

ANALISIS PENYEBAB KERUSAKAN TRANSMISI *DUMP TRUCK* LGMG CMT 96 DT 060-032 DI PT ANSAF INTI RESOURCES

Irsal Revanza¹, Surojo¹✉, Harjono¹, Braam Delfian Prihadianto¹

¹ Department of Mechanical Engineering, Vocational College, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 55281, Indonesia

✉surojo@ugm.ac.id

Received 21 June 2024, Revised 12 February 2025, Accepted 24 February 2025

ABSTRAK

Dump truck LGMG CMT 96 digunakan oleh PT Ansa Inti Resources untuk mengangkut *overburden* dengan operasional hingga 22 jam sehari. Pada unit dengan kode DT 060-032, kerusakan transmisi terdeteksi pada 2.143,5 jam jauh di bawah target perusahaan yaitu 20.000 jam. Gejala kerusakan meliputi munculnya *warning indicator transmission*, *fault code*, hentakan berlebih saat dioperasikan, *overheating* pada transmisi, dan kegagalan pergantian gigi. Penelitian ini mengidentifikasi penyebab utama kerusakan melalui *monitor check*, pemeriksaan visual, data perawatan historis, Program Pemeriksaan Mesin (PPM), Program Analisa Pelumas (PAP), dan hasil *overhaul* transmisi. Metode *applied failure analysis* menunjukkan patah getas pada *lock up clutch* dan keausan berlebih pada *clutch* akibat deformasi, *heat spot*, dan *blue temper*. Kesalahan operasional disimpulkan sebagai penyebab utama kerusakan transmisi sehingga menyebabkan *clutch slip* dan menimbulkan *fault code* F:191 S:8.

Kata kunci: *Dump truck*, *transmission*, *maintenance*, *material damage*

1. PENDAHULUAN

Proses pengangkutan material *overburden* di PT Ansa Inti Resources dilakukan menggunakan *dump truck* LGMG CMT 96. *Dump truck* ini harus memiliki tingkat keandalan yang tinggi dan selalu dijaga dalam kondisi optimal untuk mendukung produktivitas. PT Ansa Inti Resources mengoperasikan *dump truck* LGMG CMT 96 selama 22 jam per hari. Pengoperasian dengan jam kerja yang tinggi berpotensi menyebabkan kerusakan pada berbagai komponen jika tidak dilakukan perawatan yang optimal sesuai dengan panduan *Operation and Maintenance Manual*.

Kerusakan pada sistem transmisi unit DT 060-032 ditandai dengan munculnya simbol gear sebagai indikator peringatan, adanya *fault code* pada layar dashboard yang menunjukkan kondisi transmisi abnormal, hentakan saat unit dioperasikan, *overheat* pada sistem transmisi, perubahan warna oli transmisi, hingga akhirnya transmisi tidak dapat berpindah kecepatan (*speed up shift* dan *speed down shift*). Transmisi merupakan salah satu komponen utama pada *dump truck* LGMG CMT 96, dengan target masa pakai perusahaan sebesar 20.000 jam kerja, namun mengalami kerusakan lebih awal, yaitu pada 2.143,5 jam kerja.

Kerusakan transmisi dapat disebabkan dari faktor *maintenance* dan kesalahan pengoperasian [1], [2], [3]. *Maintenance* sistem transmisi merupakan suatu upaya dalam menjaga *performance* transmisi selalu dalam keadaan optimal dengan biaya perawatan yang serendah mungkin. Komponen transmisi dinilai sangat penting untuk dilakukan kegiatan *preventive maintenance*. *Preventive maintenance* merupakan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya gangguan atau kerusakan pada alat [4]. *Preventive maintenance* sistem transmisi dibagi dalam tiga klasifikasi yaitu: *periodic maintenance*, *predictive maintenance (condition based maintenance)*, *schedule overhaul*. *Periodic maintenance* adalah perawatan berkala setelah unit bekerja untuk jumlah jam operasi tertentu yang terdiri dari *periodic inspection* transmisi setiap 10 jam (*daily inspection*) dan setiap 50 jam (*weekly inspection*) serta *periodic service* setiap 1.000 jam kerja. *Predictive maintenance* dalam hal ini adalah *condition based maintenance* adalah perawatan yang dilakukan berdasarkan kondisi unit melalui Program Pemeriksaan Mesin (PPM) dan Program Analisa Pelumas (PAP) dengan *schedule* mengikuti jadwal *periodic service* transmisi[5].

Pengoperasian menjadi salah satu faktor penentu ketahanan dari komponen transmisi. *Dump truck* LGMG CMT 96

menggunakan transmisi otomatis tipe *planetary gear with lock up clutch*. *Lock up* memungkinkan terjadinya putaran langsung dimana menghubungkan secara langsung bagian *input shaft* dan *output shaft* (putaran *impeller* dan *turbin menyatu*) di *torque converter* sehingga putaran *engine* diteruskan tanpa terjadinya *slip* di *torque converter* ke transmisi. *Lock up clutch* aktif pada kecepatan tinggi, yakni pada kecepatan 3, 4, dan 5 yang berfungsi menghilangkan *slip* pada *torque converter* sehingga menaikkan *performance* transmisi dan bahan bakar[6].

Operator *dump truck* LGMG CMT 96 dapat memilih *lever speed* D (*drive*) untuk pengoperasian secara otomatis dan *lever speed* 1, 2, 3, 4, dan 5 digunakan untuk pengoperasian secara manual. Pengoperasian saat unit bermuatan berat dan kondisi medan yang buruk tidak disarankan menggunakan mode D (*drive*) karena akan mengalami perubahan *speed* otomatis dan sering *shifting*. Perpindahan *speed* transmisi tidak stabil (*shifting* terlalu sering) terjadi karena menyesuaikan antara RPM *engine* dan *travel speed*. Larangan menggunakan mode *drive* ketika bermuatan dikarenakan beberapa kondisi di lapangan, diantaranya kecepatan tidak teratur terutama saat di tanjakan karena syarat perpindahan *speed* sesuai torsi dan kecepatan unit (transmisi *output speed* dan RPM *engine*), tanjakan terlalu curam yang membuat unit *down shift* saat membutuhkan torsi yang besar tetapi di awal tanjakan akan memberi kecepatan tinggi, dan jalan bergelombang membuat sering terjadi perpindahan kecepatan yang tidak teratur sehingga menyebabkan *gear hunting*.

