

TUGAS AKHIR

**ANALISIS KERUSAKAN PADA SISTEM TRANSMISI
FORKLIFT DAN STRATEGI PERAWATANNYA**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

MUHAMMAD ALFANNY IRAWAN
2207230041



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2026**

HALAMAN PENGESAHAN

Proposal penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh:

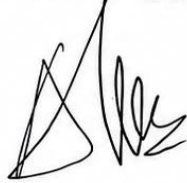
Nama : Muhammad Alfanny Irawan
NPM : 2207230041
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Analisis Kerusakan Pada Sistem Transmisi Forklift dan Strategi Perawatannya
Bidang ilmu : Kontruksi Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 5 Agustus 2026

Mengetahui Dan Menyetujui:

Dosen Penguji I



(Dr. Sudirman Lubis, S.T., M.T)

Dosen Penguji II



(Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T)

Dosen Penguji III



(Chandra A Siregar, S.T., M.T)

Ketua Program Studi Teknik Mesin



(Chandra A Siregar, S.T., M.T)

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : MUHAMMAD ALFANNY IRAWAN
Tempat/Tanggal Lahir : Medan/ 15 Juli 2004
Npm : 2207230041
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujur nya,bahwa Tugas Akhir yang berjudul,
“ANALISIS KERUSAKAN PADA SISTEM TRANSMISI FORKLIFT DAN STRATEGI PERAWATANNYA”

Bukan merupakan plagiarisme,pencurian hasil karya milik orang lain,hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non – material ataupun segala kemungkinan lain, yang ada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik

Bila kemudian hari di duga kuat ada ketidak sesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia di proses oleh tim fakultas yang di bentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Medan ,14 Agustus 2026

Saya yang menyatakan



MUHAMMAD ALFANNY IRAWAN

ABSTRAK

Sistem transmisi merupakan komponen utama pada forklift yang berfungsi menyalurkan tenaga dari mesin ke roda penggerak sehingga mendukung proses perpindahan material. Kerusakan pada sistem transmisi dapat menurunkan performa unit, meningkatkan biaya perawatan, serta menyebabkan bertambahnya waktu henti (*downtime*) yang berdampak pada produktivitas operasional perusahaan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab kerusakan sistem transmisi forklift, mengidentifikasi komponen yang paling sering mengalami kerusakan, serta menyusun strategi perawatan yang efektif untuk meningkatkan keandalan sistem transmisi. Penelitian dilaksanakan di PT Waruna Shipyard Indonesia dengan objek penelitian berupa forklift Komatsu FD25T-16. Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif dengan pendekatan studi kasus melalui observasi lapangan, inspeksi visual komponen, wawancara dengan teknisi dan operator, serta analisis data historis kerusakan. Analisis dilakukan menggunakan diagram Fishbone (Ishikawa) dan diagram Pareto. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerusakan sistem transmisi dipengaruhi oleh faktor mesin, material, manusia, metode, lingkungan, dan pengukuran. Komponen yang paling sering mengalami kerusakan adalah *clutch pack* (27,3%), diikuti kontaminasi oli transmisi (21,2%), *torque converter* (15,2%), dan *gear set* (12,1%). Inspeksi visual menunjukkan keausan kampas kopling, perubahan warna pada *steel plate* akibat *overheating*, goresan pada piston *clutch*, kebocoran *oil seal*, serta kontaminasi oli oleh partikel logam. Untuk mengurangi kerusakan tersebut, direkomendasikan penerapan *preventive maintenance*, *predictive maintenance*, dan *corrective maintenance* melalui penggantian oli dan filter secara berkala, inspeksi rutin, pemantauan kondisi oli, serta peningkatan kompetensi operator. Strategi ini diharapkan mampu menurunkan *downtime*, meningkatkan *availability* forklift, memperpanjang umur pakai komponen transmisi, dan meningkatkan efisiensi operasional perusahaan.

Kata kunci: forklift, sistem transmisi, kerusakan, *clutch pack*, *preventive maintenance*, *predictive maintenance*.

ABSTRACT

The transmission system is one of the main components of a forklift that functions to transmit power from the engine to the drive wheels, enabling efficient material handling operations. Damage to the transmission system can reduce equipment performance, increase maintenance costs, and extend downtime, thereby affecting the company's operational productivity. This study aims to analyze the causes of transmission system failures in forklifts, identify the components that experience the highest failure frequency, and develop an effective maintenance strategy to improve transmission system reliability. The research was conducted at PT Waruna Shipyard Indonesia using a Komatsu FD25T-16 forklift as the research object. A descriptive research method with a case study approach was employed through field observations, visual inspections of transmission components, interviews with technicians and operators, and analysis of historical failure data. The data were analyzed using the Fishbone (Ishikawa) diagram to identify the root causes of failures and the Pareto diagram to determine critical components. The results indicate that transmission system failures are influenced by machine, material, human, method, environmental, and measurement factors. The most frequently damaged component was the clutch pack (27.3%), followed by transmission oil contamination (21.2%), the torque converter (15.2%), and the gear set (12.1%). Visual inspection revealed clutch friction plate wear, discoloration of the steel plates due to overheating, scratches on the clutch piston, oil seal leakage, and transmission oil contamination by metal particles. To reduce these failures, an integrated maintenance strategy consisting of preventive, predictive, and corrective maintenance is recommended. The implementation of this strategy is expected to reduce downtime, improve forklift availability, extend the service life of transmission components, and enhance the company's operational efficiency.

Keywords: forklift, transmission system, failure, clutch pack, preventive maintenance, predictive maintenance.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan proposal penelitian ini dengan judul :

“ANALISIS KERUSAKAN PADA SISTEM TRANSMISI FORKLIFT DAN STRATEGI PERAWATANNYA”.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Chandra A Siregar, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini Ditujukan kepada ketua dan sekretaris Prodi Teknik Mesin.
2. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T selaku Ketua Program Studi serta Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak ASSOC PROF. IR. Ade Faisal, S.T., M.SC., PH.D selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknikmesinan kepada penulis.
5. Kedua orang tua tercinta penulis yaitu Ayahanda Alfianto us dan Ibunda Sukamti yang telah membesarkan, mengasuh, mendidik, serta senantiasa memberikan kasih sayang, do'a yang tulus, dan dukungan moril maupun material sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Seluruh Karyawan Heavy Equipment yang telah memberikan banyak ilmu dan pengalaman kepada penulis.
8. Rekan-rekan seperjuangan Taufik Wanda Syahputra, Noval Prasetyo, Rangga Dwi Matondang, Alwi Prasetyo, Billy Ersada Ginting yang telah banyak membantu dan memberi dukungan kepada penulis.

9. Sahabat-sahabat penulis : Ahlad Nawawy MZ, Abdul Fahrizal, Khairul Fahmi Purba, M Prasetyo Hutagalung.

Proposal Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-mesinan.

Medan, 14 November 2025

Muhammad Alfanny Irawan

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR NOTASI	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Forklift	4
2.2 Spesifikasi Forklift	5
2.2.1 Komponen utama Transmisi Forklift	6
2.3 Sistem Transmisi Forklift	10
2.3.1 Fungsi utama Transmisi Forklift	11
2.3.2 Jenis-Jenis Transmisi Forklift	12
2.4 Analisis Kerusakan (<i>failure analysis</i>)	13
2.4.1 Teori Keausan (<i>wear theory</i>)	13
2.4.2 Karakteristik Kerusakan Transmisi	14
2.4.3 Metode Identifikasi Kerusakan	15
2.5 Strategi Perawatan (<i>maintenance strategy</i>)	15
2.5.1 Definisi Perawatan	15
2.5.2 Jenis-Jenis Metode Perawatan	16
2.5.3 Prosedur standar operasional (SOP)	17
BAB 3 METODE PENELITIAN	18
3.1 Tempat dan waktu penelitian	18
3.1.1 Tempat penelitian	18
3.1.2 Waktu penelitian	18
3.2 Bahan dan Alat	19
3.2.1 Bahan penelitian	19
3.2.2 Alat penelitian	21
3.3 Bagan Alir Penelitian	25
3.4 Rancangan Alat Penelitian	26
3.5 Prosedur Penelitian	26
3.6 Langkah-langkah pembongkaran komponen Transmisi Forklift	27
3.7 Pengumpulan Data	28
3.8 Pengolahan Data	28

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Hasil Penelitian	29
4.1.1 Faktor Penyebab Utama Kerusakan Sistem Transmisi Forklift	29
4.1.2 Pembongkaran Transmisi dan Pengecekan Kerusakan	39
4.1.3 Frekuensi Kerusakan Komponen Transmisi	47
4.1.4 Analisa Visual Kerusakan Transmisi Pada Komponen Clutch Pack	51
4.2 Strategi Perawatan Efektif untuk Meminimalisir Kerusakan Transmisi	55
4.2.1 Tindakan Pencegahan (<i>Preventive Action</i>)	56
4.2.2 Evaluasi Efektivitas Strategi Perawatan Preventive	56
4.2.3 Rekomendasi Program Perawatan Preventif	57
4.3 Dampak Kerusakan Sistem Transmisi Terhadap Kinerja Produktivitas	59
 BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	 61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	61

DAFTAR PUSTAKA

Lampiran 1. Lembar Asistensi

Lampiran 2. SK Pembimbing

Lampiran 3. Berita Acara Seminar Hasil Penelitian

Lampiran 4. Daftar Riwayat Hidup

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Forklift	4
Gambar 2.2 Spesifikasi Forklift	5
Gambar 2.3 <i>Torque Converter</i>	6
Gambar 2.4 Clutch Pack	6
Gambar 2.5 Gear Set	7
Gambar 2.6 Valve Body	7
Gambar 2.7 Pompa Oli Transmisi	8
Gambar 2.8 Differential dan Final Drive	8
Gambar 2.9 Oli Transmisi	9
Gambar 2.10 Poros Input	9
Gambar 2.11 Solenoid	10
Gambar 3.1 Transmisi Forklift	19
Gambar 3.2 Oli Transmisi	19
Gambar 3.3 Cairan Pembersih (<i>degreaser</i>)	20
Gambar 3.4 Kain Majun	20
Gambar 3.5 Seal dan Gasket Cadangan	21
Gambar 3.6 Kunci Ring dan Pas	21
Gambar 3.7 Dongkrak	22
Gambar 3.8 Thermometer Infrared	22
Gambar 3.9 Pressure Gauge	23
Gambar 3.10 Dial Indicator	23
Gambar 3.11 Container Oli Bekas	24
Gambar 3.12 Kunci Filter Oli	24
Gambar 3.13 Filter Oli	24
Gambar 3.14 Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 3.15 Transmisi Forklift	26
Gambar 4.1 Diagram Sebab-Akibat (Fishbone) Kerusakan Sistem Transmisi Forklift	38
Gambar 4.2 Alat-Alat Kerja	40
Gambar 4.3 Pelepasan Penutup Lantai	40
Gambar 4.4 Pemutusan dan Memberi Tanda Sambungan Kabel	41
Gambar 4.5 Pelepasan Tuas Pengendali Arah dan Kecepatan	41
Gambar 4.6 Selang Pendingin oli Transmisi	42
Gambar 4.7 Pelepasan Poros Propeller Shaft	42
Gambar 4.8 Tempat wadah Penampung Oli	43
Gambar 4.9 Proses Pelepasan Baut Transmisi dengan Mesin	43
Gambar 4.10 Menyangga Transmisi Menggunakan Dongkrak	44
Gambar 4.11 Penarikan Transmisi menggunakan Crane	44
Gambar 4.12 Pemeriksaan Komponen Transmisi	45

Gambar 4.13 Pelepasan Cover Transmisi	45
Gambar 4.14 Komponen Eksternal Transmisi	46
Gambar 4.15 Komponen Internal Transmisi	46
Gambar 4.16 Diagram Pareto Frekuensi Kerusakan Komponen Transmisi	50
Gambar 4.17 Estimasi Penurunan Downtime Setelah Penerapan Perawatan Preventif	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Forklift	5
Tabel 3.1 Waktu Penelitian	18
Tabel 4.1 Hasil Pengambilan Data Selama 1 Bulan Melalui Observasi	29
Tabel 4.2 Hasil Identifikasi Jenis Kerusakan Komponen Transmisi	47
Tabel 4.3 Komponen yang Menyebabkan Kerusakan bagian Clutch Pack	48
Tabel 4.4 Rekapitulasi Frekuensi Kerusakan Komponen Transmisi	49
Tabel 4.5 Analisis Visual Kerusakan	51
Tabel 4.6 Perbandingan Komponen Yang Rusak dan Yang Bagus	54
Tabel 4.7 Usulan Strategi Perawatan Komponen Kritis Transmisi	55
Tabel 4.8 Ringkasan Rekomendasi Program Perawatan Preventif	58

DAFTAR NOTASI

Satuan	Keterangan
T_{max}	Torsi maksimum
rpm	Kecepatan Putar
T	Torsi Kerja
P	Daya Transmisi
n	Putaran poros
μ	Koefisien Gesek
F	Gaya Tekan
ΔT	Kenaikan Temperatur

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam ekosistem industri modern dan rantai pasok global, peran alat angkut-angkut seperti forklift menjadi determinan utama dalam efisiensi operasional pergudangan dan logistik. Forklift tidak hanya berfungsi sebagai alat pemindah barang, tetapi merupakan aset strategis yang menentukan kelancaran arus material di lini produksi maupun distribusi. Menurut Gunawan dan Ahsan (2022), efektivitas kinerja forklift sangat bergantung pada keandalan sistem mekanisnya, di mana gangguan kecil pada unit dapat memicu *bottleneck* yang berdampak pada kerugian finansial yang signifikan bagi perusahaan. Oleh karena itu, menjaga performa alat berat ini melalui manajemen aset yang profesional sangat krusial menjamin keberlanjutan proses bisnis di tengah persaingan pasar yang semakin kompetitif.

Meskipun teknologi forklift terus berkembang, realitas di lapangan menunjukkan bahwa angka kerusakan transmisi tetap tinggi akibat minimnya implementasi strategi perawatan yang komprehensif. Sering kali, perusahaan terjebak dalam pola *reactive maintenance*, di mana tindakan hanya diambil setelah kerusakan fatal terjadi, yang berujung pada tingginya biaya *downtime*. Riset oleh Fithri dkk. (2021) menekankan bahwa kegagalan dalam penjadwalan perawatan rutin merupakan faktor utama yang mempercepat kerusakan komponen transmisi. Fenomena ini diperparah oleh kurangnya data kualitatif mengenai riwayat kerusakan spesifik yang terjadi pada unit. Kondisi tersebut menuntut adanya studi kualitatif yang mendalam untuk membedah akar permasalahan teknik serta merumuskan strategi perawatan yang lebih adaptif dan berbasis kondisi aktual di lapangan.

