



Perencanaan Penggantian dan Perbaikan Komponen Mesin *Die Casting* Kapasitas 40 Unit/Jam dengan Metode IRRO

Muhammad Yusuf Prayitno¹, Syamsul Hadi^{2*}, Bagus Prakoso³, David Avelino
Anugerah Krishna Pamungkas⁴, Ahmad Zulfa Sibro Malisi⁵

^{1,3-5}Diploma IV Study Program, Mechanical Engineering for Production and Maintenance, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

²Applied Doctor Study Program, Mechanical Design Optimization, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Email: yusufprayitno21@gmail.com¹, syamsul.hadi@polinema.ac.id^{2*}, bgsprks0409@gmail.com³,
davidavelinoakp@gmail.com⁴, ahmadzulfa674@gmail.com⁵

*Penulis Korespondensi: [syampol2003@yahoo.com](mailto:sympol2003@yahoo.com)

Abstract. The decline in the performance of the die casting machine in 1998 after a long period of producing copper terminals showed dimensional defects and instability in product quality, especially in nozzle clogging, reduced copper flow, crust buildup on the gooseneck, plunger movement obstruction, and hydraulic pressure leaks. The purpose of planning the replacement and repair of die-casting machine components is to obtain replacement and repair costs, replacement and repair schedules for the period 2026, and the ratio of maintenance costs to profits. The replacement and repair planning method includes collecting previous maintenance data, applying the inspection-replace-repair-overhaul (IRRO) method, evaluating component conditions, predicting component service life, predicting labor costs, predicting supporting equipment to be used in maintenance, predicting the time to replace spare parts or reinstall repaired components, estimating replacement and repair costs for the period 2026, and calculating the ratio of replacement and repair costs to profits. The planning results obtained replacement and repair costs for the 2026 period are 75.770.000,- IDR with an estimated die casting machine rental rate of 1,500,000 IDR/hour which has the potential to be rented for 1,200 hours/year, and the ratio of maintenance costs to profits is 10,02 % which implies that the die casting machine with a capacity of 40 units/hour is still suitable for use and has the prospect of generating profits for the next few years.

Keywords: Capacity 40 Units/Hour; Component Repair; Die-Casting; Replacement Planning; Tin Terminal.

Abstrak. Penurunan kinerja mesin *die casting* tahun 1998 setelah lama memproduksi terminal tembaga menunjukkan adanya cacat dimensi dan ketidakstabilan mutu produk terutama pada penyumbatan nozel, penurunan aliran tembaga, penumpukan kerak pada goose neck, hambatan gerakan plunyer, dan kebocoran tekanan hidrolik. Tujuan perencanaan penggantian dan perbaikan komponen mesin *die-casting* untuk memperoleh biaya penggantian dan perbaikan, jadwal penggantian dan perbaikan pada periode 2026, dan rasio biaya perawatan terhadap laba. Metode perencanaan penggantian dan perbaikan meliputi pengumpulan data perawatan sebelumnya, penerapan metode *inspection-replace-repair-overhaul* (IRRO), evaluasi kondisi komponen, prediksi umur pakai komponen, prediksi biaya tenaga kerja, prediksi peralatan pendukung yang akan digunakan dalam perawatan, prediksi waktu penggantian suku cadang atau pemasangan kembali komponen yang telah diperbaiki, estimasi biaya penggantian dan perbaikan periode 2026, dan perhitungan rasio biaya penggantian dan perbaikan terhadap labanya. Hasil perencanaan diperoleh biaya penggantian dan perbaikan periode 2026 adalah Rp 75.770.000,- dengan estimasi tarif sewa mesin *die casting* Rp 1.500.000/jam yang potensial disewa selama 1.200 jam/tahun, dan rasio biaya perawatan terhadap laba adalah 10,02 % yang berimplikasi bahwa mesin *die casting* kapasitas 40 unit/jam masih layak digunakan dan prospektif menghasilkan laba untuk beberapa tahun ke depan.

