E-ISSN : 3025-1311
https://journal.cib.institute/index.php/kohesi

Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek
Volume 11 No 3 Tahun 2026

Analisis Pelaksanaan *Preventive Maintenance* dan *Downtime Excavator* Caterpillar 6015B di PT XYZ

An'nisaa As Sajdah[1], Tia Rahmiati[1], dan Asep Yana Yusmaya[1]

[1]Program Studi Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425
E-mail address: annisaa.as.sajdah.tm22@mhsw.pnj.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja pemeliharaan *excavator* Caterpillar 6015B di PT XYZ menggunakan pendekatan *Reliability, Availability, and Maintainability* (RAM) serta mengidentifikasi komponen penyebab utama rendahnya kinerja pemeliharaan. Penelitian menggunakan metode kuantitatif deskriptif dengan data sekunder berupa histori *Preventive Maintenance*, *Downtime*, *Breakdown*, dan *asset utilization* pada lima unit (E6101–E6105) periode Januari–Desember 2025. Analisis dilakukan melalui perhitungan indikator MTBF, MTTR, MA, PA, dan UA, dilanjutkan dengan Diagram Pareto, Diagram *Fishbone*, dan metode 5W+1H. Hasil penelitian menunjukkan bahwa unit E6105 memiliki kinerja pemeliharaan terendah, dengan MTBF 52,31 jam, MTTR 3,25 jam, MA 94,14%, dan PA 84,55%. Analisis Diagram Pareto menunjukkan bahwa komponen *Undercarriage* merupakan penyumbang kerusakan tertinggi dengan 19 dari 84 kejadian *Breakdown* (22,9%). Selanjutnya, Diagram *Fishbone* mengidentifikasi faktor *Method* sebagai akar penyebab dominan, didukung oleh faktor *Machine, Material*, dan *Environment*. Penelitian ini mengusulkan perbaikan berupa standardisasi dan penjadwalan pemeliharaan *undercarriage* melalui metode 5W+1H untuk meningkatkan keandalan dan ketersediaan unit.

Kata-kata kunci: *Preventive Maintenance, Downtime, RAM, Diagram Pareto, Diagram Fishbone.*

Abstract

This study aims to analyze the maintenance performance of Caterpillar 6015B excavators at PT XYZ using the Reliability, Availability, and Maintainability (RAM) approach and to identify the major component contributing to poor maintenance performance. A descriptive quantitative method was employed using secondary data on Preventive Maintenance, Downtime, Breakdown history, and asset utilization from five units (E6101-E6105) during January-December 2025. Maintenance performance was evaluated using MTBF, MTTR, MA, PA, and UA indicators, followed by a Pareto Diagram, a Fishbone Diagram, and the 5W+1H method. The results show that unit E6105 had the poorest maintenance performance, with MTBF of 52.31 hours, MTTR of 3.25 hours, MA of 94.14%, and PA of 84.55%. Pareto

Article History
Received: Agustus 2026
Reviewed:Agustus 2026
Published: Agustus 2026

Plagiarism Checker No 237.u873247.fh8374

Copyright : Author
Publish by : Kohesi

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

analysis identified the Undercarriage as the dominant failure component, accounting for 19 of 84 Breakdown events (22.9%). Fishbone analysis revealed that the Method factor was the primary root cause, supported by the Machine, Material, and Environment factors. Standardized and scheduled undercarriage maintenance through the 5W+1H method is recommended to improve equipment reliability and availability.

***Keywords**: Preventive Maintenance, Downtime, Reliability, Availability and Maintainability (RAM), Pareto Diagram, Fishbone Diagram.*

1. PENDAHULUAN

Alat berat merupakan aset produksi paling vital dalam industri pertambangan sebagai penggerak utama yang menentukan keberhasilan target produksi harian perusahaan [1]. Tinggi rendahnya produktivitas suatu operasi penambangan sangat ditentukan oleh *Reliability* (keandalan), *Availability* (ketersediaan), dan *Maintainability* (kemudahan perawatan) pada alat berat yang digunakan [2]. Di antara berbagai jenis alat berat dalam *fleet*, *excavator* menempati posisi strategis sebagai alat gali-muat utama (*main loading unit*), sehingga dituntut untuk beroperasi pada tingkat ketersediaan tinggi dengan waktu berhenti (*Downtime*) yang seminimal mungkin.