Gear hunting adalah kondisi di mana transmisi otomatis sering berpindah antara gigi yang berbeda secara berulang-ulang. Hal ini terjadi karena sistem transmisi terus berusaha menemukan gigi yang paling sesuai dengan kondisi operasionalnya, namun gagal untuk mempertahankan satu gigi dalam waktu yang cukup lama. Ketika transmisi mengalami *gear hunting*, perpindahan kecepatan menjadi lebih sering dan tidak teratur, yang dapat menyebabkan lonjakan atau penurunan tiba-tiba pada putaran mesin (*engine RPM*). Kondisi ini tidak hanya mengganggu kenyamanan berkendara tetapi juga berpotensi mempercepat keausan pada komponen transmisi serta meningkatkan konsumsi bahan bakar. Hal ini berdampak pada potensi rusaknya komponen transmisi[7]. Pengoperasian mode *drive* saat unit sedang bermuatan akan memungkinkan *lock up clutch* aktif ketika unit dalam *travel speed* tinggi (*speed* 3, 4, 5) dan berakibat pada *gear hunting*. Hal tersebut menyebabkan tekanan dan hentakan yang ditanggung seperti *coupling (lock up clutch)* dan *clutch* pada komponen transmisi lebih besar karena terjadi *direct drive*. Saat terjadi tekanan dan hentakan berlebih maka meningkatkan dua risiko, yaitu risiko keausan, *fatigue*, dan *overheat* pada komponen transmisi. Risiko tersebut dapat mengakibatkan *slip* pada *clutch* yang menyebabkan *dump truck* tidak dapat berpindah kecepatan.

Clutch slip dapat dideteksi dengan menganalisis frekuensi dan amplitudo sinyal dari sensor kecepatan *output shaft*. Ketidakseimbangan dan *slip* pada *output shaft transmission* dapat dikenali melalui perubahan frekuensi sinyal serta dengan melakukan *resampling* sinyal terhadap *output shaft*.

Ketidakeimbangan ini menyebabkan peningkatan getaran yang dapat diidentifikasi melalui analisis serta indikator seperti nilai VRMS (*Velocity Root Mean Square*). Nilai ini berfungsi sebagai alat untuk mendeteksi permasalahan mekanis, termasuk ketidakseimbangan atau kerusakan pada komponen transmisi, yang kemudian ditampilkan dalam bentuk *fault code*[8].

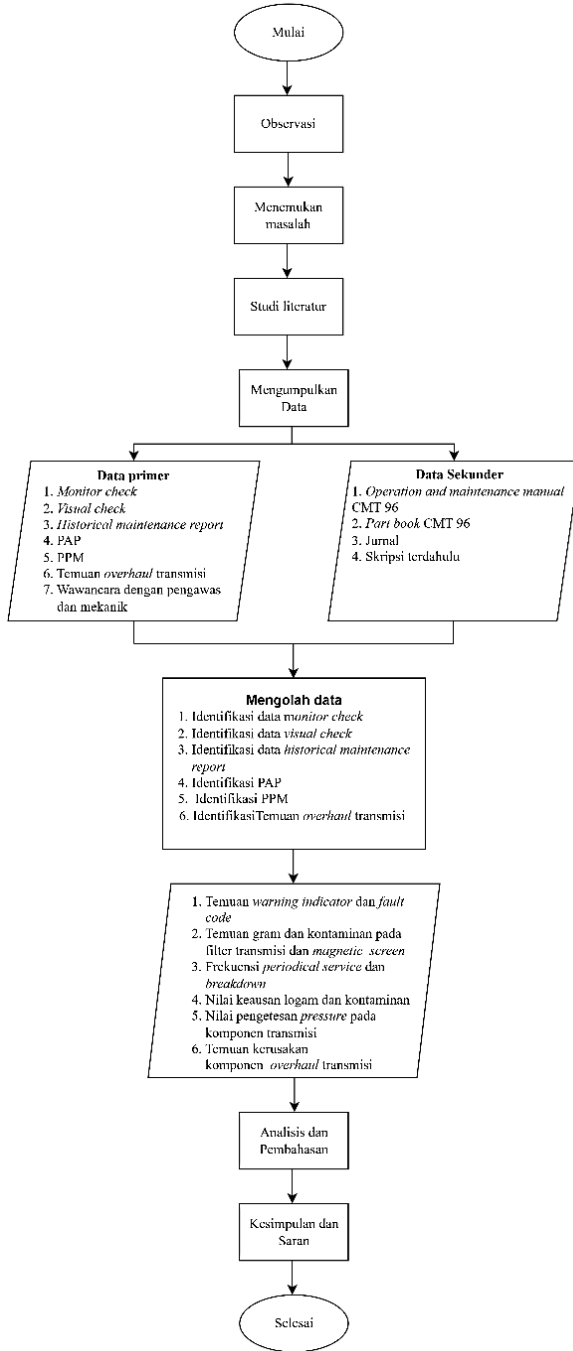
Penyebab kerusakan sebuah komponen dapat dianalisis dari pengamatan bentuk dan jenis patahan (*fracture*) dan keausan material. Kelebihan beban dapat menyebabkan kegagalan pada komponen alat berat berupa patahnya material logam. Beban tersebut dapat dibagi menjadi tiga jenis: 1. Beban kejut (*impact load*) adalah gaya yang muncul tiba-tiba pada material, yang dapat menyebabkan deformasi, pergeseran, dan kegagalan komponen jika terus menerus diberikan. *Impact load* merupakan akibat dari pengoperasian alat yang tidak sesuai. *Impact load* tidak dapat dijadikan *root cause* dari rusaknya material. Proses kerusakan material akibat *impact load* berlangsung dalam waktu singkat. *Impact load* akan menghasilkan patahan *brittle* yang terjadi dengan cepat. 2. *Overload* adalah peningkatan beban yang diterima melebihi kapasitas material. Kerusakan akibat dari *overload* membutuhkan proses lebih lama daripada *impact load*. 3. Beban berulang (*cycle load*) adalah beban yang diterima oleh material secara berulang, yang dapat menyebabkan retak akibat kelelahan (*fatigue crack*). Sedangkan proses kegagalan akibat *fatigue* biasanya terjadi setelah material menerima ribuan bahkan jutaan kali siklus beban yang akan mengakibatkan *fatigue crack* [9].

