

Analisis Kebocoran *Coolant* Pada *Water Pump Engine* Komatsu D375-6R

Aan Dwi Hantoro¹, Yudi Kurniawan^{1*}, Yasmin Zulfati Yusrina¹, Ade Yuspandi¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Balikpapan, Jl. Soekarno Hatta Km.8 Balikpapan, 76129

*yudi.kurniawan@poltekba.ac.id

Diterima: 24 06 2026

Direvisi: 29 06 2026

Disetujui: 05 07 2026

ABSTRAK

Tingginya angka *unscheduled breakdown* akibat *engine overheat* pada Bulldozer Komatsu D375-6R di operasional pertambangan menjadi latar belakang penelitian ini. Berdasarkan prinsip dasar motor diesel, keandalan fungsional *engine* sebagai penggerak utama sangat bergantung pada integrasi sistem pendingin untuk menjaga suhu kerja ideal (82°C – 93°C). Penelitian ini bertujuan menginvestigasi secara mendalam mata rantai kegagalan sistem pendingin yang berujung pada kerusakan komponen *seal water pump*. Metode yang diterapkan adalah penelusuran kegagalan terstruktur melalui analisis akar masalah (*Root Cause Analysis/RCA*). Hasil penelitian mengungkapkan kebocoran eksternal *coolant* pada *weep hole* dipicu oleh penurunan elastisitas material elastomer *seal* akibat paparan temperatur ekstrem kronis mencapai 102°C. Kondisi *overheat* disebabkan oleh penyumbatan partikel debu tambang pada *fin* radiator yang diperparah rembesan oli akibat kegagalan *O-Ring adapter hose oil cooler* yang melewati batas umur pakai (*hours meter* >7.000 jam). Tindakan korektif berupa penggantian *O-Ring adapter*, pencucian radiator, dan instalasi *water pump assembly* baru berhasil menurunkan suhu kerja engine secara signifikan sebesar 14°C (dari 102°C menjadi 88°C) pada kondisi beban kerja ekstrem (*high-load dozing*). Efektivitas solusi ini dibuktikan dengan kembalinya parameter operasional standar dan hilangnya *alarm warning* pada monitor panel kabin.

Kata kunci: Komatsu D375-6R, *water pump*, *overheat*, penyumbatan, kebocoran

ABSTRACT

The high rate of *unscheduled breakdowns* due to *engine overheating* on the Komatsu D375-6R bulldozer in mining operations forms the background of this study. Based on the fundamental principles of diesel engines, the functional reliability of the engine as the prime mover heavily relies on the integration of the cooling system to maintain an ideal operating temperature (82°C – 93°C). This study aims to deeply investigate the failure chain of the cooling system that leads to the failure of the water pump seal component. The method applied is a structured failure tracking through Root Cause Analysis (RCA). The results of the study reveal that external coolant leakage at the *weep hole* was triggered by a decrease in the elasticity of the elastomer seal material due to chronic exposure to extreme temperatures reaching 102°C. The *overheat* condition was caused by the clogging of mining dust particles on the radiator fins, which was further aggravated by oil seepage resulting from the failure of the oil cooler adapter hose O-ring that had exceeded its service life limit (*hour meter* >7,000 hours). Corrective actions in the form of replacing the adapter O-ring, washing the radiator, and installing a new water pump assembly successfully reduced the engine operating temperature significantly by 14°C (from 102°C to 88°C) under extreme workload conditions (*high-load dozing*). The effectiveness of this solution was proven by the return of standard operational parameters and the disappearance of the warning alarm on the cabin monitor panel.

Keywords: Komatsu D375-6R, *Water pump*, *Overheating*, *Clogged*, *Leak*. Quantitative

PENDAHULUAN

Engine merupakan komponen penggerak utama yang berfungsi mengubah energi termal hasil proses pembakaran bahan bakar menjadi energi mekanis untuk mengoperasikan sistem kerja alat berat [1]. Berdasarkan prinsip dasar motor diesel, efisiensi konversi energi termal internal ini sangat dibatasi oleh ketahanan material komponen mesin terhadap temperatur tinggi hasil pembakaran [2]. Agar didapatkan hasil kerja yang optimal pada alat berat penunjang industri pertambangan, keandalan fungsional *engine* sangat bergantung pada integrasi performa lima sistem internal utama, yaitu sistem bahan bakar, sistem udara masuk dan buang, sistem pelumasan, sistem elektrik, serta sistem pendingin (*cooling system*) [1], [3]. Apabila salah satu sistem ini mengalami kegagalan, khususnya sistem pendingin, maka efisiensi termal *engine* akan menurun drastis, meningkatkan frekuensi kerusakan tak terencana (*unscheduled breakdown*/BD), serta memperpendek umur pakai dari komponen-komponen kritis di dalamnya [1], [3]. Dalam manajemen operasional pertambangan, ketepatan perencanaan unit dan minimalisasi kendala teknis sangat menentukan efisiensi waktu serta biaya operasional proyek secara menyeluruh [4].

