

ANALISIS EFEKTIVITAS PEMASANGAN TREPOS PADA UNIT EXCAVATOR KELAS 20 TON SEBAGAI UPAYA *PREVENTIVE MAINTENANCE* KOMPONEN *UNDERCARRIAGE*

Alva Rizki Amanullah¹, Harjono¹✉, Irfan Bahiuddin¹, Sugiyanto¹, Muhamad Sandi Isyanto¹, Arif Khaerudin², Imam Muslih²

¹ Departemen Teknik Mesin, Vocational College, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 55281, Indonesia

² PT United Tractors Site Bendili, Sangatta, Kalimantan Timur, Indonesia

✉ harjono@ugm.ac.id

Received 05 June 2024, Revised 02 February 2026, Accepted 04 February 2026

ABSTRAK

Pola operasional unit *excavator*, khususnya durasi dan frekuensi *travel*, merupakan salah satu faktor dominan yang berkontribusi terhadap meningkatnya kejadian *breakdown* komponen *undercarriage*. Oleh karena itu, diperlukan mekanisme pengendalian operasional berbasis sistem untuk membatasi operasi *travel* yang berlebihan dan tidak sesuai standar pabrikan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas pemasangan *controller* tambahan berupa *Travel Protection System* (TREPOS) pada studi kasus unit excavator kelas 20 ton sebagai strategi *preventive maintenance* untuk meningkatkan keandalan komponen *undercarriage*. Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis terintegrasi yang mencakup *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), PDCA, dan PICA, serta analisis komparatif terhadap data operasional sebelum dan sesudah pemasangan TREPOS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa durasi dan intensitas *travel* unit yang berlebihan merupakan salah satu faktor dominan penyebab terjadinya *unscheduled breakdown* pada sistem *undercarriage*. Implementasi TREPOS efektif dalam mengendalikan pola operasional unit dengan mereduksi *travel time* kontinu di atas 20 menit serta menekan kejadian *unscheduled breakdown* selama periode penelitian. Selain itu, penerapan TREPOS berpotensi meningkatkan umur pakai komponen *undercarriage* hingga 48% pada *carrier roller*, 42% pada *track roller*, 33% pada *sprocket*, dan 86% pada *track link*, yang secara keseluruhan berpotensi terhadap penurunan biaya perawatan.

Kata Kunci: *Undercarriage, excavator, preventive maintenance, unscheduled breakdown, travel time*

1. PENDAHULUAN

Faktor yang mempengaruhi kegiatan produksi pertambangan salah satunya adalah kesiapan alat maupun unit. Kesiapan unit menjadi tujuan dalam melakukan pengelolaan unit agar berjalan efektif dan efisien. Salah satu cara untuk

meningkatkan angka ketersediaan unit adalah dengan melakukan *maintenance*/perawatan. Perawatan adalah usaha agar suatu fasilitas mencapai kondisi yang baik dengan cara dijaga ataupun diperbaiki [1].

Kesiapan dan keandalan alat menjadi penentu utama produktivitas operasi tambang dan konstruksi; strategi pemeliharaan yang tepat, mulai dari *preventive* hingga *condition-based/predictive*, berkorelasi langsung dengan *availability*, *downtime*, dan biaya siklus hidup peralatan [2,3]. Pada excavator berantai, *undercarriage* (*track link, roller, idler, sprocket*) merupakan subsistem kritis yang memikul beban dinamis dan gesek sepanjang siklus operasi berjalan (*travel*), sehingga rentan aus dan memicu *unscheduled breakdown* bila praktik operasi melampaui batas fungsional komponen [4,5]. Literatur terkait *terramechanics* dan dinamika kendaraan berantai menunjukkan bahwa gaya interaksi lintasan-tanah, getaran *transversal track*, serta skenario kecepatan/*grade* medan memberi pengaruh signifikan terhadap respons beban dan laju degradasi elemen *undercarriage*; implikasinya, pola operasi, termasuk durasi dan intensitas *travel* kontinu, dapat mempercepat keausan jika tidak dikendalikan [6–8].

Di sisi manajemen pemeliharaan, kerangka seperti *Reliability-Centered Maintenance* (RCM) memberi metodologi sistematis untuk memetakan fungsi, mode kegagalan, konsekuensi, dan tugas pemeliharaan yang tepat [2,3]. Sementara itu, pendekatan *Plan-Do-Check-Act* (PDCA) dan turunannya lazim dipakai untuk *continuous improvement* di lini operasi/maintenance, dan terbukti efektif menurunkan *loss* serta biaya mutu melalui standarisasi proses dan umpan balik berbasis data [9]. Perkembangan mutakhir di sektor pertambangan juga menekankan adopsi *Condition-/Predictive-Based Maintenance* (CBM/PdM) berbasis sensor dan analitik, yang secara konsisten dilaporkan mampu mengurangi *downtime* dan biaya pemeliharaan, sekaligus meningkatkan *uptime* aset [10,11]. Namun, sebagian besar studi PdM berfokus pada

pipeline data-model (sensor, diagnostik/prognostik, scheduling) ketimbang intervensi operasional yang secara langsung membatasi perilaku operator atau *duty cycle* peralatan untuk mencegah beban berlebih sejak hulu [10,11].

