuat menahan beban dan shock load mengakibatkan pin mudah patah dan diameter dalam rantai kecil sehingga diameter pin hook pun kecil dan mengakibatkan pin kurang kuat. Faktor manusia adalah operator atau driver yang mengoperasi-kan lifting arm kasar sehingga terjadi benturan antara lifting arm dan scrap box. Faktor metode adalah operator yang sedang melakukan proses loading scrap box, cara pengoperasian lifting arm tidak sesuai SOP sehingga menyebab-kan dalam mengoperasikan lifting arm kurang aman dan dapat menyebabkan accident.

Penyebab dominan pin hook rusak dan patah yaitu pin berbentuk bulat, tidak mengikuti bentuk rantai serta ukuran pin yang kecil dan material pin kurang keras. Hal tersebut dapat diperbaiki dengan cara

mendesain ulang pin hook dan mengganti material pin hook yang bertujuan agar pin hook tahan terhadap beban yang ditopang sehingga tidak mudah rusak dan patah sehingga memperpanjang masa life time pin hook. Proses pembuatan dilakukan di workshop dikerjakan oleh para mekanik pada bulan September 2019.



Gambar 1 Pin Hook Sebelum Modifikasi

Pin Hook sebelum modifikasi terlihat bahwa bentuk pin bulat, kecil dan tebal. Pin hook memiliki ukuran diameter 18 mm serta material pin hook yang digunakan sebelum modifikasi yaitu baja S45C (carbon steel) yang memiliki kandungan Carbon 0,42% sehingga material ini memiliki struktur yang keras dan getas menyebabkan pin hook mudah patah (Gambar 1).



Gambar 2 Pin Hook Setelah Modifikasi

Pin Hook hasil modifikasi terlihat bahwa bentuk pin lebih besar dengan ukuran diameter 18 mm dan panjang 25 mm serta

tidak terlalu tebal (Gambar 2). Material pin hook yang digunakan setelah dimodifikasi yaitu menggunakan material jenis baja VCN 150 (AISI 4340 Alloy Steel) dengan kandungan Carbon 0,38% yang memiliki sifat lentur, lebih tahan terhadap gesekan dan tahan panas dibanding dengan baja jenis S45C. VCN 150 memiliki kandungan Chrome (Cr) 0,70% sehingga baja menjadi sangat keras dan tahan aus. Adanya kandungan Molibdenum (Mo) bertujuan untuk meningkatkan kekuatan dan batas mulur baja terutama terhadap pembebanan yang kontinu serta menaikkan temperatur tempering. Penggunaan material jenis VCN150 sangat efektif karena pin hook menjadi lebih kuat terhadap pembebanan yang kontinu serta lifetime pin hook menjadi lebih lama.

Perbaikan peralatan merupakan salah satu langkah yang efektif untuk meningkatkan kinerja peralatan. Penambahan bantalan karet pada bagian bracket pengunci battery dapat meminimalkan longgarnya terminal battery pada unit Off-highway Truck (Putra et al., 2018). Modifikasi mesin TMC Segmen CBE 1160 dengan cara menambahkan fitur pembatas gerakan membuat mesin menjadi aman dan mampu mengurangi tingkat defect pada proses selanjutnya (Christi and Yuliawati, 2020).

Modifikasi pin hook lifting arm tahan terhadap beban dan jumlah kerusakan berkurang menjadi 3 kali dalam 6 bulan. Setelah dilakukan modifikasi pada pin hook selain berkurangnya frekuensi kerusakan tetapi juga nilai Availability pin hook meningkat menjadi 99%, nilai MTBF sebelumnya 4,73 Jam menjadi 222,33 Jam serta nilai MTTR sebelumnya 1,25 Jam menjadi 1 Jam. Dalam peng-operasian pun lebih aman dan nyaman serta customer tidak komplain karena puas terhadap pelayanan yang diberikan. Hal ini dapat meningkatkan kepercayaan customer dan akan berdampak pada kerjasama antar dua perusahaan yang sudah berjalan.

Hasil ini sesuai dengan penelitian proses pembuatan kaca cermin yang menunjukkan peningkatan nilai availability dari 60% menjadi 76% dari implementasi metode FMEA (Al Rasyid, 2018). Keefektifan FMEA didasarkan analisa kegagalan setiap proses hingga mendapatkan rangking prioritas per-baikkan. Rangking ini membuat pihak manajemen lebih fokus dalam membuat kebijakan dalam penentuan prioritas perbaikan.

D. KESIMPULAN

Nilai availability awal load lugger seperti pin hook, ban dan hose jack hidrolis adalah 74% dengan nilai Mean Time Between Failure (MTBF) sebesar 4,73 Jam dan nilai Mean Time To Repair (MTTR) sebesar 1,25 Jam. Perbaikan untuk meminimalkan kerusakan pin hook dilakukan dengan cara memodifikasi desain pin hook serta mengganti material pin hook agar lebih kuat menahan beban scrap box dan life time pin hook lebih tahan lama. Modifikasi desain pin hook mampu meningkatkan nilai availability pin hook load lugger menjadi 99% dengan nilai MTBF sebesar 222,33 jam dan nilai MTTR sebesar 1 jam. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan implementasi autonomous maintenance untuk meningkatkan keandalan mesin load lugger