Kendala teknis berupa kegagalan pelepasan panas (*overheating*) merupakan parameter utama yang menurunkan nilai ketersediaan fisik (*Physical Availability* atau PA) unit di lapangan pertambangan [5]. Sebagai contoh, dalam studi kasus unit Bulldozer D155A-6, kegagalan pelepasan panas terbukti menurunkan nilai PA secara signifikan akibat masalah sirkulasi hidrolik *fan* motor yang telah melewati batas *life-time* [5]. Pada unit *wheel loader* seperti Komatsu WA120-3CS, pemeliharaan berkala pada seluruh rangkaian sistem pendingin—termasuk pompa air (*water pump*), radiator, *intercooler*, sirkulasi selang, hingga tutup bertekanan—harus ditegakkan secara disiplin agar temperatur ideal mesin tetap terjaga di setiap rentang beban operasi [6]. Pompa sentrifugal bertugas memindahkan cairan dengan mengandalkan perbedaan tekanan mekanis, sehingga jika terjadi penurunan efisiensi aliran fluida akibat keausan internal, laju perpindahan panas konveksi akan terganggu total [7].

Sistem pendingin *engine* modern umumnya dirancang sebagai sistem sirkulasi tertutup dengan suhu kerja ideal yang berkisar antara 82°C hingga 93°C [8]. Komponen pengatur utama berupa termostat (*thermostat*) bertugas mengatur arah aliran fluida pendingin menuju radiator berdasarkan ambang batas suhu kerja guna mencapai efisiensi termal yang konstan [8]. Penelitian menunjukkan bahwa pelepasan penapis termostat atau kerusakan mekanis pada katup pengatur sirkulasi akan mengacaukan distribusi panas internal dan mempercepat fluktuasi suhu eksternal yang memicu kegagalan *overheating* [8]. Di samping itu, karakteristik aliran cairan pendingin juga sangat dipengaruhi oleh putaran poros *engine* (RPM) serta desain geometris komponen penggerak fluida [9]. Kecepatan putaran mesin yang tinggi berkorelasi linier dengan kapasitas debit sirkulasi yang dipompa oleh *mechanical water pump*, di mana variasi jumlah serta sudut kemiringan sudu (*impeller blade*) terbukti memengaruhi efisiensi penolakan panas dan meminimalkan risiko akumulasi kalor berlebih pada silinder *head* [9], [10]. Tanpa sistem pendinginan cairan yang optimal, energi panas yang diserap oleh dinding silinder dan kepala silinder akan melampaui ambang batas aman material, memicu keausan prematur, *warping*, hingga kerusakan mekanis fatal berupa keretakan kepala silinder akibat beban kelelahan termal ekstrem [11], [12].

Selain faktor mekanis komponen, stabilitas suhu kerja mesin juga sangat dipengaruhi oleh volume cairan pendingin dan jenis fluida kerja yang digunakan di dalam sistem sirkulasi radiator [13]. Semakin berkurangnya volume air pendingin di dalam sirkulasi tertutup, maka temperatur mesin akan mengalami kenaikan yang sangat signifikan karena efisiensi pelepasan kalor menurun drastis seiring menyusutnya kapasitas massa fluida penyerap panas [13]. Hal ini sangat berpengaruh besar pada operasional unit Komatsu D375-6R yang menggunakan model *engine* SAA6D170E-5 pada area pertambangan [14].

Meskipun penelitian mengenai *overheat* pada mesin diesel alat berat telah banyak dilakukan, sebagian besar studi terdahulu (seperti pada [1], [5], [6]) hanya berfokus pada kegagalan komponen tunggal

terisolasi (misalnya kerusakan murni pada *thermostat* atau *fan motor*). Terdapat keterbatasan literatur yang menganalisis mata rantai kegagalan lintas-sistem sistematis (*cross-system failure chain*), di mana kegagalan komponen non-pendingin (sistem pelumasan/kebocoran oli adapter) menjadi pemicu utama kerusakan mekanis sekunder pada komponen penyekat pompa pendingin (*mechanical water pump seal*) akibat lingkungan operasi tambang yang ekstrem. Penelitian ini terletak pada pemetaan korelasi kausalitas terstruktur lintas-sistem tersebut menggunakan pendekatan *Root Cause Analysis* (RCA) yang divalidasi dengan data kuantitatif perubahan parameter termal sebelum dan sesudah intervensi mekanis secara riil di lapangan.

