

ANALISIS KEBOCORAN RADIATOR DAN CARA MENGATASINYA PADA DUMP TRUCK

Wachidin¹⁾, Bagus Setia Budi²⁾

Program Studi Mekanik Industri dan Desain Politeknik TEDC Bandung^{1),2)}

Email: wachidin@poltektedc.ac.id¹⁾, bagusetiabudi03@gmail.com²⁾

Abstrak

Perkembangan teknologi alat berat melibatkan sistem kompleks, salah satunya adalah sistem pendingin yang krusial untuk menjaga suhu operasional mesin. Panas tinggi hasil pembakaran harus dikelola dengan baik agar mesin tidak mengalami kegagalan fungsi. Radiator merupakan komponen utama dalam proses ini, namun sering kali mengalami penurunan performa akibat kelalaian pemeliharaan berkala dan faktor usia pakai. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab spesifik kerusakan pada radiator, khususnya fenomena kebocoran, serta menganalisis dampaknya terhadap suhu kerja optimal mesin yang seharusnya berada pada rentang 75°C hingga 90°C. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah observasi teknis dan analisis terhadap komponen radiator. Fokus pengamatan dilakukan pada jadwal penggantian komponen serta reaksi kimia antara cairan pendingin dengan material radiator yang memicu pengikisan (korosi). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kebocoran radiator utamanya disebabkan oleh jadwal pemeliharaan yang tidak tepat dan reaksi kimia akibat akumulasi unsur senyawa dalam cairan pendingin. Kerusakan yang dibiarkan tanpa pemeriksaan rutin berpotensi menyebabkan *overheating* (panas berlebih), yang menghambat kinerja mesin dan mengakibatkan kerusakan meluas yang sulit diperbaiki. Oleh karena itu, pemeriksaan berkala secara disiplin sangat direkomendasikan untuk menjaga stabilitas performa mesin.

Kata Kunci: Sistem pendingin, Radiator, *Overheating*, Alat Berat, Perawatan Berkala

Abstract

The rapid development of heavy equipment technology involves complex systems, notably the cooling system, which is crucial for maintaining optimal engine operating temperatures. High thermal energy generated during combustion must be effectively managed to prevent engine failure. The radiator serves as the primary component in this process, yet it frequently experiences performance degradation due to neglected periodic maintenance and aging factors. This study aims to identify the specific causes of radiator damage, particularly leakage phenomena, and to analyze its impact on the engine's optimal operating temperature, which typically ranges from 75°C to 90°C. The research employed technical observation and component analysis of the radiator. The investigation focused on component replacement schedules and the chemical reactions between the coolant and radiator materials that lead to corrosion and material erosion. The findings indicate that radiator leakage is primarily caused by improper maintenance schedules and chemical reactions resulting from the accumulation of compounds within the coolant. Unaddressed damage without routine inspection potentially leads to overheating, which impairs engine performance and results in extensive, irreparable damage. Therefore, disciplined periodic inspections are highly recommended to ensure sustained engine performance stability.

Keywords: Cooling system, Radiator, *Overheating*, Heavy equipment, Periodic maintenance.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi alat berat yang pesat menuntut keandalan sistem yang optimal, terutama pada unit vital seperti *dump truck*. Keandalan mesin merupakan kunci produktivitas operasional karena, sebagaimana dinyatakan oleh Dhillon (2008), kegagalan sistem pendukung sering menjadi penyebab utama terhentinya aktivitas industri. Salah satu sistem kunci dalam kendaraan ini adalah sistem pendingin (*cooling system*) yang berfungsi menjaga stabilitas suhu mesin guna mencegah panas berlebih (*overheating*). Hal ini krusial karena menurut Crouse & Anglin (1993), kegagalan pada kontrol suhu mesin tidak hanya menurunkan efisiensi, tetapi juga dapat merusak komponen internal secara permanen. Dalam praktiknya, kegagalan sistem pendingin sering bersumber dari kerusakan radiator, seperti kebocoran atau penyumbatan jalur air. Gilles (2011)