Keausan pada material terjadi akibat pengurangan massa dari permukaannya yang disebabkan oleh gesekan atau kontak fisik antara dua atau lebih material. Keausan komponen dapat disebabkan oleh gesekan berlebihan akibat kurangnya pelumasan atau hilangnya pelumas pada area kontak fisik (*boundary lubrication*), seperti yang sering terjadi pada *gear planetary*, *disc clutch*, dan *plate*. Keausan ini dapat dikategorikan ke dalam beberapa jenis, yaitu *adhesive wear*, *abrasive wear*, *fatigue wear*, *corrosive wear*, dan *erosive wear*. Sementara itu, keausan yang menyebabkan kerusakan pada komponen *clutch* dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa bentuk, di antaranya *chipping*, *erosion*, *plastic flow of metal in surface layer*, *deformation*, *tooth failures*, *blue temper*, *smear*, dan *heat spot*. Jenis-jenis keausan ini dapat berdampak pada kinerja dan umur pakai komponen, sehingga pemantauan dan perawatan rutin sangat diperlukan untuk mencegah kerusakan yang lebih parah [10].

Penelitian ini termotivasi menganalisis hubungan *maintenance* yang tidak tepat dengan kerusakan transmisi dan menganalisis penyebab utama (*root cause*) kerusakan transmisi karena dengan adanya kerusakan pada salah satu unit dapat mengakibatkan beberapa dampak seperti menurunnya angka *physical availability* (ketersediaan unit), menurunnya jumlah produksi, dan meningkatnya pengeluaran biaya untuk perbaikan sehingga dengan penelitian ini kerusakan serupa dapat diminimalisir.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian analisis penyebab kerusakan transmisi dump truck LGMG CMT 96 terdapat beberapa alat berupa *tool kit* sebagai alat *disassembly* komponen transmisi, *pressure gauge* untuk mengukur tekanan fluida yang mengalir pada torque converter dan clutch dengan pengamatan langsung, kamera digital sebagai alat yang digunakan penulis untuk mendokumentasikan dan mengumpulkan data.



Gambar 1. Flowchart penelitian

Transmisi *dump truck* LGMG CMT 96 DT 060-032 dengan *serial number* 20220628 FCY12893 merupakan bahan yang dijadikan objek penelitian.

Pengelompokan data yang digunakan dibagi menjadi dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer yang digunakan antara lain data *monitor check*, *visual check*, *historical maintenance and breakdown report*, Program Analisa Pelumas, Program Pemeriksaan Mesin, dan temuan *overhaul*. *Operation and maintenance manual book*, *part book*, dan jurnal merupakan data sekunder yang digunakan sebagai data pendukung penelitian. Diagram alir penelitian ditunjukkan seperti gambar 1.

Identifikasi dan analisis data penelitian pada studi kasus *abnormal transmission* unit dump truck LGMG CMT 96 kode unit perusahaan DT 060-032 sebagai berikut:

1. Data Monitor Check

Monitor check merupakan tahap awal dalam mendeteksi abnormalitas pada sistem transmisi. Indikator peringatan (*warning indicators*) dan kode kesalahan (*fault codes*) menjadi data utama yang digunakan sebagai acuan awal. Data ini kemudian dianalisis dan ditindaklanjuti dengan perbaikan berdasarkan panduan dalam *Operation and Maintenance Manual Book dump truck LGMG CMT 96* guna memastikan sistem transmisi tetap berfungsi optimal.

2. Data Visual Check

Data visual check diperoleh dari pemeriksaan langsung terhadap berbagai komponen transmisi untuk mengidentifikasi potensi kerusakan. Beberapa metode yang digunakan dalam pemeriksaan visual ini meliputi:

a. Cutting Filter

Cutting filter digunakan untuk mengamati dan menganalisis keberadaan kontaminan serta gram logam sebagai indikator keausan pada komponen transmisi. Pemeriksaan ini didasarkan pada jumlah dan ukuran partikel yang tertangkap dalam filter transmisi, yang dapat mengindikasikan tingkat keausan yang terjadi.

b. Magnetic Screen Filter

Pemeriksaan menggunakan *magnetic screen filter* bertujuan untuk mendeteksi partikel logam dengan menganalisis jumlah serta ukuran gram yang tertangkap dalam filter. Keberadaan partikel logam dalam jumlah yang signifikan dapat menjadi tanda adanya gesekan berlebih atau kerusakan pada komponen transmisi.

c. Oli Transmisi

Perubahan warna pada oli transmisi juga dapat dijadikan indikator kondisi normal atau tidaknya sistem transmisi. Oli yang mengalami perubahan warna secara signifikan dapat menandakan adanya degradasi material atau kontaminasi akibat gesekan antara komponen transmisi.

3. Data Historical Maintenance

Data historical maintenance diperoleh dari laporan bulanan (*monthly report*) divisi plant yang mencatat riwayat pemeliharaan dan kerusakan unit. Data yang dianalisis mencakup informasi sejak unit pertama kali menjalani servis hingga mengalami kerusakan pada sistem transmisi. Riwayat perawatan ini sangat penting untuk mengevaluasi efektivitas jadwal pemeliharaan dan mendeteksi pola kerusakan yang terjadi.