Kerusakan eksternal seperti kebocoran air pendingin pada komponen radiator atau pompa air merupakan pemicu utama berkurangnya volume cairan di dalam sirkulasi mantel air (*water jacket*). Penurunan volume fluida pendingin tertutup ini berujung pada penurunan tekanan sistem, penurunan titik didih cairan, dan kegagalan perpindahan panas. Berdasarkan laporan investigasi teknis (*Technical Investigation*) pada unit Komatsu Bulldozer D375-6R, diidentifikasi adanya problem kebocoran cairan pendingin (*water pump leak*) yang parah [15]. Analisis kausalitas terstruktur menunjukkan bahwa kerusakan komponen karet penyekat (*seal water pump assy*) tersebut merupakan dampak sekunder (*secondary damage*) akibat paparan suhu tinggi dari kondisi *engine overheat* yang berlangsung secara berulang [15]. *Overheat* berulang ini disebabkan oleh kebuntuan kisi-kisi udara (*fin* radiator buntu) akibat penumpukan material kotoran dan debu tambang yang merekat kuat [15]. Sumber perekat kotoran tersebut berasal dari rembesan oli akibat kegagalan *seal O-Ring* pada komponen adapter *hose oil cooler* yang terletak tepat di bagian belakang radiator karena faktor habisnya batas umur pakai (*life time*) [16]. Penelitian ini difokuskan untuk menganalisis keterkaitan mata rantai kegagalan mekanis tersebut.

METODE PENELITIAN

Object penelitian

Objek utama yang dikaji dalam penelitian ini adalah satu unit alat berat Bulldozer Komatsu D375-6R yang beroperasi di bawah manajemen operasional pertambangan PT Bukit Makmur Mandiri Utama (BUMA) Site IPR Tabang (Gambar 1, Tabel 1). Parameter utama yang diamati meliputi: temperatur cairan pendingin (*coolant temperature*) dalam satuan °C, level penurunan volume cairan pendingin pada reservoir *tank*, dan kondisi fisik komponen sekat (*seal*). Pengukuran parameter termal dilakukan menggunakan instrumen sensor internal unit yang terintegrasi dengan Monitor Panel Kabin (Komatsu *Monitoring System*) dan divalidasi secara eksternal menggunakan *Infrared Thermometer* (startools MT0000383) dengan akurasi $\pm 2^{\circ}\text{C}$ untuk mengukur temperatur permukaan radiator dan komponen *water pump*.



Gambar 1. Unit D375-6R

Tabel 1. Data unit

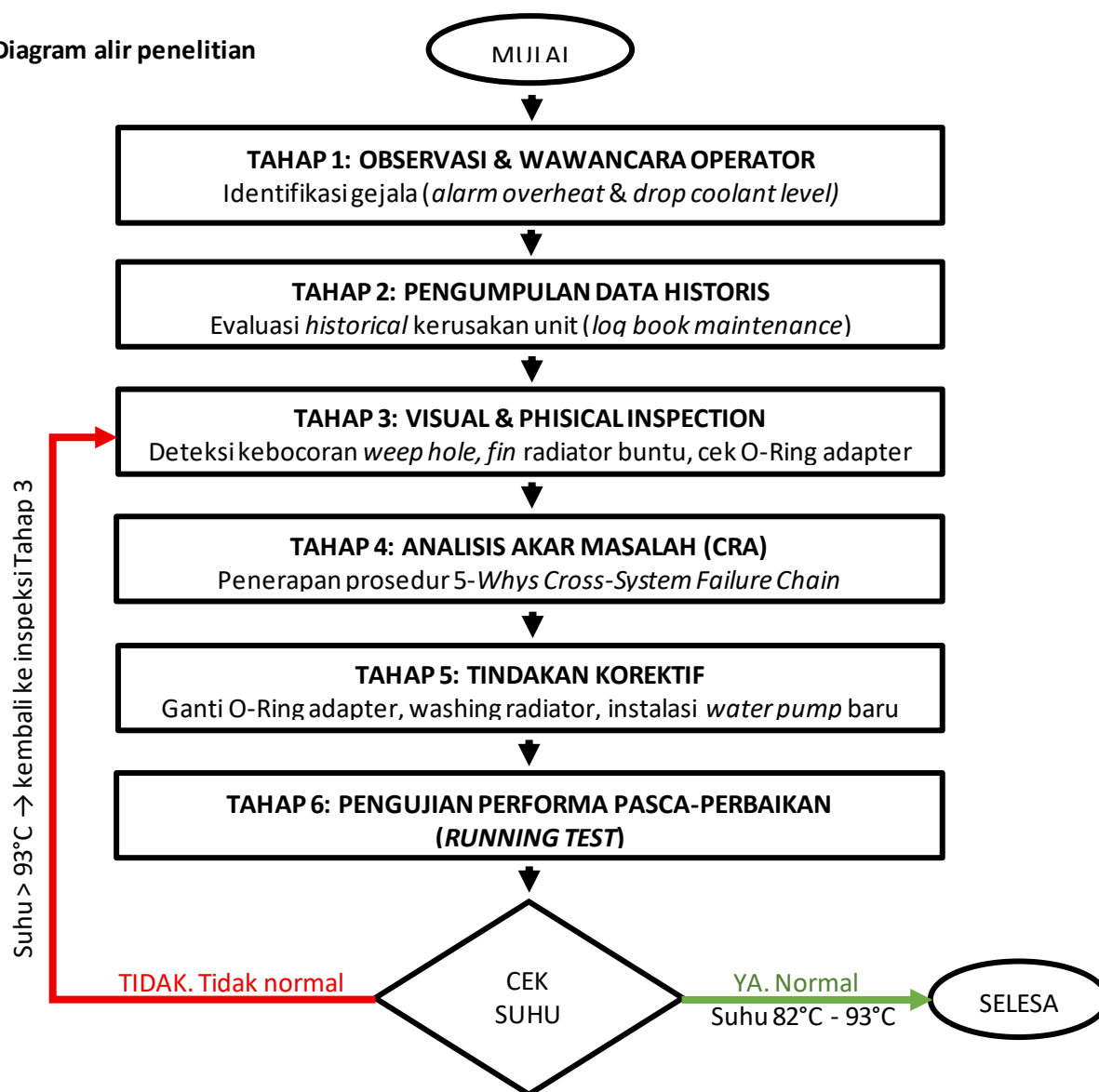
<i>Description</i>	<i>Spesification</i>
Unit Model	D375-6R
Serial Number Unit	65276
Code Unit	BDKM37092
Hours Meter	7425
Engine Model	SAA6D170E-5

