

Artikel Penelitian (Teknik Industri)

Perancangan Jadwal Perawatan Mesin *Loader* di PT Kraton Menggunakan Metode *Condition Based Monitoring* (CBM)

Anggianika Mardhatillah, Anita Christine Sembiring, Mael Juniko Sihombing*

Fakultas Sains dan Teknologi, Teknik Industri, Universitas Prima Indonesia, Medan, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 01 Juli 2025
Revisi Akhir: 03 Agustus 2025
Diterbitkan Online: 19 Oktober 2025

KATA KUNCI

Condition Based Monitoring
Perawatan Preventif
Wheel Loader

KORESPONDENSI (*)

Phone: +62 822-7712-2342
E-mail: Maelsihombing@gmail.com

A B S T R A K

Penelitian ini bertujuan untuk merancang jadwal perawatan *wheel loader* di PT Kraton dengan pendekatan *Condition Based Monitoring* (CBM) dan membandingkan perawatan sebelum dan sesudah menggunakan CBM, yang mengandalkan data kondisi aktual untuk mengidentifikasi kerusakan secara dini. Faktor utama yang diamati meliputi suhu mesin, tekanan oli, serta getaran pada *bearing*, mesin utama, dan *fan*. Pengumpulan data dilaksanakan selama 66 hari operasional dan dianalisis melalui uji keseragaman serta kategorisasi kondisi normal, waspada, dan anomaly. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode CBM mampu mengidentifikasi tren kerusakan sebelum terjadi kegagalan, sehingga memungkinkan penyusunan jadwal perawatan yang lebih efisien. Penelitian ini juga menghasilkan perangkat *monitoring* harian hingga tahunan serta prosedur preventif yang mendukung stabilitas operasi alat berat. Penerapan CBM terbukti dapat mengurangi *downtime*, mencegah kerusakan fatal, dan meningkatkan umur pakai *wheel loader*.

PENDAHULUAN

Beton merupakan material komposit yang terdiri atas semen, air, dan agregat yang secara luas digunakan pada kegiatan konstruksi karena kekuatan, durabilitas, dan harga yang terjangkau [1]. Dalam konteks kebudayaan yang kompleks, beton dianggap sebagai material yang transformatif di abad ke-20 sehingga sangat mudah untuk menemukannya di tempat umum seperti bangunan, jalanan, dan jembatan. Penggunaan beton yang luas menggantikan penggunaan material tradisional sehingga produksi beton menjadi meningkat setiap tahunnya [2]. Kebutuhan material beton telah meningkat dalam 3 dekade terakhir hingga mencapai angka 26 giga ton per tahun pada 2020 [3].

Peningkatan permintaan beton ini tentunya menuntut efisiensi dan kapasitas produksi yang tinggi dari industri manufaktur beton. Dalam hal ini, peran alat berat menjadi sangat vital, terutama dalam mendukung kelancaran proses produksi di lapangan. Salah satu alat berat yang sangat penting adalah *wheel loader*, yaitu mesin yang digunakan untuk memindahkan material seperti pasir, kerikil, dan agregat ke dalam sistem pencampuran atau ke titik distribusi lainnya. PT Kraton, sebagai perusahaan yang bergerak di bidang produksi beton, mengandalkan *wheel loader* dalam operasional hariannya untuk menjaga ritme dan volume produksi yang sesuai dengan kebutuhan proyek.

Namun, berdasarkan hasil wawancara dengan 3 orang teknisi di PT Kraton, *wheel loader* sering mengalami kerusakan yang menyebabkan terganggunya proses produksi. Masalah yang paling sering terjadi meliputi kenaikan suhu mesin, penurunan tekanan oli, dan peningkatan getaran pada *bearing*, mesin, serta *fan*. Gangguan-gangguan ini tidak hanya berdampak pada efisiensi waktu operasional, tetapi juga memicu pembengkakan biaya akibat kebutuhan perbaikan dan perawatan mendadak [4].

Agar mesin dan peralatan berat dapat beroperasi secara optimal, diperlukan sistem perawatan yang mampu mencegah kerusakan sebelum terjadi. Strategi perawatan preventif menjadi kunci untuk menjaga keandalan alat, terutama dalam industri dengan tekanan produksi tinggi seperti beton [5]. Salah satu pendekatan yang semakin banyak diterapkan adalah *Condition Based Monitoring* (CBM), yaitu metode perawatan berbasis kondisi aktual mesin melalui pemantauan parameter penting secara berkala. Dengan CBM, perusahaan dapat mendeteksi potensi kerusakan sejak dini dan merancang jadwal perawatan yang lebih efektif serta efisien [6].

Untuk memitigasi masalah ini, perusahaan harus melaksanakan sebuah strategi perawatan preventif sebelum terjadinya *breakdown* pada proses permesinan [7]. Salah satu metode *preventive maintenance* adalah dengan *Condition Based Monitoring* (CBM), yaitu sebuah pendekatan proaktif kepada perawatan mesin yang bergantung kepada *monitoring* secara periodik terhadap permesinan untuk menentukan apa yang dibutuhkan mesin [8]. Hal ini mengedepankan pelacakan secara spesifik terhadap parameter untuk mendeteksi perubahan signifikan terhadap perkembangan terjadinya kegagalan [9].

Penelitian sebelumnya mengenai penggunaan *Condition Based Monitoring* (CBM) banyak diterapkan pada proses industri, salah satunya penelitian Arbella-Feliciano, dkk (2023) yang menyebutkan bahwa model CBM dapat diterapkan pada perawatan kincir angin, dapat membantu merancang strategi pemeliharaan preventif sesuai kondisi iklim tropis pada turbin dengan karakterisasi suhu *bearing*, minyak, dan tegangan listrik [10]. Penelitian lainnya oleh Ahmad, dkk (2020) menyatakan bahwa metode CBM pada *autoencoder* untuk motor berputar dapat mendeteksi anomali dengan skor hingga 99,6%, tanpa perlu data label kesalahan. Pendekatan ini sangat menjanjikan untuk deteksi dini kondisi abnormal pada sebuah proses permesinan [11]. Penelitian lainnya oleh Jamil, dkk. (2021) menyebutkan bahwa metode analisis dengan CBM dalam mengindikasikan kesalahan pada mesin berputar dapat dilaksanakan dengan pemantauan berkala dan prediksi kondisi kesehatan mesin. Selain itu, metode CBM memungkinkan perawatan dapat dilaksanakan secara preventif [12].