Riset dinamika kendaraan berantai (*tracked vehicle*) memperlihatkan bagaimana konfigurasi roda jalan/roller (kekakuan, redaman), osilasi tegangan *track*, hingga interaksi *track*-tanah menentukan gaya internal dan rugi energi yang berpotensi mempercepat degradasi *undercarriage* [6]. Studi *ride-comfort* dan MBS (multibody simulation) pada kendaraan berantai juga menegaskan sensitivitas respons dinamis terhadap kecepatan, ketidakrataan lintasan, dan rancangan roda jalan-variabel yang relevan dengan praktik operasi *travel* berkepanjangan [5]. Di sisi tata kelola *maintenance*, ulasan komprehensif menempatkan CBM/PdM sebagai pilar pengambilan keputusan yang lebih ekonomis dibandingkan time-based murni, tetapi tetap menuntut integrasi dengan praktik mutu proses seperti PDCA untuk memastikan perubahan perilaku kerja di lapangan.

Berdasarkan *voice of customer* yang diterima di PT United Tractors, pelanggan mengeluhkan tingginya angka breakdown pada komponen *undercarriage excavator* kelas 20 ton. Tingginya *travel time* operasi diidentifikasi sebagai salah satu penyebab utama kerusakan tersebut, yang berdampak signifikan terhadap downtime dan biaya perbaikan hingga mencapai sekitar 40% dari harga excavator. Pola operasi menunjukkan aktivitas *travel* yang sering dilakukan lebih dari 20 menit secara terus-menerus dan berulang, sehingga mempercepat penurunan umur pakai *undercarriage* sebagai komponen vital dengan biaya perawatan yang tinggi. Data kerusakan harian memperlihatkan bahwa *undercarriage* menjadi penyumbang utama *breakdown*, terutama pada *excavator* kelas 20 ton, yang diduga berkaitan dengan pola operasional berlebih dan ketidakpatuhan terhadap standar operasi.

Salah satu langkah tata kelola adalah dengan menerapkan TREPOS (*Travel Protection System*) yang dikembangkan oleh Isyanto et al. [12]. Alat tersebut adalah sebuah *controller* tambahan pada unit untuk membatasi *travel* unit yang berlebih. Namun, ditemukan minimnya studi terpublikasi yang mengevaluasi TREPOS sebagai instrumen *preventive maintenance* spesifik pada excavator, dan yang menautkan intervensi tersebut dengan indikator keberhasilan yang terukur di *undercarriage* (penurunan frekuensi *unscheduled breakdown*, perpanjangan umur komponen) serta dampak biaya operasional secara kuantitatif.

Menjawab permasalahan tersebut, studi ini bertujuan untuk menganalisis pemasangan TREPOS sebagai *controller* tambahan pada excavator PC210-10M0 yang membatasi *continuous travel* time (misal, pemicu buzzer/low-idle setelah ambang menit tertentu). Penelitian ini akan menilai dampak TREPOS terhadap distribusi durasi *travel* (khususnya reduksi episode di atas ambang). Penelitian ini juga menguji pengaruhnya terhadap intensitas *unscheduled breakdown undercarriage* pada hours meter setara. Selain itu, evaluasi juga dilakukan terhadap implikasi *lifecycle* komponen melalui perbandingan *lifetime* serta metrik biaya berbasis praktik rekayasa pemeliharaan

(FMEA, PDCA/PICA) yang telah mapan. Kerangka tersebut memadukan prinsip mutu proses (PDCA) untuk memastikan *closure* atas temuan, dan prinsip keandalan (FMEA/RCM) untuk memusatkan perhatian pada mode kegagalan berisiko tinggi.