Penelitian terkini menunjukkan bahwa kerusakan pada sistem transmisi forklift sering disebabkan oleh faktor seperti keausan komponen, kontaminasi oli, dan kesalahan operasional, yang dapat dideteksi melalui analisis kegagalan (*failure analysis*). Menurut Lee et al. (2023) dalam *International Journal of Industrial Engineering* mengungkapkan bahwa strategi perawatan prediktif menggunakan sensor IoT dapat mengurangi tingkat kerusakan hingga 30%, namun implementasinya masih terbatas di industri kecil dan menengah. Buku Anderson

(2022) tentang *Preventive Maintenance in Manufacturing* menyoroti pentingnya audit rutin untuk mencegah kerusakan kronis, yang sering diabaikan karena biaya tinggi. Di Indonesia, penelitian oleh Patel & Gupta (2024) di *Journal of Mechanical Engineering and Automation* menekankan bahwa kurangnya kesadaran tentang perawatan preventif berkontribusi pada peningkatan insiden kerusakan, terutama di sektor manufaktur. Namun, literatur ini lebih dominan pada analisis kuantitatif, sehingga ada kesenjangan dalam pemahaman kualitatif tentang pengalaman praktisi dan tantangan implementasi strategi perawatan di konteks lokal. Hal ini menunjukkan perlunya penelitian yang mengintegrasikan perspektif kualitatif untuk mengisi celah tersebut.

Pendekatan kualitatif dalam studi ini diadopsi untuk mengeksplorasi narasi dan pengalaman subjektif dari teknisi dan operator forklift, yang tidak dapat ditangkap sepenuhnya melalui metode kuantitatif (Patel & Gupta, 2024). Dengan menggunakan teknik seperti wawancara mendalam dan analisis dokumen, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pola kerusakan spesifik dan strategi perawatan yang efektif, sambil mempertimbangkan konteks budaya kerja di Indonesia. Kritik terhadap literatur sebelumnya adalah kurangnya fokus pada aspek manusia dan organisasi, seperti pelatihan operator dan budaya keselamatan, yang sering menjadi akar masalah (Anderson, 2022). Oleh karena itu, penelitian ini secara kritis menganalisis bagaimana faktor-faktor ini mempengaruhi efektivitas perawatan, dengan harapan dapat memberikan rekomendasi praktis yang lebih holistik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka permasalahan yang dibahas dalam makalah ini Adalah:

1. Apa faktor penyebab utama terjadinya kerusakan pada sistem transmisi forklift?
2. Bagaimana strategi perawatan yang efektif untuk meminimalisir kerusakan sistem transmisi forklift?
3. Bagaimana dampak kerusakan sistem transmisi terhadap kinerja dan produktivitas forklift?

1.3 Ruang Lingkup

Agar penelitian ini lebih terarah dan fokus, maka ruang lingkup penelitian dibatasi pada hal-hal berikut ini:

1. Penelitian ini akan difokuskan pada kerusakan sistem transmisi forklift dan strategi perawatan yang dilakukan di PT Waruna Shipyard Indonesia
2. Analisis kerusakan berdasarkan data lapangan dan wawancara dari teknisi forklift.
3. Hasil penelitian ini diharapkan pada lingkungan industri yang menggunakan alat berat forklift.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis jenis-jenis kerusakan yang paling sering terjadi pada sistem transmisi forklift berdasarkan data historis perawatan
2. Mengevaluasi efektivitas strategi perawatan preventif yang saat ini diterapkan dalam mengurangi *downtime* akibat kerusakan transmisi forklift
3. Memberikan rekomendasi program perawatan preventif guna meningkatkan keandalan, umur pakai, dan kinerja sistem transmisi forklift.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan beberapa manfaat, baik secara teoritis maupun praktis, Sebagai berikut.

1. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang Teknik mesin dan pemeliharaan peralatan industri, Khususnya mengenai karakteristik kerusakan pada sistem transmisi forklift serta pendekatan perawatan yang efektif
2. Penelitian ini memberikan pemahaman lebih baik mengenai gejala awal kerusakan, Penyebab kerusakan, serta Tindakan perawatan yang tepat.
3. Penelitian ini dapat dijadikan referensi bagi mahasiswa untuk penelitian lanjutan

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Forklift

Forklift merupakan peralatan material handling yang krusial dalam industri manufaktur, logistik, dan pergud, di mana sistem transmisi berperan penting dalam memindahkan beban berat secara efisien (Kumar & Singh, 2022). Sistem transmisi forklift, yang meliputi komponen seperti gearbox, rantai, dan hidraulik, sering mengalami kerusakan akibat beban operasional tinggi, kondisi lingkungan ekstrem, dan kurangnya perawatan rutin, yang dapat menyebabkan *downtime* operasional dan biaya perbaikan tinggi (Rahman et al., 2023). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kerusakan transmisi berkontribusi terhadap 30-40% dari total kegagalan forklift, terutama di sektor industri berat seperti pabrik otomotif dan gudang distribusi (Lee & Kim, 2021). Oleh karena itu, pemahaman mendalam tentang mekanisme kerusakan ini penting untuk meningkatkan keandalan peralatan dan efisiensi operasional. Referensi utama dalam hal ini adalah studi Kumar dan Singh (2022) yang diterbitkan dalam *Journal of Manufacturing Systems* (terindeks Scopus), yang menganalisis data empiris dari 50 unit forklift di pabrik India, menunjukkan bahwa keausan komponen transmisi sering disebabkan oleh vibrasi berlebih dan kurangnya pelumasan. Penelitian ini menekankan perlunya pendekatan kualitatif untuk mengidentifikasi pola kerusakan melalui wawancara dengan operator dan inspeksi lapangan.



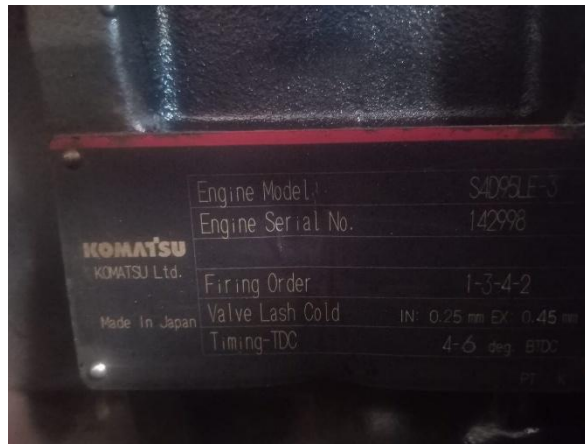
Gambar 2.1 Forklift

Sumber : PT. Waruna Shipyard Indonesia

Forklift bekerja berdasarkan prinsip konversi energi, keseimbangan (stabilitas), dan sistem hidrolik untuk mengangkat serta memindahkan beban. Secara umum, forklift mengubah energi dari mesin atau motor listrik menjadi energi mekanik dan hidrolik yang digunakan untuk menggerakkan kendaraan serta mengangkat beban melalui garpu (*forks*).

2.2 Spesifikasi Forklift

Spesifikasi Transmisi Forklift yang digunakan sebagai bahan penelitian ini adalah sebagai berikut



Gambar 2.2 Spesifikasi Forklift

Sumber : PT. Waruna Shipyard Indonesia

Tabel 2.1 Spesifikasi Forklift (Komatsu FD25T-16)

Brand/Model	Komatsu FD25T-16
Product Type	Counterbalance
Engine Model	S4D95LE-3
Load Capacity	2,5 ton / 2,500kg
Lift Height	3,000 mm / Opsional
Load Center	500 mm
Turning Radius	2.190-2.240 mm
Engine Power	55 kW
Valve Last Cold	IN: 0.25-0.34mm EX: 0.45-0.55mm
Firing Order	1-3-4-2
Timing-TDC	4-6 deg BTDC

2.2.1 Komponen utama Transmisi Forklift

Berikut ini adalah komponen-komponen Transmisi forklift:

1. *Torque Converter*

Torque converter adalah komponen utama pada transmisi otomatis forklift yang berfungsi sebagai pengganti kopling mekanis. Komponen ini bekerja berdasarkan prinsip fluida untuk mentransmisikan daya dari mesin ke transmisi, Kerusakan umumnya yang sering terjadi seperti slip, panas berlebih, dan kehilangan efisiensi torsi akibat kualitas oli yang buruk.



Gambar 2.3 *Torque Converter*

Sumber : PT. Waruna Shipyard Indonesia

2. *Clutch Pack (Forward–Reverse Clutch)*

Clutch pack berfungsi untuk mengatur arah putaran forklift (maju dan mundur). Pada transmisi forklift, clutch ini diaktifkan menggunakan tekanan hidrolik, Kerusakan umumnya yang sering terjadi seperti kampas aus, slip, dan respon lambat akibat tekanan oli rendah.



Gambar 2.4 Clutch Pack

Sumber : PT. Waruna Shipyard Indonesia

3. Gear Set (Rangkaian Roda Gigi)

Gear set merupakan komponen mekanis yang berfungsi untuk mengatur rasio kecepatan dan torsi. Gear pada forklift dirancang kuat untuk menahan beban berat dalam waktu lama, Kerusakan umumnya yang sering terjadi seperti keausan gigi, patah gigi, dan kebisingan akibat pelumasan tidak optimal.



Gambar 2.5 Gear Set

Sumber : PT. Waruna Shipyard Indonesia

4. Valve Body

Valve body adalah pusat pengendali aliran oli hidrolik dalam transmisi forklift. Komponen ini berfungsi mengatur tekanan oli ke clutch pack dan gear system, Kerusakan umumnya yang sering terjadi seperti katup macet, tekanan tidak stabil, dan kontaminasi oli.



Gambar 2.6 Valve Body

Sumber : PT. Waruna Shipyard Indonesia

5. Pompa Oli Transmisi

Pompa oli berfungsi untuk mensirkulasikan oli transmisi ke seluruh sistem. Pompa ini digerakkan langsung oleh mesin, Kerusakan umum yang sering terjadi seperti tekanan rendah, keausan pompa, dan kegagalan pelumasan.



Gambar 2.7 Pompa Oli Transmisi

Sumber : PT. Waruna Shipyard Indonesia

6. Differential dan Final Drive

Differential berfungsi untuk membagi putaran ke roda kiri dan kanan sehingga forklift dapat berbelok dengan stabil. Final drive berperan dalam peningkatan torsi akhir sebelum diteruskan ke roda, Kerusakan yang sering terjadi seperti keausan gear differential, bunyi kasar, dan panas berlebih.



Gambar 2.8 Differential dan Final Drive

Sumber : PT. Waruna Shipyard Indonesia

7. Oli Transmisi

Oli transmisi merupakan elemen vital yang berfungsi sebagai media pemindah tenaga, pelumas komponen, pendingin sistem, Kualitas dan viskositas oli sangat berpengaruh terhadap umur pakai transmisi forklift.



Gambar 2.9 Oli Transmisi

Sumber : PT. Waruna Shipyard Indonesia

8. Poros Input

Poros input pada transmisi forklift berfungsi sebagai penerima dan penyalur utama tenaga mesin, serta menjadi awal pengaturan torsi dan kecepatan yang memungkinkan forklift bekerja kuat, stabil, dan aman saat mengangkat beban.



Gambar 2.10 Poros Input

Sumber : PT. Waruna Shipyard Indonesia

9. Solenoid

Solenoid pada transmisi forklift berfungsi sebagai katup elektro-hidrolik yang mengatur aliran oli transmisi berdasarkan sinyal Listrik dari kontroler (TCU/ECU). Komponen ini mengontrol perpindahan gigi (maju/mundur) secara otomatis dan mengatur tekanan oli pada clutch transmisi, sehingga menjamin pengoperasian yang halus, presisi, dan aman.



Gambar 2.11 Solenoid

Sumber : PT. Waruna Shipyard Indonesia

2.3 Sistem Transmisi Forklift

Sistem transmisi pada forklift memiliki peran yang lebih kompleks dibandingkan kendaraan standar karena tuntutan pekerjaan yang melibatkan angkat-beban (*lifting*) dan perpindahan arah yang konstan.

Sistem transmisi pada forklift merupakan subsistem yang sangat penting, berfungsi untuk menyalurkan tenaga dari mesin ke roda penggerak sehingga forklift mampu bergerak dan bekerja sesuai beban. Transmisi juga berperan dalam mengatur perbandingan kecepatan dan torsi untuk menghadapi kondisi operasi yang bervariasi, seperti saat membawa beban berat atau melakukan manuver di area sempit. Kerusakan pada sistem transmisi dapat menimbulkan down-time yang signifikan, menurunkan produktivitas, dan meningkatkan biaya operasional serta risiko kecelakaan kerja. Oleh karena itu, pemahaman mendalam tentang sistem transmisi forklift merupakan bagian penting dalam studi kerusakan dan strategi perawatan (R Haryanto., 2022)

Prinsip kerja sistem transmisi forklift dimulai dari tenaga putar mesin yang diteruskan ke *torque converter* atau kopling. Kemudian tenaga tersebut diatur oleh rangkaian gear set atau sistem hidrolik sebelum sampai ke differential dan roda

penggerak. Pada transmisi otomatis, tekanan oli hidrolik yang dikendalikan oleh valve body akan mengatur perpindahan gigi berdasarkan beban dan kecepatan yang dibutuhkan. Sementara itu, pada transmisi hidrostatik, pompa mengubah energi mekanik menjadi energi hidrolik yang kemudian dikembalikan menjadi tenaga mekanik oleh motor hidrolik, menghasilkan gerakan roda.

Transmisi forklift bekerja dalam lingkungan operasi yang berat dan sering mengalami siklus kerja berulang. Kerusakan yang umum terjadi meliputi keausan gear, slip clutch, turunnya tekanan oli, dan kebocoran sistem hidrolik. Karena itu, strategi perawatan seperti *preventive maintenance* dengan interval yang tepat sangat penting untuk mencegah kerusakan besar dan memperpanjang umur komponen. Salah satu penelitian (W Novarika., 2025) menunjukkan bahwa penerapan strategi *preventive maintenance* yang mempertimbangkan nilai MTBF dan MTTR dapat meningkatkan nilai *availability* forklift hingga mendekati target operasional yang optimal, sehingga mengurangi *downtime* secara signifikan.

2.3.1 Fungsi Utama Transmisi Forklift

Berikut Adalah fungsi-fungsi utama transmisi forklift:

1. Transformasi Torsi dan Kecepatan

Fungsi utama transmisi adalah mengubah daya (tenaga) yang dihasilkan oleh mesin menjadi kombinasi torsi (momen puntir) dan kecepatan yang sesuai dengan kebutuhan operasional. Forklift memerlukan torsi yang sangat besar pada kecepatan rendah untuk memulai gerakan saat membawa beban maksimal atau saat mendaki tanjakan (*gradeability*).

2. Pengaturan Arah Jalan (*Shuttle Operation*)

Transmisi memungkinkan unit forklift untuk berpindah arah dari maju (*forward*) ke mundur (*reverse*) secara efisien. Pada tipe transmisi otomatis atau hidrostatik, perpindahan ini dapat dilakukan tanpa harus menghentikan putaran mesin sepenuhnya, yang sangat mendukung produktivitas manuver di area pergudangan.