Berdasarkan kesesuaian antara masalah dan metode yang diteliti, maka penggunaan metode *Condition Based Monitoring* (CBM) dinilai dapat menyelesaikan permasalahan pada *wheel loader* di PT Kraton, sebagaimana bahwasannya penggunaan metode CBM ini sendiri belum banyak digunakan pada proses produksi beton. Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang jadwal perawatan *wheel loader* dengan pendekatan CBM dan membandingkan perawatan sebelum dan sesudah menggunakan CBM.

Dengan mempertimbangkan pentingnya keandalan alat berat dalam menjaga kesinambungan proses produksi, maka implementasi CBM pada *wheel loader* di lingkungan industri beton seperti PT Kraton menjadi sangat relevan. Selain menawarkan pendekatan perawatan yang lebih efisien, CBM juga berpotensi menurunkan biaya operasional dan meningkatkan produktivitas secara keseluruhan. Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk merancang sistem perawatan yang optimal, tetapi juga untuk memberikan kontribusi praktis bagi perusahaan dalam mengadopsi sistem manajemen pemeliharaan berbasis data sebagai bagian dari transformasi menuju industri yang lebih adaptif dan berbasis teknologi.

TINJAUAN PUSTAKA

Wheel Loader

Wheel loader merupakan jenis traktor yang dilengkapi dengan roda dan *bucket* untuk menggali, membawa, dan serta memuat material pada proyek tertentu. *Wheel loader* dapat bekerja dengan kemampuan yang lebih besar dan sangat efisien digunakan pada sektor-sektor seperti proses produksi beton. Proses kerja mesin *wheel loader* beroperasi dengan tingkat kemampuan yang tinggi, maka dibutuhkan torsi yang sangat besar agar mesin dapat bekerja dengan tenaga yang cukup besar. Torsi yang besar ini kemudian disalurkan ke *final drive* pada keempat roda dan sistem hidrolik pada *wheel loader* [13]. Secara teknis, cara kerja mesin *wheel loader* bertumpu pada *differential* yang terdiri dari beberapa elemen utama, seperti *gear*, *bearing*, dll. Sistem ini memastikan bahwa perbedaan kecepatan antara roda kiri dan kanan dapat terjadi secara halus dan efektif, terutama ketika *wheel loader* beroperasi di permukaan yang tidak rata atau saat berbelok [14]. Mesin *wheel loader* dapat dilihat pada Gambar 1.

Gambar 1. *Wheel Loader*

Preventive Maintenance

Preventive maintenance adalah strategi perawatan dimana aktivitas pemeliharaan rutin dilaksanakan berdasarkan siklus jadwal yang telah ditetapkan. Parameter yang digunakan dalam penetapan siklus pemeliharaan dapat berasal dari banyak faktor, seperti suhu, tekanan oli, getaran, dll. Strategi ini bertujuan agar aktivitas perbaikan atau pemeliharaan dapat dilaksanakan sebelum terjadi kegagalan fungsi bagaimanapun kondisi aktual dari sistem peralatan tersebut, sehingga kerugian dapat dihindari [15]. Proses pelaksanaan *preventive maintenance* dapat meningkatkan kapabilitas sistem dan memberikan hasil yang baik secara investasi. Asesmen yang dilaksanakan secara terus menerus dengan pendekatan *preventive maintenance* bersifat esensial untuk mengendalikan biaya sembari meningkatkan kemampuan internal dan efektivitas eksternal [16].

Condition Based Monitoring (CBM)

Condition Based Monitoring (CBM) merupakan pendekatan proaktif pada perawatan permesinan yang mengedepankan *monitoring* secara kontinu dan periodik terhadap kondisi peralatan untuk menentukan kebutuhan perawatan. CBM bertujuan untuk memperoleh deteksi lebih awal, mengurangi *downtime*, meningkatkan keselamatan, dan mengoptimasi biaya perawatan dengan mengubah konsep perawatan berdasarkan periode menjadi perawatan berdasarkan sebab dan akibat [8]. Sistem CBM dapat mengurangi *false alarm*, meminimalkan intervensi yang tidak perlu, meningkatkan *Meant Time Between Failures*, dan memperpanjang umur mesin [17].

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode *Condition Based Monitoring* (CBM) dalam menyelesaikan permasalahannya. Proses pelaksanaan penelitian ini dapat dilihat pada alur penelitian yang terdapat pada Gambar 2.



Gambar 2. Metodologi Penelitian

Uji Keseragaman Data

Penelitian ini melaksanakan pengumpulan data selama 66 hari operasi kerja mesin *wheel loader* di PT Kraton berupa data sekunder. Data yang dikumpulkan berupa suhu mesin, tekanan oli, getaran mesin, getaran *bearing*, dan getaran *fan*. Uji keseragaman data dilaksanakan dengan peta kendali untuk melihat apakah data berada pada kondisi *in control* atau di luar

batas kendali atas dan bawah. Proses perhitungan uji keseragaman data pada penelitian menggunakan tingkat kepercayaan 95%. Rumus yang digunakan pada uji keseragaman data untuk mengukur batas kendali atas dan batas kendali data adalah sebagai berikut [18].

$$BKA = \bar{x} + k\sigma \quad (1)$$

$$BKB = \bar{x} - k\sigma \quad (2)$$

Keterangan:

