



Analisa Kegagalan Suspensi Cylinder pada Unit CAT 777D dan Dampak terhadap Downtime Operasional di PT Sims Jaya Kaltim

Dhanie Freida Aji Sunjana^{1,*}, Dadang Hermawan¹, Purbo Suwandono¹, Arief Rizki Fadhillah¹

¹ Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Widyagama Malang, Jawa Timur, Indonesia

Kata kunci

Suspensi silinder
CAT 777D
Downtime
Predictive maintenance
Kontaminasi oli

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab kegagalan suspensi silinder pada unit dump truck CAT 777D serta dampaknya terhadap downtime operasional di PT SIMS Jaya Kaltim. Sistem suspensi hidropneumatik pada unit ini memegang peranan penting dalam meredam getaran dan menjaga stabilitas kendaraan di medan tambang yang ekstrem. Namun, tingginya frekuensi kegagalan, terutama akibat keausan seal, overpressure sistem, dan kontaminasi oli, menjadi penyebab signifikan downtime alat berat. Studi dilakukan dengan pendekatan kuantitatif dan kualitatif melalui observasi lapangan, wawancara teknis, analisis data maintenance, dan pengambilan sampel oli. Hasilnya menunjukkan bahwa 30 kejadian kegagalan suspensi selama satu tahun menyebabkan downtime sebesar 257 jam, dengan hubungan korelasi yang sangat kuat ($r = 0,984$) antara frekuensi kerusakan dan durasi downtime. Dari analisis Pareto, tiga penyebab utama menyumbang lebih dari 80% total kerusakan, yaitu seal aus (45%), overpressure (30%), dan kontaminasi oli (25%). Temuan ini menunjukkan bahwa strategi pemeliharaan preventif yang saat ini digunakan belum efektif dalam mencegah kegagalan internal. Oleh karena itu, penelitian ini merekomendasikan penerapan Predictive Maintenance (PdM) berbasis sensor dan analisis data kondisi nyata untuk menurunkan downtime, memperpanjang usia pakai komponen, dan meningkatkan efisiensi operasional.

* Corresponding author:

Dhanie Freida Aji Sunjana (email: purbo@widyagama.ac.id)

Diterima: 6 Agustus 2025

Disetujui: 8 Februari 2026

Dipublikasikan: 17 Februari 2026

1 Pendahuluan

Keandalan dan efisiensi operasional alat berat merupakan faktor krusial dalam industri pertambangan, khususnya dalam proses pemindahan material. Salah satu alat berat yang banyak digunakan di sektor ini adalah dump truck Caterpillar 777D, yang dirancang untuk bekerja di medan ekstrem dengan beban berat. Unit ini dilengkapi dengan sistem suspensi hidropneumatik, yaitu kombinasi antara gas nitrogen dan oli hidrolik yang bekerja sebagai peredam kejutan untuk menjaga stabilitas dan kenyamanan kendaraan saat melintasi medan tambang yang tidak rata (Putra, Syarif and Isworo, 2018).

Truk tambang Caterpillar 777D memainkan peran strategis dalam mobilisasi material di areal penambangan PT SIMS Jaya Kaltim. Saat beroperasi di lingkungan pertambangan, alat berat ini mengalami beban dinamis tinggi akibat beban berat, medan tidak rata, dan frekuensi penggunaan yang intensif. Untuk memastikan kestabilan serta kenyamanan operasional, sistem suspensi silinder menjadi komponen penting dalam meredam getaran dan menjaga stabilitas lintasan truk (Shanbhag et al., 2021).

Komponen utama dari sistem suspensi ini adalah suspensi silinder (suspension cylinder) yang terdiri dari piston, seal, oli, dan ruang nitrogen. Kinerja optimal dari komponen ini sangat menentukan keamanan dan kenyamanan kendaraan selama beroperasi. Dalam jangka panjang, frekuensi kegagalan suspensi silinder cukup tinggi, seringkali disebabkan oleh kerusakan seal dan degradasi material akibat kelelahan mekanik. Studi menggunakan metode FMEA pada truk off-highway seperti Cat 777D menunjukkan bahwa kegagalan suspensi termasuk komponen yang memiliki nilai risiko tinggi untuk menyebabkan unscheduled breakdown (Ahead and

Development, 2007). Seal yang aus menyebabkan kebocoran fluida hidrolik, sehingga menurunkan efektivitas redaman, memicu kerusakan lebih lanjut, dan mengakibatkan unit terhenti tak terduga.