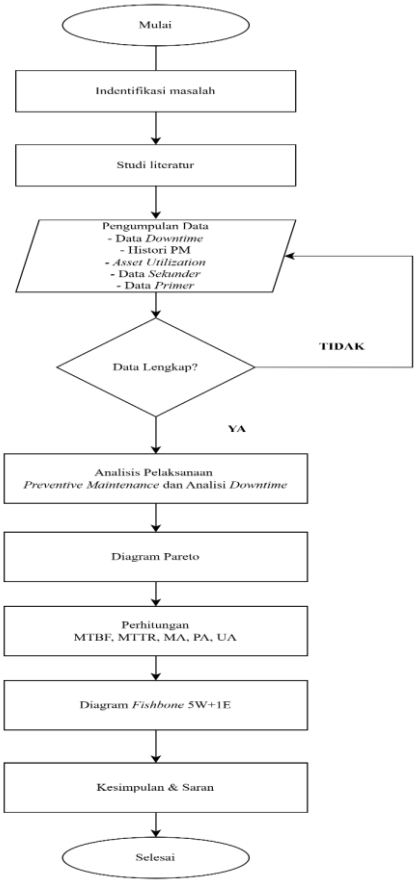
Preventive Maintenance merupakan strategi perawatan terjadwal yang bertujuan mencegah terjadinya kerusakan mendadak (*unscheduled Breakdown*) sekaligus memperpanjang umur pakai komponen [3]. *Downtime* terbagi atas dua kelompok, yaitu *scheduled Downtime* yang bersumber dari durasi pelaksanaan kegiatan pemeliharaan rutin, serta *unscheduled Downtime* akibat kegagalan mekanis yang muncul secara tiba-tiba [4]. Kerusakan komponen akibat penundaan jadwal perawatan berkala berdampak langsung pada terganggunya siklus kerja *excavator*, sehingga menurunkan tingkat ketersediaan fisik alat dalam mendukung target produksi perusahaan.

Penelitian terdahulu banyak membahas pemeliharaan *excavator* kelas *medium* untuk meningkatkan kinerja alat, sedangkan kajian pada *excavator* kelas *ultra-heavy* seperti Caterpillar 6015B masih terbatas. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan (1) menganalisis performa kinerja pemeliharaan pada unit *excavator* Caterpillar 6015B menggunakan indikator *Reliability, Availability,* dan *Maintainability* (RAM), dan (2) mengidentifikasi komponen atau sistem penyebab permasalahan utama berdasarkan hasil perhitungan RAM tersebut, sebagai dasar penyusunan usulan perbaikan pemeliharaan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian kuantitatif deskriptif dengan pendekatan studi kasus. Objek penelitian adalah lima unit *excavator* Caterpillar 6015B kelas *ultra-heavy* yang beroperasi di PT XYZ, yaitu E6101, E6102, E6103, E6104, dan E6105, selama periode Januari–Desember 2025. Data yang digunakan merupakan data sekunder berupa histori *Downtime*, *Breakdown*, *Preventive Maintenance*, dan *asset utilization* unit yang diperoleh secara *remote* dari sistem pencatatan perusahaan, tanpa observasi langsung di lapangan.

Data dianalisis melalui tahapan berikut: (1) menghitung indikator *reliability* (*Mean Time Between Failure*/MTBF), *maintainability* (*Mean Time To Repair*/MTTR), dan *availability* (*Mechanical Availability*/MA, *Physical Availability*/PA, *Use of Availability*/UA) untuk kelima unit guna menentukan unit dengan kinerja pemeliharaan terendah; (2) menyusun *Diagram Pareto* frekuensi *Breakdown* per komponen pada unit kritis tersebut untuk menentukan komponen penyumbang kerusakan dominan; (3) menyusun *Diagram Fishbone* berdasarkan empat faktor, yaitu *Machine, Method, Material,* dan *Environment*, untuk menelusuri akar penyebab kerusakan pada komponen dominan; dan (4) merumuskan usulan perbaikan menggunakan metode 5W+1H berdasarkan hasil analisis *Fishbone*.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 Rumus Perhitungan Indikator RAM

melalui *Mean Time Between Failure* (MTBF) pada Persamaan (1), yaitu rata-rata jam operasi unit di antara dua kegagalan tidak terjadwal.