menjelaskan bahwa kerusakan tersebut umumnya dipicu oleh korosi akibat akumulasi deposit mineral dan penurunan kualitas cairan pendingin karena minimnya pemeliharaan berkala. Mengingat dampak kerusakan ini dapat berakibat fatal terhadap komponen mesin dan menghambat produktivitas, maka analisis mengenai penyebab kebocoran radiator serta prosedur perawatannya menjadi sangat penting. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor penyebab kerusakan pada radiator *dump truck* serta memberikan solusi preventif guna memastikan kinerja mesin tetap efisien dalam jangka panjang.

II. LANDASAN TEORI

A. Sistem Pendingin Pada Mesin

Sistem pendingin berfungsi menjaga temperatur operasional mesin agar tetap berada

pada kondisi ideal. Dalam proses pembakaran motor bakar, panas yang dihasilkan (berkisar 3000°F - 5000°F) tidak seluruhnya terkonversi menjadi energi mekanis. (Arismunandar, 2005). Sebagian panas diserap oleh komponen seperti dinding silinder, kepala silinder, dan torak. Tanpa pendinginan yang efektif, suhu ekstrem dapat mengakibatkan kerusakan fatal seperti tegangan termal, kemacetan cincin torak, hingga kerusakan material aluminium pada suhu di atas 500°F. (Arismunandar 2002). Sistem pendingin bertugas membuang panas berlebih sekaligus mempertahankan suhu kerja agar mesin tetap efisien dan ramah lingkungan. "Sistem pendingin mesin dirancang untuk membuang sekitar sepertiga dari total panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar di dalam silinder. Hal ini krusial karena suhu gas pembakaran dapat mencapai nilai yang jauh melampaui titik leleh komponen mesin" (Maleev, 1995).

B. Jenis-Jenis Sistem Pendingin

Menurut Arismunandar (2002), sistem pendingin pada mesin dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama berdasarkan media pendingin yang digunakan. Pertama, sistem pendingin oli yang berfungsi menurunkan temperatur oli mesin melalui komponen *oil cooler*. Mekanisme ini memastikan pelumas tetap berada pada viskositas yang tepat sehingga mampu menyerap panas secara optimal sekaligus melindungi komponen internal mesin dari gesekan berlebih.

Kedua, sistem pendingin udara (alami) yang memanfaatkan aliran udara melalui sirip-sirip (*fins*) pada dinding silinder untuk melepaskan panas ke lingkungan. Meskipun sistem ini memiliki keunggulan dari segi konstruksi yang ringkas dan bebas perawatan, sistem ini cenderung menghasilkan suara mesin yang lebih bising serta memiliki risiko *overheat* yang tinggi saat mesin dalam kondisi statis atau terjebak kemacetan.

Terakhir, sistem pendingin air menggunakan fluida sebagai media perantara untuk menyerap panas dari mesin dan membuangnya ke udara melalui radiator. Sistem ini dinilai jauh lebih efektif dalam menjaga stabilitas suhu kerja, terutama pada mesin berkapasitas besar dan beban kerja berat, sehingga performa mesin tetap terjaga pada rentang suhu operasionalnya.

C. Komponen Sistem Pendingin dan Fungsinya

Sistem pendingin air terdiri dari berbagai komponen yang bekerja secara terintegrasi untuk menjaga kestabilan suhu mesin. Menurut Daryanto (2010), sistem ini didukung oleh komponen utama seperti radiator yang berfungsi mendinginkan cairan melalui kisi-kisi dan sirip pendingin, serta kipas radiator yang bertugas mengalirkan udara melewati radiator menuju arah mesin. Sirkulasi cairan pendingin di seluruh sistem digerakkan secara aktif oleh pompa air (*water pump*), yang umumnya dioperasikan secara mekanis oleh v-belt bersamaan dengan kipas. Di dalam blok mesin, terdapat water

jacket yang berfungsi sebagai saluran air sekaligus media utama pertukaran panas dari dinding silinder ke cairan pendingin.