4. Data Program Pemeriksaan Mesin (PPM)

Program pemeriksaan mesin (PPM – *Preventive Predictive Maintenance*) mencakup dua jenis uji performa transmisi, yaitu pengujian menggunakan *pressure gauge* dan pengujian menggunakan *ET Tools*.

a. Performance Test dengan Pressure Gauge

Pengujian ini bertujuan untuk menganalisis tekanan oli (*oil pressure*) dalam sistem transmisi guna mengidentifikasi tanda-tanda kerusakan pada komponen tertentu. Parameter yang diukur meliputi tekanan pada *relief pressure for the transmission hydraulic control*, *transmission pump outlet*, serta *clutch pressure couplers* (C1, C2, C3, C4, C5) pada kondisi *low idle* dan *high idle*. Selain itu, dilakukan pengecekan serta penyesuaian pada *wiring harness* yang terhubung dengan solenoid transmisi.

b. Performance Test Transmission dengan ET Tools

ET Tools digunakan untuk mengunduh data sistem guna memantau riwayat pengoperasian, kinerja unit, serta mendeteksi potensi kerusakan pada sistem transmisi. Perangkat *ET Tools* dihubungkan ke laptop dan dikoneksikan dengan *Electronic Control Module* (ECM) unit. Data yang diperoleh dari ECM kemudian digunakan untuk menganalisis serta mendiagnosis permasalahan yang terjadi pada sistem transmisi.

5. Program Analisis Pelumas

Sampel oli transmisi yang telah diambil dikirim ke laboratorium untuk dianalisis guna mengetahui tingkat keausan logam serta kandungan kontaminan dalam oli. Pengujian dilakukan dengan metode ASTM D6595, yang mampu memberikan indikasi cepat terhadap keausan logam dan tingkat kontaminasi oli bekas. Pengujian ini menggunakan teknik *Rotating Disc Electrode Atomic Emission Spectroscopy* (RDE-AES), di mana logam dimasukkan ke dalam minyak untuk dikalibrasi guna menentukan kadar logam larut dan tidak larut. Hasil analisis kemudian dibandingkan dengan batas ambang peringatan (*caution*) dan bahaya (*critical*) untuk masing-masing unsur logam yang dianalisis.

6. Pemeriksaan dan Inspeksi Visual Hasil Temuan Overhaul

Analisis terhadap komponen transmisi yang telah menjalani overhaul dilakukan menggunakan metode *Applied Failure Analysis* (AFA) dengan pendekatan prinsip keausan dan patahan logam. Failure analysis bertujuan untuk menyelidiki secara mendalam berbagai indikasi kerusakan yang terjadi pada

komponen dan lingkungan operasionalnya. Analisis ini membantu dalam mengidentifikasi *root cause* dari setiap permasalahan yang timbul, sehingga dapat dilakukan tindakan korektif dan pencegahan terhadap kegagalan komponen di masa mendatang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisis Kasus



Gambar 2. (a) Fault code S: 191 F:8 on (b) Warning indicator on

Pada 20 April 2023, divisi plant PT Ansa Inti Resources site BME menerima laporan pertama mengenai masalah transmisi pada *dump truck* LGMG CMT 96 unit DT 060-032. Indikator peringatan lambang "gear" berwarna kuning dan fault code S:191 F:8 muncul di *dashboard*, menunjukkan masalah pada sensor kecepatan *output shaft* transmisi. Berdasarkan *breakdown report*, indikator peringatan muncul lima kali hingga unit tidak dapat berpindah kecepatan. Pada 4 Juli 2023, pengecekan tekanan pada seluruh *solenoid clutch coupler* menunjukkan nol, menunjukkan adanya *slip clutch*. *Hours meter* unit menunjukkan 2.143,5, jauh di bawah target *life time* 20.000 jam. Fault code dianalisis menggunakan *operation and maintenance manual book* LGMG CMT 96.

2. Analisis Data Visual Check

a. Cutting Filter

Saat kerusakan terjadi pada 4 Juli 2023, dilakukan pengamatan pada potongan filter transmisi untuk melihat partikel yang tertangkap. Setelah dilakukan pengamatan, didapatkan partikel besar berupa butiran logam yang cukup banyak. Dengan hasil pengamatan tersebut menunjukkan adanya suatu tanda-tanda *abnormal* pada komponen *inner* transmisi.



Gambar 3. Temuan gram pada cutting filter

b. *Magnetic screen*

Pengamatan pada *magnetic screen* dilakukan pada *inner magnetic screen* dan *housing magnetic screen*. Dari pengamatan pada *inner magnetic screen* didapatkan temuan partikel pecahan logam berukuran besar yang mengindikasikan adanya keausan parah pada komponen *inner part* transmisi. Pengamatan pada *inner magnetic screen* ditemukan banyak partikel logam berwarna hitam yang diduga telah terbakar bersama dengan oli transmisi saat unit mengalami *overheat*.



(a) (b)

Gambar 4. (a) Temuan gram pada *housing magnetic filter* (b) Temuan gram pada *inner magnetic screen*

c. Pengamatan Oli Transmisi

Berdasarkan hasil pengamatan secara visual terhadap oli transmisi unit DT 060-032 didapatkan bahwa telah terjadi perubahan warna. Warna asli oli ATF adalah merah transparan sedangkan warna oli transmisi unit DT 060-032 adalah kehitaman. Perubahan warna menjadi kehitaman merupakan indikasi telah oli telah terkontaminasi partikel *clutch* atau *bushing* yang mengalami keausan.



(a) (b)

Gambar 5. Warna oli ATF DT 060-032 (b) Sampel oli ATF DT 060-032

3. Data *Historical Maintenance* dan *Breakdown Report*

a. Data *Historical Maintenance*

Berdasarkan data tabel 1, unit *dump truck* CMT 96 DT 060-032 mengalami tiga kali keterlambatan *periodic service* dari jadwal. Toleransi *maintenance* adalah 25 jam sebelum atau sesudah jadwal. Keterlambatan terjadi pada 500 jam (*over* 46 jam), 1.250 jam (*over* 61 jam), dan 1.500 jam (*over* 94 jam). Selain itu, oli transmisi tidak diganti sesuai jadwal pada 1.000 jam, dengan penggantian pertama kali dilakukan pada 2.024 jam,

meningkatkan risiko keausan komponen, *overheating*, dan penurunan kinerja transmisi.