Kata kunci: *Die-Casting*; Kapasitas 40 Unit/Jam; Perbaikan Komponen; Perencanaan Penggantian; Terminal Timah.

1. LATAR BELAKANG

Penggunaan mesin *die casting* untuk produksi komponen listrik untuk terminal tembaga menuntut kestabilan proses secara konsisten, terutama dalam aspek aliran logam cair, tekanan injeksi, dan kontrol temperatur cetakan. Mesin generasi akhir 1990-an banyak masih digunakan karena konstruksinya kokoh dan kemampuannya menjaga presisi produksi dalam jangka

panjang, namun setelah dua dekade operasi, banyak mesin menunjukkan degradasi kinerja mekanis: bentuk produk berubah, ukuran menjadi tidak stabil, dan mutu casting menurun. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa strategi perawatan terencana sangat dibutuhkan untuk menjaga agar mesin lama tak kalah dengan tuntutan mutu industri modern (Prasetio & Oktora, 2024).

Stabilitas aliran metal menjadi aspek krusial dalam produksi terminal **tembaga**. Sedikit gangguan pada bagian untuk nozel, *shot sleeve*, atau sistem pendingin berdampak besar pada homogenitas bahan dan kelengkapan *fill mold*. Jika ada penyumbatan, keausan atau kerusakan komponen injeksi/pendingin, tingkat cacat produk meningkat dan efisiensi operasi menurun. Selain keausan komponen internal, sistem hidrolik dan jalur pendingin juga rentan menurun kinerjanya akibat akumulasi deposit dan lelah/*fatigue* bahan yang tercatat sebagai penyebab utama kerugian produktivitas pada mesin *die casting* (cetak tekan) (Armanda dkk., 2023; Lajarrige dkk., 2020).

Integrasi metode preventif secara konsisten, termasuk inspeksi jalur pendingin, pembersihan sistem injeksi, dan perawatan komponen aus, secara signifikan meningkatkan kontinuitas produksi (Rakes dkk., 2024; Mesra dkk., 2023). Berdasarkan pemikiran tersebut, direncanakan secara sistematis agar akar penyebab penurunan kinerja mesin *die casting* yang lama disempurnakan dengan strategi perawatan dan perbaikan terstruktur dengan metode yang digunakan adalah *inspection-replace-repair-overhaul* (IRRO), dijalankan dengan pendekatan berbasis bukti melalui inspeksi, analisis kerusakan, perbaikan komponen kritis, dan observasi pasca-perbaikan. Fokus utama diarahkan pada permasalahan mekanis yang secara langsung mempengaruhi mutu hasil *die casting* untuk penyumbatan nozel, keausan pada bagian injeksi, penurunan efektivitas pendinginan, dan deformasi komponen struktural.

2. KAJIAN TEORITIS

Metode IRRO merupakan pendekatan perawatan yang mencakup empat langkah sistematis: (1) *Inspection* – pemeriksaan komponen untuk mendeteksi kerusakan dini, (2) *Replace* – penggantian komponen yang telah aus, (3) *Repair* – perbaikan komponen yang masih memungkinkan untuk dipulihkan kembali fungsinya, dan (4) *Overhaul* – pembongkaran menyeluruh jika diperlukan.

IRRO efektif digunakan pada mesin dengan risiko kerusakan progresif dan komponen sederhana, serta banyak diterapkan dalam industri kecil (Prasetyo & Subagyo, 2019).

Metode IRRO denagn mudah direncanakan untuk perhitungan biaya perawatan dan perbaikan suatu mesin di industri, dan perhitungan rasio antara biaya perawatan dan perbaikan terhadap laba dari penyewaan suatu mesin (Hadi dkk., 2021).