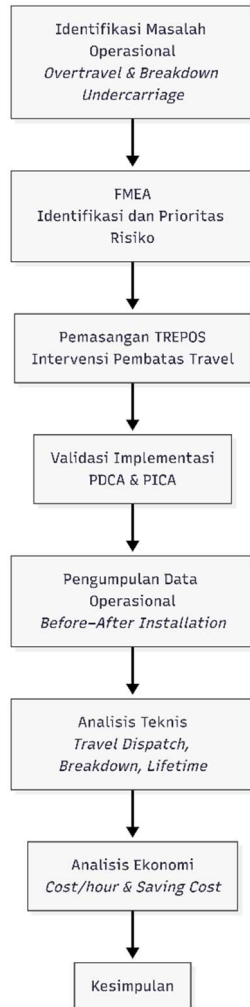
2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan desain evaluasi implementasi pada konteks operasi nyata untuk menilai efektivitas pemasangan TREPOS pada sebuah excavator kelas 20 ton dengan studi kasus di PT United Tractors. Desain yang digunakan adalah perbandingan sebelum-sesudah pada unit yang sama (*interrupted time series* sederhana) selama bulan Juni–Oktober. Desain ini dipilih untuk memperkuat atribusi dampak intervensi karena mengevaluasi perubahan pada entitas yang identik di bawah kondisi lapangan yang sebanding, seraya tetap mempertahankan relevansi eksternal.

Studi kasus dilakukan berdasar pada salah satu *excavator* Komatsu PC210-10M0. Penulis menganalisis efektivitas pemasangan TREPOS terhadap keandalan fisik komponen *undercarriage* unit. Analisis data dilakukan dengan menghimpun data primer dari Komtrax berupa *working hours* dan *travel dispatch unit*. Sedangkan, data sekunder memuat data *daily breakdown* dan *maintenance strategy cost*.

TREPOS merupakan sebuah *controller* tambahan yang mampu mengatur sistem *travel* pada unit. TREPOS merupakan inovasi yang sedang dikembangkan oleh PT United Tractors Tbk Site Bendili guna membatasi *travel* berlebih pada unit *excavator* Komatsu [12]. *Controller* ini secara sederhana bekerja melalui pemrograman PLC dengan memanipulasi *fuel control dial unit* (FCD) setelah beberapa waktu tertentu. Target dalam pemrograman TREPOS adalah dengan membatasi maksimal *travel* unit selama 15 menit dan jika melebihi waktu yang ditetapkan unit akan *low idle* secara otomatis dengan diiringi peringatan berupa *buzzer* yang berbunyi.

Alur metodologi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Penelitian diawali dengan identifikasi permasalahan operasional berupa durasi *continuous travel* yang berlebih dan tingginya intensitas *breakdown undercarriage*. Selanjutnya dilakukan analisis risiko menggunakan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) untuk memprioritaskan mode kegagalan yang paling kritis, sehingga pemasangan TREPOS ditetapkan sebagai intervensi *preventive maintenance* berbasis pengendalian operasional. Setelah TREPOS dipasang, proses validasi implementasi dilakukan menggunakan pendekatan PDCA dan PICA untuk memastikan sistem berfungsi stabil dan sesuai rancangan. Tahap berikutnya adalah pengumpulan data operasional sebelum dan sesudah pemasangan TREPOS yang meliputi data *travel dispatch*, *working hours*, dan *daily breakdown*. Data tersebut kemudian dianalisis secara teknis untuk mengevaluasi perubahan pola *travel*, frekuensi *breakdown*, dan umur pakai komponen *undercarriage*, serta dianalisis secara ekonomis melalui indikator *cost/hour component* dan *saving cost*. Seluruh tahapan tersebut digunakan sebagai dasar dalam penarikan kesimpulan mengenai efektivitas TREPOS sebagai strategi *preventive maintenance* pada unit excavator kelas 20 ton.



Gambar 1. Diagram alur penelitian

FMEA digunakan pada tahap awal untuk memetakan dan memprioritaskan mode kegagalan *undercarriage* terkait risiko *overtravel* menggunakan skala keparahan (S), peluang kejadian (O), dan peluang deteksi (D) dengan perhitungan $RPN = S \times O \times D$. Hasil FMEA dijadikan basis untuk identifikasi relevansi pemasangan TREPOS sebagai tindakan preventif yang menargetkan mode kegagalan berisiko tinggi.

Metode selanjutnya adalah PDCA (*Plan, Do, Check and Action*) dan PICA (*Problem, Identification, Corrective and Action*). Kedua metode tersebut merupakan metode *control project* yang memiliki korelasi saling berkesinambungan dalam menangani dan mencegah *problem* yang terjadi. PDCA dan PICA sering disebut dengan metode pengendalian kualitas dan dapat mengurangi *defect* produksi [13].