3. Fungsi *Inching* (Pergerakan Presisi)

Melalui sistem *inching pedal*, transmisi memungkinkan forklift bergerak sangat lambat dengan presisi tinggi (merayap) sementara putaran mesin tetap tinggi. Hal ini memungkinkan sistem hidrolik (garpu) tetap mendapatkan tenaga maksimal

dari mesin untuk mengangkat beban dengan cepat, namun unit tetap dapat dikendalikan dalam jarak milimeter saat menata barang.

4. Memutus Arus Tenaga (Posisi Netral)

Transmisi berfungsi untuk memutus aliran tenaga dari mesin ke roda penggerak. Hal ini memungkinkan mesin tetap menyala untuk mengoperasikan fungsi angkat (*lifting*) tanpa membuat unit forklift bergerak maju atau mundur.

2.3.2 Jenis Jenis Transmisi Forklift

Secara umum, sistem transmisi yang digunakan pada unit forklift terbagi menjadi tiga jenis utama berdasarkan mekanisme perpindahan tenaganya. Pemilihan jenis transmisi ini sangat bergantung pada medan kerja dan beban yang akan ditangani.

1. Transmisi Hidrodinamik (*Torque Converter*)

Transmisi ini adalah jenis yang paling umum ditemukan pada forklift kelas menengah hingga berat (kapasitas 2 ton ke atas). Sistem ini menggunakan media fluida (oli transmisi) dan komponen *torque converter* untuk menyalurkan tenaga dari mesin ke roda. Dan cara kerja transmisi ini melalui tenaga dari mesin memutar *pump impeller*, yang kemudian mengalirkan oli untuk memutar *turbine* yang terhubung ke sistem gigi, Dan memiliki karakteristik Sangat kuat untuk mengangkat beban berat secara konstan dan memberikan akselerasi yang halus.

2. Transmisi Hidrostatik (*Hydrostatic Drive*)

Transmisi hidrostatik tidak menggunakan roda gigi atau plat kopling untuk perpindahan tenaga, melainkan menggunakan tekanan hidrolik murni. Cara kerja transmisi ini melalui mesin memutar pompa hidrolik variabel, yang kemudian menyuplai oli bertekanan tinggi ke motor hidrolik pada poros roda. Dan memiliki karakteristik kontrol kecepatan yang sangat presisi, respon maju-mundur yang sangat cepat, dan mampu melakukan pengereman otomatis saat pedal dilepas (*dynamic braking*). Sangat ideal untuk gudang dengan area sempit yang membutuhkan banyak manuver.

3. Transmisi Manual (*Friction Clutch*)

Meskipun saat ini sudah mulai jarang digunakan pada unit baru, transmisi manual masih ditemukan pada forklift model lama atau forklift khusus medan berat. Cara kerja transmisi ini menggunakan plat kopling gesek dan tuas pemindah gigi

manual untuk menghubungkan tenaga mesin. Memiliki karakteristik efisiensi transfer tenaga yang tinggi karena tidak ada energi yang hilang dalam fluida, namun memerlukan keahlian operator lebih tinggi dan perawatan plat kopling yang rutin.

2.4 Analisis Kerusakan (*Failure Analysis*)

Analisis kerusakan (*failure analysis*) merupakan proses evaluasi teknis untuk memahami penyebab dan mekanisme kegagalan fungsi pada komponen transmisi. Kegagalan ini umumnya disebabkan oleh interaksi antara beban mekanis, kondisi pelumasan, temperatur kerja, serta sifat material komponen. Dengan memahami teori dasar kegagalan, tindakan pencegahan dan perbaikan dapat dilakukan secara efektif.

2.4.1 Teori Keausan (*Wear Theory*)

Keausan adalah proses degradasi permukaan komponen akibat gesekan, beban, dan kondisi operasi yang menyebabkan berkurangnya material dari komponen kerja. Teori keausan penting dalam menganalisis kerusakan transmisi karena hampir semua kegagalan transmisi berakar dari fenomena ini, misalnya pada roda gigi, bantalan, atau kopling. Beberapa mekanisme keausan utama yang sering terjadi adalah sebagai berikut:

1. Keausan Abrasi (*Abrasive Wear*)

Keausan abrasi terjadi ketika partikel keras atau permukaan kasar bergesekan dengan permukaan lain yang lebih lunak pada transmisi, Akibatnya permukaan roda gigi dan bantalan menjadi tergores, yang dapat mempercepat penurunan efisiensi dan memperpendek umur komponen.

2. Keausan Adhesi (*Adhesive Wear*)

Keausan adhesi terjadi akibat kontak langsung antar permukaan logam tanpa lapisan pelumas yang memadai. Pada kondisi beban dan temperatur tinggi, mikro-ikatan (*micro-welding*) dapat terbentuk dan terlepas saat terjadi gerakan relative, Hal ini menyebabkan permukaan komponen menjadi kasar, Keausan adhesi umumnya terjadi pada kopling dan roda gigi yang bekerja pada kondisi pelumasan ekstrem.

3. Kelelahan Material (*Fatigue Wear*)

Kelelahan material terjadi akibat pembebanan berulang (*cyclic loading*) yang menyebabkan retak mikro pada permukaan atau bagian dalam material pada transmisi, Kelelahan sering terjadi pada gigi roda gigi akibat beban torsi yang berubah ubah, Retakan mikro yang tidak terdeteksi dapat berkembang menjadi retakan makro dan menyebabkan kegagalan komponen secara tiba-tiba.

2.4.2 Karakteristik Kerusakan Transmisi

Berikut adalah beberapa mode kegagalan yang sering muncul pada transmisi:

1. Overheating (Panas Berlebih)

Panas berlebih menyebabkan degradasi film pelumas, menurunkan viskositas oli, dan mempercepat keausan atau metal adhesion pada gear. Hal ini sering ditandai dengan warna oli yang gelap dan bau terbakar.

2. Kontaminasi Oli Transmisi

Kontaminasi dapat berupa partikel padat, air, atau radi tetapi sering terjadi karena seal bocor atau sistem filter yang tidak efektif. Kontaminan mempercepat *abrasive wear* dan mengurangi kemampuan pelumasan oli. Gejala yang terjadi seperti pertumbuhan keausan yang cepat pada gear / bearing

3. Slipping (Slip pada kopling)

Slip terjadi ketika kopling tidak sepenuhnya terkunci pada putaran yang diinginkan, sehingga transmisi kehilangan daya efektif yang ditransfer ke roda. Slip ini sering menyebabkan panas lokal dan keausan berlebih pada *clutch plate*.

4. Suara Abnormal (Noise) dan Getaran

Noise abnormal dan getaran adalah indikator awal kegagalan:

1. Noise

Bisa muncul akibat gigi aus, bearing rusak, atau pelumasan buruk.

2. Getaran

Gejala adanya ketidak seimbangan, salah pemasangan komponen, atau permukaan gear yang sudah rusak.

5. Keausan Komponen Pada Kampas Kopling

Keausan kampas kopling transmisi forklift adalah proses yang tidak dapat dihindari, tetapi bisa dikendalikan dan diperlambat dengan pengoperasian dan

perawatan yang benar. Kampas kopling yang aus akan menyebabkan penurunan performa, slip, overheating, dan kerusakan lanjutan, sehingga pemeriksaan rutin dan perawatan preventif sangat penting untuk menjaga keandalan forklift.

2.4.3 Metode Identifikasi Kerusakan

Identifikasi kerusakan transmisi dilakukan melalui:

1. Penggunaan Panca Indra

Visual: Pemeriksaan kebocoran oli, perubahan warna oli, serta keausan fisik komponen.

Pendengaran: Deteksi suara abnormal seperti gesekan, dengung, atau ketukan.

2. Penggunaan Alat Ukur

Pressure Gauge: Untuk mengukur tekanan oli transmisi dan memastikan sistem pelumasan bekerja normal.

Pengukur Temperatur: Untuk memantau suhu kerja transmisi dan mendeteksi potensi overheating.

Metode ini memungkinkan deteksi dini kerusakan sehingga perbaikan dapat dilakukan sebelum terjadi kegagalan total.

2.5 Strategi Perawatan (*Maintenance Strategy*)

Strategi perawatan (*Maintenance Strategy*) merupakan pendekatan sistematis dalam mengelola aktivitas perawatan mesin atau peralatan dengan tujuan menjaga keandalan, ketersediaan, dan umur pakai komponen. Dalam sistem transmisi, strategi perawatan sangat penting karena transmisi bekerja secara kontinu dan menanggung beban mekanis yang tinggi. Perawatan yang tepat dapat mencegah terjadinya kerusakan besar, mengurangi waktu henti (*downtime*), serta menekan biaya operasional.

2.5.1 Definisi Perawatan

Perawatan (*maintenance*) adalah seluruh aktivitas teknis dan manajerial yang dilakukan untuk menjaga atau mengembalikan kondisi peralatan agar dapat beroperasi sesuai fungsi yang diinginkan pada transmisi forklift, tujuan manajemen perawatan meliputi:

1. Menjaga keandalan dan kontinuitas operasi forklift
2. Mencegah kegagalan mendadak saat pengangkutan beban
3. Memperpanjang umur pakai komponen transmisi
4. Mengurangi waktu henti (*downtime*) dan biaya perbaikan
5. Menjamin keselamatan operator dan lingkungan kerja

Manajemen perawatan yang baik sangat penting karena kegagalan transmisi forklift dapat menyebabkan terhentinya aktivitas logistik dan produksi.

2.5.2 Jenis-jenis Metode Perawatan

Berikut Adalah jenis-jenis Metode Perawatan:

1. *Breakdown Maintenance*

Breakdown maintenance adalah metode perawatan yang dilakukan setelah transmisi forklift mengalami kerusakan atau gagal berfungsi. Contohnya adalah penggantian roda gigi atau kopling setelah forklift tidak dapat bergerak. Metode ini bersifat reaktif dan berisiko tinggi karena dapat menyebabkan kerusakan lanjutan, kehilangan produktivitas, serta biaya perbaikan yang besar.

2. *Preventive Maintenance*

Preventive maintenance merupakan metode perawatan yang dilakukan secara berkala berdasarkan waktu atau jam kerja forklift, meskipun belum terjadi kerusakan. Pada transmisi forklift, *Preventive maintenance* meliputi:

1. Penggantian oli transmisi sesuai interval jam kerja
2. Penggantian filter oli
3. Pemeriksaan kondisi kopling dan roda gigi
4. Pemeriksaan kebocoran dan kualitas pelumas

Metode ini bertujuan mencegah kerusakan akibat keausan dan kontaminasi oli, serta menjaga performa transmisi tetap optimal.

3. *Predictive Maintenance*

Predictive maintenance adalah metode perawatan berbasis kondisi aktual komponen. Pada forklift, metode ini dapat dilakukan dengan memantau:

1. Temperatur oli transmisi
2. Tekanan oli menggunakan pressure gauge
3. Getaran dan suara abnormal
4. Kondisi oli melalui analisis visual atau oil analysis

Dengan *predictive maintenance*, potensi kerusakan transmisi forklift dapat dideteksi lebih dini sehingga perbaikan dapat dilakukan sebelum terjadi kegagalan total.

2.5.3 Prosedur Standar Operasional (SOP)

Prosedur Standar Operasional (SOP) perawatan transmisi forklift disusun berdasarkan *service manual* pabrikan dan standar keselamatan kerja. SOP ini menjadi acuan utama dalam pelaksanaan perawatan, yang meliputi:

1. Jadwal Pelumasan

Pelumasan harus dilakukan sesuai jenis dan spesifikasi oli yang direkomendasikan pabrikan. Pelumasan yang tepat dapat mengurangi gesekan, mencegah keausan, dan menurunkan suhu kerja transmisi.

2. Penggantian Filter Oli

Filter oli transmisi harus diganti secara berkala untuk mencegah masuknya partikel logam dan kotoran yang dapat menyebabkan keausan abrasif pada roda gigi dan bantalan

3. Pengecekan Tekanan Oli

Tekanan oli transmisi diperiksa menggunakan *pressure gauge* untuk memastikan sistem pelumasan bekerja sesuai standar. Tekanan yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat menyebabkan slip kopling, overheating, dan kegagalan transmisi.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT. Waruna Shipyard Indonesia tepatnya di Workshop Heavy Equipment dan Laboratorium UMSU

3.1.2 Waktu Penelitian

Tabel 3.1 Waktu penelitian

No	Uraian Kegiatan	Waktu (Bulan)					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan Judul	■					
2	Studi Literatur		■	■			
3	Penulisan Laporan		■	■	■		
4	Seminar Proposal				■	■	
5	Pengambilan & Analisa Data				■	■	
6	Seminar Hasil					■	
7	Sidang Sarjana						■

3.2 Bahan dan Alat

Berikut merupakan Bahan dan Alat yang digunakan pada penelitian “Analisis Kerusakan Pada Sistem Transmisi Forklift Dan Strategi Perawatannya”.

3.2.1 Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan dalam proses penelitian ini Adalah:

1. Transmisi Forklift

Transmisi dalam penelitian ini berfungsi sebagai objek utama untuk mengkaji kerusakan pada transmisi forklift, Transmisi forklift berperan penting dalam menghubungkan tenaga mesin dengan roda penggerak sehingga forklift dapat bergerak maju, mundur, dan mengangkat muatan dengan efektif dan aman.



Gambar 3.1 Transmisi Forklift

2. Oli Transmisi (Automatic Transmission Fluid / Gear Oil)

Oli Transmisi berfungsi sebagai minyak pelumas yang bekerja untuk melumasi bagian gear dan juga beberapa komponen lain agar terhindar dari keausan.



Gambar 3.2 Oli Transmisi

3. Cairan Pembersih (*degreaser*)

Berfungsi sebagai menghilangkan minyak, lemak, dan kotoran yang menempel pada permukaan transmisi dan komponen lainnya. Produk ini mengandung bahan aktif yang mampu memecah dan melarutkan kotoran berminyak, membuatnya mudah dibersihkan.



Gambar 3.3 Cairan Pembersih (*degreaser*)

4. Kain Majun

Kain majun adalah kain lap yang berfungsi untuk membersihkan kotoran, oli atau sisa pelumas pada komponen transmisi selama proses pembongkaran dan perakitan komponen transmisi.



Gambar 3.4 Kain Majun

5. Seal dan Gasket Cadangan

Fungsi utama seal dan gasket adalah menutup sambungan antar komponen (perapat) agar minyak transmisi tidak bocor keluar, yang bisa menyebabkan kekurangan pelumas dan kerusakan serius.



Gambar 3.5 Seal dan Gasket Cadangan

3.2.2 Alat Penelitian

Adapun alat yang digunakan dalam proses penelitian ini adalah :

1. Kunci Ring dan Pas

Kunci-kunci ini sangat berperan penting sebagai alat penelitian digunakan untuk membuka dan mengencangkan baut pada Transmisi.