$\bar{x}$ = Rata-Rata

k = Konstanta tingkat kepercayaan. Untuk tingkat kepercayaan 95%, $k=2$

σ = Standar deviasi

Penentuan Kondisi Mesin

Perolehan data pada setiap faktor penentu kondisi *wheel loader* akan dinilai apakah data tersebut termasuk kepada kategori data normal, waspada, dan anomali. Penentuan kategori dilaksanakan dengan melaksanakan *review* literatur dan *interview* kepada 3 orang teknisi *wheel loader* di PT Kraton. Berdasarkan *review* literatur yang dilaksanakan, parameter kategori data normal, waspada, dan anomali dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Kategori Data

Kondisi	Suhu (°C)	Tekanan Oli (bar)	Getaran (mm/s)		
			Bearing	Mesin	Fan
Normal	75-95	2,1-6,0	<3	<4,5	<2,5
Waspada	96-105	1,5-2	3-5	4,5-7	2,5-4
Anomali	>105	<1,5	>5	>7	>4

Sumber: Hassan et al., 2024; Ye et al., 2024; Eulaji et al., 2023 [19][20][21]

Berdasarkan Tabel 1, diperoleh kategorisasi data untuk suhu, tekanan oli, dan getaran pada komponen *wheel loader*. Setelah data dikategorisasikan, maka dilaksanakan identifikasi lebih lanjut mengapa masalah pada komponen *wheel loader* dapat terjadi dengan menggunakan tabel *why-why*, yaitu sebuah teknik pemecahan masalah yang digunakan untuk mengidentifikasi akar masalah di semua lini kegiatan, termasuk salah satunya dalam proses produksi [22].

Perancangan Perawatan dengan CBM

Tahap ini adalah mempersiapkan perangkat pendukung *monitoring*, prosedur, dan penentuan alur kegiatan. Perangkat *monitoring* yang dirancang adalah berupa kartu *monitoring* yang merangkum semua instruksi kerja, standar, metode, dan hasil. Hal ini bertujuan untuk melihat lebih lanjut kebutuhan apa yang diperlukan *wheel loader* untuk setiap proses perawatan di PT Kraton [23]. Selain itu, prosedur yang jelas dan sesuai dengan kebutuhan proses perawatan *wheel loader* juga dibuat. Alur kegiatan sebagai panduan proses perawatan dan menentukan siapa saja yang terlibat dalam proses perawatan harus dibentuk sedemikian rupa agar proses perawatan dapat berjalan dengan lancar [24].

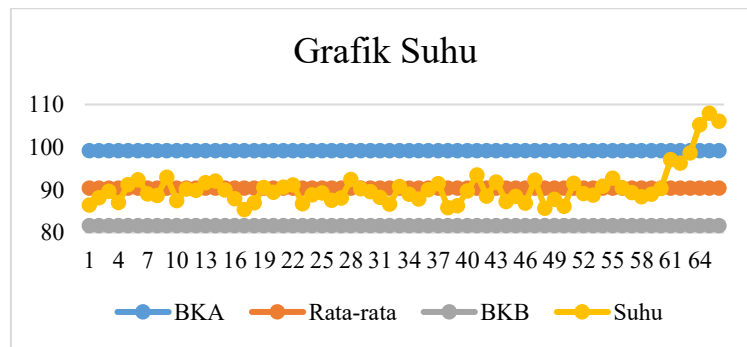
Perbandingan Hasil

Proses membandingkan kondisi permesinan sebelum dan sesudah penerapan *Condition Based Monitoring* dilaksanakan untuk melihat keberhasilan metode.

HASIL DAN PEMBAHASAN

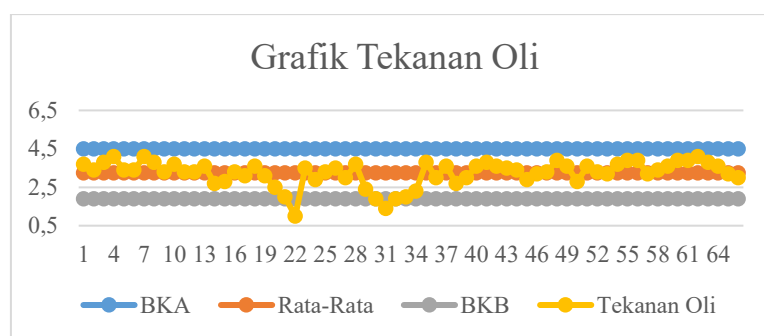
Uji Keseragaman Data

Uji keseragaman data bertujuan untuk mengetahui keadaan data suhu, tekanan oli, getaran *bearing*, mesin, dan *fan* hasil penelitian selama 66 hari di antara batas atas, batas bawah, dan mengalami *out of control*. Hasil uji keseragaman data suhu dapat dilihat pada Gambar 3.



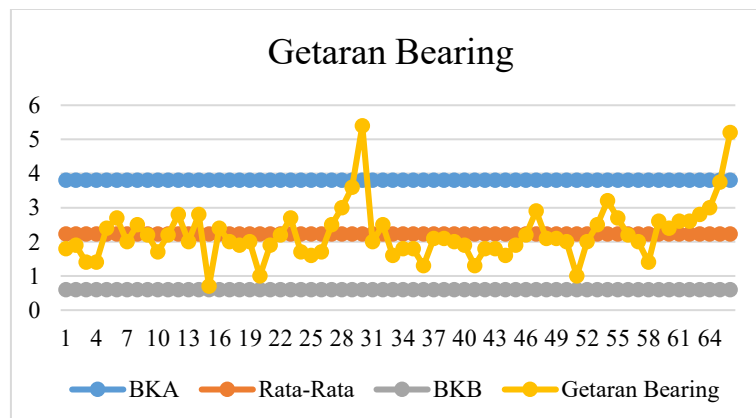
Gambar 3. Grafik Suhu

Berdasarkan Gambar 3, diperoleh bahwa umumnya data mengalami fluktuasi kenaikan dan penurunan suhu *wheel loader*. Hanya saja, pada hari ke 60 ke 61 mengalami lonjakan signifikan dan diperoleh data yang *out of control* pada hari ke-64 sampai kepada hari ke-66. Hasil uji keseragaman data tekanan oli dapat dilihat pada Gambar 4.