Rasio antara biaya perawatan dan perbaikan terhadap laba atau dikenal dengan *Maintenance Cost to Profit Ratio* atau dapat disingkat dengan MCPRatio dapat dihitung dengan Rumus 1.

$$\text{MCPRatio} = (\text{Biaya perawatan dan perbaikan} : \text{laba}) \times 100\% \quad (1)$$

3. METODE PERENCANAAN PENGANTIAN DAN PERBAIKAN

Metodologi perencanaan disusun untuk mengevaluasi dan memulihkan kinerja mesin die-casting tahun 1998 melalui pendekatan perawatan terstruktur. Penelitian menggunakan metode IRRO yang memungkinkan analisis komprehensif terhadap kerusakan mekanis serta penilaian efektivitas perbaikan yang dilakukan (Suryani dkk., 2023). Fokus penelitian diarahkan pada komponen mekanik yang memiliki pengaruh langsung terhadap mutu pengecoran tekan untuk nozel, *goose neck*, sistem pendinginan, komponen hidraulik, dan mekanisme *ejector* (Attalla & Albana, 2024).

Mesin *die casting* tahun 1998 yang awal digunakan sebagaimana Gambar 1.



Gambar 1. *Die Casting Machine.*

Tahap pertama dilakukan melalui inspeksi visual, observasi proses produksi, dan analisis pola cacat produk (Mauluddin dkk., 2022). Pemeriksaan dilakukan pada area aliran logam, jalur pendingin, aktuator mekanis, dan sistem hidraulik untuk mengidentifikasi gejala penurunan kinerja. Data pendukung berupa catatan perawatan, frekuensi *downtime*, dan persentase NG (Go NO Go) tersebut beberapa gejala awal ditemukan, untuk penyumbatan aliran tembaga, lambatnya pengisian *cavity*, dan *ejection* yang tidak konsisten.

Tahap kedua dilakukan dengan pemeriksaan detail pada komponen kritis menggunakan pengukuran dimensi, pengecekan kebersihan saluran, dan penilaian keausan (Bidari & Suseno,

2025), (Huang dkk., 2021). Analisis akar masalah dilakukan dengan membongkar nozel dan *goose neck* untuk memeriksa pembentukan kerak *copper oxide*, mengukur presisi *bushing ejector*, mengevaluasi tekanan hidrolik aktual, dan melakukan *flushing* pada jalur pendinginan (Ramitsa & Indrawati, 2025). Hasil analisis menunjukkan lima penyebab utama: (1) Penyumbatan nozel akibat akumulasi kerak, (2) Penurunan debit coolant karena deposit pada cooling channel, (3) Keausan *goose neck* yang melewati batas toleransi, (4) Plunyer yang terhambat dikarenakan adanya *slag* yang tertempel pada plunyer, dan (5) Kebocoran tekanan hidrolik akibat seal melemah.

Setelah penyebab utama diidentifikasi, proses perbaikan/*repair* dilakukan melalui pembersihan nozel dengan manual *reaming*, restorasi *heating element* menggunakan *brushing*, dan penggantian komponen mekanis untuk *hydraulic oil*, *heating element*, dan *hydraulic seal* (Mustaqim dkk., 2020; Sastriawan, 2024). Tahapan lanjutan meliputi *re-lubrication*, pengecekan kelurusan poros *ejector*, serta *re-tuning* parameter injeksi untuk memulihkan stabilitas aliran logam sesuai standar mekanik industri dan toleransi yang direkomendasikan (Ezeanyim dkk., 2025) (Yang dkk., 2021).

Tahap akhir adalah observasi kinerja mesin setelah perbaikan dilakukan. Parameter yang dipantau termasuk kestabilan tekanan injeksi, kecepatan pengisian *cavity*, temperatur *mold*, mutu bentuk produk, dan persentase cacat produksi (Rakes dkk., 2024b), (Primawati dkk., 2025). Monitoring dilakukan selama dua minggu produksi penuh untuk memastikan perubahan yang terjadi bukan sementara. Hasil observasi menunjukkan peningkatan konsistensi proses, stabilitas temperatur, penurunan gesekan mekanis, serta penurunan signifikan tingkat cacat.

Spesifikasi mesin *die casting* sebagaimana Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Mesin Die Casting.