Gambar 3.6 Kunci Ring dan Pas

2. Dongkrak

Transmisi forklift memiliki bobot yang besar. Dongkrak berfungsi menahan transmisi agar tidak jatuh saat baut-baut pengikat dilepas dari mesin. Dan pada saat transmisi dilepas dari rangka forklift, distribusi beban kendaraan berubah. Jika tidak ditopang dengan benar, forklift bisa tidak stabil



Gambar 3.7 Dongkrak

3. Thermometer Infrared

Berfungsi sebagai Mengukur suhu pada rumah transmisi (*casing*) untuk memastikan tidak melebihi batas aman, yang bisa mengindikasikan masalah pelumasan atau keausan internal. Semua pengukuran dilakukan tanpa menyentuh komponen, sehingga aman digunakan pada kondisi mesin masih hidup dan transmisi sedang bekerja. Keunggulan ini sangat penting karena transmisi forklift biasanya beroperasi pada suhu tinggi dan berbahaya jika diukur secara manual.



Gambar 3.8 Thermometer Infrared

4. Pressure Gauge

Pressure Gauge berfungsi untuk Memastikan tekanan oli transmisi berada dalam rentang spesifikasi yang aman dan efisien untuk perpindahan gigi (*shifting*) dan pengoperasian pompa. Perubahan tekanan oli merupakan indikator awal adanya gangguan pada sistem transmisi. Pressure gauge membantu mendeteksi Tekanan terlalu rendah, Tekanan terlalu tinggi, Tekanan tidak stabil.



Gambar 3.9 Pressure Gauge

5. Dial Indicator

Dial Indicator Berfungsi untuk Memeriksa kebengkokan pada poros transmisi (*input shaft* atau *output shaft*) untuk memastikan poros tidak bergetar saat berputar.



Gambar 3.10 Dial Indicator

6. Container Oli Bekas

Container Oli Bekas Berfungsi sebagai Menampung oli bekas yang keluar dari mesin saat pergantian oli.



Gambar 3.11 Container Oli Bekas

7. Kunci Filter Oli

Berfungsi untuk memasang dan melepas filter oli dengan mudah dan aman.



Gambar 3.12 Kunci Filter Oli

8. Filter Oli

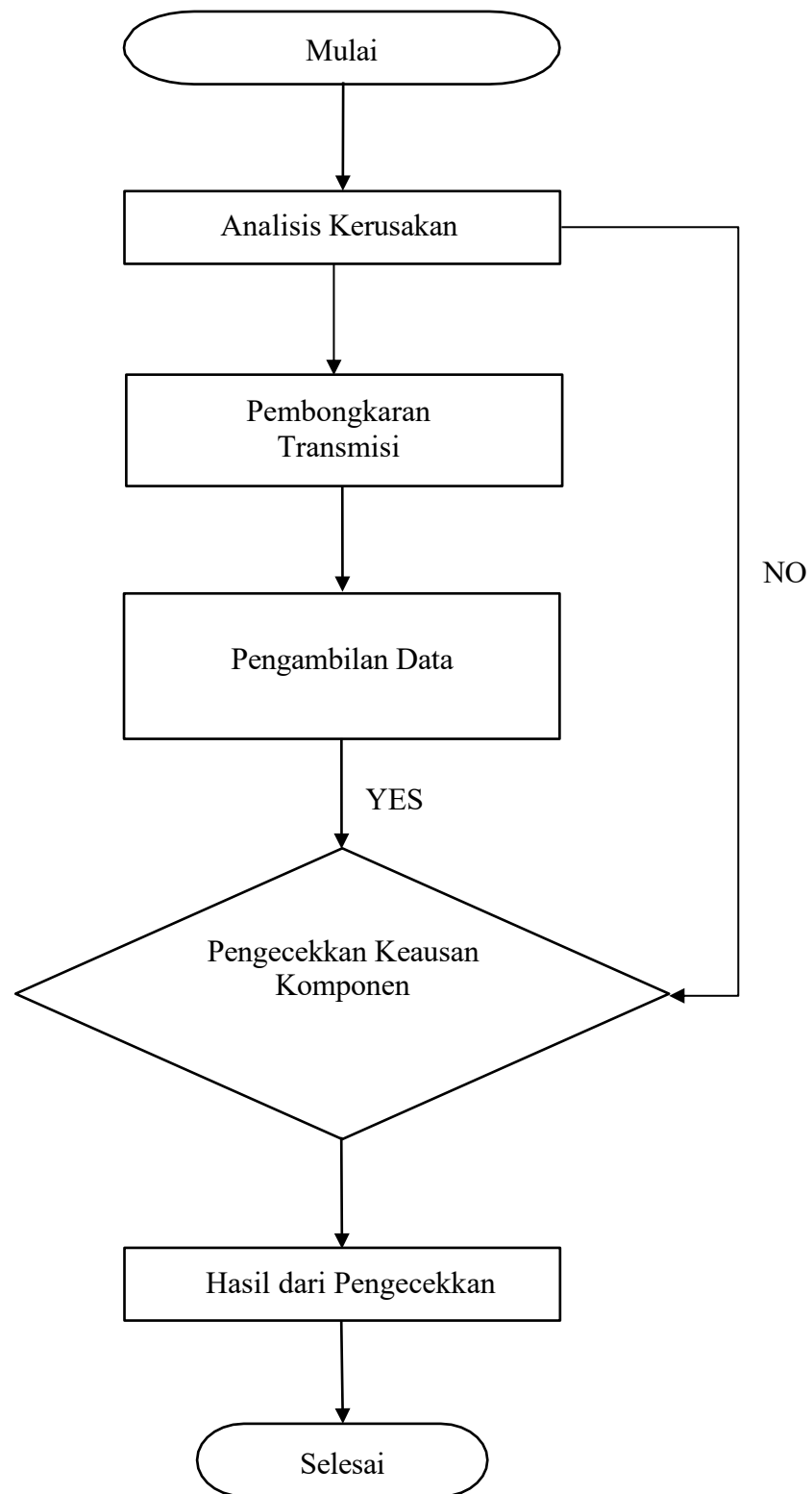
Filter oli pada transmisi berfungsi untuk menyaring kotoran dan partikel logam yang terbawa oleh oli transmisi selama proses kerja. Kotoran tersebut dapat berasal dari keausan gear, clutch, bearing, maupun kontaminasi dari luar.



Gambar 3.13 Filter Oli

3.3 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian ini dapat dilihat seperti dibawah ini:



Gambar 3.14 Diagram Alir Penelitian

3.4 Rancangan Alat Penelitian

Rancang alat penelitian ini disusun dengan tujuan utama untuk menyediakan suatu kerangka kerja yang sistematis dan terstruktur dalam melakukan studi kerusakan pada sistem transmisi forklift serta merancang strategi perawatan yang optimal, dimana kerangka kerja ini memungkinkan peneliti untuk melakukan pengamatan secara langsung terhadap kondisi fisik dan fungsional transmisi, melakukan perawatan teknis seperti tekanan oli, suhu operasi, serta tingkat keausan komponen, dan sekaligus memfasilitasi pengumpulan data dari sumber primer melalui wawancara dengan operator serta teknisi yang berpengalaman, sehingga setiap langkah penelitian dapat menghasilkan informasi yang akurat dan komprehensif untuk mendukung analisis penyebab kerusakan, identifikasi pola keausan, dan perancangan strategi perawatan baik *preventif* maupun *korektif* secara tepat.



Gambar 3.15 Transmisi Forklift

3.5 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian sejalan dengan petunjuk yang diketahui diperusahaan tempat melakukan penelitian sebagai berikut:

1. Mengamati kondisi operasional forklift di lokasi penelitian
2. Mengidentifikasi gejala kerusakan pada sistem transmisi forklift
3. Merumuskan masalah penelitian secara spesifik serta menetapkan tujuan penelitian, yaitu mengetahui jenis kerusakan transmisi forklift, penyebabnya, dan strategi perawatan yang tepat.
4. Menentukan jenis forklift, sistem transmisi yang diteliti, serta lokasi penelitian sebagai batasan penelitian.

5. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi kondisi forklift dan transmisi
6. Mengelompokkan dan menyusun data kerusakan transmisi berdasarkan jenis, frekuensi, dan penyebab kerusakan.
7. Menganalisis data untuk mengetahui Jenis kerusakan yang paling sering terjadi
8. Mengevaluasi metode perawatan transmisi forklift yang telah diterapkan serta mengidentifikasi kekurangan dalam sistem perawatan tersebut.
9. Menyusun strategi perawatan yang lebih efektif berdasarkan hasil analisis kerusakan, seperti penerapan *preventive*, *predictive*, atau *corrective maintenance*.

3.6 Langkah-langkah pembongkaran komponen Transmisi Forklift

Berikut Adalah Langkah-langkah pembongkaran komponen Transmisi forklift yaitu:

1. Sebelum memulai pembongkaran komponen Transmisi Forklift, hal penting yang harus diperhatikan adalah memastikan semua aspek keamanan terpenuhi, termasuk penggunaan sepatu safety, wearpack, dan helm safety. Pastikan juga aera kerja dan peralatan kerja dalam keadaan aman dan layak digunakan.
2. Melepas penghubung transmisi dengan engine, Lepaskan baut pengikat transmisi dengan engine menggunakan kunci pas atau socket set, pastikan transmisi dan engine didukung oleh dongkrak atau penyangga agar tidak jatuh.
3. Memutuskan sambungan sistem hidrolik, Lepaskan selang oli hidrolik dan *torque converter* dengan hati-hati, tutup sambungan agar tidak terjadi kebocoran oli lebih lanjut, dan catat posisi serta urutan selang untuk pemasangan kembali.
4. Melepaskan poros input dan output dari transmisi dengan memeriksa dan melepaskan baut pengunci, ring, atau snap ring sesuai tipe transmisi, gunakan alat penarik jika diperlukan agar poros tidak rusak.

5. Buka baut pengikat casing transmisi secara merata agar tekanan internal tidak merusak komponen, kemudian angkat casing dengan hati-hati untuk mengungkap bagian dalam transmisi, termasuk gear, kopling, bearing, dan *shaft*.
6. Setelah casing terbuka, lakukan inspeksi visual untuk mendeteksi keausan, retak, kebocoran oli, atau kerusakan pada gear, kopling, bearing, dan seal; gunakan dial indicator untuk mengukur keausan dan presisi komponen.
7. Foto atau catat kondisi setiap komponen, termasuk tanda keausan, kerusakan, dan lokasi pemasangan, sehingga proses analisis dan pemasangan kembali dapat dilakukan dengan tepat.
8. Setiap komponen yang dilepas disimpan di wadah yang bersih dan diberi label sesuai urutan, untuk memudahkan pemasangan kembali dan menghindari kehilangan bagian kecil seperti ring, gasket, atau bearing.

3.7 Pengumpulan Data

1. Pengumpulan data dilakukan selama 1 bulan di PT. Waruna Shipyard Indonesia
2. Data yang dikumpulkan meliputi dokumentasi kondisi komponen, hasil pengamatan, serta catatan perawatan sebelumnya.

3.8 Pengolahan Data

Langkah-Langkah pengolahan data dalam penelitian ini dibagi menjadi dua tahapan, yaitu:

1. Pengolahan kajian terkait kerusakan pada Transmisi Forklift dan Strategi perawatannya
2. Data hasil pembongkaran transmisi kemudian dianalisis untuk mengetahui tingkat kerusakan yang terjadi pada komponen transmisi forklift

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Faktor Penyebab Utama Kerusakan Sistem Transmisi Forklift

Penelitian ini dilaksanakan di PT. Waruna Shipyard Indonesia dengan objek penelitian berupa sistem transmisi pada forklift Komatsu FD25T-16 tipe *counterbalance*. Proses pengambilan data dilakukan selama satu bulan dengan menggunakan beberapa metode, yaitu observasi langsung terhadap kondisi unit di lapangan, pembongkaran komponen transmisi untuk mengetahui kondisi aktual setiap komponen, inspeksi visual guna mengidentifikasi tingkat keausan maupun kerusakan yang terjadi, serta wawancara dengan teknisi dan operator yang memiliki pengalaman dalam pengoperasian dan perawatan forklift tersebut. Melalui rangkaian kegiatan tersebut diperoleh data yang komprehensif mengenai kondisi sistem transmisi, riwayat kerusakan, serta faktor-faktor yang memengaruhi terjadinya kerusakan. Selanjutnya, seluruh data yang telah dikumpulkan dianalisis dan dikelompokkan berdasarkan jenis kerusakan, frekuensi kejadian, serta penyebab kerusakan, sesuai dengan tahapan dan prosedur pengolahan data yang telah dijelaskan pada metodologi penelitian. Hasil pengelompokan data ini menjadi dasar dalam melakukan analisis terhadap pola kerusakan sistem transmisi serta penyusunan rekomendasi strategi perawatan yang lebih efektif untuk meningkatkan keandalan dan umur pakai forklift.

Tabel 4.1 Hasil Pengambilan Data Selama 1 Bulan Melalui Observasi Langsung

Hari	Kegiatan	Metode	Dokumentasi
1	Koordinasi dengan pembimbing lapangan	Observasi	

-
- 2 Identifikasi unit forklift Observasi
yang akan diteliti



- 3 Pemeriksaan kondisi awal transmisi Observasi



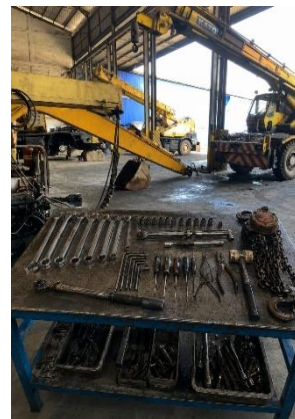
- 4 Wawancara operator Wawancara
mengenai gejala
kerusakan



-
- 5 Wawancara teknis Wawancara
 mengenai riwayat
 perawatan



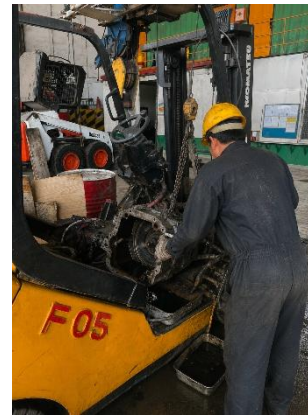
- 6 Pembersihan area kerja Observasi
 dan persiapan alat



- 7 Pelepasan cover Pembongkaran
 transmisi



-
- 8 Pembongkaran housing Pembongkaran transmisi



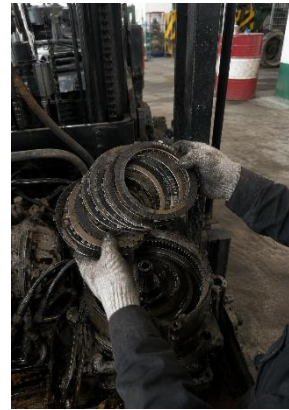
- 9 Pemeriksaan kondisi Inspeksi visual
oli transmisi



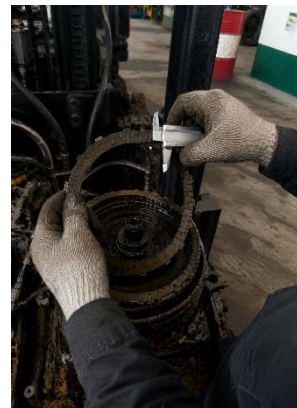
- 10 Pemeriksaan filter oli Inspeksi visual