Dalam praktiknya, kerusakan pada suspensi silinder menjadi salah satu penyebab dominan downtime alat berat. Berdasarkan studi oleh (Afiva, Atmaji and Alhilman, 2020) tercatat bahwa sekitar 19,5% downtime unit dump truck di sebuah tambang besar di Indonesia disebabkan oleh kerusakan suspensi silinder, terutama akibat seal yang aus dan overloading.

Lebih lanjut, (Pedersen et al., 2021) juga menunjukkan bahwa sekitar 38% dari total downtime alat berat disebabkan oleh kerusakan sistem suspensi silinder. Faktor penyebab utama meliputi keausan komponen internal, kebocoran seal, serta kontaminasi fluida. Ketika salah satu dari elemen sistem ini mengalami gangguan, maka kemampuan peredaman dan kestabilan kendaraan akan menurun drastis. Hal ini bukan hanya menyebabkan penurunan produktivitas, tetapi juga meningkatkan risiko kecelakaan dan memperbesar biaya perbaikan.

Permasalahan tersebut juga terjadi di PT SIMS Jaya Kaltim, sebuah perusahaan kontraktor tambang batubara di Kalimantan Timur yang mengoperasikan sejumlah unit Caterpillar 777D. Berdasarkan data operasional selama satu tahun terakhir, ditemukan 30 kasus kerusakan suspensi silinder dengan total downtime mencapai 257 jam. Fenomena ini menimbulkan kebutuhan mendesak untuk mengevaluasi penyebab kerusakan serta menyusun strategi pemeliharaan yang lebih efektif guna meningkatkan ketersediaan alat (availability) dan efisiensi kerja (Peng, Dong and Zuo, 2010).

Saat ini, strategi pemeliharaan yang digunakan masih didominasi oleh pendekatan preventive maintenance, yaitu pemeliharaan berkala berdasarkan jam kerja alat. Meskipun dapat mencegah kerusakan secara umum, pendekatan ini belum mampu mendeteksi anomali internal secara real-time. Oleh karena itu, muncul kebutuhan untuk beralih ke pendekatan predictive maintenance (PdM), yaitu pemeliharaan berdasarkan kondisi aktual komponen menggunakan data sensor dan analisis fluida (Kuckuk and Kostler, 2018). Pendekatan ini terbukti mampu meningkatkan efisiensi dan memperpanjang umur pakai komponen (Peng, Dong and Zuo, 2010).

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab dominan kerusakan suspensi silinder pada unit Cat 777D, menganalisis dampaknya terhadap downtime operasional, serta mengevaluasi strategi pemeliharaan yang dapat menekan kerusakan dan meningkatkan efisiensi. Penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan kontribusi akademis dalam bidang teknik pemeliharaan alat berat, tetapi juga solusi praktis yang dapat diimplementasikan langsung di industri tambang.

2 Metode Penelitian

a. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan studi kasus pada unit dump truck CAT 777D yang dioperasikan oleh PT SIMS Jaya Kaltim, sebuah perusahaan kontraktor tambang di Kalimantan Timur. Penelitian bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab utama kegagalan suspensi cylinder, mengukur dampaknya terhadap downtime operasional, serta mengevaluasi efektivitas strategi pemeliharaan.

b. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada area operasional dan workshop PT SIMS Jaya Kaltim, termasuk front loading dan hauling area, selama periode Maret hingga Mei 2025.

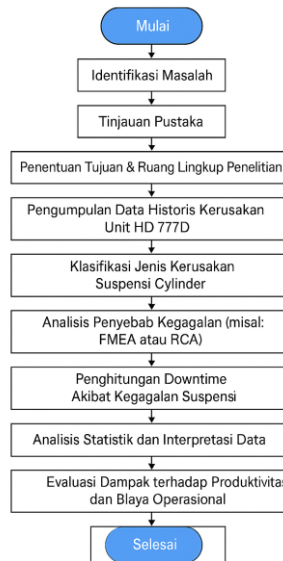
c. Objek Penelitian

Objek penelitian meliputi 10 unit dump truck CAT 777D yang aktif beroperasi. Fokus pengamatan adalah pada komponen suspensi cylinder bagian depan dan belakang sebagai sistem redaman getaran utama.

d. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan mixed methods (kuantitatif dan kualitatif) untuk memperoleh hasil yang komprehensif terkait analisis kegagalan suspensi cylinder pada unit CAT 777D dan dampaknya terhadap downtime operasional. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk menganalisis data numerik seperti frekuensi kerusakan, durasi downtime, dan jumlah unit terdampak. Sementara itu, pendekatan kualitatif digunakan untuk menggali informasi teknis terkait kondisi aktual komponen, penyebab kerusakan, dan penanganannya berdasarkan hasil observasi dan wawancara dengan teknisi.

Analisis Kegagalan Suspensi Cylinder pada Unit HD 777D dan Dampaknya terhadap Downtime Operasional



Gambar 1 diagram alir analisis kegagalan suspensi cylinder pada unit CAT 777D

e. Teknik Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data meliputi:

- Observasi terhadap proses perawatan dan gejala kerusakan.
- Wawancara semi-terstruktur dengan teknisi maintenance.
- Dokumentasi berupa log frekuensi kerusakan dan waktu henti unit.
- Sampling dan analisis oli untuk mendeteksi kontaminasi internal sistem suspensi.

f. Analisis Data

Analisis dilakukan dalam beberapa tahap:

- Diagram Pareto untuk mengidentifikasi penyebab dominan kegagalan suspensi.
- Analisis tren downtime bulanan untuk melihat fluktuasi dan pola kejadian.
- Korelasi Pearson digunakan untuk mengukur hubungan antara jumlah kegagalan suspensi dengan total downtime.
- Evaluasi strategi maintenance dilakukan dengan membandingkan efektivitas pendekatan preventive maintenance dan predictive maintenance berdasarkan studi literatur dan hasil lapangan.

g. Validitas dan Reliabilitas

Validitas data dijamin melalui triangulasi metode (observasi, wawancara, dan dokumentasi). Reliabilitas dijaga dengan mengacu pada standar waktu perbaikan, instrumen pengukuran yang terkalibrasi, dan catatan resmi dari tim maintenance.

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Kegagalan Suspensi Cylinder Pada Unit Cat 777D

Table 1 Total Unit Support Yang Siap di Operasikan

DOZER	April 2024							
	08	09	10	11	12	13	14	Average
TOTAL Bplan	25	25	25	25	25	25	25	25
PA (%)	83%	87%	88%	88%	89%	75%	82%	84%
Average RFU	21	22	22	22	22	19	20	21
GRADER	April 2024							
	08	09	10	11	12	13	14	Average
TOTAL Bplan	14	14	14	14	14	14	14	14
PA (%)	83%	93%	93%	93%	93%	85%	79%	88%
AVG RFU	12	13	13	13	13	12	11	12

- Rerata Presentase PA Unit Support Bulldozer berada pada 84% dari target 82% dan Rerata Presentase PA Unit Support Motor Greader berada pada 88% dari target 78%.

- Jumlah Bulldozer untuk kebutuhan operasional telah memadai pada saat sampel ini diambil (20 unit). Kebutuhan minimum 17 Unit Dozer setiap harinya untuk membantu proses gali muat di area front loading, disposal dan juga untuk keperluan perbaikan kondisi jalan.
- Jumlah Motor Grader untuk kebutuhan operasional telah memadai pada saat sampel ini diambil (12 unit). Kebutuhan minimum 9 Unit Grader setiap harinya untuk membantu proses perbaikan jalan.
- Kegagalan suspensi silinder pada unit Caterpillar 777D umumnya disebabkan oleh beberapa faktor yang saling berkaitan. Salah satu penyebab utama adalah keausan seal akibat usia pakai, kualitas seal yang rendah, atau kontaminasi oli, yang dapat mengakibatkan kebocoran oli hidrolik dan menurunnya tekanan kerja silinder. Selain itu, beban berlebih yang melebihi kapasitas desain unit sering menjadi pemicu kerusakan akibat tekanan berlebihan pada komponen suspensi. Kontaminasi oli oleh air, debu, atau partikel asing juga berkontribusi terhadap kerusakan internal silinder dan keausan komponen. Faktor lain yang umum adalah kurangnya perawatan rutin serta inspeksi visual yang terabaikan, sehingga potensi kerusakan tidak terdeteksi sejak dini. Kerusakan internal silinder seperti scoring atau pitting sering kali muncul akibat oli yang kotor atau adanya korosi dari dalam. Medan operasi yang ekstrem, seperti jalan tambang yang rusak parah atau kecepatan berlebih saat melewati medan kasar, turut menyebabkan hentakan dan getaran berlebih yang mempercepat kegagalan suspensi. Kesalahan dalam proses instalasi atau rebuild dengan toleransi yang tidak sesuai spesifikasi pabrikan juga memperburuk kondisi, terutama jika menggunakan komponen non-OEM. Terakhir, umur komponen yang sudah melewati batas siklus kerja juga menjadi penyebab umum terjadinya penurunan performa dan kegagalan sistem suspensi silinder.