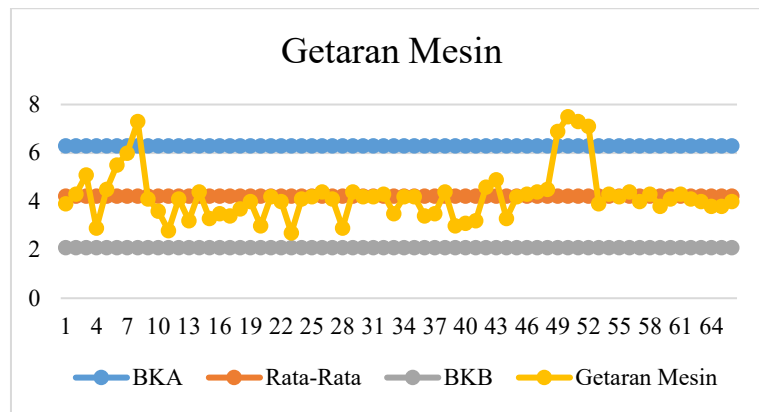


Gambar 4. Grafik Tekanan Oli

Berdasarkan Gambar 4, diperoleh bahwa umumnya tekanan oli *wheel loader* mengalami fluktuasi. Pada data hari ke-22, tekanan oli mengalami penurunan dan mengalami ketidakstabilan dan kembali terjadi penurunan drastis di hari ke-31. Hasil uji keseragaman data getaran *bearing* dapat dilihat pada Gambar 5.

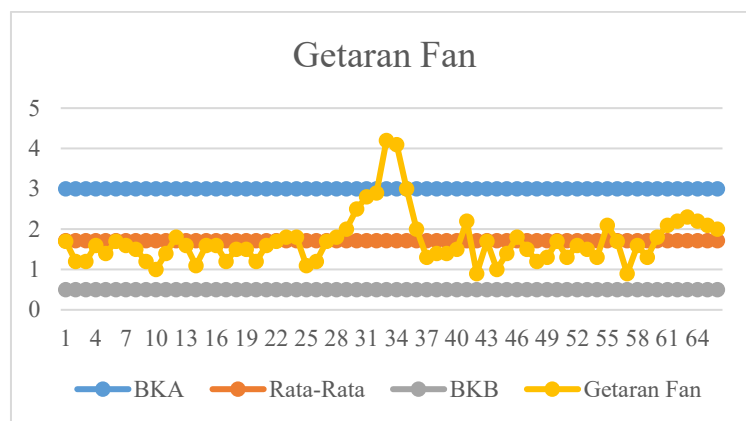
Gambar 5. Getaran *Bearing*

Berdasarkan Gambar 5, diperoleh bahwa umumnya getaran *bearing wheel loader* mengalami fluktuasi. Pada data hari ke-30, vibrasi mengalami peningkatan drastis dan sempat mengalami penurunan dan bergetar seperti pada umumnya. Peningkatan getaran yang sama terjadi kembali pada hari ke-62 sampai pada puncaknya, yaitu hari ke-66. Hasil uji keseragaman data getaran mesin dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Getaran Mesin

Berdasarkan Gambar 6, diperoleh bahwa umumnya getaran mesin *loader* mengalami fluktuasi. Pada data hari ke-8, vibrasi mengalami peningkatan drastis dan bergetar normal seperti biasa. Pada hari ke-49 sampai pada hari ke-52, terjadi peningkatan di luar batas kendali untuk getaran mesin. Getaran kembali normal pada hari-hari selanjutnya. Hasil uji keseragaman data getaran *fan* dapat dilihat pada Gambar 7.

Gambar 7. Getaran *Fan*

Berdasarkan Gambar 7, dapat dilihat bahwa getaran *fan* pada *wheel loader* mengalami fluktuasi. Peningkatan pada getaran hingga melewati batas control terjadi pada data hari ke-29 dan mencapai puncaknya pada hari ke-34. Dalam konteks *maintenance*, seluruh data yang mengalami *out of control* harus segera dilaksanakan perbaikan sehingga proses permesinan dapat dilaksanakan dengan optimal [18].

Penentuan Kondisi Mesin

Penentuan kondisi mesin diawali dengan rekap data yang masuk kategori data waspada dan anomali seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Data Hasil Kategori Waspada dan Anomali

No	Faktor	Data Waspada	Data Anomali
1	Suhu	61,62,63	64, 65, 66
2	Tekanan Oli	28, 29, 64, 65	30, 66
3	Getaran <i>Bearing</i>	21,30,32,33	22, 31
4	Getaran Mesin	3, 5,6,7,48,49	50,51,52
5	Getaran <i>Fan</i>	30,31,32,35	33, 34

Berdasarkan Tabel 2, dilaksanakan analisis mendalam terkait hal-hal yang menyebabkan kerusakan komponen dengan tabel *why-why* berdasarkan hasil wawancara dengan teknisi di PT Kraton. Hasil tabel *why-why* faktor suhu dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Tabel *Why-Why* Faktor Suhu

Why	Pertanyaan	Jawaban
1	Mengapa suhu mesin tinggi?	Karena sistem pendingin tidak bekerja optimal
2	Mengapa sistem pendingin tidak optimal?	Radiator kotor atau aus
3	Mengapa kipas tidak dibersihkan?	Tidak ada jadwal pembersihan rutin
4	Mengapa tidak ada jadwal rutin?	Tidak ada prosedur <i>preventive maintenance</i> spesifik untuk sistem pendingin
Solusi		Membuat dan menjalankan pembersihan radiator dan fan

Berdasarkan Tabel 3, pernyataan di atas didukung bahwa Suhu mesin yang baik berada di angka 75°C-95°C. Kondisi normal dapat dicapai Ketika permesinan memiliki operasi yang stabil dan pendingin yang efektif. Mesin akan masuk kepada kategori waspada Ketika pendingin mulai mengalami jenuh, dan kipas menjadi tidak konsisten. Saat mesin berada pada kondisi anomali, risiko terjadinya *overheating* dapat merusak *head* silinder atau piston. Selain itu, fluktuasi suhu 5°C menunjukkan kondisi mesin yang tidak baik [19]. Tabel *why-why* tekanan oli dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Tabel *Why-Why* Faktor Tekanan Oli