Prosedur pelaksanaan *Root Cause Analysis* (RCA)

Prosedur RCA dalam penelitian ini dilaksanakan melalui metode *5-Whys Analysis* untuk merunut ke belakang rantai peristiwa fisik yang menyebabkan kegagalan akhir (*final failure mode*). Langkah pembuktian akar masalah dilakukan melalui:

1. Verifikasi data historis *breakdown* pada sistem *Mainframe Maintenance Data*.
2. Pemeriksaan visual (*Visual Inspection*) komponen eksternal sirkulasi.
3. Pengujian pembongkaran (*disassembly inspection*) pada area adapter hose oil cooler dan mechanical seal water pump untuk menganalisis kerusakan fisik material elastomeric menggunakan parameter jam kerja (*hours meter*).

Diagram alir penelitian



HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil investigasi lapangan dan data historis

Berdasarkan keluhan operator (Tabel 2), unit berulang kali memicu kode peringatan level *coolant* disertai lonjakan temperatur. Penelusuran data historis *breakdown* (Tabel 3) membuktikan bahwa *Overheat Coolant* dan *Overheat Radiator* merupakan problem kronis dominan pada unit BDKM37092 selama 500 jam operasi terakhir sebelum terjadinya kerusakan total pompa.

Tabel 2. Daftar wawancara dengan operator

Pertanyaan	Jawaban
Apa Keluhan Yang Dirasakan Pada Unit Tersebut?	Pada Saat Unit Beroperasi Muncul Peringatan <i>Warning Level Water Coolant</i> Menyala Disertai Dengan <i>Warning Alarm</i> dan Unit Mengalami Kenaikan Temperatur <i>Coolant</i> .
Apa Yang Di Lakukan Sebelum Mengoperasikan Unit ?	Operator Telah Melakukan P2H Sesuai Prosedur Sebelum Mengoperasikan Unit.
Apakah Mengalami Gejala Serupa Sebelumnya?	Ya, Unit Sering Mengalami Kenaikan Suhu Temperatur Di Monitor dan Langkah Perbaikan Selalu Dilakukan Pencucian Pada Radiator Oleh Mekanik.