Metode analisis perhitungan *cost/hour component* menjadi salah satu indikator keberhasilan dari *maintenance strategy* yang dilakukan. *Cost/hour component* dapat menghitung nilai suatu komponen dengan berdasarkan umur komponen. Rumus perhitungan *cost/hour component* dapat dilihat pada rumus (1).

$$Cost/hour = \frac{\text{harga komponen}}{\text{umur komponen (jam)}} \quad (1)$$

Metode analisis perhitungan *lost revenue cost* (C_L) juga diterapkan dalam penelitian untuk menghitung total kerugian yang diakibatkan suatu permasalahan yang terjadi sebelum penelitian dilakukan. Rumus perhitungan *lost revenue cost* dapat dilihat pada rumus (2).

$$C_L = \text{rate unit} \times \text{total duration} \quad (2)$$

Berdasarkan hasil pemasangan TREPOS, data dalam penelitian ini bersumber pada Komtrax dan *data daily breakdown* dalam menganalisis pergerakan *travel unit* dan *data daily breakdown customer* dalam perhitungan analisis biaya *maintenance unit* dan intensitas *breakdown unit*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

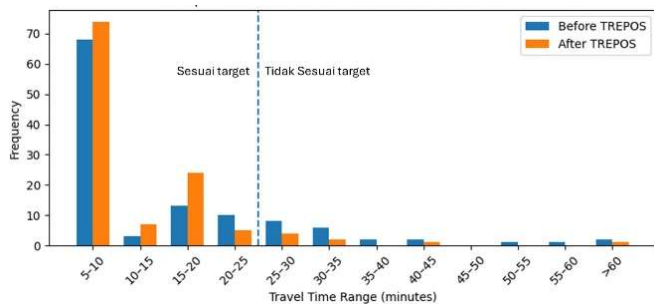
3.1 Analisis FMEA

Berdasarkan hasil analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), sistem *undercarriage* menunjukkan nilai *risk priority number* (RPN) yang lebih tinggi dibandingkan sistem lainnya. Nilai RPN tertinggi teridentifikasi pada kegagalan komponen *track link* sebesar 360 dan *sprocket* sebesar 320. Hasil observasi lapangan menunjukkan bahwa kegagalan pada sistem *undercarriage* umumnya berkaitan dengan kondisi track dan carrier roller yang mengalami keausan tidak normal, yang selanjutnya berdampak pada komponen lain dalam sistem. Keausan komponen cenderung meningkat ketika unit dioperasikan dalam durasi *continuous travel* yang panjang tanpa jeda serta pada intensitas operasi yang berulang. Temuan ini menunjukkan adanya keterkaitan antara pola operasional travel dengan tingkat risiko kegagalan pada sistem *undercarriage*, yang kemudian menjadi pertimbangan dalam penerapan pengendalian operasional melalui pemasangan TREPOS.

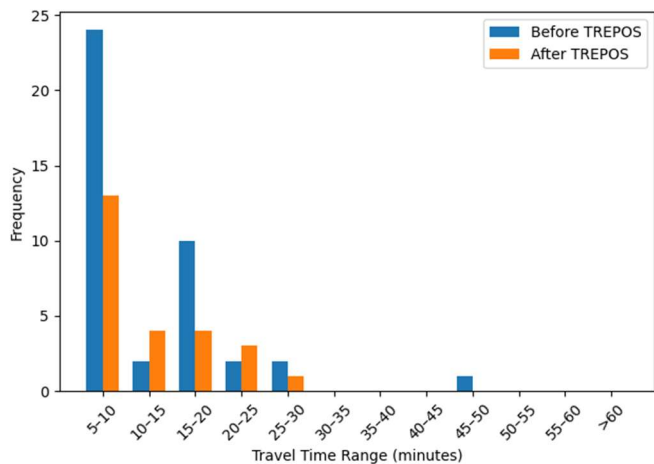
3.2 Analisis travel dispatch unit

Analisis *travel dispatch* bersumber pada data Komtrax selama waktu penelitian, analisis *travel dispatch* ini dilakukan sebanyak 2 fase selama penelitian yaitu *before repair* modul TREPOS dan *after repair* modul TREPOS. Dalam tahap Perbandingan data *travel time* sebelum dan sesudah pemasangan dapat dilihat pada Gambar 2. implementasi pemasangan proyek, nilai fungsional TREPOS untuk mengurangi *travel time* unit sudah terlihat reduksi *travel time* di atas 20 menit setelah pemasangan TREPOS.

Setelah modul TREPOS terpasang, ternyata masih terjadi *trouble* pada modul yang menyebabkan modul belum bisa bekerja seutuhnya. Kegagalan modul dianalisis menggunakan metode PDCA dan PICA yang menyimpulkan bahwa FCD *dummy* pada modul belum bekerja dikarenakan kabel *ground controller* pada FCD *dummy* tidak terhubung oleh *ground unit*, diperlukan tahap perbaikan modul agar modul dapat berfungsi seutuhnya. Data *travel dispatch* unit setelah perbaikan modul dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Grafik *travel dispatch before-after* Proyek (sebelum alat diperbaiki)



Gambar 3. Grafik *travel dispatch before-after* (setelah alat diperbaiki)

Reduksi intensitas *travel* pada unit uji dan reduksi *travel time* di atas 30 menit sudah tidak ada yang terjadi. Secara keseluruhan data *before-after repair* modul intensitas *travel time* paling banyak pada menit 10, 12, 15 dan 16 menit hal tersebut dapat menandakan bahwa sudah berfungsinya sistem alarm pada menit 12 dan sistem otomatis *low idle* yang aktif pada menit 15 yang menyebabkan operator melakukan *stop travel*/reposisi unit dan memilih untuk mengistirahatkan unit.