Why	Pertanyaan	Jawaban
1	Mengapa tekanan oli turun?	Karena volume oli berkurang atau pompa oli aus
2	Mengapa volume oli berkurang?	Ada kebocoran atau oli menguap karena <i>overheat</i>
3	Mengapa tidak terdeteksi lebih awal?	Tidak dilakukan pengecekan level oli secara berkala
4	Mengapa pengecekan tidak rutin?	Tidak ada inspeksi harian yang diwajibkan
Solusi		Terapkan SOP pengecekan oli sebelum <i>start</i> mesin setiap hari dan menambahkan sensor level oli dengan alarm

Berdasarkan Tabel 4, pernyataan di atas didukung bahwa tekanan oli yang baik berada di angka 2,1-6,0 bar yang menyatakan bahwa sirkulasi pelumasan lancar. Kondisi waspada Ketika nilai tekanan berada di bawah 2 bar. Kemungkinan yang terjadi adalah proses pelumasan mulai menurun atau terjadi kebocoran kecil pada *wheel loader*. Kondisi anomali adalah Ketika tekanan oli mencapai angka di bawah 1,5 bar. Faktor ini dapat menyebabkan kerusakan *bearing* dan komponen internal [20]. Tabel *why-why* faktor getaran *bearing* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Tabel *Why-Why* Faktor Getaran *Bearing*

Why	Pertanyaan	Jawaban
1	Mengapa getaran <i>bearing</i> meningkat?	Karena ada keausan pada elemen <i>rolling bearing</i>
2	Mengapa terjadi keausan?	Karena pelumasan tidak cukup atau terkontaminasi
3	Mengapa pelumasan tidak cukup?	Tidak ada sistem pemantauan kondisi pelumas
4	Mengapa tidak dipantau?	Tidak ada jadwal inspeksi <i>grease</i> atau <i>oil sampling</i>
Solusi		Terapkan inspeksi dan <i>grease bearing</i>. Simpan log pelumasan

Tabel *why-why* faktor getaran mesin dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Kondisi Getaran Mesin *Wheel Loader*

Why	Pertanyaan	Jawaban
1	Mengapa getaran mesin tinggi?	Karena ada ketidakseimbangan atau <i>misalignment</i>
2	Mengapa terjadi ketidakseimbangan?	Komponen rotasi tidak dicek keseimbangannya
3	Mengapa tidak dicek?	Tidak ada jadwal pengecekan <i>alignment</i>
4	Mengapa tidak ada jadwal?	Tidak tersedia alat atau SOP
Solusi		Jadwalkan pengecekan <i>alignment</i> dan <i>balancing</i>. Gunakan <i>vibration analyzer</i> untuk deteksi awal.

Tabel *why-why* faktor getaran *fan* dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Kondisi Getaran *Fan Wheel Loader*

Why	Pertanyaan	Jawaban
1	Mengapa <i>fan</i> bergetar tinggi?	Karena <i>blade fan</i> aus atau bengkok
2	Mengapa <i>blade</i> rusak?	Karena terkena debu berlebih atau benturan batu

3	Mengapa bisa terkena partikel asing?	Tidak ada pelindung atau saringan fan
4	Mengapa pelindung tidak ada?	Tidak dimasukkan dalam desain perawatan preventif
Solusi		Bersihkan fan secara rutin. Jadwalkan inspeksi visual fan setiap hari dan pengecekan keseimbangan setiap 300 jam.

Berdasarkan Tabel 5 sampai dengan Tabel 7 pernyataan ini didukung bahwa peningkatan getaran menandakan ketidakseimbangan, kerusakan *bearing*, *misalignment*, atau keausan komponen [21].

Perancangan Perawatan dengan CBM

Salah satu jenis pembuatan perangkat pendukung *monitoring* harian, mingguan, dan tahunan adalah dengan menggunakan kartu *monitoring*. Penggunaan kartu *monitoring* ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat tabel kartu *monitoring* mingguan dan kartu inspeksi tahunan
2. Merakit semua instruksi kerja, standar, metode, dan hasil yang ada di kartu *monitoring* dan inspeksi.
3. Proses pengisian kartu adalah sebagai berikut:
 - a. Perhatikan instruksi kerja, standar, dan metode/alat untuk melaksanakannya
 - b. Berikan tanda ceklis pada kolom Kesimpulan jika mengikuti petunjuk membuahkan hasil yang memenuhi standar. Jika tidak, beri tanda silang.
 - c. Hasil diisi dengan hasil *monitoring* atau hasil dari mengerjakan pengecekan pada suhu, tekanan, dan getaran.
 - d. Jika instruksi tersebut memerlukan perbaikan, pada kolom tindakan, catat tindakan yang dilaksanakan. Jika tidak ada yang perlu dilaksanakan, silahkan tandai dengan garis (-).
 - e. Kartu *monitoring* dan kartu inspeksi harian, mingguan, dan tahunan diisi oleh operator permesinan yang bertanggung jawab dengan mesin yang dilakukan perawatan preventif. Contoh kartu *monitoring* harian, mingguan, dan tahunan dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Kartu *Monitoring*

	KARTU MONITORING MESIN			Klasifikasi Perawatan: <i>Monitoring</i>	
				Tanggal:	
Mesin: <i>Wheel Loader</i>	Tipe:			No. Mesin:	
Bagian/Instruksi	Standar	Metode/alat	Hasil	Kesimpulan	Tindakan
1. Suhu					
a. Radiator					
Cek suhu <i>idle</i> & beban	75°C-95°C	<i>Thermogun</i>			
Periksa aliran <i>coolant</i> & kebocoran	<i>Flow</i> lancar dan tidak ada kebocoran	Visual			
b. <i>Thermostat</i>					
Periksa aliran <i>coolant</i> & kebocoran	<i>Flow</i> lancar dan tidak ada kebocoran	Visual			
c. <i>Water Pump</i>					
Periksa aliran <i>coolant</i> & kebocoran	<i>Flow</i> lancar dan tidak ada kebocoran	Visual			
d. Kipas Pendingin					
Periksa keadaan <i>blade fan</i>	Tidak bengkok	Visual			
Periksa kebersihan <i>fan</i>	Tidak ada sumbatan	Visual			
2. Tekanan Oli					
a. Pompa Oli					