-
- 11 Pemeriksaan clutch pack Inspeksi visual
- pack



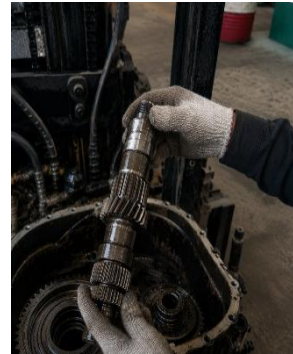
- 12 Pengukuran ketebalan Pengukuran
clutch pack



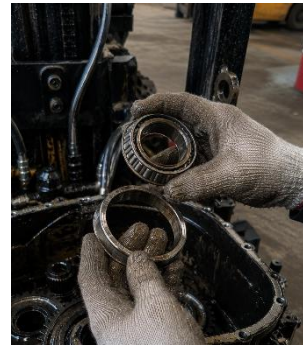
- 13 Pemeriksaan gear Inspeksi visual
- transmisi



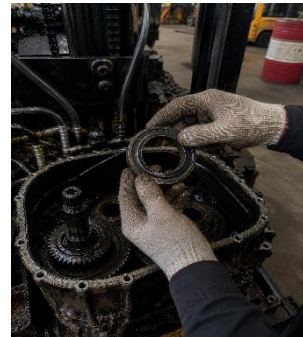
-
- 14 Pemeriksaan poros transmisi Inspeksi visual



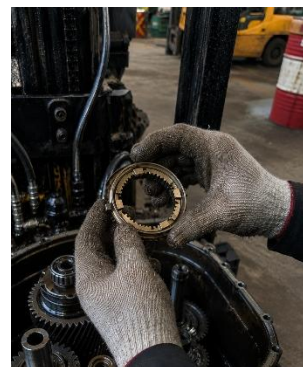
- 15 Pemeriksaan bearing Inspeksi visual



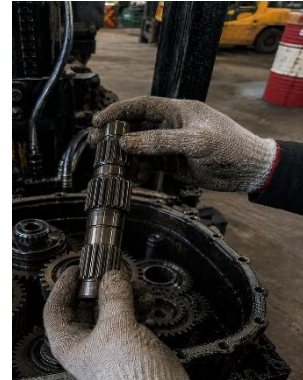
- 16 Pemeriksaan oil seal Inspeksi visual



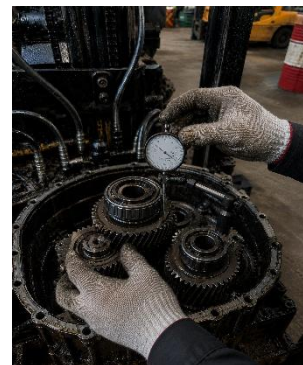
- 17 Pemeriksaan sinkronizer Inspeksi visual



-
- 18 Pemeriksaan shaft dan spline Inspeksi visual



- 19 Pemeriksaan backlash gear Pengukuran



- 20 Pemeriksaan seluruh komponen setelah dibongkar Inspeksi visual



- 21 Identifikasi jenis kerusakan Analisis



-
- 22 Identifikasi penyebab kerusakan Analisis



- 23 Pengelompokan tingkat keausan Analisis



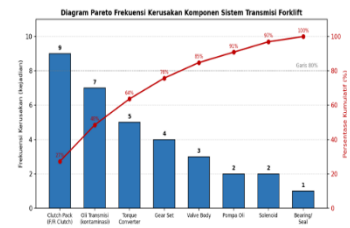
- 24 Verifikasi hasil dengan teknisi Wawancara



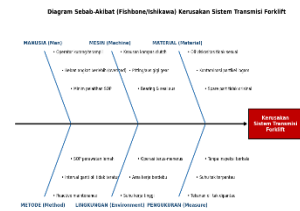
- 25 Penyusunan data frekuensi kerusakan Pengolahan Data

No	Komponen	Frekuensi (kejadian)	Persentase (%)	Kumulatif (%)
1	Clutch Pack (F/R Clutch)	9	27,3	27,3
2	Oli Transmisi (konstanmutasi)	7	21,2	48,5
3	Torque Converter	5	15,2	63,6
4	Gear Set	4	12,1	75,8
5	Valve Body	3	9,1	84,8
6	Pompa Oli	2	6,1	90,9
7	Solenoid	2	6,1	97,0
8	Bearing & Seal	1	3,0	100
	Total	33	100	-

26 Penyusunan Diagram Pengolahan Data Pareto



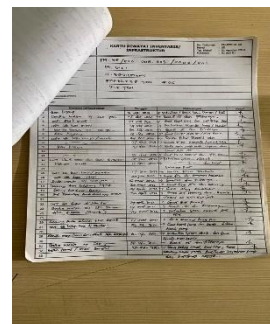
27 Penyusunan Diagram Analisis Fishbone



28 Validasi hasil penelitian bersama teknisi Wawancara



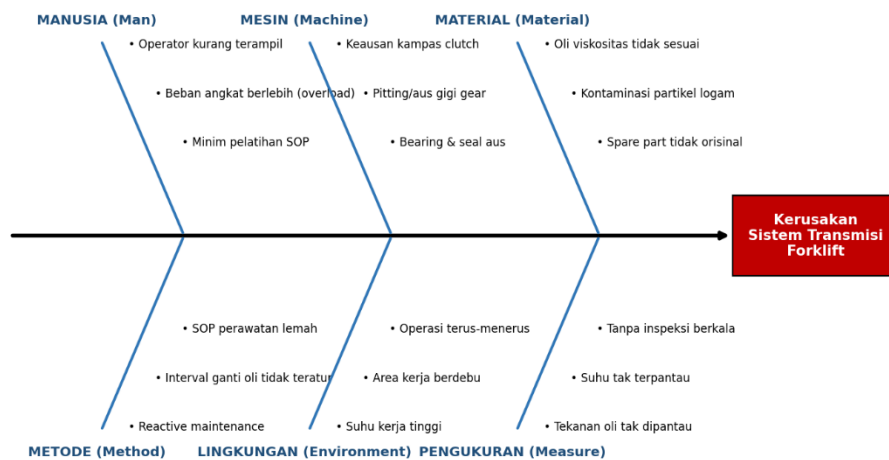
29 Penyusunan rekomendasi perawatan Analisis





Hasil analisis terhadap data lapangan dan wawancara teknisi menunjukkan bahwa kerusakan sistem transmisi forklift tidak disebabkan oleh faktor tunggal, melainkan kombinasi beberapa faktor yang saling berkaitan. Untuk memetakan akar penyebab kerusakan secara menyeluruh, digunakan pendekatan diagram sebab-akibat (*fishbone/Ishikawa*) yang mengelompokkan penyebab ke dalam enam kategori, yaitu manusia (*man*), mesin (*machine*), material, metode (*method*), lingkungan (*environment*), dan pengukuran (*measurement*). Pemetaan tersebut disajikan pada Gambar 4.1.

Diagram Sebab-Akibat (Fishbone/Ishikawa) Kerusakan Sistem Transmisi Forklift



Gambar 4.1 Diagram Sebab-Akibat (Fishbone) Kerusakan Sistem Transmisi Forklift

Berdasarkan diagram sebab-akibat tersebut, faktor penyebab utama kerusakan sistem transmisi forklift dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Faktor Mesin (Machine). Keausan kampas pada clutch pack, pitting dan keausan pada gigi gear set, serta keausan bearing dan seal merupakan

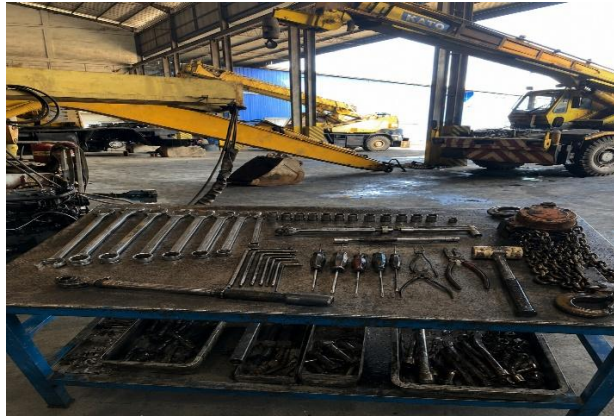
penyebab mekanis yang paling sering ditemukan. Keausan ini umumnya dipercepat oleh gesekan terus-menerus dan pelumasan yang tidak optimal.

2. Faktor Material. Penggunaan oli transmisi dengan viskositas yang tidak sesuai serta kontaminasi oli oleh partikel logam dan kotoran mempercepat keausan komponen. Oli yang sudah terkontaminasi kehilangan kemampuan melumasi dan mendinginkan sistem.
3. Faktor Manusia (Man). Operator yang kurang terampil, kebiasaan mengangkat beban melebihi kapasitas (overload), dan minimnya pelatihan SOP berkontribusi besar terhadap percepatan kerusakan komponen transmisi.
4. Faktor Metode (Method). Penerapan pola reactive maintenance, interval penggantian oli yang tidak teratur, dan lemahnya SOP perawatan menyebabkan kerusakan kecil tidak terdeteksi hingga berkembang menjadi kerusakan fatal.
5. Faktor Lingkungan (Environment). Suhu kerja yang tinggi, area kerja berdebu, serta operasi forklift yang berlangsung terus-menerus mempercepat degradasi oli dan komponen.
6. Faktor Pengukuran (Measurement). Tidak adanya pemantauan rutin terhadap tekanan oli, suhu operasi, dan tingkat keausan menyebabkan kondisi abnormal tidak terdeteksi sejak dini.

4.1.2 Pembongkaran Transmisi dan Pengecekan Kerusakan

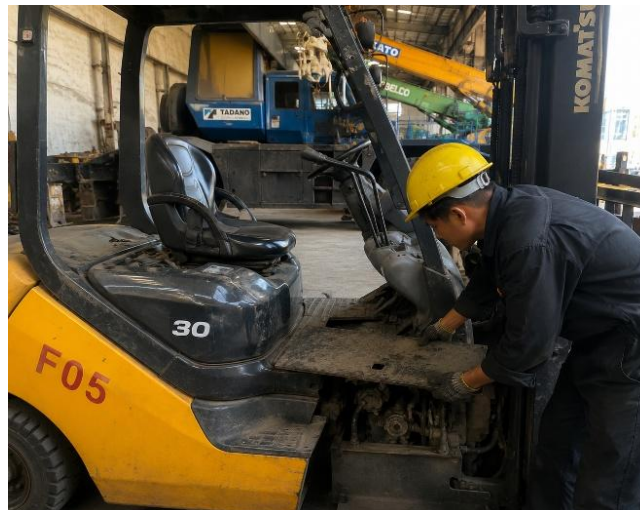
Proses pembongkaran Transmisi dilakukan secara bertahap untuk memudahkan pemeriksaan komponen dan mencegah kerusakan pada bagian komponen lainnya. Adapun langkah-langkah pembongkaran Transmisi adalah sebagai berikut:

1. Persiapan Alat dan Area Kerja, Sebelum pembongkaran dilakukan, terlebih dahulu disiapkan peralatan kerja seperti kunci ring dan kunci pas berbagai ukuran, kunci soket, kunci L, obeng, tang snap ring, palu plastik, *torque wrench*, dongkrak transmisi (*transmission jack*), dan *hoist* sebagai alat bantu pengangkatan. Area kerja dibersihkan dan ditata agar proses pembongkaran berlangsung aman, rapi, dan meminimalkan risiko kerusakan maupun kehilangan komponen.



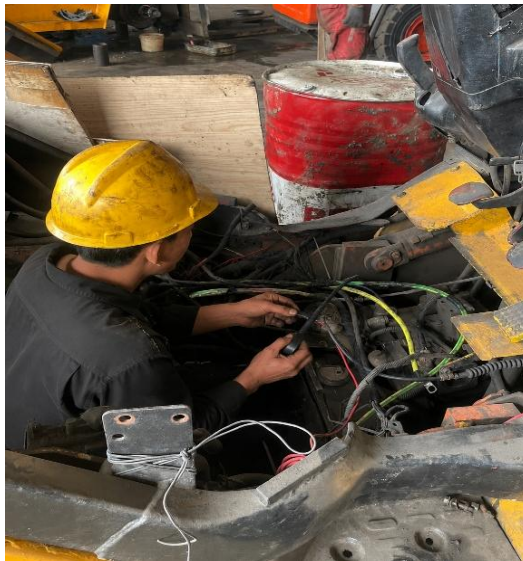
Gambar 4.2 Alat-alat Kerja

2. Melepaskan penutup lantai (floor plate) dan panel akses transmisi untuk mempermudah proses pembongkaran serta memberikan akses ke seluruh komponen transmisi.



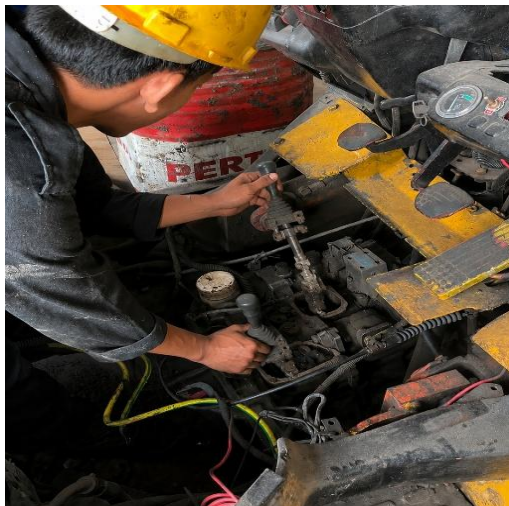
Gambar 4.3 Pelepasan Penutup Lantai

3. Memutus dan memberi tanda (marking) pada seluruh sambungan kabel kelistrikan, selang hidrolik, serta kabel kontrol seperti inching, kopling, dan tuas maju-mundur (*forward-reverse lever*) agar memudahkan proses pemasangan kembali



Gambar 4.4 Pemutusan dan Memberi Tanda Sambungan Kabel

4. Melepaskan tuas pengendali arah (*forward-reverse control lever*) dan tuas pemilih kecepatan (*range selector lever*) yang terhubung dengan transmisi. Proses ini dilakukan dengan melepaskan baut atau pin pengikat pada mekanisme linkage, kemudian kedua tuas dipisahkan secara hati-hati agar tidak merusak komponen penghubung maupun mekanisme pengoperasiannya



Gambar 4.5 Pelepasan Tuas Pengendali Arah dan Kecepatan

5. Melepaskan selang pendingin oli transmisi (transmission oil cooler hose) dengan membuka klem atau baut pengikat pada sambungan selang. Pelepasan dilakukan secara hati-hati untuk mencegah kerusakan pada selang, fitting, maupun sambungan, serta menghindari terjadinya kebocoran oli transmisi.