Tabel 1. *History periodic service* unit DT 060-032

Date	Type PS	Actual HM	Standard/over	Remark
25-Oct-22	250	211,1	Standard	Add oil T/M ATF 5 liter
16-Nov-22	500	546,2	Over	-
14-Dec-22	750	733,5	Standard	-
04-Jan-23	1.000	964,4	Standard	Oil T/M not change (stock out)
09-Feb-23	1.250	1.311	Over	-
19-Apr-23	1.500	1.594	Over	Engine oil filter change on next PS
22-May-23	1.750	1.681	Standard	-
17-Jun-23	2.000	2.024	Standard	-

b. Data *Breakdown Unit*

Tabel 2. Data *breakdown* transmisi unit DT 060-032

Date	HM	Actual problem
03-Oct-22	62,5	Hose oil cooler transmission leak
16-Nov-22	546	Hose oil cooler transmission leak
29-Dec-22	946,4	Low power transmission
03-Jan-23	963,8	Oil T/M Low
10-Feb-23	1125	T/M area leak
20-Apr-23	1604	Noise, low power transmission, fault code on, Warning indicator transmission on

Tabel 2 menunjukkan riwayat kerusakan transmisi unit DT 060-032 sebelum kegagalan perpindahan kecepatan, termasuk *hose oil cooler* bocor, *low power*, level oli transmisi rendah, *noise*, indikator peringatan menyala, dan *fault code*. Perbaikan *low power* dilakukan dengan memeriksa dan membersihkan *wiring harness* dan *sensor transmisi*. Tim *plant* menduga telah terjadi kerusakan pada *inner part* transmisi saat terjadi *noise* (hentakan berlebih) saat unit dioperasikan di *hours meter* 1.604. *Troubleshooting* tersebut tidak bertahan lama hingga akhirnya unit tidak dapat melakukan perpindahan kecepatan pada *hours meter* 2.143,5 yang mengharuskan dilakukan tindakan *overhaul*.

4. Analisis hasil Program Analisa Pelumas (PAP)

Data sampel oli transmisi PAP unit DT 060-032 dilakukan pada tanggal 17 Juni 2023 saat pelaksanaan *periodic service* 4 yaitu pada *hours meter* 2.024. Sampel oli tersebut merupakan PAP yang dilakukan pertama kali dan saat telah terjadi tanda-tanda kerusakan transmisi pada unit CMT 96 DT 060-032. Hasil PAP menunjukkan bahwa terdapat keausan logam yang terkontaminasi pada oli transmisi (melebihi batas normal) yaitu kandungan *lead* (Pb) dan *iron* (Fe). Kandungan *lead* (Pb) dan *iron* (Fe) memiliki batas normal masing-masing dibawah angka 9 dan 90 namun hasil PAP menunjukkan angka 11,4 pada *lead* dan 110,2 pada *iron*. Hasil PAP juga menunjukkan angka *particle*

quantity index atau debris berada diatas batas normal dengan angka 98, 6. Oli transmisi berwarna hitam juga ditemukan dari hasil PAP dengan kemungkinan dari keausan yang berlebih, kontaminasi dengan partikel logam, atau pelumasan yang tidak memadai yang menandakan potensi kerusakan. Tindakan pemeriksaan pada komponen transmisi diperlukan untuk menganalisis dan meminimalisir kerusakan yang semakin parah dari hasil PAP tersebut.

Tabel 3. Hasil PAP oli transmisi unit DT 060-032

Wear metal	Result	Caution	High
Lead (Pb)(mg/kg)	11,4	9	15
Iron (Fe) (mg/kg)	110,2	90	150
Debris (mg/L)	98,6	72	120

Keausan komponen kemungkinan bersumber dari bearing atau clutch transmisi. Selain itu didapatkan juga bahwa umur oli transmisi menunjukkan telah melewati standar waktu pergantian atau telah melampaui 1.024 hours meter. Hal tersebut menyebabkan kerusakan semakin parah karena kondisi pelumas yang sudah tidak layak, baik dari segi zat aditif yang menurun dan kontaminan yang ikut bersirkulasi dalam komponen transmisi.

5. Hasil Program Pemeriksaan Mesin (PPM)

Analisis data hasil pemeriksaan mesin terdiri dari dua sumber.

a. Hasil performance test transmission dengan pressure gauge

Performance test transmission pertama yang dilakukan saat unit mengalami kendala abnormal transmisi pada hours meter 1.604 menunjukkan terdapat low pressure pada clutch 1 dan 4 di high idle dengan nilai 0 yang menyebabkan unit tidak dapat berpindah ke kecepatan 2. Low pressure juga ditemukan pada pump outlet dengan nilai dibawah standar. Troubleshooting dilakukan dengan penyetulan pada clutch high idle tersebut sesuai dengan standar pressure. Hasil dari performance test transmission kedua yang dilakukan saat unit DT 060-032 tidak dapat lagi melakukan perpindahan kecepatan (can't shifting) pada semua gear.

Tabel 4. Pengecekan wiring harness selenoid

LGMG		Transmission test data sheet				Test date : 04 July 2023
Work order : -						Model : CMT 96
						Code : DT 060-032
Harness	Selenoid 1	Selenoid 2	Selenoid 3	Selenoid 4	Selenoid 5	
test	2,2 Ω	2,2 Ω	2,2 Ω	2,2 Ω	2,2 Ω	

Pengecekan awal pada wiring harness selenoid didapatkan nilai standar pada komponen tersebut. Selanjutnya pada pengetesan kedua pressure komponen clutch, didapatkan hasil dari clutch 1 hingga clutch 5 baik posisi low idle dan high idle memiliki low pressure dengan nilai 0. Dari hasil tersebut, kemungkinan disebabkan oleh kerusakan komponen clutch yang tidak mampu menerima oil pressure sehingga mengakibatkan

low pressure. Perusahaan melakukan tindakan overhaul komponen transmisi berdasarkan data dari PPM kedua dengan tujuan menganalisis secara langsung dari temuan kerusakan komponen inner parts transmisi.