DAFTAR PUSTAKA

- Al Rasyid, H. (2018). Peningkatan Nilai Overall Equipment Effectiveness pada Proses Pembuatan Kaca Cermin dengan Metode Fmea. *Operations Excellence*, 10(1), 47–64. <https://publikasi.mercubuana.ac.id/index.php/oe/article/view/3151>
- Anthony, M. B. (2018). Analisis Penyebab Kerusakan Hot Rooler Table dengan Menggunakan Metode Failure Mode And Effect Analysis (FMEA). *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, 4(1), 1–8. <https://doi.org/10.30656/intech.v4i1.851>
- Ardyanto, M., and Felecia, F. (2015). Upaya Penurunan Downtime pada Mesin Moulding di PT. X. *Jurnal Titra*, 3(2), 3 8 3 - 3 9 0 . <http://publication.petra.ac.id/index.php/teknik-industri/article/view/3520>
- Chen, C.-C. (2013). A developed autonomous preventive maintenance programme using RCA and FMEA. *International Journal of Production Research*, 51(18), 5404–5412. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.775521>
- Christi, O. F., and Yuliawati, E. (2020). Peningkatan Efektivitas Mesin TMC Segmen CBE 1160 Melalui Analisis Overall Equipment Effectiveness (OEE)(Studi Kasus: PT. Eta Indonesia). *Jurnal Senopati: Sustainability, Ergonomics, Optimization, and Application of Industrial Engineering*, 1(2), 64–75. <https://ejournal.itats.ac.id/senopati/article/view/527>
- Geum, Y., Cho, Y., and Park, Y. (2011). A systematic approach for diagnosing service failure: Service-specific FMEA and grey relational analysis approach. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(11), 3126–3142. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2011.07.042>
- Hasrul, H., Shofa, M. J., and Winarno, H. (2017). Analisa Kinerja Mesin Roughing Stand dengan Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan Failure Mode Effect Analysis (FMEA). *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, 3(2), 55–60. <https://doi.org/10.30656/intech.v3i2.879>

Lo, H.-W., Liou, J. J. H., Huang, C.-N., and Chuang, Y.-C. (2019). A novel failure mode and effect analysis model for machine tool risk analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, 183, 173–183. <https://doi.org/10.1016/j.res.2018.11.018>

Luko, S. N. (2013). Risk Management Principles and Guidelines. *Quality Engineering*, 25(4), 451–454. <https://doi.org/10.1080/08982112.2013.814508>

Mohsen, O., and Fereshteh, N. (2017). An extended VIKOR method based on entropy measure for the failure modes risk assessment – A case study of the geothermal power plant (GPP). *Safety Science*, 92, 160–172. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.10.006>

Parinduri, L., Sibuea, S. R., and Suryadi, W. (2018). Analisa Umur Ekonomis Mesin Perebusan Untuk Perencanaan Replacement (Studi Kasus Di PT. PN IV Kebun Adolina Perbaungan). *Buletin Utama Teknik*, 14(1), 6–12. <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/but/article/view/794>

Putra, C. D., Syarief, A., and Isworo, H. (2018). Analisa Kegagalan Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analisis (FMEA) Pada Unit Off-Highway Truck 777D. *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 3(1), 33–42. <https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v3i1.4>

Reza, D., Supriyadi, S., and Ramayanti, G. (2017). Analisis Kerusakan Mesin Mandrel Tension Rell dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). *Prosiding Seminar Nasional Riset Terapan| SENASSET*, 190–195. <https://ejournal.uin-suka.ac.id/index.php/SENASSET/article/view/190>

[jurnal.lppmunsera.org/index.php/senasset/article/view/447](https://ejournal.uin-suka.ac.id/index.php/SENASSET/article/view/190)

Rochmoeljati, R. (2008). Penurunan Jumlah Cacat Produk pada Mesin Insulating dengan Metode Failure Mode Effect Analysis. *Jurnal Teknik Industri*, 9(1), 37–44. <https://ejournal.umm.ac.id/index.php/industri/article/view/6120>

Simeu-Abazi, Z., and Sassine, C. (2001). Maintenance Integration in Manufacturing Systems: From the Modeling Tool to Evaluation. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 13(3), 267–285. <https://doi.org/10.1023/A:1011147602744>

Supriyadi, S., Reza, D., Nalhadi, A., and Nelfiyanti, N. (2019). Mandrel machine scheduling determination based on damage intervals. *Journal of Physics: Conference Series*, 1175(1), 012188. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1175/1/012188>

Supriyadi, S., and Nabilla, M. (2020). Analisa Kegagalan Produk CLIP RI dengan Pendekatan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). *Journal of Industrial Engineering*, 5(2), 101–109. <http://ejournal.president.ac.id/presunivojs/index.php/journalofIndustrialEngineering/article/view/1319>

Velmurugan, R. S., and Dhingra, T. (2015). Maintenance strategy selection and its impact in maintenance function. *International Journal of Operations & Production Management*, 35(12), 1622–1661. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-01-2014-0028>

Wang, Y., Cheng, G., Hu, H., and Wu, W. (2012). Development of a risk-based maintenance strategy using FMEA for

a continuous catalytic reforming plant. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 25(6), 958–965. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2012.05.009>

Zhou, Y., Xia, J., Zhong, Y., and Pang, J. (2016). An improved FMEA method based on the linguistic weighted geometric operator and fuzzy priority. *Quality Engineering*, 28(4), 491–498. <https://doi.org/10.1080/08982112.2015.1132320>