Tingkat operasional *travel time excavator* selama 30 – 40 jam setiap bulan sudah menunjukkan angka yang tinggi untuk operasional *travel unit*. *Travel time* dengan waktu lebih dari 1,5 jam secara *continue* dalam intensitas yang tidak berulang juga tidak dianjurkan, hal tersebut dapat mengakibatkan *oil high temperature*, merusak *seal* hingga menyebabkan terjadinya kebocoran oli dan dapat mempercepat keausan komponen [14]. Namun, dengan begitu secara keseluruhan *travel dispatch* dari bulan Juni sebelum pemasangan TREPOS hingga bulan Agustus setelah pemasangan teramati reduksi episode *continuous travel* di atas 20 menit (lihat Gambar 2–3), sementara total *Travel Hours* bulanan bervariasi (Tabel 1).

3.3 Analisis PDCA dan PICA

Setelah pemasangan TREPOS pada Agustus penulis melakukan analisis PDCA dan PICA pada tanggal Oktober untuk

memastikan modul tidak mengalami kerusakan. Analisis PICA dilakukan dengan harapan *problem* yang ditemukan pada analisis PDCA tidak lagi terulang kembali. Didapatkan hasil analisis bahwa terdapat adanya problem FCD *dummy* modul yang masih tidak bekerja dikarenakan *grounding controller* pada FCD *dummy* yang tidak terhubung. Pada rencana langkah perbaikan, dilakukan pengecekan dan perubahan wiring dengan menambahkan kabel *ground controller* yang menghubungkan antara FCD asli dan FCD *dummy*. Hasil analisis PDCA dan PICA dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 1. Total working hours history unit

Bulan	Avg. Dial Position (%)	Travel Hours (h)	Digging Hours (h)	Hoist Hours (h)	Independent Swing Operation Hours (h)
Juni	98.5	135.3	34.1	28.6	4.1
Juli	98.8	144.9	33.3	25.6	4.9
Agustus	97.9	162.0	30.9	21.8	4.1
September	95.9	149.7	30.7	22.5	4.5
Oktober	98.9	124.2	51.4	27.3	6.3

Tabel 2. Analisis PDCA (*Plan, Do, Check, Action*)

Metode	Uraian
Plan	Mengurangi durasi <i>continuous travel</i> yang berlebih pada unit excavator untuk menekan potensi kerusakan komponen undercarriage.
Do	Mengembangkan dan memasang <i>support controller</i> tambahan berupa TREPOS sebagai pembatas operasional travel unit.
Check	Ditemukan bahwa modul TREPOS belum berfungsi optimal karena FCD <i>dummy</i> tidak bekerja akibat koneksi <i>ground controller</i> yang tidak terhubung dengan sistem ground unit.
Action	Melakukan perbaikan koneksi dengan mengganti <i>connector</i> antara FCD asli dan FCD <i>dummy</i> serta menambahkan kabel <i>grounding controller</i> agar sistem <i>Problem, Identification, Corrective, Action</i> berfungsi sesuai rancangan.

Tabel 3. Analisis PICA

Metode	Uraian
Problem	FCD <i>dummy</i> modul tidak bekerja
Identification	<i>Grounding controller</i> pada FCD <i>dummy</i> tidak terhubung
Corrective	Pengecekan dan perubahan <i>wiring</i> dengan menambahkan kabel <i>ground controller</i>
Action	Mengganti <i>connector</i> penghubung FCD <i>dummy</i> dan FCD asli dengan menambahkan kabel <i>grounding controller</i>

3.4 Analisis breakdown unit

Analisis data *breakdown* bersumber pada data *daily breakdown unit customer* dengan menggunakan parameter objek pembandingan pengujian berdasarkan dengan beban dan medan

kerja pada rentang *hm (hours meter)* yang sama diperkuat dengan kondisi rata-rata *travel time unit* yang tidak jauh berbeda. Objek penelitian utama sebagai objek utama setelah penelitian akan dibandingkan dengan data pembanding A dan B dengan jenis unit yang sama tanpa dipasang TREPOS. Hasil analisis didapat seiring dengan berkurangnya *travel time unit*, tingkat *unscheduled breakdown undercarriage* unit dapat dikurangi. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 4 bahwa data pada unit uji nihil *breakdown* selama masa penelitian (3439 *hours*), sedangkan pada *hm* yang sama data sebelum penelitian (Unit Pembanding A dan B) terjadi *unscheduled breakdown undercarriage* masing masing sebanyak 6 kali pada rentang *hm* yang sama.