Cek level & tekanan oli saat <i>idle/load</i>	>2 bar	<i>Oil Pressure Gauge</i>			
Cek kadar oli	Ideal	<i>Dipstick</i>			
Periksa kebocoran	Tidak bocor	Visual			
b. Filter Oli					
Cek level & tekanan oli saat <i>idle/load</i>	>2 bar	<i>Oil Pressure Gauge</i>			
Periksa kebocoran	Tidak bocor	Visual			
Periksa proses pelumasan	Baik	Visual			
c. Selang Oli					
Periksa kebocoran	Tidak bocor	Visual			
3. Getaran					
a. Bearing					
Pantau getaran	< 3 mm/s	<i>Vibration meter</i>			
Pantau suara abnormal	Tidak ada suara aneh	Visual			
b. Engine Mounting					
Monitor getaran <i>idle</i> /akselerasi	<4,5 mm/s	<i>Vibration Meter</i>			
Periksa sambungan baut	Tidak ada sambungan <i>loose</i>	Visual			
c. Flywheel					
Periksa putaran <i>flywheel</i>	750-850 rpm	<i>Tachometer</i>			
Pantau <i>pulley</i>	Tidak keluar dari jalur putaran	Visual			
d. Kipas Pendingin					
Pantau getaran	< 2,5 mm/s	<i>Vibration Meter</i>			
Pantau suara abnormal	Tidak ada suara aneh	Visual			
Periksa keadaan <i>blade fan</i>	Tidak bengkok	Visual			
Periksa kebersihan <i>fan</i>	Tidak ada sumbatan	Visual			

Selain kartu *monitoring*, hal lain yang harus dipersiapkan adalah kartu laporan. Untuk mengisi kartu data ini, dilaksanakan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Masukkan isi detail tentang mesin, termasuk jenis, nomor, dan nama.
2. Isi tanggal dan jam pelaksanaan observasi, waktu mulai dan selesai, langkah operasi yang ditunjukkan pada kartu observasi, dan jumlah teknisi.
3. Jika memerlukan *spare part* atau komponen pengganti untuk memperbaiki perangkat, cantumkan nama bahan atau *spare part*, jumlah, dan kategori situasi yang memerlukan bahan atau suku cadang baru di kolom “bahan suku cadang”
4. Kartu laporan mesin *wheel loader* diisi oleh admin atau *staff* yang bertanggung jawab dengan mesin yang dilaksanakan perawatan preventif. Kartu laporan dapat dilihat seperti pada Tabel 9.
- 5.

Tabel 9. Kartu Laporan *Monitoring Wheel Loader*

KARTU LAPORAN <i>MONITORING</i> MESIN MINGGUAN	
Data <i>Monitoring</i> Mesin	
Nama mesin: <i>Wheel Loader</i>	Minggu ke:
Telah dilaksanakan program perawatan/perbaikan mesin ini	
Klasifikasi: <i>Monitoring</i> Mingguan	
Data-data pelaksanaan:	

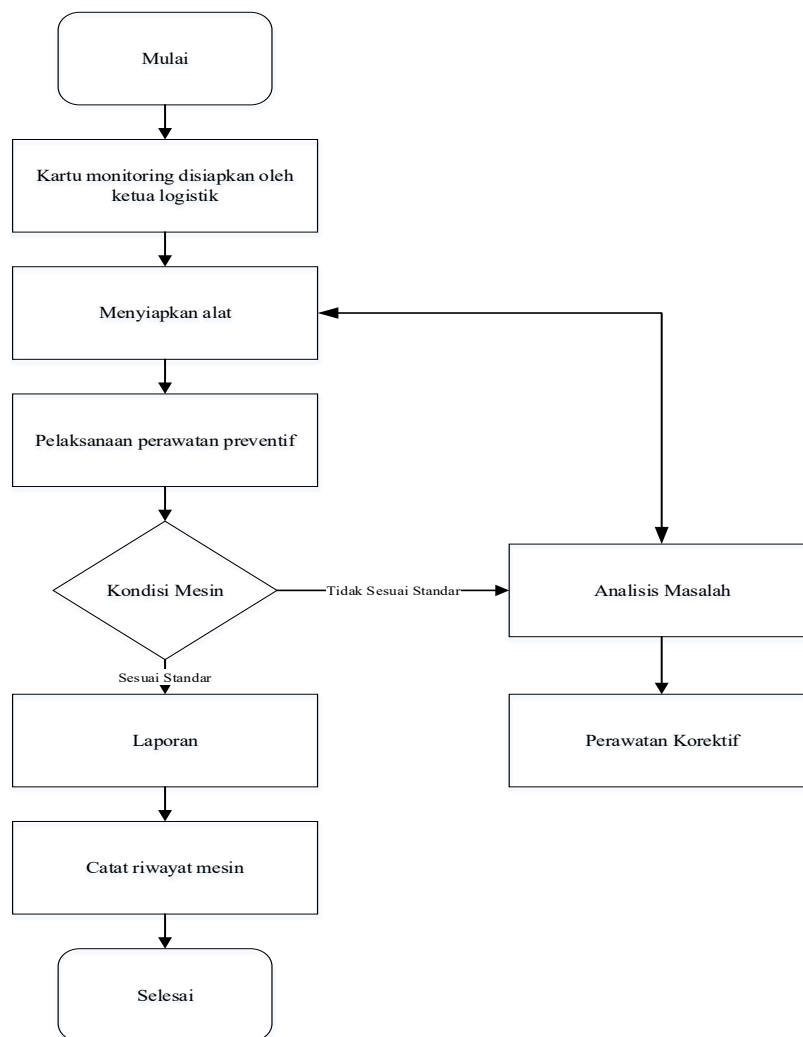
No	Tipe Mesin	Tanggal	Jam		Lokasi dan Langkah Operasi	Tenaga Kerja	Jumlah Jam Kerja
			Mulai	Selesai			
Jumlah Total Jam Kerja							
Material Suku Cadang					Jumlah	Klasifikasi Kasus	

Hal terakhir yang harus disiapkan adalah kartu riwayat mesin, yaitu untuk melihat *track record* pada proses operasi mesin dan perawatan mesin *wheel loader* seperti pada Tabel 10.