Lebih lanjut, pengaturan suhu dan tekanan dalam sistem ini dikendalikan oleh termostat dan tutup radiator. Termostat bekerja sebagai katup otomatis yang mengatur sirkulasi cairan berdasarkan suhu kerja mesin, di mana katup ini biasanya mulai terbuka pada suhu $\pm 85^{\circ}\text{C}$. Sementara itu, tutup radiator berfungsi mengatur tekanan sistem dan menaikkan titik didih air melalui mekanisme katup tekan dan katup vakum. Sebagai pendukung keamanan, tangki cadangan (*reservoir tank*) disediakan untuk menampung ekspansi uap air saat suhu meningkat, guna mencegah kehilangan cairan pendingin secara berlebihan (Daryanto, 2010).

D. Komponen Pada Radiator Dump Truck (Daryanto, 2010)

Radiator pada unit berat seperti *dump truck* memiliki struktur khusus yang dirancang untuk menangani beban panas yang besar. Menurut Daryanto (2010), komponen utama radiator dimulai dari upper tank yang berfungsi sebagai penampung cairan pendingin bersuhu tinggi yang berasal dari mesin. Cairan tersebut kemudian dialirkan melalui radiator core, yaitu inti radiator yang terdiri dari pipa-pipa kecil, menuju lower tank. Selama proses pengaliran ini, suhu cairan diturunkan melalui sirip radiator yang berperan sebagai plat penghantar panas untuk mempercepat pelepasan suhu ke udara luar.

Selain komponen utama sirkulasi, radiator juga dilengkapi dengan fitur pendukung operasional. Radiator cap atau tutup radiator berfungsi sebagai pengatur tekanan sistem sekaligus lubang pengisian cairan pendingin. Cairan yang telah didinginkan di dalam *lower tank* akan ditampung sementara sebelum disirkulasikan kembali ke dalam blok mesin. Untuk mendukung aspek pemeliharaan, terdapat drain plug atau baut penguras yang terletak di bagian bawah radiator, yang memudahkan operator atau teknisi saat melakukan pengurasan atau penggantian cairan pendingin secara berkala (Daryanto, 2010).

E. Sistem Pendingin Radiator Dump Truck

Radiator pada dasarnya beroperasi sebagai alat penukar panas (*heat exchanger*). Menurut Crouse dan Anglin (1993), radiator berfungsi memindahkan energi termal dari cairan pendingin ke udara atmosfer melalui kombinasi proses konduksi pada material inti dan konveksi paksa yang dihasilkan oleh kipas. Prinsip kerjanya melibatkan tiga tahapan utama perpindahan panas: dimulai dengan konduksi, yaitu perpindahan panas dari ruang bakar menuju dinding silinder dan *water jacket*; diikuti oleh konveksi, di mana panas berpindah dari dinding mesin ke cairan pendingin yang bersirkulasi; dan diakhiri dengan pelepasan panas, yakni saat cairan panas memasuki *upper tank*, melewati *core* serta

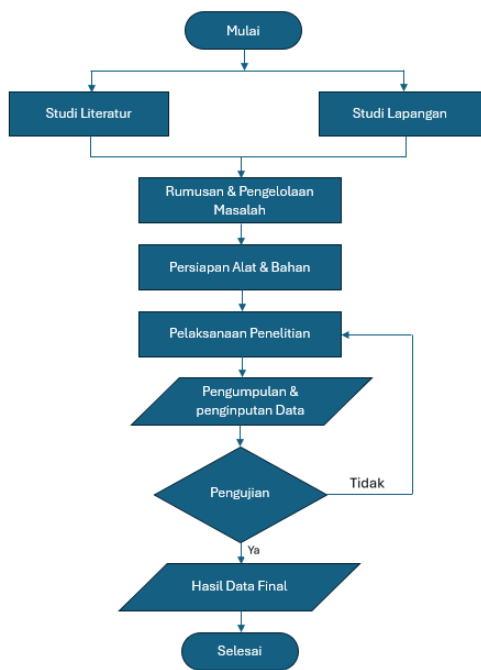
sirip-sirip radiator untuk didinginkan oleh aliran udara.