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

Maintainability diukur melalui *Mean Time To Repair* (MTTR) pada Persamaan (2), yaitu rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki satu kejadian kerusakan.

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

Availability diukur menggunakan tiga indikator berdasarkan komposisi *working hours* (W), *standby hours* (S), dan *repair hours* (R), yaitu *Mechanical Availability* (MA) pada Persamaan (3), *Physical Availability* (PA) pada Persamaan (4), dan *Use of Availability* (UA) pada Persamaan (5).

$$\text{MA} = \frac{\text{W}}{\text{W}+\text{R}} \text{ x } 100\% \quad (3)$$

$$\text{PA} = \frac{\text{W}+\text{S}}{\text{W}+\text{S}+\text{R}} \text{ x } 100\% \quad (4)$$

$$\text{UA} = \frac{\text{W}}{\text{W}+\text{S}} \text{ x } 100\% \quad (5)$$

Keterangan: W = *working hours* (jam kerja); S = *standby hours* (jam siaga); R = *repair hours* (jam perbaikan); Total *Operation Time* = total jam operasi unit; *Breakdown Time* = total jam perbaikan akibat kerusakan; Frekuensi *Breakdown* = jumlah kejadian kerusakan tidak terjadwal (*unscheduled downtime*).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Indikator Performa Pemeliharaan RAM

Perhitungan indikator RAM dilakukan terhadap kelima unit *excavator* untuk memetakan performa pemeliharaan secara holistik. Hasil rekapitulasi nilai MTBF, MTTR, MA, PA, dan UA disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Indikator RAM Unit *Excavator* Caterpillar 6015B Tahun 2025

Kode Unit	MTBF (jam)	MTTR (jam)	MA (%)	PA (%)	UA (%)
E6101	54,72	2,19	96,19	87,95	65,09
E6102	91,87	2,42	97,43	94,44	57,90
E6103	76,00	1,75	97,75	89,14	70,82
E6104	93,33	2,10	97,80	89,54	63,08
E6105	**52,31**	**3,25**	**94,14**	**84,55**	65,82
Rata-rata	**73,65**	**2,34**	**96,66**	**88,92**	**64,54**

Data MTBF menunjukkan bahwa unit E6102 (91,87 jam) dan E6104 (93,33 jam) memiliki keandalan tertinggi, sedangkan unit E6105 (52,31 jam) berada pada tingkat terendah terhadap rata-rata 73,65 jam. Nilai MTBF yang rendah mencerminkan tingginya frekuensi kegagalan operasional yang secara langsung menekan keandalan alat [5]. Pada indikator *maintainability*, waktu perbaikan tercepat dimiliki unit E6103 (1,75 jam), sedangkan yang terlama adalah E6105 (3,25 jam) dengan rata-rata 2,34 jam, menunjukkan bahwa E6105 membutuhkan waktu perbaikan paling lama di antara kelima unit [5].

Pada indikator *availability*, nilai MA seluruh unit tergolong tinggi (94,14%–97,80%; rata-rata 96,66%) dan nilai PA berkisar 84,55%–94,44% (rata-rata 88,92%), dengan E6105 mencatat nilai MA dan PA terendah akibat frekuensi kegagalan yang tinggi serta waktu perbaikan yang lebih lama. Sebaliknya, indikator UA menunjukkan nilai yang relatif rendah (57,90%–70,82%; rata-rata 64,54%), dengan nilai terendah pada E6102 (57,90%) akibat tingginya waktu *standby*, yang

mengindikasikan pemanfaatan operasional yang belum optimal dan bukan masalah keandalan teknis. Berdasarkan keseluruhan indikator, unit E6105 mencatat nilai terburuk pada empat dari lima indikator RAM (MTBF, MTTR, MA, dan PA), sehingga dipilih sebagai unit kritis untuk analisis lebih lanjut.