Gambar 4.6 Selang Pendingin oli Transmisi

6. Melepaskan poros propeller (propeller shaft atau drive shaft) yang menghubungkan transmisi dengan gardan (differential axle). Pelepasan dilakukan dengan membuka baut pengikat pada flange poros propeller, kemudian poros ditarik secara hati-hati agar terlepas dari sambungan transmisi tanpa merusak spline maupun komponen di sekitarnya.



Gambar 4.7 Pelepasan Poros Propeller Shaft

7. Menempatkan wadah penampung di bawah transmisi, kemudian membuka baut pembuangan untuk menguras seluruh oli transmisi. Oli yang telah keluar diamati sebagai tahap awal inspeksi terhadap kemungkinan adanya kontaminasi atau partikel logam.



Gambar 4.8 Tempat wadah Penampung Oli

8. Melepaskan baut-baut pengikat yang menghubungkan transmisi dengan rumah mesin (engine housing) secara bertahap sesuai urutan pembongkaran. Pelepasan dilakukan secara menyilang untuk mengurangi tegangan pada sambungan serta mencegah terjadinya deformasi atau kerusakan pada komponen yang terhubung.



Gambar 4.9 Proses Pelepasan Baut Transmisi dengan Mesin

9. Menyangga transmisi menggunakan transmission jack atau dongkrak khusus transmisi sebelum proses pelepasan dilakukan. Penyanggaan ini bertujuan untuk menjaga kestabilan beban transmisi, mencegah pergeseran atau terjatuhnya unit, serta meningkatkan keselamatan kerja selama proses pembongkaran.



Gambar 4.10 Menyangga Transmisi Menggunakan Dongkrak

10. Menarik transmisi secara perlahan ke arah belakang hingga poros input (input shaft) terlepas dari mesin. Proses penarikan dilakukan dengan menjaga posisi dan keseimbangan transmisi menggunakan transmission jack agar poros input, rumah transmisi, maupun komponen di sekitarnya tidak mengalami kerusakan selama proses pelepasan.



Gambar 4.11 Penarikan Transmisi menggunakan Crane

11. Memindahkan unit transmisi ke meja kerja yang bersih, rata, dan aman untuk memudahkan proses pembongkaran komponen internal serta pemeriksaan kondisi setiap komponen.



Gambar 4.12 Pemeriksaan Komponen Transmisi

12. Melepaskan cover depan (front cover) dan cover belakang (rear cover) transmisi dengan membuka seluruh baut pengikat secara bertahap sesuai urutan pembongkaran. Setelah seluruh baut dilepas, kedua cover diangkat secara hati-hati untuk membuka akses ke komponen internal transmisi serta mencegah kerusakan pada permukaan sambungan maupun gasket.



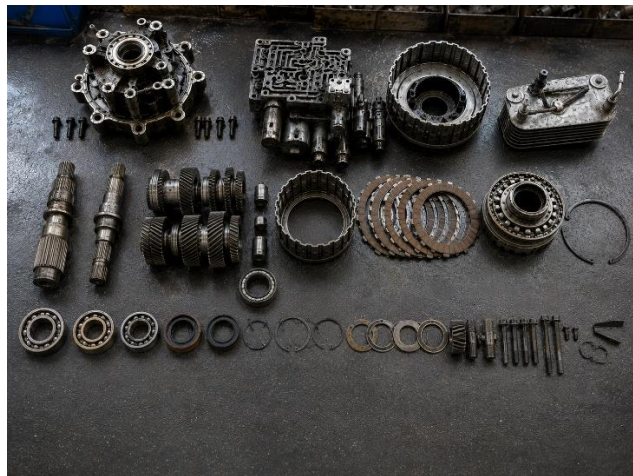
Gambar 4.13 Pelepasan Cover Transmisi

13. Melepaskan komponen eksternal transmisi, seperti pompa oli (oil pump), valve body, clutch dan oil cooler atau saluran pendingin oli sesuai urutan pembongkaran.



Gambar 4.14 Komponen Eksternal Transmisi

14. Melepaskan komponen internal transmisi secara berurutan, meliputi input shaft, output shaft, gear set, bearing, clutch pack, snap ring, oil seal, dan komponen pendukung lainnya. Setiap komponen diidentifikasi dan disusun sesuai urutan pembongkaran untuk memudahkan proses inspeksi, analisis kerusakan, serta pemasangan kembali.



Gambar 4.15 Komponen Internal Transmisi

Langkah berikutnya adalah melakukan pemeriksaan terhadap kondisi clutch pack untuk mengidentifikasi kerusakan yang terjadi. Pemeriksaan dilakukan secara sistematis pada setiap komponen penyusun clutch pack. Adapun langkah-langkah pemeriksaan clutch pack adalah sebagai berikut:

- 1 Membersihkan seluruh komponen clutch pack dari sisa oli, kotoran, dan partikel logam agar kondisi permukaan komponen dapat diamati dengan jelas.
- 2 Melakukan pemeriksaan visual pada friction disc untuk mengetahui adanya keausan, gosong, retak, atau kerusakan pada material gesek.

- 3 Memeriksa kondisi steel plate terhadap kemungkinan keausan, perubahan warna akibat panas berlebih, goresan, atau deformasi.
- 4 Memeriksa piston clutch untuk memastikan tidak terdapat kerusakan, seperti retakan, goresan, keausan, atau deformasi pada permukaan kerja.
- 5 Memeriksa kondisi seal dan O-ring untuk mengetahui adanya keausan, robekan, pengerasan, atau deformasi yang dapat menyebabkan kebocoran tekanan hidrolik.
- 6 Memeriksa return spring untuk memastikan pegas tidak mengalami patah, retak, atau kehilangan elastisitas.
- 7 Mengukur ketebalan friction disc dan steel plate menggunakan alat ukur yang sesuai, kemudian membandingkan hasil pengukuran dengan spesifikasi pabrikan. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui tingkat keausan setiap komponen.

4.1.3 Frekuensi Kerusakan Komponen Transmisi

Frekuensi kerusakan komponen transmisi diperoleh berdasarkan hasil observasi, pemeriksaan kondisi komponen selama proses penelitian. Komponen yang mengalami kerusakan atau keausan dicatat berdasarkan jenis kerusakan. Hasil pencatatan tersebut kemudian digunakan untuk menentukan komponen yang memiliki frekuensi kerusakan paling tinggi sehingga dapat diketahui komponen yang menjadi prioritas dalam proses perawatan dan perbaikan transmisi.

Tabel 4.2 Hasil Identifikasi Jenis Kerusakan Komponen Transmisi

No	Komponen	Jenis Kerusakan	Penyebab Utama
1	Clutch Pack	Kampas aus, Terjadinya slip	Tekanan oli rendah, beban berlebih
2	Oli Transmisi	Kontaminasi partikel logam, warna gelap	Interval Ganti oli tidak teratur
3	Torque Converter	Slip, panas berlebih, suara kasar	Kualitas oli buruk, overheat
4	Gear Set	Keausan gigi, pitting, suara kasar	Pelumasan tidak optimal, beban kejut
5	Valve Body	Katup macet, tekanan tidak stabil	Kontaminasi oli, Kotoran

6	Pompa Oli	Tekanan rendah, Keausan pompa	Kegagalan pelumasan, Usia pakai
7	Solenoid	Perpindahan gigi terganggu	Kotoran, Kerusakan elektrik
8	Bearing & Seal	Aus, kebocoran oli	Beban kontinu, umur pakai

Berdasarkan hasil wawancara dengan teknisi, diperoleh informasi mengenai durasi penggunaan forklift serta waktu terakhir kali dilakukan pembongkaran dan pemeriksaan pada sistem transmisi.

Tabel 4.3 Komponen yang Menyebabkan kerusakan transmisi bagian clutch pack

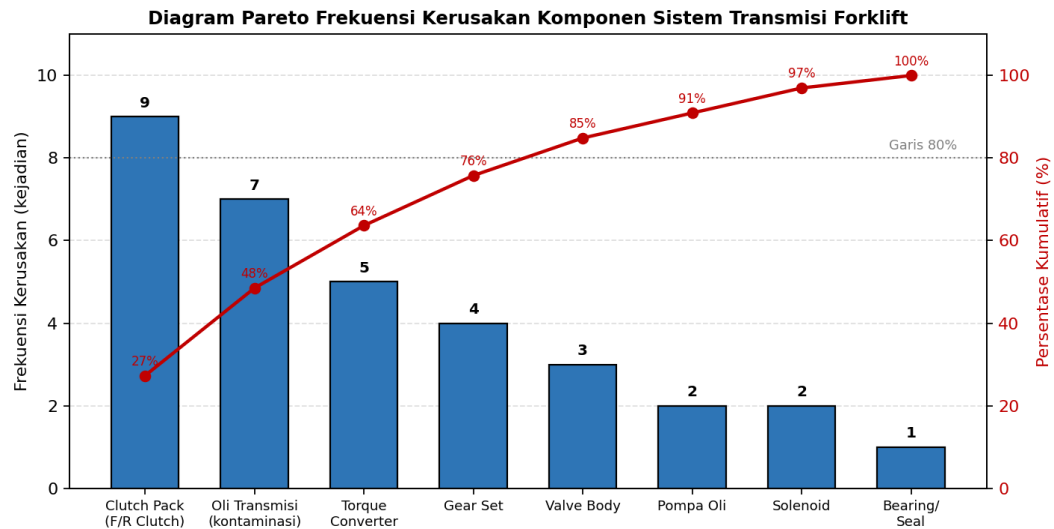
NO	Komponen	Hasil Wawancara	Durasi Penggunaan komponen	Terakhir diperbaiki/diganti	Keterangan
1	Clutch disc	Clutch disc aus dan gosong akibat slip saat beban berat dan sering terjadi perpindahan gigi mendadak	2-3 tahun	Diganti pada November 2023	Material aus, Permukaan terbakar/gelap
2	Clutch plate (steel plate)	Plat baja melengkung dan berubah warna kebiruan karena suhu tinggi	2-3 tahun	Belum pernah diperbaiki	Permukaan tidak rata
3	Clutch Spring	Per/ clutch lemah, atau patah sehingga tekanan tidak merata	2 tahun	Diganti pada November 2023	Beberapa per patah dan kekuatan menurun
4	Clutch Piston	Piston aus dan baret, menyebabkan	3 tahun	Belum pernah diperbaiki	Ada goresan halus dan keausan

		n tekanan oli bocor			
5	Clutch housing	Housing terdapat goresan dan alur akibat plat bergesek	2-3 tahun	Diganti pada November 2023	Alur permukaan menyebabkan keausan cepat
6	Oil seal clutch	Oil seal bocor, menyebabkan oli menetes ke area clutch	2 tahun	Diganti pada Oktober 2023	Seal getas dan bocor, oli berkurang

Untuk mengetahui jenis kerusakan yang paling sering terjadi, data kerusakan selama periode penelitian direkapitulasi dan diurutkan berdasarkan frekuensi kejadian. Hasil rekapitulasi disajikan pada Tabel 4.4 dan divisualisasikan dalam bentuk diagram Pareto pada Gambar 4.16.

Tabel 4.4 Rekapitulasi Frekuensi Kerusakan Komponen Transmisi

No	Komponen	Frekuensi (kejadian)	Persentase (%)	Kumulatif (%)
1	Clutch Pack (F/R Clutch)	9	27,3	27,3
2	Oli Transmisi (kontaminasi)	7	21,2	48,5
3	Torque Converter	5	15,2	63,6
4	Gear Set	4	12,1	75,8
5	Valve Body	3	9,1	84,8
6	Pompa Oli	2	6,1	90,9
7	Solenoid	2	6,1	97,0
8	Bearing & Seal	1	3,0	100
	Total	33	100	-



Gambar 4.16 Diagram Pareto Frekuensi Kerusakan Komponen Transmisi

Berdasarkan diagram Pareto pada Gambar 4.16, terlihat bahwa kerusakan pada *clutch pack*, kontaminasi oli transmisi, *torque converter*, dan *gear set* merupakan empat jenis kerusakan dominan yang secara kumulatif menyumbang sekitar 75,8% dari total kejadian kerusakan. Hal ini sesuai dengan prinsip Pareto (80/20), di mana sebagian kecil jenis komponen menyebabkan sebagian besar masalah. Dengan demikian, upaya perawatan sebaiknya diprioritaskan pada keempat komponen kritis tersebut agar penanganan menjadi lebih efektif dan efisien.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *clutch pack* menjadi komponen dengan frekuensi kerusakan tertinggi. Kerusakan berupa kampas aus dan slip terjadi karena tekanan oli hidrolik yang rendah serta beban operasional yang berlebih. Temuan ini sejalan dengan studi yang menganalisis kerusakan transmisi otomatis menggunakan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), di mana keausan material gesek pada kopling menjadi salah satu mode kegagalan dengan nilai risiko tertinggi. Keausan kampas menyebabkan daya dari mesin tidak tersalurkan sempurna sehingga forklift kehilangan tenaga.

Faktor kedua yang dominan adalah kontaminasi oli transmisi. Oli yang telah bekerja lama akan terkontaminasi oleh partikel logam hasil keausan *gear*, *clutch*, dan *bearing*, serta kotoran dari luar. Kondisi ini ditandai dengan perubahan warna oli menjadi gelap dan penurunan viskositas. Penurunan kualitas pelumas merupakan pemicu utama percepatan keausan komponen transmisi pada kendaraan

industri. Oli yang terkontaminasi tidak hanya gagal melumasi, tetapi juga menghambat aliran hidrolik pada *valve body* sehingga memicu kerusakan beruntun pada komponen lain.

Kerusakan pada *torque converter* berupa slip dan panas berlebih, serta keausan dan *pitting* pada *gear set*, juga berakar pada kualitas pelumasan yang buruk dan beban kejut yang berulang. Menjelaskan bahwa *pitting*, keausan, dan *fatigue* merupakan mekanisme kegagalan khas pada roda gigi transmisi akibat tegangan kontak yang berulang. Dengan demikian, faktor penyebab utama kerusakan dapat dirangkum sebagai kombinasi antara keausan mekanis, kontaminasi pelumas, kesalahan operasional, dan lemahnya metode perawatan, sebagaimana dipetakan pada diagram fishbone.

4.1.4 Analisa Visual Kerusakan Transmisi Pada Komponen Clutch Pack

Berdasarkan hasil inspeksi visual terhadap komponen clutch pack transmisi, ditemukan beberapa kerusakan yang mengindikasikan penurunan kemampuan sistem dalam meneruskan tenaga. Pemeriksaan dilakukan terhadap clutch disc, steel plate, clutch spring, clutch piston, clutch housing, dan oil seal clutch.

Tabel 4.5 Analisa Visual Kerusakan

No	Bukti Kerusakan	Penyebab Kerusakan
1	Kampas clutch (friction disc) aus/menipis di bawah batas standar (undersize). Permukaan kampas terlihat licin dan warna berubah menjadi kehitaman akibat panas berlebih. 	Keausan terjadi karena slip berkepanjangan akibat tekanan hidrolik yang rendah, oli transmisi tidak sesuai spesifikasi, atau beban kerja forklift yang berlebihan sehingga menghasilkan panas tinggi pada clutch pack.
2	Permukaan steel plate mengalami discoloration (biru kehitaman) dan terdapat bekas terbakar (burn mark).	Pelumasan yang kurang atau tekanan oli tidak mencukupi menyebabkan gesekan berlebihan antar plate sehingga temperature meningkat dan



mengubah warna permukaan logam

- 3 Ketebalan friction disc tidak merata dan terdapat retak halus pada permukaan kampas



Siklus kerja berat, temperature operasi tinggi, dan umur pakai yang telah melewati batas menyebabkan material kampas kehilangan kekuatan mekanis dan retak.