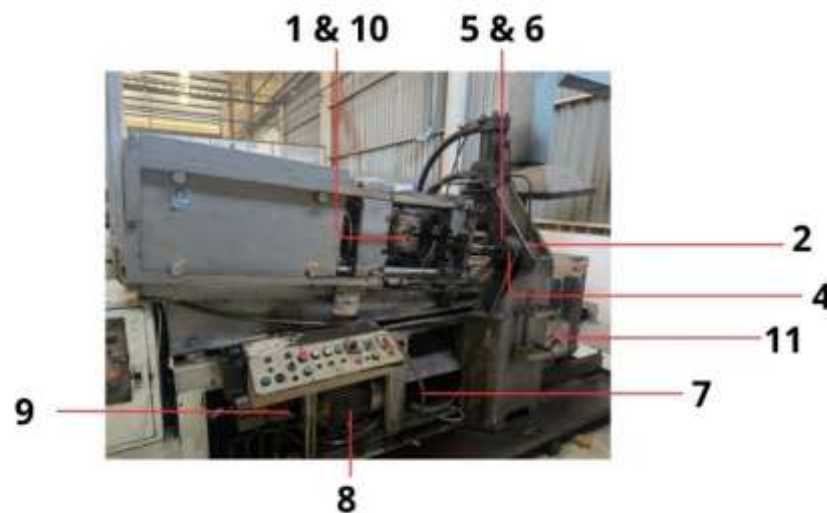
Parameter	Spesifikasi
Produk	Terminal Kabel Aki
Dimensi Mesin	2,5 m x 1,6 m x 1,2 m
Daya	10 kW
Temperatur Kerja	750 °C
Dimensi Tungku	0,4 m x 0,5 m x 0,6 m
Konsumsi Daya	18 kW
Tekanan Udara	0,8 MPa
Dimensi Ujung Nozel	5 mm
Dimensi Nozel	50 mm x 200 mm
Jumlah Komponen	268

Komponen yang diinspeksi, diperbaiki, dan diganti sebagaimana Tabel 2.

Tabel 2. Komponen yang Diinspeksi, Diperbaiki, dan Diganti.

No.	Nama Komponen/Bahan	Tindakan
1	Nozel	Diganti
2	Plunyer	Diganti
3	Oli Hidraulik	Diganti
4	<i>Goose Neck</i>	Diperbaiki
5	<i>Seal</i> Hidraulik	Diganti
6	Pelat Pendingin	Diperbaiki
7	Selang Pendingin	Diganti
8	<i>Bearing</i>	Diganti
9	Motor Listrik	Diperbaiki
10	Elemen Pemanas Nozel	Diganti
11	Elemen Pemanas Tungku	Diganti

Komponen yang rencana diperbaiki dan diganti sebagaimana Gambar 2.



Gambar 2. Komponen yang Rencana Diperbaiki dan Diganti.

Harga Peralatan Penunjang Perawatan yang diperlukan sebagaimana Tabel 3.

Tabel 3. Harga Peralatan Penunjang Perawatan.

Nama	Biaya (Rp)	Biaya/Tahun (Rp)
Kunci Pas 1 Set (ukuran 8-24 mm)	150.000/3 tahun	50.000
<i>Tracker</i> untuk <i>Bearing</i> f poros 30 mm	450.000/3 tahun	150.000
Tang Penjepit	50.000 /tahun	50.000
Sarung Tangan	40.000 /tahun	40.000
Bensin	150.000/tahun	12.500
Obeng + & -	35.000/tahun	35.000
Kuas dan kain lap pembersih	120.000/tahun	10.000
	Jumlah=	347.500

Biaya penggantian dan perbaikan komponen *die casting* = Rp 15.770.000,- + Rp 60.000.000,- + Rp 347.500,- = **Rp 76.117.500,-**

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perencanaan penggantian dan perbaikan menunjukkan bahwa permasalahan pada proses produksi mesin *die casting* berdampak signifikan terhadap efisiensi operasional dan biaya perawatan tahunan. Berdasarkan temuan tersebut, metode IRRO dipilih untuk menghitung estimasi biaya perbaikan mesin pada tahun 2026. Penerapan IRRO memberikan gambaran yang lebih terstruktur mengenai kebutuhan biaya, termasuk identifikasi komponen kritis, frekuensi kerusakan, dan nilai penggantian atau perbaikan yang diperlukan (Benhanifia dkk., 2025). Dari perhitungan menggunakan metode tersebut, diperoleh estimasi biaya perbaikan yang akurat dan dapat dijadikan acuan dalam perencanaan anggaran perawatan mesin di tahun mendatang.