Mekanisme kerja ini sangat bergantung pada suhu operasional mesin. Saat kondisi mesin masih dingin, termostat akan tetap tertutup sehingga air hanya bersirkulasi di dalam mesin (*bypass*) agar suhu kerja optimal dapat tercapai dengan cepat. Namun, ketika suhu mencapai titik panas tertentu ($\pm 85^{\circ}\text{C}$), termostat akan terbuka secara otomatis, memungkinkan air panas dialirkan ke radiator untuk didinginkan sebelum disirkulasikan kembali ke blok mesin.

Pentingnya stabilitas suhu ini ditekankan oleh Heisler (1999), yang menyatakan bahwa kegagalan pada kontrol suhu mesin tidak hanya menurunkan efisiensi volumetrik, tetapi juga memicu degradasi pelumas. Kondisi tersebut sangat berbahaya karena dapat mengakibatkan terjadinya kontak langsung antar logam (*metal-to-metal contact*) pada dinding silinder dan torak, yang berisiko merusak mesin secara permanen.

III. METODE PENELITIAN

A. Diagram Alir



Gambar 1. Diagram Alir (Flow Chart)

Keterangan :

1. Mulai : Pada tahap ini dimulai dengan menentukan topik yang akan diteliti yaitu analisis pada *Dump Truck Engine C7 OHT 773*
2. Studi Literatur : Pada studi literatur ini berisikan pencarian sumber data yang relevan dan terpercaya guna mendapatkan materi penunjang yang dapat memecahkan masalah dalam penulisan tugas

- akhir ini dimana bersumber dari buku, jurnal maupun internet
3. Studi Lapangan : Pada studi lapangan ini dilakukan dengan melihat secara langsung dengan cara datang pada workshop *Automotive* Politeknik TEDC serta melakukan sesi tanya jawab pada dosen bidang otomotif dan melakukan pengujian sendiri dengan menggunakan kendaraan yang akan dianalisis.
4. Rumusan & Pengelolaan Masalah : Pada tahap ini dilakukan rumusan dan pengelolaan masalah yang didapat dari hasil studi literatur dan studi di lapangan
5. Persiapan Alat & Bahan : Pada tahap ini mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan untuk proses analisis *Dump Truck Engine C7 OHT 773*
6. Pelaksanaan Penelitian : Pada tahap ini, dilakukan pengujian radiator dan membandingkannya hasilnya dengan *manual book*
7. Pengumpulan & Penginputan Data : Pada tahap ini dilakukan pencatatan hasil temuan ke dalam tabel pengamatan
8. Pengujian : Pada tahap ini dilakukan pengujian hasil temuan dengan kesesuaian standar yang berlaku
9. Hasil Data Final : Pada tahap ini dihasilkannya data pengujian kesesuaian hasil temuan dengan standar yang berlaku
10. Selesai : Pada tahap ini hasil data final analisis pada kerusakan radiator pada *dump truck engine C7 OHT 773*. dapat dicantumkan pada laporan Tugas Akhir

B. Alat dan Bahan

Tabel 1. Data Alat

No.	Nama Alat	Keterangan
1	Kunci 8	1 Buah
2	Kunci 10	1 Buah
3	Kunci 12	1 Buah
4	Kunci 14	1 Buah
5	Sikat Kawat	1 Buah
6	Kuas	1 Buah
7	Obeng	1 Buah
8	Obeng +	1 Buah
9	Tang	1 Buah

Tabel 2. Data Bahan

No.	Nama Bahan	Keterangan
1	Radiator	1 Unit
2	Air	-
3	Bak Air	1 Buah
4	Sabun Colek	1 Buah
5	Air Coolant	-
6	Sealer / Sealent	1 Buah