Tabel 10. Kartu Riwayat Mesin

KARTU RIWAYAT MESIN				
No. Mesin	Tanggal	Uraian Kegiatan	Pelaksana	Penanggung Jawab

Panduan yang sudah diberikan kepada operator permesinan dan mekanik akan dilaksanakan di lapangan. Panduan ini ditujukan untuk pelaksanaan *preventive maintenance wheel loader* berdasarkan sistem yang sudah dibuat. Contohnya, operator permesinan dan operator mekanik yang belum mengetahui bagaimana proses pelaksanaan perawatan *wheel loader*, akan diberikan prosedur perawatan seperti alur pada Gambar 8.



Gambar 8. Prosedur Pelaksanaan Perawatan

Berdasarkan Gambar 8, prosedur pelaksanaan perawatan secara lebih jelas digambarkan pada Tabel 11 yang menunjukkan alur kegiatan.

Tabel 11. Alur Kegiatan

No	Aktivitas	Pelaksana			Mutu Baku			Ket
		Ketua	Teknisi	User	Kelengkapan	Waktu (Menit)	Output	
1	Ketua logistic menyiapkan kartu monitoring dan kartu inspeksi				Kartu monitoring dan kartu inspeksi	10		
2	Menyiapkan alat					10		
3	Melaksanakan perawatan preventif jika menemukan kerusakan ditindaklanjuti dengan prosedur perawatan korektif				Toolsheet	15	Melaksanakan monitoring dan hasilnya dicatat di kartu monitoring	
4	Mencatat laporan hasil monitoring dan inspeksi				Kartu Laporan mesin	15	Laporan hasil kondisi mesin	
5	Membuat catatan Riwayat mesin				Kartu catatan Riwayat mesin	15	Kartu catatan Riwayat mesin yang telah diisi	

Perbandingan Hasil

Perbandingan hasil antara sebelum dan sesudah penerapan CBM dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Perbandingan Rata-Rata Faktor Sebelum dan Sesudah CBM

Faktor	Sebelum	Sesudah
Suhu (°C)	90,46	87,46
Tekanan Oli (bar)	3,2	3,7
Getaran <i>Bearing</i> (mm/s)	2,2	2,05
Getaran Mesin (mm/s)	4,2	4,19
Getaran <i>Fan</i> (mm/s)	1,7	1,58

Berdasarkan Tabel 12, diperoleh bahwasannya terjadi penurunan rata-rata suhu, getaran *bearing*, getaran mesin, dan getaran *fan*, serta peningkatan tekanan oli setelah dilaksanakan *preventive maintenance* dengan pendekatan CBM. Hal ini menandakan bahwa proses CBM dapat menyelesaikan permasalahan dengan mencegah terjadinya kerusakan [25].

KESIMPULAN DAN SARAN

Parameter kondisi permesinan di PT Kraton terbagi atas 3, yaitu kondisi normal, waspada, dan anomali. Kondisi normal dalam permesinan merupakan saat proses permesinan berjalan sebagaimana harusnya. Biasanya, proses permesinan dalam kondisi normal ditandai dengan komponen yang sehat, tidak terjadi kerusakan, dan pengukuran yang sesuai standar. Proses permesinan akan memasuki kondisi waspada ketika permesinan dilaksanakan melebihi batas waktu penggunaan, dan terdapat masalah kecil seperti sumbatan dan kebocoran komponen. Selain itu, dalam standar pengukuran, proses permesinan sudah mulai mendekati batas kendali penilaian. Permesinan dengan data memasuki kategori anomali menandakan permesinan mengalami kerusakan. Secara standar pengukuran, kondisi ini ditandai dengan data sudah melewati batas kendali penilaian. Apabila tetap dilanjutkan, maka proses permesinan bisa membahayakan pengguna sehingga proses operasi harus dihentikan secara temporer, sehingga diperlukan proses perawatan preventif agar proses produksi dapat berlangsung kembali. Hal ini ditandai dengan terjadi penurunan rata-rata suhu dari 90,46°C menjadi 87,46°C, getaran *bearing* 2,2 mm/s menjadi 2,05 mm/s, getaran mesin 4,2 mm/s menjadi 4,19 mm/s, dan getaran *fan* 1,7 mm/s menjadi 1,58 mm/s, serta peningkatan tekanan oli dari 3,2 bar menjadi 3,7 bar setelah dilaksanakan *preventive maintenance* dengan pendekatan CBM. Hal ini menandakan bahwa proses CBM dapat menyelesaikan permasalahan dengan mencegah terjadinya kerusakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Noble, E. Kokko, I. Darnell, T. Dunn, L. Hagler, and L. Leininger, "Concrete Model Descriptions and Summary of Benchmark Studies for Blast Effects Simulations," Livermore, CA (United States), Jul. 2005. doi: 10.2172/878628.
- [2] C. Baas, "Concrete and Culture: A Material History," *Mater Cult*, vol. 47, pp. 90–92, 2015.
- [3] T. Watari, Z. Cao, A. C. Serrenho, and J. Cullen, "Growing role of concrete in sand and climate crises," *iScience*, vol. 26, no. 5, p. 106782, May 2023, doi: 10.1016/j.isci.2023.106782.
- [4] A. Derisman, Sarmidi, and Zikri, "EFISIENSI KERJA WHEEL LOADER KOMATSU WA 200-5 DI PABRIK BRIKET TANJUNG ENIM PT BUKIT ASAM Tb," *Jurnal Surya Teknika*, vol. 9, no. 1, pp. 360–364, Jul. 2022, doi: 10.37859/jst.v9i1.3797.
- [5] W. Biały and J. Ružbarský, "Breakdown Cause and Effect Analysis. Case Study," *Management Systems in Production Engineering*, vol. 26, no. 2, pp. 83–87, Jun. 2018, doi: 10.1515/mspe-2018-0013.
- [6] A. Thoha, "TALENTA Conference Series: Energy and Engineering Analisis Total Productivity Maintenance (TPM) Mesin Sterilizer di PT XYZ dengan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE)," 2024, doi: 10.32734/ee.v7i1.2223.
- [7] A. Nurhidayat, S. Putri Lestari, and R. T. Yusnita, "The Effect Of Preventive Maintenance And Breakdown Maintenance On The Smooth Running Of The Production Process (Case studies on CV. Dira Mahakarya Utama of Ciamis Regency Printing)," *Journal of Indonesian Management*, vol. 2, no. 3, Sep. 2022, doi: 10.53697/jim.v2i3.894.