Jadwal rencana penggantian dan perbaikan *die casting* sebagaimana Gambar 3.

Part	Minggu ke- pada tahun 2026																																																				
	Januari				Februari				Maret				April				Mei				Juni				Juli				Agustus				September				Oktober				November				December								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	
Nozel	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	R2	I	R1	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	
Plunyer	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
Oli hidrolik (19)	I	I	R2	I	I	R2	I	I	I	R2	I	I	I	R2	I	I	I	R2	I	I	I	R2	I	I	I	R2	I	I	I	R2	I	I	I	R2	I	I	I	R2	I	I	I	R2	I	I	I	R2	I	I	I	R2	I	I	I
Goose neck	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	I	R1	
Seal hidrolik	I	I	R2	I	I	R2	I	I	I	R2	I	I	I	R2	I	I	I	R2	I	I	I	R2	I	I	I	R2	I	I	I	R2	I	I	I	R2	I	I	I	R2	I	I	I	R2	I	I	I	R2	I	I	I	R2	I	I	I
Plat pendingin	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
Selang pendingin	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R2	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
Bearing	I	I	I	I	I	R2	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R2	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R2	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R2	I	I	I	I		
Motor	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
Elemen pemanas (nozlel)	I	I	I	R1	I	I	R1	I	I	I	R1	I	I	I	R2	I	I	I	R1	I	I	I	R1	I	I	I	I	R1	I	I	I	R2	I	I	I	R1	I	I	I	R1	I	I	I	R1	I	I	I	R1	I	I	I	R1	
Elemen pemanas (tungku)	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Keterangan																																																					
I = Inspeksi R1 = Perbaikan R2 = Penggantian																																																					

Gambar 3. Jadwal Penggantian dan Perbaikan *Die Casting*.

Sebelum dilakukan perhitungan akhir, beberapa parameter biaya dianalisis secara terpisah untuk memperoleh estimasi yang akurat. Parameter tersebut meliputi biaya *repair-man*, biaya *downtime* mesin, harga *spare part*, serta rasio kerusakan yang terjadi selama periode operasi sebagaimana Gambar 3 untuk memudahkan interpretasi dan menjadi dasar perhitungan biaya menggunakan metode IRRO (Prasetio & Oktora, 2024).

Tabel 4. Harga Komponen yang Diganti dan Bahan Penunjang.

No.	Komponen-Bahan Penunjang	Kebutuhan (Buah)	Harga	Jumlah (Rp)
1	Nozel	1	2.500.000	2.500.000
2	Plunyer	1	850.000	850.000
3	Oli Hidraulik (19L)	13	400.000	5,200.000
4	Seal Hidraulik	13	350.000	4,550.000
5	Selang Pendingin	1	350.000	350.000
6	Bearing	4	300.000	1,200.000
7	Elemen Pemanas (Nozel)	3	200.000	600.000
8	Majun	12	20.000	240.000
9	Autosol	2	40.000	80.000

10	<i>Grease</i>	1	200.000	200.000
			Total =	15.770.000

Tabel 4 menyajikan daftar komponen dan bahan yang diganti selama proses perbaikan mesin *die casting*, beserta jumlah kebutuhan, harga satuan, dan jumlah biaya per item. Data tersebut mencakup berbagai komponen utama untuk nozel, plunyer, *hydraulic oil*, *seal hydraulic*, selang pendingin, *bearing*, *heating element*, dan bahan pendukung untuk majun, *autosol*, dan *grease*. Informasi Tabel 4 memberikan gambaran menyeluruh mengenai total biaya penggantian komponen yang berkontribusi terhadap keseluruhan biaya perawatan mesin.