Tabel 3. *Historical* kerusakan unit D375-6R

<i>Equipment</i>	<i>Unit</i>	<i>BD Time</i>	<i>BD Sub Type</i>	<i>Description</i>
BDKM37092	D375-6R	15:57:00	MTC <i>Unschedule</i>	<i>Overheat Coolant</i>
BDKM37092	D375-6R	05:29:00	MTC <i>Unschedule</i>	<i>Cant Start</i>
BDKM37092	D375-6R	19:40:00	MTC <i>Unschedule</i>	<i>Overheat Radiator & Error 02</i>
BDKM37092	D375-6R	14:17:00	MTC <i>Unschedule</i>	<i>Overheat Collant</i>
BDKM37092	D375-6R	19:41:00	MTC <i>Unschedule</i>	<i>Overheat Collant</i>
BDKM37092	D375-6R	15:18:00	MTC <i>Unschedule</i>	<i>Overheat Radiator</i>
BDKM37092	D375-6R	18:50:00	MTC <i>Unschedule</i>	<i>Error 02, Oil Damper Low</i>
BDKM37092	D375-6R	01:24:00	MTC <i>Unschedule</i>	<i>Error 02</i>
BDKM37092	D375-6R	11:49:00	MTC <i>Unschedule</i>	<i>Ac Hot</i>
BDKM37092	D375-6R	13:05:00	MTC <i>Unschedule</i>	<i>Bracket Fss Broken</i>
BDKM37092	D375-6R	06:14:00	MTC <i>Unschedule</i>	<i>Cover Area Engine Mau Lepas</i>
BDKM37092	D375-6R	21:06:00	MTC <i>Unschedule</i>	<i>Overheat Radiator</i>
BDKM37092	D375-6R	14:04:00	MTC <i>Schedule</i>	<i>Track Shoe Loose</i>
BDKM37092	D375-6R	03:48:00	MTC <i>Schedule</i>	<i>Ps-500 Periodical Service</i>
BDKM37092	D375-6R	19:01:00	MTC <i>Schedule</i>	<i>Sprocket Lh W/O , Overheat.</i>
BDKM37092	D375-6R	13:08:00	MTC <i>Schedule</i>	<i>Cant Start</i>
BDKM37092	D375-6R	09:10:00	MTC <i>Schedule</i>	<i>Ovh Coolant</i>
BDKM37092	D375-6R	07:06:00	MTC <i>Schedule</i>	<i>Bottom Guard Loose</i>
BDKM37092	D375-6R	13:24:00	MTC <i>Schedule</i>	<i>Schedule_ Inspection</i>
BDKM37092	D375-6R	01:52:00	MTC <i>Schedule</i>	<i>Low Power Engine</i>
BDKM37092	D375-6R	13:45:00	MTC <i>Schedule</i>	<i>Overheat Radiator</i>

Inspeksi visual (Gambar 2, 3, dan 4) mengonfirmasi adanya akumulasi debu tambang setebal 3–5 mm yang merekat pada *fin* radiator akibat rembesan oli. Rembesan tersebut bersumber dari kerusakan fatal pada *O-Ring adapter hose oil cooler* yang telah mencapai umur pakai 7.425 jam (rekomendasi penggantian <5.000 jam).



Gambar 2. kebocoran *coolant* melalui *weep hole* pada *water pump* D375-6R



Gambar 3. *Fin radiator* yang mengalami kebuntuan dan kebocoran pada *oil cooler*