3.2 Analisis Penyebab Kegagalan Suspensi Silinder pada Unit CAT 777D dengan Metode FMEA

Table 2 Analisa menggunakan metode FMEA

Fungsi Komponen	Potensi Mode Kegagalan	Efek Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Severity (S)	Occurrence (O)	Detection (D)	RPN (SxOxD)	Rekomendasi
Seal (Rod & Piston Seal)	Seal Aus	Kebocoran Oli, Hilangnya tekanan, redaman gagal	Umur pakai tinggi, materail seal tidak tahan panas/kontaminasi	9	8	5	360	Ganti ke seal tahan panas/debu, lakukan inspeksi rutin & PDM sensor tekanan
Sistem Hidrolok	Overpressure	Tekanan tinggi, kerusakan internal silinder, seal meledak	relief valve rusak, overload, medan buruk	8	6	6	288	Kalibrasi relief valve, monitoring tekanan dengan sensor
Oli hidrolik	Kontaminasi (air/debu/logam)	abrasi internal, scoring piston, orifice tersumbat	Filter rusak, seal bocor, service tidak bersih	8	5	6	240	ganti filter berkala, analisis oli rutin, tingkatkan prosedur flushing
piston	Keausan	Redaman tidak maksimal, getaran tinggi, potensi kegagalan struktural	oli kotor, gesekan tinggi, toleransi tidak presisi	7	5	5	175	gunakan oli sesuai spesifikasi, kontrol keausan via inspeksi Pdm
komponen mounting	baut longgar	pergerakan tidak stabil, suspensi bocor	getaran torsi berlebih, pemasangan tidak tepat	6	4	6	144	Penerapan prosedur torque standart, cek kekencangan berkala
Nitrogen chamber	Tekanan rendah	peredaman lemah, unit terasa keras dan tidak stabil	valve bocor, usia kerja gas, seal antara chamber gagal	7	4	5	140	Isi ulang nitrogen berkala, dekteksi

Interpretasi dan Prioritas Perbaikan

- RPN tertinggi (≥ 240) ditemukan pada seal aus, overpressure, dan kontaminasi oli, yang juga sesuai dengan hasil analisis Pareto dalam skripsi (masing-masing 45%, 30%, dan 25% dari total kegagalan).
- Strategi maintenance berbasis waktu (preventive) tidak mampu mendeteksi tiga kegagalan ini secara real-time.
- Penerapan Predictive Maintenance (PdM) sangat disarankan, seperti:
 - o Penggunaan sensor tekanan dan analisa oli laboratorium;
 - o Integrasi data ke CMMS untuk sistem peringatan dini;
 - o Pelatihan teknisi agar mampu membaca tren kerusakan melalui data sensor.

Kesimpulan FMEA

Dengan FMEA, kita dapat menyusun prioritas tindakan preventif berdasarkan nilai Risk Priority Number (RPN). Tiga kegagalan dengan RPN tertinggi wajib menjadi fokus utama manajemen pemeliharaan di PT SIMS Jaya Kaltim untuk menurunkan downtime dan meningkatkan availability unit CAT 777D.

3.3 Pemaparan Data Kerusakan Suspensi dan Downtime

Penelitian ini dilakukan di PT SIMS Jaya Kaltim dengan fokus pada unit alat berat dump truck Cat CAT 777D, khususnya pada komponen suspensi silinder. Data yang dianalisis mencakup kerusakan yang terjadi selama satu tahun terakhir (Januari–Desember) dan waktu downtime akibat kerusakan tersebut. Berdasarkan hasil pengumpulan data lapangan dan catatan maintenance, tercatat sebanyak 30 kasus kerusakan suspensi silinder selama periode tersebut, dengan total downtime sebesar 257 jam. Kerusakan paling sering terjadi pada bulan Agustus, dengan lima kejadian dan downtime total 35 jam. Grafik tren downtime menunjukkan peningkatan signifikan mulai bulan Mei hingga Agustus, kemudian menurun kembali setelah dilakukan peningkatan inspeksi dan perbaikan pada sistem suspense.

Table 3 jumlah kerusakan dan downtime setiap bulan pada tahun 2024

Bulan	Jumlah Kerusakan	Downtime (jam)
Januari	1	12
Februari	2	18
Maret	2	20
April	1	15
Mei	3	25
Juni	4	30
Juli	4	28
Agustus	5	35
September	3	22
Oktober	2	20
November	2	18
Desember	1	14

Efisiensi dihitung berdasarkan kebalikan dari total downtime yang disebabkan oleh kerusakan, dengan pendekatan:

$$\text{Efisiensi Operasional} = 100 - \left(\frac{\text{Downtime bulan itu}}{\text{Downtime maksimum}} \times 100 \right)$$

Downtime maksimum adalah 35 jam (pada bulan Agustus). Oleh karena itu, efisiensi pada bulan Agustus dianggap sebagai 0%, sedangkan bulan lainnya dinilai relatif terhadap itu.

Table 4 hasil efesiensi operasional setiap bulan pada tahun 2024

Bulan	Downtime (jam)	Efisiensi (%)
Januari	12	65.7
Februari	18	48.6
Maret	20	42.9
April	15	57.1
Mei	25	28.6
Juni	30	14.3
Juli	28	20
Agustus	35	0
September	22	37.1
Oktober	20	42.9
November	18	48.6
Desember	14	60

3.4 Hubungan antara Frekuensi Kegagalan dan Durasi Downtime

Analisis korelasi antara jumlah kerusakan bulanan dan durasi downtime menunjukkan hubungan positif yang sangat kuat, dengan koefisien korelasi Pearson sebesar 0,984 dan nilai signifikansi $p < 0,001$. Artinya, setiap peningkatan jumlah kerusakan suspensi silinder akan menyebabkan peningkatan signifikan dalam waktu

henti operasional. Sebagai contoh, pada bulan dengan 5 kerusakan (Agustus), downtime mencapai 35 jam. Sebaliknya, bulan dengan hanya 1 kerusakan (Januari dan Desember) hanya menimbulkan downtime 12–14 jam. Hubungan linear ini menunjukkan bahwa keberhasilan pengendalian kerusakan akan berdampak langsung terhadap efisiensi alat berat.

3.5 Rekomendasi Strategi Maintenance: Predictive vs Preventive

Berdasarkan temuan di atas, direkomendasikan agar PT SIMS Jaya Kaltim mulai beralih dari model pemeliharaan preventif konvensional ke pendekatan predictive maintenance (PdM), terutama untuk komponen suspensi silinder. Pendekatan ini lebih adaptif terhadap kondisi aktual alat dan dapat mencegah kerusakan sebelum terjadi. Preventive maintenance, seperti inspeksi berkala dan penggantian seal setiap 2000 jam, masih diperlukan untuk mencegah keausan. Namun, pendekatan ini belum cukup untuk mendeteksi kerusakan internal atau anomali tekanan hidrolik secara real-time. Kelemahannya terletak pada sifat jadwal tetap, yang seringkali tidak memperhitungkan kondisi aktual komponen. Predictive maintenance, yang melibatkan penggunaan sensor tekanan, sensor suhu, dan analisis oli secara berkala, memungkinkan tim maintenance memprediksi kerusakan sebelum terjadi. Integrasi data historis dengan algoritma machine learning dapat digunakan untuk memprediksi Remaining Useful Life (RUL) dari komponen suspensi. Hal ini memungkinkan tindakan pencegahan dilakukan lebih akurat dan efisien.

4 Kesimpulan

- **Penyebab Utama Kerusakan**

Dari hasil analisis Pareto, ditemukan bahwa seal aus (45%), overpressure sistem hidrolik (30%), dan kontaminasi oli (25%) merupakan tiga penyebab dominan kegagalan suspensi silinder, yang berkontribusi lebih dari 80% terhadap total kasus kerusakan.

- **Dampak Terhadap Downtime**

Kerusakan pada suspensi silinder memiliki dampak signifikan terhadap downtime alat berat. Tercatat 30 kejadian kerusakan menyebabkan total downtime sebesar 257 jam dalam satu tahun. Analisis korelasi menunjukkan hubungan yang sangat kuat ($r = 0,984$) antara frekuensi kerusakan dan lama downtime.

- **Efektivitas Pemeliharaan**

Sistem pemeliharaan preventif yang selama ini digunakan belum cukup efektif menekan frekuensi kerusakan, khususnya dalam mendeteksi anomali internal sebelum kerusakan terjadi. Hal ini mendorong perlunya transisi ke pendekatan predictive maintenance (PdM) berbasis sensor dan data..

5 Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT SIMS Jaya Kaltim atas izin dan dukungan dalam pelaksanaan studi kasus ini, serta kepada para teknisi dan staf lapangan yang telah memberikan data dan wawasan berharga selama proses penelitian berlangsung. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang, khususnya kepada dosen pembimbing Bapak Dadang Hermawan, ST., MT. dan Bapak Purbo Suwandono, ST., MT., atas bimbingan dan masukan konstruktif selama proses penyusunan artikel ini..

6 Referensi

- [1] Afiva, W.H., Atmaji, F.T.D. and Alhilman, J. (2020) 'Penerapan Metode Reliability Centered Maintenance (Rcm) Pada Perencanaan Interval Preventive Maintenance Dan Estimasi Biaya Pemeliharaan Menggunakan Analisis Fmeca (Studi Kasus : Pt. Xyz)', Jurnal PASTI, 13(3), p. 298. Available at: <https://doi.org/10.22441/pasti.2019.v13i3.007>.
- [2] Ahead, N.S. and Development, H.R. (2007) Buku Panduan Fasilitator 777D off Highway Truck. Trakindo U. Edited by PT Trakindo Utama. Training Center Cileungsi.
- [3] Jardine, A.K.S., Lin, D. and Banjevic, D. (2006) 'A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance', Mechanical Systems and Signal Processing, 20(7), pp. 1483–1510. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2005.09.012>.
- [4] Kuckuk, S. and Kostler, H. (2018) 'Whole Program Generation of Massively Parallel Shallow Water Equation Solvers', Proceedings - IEEE International Conference on Cluster Computing, ICC, 2018-Sept, pp. 78–87. Available at: <https://doi.org/10.1109/CLUSTER.2018.00020>.

- [5] Pedersen, J.F. et al. (2021) 'Acoustic emission-based condition monitoring and remaining useful life prediction of hydraulic cylinder rod seals', *Sensors*, 21(18). Available at: <https://doi.org/10.3390/s21186012>.
- [6] Peng, Y., Dong, M. and Zuo, M.J. (2010) 'Current status of machine prognostics in condition-based maintenance: A review', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 50(1–4), pp. 297–313. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00170-009-2482-0>.
- [7] Putra, C.D., Syarief, A. and Isworo, H. (2018) 'Analisa Kegagalan Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (Fmea) Pada Unit Off-Highway Truck 777D', *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 3(1), pp. 33–42. Available at: <https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v3i1.4>.
- [8] Qatrunnada, G., Oktarianty, H. and Guskarnali (2020) 'Evaluasi Geometri Jalan Tambang Berdasarkan AASHTO 73 Terhadap Kebutuhan Bahan Bakar Alat Angkut PT Semen Padang (Geometry Evaluation of Mine Road Based on AASHTO 73 to PT Semen Padang ' s Hauling Devices Fuel Needs)', *Mine Jurnal*, 5(1), pp. 13–22.
- [9] Shanbhag, V. V. et al. (2021) 'Failure Monitoring and Predictive Maintenance of Hydraulic Cylinder-State-of-the-Art Review', *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 26(6), pp. 3087–3103. Available at: <https://doi.org/10.1109/TMECH.2021.3053173>.