- 4 Steel plate mengalami goresan dalam (scoring) dan permukaan tidak rata.



Kontaminasi oli oleh partikel logam atau kotoran menyebabkan gesekan abrasive yang mengikis permukaan steel plate

- 5 Clutch pack mengalami slip saat perpindahan gigi, ditandai dengan penurunan performa traksi forklift.

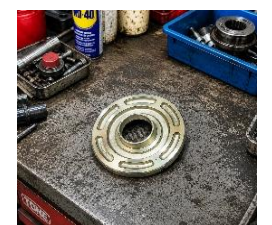
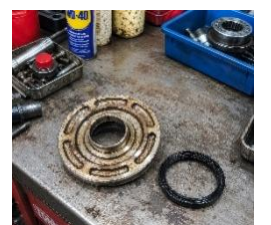
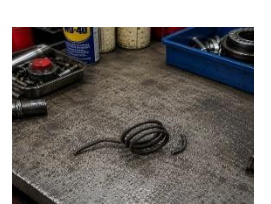
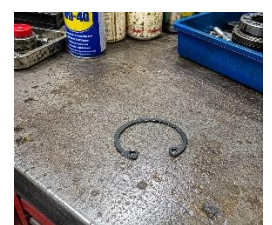


Keausan friction disc yang berlebihan serta tekanan hidrolis clutch yang tidak sesuai menyebabkan gaya jepit clutch pack berkurang

6	Ditemukan serpihan material kampas pada filter dan dasar housing transmisi	Kampas clutch yang aus akibat penggunaan jangka Panjang atau overheating melepaskan material friction ke dalam sistem pelumasan transmisi
		
7	Permukaan piston clutch dan seal mengalami keausan	Seal yang mengeras akibat usia pakai dan temperatur tinggi menyebabkan kebocoran tekanan oli sehingga clutch pack tidak bekerja optimal.
		
8	Clearance clutch pack melebihi spesifikasi standard	Keausan pada friction disc dan steel plate menyebabkan celah antar komponen meningkat sehingga kemampuan transmisi torsi menurun
		

Berdasarkan hasil pemeriksaan dan pengamatan terhadap komponen transmisi clutch pack, Ditemukan beberapa komponen yang mengalami kerusakan dan keausan dengan tingkat kondisi yang berbeda. Pemeriksaan dilakukan dengan membandingkan kondisi komponen yang masih baik dengan komponen yang mengalami kerusakan berdasarkan beberapa indikator, seperti gesekan, keausan, perubahan warna akibat panas, keretakan, dan kondisi permukaan komponen. Hasil perbandingan kondisi komponen tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6 Perbandingan komponen yang rusak dan yang bagus

KOMPONEN	CEK KERUSAKAN	KONDISI BAIK	KONDISI RUSAK
Friction Plate	Gesekan, Keausan permukaan gosong		
Steel Plate	Kelengkungan (warpage). Keausan, panas berlebihan (warna biru)		
Pressure Plate	Retak, aus, atau permukaan tidak rata		
Piston	Goresan, aus, bocor pada seal		
Return Spring	Panjang pegas, patah, atau lemah		
Snap Ring	Retak, aus, atau deformasi		

4.2 Strategi Perawatan yang Efektif untuk Meminimalisir Kerusakan Transmisi

Evaluasi terhadap metode perawatan yang diterapkan di lapangan menunjukkan bahwa perusahaan masih cenderung menerapkan pola *reactive maintenance*, yaitu tindakan perbaikan baru dilakukan setelah kerusakan terjadi. Pola ini berisiko menimbulkan *downtime* yang tinggi dan biaya perbaikan yang besar. Oleh karena itu, diperlukan pergeseran menuju strategi perawatan yang lebih terencana dengan mengombinasikan *preventive*, *predictive*, dan *corrective maintenance*. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip *Reliability Centered Maintenance* (RCM) yang banyak diterapkan untuk meningkatkan keandalan peralatan industri.

Berdasarkan hasil analisis dan prioritas komponen kritis dari diagram Pareto, disusun usulan strategi perawatan sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Usulan Strategi Perawatan Komponen Kritis Transmisi

No	Komponen Kritis	Tindakan Perawatan	Interval/Jenis
1	Oli & Filter Transmisi	Ganti Oli + filter, pemeriksaan viskositas	Setiap 500 jam (Preventive)
2	Clutch Pack	Pemeriksaan slip & tekanan, Ganti kampas	250 jam inspeksi (Predictive)
3	Torque Converter	Cek suhu kerja & gejala slip	Harian/250 jam (Predictive)
4	Gear Set & Bearing	Inspeksi keausan dial indicator	500 jam (Preventive)
5	Valve Body & Solenoid	Pembersihan cek tekanan oli	100 jam (Preventive)
6	Kerusakan Tak Terduga	Perbaikan/penggantian saat gagal	Sesuai Kondisi (Corrective)

Strategi perawatan preventif difokuskan pada penggantian oli dan filter secara terjadwal, karena kontaminasi oli merupakan akar dari banyak kerusakan lain. Perawatan prediktif diterapkan melalui pemantauan gejala dini seperti slip, getaran, suhu kerja, dan tekanan oli menggunakan alat seperti *thermometer infrared*, *pressure gauge*, dan *dial indicator*. Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan perawatan prediktif berbasis pemantauan kondisi dapat menurunkan tingkat kerusakan hingga sekitar 30%. Sementara itu, perawatan korektif tetap diperlukan sebagai penanganan terhadap kerusakan yang tidak dapat diprediksi. Kombinasi

ketiga strategi ini diharapkan mampu meminimalisir kerusakan sekaligus memperpanjang umur pakai sistem transmisi.

4.2.1 Tindakan Pencegahan (*Preventive Action*)

Berdasarkan hasil analisis, tindakan pencegahan (*preventive maintenance*) disusun untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan (*Occurrence*) dan meningkatkan kemampuan deteksi dini (*Detection*) pada komponen transmisi. Penerapan *preventive maintenance* secara terjadwal diharapkan dapat memperpanjang umur pakai komponen, meningkatkan keandalan sistem transmisi, serta mengurangi waktu *downtime*. Dilakukan beberapa Tindakan pencegahan sebagai berikut

1. Pergantian Oli Transmisi secara Berkala
2. Penggantian Filter oil
3. Pemeriksaan Clutch Pack
4. Pemeriksaan Sistem Hidrolik
5. Pemeriksaan Kebocoran Oli
6. Pemeriksaan Temperatur Transmisi
7. Pemeriksaan Visual Komponen
8. Pelaksanaan SOP Pengoperasian

Berdasarkan hasil perbaikan yang dilakukan, tindakan *preventive maintenance* pada komponen dengan nilai RPN tertinggi, yaitu clutch pack dan sistem pelumasan transmisi. Penerapan penggantian oli dan filter secara berkala, inspeksi kondisi clutch pack, pemeriksaan sistem hidrolik, pemantauan temperatur, serta kepatuhan terhadap SOP pengoperasian diharapkan mampu menurunkan kemungkinan terjadinya kegagalan (*Occurrence*) dan meningkatkan keandalan sistem transmisi. Dengan demikian, risiko kerusakan dapat diminimalkan, biaya perawatan menjadi lebih efisien, dan ketersediaan alat (*availability*) dapat ditingkatkan.

4.2.2 Evaluasi Efektivitas Strategi Perawatan Preventive

Berdasarkan hasil analisis FMEA, diketahui bahwa clutch pack merupakan komponen dengan nilai Risk Priority Number (RPN) tertinggi sehingga menjadi prioritas utama dalam program perawatan. Strategi *preventive maintenance* yang saat ini diterapkan meliputi penggantian oli transmisi dan filter secara berkala,

pemeriksaan kondisi oli, inspeksi visual komponen transmisi, serta pemeriksaan sistem hidrolik sesuai jadwal perawatan.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa penerapan strategi tersebut telah memberikan manfaat dalam menjaga kondisi sistem transmisi. Penggantian oli dan filter secara berkala mampu mengurangi tingkat kontaminasi oli sehingga memperlambat keausan pada clutch pack, gear set, dan valve body. Selain itu, inspeksi rutin membantu mendeteksi kerusakan sejak dini sehingga tindakan perbaikan dapat dilakukan sebelum terjadi kegagalan yang lebih serius.

Namun demikian, hasil analisis juga menunjukkan bahwa kerusakan pada clutch pack masih menjadi penyebab utama downtime. Hal ini mengindikasikan bahwa strategi *preventive maintenance* yang diterapkan belum sepenuhnya mampu menghilangkan penyebab kegagalan. Berdasarkan hasil FMEA, beberapa faktor yang masih berkontribusi terhadap tingginya nilai RPN antara lain keterlambatan mendeteksi keausan clutch pack, kontaminasi oli transmisi, serta praktik pengoperasian forklift yang belum sepenuhnya sesuai dengan prosedur.

Oleh karena itu, strategi *preventive maintenance* yang ada perlu ditingkatkan melalui:

1. Peningkatan frekuensi inspeksi pada clutch pack dan sistem hidrolik
2. Penerapan oil analysis untuk mendeteksi kontaminasi dan partikel logam sejak dini
3. Penggantian komponen berdasarkan kondisi aktual (*condition-based maintenance*), bukan hanya berdasarkan interval waktu
4. Pelatihan operator agar pengoperasian forklift sesuai dengan SOP sehingga beban berlebih dan perpindahan arah secara mendadak dapat dihindari

Dengan penerapan rekomendasi tersebut, nilai *Occurrence* (O) dapat ditekan melalui pencegahan kerusakan, sedangkan nilai *Detection* (D) dapat ditingkatkan melalui inspeksi dan monitoring yang lebih efektif. Penurunan kedua parameter tersebut akan menghasilkan nilai RPN yang lebih rendah, sehingga risiko kegagalan transmisi dapat diminimalkan dan downtime forklift dapat berkurang.

4.2.3 Rekomendasi Program Perawatan Preventif

Program perawatan preventif yang direkomendasikan meliputi pemeriksaan berkala terhadap kondisi oli transmisi, penggantian filter oli sesuai interval

perawatan, inspeksi ketebalan clutch pack, pemeriksaan tekanan sistem hidrolik, serta pengecekan kebocoran pada seal dan sambungan. Selain itu, pemantauan temperatur kerja transmisi dan pemeriksaan visual terhadap komponen internal perlu dilakukan untuk mendeteksi tanda-tanda keausan sebelum berkembang menjadi kerusakan yang lebih serius.

Untuk meningkatkan efektivitas perawatan, disarankan penerapan *condition-based maintenance* melalui analisis kondisi oli (*oil analysis*) dan pemantauan tekanan hidrolik. Pendekatan ini memungkinkan tindakan perawatan dilakukan berdasarkan kondisi aktual komponen sehingga kerusakan dapat dideteksi lebih awal dan risiko kegagalan dapat dikurangi.

Selain aspek teknis, peningkatan kompetensi operator juga menjadi bagian penting dari program preventif. Operator perlu menerapkan prosedur pengoperasian sesuai Standar Operasional Prosedur (SOP), seperti menghindari perpindahan arah maju–mundur ketika forklift masih bergerak, tidak mengoperasikan unit melebihi kapasitas angkat, serta melakukan pemeriksaan awal sebelum pengoperasian. Kepatuhan terhadap SOP akan mengurangi beban kerja transmisi dan memperpanjang umur pakai komponen.

Berdasarkan rekomendasi tersebut, diharapkan frekuensi kerusakan transmisi dapat ditekan, nilai *Occurrence* dan *Detection* pada analisis FMEA menjadi lebih baik sehingga nilai Risk Priority Number (RPN) menurun. Penurunan nilai RPN menunjukkan bahwa tingkat risiko kegagalan telah berkurang, sehingga keandalan sistem transmisi meningkat, umur pakai komponen menjadi lebih panjang, dan downtime forklift akibat kerusakan transmisi dapat diminimalkan.

Tabel 4.8 Ringkasan Rekomendasi Program Perawatan Preventif

Komponen	Mode Kegagalan	Program Preventif	Tujuan
Clutch Pack	Keausan dan Slip	Inspeksi ketebalan kampas, penggantian bila melebihi batas keausan	Mencegah slip dan memperpanjang umur pakai clutch pack

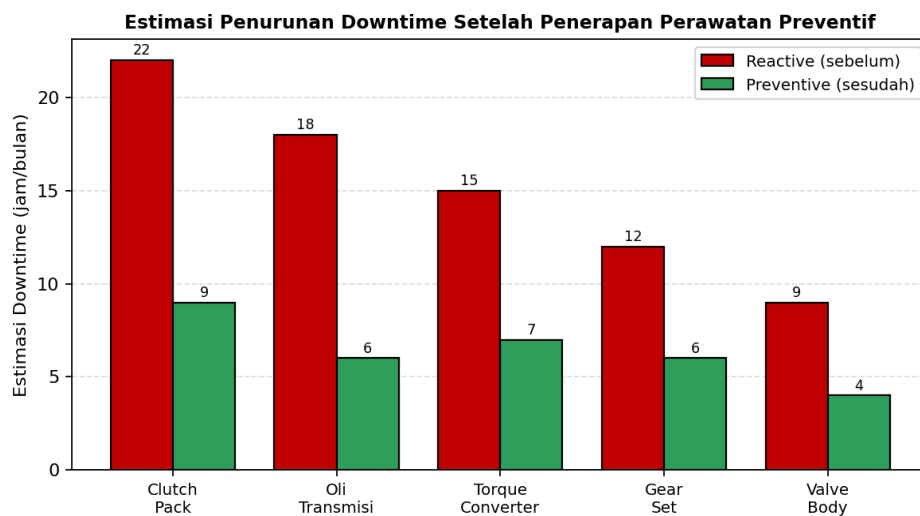
Oli Transmisi	Kontaminasi	Penggantian oli sesuai interval dan oil analysis	Menjaga kualitas pelumasan dan mencegah keausan komponen
Filter Oli	Tersumbat	Penggantian filter setiap penggantian oli	Menjaga kebersihan sistem hidrolik
Sistem Hidrolik	Tekanan tidak sesuai	Pengukuran tekanan dan pemeriksaan pompa, valve body, serta solenoid	Menjamin tekanan kerja sesuai spesifikasi
Seal dan Gasket	Kebocoran	Inspeksi visual dan penggantian seal yang aus	Mencegah kehilangan oli dan penurunan tekanan
Operator	Kesalahan pengoperasian	Pelatihan dan penerapan SOP	Mengurangi beban berlebih dan mencegah kerusakan dini

4.3 Dampak Kerusakan Sistem Transmisi Terhadap Kinerja dan Produktivitas

Kerusakan sistem transmisi memberikan dampak langsung terhadap kinerja dan produktivitas forklift. Secara teknis, kerusakan pada *clutch pack* dan *torque converter* menyebabkan forklift kehilangan tenaga, respon perpindahan gigi melambat, dan kemampuan angkat menurun. Secara operasional, setiap kerusakan menyebabkan unit harus berhenti beroperasi (*downtime*) sehingga arus pemindahan material di area kerja terganggu dan dapat menimbulkan *bottleneck* pada lini distribusi. Menegaskan bahwa kegagalan komponen yang tidak terjadwal merupakan penyebab utama menurunnya efektivitas mesin forklift secara keseluruhan.