Tabel 4. Data *breakdown* unit

Kategori Unit	Hours Meter (h)	Jenis Breakdown	Tindakan Perbaikan	Lead Time (h)
Unit Pembanding A	2078	All track kendor	Adjust track	2.30
	2100	All track kendor	Adjust track	3.30
	2410	All track kendor	Adjust track	2.00
	3010	Track loose (LH)	Pasang, adjust track	5.75
	3600	Track loose (LH)	Ganti carrier dan track roller	10.70
	4116	Track loose (RH)	Pasang, adjust track	7.10
Unit Pembanding B	1559	Track link broken (RH)	Ganti track link (1 unit)	26.70
	3212	Track loose (LH)	Pasang, adjust track	2.20
	3300	Track loose (LH)	Pasang, adjust track	12.00
	4012	Sprocket aus, track loose (RH)	Ganti sprocket dan carrier roller	29.48
	4338	Track link broken (LH)	Ganti track link dan track roller	28.10
	4521	Track loose	Pasang, adjust track	5.00
Unit Utama	2200	—	—	—
	5639 (akhir observasi)	Tidak ditemukan breakdown	—	—

Hasil analisis setelah penelitian adanya nihil *unscheduled breakdown undercarriage* memang kemungkinan besar dipengaruhi oleh pola pengoperasian yang sudah mendekati kembali pada standar pengoperasian unit dan ditambah penerapan pola *maintenance undercarriage* setiap satu bulan sekali melakukan *washing track* serta melakukan *adjust track* 3x dalam sebulan. Pengoperasian unit juga masuk dalam salah satu faktor terbesar penyumbang *breakdown undercarriage* hingga 8%. Durasi *travel time* yang berlebih sangat mempengaruhi

ketahanan komponen dalam segi pelumasan maupun ketahanan material. Mengingat bahwa durasi operasi yang panjang seringkali berkaitan erat dengan momen gesekan antar komponen yang dapat meningkatkan tingkat keausan. Lama operasional unit erat kaitannya dengan gesekan antar komponen, potensi keausan yang akan terjadi disebabkan oleh kontak normal gesekan secara terus menerus. Jika salah satu komponen mengalami kondisi abnormal, dalam waktu yang tidak lama akan menyebabkan komponen lain dalam kondisi abnormal juga.

3.5. Analisis *lifetime component*

Breakdown komponen *undercarriage* tiap unit memiliki *lifetime* yang berbeda. Hal ini dapat terjadi sesuai dengan bagaimana *maintenance unit* dilakukan dan tingkat kesadaran operator dalam melakukan operasional unit sesuai ketentuan. Pada penelitian ini didapat hasil *extend lifetime component undercarriage* dari data sebelum penelitian. *Extend lifetime component* juga dipengaruhi dengan intensitas *breakdown* yang terjadi, dengan dapat menekan intensitas *breakdown* dari data sebelum penelitian terciptanya peningkatan *lifetime component carrier roller* sebesar 48%, *track roller* sebesar 42%, *sprocket* sebesar 33% dan *track link* sebesar 86%. Dengan hasil tersebut, dapat membantu customer dalam menekan biaya *maintenance* yang dilakukan. Data perbandingan *lifetime component undercarriage* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan *lifetime component undercarriage*

Komponen Undercarriage	Lifetime Sebelum Proyek (h)	Lifetime Setelah Proyek (h)	Peningkatan Lifetime (%)
Carrier Roller	3806	≥5639	48
Track Roller	3969	≥5639	42
Sprocket	4214	≥5639	33
Track Link	3030	≥5639	86

3.6 Analisis *maintenance cost unit*

Besaran pendapatan yang hilang (*lost revenue cost*) akibat *unscheduled breakdown undercarriage* sebelum penelitian total sebesar Rp124.587.633/bulan. Perhitungan tersebut di dapat melalui perhitungan rumus (2). Kerugian ini dapat dikurangi dengan adanya *maintenance strategy* yang sesuai, sehingga intensitas *breakdown system* termasuk komponen *undercarriage* dapat ditekan.

Dengan dapat ditekannya intensitas *unscheduled breakdown undercarriage* dan menghasilkan *extend lifetime component* hal tersebut menciptakan *saving cost* dalam *cost/hour component* yang lebih murah dari data pembanding sebelum penelitian. *Cost/hour component* yang lebih murah menandakan umur pakai komponen yang lebih panjang dan kualitas *maintenance strategy* yang bagus sehingga perhitungan *cost/hour component* dapat lebih murah.