3.2 Indikator Performa Pemeliharaan RAM

Perhitungan indikator RAM dilakukan terhadap kelima unit *excavator* untuk memetakan performa pemeliharaan secara holistik. Hasil rekapitulasi nilai MTBF, MTTR, MA, PA, dan UA disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Indikator RAM Unit *Excavator* Caterpillar 6015B Tahun 2025

Kode Unit	MTBF (jam)	MTTR (jam)	MA (%)	PA (%)	UA (%)
E6101	54,72	2,19	96,19	87,95	65,09
E6102	91,87	2,42	97,43	94,44	57,90
E6103	76,00	1,75	97,75	89,14	70,82
E6104	93,33	2,10	97,80	89,54	63,08
E6105	**52,31**	**3,25**	**94,14**	**84,55**	65,82
Rata-rata	**73,65**	**2,34**	**96,66**	**88,92**	**64,54**

Data MTBF menunjukkan bahwa unit E6102 (91,87 jam) dan E6104 (93,33 jam) memiliki keandalan tertinggi, sedangkan unit E6105 (52,31 jam) berada pada tingkat terendah terhadap rata-rata 73,65 jam. Nilai MTBF yang rendah mencerminkan tingginya frekuensi kegagalan operasional yang secara langsung menekan keandalan alat [5]. Pada indikator *maintainability*, waktu perbaikan tercepat dimiliki unit E6103 (1,75 jam), sedangkan yang terlama adalah E6105 (3,25 jam) dengan rata-rata 2,34 jam, menunjukkan bahwa E6105 membutuhkan waktu perbaikan paling lama di antara kelima unit [5].

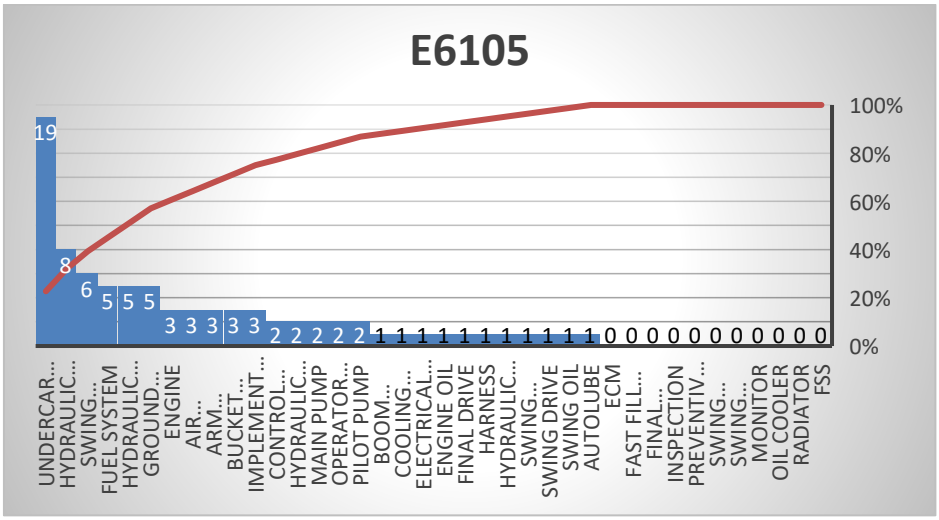
Pada indikator *availability*, nilai MA seluruh unit tergolong tinggi (94,14%–97,80%; rata-rata 96,66%) dan nilai PA berkisar 84,55%–94,44% (rata-rata 88,92%), dengan E6105 mencatat nilai MA dan PA terendah akibat frekuensi kegagalan yang tinggi serta waktu perbaikan yang lebih lama. Sebaliknya, indikator UA menunjukkan nilai yang relatif rendah (57,90%–70,82%; rata-rata 64,54%), dengan nilai terendah pada E6102 (57,90%) akibat tingginya waktu *standby*, yang mengindikasikan pemanfaatan operasional yang belum optimal dan bukan masalah keandalan teknis. Berdasarkan keseluruhan indikator, unit E6105 mencatat nilai terburuk pada empat dari lima indikator RAM (MTBF, MTTR, MA, dan PA), sehingga dipilih sebagai unit kritis untuk analisis lebih lanjut.

3.3 Analisis Diagram Pareto Unit E6105

Untuk mengidentifikasi komponen kritis penyebab tingginya *Downtime* pada unit E6105, dilakukan analisis *Diagram Pareto* berbasis prinsip 80/20 [6] terhadap data frekuensi *Breakdown* per komponen sepanjang tahun 2025. Ringkasan delapan komponen dengan frekuensi *Breakdown* tertinggi disajikan pada Tabel 2, sedangkan visualisasi lengkap ditunjukkan pada Gambar 3.

Tabel 3. Frekuensi *Breakdown* Komponen Dominan Unit E6105 Tahun 2025

No	Komponen/Sistem	Frekuensi	Persentase (%)
1	*Undercarriage*	19	22,9
2	*Hydraulic Hose*	8	9,6
3	*Swing System*	6	7,2
4	*Fuel System*	5	6,0
5	*Hydraulic Oil*	5	6,0
6	*Ground Engaging Tools*	5	6,0
7	*Engine*	3	3,6
8	*Air Conditioner*	3	3,6
9	Komponen lainnya (30 kategori)	30	35,1
Total		**84**	**100,0**



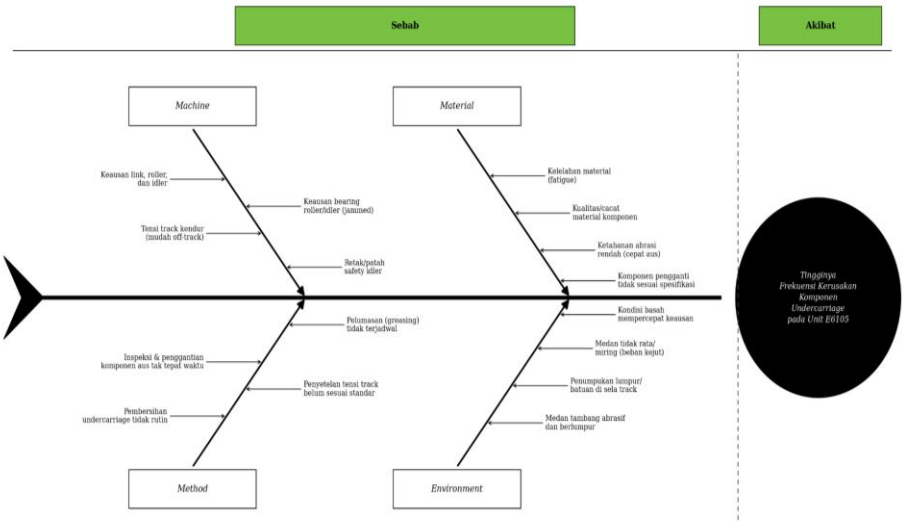
Gambar 1. Diagram Pareto Frekuensi *Breakdown* Unit E6105 Tahun 2025

Hasil analisis menunjukkan bahwa komponen *Undercarriage* mencatat frekuensi kegagalan tertinggi, yaitu 19 dari 84 kejadian *Breakdown* (22,9%), diikuti *Hydraulic Hose* (9,6%) dan *Swing*

System (7,2%). Kelompok komponen kritis dominan (*vital few*) yang terdiri atas *Undercarriage, Hydraulic Hose, Swing System, Fuel System, Hydraulic Oil,* dan *Ground Engaging Tools* secara kumulatif menyumbang lebih dari 57% dari total *Breakdown* unit E6105. Dengan demikian, *Undercarriage* ditetapkan sebagai komponen utama penyebab tingginya frekuensi kerusakan dan rendahnya nilai MTBF pada unit E6105, sehingga analisis akar penyebab dilanjutkan menggunakan *Diagram Fishbone*.

3.4 Analisis Diagram *Fishbone*

Diagram Pareto hanya mampu menjawab komponen apa yang paling bermasalah, namun belum menjelaskan mengapa komponen tersebut sering mengalami kerusakan. Oleh karena itu, analisis dilanjutkan menggunakan *Diagram Fishbone* yang memetakan secara sistematis faktor-faktor penyebab suatu permasalahan hingga ke akar penyebabnya [6], [7]. Sesuai batasan penelitian, analisis dibatasi pada empat faktor, yaitu *Machine, Method, Material,* dan *Environment*, dengan tingginya frekuensi kerusakan komponen *Undercarriage* pada unit E6105 sebagai kepala ikan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. *Diagram Fishbone* Komponen *Undercarriage* Unit E6105

Pada faktor *Machine*, riwayat kerusakan mencatat *track* terlepas (*off-track*), komponen macet (*jammed*), hingga patahnya *safety idler* akibat tensi *track* kendur dan keausan *link, roller,* dan *idler* [7]. Pada faktor *Method*, penyetelan tensi *track* yang tidak konsisten, pembersihan dan pelumasan (*greasing*) yang tidak rutin, serta keterlambatan inspeksi menunjukkan bahwa pemeliharaan masih bersifat reaktif [3], [4]. Pada faktor *Material*, kelelahan material (*fatigue*) akibat beban berulang dan potensi penggunaan suku cadang tidak standar mempercepat kegagalan struktural, seperti patahnya *safety idler* [8]. Pada faktor *Environment*, medan tambang yang berlumpur dan abrasif menyebabkan penumpukan material pada sela *track* dan *roller* yang memicu *off-track* dan komponen macet [9].

Berdasarkan pemetaan tersebut, tingginya frekuensi kerusakan komponen *Undercarriage* pada unit E6105 tidak disebabkan oleh faktor tunggal, melainkan oleh keterkaitan keempat faktor, dengan faktor *Method* — belum adanya prosedur baku (SOP) khusus perawatan *undercarriage* — sebagai akar penyebab yang paling dominan dan diperkuat oleh kondisi *Machine*, *Material*, dan *Environment*.

3.5 Usulan Perbaikan Metode 5W+1H

Berdasarkan akar penyebab yang diidentifikasi melalui *Diagram Fishbone*, diajukan usulan perbaikan menggunakan metode 5W+1H. Metode ini menjabarkan setiap rencana tindakan melalui enam pertanyaan, yaitu *what* (apa target perbaikannya), *why* (mengapa perbaikan diperlukan), *where* (di mana dilaksanakan), *when* (kapan dilakukan), *who* (siapa penanggung jawabnya), dan *how* (bagaimana pelaksanaannya), sehingga setiap usulan pada keempat faktor Fishbone memiliki dasar, sasaran, dan cara pelaksanaan yang jelas dan terukur, sebagaimana disajikan padaTabel 4.

Tabel 4. Hasil Analisis 5W+1H Kasus Tingginya Frekuensi Kerusakan Komponen *Undercarriage* Unit E6105

Faktor	What	Why	Where	When	Who	How
Machine	Penyetelan tensi *track* & penggantian komponen aus (*roller, idler, safety idler*)	Tensi tidak standar & komponen aus memicu *off-track, jammed*, dan patah komponen	*Workshop/maintenance bay*	Setiap PM & setelah operasi di medan berat	Mekanik *undercarriage*	Mengukur tensi *track* sesuai standar Caterpillar & mengganti komponen aus
Method	Standardisasi prosedur & jadwal perawatan *undercarriage*	Perawatan belum baku & tidak konsisten sehingga kerusakan berulang	*Workshop* & lokasi kerja	Pembersihan/pelumasan harian; penyetelan & inspeksi tiap PM	Tim *maintenance*	Menyusun SOP & *checklist* perawatan sesuai manual Caterpillar
Material	Penjaminan mutu & ketersediaan komponen pengganti	Material di bawah spesifikasi mempercepat keausan & *fatigue*	Gudang suku cadang & *workshop*	Saat pengadaan & penggantian komponen	Tim logistik/*planner*	Menggunakan komponen *genuine* sesuai spesifikasi & menjaga stok komponen kritis
Environment	Pengendalian dampak medan kerja terhadap *undercarriage*	Medan abrasif, berlumpur, & tidak rata mempercepat keausan	Lokasi kerja & *washing bay*	Setelah operasi di medan berlumpur/berat	Operator & tim *maintenance*	Membersihkan *undercarriage* dari lumpur/batuan & melaporkan kondisi medan ekstrem

Usulan perbaikan tersebut menyasar seluruh faktor penyebab secara terpadu, dengan penekanan pada standardisasi prosedur perawatan (faktor *Method*) sebagai akar penyebab dominan, yang diharapkan dapat menurunkan frekuensi *breakdown* komponen *Undercarriage* sekaligus meningkatkan nilai MTBF dan ketersediaan unit E6105 secara berkelanjutan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian terhadap lima unit *Excavator* Caterpillar 6015B di PT XYZ periode Januari–Desember 2025, disimpulkan bahwa: (1) kinerja pemeliharaan unit menunjukkan tingkat ketersediaan yang baik (rata-rata MA 96,66% dan PA 88,92%), namun tingkat keandalan antar unit masih bervariasi (rata-rata MTBF 73,65 jam dan MTTR 2,34 jam), dengan unit E6105 mencatat kinerja pemeliharaan terendah; dan (2) *Diagram Pareto* mengidentifikasi *Undercarriage* sebagai penyebab utama rendahnya MTBF pada unit E6105 dengan 19 dari 84 kejadian *Breakdown* (22,9%), sedangkan *Diagram Fishbone* mengidentifikasi

faktor *Method* sebagai akar penyebab dominan, didukung oleh faktor *Machine, Material,* dan *Environment*. Atas dasar temuan tersebut, disusun usulan perbaikan melalui standardisasi dan penjadwalan perawatan *undercarriage* menggunakan metode 5W+1H..

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT XYZ atas penyediaan data operasional yang digunakan dalam penelitian ini, serta kepada Program Studi Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, atas dukungan dalam pelaksanaan penelitian.

REFERENSI

1. Puspita Sari, T., & Dahlan, M. (2025). *Analisis Perencanaan Perawatan Komponen Excavator CAT PC300 untuk Mengurangi Downtime dengan Metode RCM di PT. SYH*. https://doi.org/10.3926/japsi.v3i4.2254
2. Kumar, N. S. H., Manjunath, C., John, R. P., Chand, R. P., Madhusudhana, S., & Venkatesha, B. K. (2022). Reliability, availability and maintainability study of 6.5 cubic meters shovel and 60 tone dumper in a surface limestone mine. *Materials Today: Proceedings*, 54, 199–204. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.292
3. Adinda Rosmalia, Priyo Ari Wibowo, & Rikzan Bachrul Ulum. (2025). Analisis Efektivitas Perawatan Preventif Menggunakan OEE dan Six Big Losses Pada Mesin Simplex di PT. XYZ. *Jupiter: Publikasi Ilmu Keteknikan Industri, Teknik Elektro Dan Informatika*, 3(4), 295–309. https://doi.org/10.61132/jupiter.v3i4.991
4. Erlangga Diwansyah Rachmawan, Endang Prasetyaningsih, & Reni Amaranti. (2025). Reduksi *Downtime* Menggunakan Preventive Maintenance Di PT XYZ. *Jurnal Riset Teknik Industri*, 83–92. https://doi.org/10.29313/jrti.v5i1.6447
5. Alfionita, S., & Alifin, F. I. (2023). Preventive Maintenance Analysis Based on Mean Time Between Failure (MTBF) and Mean Time to Repair (MTTR). *Angkasa: Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi*, 15(2), 201. https://doi.org/10.28989/angkasa.v15i2.1833
6. Arif, R., Gunawan, A., Manajemen, M., Sultan, U., & Tirtayasa, A. (2020). *Diagram Pareto dan Diagram Fishbone: Penyebab yang Mempengaruhi Keterlambatan Pengadaan Barang di Perusahaan Industri Petrochemicals Cilegon Periode 2020-2022*. https://doi.org/10.48181/jrbmt.v7i1.23411
7. Maulana, I., & Ibrahim, A. (2017). *Analisa Kerusakan Komponen Undercarriage Excavator Hitachi EX200 pada PT. Takabeya Perkasa Group dengan Metode FMEA*.

8. Stya Bastari, A., & Varayesi, F. (2022). *Analisis Performance Maintenance pada Blowout Preventer Menggunakan Metode Reability MTBF MTTR dan Degradation Test Rubber Packing Element*.
9. Yandi, D., & Irawadi, Y. (2025). Analisis Kerusakan Bagian Undercarriage Excavator Amphibious Tipe Long Arm. *Zona Teknik: Jurnal Ilmiah*, 19(1), 7–14. https://doi.org/10.37776/zt.vxix.xxx