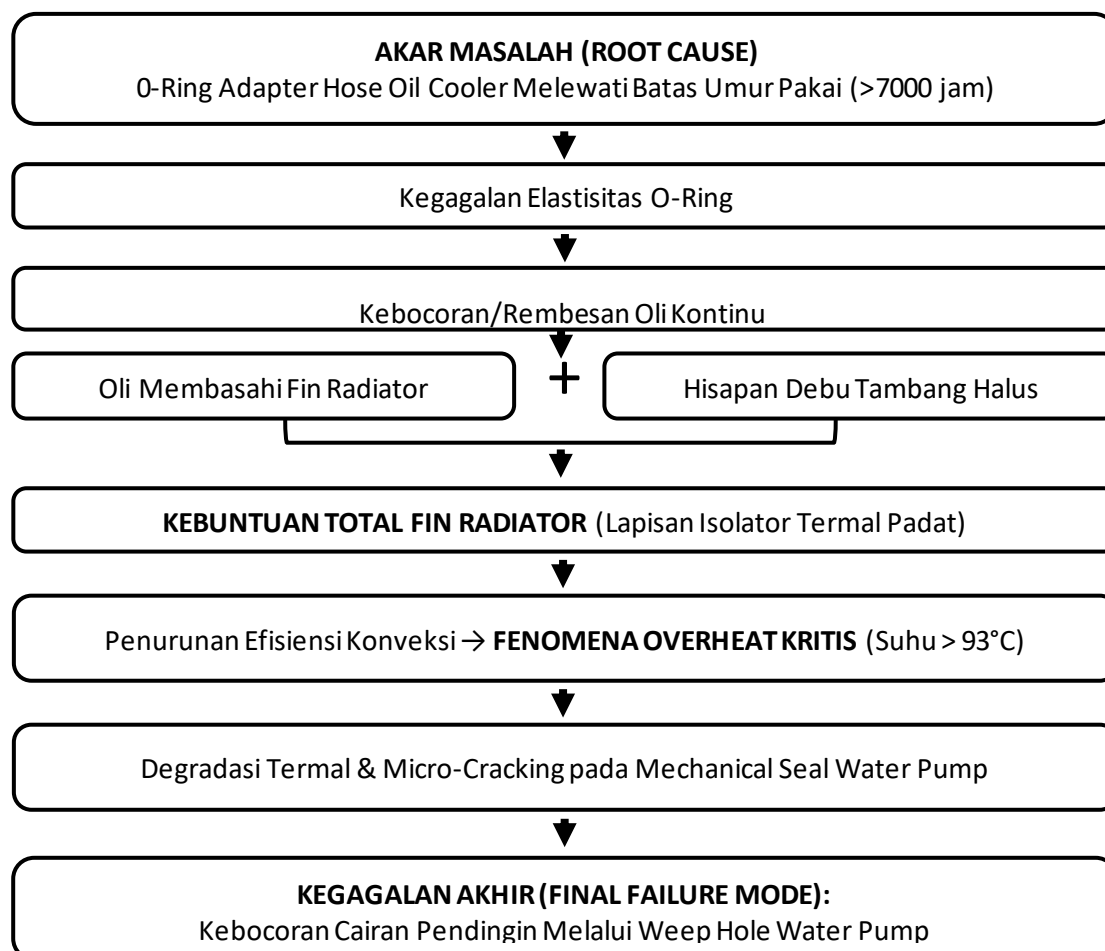


Gambar 4. *O-Ring adapter hose oil cooler* rusak

Diagram struktur *Root Cause Analysis* (RCA)

Berdasarkan hasil investigasi, data historis kerusakan, dan korelasi teoritis, kegagalan sistem pendingin hingga memicu kebocoran *coolant* pada *water pump* tidak terjadi secara instan, melainkan melalui sebuah mata rantai kegagalan sistemis (*failure chain*) yang saling berkaitan. Tahapan analisis akar masalah disajikan dalam diagram struktur kausalitas berikut:

DIAGRAM STRUKTUR KAUSALITAS ANALISIS TROUBLESHOOTING



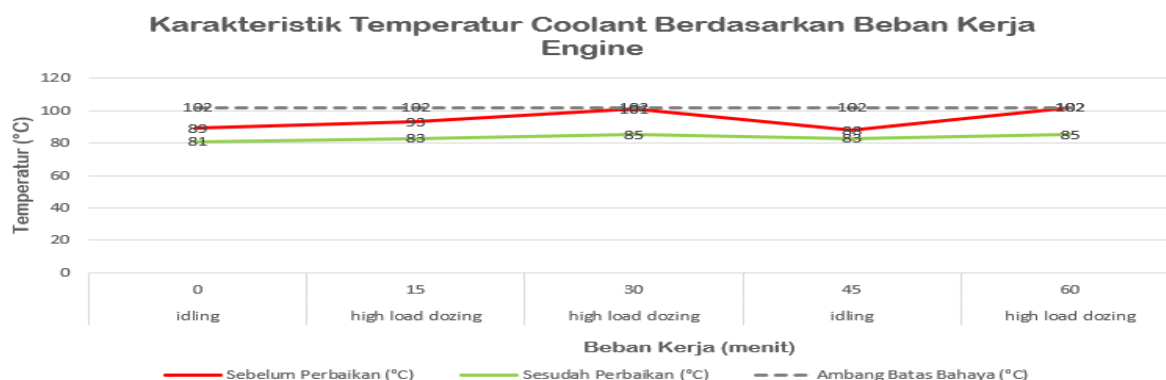
Intervensi teknis yang dilakukan mengacu pada matriks tindakan korektif (Tabel 4). Efektivitas hasil perbaikan dievaluasi secara kuantitatif melalui uji performa (*running test*) di bawah variasi pembebanan operasi selama 60 menit. Data komparatif parameter performa disajikan pada Tabel 5 dan visualisasi tren penurunan suhu ditunjukkan pada Grafik 1.