Tabel 3. Data Alat Pelindung Diri

No.	Nama Alat Pelindung Diri	Satuan
1	Baju Praktek	1 Buah
2	Sepatu Pengaman	1 Pasang
3	Pelindung Kepala	1 Buah
4	Sarung Tangan	1 Pasang

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian:

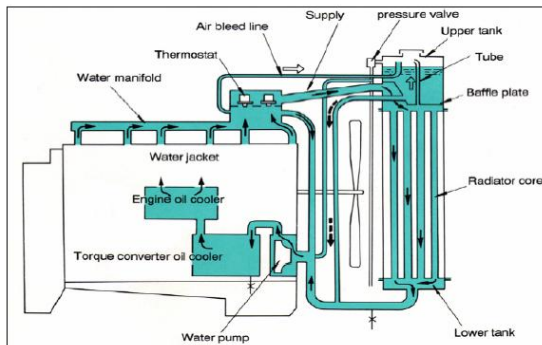
Kondisi Sistem Pendingin Unit

Penelitian dilakukan pada unit *dump truck* yang mengalami kendala operasional berupa peningkatan suhu mesin secara drastis (*overheat*). Dari hasil observasi lapangan, didapatkan data sebagai berikut:

1. Analisis Siklus Kerja Termal

Sistem pendingin pada unit ini bekerja berdasarkan dua sirkulasi suhu:

- a. Sirkulasi Dingin: Air hanya berputar di dalam blok mesin (*water jacket*) karena katup termostat masih tertutup guna mempercepat mesin mencapai suhu kerja ideal.
- b. Sirkulasi Panas: Setelah suhu mencapai 85°C, termostat terbuka dan air panas dialirkan menuju radiator untuk didinginkan melalui bantuan kipas dan udara dari arah depan kendaraan.



Gambar 2. Cara Kerja Radiator

2. Identifikasi Kerusakan Fisik Radiator Hasil inspeksi visual dan teknis menunjukkan beberapa tanda kerusakan yang signifikan:

- a. Kebocoran pada Permukaan: Ditemukan rembesan air pada area bawah bumper depan yang mengindikasikan adanya celah pada *lower tank* atau *core* radiator.
- b. Korosi dan Kerak: Terdapat tumpukan korosi pada permukaan sirip-sirip radiator akibat penggunaan air kran atau air sungai yang memiliki kadar mineral tinggi.
- c. Sumbatan Internal: Saluran kapiler pada *radiator core* tersumbat oleh lumpur cokelat, yang menghambat proses sirkulasi air panas dari *upper tank*.

B. Analisis Hasil Perbandingan Kondisi Radiator

Tabel 4. Perbandingan Kondisi Radiator

Komponen	Standar	Temuan	Dampak
Media Cairan	Radiator Coolant (Propylene Glycol)	Air kran/sungai (berlumpur)	Terjadi korosi dan oksidasi pada logam
Suhu Kerja	Stabil di kisaran 80°C - 90°C	Melebihi batas (level merah)	Risiko kerusakan piston dan katup
Selang (Hose)	Elastis dan kedap	Getas dan kempot saat RPM tinggi	Sirkulasi air terhenti/macet
Tutup Radiator	Seal kenyal & pegas berfungsi	Pressure valve macet terbuka	Air meluber ke tangki cadangan
Permukaan Radiator	Bersih dari kotoran dan korosi.	Terdapat korosi dan rembesan air.	Menghambat pelepasan panas ke udara.
Area Bumper Depan	Kering (tidak ada tetesan).	Ada tetesan air tepat di bawah mesin.	Indikasi kuat kebocoran pada <i>lower tank</i> .