$$MCPRatio = (\text{Biaya perawatan dan perbaikan} : \text{laba}) \times 100\%$$

$$MCPRatio = (\text{Rp } 75.770.000,- : \text{Rp } 7.392.000.000) \times 100\% = 10,02 \%$$

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan metode IRRO, diperoleh rasio antara biaya perawatan mesin dan profit produksi senilai 10,02 % yang menunjukkan bahwa biaya perawatan mesin *die casting* hanya mengambil porsi kecil dari keuntungan yang dihasilkan. Dengan rasio yang relatif rendah tersebut, dapat disimpulkan bahwa kegiatan perawatan yang dilakukan masih berada dalam kategori ekonomis dan tidak memberikan tekanan signifikan terhadap profitabilitas perusahaan.

5. KESIMPULAN

Hasil perencanaan diperoleh biaya penggantian dan perbaikan periode 2026 senilai Rp 75.770.000,- dengan estimasi tarif sewa mesin *die casting* generasi tahun 1998 Rp 1.500.000/jam yang potensial disewa selama 1.200 jam/tahun, dan rasio biaya perawatan terhadap laba adalah 10,02 % yang berimplikasi bahwa mesin *die casting* kapasitas 40 unit/jam masih layak digunakan dan prospektif menghasilkan laba untuk beberapa tahun ke depan.

Saran ke depan, perlu dikembangkan penambahan aspek pemantauan digital berbasis sensor untuk mendukung *predictive maintenance*, sehingga tanda-tanda kerusakan dapat dideteksi lebih awal dan perlu dilakukan studi lanjutan terkait optimasi frekuensi inspeksi, interval penggantian komponen, dan perbandingan biaya dan efektivitas antara mesin jenis lama dan mesin generasi terbaru. Temuan tersebut diharapkan menjadi acuan praktis bagi perusahaan yang masih mengoperasikan mesin sejenis agar mutu produksi tetap terjaga dan biaya perawatan dapat dikontrol secara berkelanjutan.

PENYAMPAIAN RASA TERIMA KASIH

Para penulis dengan penuh rasa terima kasih menyampaikan penghargaan kepada PT Indoprima Gemilang Plant 1, Nganjuk atas dukungan berupa penyediaan informasi dan data yang berkaitan dengan perencanaan perawatan dan perbaikan mesin *die casting*.

DAFTAR REFERENSI

- Armanda, D. D., Jufriyanto, M., & Rizqi, A. W. (2023). Perencanaan perawatan mesin dengan metode reliability centered maintenance (RCM) pada PT XYZ. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 7(4), 1588–1595. <https://doi.org/10.33379/gtech.v7i4.3298>
- Attalla, M. F. N., & Albana, A. S. (2024). Penjadwalan preventive maintenance pada mesin coding printer (studi kasus PT XYZ). *Journal of Industrial and Manufacture Engineering*, 8(2), 156–167. <https://doi.org/10.31289/jime.v8i2.11614>
- Benhanifia, A., Cheikh, Z., Oliveira, P. M. B., Valente, A., & Lima, J. (2025). Systematic review of predictive maintenance practices in the manufacturing sector. *Intelligent Systems with Applications*, 26, 200501. <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2025.200501>
- Bidari, A. P., & Suseno. (2025). Evaluasi pengaruh autonomous maintenance terhadap kinerja mesin bubut dalam penerapan total productive maintenance di PT XYZ. *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Informatika*, 4(1), 117–125. <https://doi.org/10.55606/jtmei.v4i1.4786>
- Ezeanyim, O., Ewuzie, N., Aguh, P. S., Nwabueze, C., & Nwamekwe, C. O. (2025). Effective maintenance of industrial 5-stage compressor: A machine learning approach. *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, 12(1), 96–118. <https://doi.org/10.54287/gujisa.1646993>
- Hadi, S. (2019). *Perawatan dan perbaikan mesin industri*. Andi Offset.
- Hadi, S., Azis, A. A., Viyus, V., Puspitasari, E., Firdaus, A. H., & Setiawan, A. (2021). Planning for maintenance and repair of continuous ship unloader using the IRRO. *Logic: Journal of Engineering Design and Technology*, 21(1), 52–63. <https://doi.org/10.31940/logic.v21i1.2383>
- Huang, W., Zhang, Y., Yin, D., Zuo, B., & Liu, Z. (2021). Urban bus accident analysis: Based on a Tropos goal risk-accident framework considering learning from incidents process. *Reliability Engineering & System Safety*, 216, 107918. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107918>
- Lajarrige, A., Gontard, N., Gaucel, S., & Peyron, S. (2020). Evaluation of the food contact suitability of aged bio-nanocomposite materials dedicated to food packaging applications. *Applied Sciences*, 10(3), 877. <https://doi.org/10.3390/app10030877>
- Mauluddin, Y., Rahmawati, D., & Oktavianti, D. (2022). Perencanaan pemeliharaan mesin produksi dengan menggunakan total productive maintenance untuk menjamin kestabilan proses produksi. *Jurnal Kalibrasi*, 20(2), 86–92. <https://doi.org/10.33364/kalibrasi/v.20-2.1148>
- Mesra, T., Kamil, I., & Hadiguna, R. A. (2023). Perawatan preventif mesin pompa air. *Journal of Industrial and Manufacture Engineering*, 7(2), 236–246. <https://doi.org/10.31289/jime.v7i2.10133>