Tabel 4. Korelasi Komponen Kerusakan dan Tindakan Korektif Sistem Pendingin

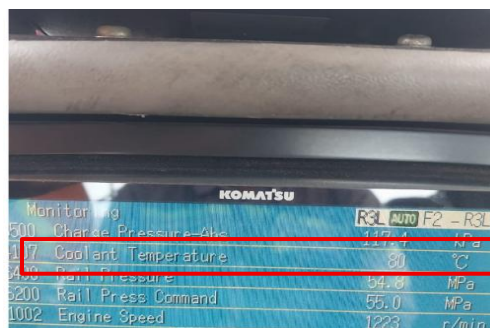
Komponen Terdampak	Akar Kegagalan Ilmiah (Root Cause)	Tindakan Penanggulangan Teknis
Seal O-Ring Adapter Hose Oil Cooler	Penurunan Elastisitas Material Akibat Melewati Batas Umur Pakai (Life-Time)	Penggantian Komponen Seal O-Ring Adapter Baru
Kisi-kisi (Fin) Radiator	Kebuntuan Total Akibat Material Debu Tambang Merekat Pada Rembesan Oli	Pelaksanaan Pencucian Menyeluruh (Washing Radiator & Cooler) Secara Berkala
Water Pump Assembly	Kerusakan Mechanical Seal Akibat Rambatan Panas Overheat Berulang	Penggantian Unit Water Pump Assembly Baru
Sistem Kerja Engine SAA6D170E-5	Penurunan laju perpindahan panas konveksi udara-ke-air	Pelaksanaan <i>test performance</i> untuk validasi suhu kerja normal

Tabel 5. Perbandingan Kuantitatif Parameter Performa Sistem Pendingin

Parameter Pengukuran	Sebelum Perbaikan	Sesudah Perbaikan
Temperatur <i>Coolant</i> (Kondisi <i>Idling</i>)	89°C	81°C
Temperatur <i>Coolant</i> (<i>High-Load Dozing / Ripping</i>)	102°C (<i>Overheat</i>)	85°C (<i>Normal ideal</i>)
Status Peringatan Monitor Panel Kabin	<i>Red Warning Alarm</i> Aktif	Nonaktif / <i>Normal</i>
Penurunan Volume <i>Coolant</i> per jam	± 8 Liter	0 Liter

**Grafik 1.** Karakteristik Temperatur Coolant Berdasarkan Beban Kerja Engine

Keterangan Grafik 1 dan Gambar 5 Sebelum tindakan perbaikan dilakukan, temperatur cairan pendingin melonjak drastis pada awal pengecekan hingga mencapai titik kritis 102°C sewaktu mesin menerima beban berat (*high-load*). Pasca-eksekusi tindakan penanggulangan teknis terintegrasi, suhu operasional berhasil diredam secara konstan dan distabilkan kembali dalam batas aman sirkulasi tertutup (80°C–85°C). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.

**Gambar 5.** *temperature coolant* mulai naik**Gambar 6.** *temperature coolant* setelah perbaikan

Penurunan performa termal akibat akumulasi kontaminan eksternal pada kisi radiator ini sejalan dengan teori perpindahan panas konveksi. Di mana koefisien perpindahan panas menyeluruh

berbanding terbalik dengan ketebalan tahanan termal dari pengotor (*fouling factor*) [7]. Lapisan debu bercampur oli bertindak sebagai isolator solid yang memblokir sirkulasi udara luar, menurunkan laju pelepasan kalor secara signifikan [11].