C. Pembahasan Analisis Kerusakan

Berdasarkan data perbandingan pada tabel 4, berikut adalah analisis mengenai keterkaitan antar komponen yang menyebabkan kegagalan sistem:

- 1. Pengaruh Kualitas Air terhadap Korosi: Penggunaan air kran atau air sungai sebagai media pendingin merupakan pemicu utama kerusakan. Air biasa mengandung mineral dan zat korosif seperti karbon dioksida (CO2) dan sulfur yang memicu oksidasi pada logam radiator. Hal ini menyebabkan terbentuknya kerak dan lumpur yang menyumbat saluran kapiler (*radiator core*), sehingga sirkulasi air panas dari mesin menuju *lower tank* terhambat. Sebaliknya, penggunaan *radiator coolant* yang mengandung *propylene glycol* seharusnya dapat mencegah korosi dan meningkatkan titik didih cairan.



Gambar 3. Saluran Dalam Radiator Terhambat



Gambar 4. Air Radiator Yang Kotor



Gambar 6. Selang Input Radiator Bocor

2. Analisis Peningkatan Suhu Operasional (*Overheating*)

Ketika sirkulasi air terhambat oleh sumbatan, panas hasil pembakaran tidak dapat dilepaskan ke udara secara maksimal. Akibatnya, suhu mesin meningkat drastis hingga menyentuh level merah pada indikator temperatur. Kondisi *overheat* ini sangat berbahaya bagi komponen internal mesin seperti dapat memuai secara berlebihan dan mengakibatkan gesekan fatal pada dinding silinder.



Gambar 7. Selang Radiator Yang Getas



Gambar 5. Suhu Temperatur Yang Meningkat

4. Kegagalan Fungsi Tutup Radiator dan Reservoir Luber

Tutup radiator yang sudah tidak standar (katup macet atau seal keras) tidak mampu lagi menjaga tekanan sistem. Ketika suhu dan tekanan di dalam radiator meningkat akibat sumbatan, *pressure valve* akan terus terbuka. Hal ini memaksa air pendingin bersuhu panas mengalir terus-menerus ke tangki cadangan (*reservoir tank*) hingga meluber keluar, yang berujung pada habisnya volume air di dalam sistem utama.

3. Kerusakan Selang (*Hose*) dan Fenomena Kempot

Struktur logam, tetapi juga menghalangi jalan udara panas untuk keluar, sehingga efisiensi pendinginan menurun drastis meskipun kipas pendingin masih berfungsi. Selang radiator yang getas dan retak disebabkan oleh usia pakai dan paparan suhu tinggi terus-menerus. Fenomena selang bawah (*lower hose*) yang kempot saat mesin digas (RPM tinggi) merupakan indikasi kuat bahwa radiator tersumbat. Hal ini terjadi karena pompa air (*water pump*) menghisap air dengan kuat, namun suplai air dari radiator tertahan oleh sumbatan, sehingga terjadi tekanan negatif yang menyedot selang hingga kempis.



Gambar 8. Pengecekan Tutup Radiator



Gambar 9. Tutup Radiator Kondisi Baik dan Buruk

- 5. Analisis Kondisi Permukaan dan Sirip Radiator
Korosi yang terlihat pada permukaan sirip radiator tidak hanya merusak struktur logam akibat reaksi oksidasi, tetapi juga menghalangi jalan udara panas untuk keluar. Kotoran atau benda asing yang menempel pada kisi-kisi radiator semakin memperburuk efisiensi pendinginan, sehingga pelepasan panas terhambat meskipun kipas pendingin masih berfungsi secara normal.



Gambar 10. Korosi Pada Radaitor



Gambar 11. Sirip Radiator Terdapat Kotoran

- 6. Indikasi Kebocoran Fisik pada Area Bumper Depan
Tetes air pada area bawah bumper depan menjadi bukti fisik adanya kebocoran, baik pada tangki bawah (*lower tank*) maupun sambungan selang. Secara teknis, tetesan di area ini memastikan bahwa kebocoran berasal dari sistem radiator dan bukan dari pengembunan AC. Jika dibiarkan, kebocoran ini akan menguras volume cairan pendingin secara total dan menyebabkan kegagalan mesin.



Gambar 12. Tanda Kebocoran Radiator

- D. Analisis Perbaikan Radiator
Berdasarkan identifikasi kerusakan yang telah dibahas sebelumnya, dilakukan tindakan perbaikan sebagai berikut:

- 1. Metode Penambalan dan Pengelasan
 - a. Penambalan Permanen:
Dilakukan dengan membersihkan lokasi kebocoran, lalu mengoleskan campuran lem besi (*plastic steel*) secara merata sebagai lapisan dasar dan penguat.



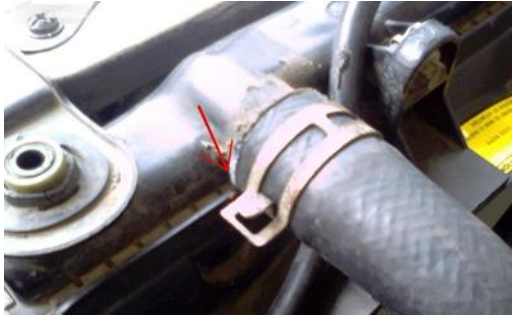
Gambar 13. Penambalan Lem Besi

- b. Patri dan Las:
Untuk radiator berbahan aluminium, perbaikan dilakukan dengan melelehkan kawat aluminium menggunakan obor panas pada area yang bocor. Sedangkan untuk radiator tembaga, digunakan bantuan timah agar kebocoran tertutup dengan sempurna dan tahan terhadap tekanan tinggi.



Gambar 14. Hasil Pengelasan

- 2. Penggantian Komponen Kritis
Selain penambalan, dilakukan penggantian pada komponen yang sudah mengalami degradasi fisik:
 - a. Selang dan Klem:
Selang yang getas diganti dengan yang baru untuk menghindari risiko pecah. Klem selang dikencangkan secukupnya agar tidak terjadi rembesan tanpa merusak pipa radiator.



Gambar 15. Selang Kondisi Baik

- b. Tutup Radiator:
Komponen tutup yang memiliki *seal* keras atau pegas lemah diganti dengan unit baru guna memastikan sistem tetap kedap dan mampu mengatur tekanan menuju *reservoir* dengan benar.



Gambar 16. Pengecekan Klem

- E. Prosedur Perawatan Berkala
Agar performa sistem pendingin tetap optimal dan mencegah kerusakan berulang, maka ditetapkan prosedur perawatan sebagai berikut:
- 1. Pengurusan dan Penggunaan Media Standar
 - a. Kuras Berkala:
Melakukan pengurusan air radiator secara rutin untuk membuang endapan lumpur dan kotoran yang dapat menyumbat saluran.



Gambar 17. Pengurusan Air Radiator

- b. Radiator Coolant: Sangat disarankan untuk berhenti menggunakan air kran/sungai dan beralih ke *Radiator Coolant* yang mengandung *propylene glycol*. Cairan ini berfungsi meningkatkan titik didih, mencegah korosi pada logam, dan menghindari pembentukan kerak mineral.
- 2. Inspeksi Visual Rutin
 - a. Volume Air:

Memeriksa volume cairan pada radiator dan tangki cadangan secara rutin agar selalu sesuai standar untuk mencegah *overheating*.

- b. Kebersihan Sirip:
Memeriksa permukaan radiator dari kotoran atau benda asing yang menempel, serta memastikan kipas pendingin berputar normal saat suhu mesin mulai panas
- c. Kondisi Fisik:
Mengecek elastisitas selang setiap 3 atau 6 bulan untuk mendeteksi dini adanya keretakan atau pemuaiian.



Gambar 18. Pengecekan Selan

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah dilakukan pengamatan dan analisis mendalam terhadap sistem pendingin pada unit *dump truck*, penelitian ini berhasil mengidentifikasi akar permasalahan serta langkah-langkah mitigasi yang diperlukan. Berdasarkan hasil temuan di lapangan, berikut adalah poin-poin kesimpulan dan saran yang dapat dirumuskan:

- A. Kesimpulan
Penelitian mengenai kerusakan radiator ini menghasilkan beberapa temuan kunci terkait kegagalan fungsi komponen pendinginan:
 1. Kerusakan radiator pada unit *dump truck* utamanya dipicu oleh penggunaan media pendingin yang tidak standar (seperti air kran atau air sungai) yang menyebabkan korosi internal dan penyumbatan saluran secara masif.
 2. Gejala teknis yang paling signifikan ditemukan di lapangan meliputi fenomena selang radiator yang mengempis (*kempot*) saat mesin pada RPM tinggi, meluapnya air ke tangki reservoir, serta adanya tetesan cairan di area bumper depan sebagai indikasi kebocoran.
 3. Metode perbaikan fisik melalui penambalan menggunakan lem besi atau pengelasan terbukti efektif untuk mengatasi kebocoran pada bagian tangki dan sirip-sirip radiator dalam jangka pendek.
- B. Saran
Guna meningkatkan masa pakai (*lifetime*) radiator dan mencegah terjadinya kegagalan fatal pada mesin, penulis menyarankan beberapa poin berikut:
 1. Segera menghentikan penggunaan air biasa sebagai media pendingin dan beralih

- menggunakan *Radiator Coolant* standar pabrikan untuk menjaga stabilitas titik didih cairan serta mencegah terbentuknya karat (korosi) di dalam sistem.
2. Melakukan pemeriksaan rutin dan menyeluruh pada komponen pendukung seperti tutup radiator, klem, dan kondisi selang secara terjadwal, minimal setiap 3 bulan sekali untuk mendeteksi potensi kerusakan sejak dini.
 3. Memastikan kebersihan sirip-sirip radiator dari kotoran atau benda asing secara berkala. Hal ini penting agar proses pelepasan panas ke udara tetap maksimal sehingga risiko panas berlebih (*overheating*) dapat dihindari.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, W. (2002). *Motor Bakar Torak*. Bandung: ITB Press.
- Arismunandar, W. (2005). *Motor Bakar Torak*. Bandung: ITB Press.
- Caterpillar. (2016). *Service Manual: Radiator and Fan Group for Off-Highway Trucks*. Peoria, Illinois: Caterpillar Inc.
- Crouse, W. H., & Anglin, D. L. (1993). *Automotive Mechanics* (10th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Daryanto. (2010). *Teknik Reparasi Mobil*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Heister, H. (1999). *Vehicle and Engine Technology* (2nd ed.). London: Arnold.
- Heywood, J. B. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamentals*. New York: McGraw-Hill.
- Maleev, V. L. (Diterjemahkan oleh Bambang Priambodo). (1995). *Operasi dan Pemeliharaan Mesin Diesel*. Jakarta: Erlangga.
- Prahasto, T. (2014). "Analisis Distribusi Temperatur pada Piston Mesin Diesel". *Jurnal Teknik Mesin*.
- Ramadhan, A., & Waluyo, B. (2019). "Analisis Efektivitas Perpindahan Panas pada Radiator Unit Alat Berat". *Jurnal Teknik Mesin dan Otomotif*.
- Siburian, B. A. (2019). "Analisis Kinerja Termostat terhadap Laju Aliran Massa Pendingin pada Mesin Diesel". *Jurnal Mechanical*.
- Toyota Astra Motor. (1995). *New Step 1 Training Manual*. Jakarta: PT Toyota Astra Motor.
- United Tractors. (2012). *Training Aid: Basic Mechanic Course - Cooling System*. Jakarta: PT United Tractors Tbk.
- Zulfrinal, Z., & Syaiful, S. (2020). "Analisis Kinerja Sistem Pendingin pada Mesin Kendaraan". *Jurnal Teknik Mesin*, 12(1), 15-22.