b. Hasil performance test transmission dengan ET tools

Tabel 5. Hasil unduhan ET Tools unit DT 060-032

Parameter	Value	OCC
Logged DTC	-	-
Transmission output shaft speed abnormal signal frequency	191-8	121
Transmission gear request abnormal update	525-9	88
High transmission oil temperature	177-16	42

Data performance test transmission dengan ET Tools yang dilakukan saat unit DT060-032 mengalami abnormal transmission yaitu pada tanggal 4 Juli 2023. Hasil dari data rekaman tersebut didapatkan bahwa unit DT 060-032 telah mengalami abnormal pada transmission output shaft speed yang ditandai dengan munculnya fault code 191-8. Frekuensi kemunculan fault code 191-8 pada DT 060-032 terjadi sebanyak 121 kali sejak pengoperasian unit pertama kali. Selain kerusakan dari sistem wiring harness, abnormal pada transmission output shaft speed dapat terjadi karena telah terjadi slip pada clutch. Dugaan kesalahan pengoperasian unit yang tidak sesuai dalam pemilihan gear dengan tidak melakukan lock speed (memakai mode drive) saat bermuatan menyebabkan unit melampaui batas izin travel speed dibuktikan dari rekaman sampel data ritase unit LGMG CMT 96 seperti yang ditunjukkan oleh tabel 6.

Tabel 6. Sampel data ritase unit CMT 96

Date	Unit code	Hours meter			Total ritage	Distance	Average	Plan ritage	Dev
		Start	Stop	Total					
11/03/2023	DT60-33	1621,3	1621,5	0,2	1	2.123	4,77	2,77	2
30/04/2023	DT60-42	2035,7	2036,1	0,4	3	1.655	7,5	3,17	4,33
02/06/2023	DT60-56	2838,5	2839,6	1,1	8	1640	7,27	3,3	3,97
05/06/2023	DT60-42	2547	2547,6	0,6	3	2.227	5	2,68	2,32
09/06/2023	DT60-32	1922	1923,2	1,2	6	2.201	5	2,68	2,32

Deviasi ritase berdasarkan data yang diambil oleh PT Ansaf Inti Resources didapatkan bahwa unit DT 060-032 kelebihan ritase dari plan perusahaan dengan deviasi nilai 2,32 atau 186,57%. Nilai tersebut dapat sebagai tolak ukur bahwa unit DT 060-032 telah overspeed dalam pengoperasian. Mengacuh pada sistem shifting powershift transmission salah satu faktor perpindahan speed karena perubahan RPM engine dan travel speed yang di kalkulasi sesuai output speed transmisi. Jadi pada hal ini sangat dibutuhkan pengaturan travel speed dan RPM engine. Pengurangan kecepatan terutama saat posisi muatan karena dengan load yang besar unit hanya membutuhkan torsi (speed rendah) bukan dengan kecepatan (speed tinggi). Sehingga pemilihan speed yang tepat sesuai dengan load dan travel speed terutama saat turunan dan tanjakan akan mengurangi seringnya melakukan perpindahan kecepatan yang membuat kerja coupling

(lock up clutch) sebagai pengunci antara output engine dan input transmission dalam mode direct drive berkurang. Penyesuaian antara travel speed harus sesuai dengan RPM engine agar tidak terjadi peningkatan temperatur oli transmisi.

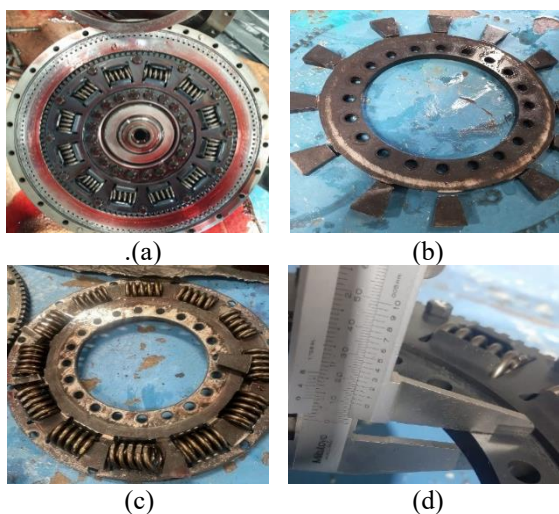
Berdasarkan data unduhan performance test, dump truck DT 060-032 telah mengalami munculnya fault code F: 525 S: 9 dengan frekuensi kemunculan sebanyak 88 kali. Fault code 525-9 memiliki arti transmission gear request abnormal berdasarkan operation and maintenance book. Transmission gear request abnormal merupakan indikasi adanya kesalahan pengoperasian yang disebabkan seringnya melakukan shifting dan atau shifting secara tidak tepat antara RPM engine dan travel speed. Sensor dan electronic control module menerima sinyal secara tidak konsisten akibat pengoperasian yang tidak benar tersebut.

Fault code F:177 S: 16 sebagai indikator bawah unit DT 060-032 telah mengalami overheat pada sistem transmisi. Frekuensi munculnya fault code tersebut terjadi sebanyak 42 kali. Overheat dapat terjadi karena overspeed dari penggunaan RPM engine yang tidak sesuai dengan travel speed. Kesalahan pengoperasian dengan tidak mengaktifkan lock up saat travel speed tinggi menyebabkan RPM engine lebih tinggi dari output torque converter yang dapat mengakibatkan slip berlebih pada torque converter sehingga menghasilkan panas. Oli sebagai sistem pelumasan dan pemindah daya menjadi kehilangan fungsinya karena terlalu panas. Saat pelumasan pada komponen transmisi tidak baik, maka gesekan antar komponen semakin besar. Gesekan antar komponen ini yang menyebabkan keausan dan kerusakan komponen transmisi semakin tinggi.

6. Data Temuan Overhaul

Terdapat kerusakan (component damage) yaitu komponen coupling (lock up clutch) dan clutch (disc dan plate) transmisi yang menyebabkan unit tidak dapat gear shifting.