Dalam penelitian ini, *saving cost* yang didapat mitra kerja untuk *cost/hour* empat *component undercarriage* sebesar Rp18.934 dibanding data sebelum penelitian dan lebih hemat

Rp6.456 dari *target factory*. Tabel perhitungan dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan *perkiraan* operational cost/hour component

Kondisi	Komponen	HM (h)	Jumlah	Cost/hour (Rp)	Total (Rp)
Standar Pabrik	Carrier Roller	4000	4	885,50	3.542,00
	Track Roller	4000	14	2.167,50	30.345,00
	Sprocket	8000	2	812,25	1.624,50
	Track Link	8000	1	6.500,00	6.500,00
	Total Cost/hour				42.011,50
Sebelum Proyek	Carrier Roller	3806	4	931,00	3.724,00
	Track Roller	3969	14	2.180,00	30.520,00
	Sprocket	4214	2	1.542,00	3.084,00
	Track Link	3030	1	17.161,00	17.161,00
	Total Cost/hour				54.489,00
Setelah Proyek	Carrier Roller	5639	4	628,00	2.512,00
	Track Roller	5639	14	1.537,00	21.518,00
	Sprocket	5639	2	1.152,00	2.304,00
	Track Link	5639	1	9.221,00	9.221,00
	Total Cost/hour				35.555,00

Dari data setelah pemasangan TREPOS, jika diakumulasikan selama jenjang waktu penelitian yaitu selama hm 2200-5639 (3439 jam) atau sekitar hampir 8 (7,9) bulan dengan dengan jam kerja unit 15 jam/hari selama 30 hari/bulan, perhitungan penggunaan operasional komponen undercarriage hanya berkisar total Rp122.273.645. Secara standar *factory* penggunaan operasional komponen *undercarriage* memerlukan biaya total sebesar Rp144.477.548 yang berarti data setelah penelitian mampu lebih hemat dari standar *factory* sebesar Rp22.203.903,50. Jika dibandingkan dengan data sebelum penelitian dengan perhitungan total operasional komponen *undercarriage* sebesar Rp 187.387.671, data setelah penelitian masih jauh lebih murah dengan selisih Rp65.144.026. Hasil tersebut menjelaskan bahwa adanya keuntungan yang didapatkan dari *extend lifetime component undercarriage* setelah penelitian yang mampu melampaui target standar *factory* dan menghasilkan *cost/hour component* jauh lebih murah. Perhitungan *total operational cost/hour component undercarriage* dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Total biaya/jam operasional komponen *undercarriage*

Kondisi	Total Operational Cost/hour (Rp)	Project Time (h)	Total Biaya Operasional (Rp)
Standar Pabrik	42.011,50	3439	144.477.548,50
Sebelum Proyek	54.489,00	3439	187.387.671,00
Setelah Proyek	35.555,00	3439	122.273.645,00

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis terhadap implementasi TREPOS pada unit excavator kelas 20 ton sebagai upaya *preventive maintenance* komponen undercarriage, dapat disimpulkan bahwa pemasangan TREPOS berasosiasi dengan perubahan pola operasional *travel* unit. Distribusi *travel time* setelah implementasi menunjukkan kecenderungan penurunan intensitas *continuous travel* berdurasi panjang, dengan dominasi perjalanan pada rentang waktu yang lebih pendek dibandingkan kondisi sebelum proyek. Perubahan pola operasional ini diamati secara konsisten pada data *travel dispatch* selama periode observasi.

Selama periode pengamatan sebesar 3439 jam operasi, unit utama tidak menunjukkan kejadian *unscheduled breakdown* pada komponen undercarriage, sementara pada unit pembanding dengan rentang *hours meter* dan kondisi kerja yang sebanding tercatat beberapa kejadian *breakdown*. Hasil ini mengindikasikan adanya perbedaan karakteristik kejadian *breakdown* yang teramati bersamaan dengan penerapan pembatasan operasional *travel* melalui TREPOS, tanpa mengasumsikan hubungan kausal secara langsung.

Analisis umur pakai komponen menunjukkan bahwa komponen undercarriage pada unit utama masih beroperasi hingga akhir periode observasi, dengan peningkatan *lifetime* relatif dibandingkan data pembanding sebelum proyek. Peningkatan umur pakai tercatat sebesar 48% pada komponen *carrier roller*, 42% pada *track roller*, 33% pada *sprocket*, dan 86% pada *track link*. Perpanjangan umur pakai ini berkontribusi terhadap penurunan nilai *operational cost per hour* pada kondisi setelah proyek.

Dari sisi ekonomi, penurunan *cost/hour* komponen undercarriage pada kondisi setelah proyek menghasilkan total biaya operasional yang lebih rendah dibandingkan kondisi sebelum proyek maupun standar pabrik pada durasi operasi yang sama. Selisih biaya operasional selama periode observasi menunjukkan adanya potensi penghematan yang terkait dengan perpanjangan umur pakai komponen dan berkurangnya kejadian *breakdown*. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa TREPOS berpotensi menjadi salah satu pendekatan pengendalian operasional yang mendukung strategi *preventive maintenance* pada excavator kelas 20 ton, khususnya dalam pengelolaan risiko keausan komponen undercarriage.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat dilakukan dengan baik berkat bantuan dan kerja sama dari berbagai pihak. Peneliti mengucapkan terima kasih kepada penanggung jawab operasional, jajaran manajer dan staf PT United Tractors Site Bendili yang telah mendukung dan bekerja sama dengan baik dalam penelitian ini.

REFERENSI

- [1] E. Angeles, M. Kumral, Optimal Inspection and Preventive Maintenance Scheduling of Mining Equipment, J. Fail. Anal. Prev. 20 (2020) 1408–1416. <https://doi.org/10.1007/s11668-020-00949-z>.

- [2] M. Rausand, Reliability centered maintenance, *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 60 (1998) 121–132. [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(98\)83005-6](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(98)83005-6).
- [3] J. Barabady, U. Kumar, Reliability analysis of mining equipment: A case study of a crushing plant at Jajarm Bauxite Mine in Iran, *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 93 (2008) 647–653. <https://doi.org/10.1016/j.res.2007.10.006>.
- [4] J. Chłodowski, P.A. Dudziński, M. Ketting, On the energy losses due to tracks vibrations in rubber track crawler vehicles, *Arch. Civ. Mech. Eng.* 21 (2021) 59. <https://doi.org/10.1007/s43452-021-00212-8>.
- [5] Y. Deng, Z. Wang, Y. Zhao, J. Gong, H. Shen, F. Lin, Numerical Prediction of Ride Comfort of Tracked Vehicle Equipped with Novel Flexible Road Wheels, *Chinese J. Mech. Eng.* 37 (2024) 85. <https://doi.org/10.1186/s10033-024-01070-0>.
- [6] M. Guerroum, M. Zegrari, A.A. Elmahjoub, M. Berquedich, M. Masmoudi, Machine Learning for the Predictive Maintenance of a Jaw Crusher in the Mining Industry, in: 2021 IEEE Int. Conf. Technol. Manag. Oper. Decis., IEEE, 2021: pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICTMOD52902.2021.9739338>.
- [7] A. Dhir, S. Sankar, Assessment of tracked vehicle suspension system using a validated computer simulation model, *J. Terramechanics* 32 (1995) 127–149. [https://doi.org/10.1016/0022-4898\(95\)00012-7](https://doi.org/10.1016/0022-4898(95)00012-7).
- [8] J.Y. Wong, An introduction to terramechanics, *J. Terramechanics* 21 (1984) 5–17. [https://doi.org/10.1016/0022-4898\(84\)90004-1](https://doi.org/10.1016/0022-4898(84)90004-1).
- [9] A.S. Silva, C.F. Medeiros, R.K. Vieira, Cleaner Production and PDCA cycle: Practical application for reducing the Cans Loss Index in a beverage company, *J. Clean. Prod.* 150 (2017) 324–338. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.033>.
- [10] A. Ali, A. Abdelhadi, Condition-Based Monitoring and Maintenance: State of the Art Review, *Appl. Sci.* 12 (2022) 688. <https://doi.org/10.3390/app12020688>.
- [11] R. Zhang, A.I. Aljumah, W. Ghardallou, Z. Li, J. Li, J. Cifuentes-Faura, How economic development promotes the sustainability targets? Role of natural resources utilization, *Resour. Policy* 85 (2023) 103998. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103998>.
- [12] M.S.I. Isyanto, S. Sugiyanto, I. Bahiuddin, A.A. Ismail, A. Khaerudin, I. Muslih, Pembuatan TREPOS (Travel Protection System) Sebagai Upaya Penurunan Travel Dispatch pada Small Excavator, *J. Teknol. Dan Rekayasa Alat Berat* 2 (2025) 08–16. <https://doi.org/10.22146/jtrab.v2i1.13665>.
- [13] D. Khaerudin, A. Rahmatullah, Implementasi Metode PDCA dalam Menurunkan Defect Sepatu Type Campus di PT. Prima Intereksa Industri (PIN), *J. Sains Dan Teknol. J. Keilmuan Dan Apl. Teknol. Ind.* 20 (2020) 34. <https://doi.org/10.36275/stsp.v20i1.228>.
- [14] Komatsu Ltd., Komatsu PC210-10M0 Hydraulic Excavator: Operation and Maintenance Manual, (2018).