Hasil kuantitatif berupa penurunan temperatur mesin sebesar 14°C pasca-pembersihan dan penggantian komponen sekat memperkuat penelitian terdahulu oleh Purwono [5], yang menegaskan bahwa normalisasi sirkulasi pelepasan panas mampu mengembalikan *Physical Availability* (PA) unit ke tingkat optimal. Namun, terdapat perbedaan karakteristik kegagalan, jika pada studi WA120-3CS [6] keausan berfokus pada penurunan tekanan akibat *impeller* pompa, dalam kasus Komatsu D375-6R ini kegagalan mekanis murni terjadi akibat kerusakan *seal* sekunder yang dipicu oleh fluktuasi panas berulang (*thermal fatigue*). Sifat elastomer karet pada *mechanical seal* mengalami perubahan struktur makromolekul (pengerasan jenuh) ketika terpapar suhu di atas 95°C secara terus-menerus, yang memicu keretakan mikro (*micro-cracking*) [15]. Validasi empiris pada penelitian ini membuktikan bahwa intervensi perbaikan secara menyeluruh (lintas-sistem) jauh lebih efektif untuk menghentikan kegagalan berulang dibandingkan hanya melakukan pencucian radiator secara parsial.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis kegagalan sistemis lintas-sistem yang didukung oleh data pengukuran kuantitatif, dapat disimpulkan bahwa: Akar penyebab utama (*root cause*) kebocoran cairan pendingin pada *weep hole water pump* unit Komatsu D375-6R adalah habisnya umur pakai (*life-time expiry*) komponen *seal O-Ring* pada *adapter hose oil cooler* (>7.000 jam operasi). Hal ini memicu rembesan oli yang mengikat debu tambang dan menyumbat total sirkulasi udara radiator. Dampak lanjutan berupa kondisi *overheat* kronis (mencapai temperatur puncak 102°C) mengakibatkan degradasi termal struktural dan hilangnya sifat elastisitas pada *mechanical seal water pump*. Tindakan korektif komprehensif terbukti sangat efektif secara kuantitatif, ditandai dengan penurunan temperatur operasional sebesar 17°C pada beban kerja tertinggi (stabil di suhu 85°C), eliminasi total penurunan Volume *Coolant* per jam 0 liter, serta hilangnya indikator *warning alarm* di monitor panel kabin. Untuk menyempurnakan keandalan operasional sistem pendingin alat berat di area pertambangan ekstrem, disarankan bagi penelitian selanjutnya untuk: menguji variasi material *O-Ring* (seperti penggunaan komponen berbahan Viton *FKM* vs *Nitrile Rubber*) dan menggunakan metode Termografi Inframerah (*Thermal Imaging*) untuk memetakan distribusi panas pada sirip-sirip radiator secara langsung guna mendeteksi area yang mengalami penyumbatan debu secara lebih akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Balikpapan dan PT Bukit Makmur Mandiri Utama Site IPR Tabang yang telah memfasilitasi penelitian dan penulisan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. E. Wahyudinata, R. Noval, and I. Susanto, "Analisa Overheating Engine Whell Loader 835 H Liugong Studi Kasus Pada Water Pump," pp. 1473–1482, 2024.
- [2] PT United Tractors Tbk, "Basic Mechanic Course," 2005.
- [3] PT United Tractors Tbk, "Basic mechanic course product knowledge & publication book technical training department," 2011.
- [4] W. Karimah, A. Karim, M. A. Noor, and N. Salsabila, "Evaluasi Produktivitas dan Biaya Alat Berat pada Pekerjaan Beton Struktur fc' 30 Mpa," no. April 2024, pp. 759–768, 2025, doi: 10.33364/konstruksi/v.23-2.2794.
- [5] H. Purwono, "Analisa Engine Overheat Pada Unit Komatsu Bulldozer," no. November 2017, pp. 1–2,

Volume 03 No. 02, bulan Juli, tahun 2026

DOI: <https://doi.org/10.32487/jab.v3i2.54>



Disearluaskan di bawah lisensi CC BY-NC 4.0

- 1846.
- [6] A. R. Hakim, W. Wibowo, and N. Astriawati, "Sistem Pendingin Mesin Diesel Pada Wheel Loader Komatsu WA120-3CS," vol. 07, pp. 76–85, 2020.
 - [7] E. Yohana *et al.*, "Analisa Perhitungan Efisiensi Circulating Water Pump 76LKSA-18 Pembangkit Listrik Tenaga Uap Menggunakan Metode Analitik," vol. 18, no. 1, pp. 8–12, 2016.
 - [8] D. Feriyanto, S. Alva, R. Vikaliana, and A. S. Kristanto, "Analisis Sistem Pendingin Menggunakan Thermostat Dan Tanpa Thermostat Dalam Pencapaian Panas Mesin Pada Alat Uji Prestasi," no. July 2020, pp. 637–646, 2022.
 - [9] N. N. Farida *et al.*, "Effect of Engine Rotation on Mechanical Water Pump and Microcontroller-Based Electric Water Pump for Liquid- Cooled Motor Engine on Coolant Temperature," vol. 22, no. 1, pp. 1–9, 2025.
 - [10] Jaim, "Analisis pengaruh jumlah sudu," vol. 2, no. 2, pp. 71–78, 2019.
 - [11] O. Wiharna and Mohamad Agus, "Analisis Sistem Pendingin Engine," vol. 1, pp. 1–7, 2016.
 - [12] Direktorat Pembinaan SMK, *Perawatan Engine Dan Unit Alat Berat*. 2013.
 - [13] G. Subiyakto, A. Farid, K. Raflando, G. Subiyakto, A. Farid, and L. B. Masalah, "Analisis volume air radiator terhadap perubahan temperatur pada motor diesel chevrolet," vol. 4, no. 2, 2012.
 - [14] Komatsu, "Shop Manual Bulldozer D375-6R," 2010.
 - [15] A. D. Hantoro, "'Technical Investigation Report: Engine Water Pump Leak Case,' Laporan Mata Kuliah Intermediate Engine, Politeknik Negeri Balikpapan, Dokumen TI Kerusakan Engine, 2026."
 - [16] Komatsu, "Operation & Maintenance Manual D375-6R," 2010.