- [8] A. Ali and A. Abdelhadi, "Condition-Based Monitoring and Maintenance: State of the Art Review," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 2, p. 688, Jan. 2022, doi: 10.3390/app12020688.
- [9] Y. Wu, S. Li, S. Liu, H.-S. Dou, and Z. Qian, "Vibration-Based Condition Monitoring," 2013, pp. 431–477. doi: 10.1007/978-94-007-6422-4_11.
- [10] Y. Arbella-Feliciano, C. A. Trinchet-Varela, L. L. Lorente-Leyva, and D. H. Peluffo-Ordóñez, "Condition Monitoring of Wind Turbines: A Case Study of the Gibara II Wind Farm," *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, vol. 56, no. 2, pp. 329–335, Apr. 2023, doi: 10.18280/jesa.560218.
- [11] S. Ahmad, K. Styp-Rekowski, S. Nedelkoski, and O. Kao, "Autoencoder-based Condition Monitoring and Anomaly Detection Method for Rotating Machines," in *2020 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, IEEE, Dec. 2020, pp. 4093–4102. doi: 10.1109/BigData50022.2020.9378015.
- [12] N. Jamil, M. F. Hassan, S. K. Lim, and A. R. Yusoff, "Predictive maintenance for rotating machinery by using vibration analysis," *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, vol. 15, no. 3, pp. 8289–8299, Sep. 2021, doi: 10.15282/jmes.15.3.2021.07.0651.
- [13] S. W. J. Choong *et al.*, "A Preliminary Study on Ergonomic Contribution to the Engineering Design Approach of a Wheel Loader Control Lever System," *Sustainability*, vol. 14, no. 1, p. 122, Dec. 2021, doi: 10.3390/su14010122.
- [14] P. Tan *et al.*, "Investigating the matching characteristic of the full hydraulic braking system of the wheel loader," *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 44, no. 5, p. 209, May 2022, doi: 10.1007/s40430-022-03452-8.
- [15] I. M. Jamadar, S. A. I. Bellary, R. A. Kanai, and A. A. Alrobaian, "Model-Based Condition Monitoring for the Detection of Failure of a Ball Bearing in a Centrifugal Pump," *Journal of Failure Analysis and Prevention*, vol. 19, no. 6, pp. 1556–1568, Dec. 2019, doi: 10.1007/s11668-019-00792-x.
- [16] W. A. Hyman, "The Theory and Practice of Preventive Maintenance," *J Clin Eng*, vol. 28, no. 1, pp. 31–36, Jan. 2003, doi: 10.1097/00004669-200301000-00037.
- [17] D. Galar, L. Pilar, and B. Luis, "Application of dynamic benchmarking of rotating machinery for e-maintenance," *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, vol. 1, no. 3, pp. 246–262, Sep. 2010, doi: 10.1007/s13198-011-0041-1.
- [18] R. M. Barnes, *Motion and Time Study Design and Measurement of Work*, 7th ed. Wiley&Sons, 1991.
- [19] I. U. Hassan, K. Panduru, and J. Walsh, "An In-Depth Study of Vibration Sensors for Condition Monitoring," *Sensors*, vol. 24, no. 3, p. 740, Jan. 2024, doi: 10.3390/s24030740.
- [20] S. Ye, B. Da, L. Qi, H. Xiao, and S. Li, "Condition Monitoring of Marine Diesel Lubrication System Based on an Optimized Random Singular Value Decomposition Model," *Machines*, vol. 13, no. 1, p. 7, Dec. 2024, doi: 10.3390/machines13010007.
- [21] R. Eulджи *et al.*, "Optimizing condition monitoring of ball bearings: An integrated approach using decision tree and extreme learning machine for effective decision-making," *Open Physics*, vol. 21, no. 1, Jun. 2023, doi: 10.1515/phys-2022-0239.
- [22] J. Kumar, K. K. Kataria, and S. Luthra, "Quality Circle: A Methodology to Enhance the Plant Capacity through Why-Why Analysis," *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, vol. 5, no. 3, pp. 463–472, Jun. 2020, doi: 10.33889/IJMEMS.2020.5.3.038.
- [23] I. A. V Damanik, R. D. Rumbara, and N. Juhana, "Online monitoring for processes and condition of a machine using smart management card," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 980, no. 1, p. 012047, Dec. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/980/1/012047.
- [24] A. Morris, D. Baglee, and M. Knowles, "Using Energy Consumption Profiles as an Indicator of Equipment Condition," 2020, pp. 1317–1330. doi: 10.1007/978-3-030-57745-2_109.
- [25] J. Veldman, W. Klingenberg, and H. Wortmann, "Managing condition-based maintenance technology," *J Qual Maint Eng*, vol. 17, no. 1, pp. 40–62, Mar. 2011, doi: 10.1108/1355251111116240.