- Mustaqim, F., Kosasih, W., & Ahmad, A. (2020). Pemeliharaan mesin hydraulic shear menggunakan pendekatan reliability centered maintenance dan manajemen suku cadang. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 9(3), 153–162. <https://doi.org/10.26593/jrsi.v9i3.4023>
- Prasetio, E. T., & Oktora, A. (2024). Evaluation of the effectiveness of die casting machines using overall equipment effectiveness (OEE). *Jurnal Teknologi dan Manajemen*, 22(1), 99–106. <https://doi.org/10.52330/jtm.v22i1.239>
- Prasetyo, B., & Subagyo, G. (2019). Analisa umur pakai poros pada putaran kritis dengan menggunakan uji defleksi eksperimental (critical speed apparatus). *Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik*, 9, 53–73.
- Primawati, P., Qalbina, F., Mulyanti, M., Yanuar, F., Devianto, D., Lapis, R., & Rozi, F. (2025). Predictive maintenance of old grinding machines using machine learning techniques. *Journal of Applied Engineering and Technological Science*, 6(2), 874–888. <https://doi.org/10.37385/jaets.v6i2.6417>
- Rakes, D., Arif, M., Setiawan, A., Nasution, K. P., & Prastyo, Y. (2024). Preventive maintenance on CNC machines using the OEE method to reduce downtime at PT MTAT. *Jurnal Impresi Indonesia*, 3(7), 481–490. <https://doi.org/10.58344/jii.v3i7.5116>
- Ramitsa, Y. A., & Indrawati, C. D. (2025). Analisis dan usulan peningkatan efektivitas mesin centrifugal dengan pendekatan overall equipment effectiveness (OEE), six big losses, dan total productive maintenance (TPM). *Widya Teknik*, 24(2), 111–119. <https://doi.org/10.33508/wt.v24i2.7406>
- Sastriawan, A. (2024). Penjadwalan pemeliharaan mesin produksi menggunakan reliability centered maintenance. *Jurnal Teknologi*, 14(1), 26–35. <https://doi.org/10.35134/jitekin.v14i1.113>
- Suryani, F., Syarif, S. A., & Azhari, A. (2023). Analisis preventive maintenance komponen mesin pulp dengan metode age replacement. *Journal of Industrial and Manufacture Engineering*, 7(1), 115–125. <https://doi.org/10.31289/jime.v7i1.9498>
- Yang, Z., Baraldi, P., & Zio, E. (2021). A multi-branch deep neural network model for failure prognostics based on multimodal data. *Journal of Manufacturing Systems*, 59, 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.01.007>