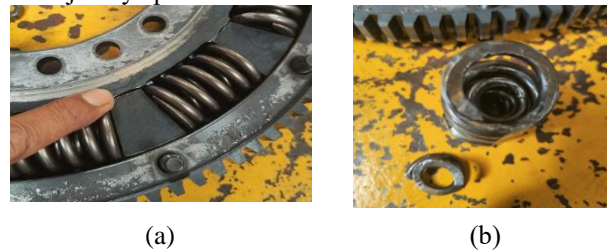
a. Component damage pada coupling (lock up clutch)



Gambar 6. (a) Coupling assy pada housing transmisi (b) Patahan pada coupling/lock up clutch plate (c) Posisi spring dumper berubah posisi akibat coupling plate patah (d) Pengukuran pada coupling plate

Kerusakan ditemukan pada komponen coupling (lock up clutch) yang mengalami patahan pada plate-nya sehingga mengakibatkan spring dumper berubah posisi dan rontok.

Pengukuran ketebalan dilakukan pada komponen baru dan komponen plate lock up yang telah mengalami damage. Hasil dari pengukuran ketebalan spring holder plate baru adalah 10 mm dan ketebalan pada spring holder plate yang mengalami damage juga 10 mm. Pengukuran tersebut menunjukkan bahwa permukaan plate tidak terjadi deformasi plastis (perubahan bentuk). Patahan holder plate mengindikasikan telah terjadi brittle fracture (patahan getas). Brittle fracture akan terlihat seperti komponen aslinya yang berarti patahan tidak menghasilkan deformasi plastis (perubahan bentuk) selama proses terjadinya patah.

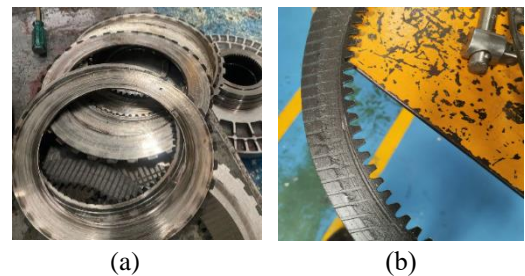


Gambar 7. (a) Patahan spring dumper holder plate membentuk brittle fracture (b) Kerusakan pada spring dumper

b. Component damage pada clutch

1. First Clutch

Clutch plate mengalami deformasi yang dicirikan dengan plate yang bergelombang. Clutch plate dengan kondisi terdeformasi sudah tidak dapat digunakan. Clutch plate dapat bergelombang saat terjadi peningkatan suhu secara berlebih karena panas yang dihasilkan oleh gesekan. Panas gesekan dihasilkan oleh slip ekstrem antara disc dan plate yang terjadi disebabkan sering terjadinya engaged dan disengaged clutch akibat terlalu seringnya perpindahan kecepatan (shifting gear). Seluruh plate mengalami heat spot yaitu terdapat bintik-bintik hitam akibat bergesekan dengan disc.



Gambar 8. (a) Overhaul firsts clutch (b) Adhesive wear pada disc

Heat spot dapat terjadi karena masalah pada pelumasan dan penggunaan clutch yang tidak tepat sehingga menimbulkan efek gosong pada plate. Groove (alur) yang ditemukan pada disc clutch yang telah terkikis dari permukaannya secara berlebihan

menunjukkan bahwa telah terjadi *chipping*. Gesekan antar *disc* dan *plate* menimbulkan *abrasive wear* dan berkembang menjadi *adhesive wear* yang ditunjukkan dengan terkikisnya komponen yang lebih lemah (*disc*) ke komponen yang lebih kuat (*plate*).

2. Second clutch

Kondisi pada *second clutch* mengalami keausan berlebih pada *disc* dan *plate*. *Plate* mengalami *heat spot* akibat gesekan berlebih dengan *disc*. Terdapat *groove* (alur) pada *disc clutch* yang sudah terkikis dari permukaan *disc* secara berlebih menunjukkan telah terjadi *chipping*. *Chipping* terjadi karena *overheat* dan gesekan yang terlalu besar. Gesekan berlebih sehingga menyebabkan *heat spot* pada *plate* dan *chipping* pada *disc* merupakan keausan berjenis *abrasive wear*.



Gambar 9. Overhaul pada *second clutch*

3. Third clutch

Hasil pengamatan pada *plate clutch* telah mengalami keausan dengan jenis *blue temper* dan *smear*. Kondisi *blue temper* dicirikan dengan perubahan warna kebiruan pada *plate* akibat panas berlebih dari gesekan *disc* dan *plate*. *Blue temper* menunjukkan penurunan pelumasan baik dari segi spesifikasi oli dan jumlah oli sehingga *clutch* bergabung (*engage*) secara tidak sempurna. *Plate* yang mengalami *blue temper* tidak boleh digunakan kembali karena tingkat kekerasan yang telah menurun.



Gambar 10. *Blue temper* pada *third clutch plate*

4. Fourth clutch

Keausan sangat parah terjadi pada *plate* di *fourth clutch*. *Plate* mengalami *heat spot* dicirikan dengan bintik-bintik hitam yang merata pada permukaan *plate*. Kondisi ini disebabkan karena *overheating* dan penggunaan *clutch* yang tidak sesuai sehingga menimbulkan beban dan gesekan berlebih ke material *plate*. Kondisi *disc* pada *fourth clutch* masih dalam kondisi baik dan layak pakai.



Gambar 11. Temuan pada *fourth clutch*

5. Fifth clutch

Temuan pada *fifth clutch* didapatkan bahwa seluruh *plate clutch* telah mengalami *heat spot* sehingga menimbulkan efek gosong dan perubahan warna di permukaan *plate* (*discoloration*). Temuan pada *disc clutch* di *fifth clutch* didapatkan kondisi yang masih normal.



Gambar 12. Temuan overhaul pada *fifth clutch*

Berdasarkan data yang telah diperoleh dan dianalisis, penyebab utama (*root cause*) kerusakan transmisi *dump truck* LGMG CMT 96 adalah sebagai berikut:

1. Kesalahan pengoperasian baik menggunakan mode *drive* (otomatis) atau mode manual dengan *travel speed* tinggi saat muatan berat dapat mengaktifkan *lock up clutch* pada *speed* 3, 4, dan 5 sehingga putaran *output engine* dan *input transmisi* terjadi *direct drive* dan tidak terjadi penggandaan torsi di *torque converter*.
2. Munculnya *fault code* F: 525 S: 9 yang diinterpretasikan sebagai kesalahan pengoperasian karena seringnya berganti kecepatan secara tiba-tiba dalam waktu singkat mengakibatkan beban yang diterima oleh *lock up* dan *clutch* menjadi besar karena hentakan dan gesekan.
3. Kerja ekstrem diterima oleh (*coupling*) *lock up clutch* dan *dumper* dalam menahan tekanan dan beban kejut (*impact load*).
4. *Lock up clutch* mengalami patahan pada *spring holder plate* dengan tipe *brittle fracture*. *Brittle fracture* diakibatkan oleh beban kejut (*impact load*) yang diterima komponen *lock up* yang disebabkan kesalahan pengoperasian.
5. Kerusakan pada *lock up clutch* yang berfungsi sebagai penahan tekanan dan beban puntir menyebabkan komponen tekanan dan beban besar langsung menuju ke komponen

- clutch* tanpa peredam. Hal tersebut mengakibatkan gesekan ekstrem pada komponen *clutch*.
6. Gesekan berlebih menghasilkan panas (*overheat*) pada material *clutch* dan oli transmisi. Kenaikan temperatur oli transmisi menyebabkan penurunan fungsi oli dalam komponen transmisi. Hal tersebut diperburuk dengan oli transmisi yang tidak dilakukan penggantian.
 7. Gesekan berlebih menyebabkan keausan pada *clutch* dan menghasilkan *crearance stroke* (jarak antar *disc* dan *plate*) besar sehingga tidak dapat terhubung (*engaged*) secara sempurna.
 8. Penurunan tekanan oli yang disebabkan nilai viskositas oli yang menurun akibat *overheat* dan permukaan *clutch* yang tidak rata akibat keausan menyebabkan *clutch* tidak dapat meneruskan daya (*slip*).

4. KESIMPULAN

Kegiatan Ketidaksiapan dalam pelaksanaan kegiatan maintenance berdampak signifikan terhadap peningkatan dan percepatan kerusakan pada sistem transmisi, khususnya keausan *clutch* dan *overheat* pada dump truck LGMG CMT 96. Data preventive maintenance menunjukkan bahwa penggantian oli transmisi pada unit DT 060-032 dilakukan setelah lebih dari 1.024 jam, yang menyebabkan partikel kontaminan bersirkulasi bersama komponen transmisi dan meningkatkan risiko keausan. Selain itu, preventive maintenance berbasis kondisi seperti Program Pemeriksaan Mesin (PPM) dan Program Analisis Pelumas (PAP) baru dilaksanakan setelah munculnya tanda-tanda kerusakan pada transmisi, bukan dilakukan secara berkala sesuai jadwal servis periodik, yang seharusnya setiap 1.000 jam. Akibatnya, kerusakan pada komponen tidak terdeteksi lebih awal, sehingga memperparah kondisi transmisi.

Berdasarkan data hasil unduhan performance test dengan ET Tools, analisis ritase unit, serta jenis patahan yang terjadi pada coupling (lock-up clutch), ditemukan bahwa kesalahan dalam pengoperasian unit merupakan faktor utama penyebab kegagalan transmisi, ditandai dengan ketidakmampuan sistem untuk melakukan speed up shift dan speed down shift. Kesalahan pengoperasian ini menyebabkan *clutch slip*, yang pada akhirnya memicu munculnya fault code F:191 S:8 sebagai indikator kerusakan sistem transmisi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan dalam penyusunan jurnal ini, terutama kepada kedua orang tua, dosen pembimbing, Keluarga Departemen Teknik Mesin SV UGM dan teman-teman penulis. Terimakasih atas segala bantuan, waktu dan energi yang telah diberikan kepada penulis dalam membuat jurnal ini.

REFERENSI

- [1] M. Martaningtyas and H. D. Ariesyady, "Identifikasi Bahaya Dan Analisis Risiko Pada Jaringan Pipa Transmisi Crude Oil Di Pt. X Hazards Identification And Risk Analysis Of Crude Oil Transmission Pipeline Inpt. X".
- [2] A. Meidiansyah Meidiansyah, A. Apriana, and F. Zainuri, "Analisa Kerusakan Control Valve Transmisi Bulldozer CLG B230 Pada Unit LiuGong," in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*, 2024, pp. 790–798.
- [3] M. Martaningtyas and H. D. Ariesyady, "Identifikasi Bahaya Dan Analisis Risiko Pada Jaringan Pipa Transmisi Crude Oil Di Perusahaan Migas Hazards Identification And Risk Analysis Of Crude Oil Transmission Pipeline In Oil And Gas Company".
- [4] S. S. Islam, T. Lestari, A. Fitriani, and D. A. Wardani, "Analisis preventive maintenance pada mesin produksi dengan metode fuzzy FMEA," *JTT (Jurnal Teknol. Terpadu)*, vol. 8, no. 1, pp. 13–20, 2020.
- [5] "Basic Maintenance PT United Tractors.pdf."
- [6] Hoffmann, "Operation and Maintenance Manual," *Water*, vol. 343, no. August, pp. 1–72, 2004.
- [7] D. Gryttelius *et al.*, "United States Patent (19)," no. 19, 2000.
- [8] A. Jablonski, "Rational Resampling Ratio as Enhancement to Shaft Imbalance Detection," *Sensors*, vol. 23, no. 3, 2023, doi: 10.3390/s23031719.
- [9] caterpillar, "Applied Failure Analysis Engine," p. 312, 2009.
- [10] D. Manesi and A. P. Kupang, "Penerapan Preventive Maintenance untuk Meningkatkan Kinerja Fasilitas Praktik Laboratorium Prodi Pendidikan Teknik Mesin Undana," *J Teknol*, vol. 3, no. 4, pp. 1693–9522, 2015.