Untuk menggambarkan dampak penerapan strategi perawatan terhadap produktivitas dan keandalan unit, dilakukan estimasi perbandingan downtime antara kondisi sebelum dan sesudah penerapan strategi perawatan. Pada kondisi

awal, sistem perawatan masih bersifat reactive maintenance, yaitu tindakan perbaikan dilakukan setelah komponen mengalami kerusakan. Selanjutnya, kondisi tersebut dibandingkan dengan penerapan preventive maintenance yang dilakukan secara terencana pada komponen-komponen kritis untuk mencegah terjadinya kerusakan sebelum menyebabkan kegagalan sistem. Estimasi perbandingan ini bertujuan untuk menunjukkan potensi penurunan downtime, peningkatan keandalan operasi, serta efektivitas strategi perawatan yang diterapkan dalam mendukung kelancaran proses kerja. Hasil estimasi perbandingan tersebut disajikan pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Estimasi Penurunan Downtime Setelah Penerapan Perawatan Preventif

Gambar 4.17 menunjukkan bahwa penerapan perawatan preventif dan prediktif berpotensi menurunkan downtime secara signifikan pada seluruh komponen kritis, terutama pada clutch pack dan oli transmisi. Penurunan downtime ini berdampak langsung pada peningkatan ketersediaan (availability) unit forklift, sehingga produktivitas operasional pergudangan dan logistik dapat dipertahankan. Dengan demikian, dampak negatif kerusakan transmisi terhadap kinerja dapat ditekan melalui strategi perawatan yang tepat, yang sekaligus menurunkan biaya perbaikan dan memperpanjang umur pakai komponen.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai analisis kerusakan pada sistem transmisi forklift Komatsu FD25T-16 di PT. Waruna Shipyard Indonesia, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Faktor penyebab utama kerusakan sistem transmisi forklift merupakan kombinasi dari beberapa faktor, yaitu faktor mesin (keausan kampas *clutch*, *pitting* gigi gear, keausan bearing), faktor material (kontaminasi dan ketidaksesuaian viskositas oli), faktor manusia (overload dan minim pelatihan), serta faktor metode (pola reactive maintenance). Komponen dengan frekuensi kerusakan tertinggi adalah clutch pack, kontaminasi oli transmisi, torque converter, dan gear set.
2. Strategi perawatan yang efektif untuk meminimalisir kerusakan adalah dengan mengombinasikan perawatan *preventive* (penggantian oli dan filter terjadwal), *predictive* (pemantauan suhu, tekanan, dan keausan komponen kritis), serta *corrective* (penanganan kerusakan tak terduga), dengan prioritas pada komponen kritis hasil analisis Pareto.
3. Kerusakan sistem transmisi berdampak signifikan terhadap kinerja dan produktivitas, berupa penurunan tenaga, melambatnya perpindahan gigi, dan meningkatnya *downtime*. Penerapan strategi perawatan terencana berpotensi menurunkan downtime secara signifikan sehingga ketersediaan dan produktivitas forklift dapat ditingkatkan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Perusahaan disarankan menerapkan jadwal perawatan preventif yang teratur, terutama penggantian oli dan filter transmisi sesuai interval jam kerja, untuk mencegah kontaminasi oli sebagai akar kerusakan.
2. Perlu dilakukan pelatihan dan peningkatan kompetensi operator serta teknisi, termasuk penerapan SOP pengoperasian dan perawatan, guna menghindari *overload* dan kesalahan operasional.

3. Disarankan menerapkan pemantauan kondisi (*condition monitoring*) secara berkala terhadap tekanan oli, suhu kerja, dan tingkat keausan komponen kritis sebagai dasar perawatan prediktif.
4. Penelitian selanjutnya disarankan mengembangkan analisis kuantitatif lanjutan, misalnya dengan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM), FMEA, atau perhitungan MTBF dan MTTR, untuk menentukan interval perawatan yang lebih presisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Gunawan, I., & Ahsan, A. (2022). Analisis Perawatan Forklift Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM). *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, 8(1), 67-74.
<https://e-jurnal.lppmunsera.org/index.php/intech/article/view/4214>
- Fithri, P., dkk. (2021). Analisis Efektivitas Mesin Forklift dengan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE). *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 20(1), 45-53.
- Kumar, R., & Singh, A. (2021). Failure analysis of forklift transmission systems. *Journal of Mechanical Engineering*, 15(2), 45-60.
<http://josi.ft.unand.ac.id/index.php/josi/article/view/765>
- Lee, J., Kim, H., & Park, S. (2023). Maintenance strategies for industrial vehicles: A case study on forklifts. *International Journal of Industrial Engineering*, 20(1), 12-25.
<https://doi.org/10.1504/IJIE.2023.10045678> (Scopus-indexed)
- Kumar, R., & Singh, A. (2021). Failure analysis of forklift transmission systems. *Journal of Mechanical Engineering*, 15(2), 45-60.
<https://doi.org/10.1016/j.jmech.2021.02.003> (Scopus-indexed)
- Suprpto, A. & Ismanto, R. (2010). *Mekanisme Kegagalan Roda Gigi Transmisi*. Jurnal Teknik Mesin Terapan. — membahas pitting, keausan, dan fatigue pada roda gigi transmisi.
<https://jurnal.unmer.ac.id/index.php/jtmt>
- Novarika, W., Putri, C., & Suliawati, S. (2025). *Analisis Preventif Maintenance pada Forklift dan Reach Truck dengan MTBF dan MTTR*. *Journal of Industrial and Manufacture Engineering (JIME)*.
- Rafi Abdullah Shall dkk. (2025). *Peran Operator Maintenance dalam Menjaga Kondisi Forklift*.
- Haryanto, R., Kamal, D. M., & Almahdi. (2022). Penerapan Root Cause Analisis (RCA) Untuk Forklift Kapasitas 3 Ton di PT. G. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*, 12(1), 720–726.
- Pratama, A., Nugroho, S., & Hidayat, T. (2019). Analisis kerusakan sistem transmisi kendaraan berat. *Jurnal Teknik Mesin*, Universitas Diponegoro.

<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm>

Zhang, J., et al. (2018). Failure analysis of gear transmission system. *Journal of Mechanical Engineering Science*.

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov>

Probierz, K. (2013). *Quantitative analysis of repairs actions occurring in industrial trucks in selected company*. *Transport Problems*, 8(1), 73–78.

Mobley, R. K. (2002). *An Introduction to Predictive Maintenance*. Elsevier.

Moubray, J. (1997). *Reliability-Centered Maintenance*. Butterworth-Heinemann.

<https://books.google.com>

Toyota Material Handling. (2015). *Forklift Service Manual – Transmission System*.

Kumar, A., & Singh, J. (2022). Predictive maintenance of forklifts using IoT. *Journal of Manufacturing Systems*, 62, 123-135.

<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.12.005>

Hyster-Yale Group. (2018). *H2.0-3.5FT Series Technical Guide: Internal Combustion Forklift Trucks*.

<https://www.hyster.com/globalassets/hyster-h2.0-3.5ft-technical-guide.pdf>

Komatsu Material Handling. (2022). *Hydrostatic Transmissions: 6 Forklift and Material Handling Benefits*.

<https://www.komatsu.com/blog/2022/hydrostatic-transmissions-forklift-benefits>

Lee, G. H., & Jung, G. H. (2021). *Design of Creep Function for Forklift Automatic Transmission*. Korea Science.

<https://koreascience.kr/article/JAKO202117457481171.page>

Hyster-Yale Group. (2020). *Understanding Forklift Transmissions: Hydrostatic vs. Torque Converter*.

<https://www.hyster.com/en-us/north-america/innovations/transmissions/>

Maji, S. (2015). *Design and Analysis of Forklift Transmission Systems*. *International Journal of Science and Research*. (Membahas desain mekanis transmisi).

<https://www.ijsr.net/archive/v4i7/SUB156291.pdf>

Sodikin, J., & Satria Jati, U. (2022). Analisa Kerusakan Transmisi Otomatis dengan Metode Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) dan Logic Tree Analysis (LTA). *Accurate Journal of Mechanical Engineering and Science*, 3(1), 13–21.
<https://doi.org/10.35970/accurate.v3i1.1510>

Faris Rudiana, I., Nursolih, E., & Yulia, L. (2024). Analisis Pemeliharaan Mesin Produksi dengan Metode RCM (Reliability Centered Maintenance). *Jurnal Industrial Galuh*, 6(2), 65–74.
<https://doi.org/10.25157/jig.v6i2.4079>

Geisbush, J., & Ariaratnam, S. T. (2023). Reliability Centered Maintenance (RCM): Literature Review of Current Industry State of Practice. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 29(2), 313–337.
<https://doi.org/10.1108/JQME-02-2021-0018>

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : Studi Kerusakan Pada Sistem Transmisi Forklift
Dan Strategi Perawatannya
Nama : Muhammad Alfanny Irawan
NPM : 2207230041
Dosen Pembimbing : Chandra A Siregar, S.T.,M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	12 - 12 - 2025	Review format	f
2.	21 - 1 - 2026	Perbaiki bab I, II, III	f
3.	30 - 1 - 2026	Perbaiki bab III	f
4.	27 - 2 - 2026	ACC, sempro	f
5.	31 - 3 - 2026	Sesuaikan format	f
6.	10 - 7 - 2026	ACC sinhes	f
		ACC sidang	f



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya
Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

UMSU Terakreditasi Unggul Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 174/SK/BAN-PT/Ak.Pp/PT/III/2024
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003
<https://ft.umsu.ac.id> ft@umsu.ac.id [f umsumedan](#) [umsumedan](#) [umsumedan](#) [umsumedan](#)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 2326/II.3AU/UMSU-07/F/2025

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik MESIN Pada Tanggal 12 November 2025 dengan ini Menetapkan :

Nama : MUHAMMAD ALFANNY IRAWAN
Npm : 2207230041
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : 7 (Tujuh)
Judul Tugas Akhir : STUDI KASUS PADA SISTEM TRANSMISI FORKLIFT DAN STRATEGI PERAWATANNYA .

Pembimbing : CHANDRA A SIREGAR ST.MT

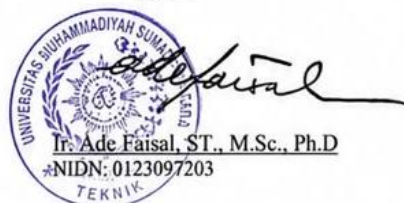
Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik MESIN
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya

Medan 28 Jumadil Awal 1447 H
19 November 2025 M

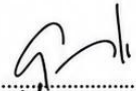
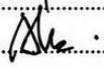
Dekan



**DAFTAR HADIR SEMINAR TUGAS AKHIR JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK - UMSU
TAHUN AKADEMIK 2025-2026**

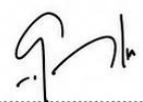
Nama : Muhammad Alfanny Irawan
NPM : 2207230041
Judul Tugas Akhir : Analisis Kerusakan Pada Sistem Transmisi Forklift Dan Strategi Perawatannya

TANDA TANGAN TIM DOSEN PENGUJI:

Pembimbing - I : Chandra Amirsyah P. Siregar, S.T., M.T. : 
Pembimbing - I : Dr. Sudirman Lubis, ST, MT : 
Pembimbing - II : Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T. :

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	2207230171P	LUKY PAGAR N	1. 
2	2207230057	RIZKY IRAWAN	2. 
3	2207230142	KHAIRUL FAHMI PURBA	3. 
4	2207230102	ABDUL FAHRIZAL	4. 
5	2207230091	LUTHFI BADRUT TAMAM	5. 
6			6.
7			7.
8			8.
9			9.
10			10.

Medan, 28 Juli 2026
Ketua Prodi. Teknik Mesin

()

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Nama : Muhammad Alfanny Irawan
NPM : 2207230041
Judul Tugas Akhir : Analisis Kerusakan Pada Sistem Transmisi Forklift Dan Strategi Perawatannya
Dosen Pembimbing - I : Chandra Amirsyah P. Siregar, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing - I : Dr. Sudirman Lubis, ST, MT
Dosen Pembimbing - II : Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T.

KEPUTUSAN / REKOMENDASI HASIL EVALUASI:

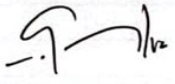
- ☐ 1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
☒ 2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan
☐ 3. Harus mengikuti seminar kembali

Catatan Perbaikan / Temuan Penguji :

- Rework data purna (garansi)
- Sesuaikan template purna
- Rework grafik

Diketahui:

Ketua Prodi. Teknik Mesin


(.....)

Medan, 28 Juli 2026

Dosen Pembimbing - I


Dr. Sudirman Lubis, ST, MT

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Nama : Muhammad Alfanny Irawan
NPM : 2207230041
Judul Tugas Akhir : Analisis Kerusakan Pada Sistem Transmisi Forklift Dan Strategi Perawatannya

Dosen Pembimbing - I : Chandra Amirsyah P. Siregar, S.T., M.T.
Dosen Pembanding - I : Dr. Sudirman Lubis, ST, MT
Dosen Pembanding - II : Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T.

KEPUTUSAN / REKOMENDASI HASIL EVALUASI:

- [] 1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
[✓] 2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan
[] 3. Harus mengikuti seminar kembali

Catatan Perbaikan / Temuan Penguji :

- Lengkapi dokumentasi pelaksanaan.
 - Buat Bab IV lebih teratur susunannya.
-
-

Diketahui:
Ketua Prodi. Teknik Mesin


(.....)

Medan, 28 Juli 2026
Dosen Pembanding - II


Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

Nama : Muhammad Alfanny Irawan
Alamat : Dsn I Desa Karang Tengah
Jenis Kelamin : Laki – Laki
Umur : 22
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 15 Juli 2004
Tinggi dan Berat Badan : 165/63
Kewarganegaraan : Indonesia
No. Telepon : 082284740261

B. ORANG TUA

Nama Bapak : Alfianto Us
Agama : Islam
Nama Ibu : Sukamti
Alamat : Dsn I Desa Karang Tengah

C. LATAR BELAKANG PENDIDIKAN

2010 – 2016 : SDN 102060 Sarang Giting
2016 – 2019 : Madrasah Tsanawiyah Negeri Sarang Giting
2019 – 2022 : SMK Swasta Awal Karya Pembangunan Galang
2022 – 2026 : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara