

Studi kasus pemanfaatan *schedule* dan *predictive maintenance* untuk menentukan *standard lifetime engine excavator* Komatsu PC2000-8

Case study of using schedule and predictive maintenance to determine standard lifetime engine excavator of Komatsu PC2000-8

Budi S. Gunawan, Nurida Finahari*, Akhmad Farid

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang, Jl. Taman Borobudur Indah 3 Malang, Jawa Timur Indonesia, HP. 08113649799

*E-mail: nfinahari@widyagama.ac.id

Abstrak - PT. Saptaindra Sejati memiliki lifetime engine standar yang bertujuan untuk menjaga kehandalan mesin excavator saat dioperasikan. Perusahaan berupaya untuk mengubah standar tersebut agar masa operasional mesin lebih panjang dengan cara mengubah strategi jadwal perawatan dan menggunakan predictive maintenance sebagai alat untuk memonitor perubahan kondisi kinerja mesin. Penelitian ini merupakan studi kasus yang mengkaji perubahan strategi perawatan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan 2 unit excavator PC2000-8 sebagai pembandingan, dengan melakukan jadwal perawatan yang berbeda. Perbedaan perawatan tersebut berupa jadwal penggantian oli mesin dan filter oli dengan interval 500 HM (Hour Meter, masa operasional) dan 250 HM. Perbedaan perawatan tersebut dilakukan setelah tercapai masa pemakaian 18000 HM yang merupakan masa pemakaian standar mesin. Monitoring dilakukan terhadap kualitas oli dan kadar partikel keausan yang terkandung dalam oli. Hasil studi kasus menunjukkan bahwa 2 unit tersebut memiliki lifetime yang berbeda, dimana unit dengan jadwal perawatan 250 HM pasca 18000 HM memiliki lifetime yang lebih panjang. Jadwal penggantian oli dan filter oli mesin yang lebih cepat terbukti dapat mengurangi keausan komponen pada mesin. Temuan ini berguna untuk menjaga performa mesin meskipun telah melewati standar lifetime yang telah ditetapkan sebelumnya sehingga produktivitas unit menjadi lebih panjang dan dapat ditetapkan standar baru untuk lifetime mesin dengan jadwal perawatan yang berbeda.

Kata kunci: Perawatan prediktif, Jadwal perawatan, Mesin excavator, Komatsu PC2000-8

Abstract - PT. Saptaindra Sejati has a standard lifetime engine which aims to maintain the reliability of the excavator engine when operated. The company is trying to change these standards so that the operational period of the machine is longer by changing the maintenance schedule strategy and utilizing predictive maintenance as a tool for monitoring changes in engine performance conditions. This research is a case study that examines changes in treatment strategies. Tests were carried out using 2 PC2000-8 excavator units as a comparison, by carrying out different maintenance schedules. The difference in treatment is in the form of a schedule for changing the engine oil and oil filter at intervals of 500 HM (Hour Meter, operational period) and 250 HM. The different treatments were carried out after the 18000 HM usage period was reached, which is the standard engine usage period. Monitoring is carried out on oil quality and the level of wear particles contained in the oil. The results of the case study show that the 2 units have different lifetimes, where the unit with a maintenance schedule of 250 HM post 18000 HM has a longer lifetime. A faster oil and engine oil filter change schedule has been proven to reduce wear of parts in the engine. This finding is useful for maintaining engine performance even though it has passed the previously determined lifetime standard so that unit productivity becomes longer and a new standard can be determined for engine lifetime with a different maintenance schedule.

Keywords: Predictive maintenance, Maintenance schedule, Excavator engine, Komatsu PC2000-8

1. PENDAHULUAN

Alat berat adalah kendaraan besar yang dioperasikan untuk permudah pekerjaan yang tidak mungkin dilakukan oleh manusia. Terdapat bermacam-macam alat berat sesuai kebutuhan dan fungsinya, seperti *excavator*, *dozer*, *off-highway truck*, *loader* dan masih banyak lagi. Masa operasi alat berat ditandai dengan *hourmeter* (HM) yang menunjukkan akumulasi jam operasi mesinnya. Peningkatan angka HM menjadi penanda waktu *maintenance* alat berat tersebut (Ramadhania, 2018).

Maintenance adalah kegiatan *service* atau perawatan untuk mencegah terjadinya kerusakan suatu mesin, sehingga dapat digunakan sampai dengan *standard lifetime* yang ditentukan oleh pabrik. Tujuan dari *maintenance* adalah untuk menunjang kemampuan alat agar tetap baik dan mencegah terjadinya kecelakaan kerja (Siregar et al., 2022). *Maintenance* tidak harus menunggu unit mengalami kerusakan, tetapi dilakukan sesuai *standard* penjadwalan yang telah ditentukan. Dalam pelaksanaan di lapangan perlu dilakukan perencanaan, pelaksanaan dan pengawasan agar proses *maintenance* dapat terlaksana dengan baik (Lestari, 2022). Hasil perbaikan yang maksimal mengarah pada peningkatan keuntungan dan penetapan biaya operasional yang akurat. Hal ini bisa diwujudkan dengan cara mengoptimalkan *lifetime* komponen (Yanti, 2015).

PT. Saptaindra Sejati merupakan perusahaan jasa pertambangan di Indonesia yang menggunakan sistem *maintenance management* dua jenis yaitu PM (*Preventive Maintenance*) dan CM (*Corrective Maintenance*). *Preventive maintenance* adalah perbaikan yang dilakukan sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan atau terencana sebelum terjadinya kerusakan, sedangkan *corrective maintenance* adalah perbaikan yang dilakukan secara tidak terencana akibat terjadinya kerusakan. Apabila *preventive maintenance* dilakukan dengan baik maka akan mengurangi terjadinya *corrective maintenance* sehingga produktifitas alat akan meningkat dan memperbesar keuntungan perusahaan (Ansari, 2023).

Preventive maintenance dapat meningkatkan *lifetime* komponen jika dilakukan secara maksimal. Dalam macro kegiatan PM terdapat *schedule maintenance* dan *predictive maintenance* untuk menjaga kondisi tetap dalam kondisi normal serta menangkap gejala *abnormal* pada mesin sebelum terjadinya kerusakan. Di dalam kegiatan PM terdapat PPM (Program Pemeriksaan Mesin), PAP (Program Analisa Pelumas), dan beberapa pemeriksaan lainnya. PPM bisa dikatakan sebagai pemeriksaan kesehatan mesin. Pemeriksaan dilakukan untuk setiap kinerja sistem pada *engine*, mulai dari *cooling*, *lubricating*, *air intake*, dan *fuel system* (Purwono & Djunaedi, 2011). Pemeriksaan dilakukan secara berkala untuk mendapatkan *trend* penurunan performa dalam jangka waktu tertentu (Wijaya et al., 2020). PAP merupakan diagnosa tambahan untuk memastikan *engine* dalam kondisi baik melalui pemeriksaan pelumas. Analisis kandungan oli mesin bisa menjadi tolak ukur keausan *part* di dalam mesin dan digunakan untuk memperkirakan potensi kerusakan (Haryono & Noland, 2019).

Engine merupakan komponen penting pada alat berat sebagai penggerak utama semua *attachment*. *Engine* menghasilkan putaran yang diteruskan ke pompa hidrolik untuk menggerakkan sistem hidrolik pada unit. Putaran mesin memiliki pengaruh terhadap performa alat berat ketika beroperasi dengan beban kerja maupun tanpa beban kerja (Ruslan & Lazuardy, 2018). *Engine* tidak seterusnya bisa digunakan karena seiring bertambahnya usia pakai akan terjadi penurunan performa, keausan komponen dan terjadinya *abnormal noise* (Demmatacco et al., 2013). Terkait dengan masa pakai *engine*, *lifetime* yang umum digunakan oleh perusahaan tidak bisa menjadi acuan jadwal *overhaul* karena ketika HM (*hour meter*) sudah mencapai *standard* maksimal yang ditetapkan, seringkali ditemukan kondisi *engine* masih baik. Hal tersebut menjadi satu potensi kerugian jika ditetapkan untuk dilakukan penggantian mengingat kondisi *engine* masih layak pakai.

Saat ini PT. SIS beroperasi dengan total 16 *fleet* atau menggunakan 16 unit *excavator* yang terdiri dari 13 unit Komatsu PC2000-8 dan 3 unit Komatsu PC1250SP-8. Melihat dari populasi unit *excavator* PC2000-8 yang cukup banyak maka perusahaan berupaya meningkatkan efisiensi penggunaan *engine excavator* PC2000-8. Salah satu upaya perusahaan untuk melakukan *reduce cost* adalah dengan memaksimalkan potensi produktifitas *engine* dengan cara mengoperasikan melebihi SPO (*Standard Parameter Operational*) yang telah ditentukan. Tujuan tindakan tersebut adalah untuk menambah *lifetime engine* melebihi *standard* yang telah ditentukan sebelumnya. Upaya tersebut dilakukan berdasarkan kualitas *schedule maintenance* dan data yang didapatkan dari *predictive maintenance*. Perusahaan mencoba untuk melakukan analisa terhadap *schedule maintenance* khusus terhadap penggantian oli dan filter oli *engine* dari yang sebelumnya setiap interval 500 HM dipercepat menjadi 250 HM ketika *engine* sudah mencapai 18000 HM. Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh dari perubahan *schedule maintenance* untuk dimanfaatkan sebagai pembuatan *standard baru lifetime engine* di PT. Saptaindra Sejati.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif dengan aktifitas reduksi data, penyajian data, dan pembuatan kesimpulan. Reduksi adalah pengelompokan, merangkum, mengambil inti data, atau proses pengolahan data. Penyajian data merupakan presentasi data dalam bentuk tabel dan grafik pendukung pengambilan kesimpulan. Kesimpulan merupakan hasil akhir analisis data yang bisa dimanfaatkan atau diambil tindakan lebih lanjut.

Variabel bebas yang digunakan adalah *standard* penggantian oli *engine* di interval 250 dan 500 HM setelah *engine* beroperasi melebihi 18000 HM. Variabel terikat dipilih berupa hasil sampel oli PAP yang dilakukan setiap kelipatan 250 HM, dan hasil pemeriksaan performa *engine* untuk PPM yang dilakukan setiap kelipatan 1000 HM. Obyek penelitian adalah *engine excavator* Komatsu PC2000-8 tipe SAA12V140E-3 dengan nomer lambung ex200-0034 dan ex200-0051. Data penelitian direkam sejak *engine* dalam kondisi baru (0 HM). Formulir rekaman data ditunjukkan pada Gambar 1-3 dan Tabel 1.



PT. Tekenomiks Indonesia

Office : Jl. Jend Sudirman RT. 49 No. 96 Balikpapan, 76114 Indonesia



PROBLEM

TECHNICAL ADVANCE FOR ECONOMIC GAIN

Wear Metal Report:

Client
Attention
Address
Machine:
Oil Name:
Visc@40°C:
Compartm't
Analysis Date
Sample no.
SMU
Oil Hrs
Oil Changed

1,113,629

PT. SAPTAINDRA SEJATI BORO - KUSAN

BPK. ABDUL HARIS SETIAWAN

KUSAN,

KOMATSU PC2000-8

MEDITRAN SX PLUS SAE 15W40 C14

ID No: EX200-39

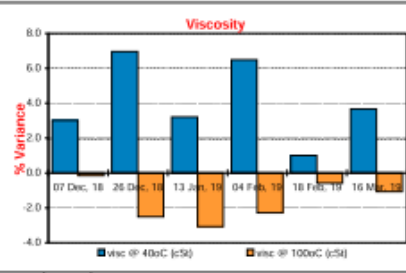
97

Visc@100°C: 14

TBN 11

ENGINE

07 Dec. 18	26 Dec. 18	13 Jan. 19	04 Feb. 19	18 Feb. 19	16 Mar. 19
11 Dec. 18	29 Dec. 18	15 Jan. 19	07 Feb. 19	21 Feb. 19	21 Mar. 19
1064897	1066381	1064717	1101564	1105772	1113629
9208hrs	9466hrs	9716hrs	10040hrs	10255hrs	10610hrs
242	500	290	574	215	355
No	Yes	No	Yes	Yes	Yes



Wear Metals

lead (mg/kg)
iron (mg/kg)
aluminium (mg/kg)
copper (mg/kg)
chromium (mg/kg)
tin (mg/kg)
nickel (mg/kg)

METHOD	R	E	S	U	L	T	Caut	High
ASTM D6595-11	0.5	1.1	2.1	8.0	3.8	6.9	40	120
	5.4	7.3	4.8	7.8	6.6	9.1	100	200
	1.4	3.8	2.1	3.1	2.6	3.7	8	16
	0.7	0.8	0.5	1.1	25.4	150.9	25	70
	2.4	2.4	0.9	2.0	1.7	0.8	10	25
	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0
	0.1	0.2	0.1	0.3	0.3	0.1	0	0

Comments on elevated results

Cu meningkat sangat tinggi. Sodium meningkat, abnormal wear thrust washer timing gear, rocker arm bushings /piston pin bushing, atas turbo bearing. Check turbocharger bearing condition. Periksa cooling system dan abnormal temperature. Cut open filter dan inspect large particles. Check kondisi rocker arm bushing. Resample 100 jam, monitor interval penggantian. (dpm)

Contaminants

silicon (mg/kg)
sodium (mg/kg)

ASTM D6595-11	4.1	3.6	3.0	3.4	3.3	2.6	20	40
	7.9	9.3	7.5	9.5	8.9	14.9	50	100

Oil Additives

magnesium (mg/kg)
zinc (mg/kg)
molybdenum (mg/kg)
calcium (mg/kg)
phosphorous (mg/kg)
boron (mg/kg)

ASTM D6595-11	21	25	72	68	15	26	0	0
	1160	1048	993	1016	1136	1180	0	0
	9	8	8	10	5	0	0	0
	5512	4419	4393	4461	5104	5411	0	0
	1804	904	1099	1065	1451	1313	0	0
	6	4	4	3	2	2	0	0

Infra Red

TBN (mgKOH/g)
TAN (mgKOH/g)
soot (Abs/cm)
glycol (% vol)
water (% vol)
fuel dilution (% vol)
oxidation (x.100)abs/0.1mm
nitration (x.100)abs/0.1mm
sulphation (x.100)abs/0.1mm

ASTM D2896-D7A	9.02	8.92	9.04	8.65	8.92	8.64	-25%	-50%
ASTM D874-97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
ASTM E 2412-10	11	18	11	16	11	14	35	70
	0	0	0	0	0	0	18	30
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
ASTM D3828-09	0	0	0	0	0	0	1	2
ASTM E 2412-10	7	9	7	9	4	9	60	100
	7	10	8	10	5	9	60	100
	7	14	8	15	4	14	60	100

Physical Tests

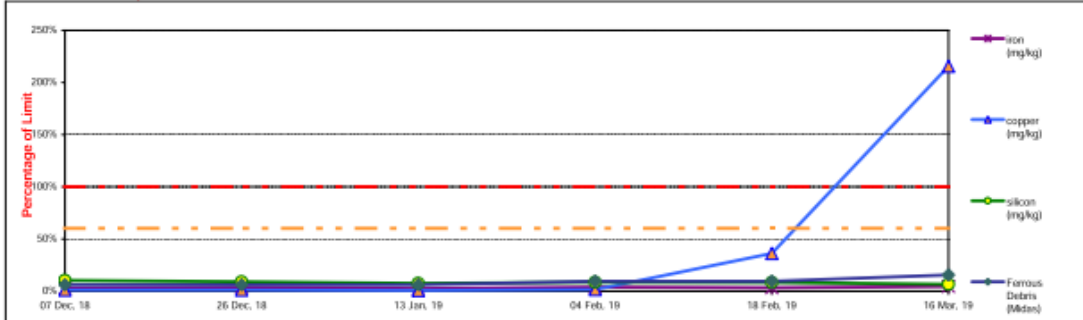
water (ppm)
F.debris (mg Fe/L)
visc @ 100°C (cSt)
visc @ 40°C (cSt)
Iso Code (Part/mL)

ASTM D6304-7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
Midex	2	2	2	3	3	5	24	32
ASTM D445-11a	13.98	13.65	13.57	13.68	13.92	13.85	+10%	+30%
	99.92	103.75	100.12	103.30	97.98	100.56	+10%	+30%
ISO 6886	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+

Particle Cleanliness Analysis

ISO 4406 - 04	-
ISO 4406 - 06	-
ISO 4406 - 14	-
Count 1ml	-

Element Trends Graph



For enquiries, contact: phone: fax: mobile:

This wear analysis and oil condition report should be used in conjunction with normal maintenance and evaluated from sample to sample. Every care will be taken in processing samples but no express or implied guarantee is furnished in regard to the continuing operation or condition of this machinery or any part thereof.
The Result of Analysis is only related to the sample analyzed.

Gambar 1. Contoh hasil pembacaan PAP

Measurement items	Condition	Unit	Standard value for new machine	Service limit value	
1. Engine	After starting engine				
	1-1 Engine speed (in DH mode)	Engine: Low idle	rpm	775 – 875	775 – 875
		Engine: High idle		1930 – 2030	1930 – 2030
		Engine: Full throttle		1680 – 1880	1680 – 1880
		Boom: Raise relief			
		Engine: Full throttle			
		Boom: Raise relief + Heavy lift: ON		1680 – 1880	1680 – 1880
	Auto-deceleration switch: ON Fuel control dial: Max. Control lever: Neutral	1300 – 1500	1300 – 1500		
	1-2 Blow-by pressure	At rated horsepower	kPa {mmAq}	Max. 2.94 {Max. 300}	Min. 5.88 {Min. 600}
	1-3 Engine lubricating oil pressure	Engine: Low idle (SAE10)	MPa {kg/cm ² }	Min. 0.08 {Min. 0.8}	Min. 0.06 {Min. 0.6}
		Engine: Low idle (SAE30)		Min. 0.08 {Min. 0.8}	Min. 0.06 {Min. 0.6}
		Engine: High idle (SAE30)		0.29 – 0.44 {3.0 – 4.5}	Min. 0.2 {Min. 2.0}
	1-4 Boost pressure	At rated horsepower	kPa {mmHg}	Min. 125.7 {Min. 950}	Limit is not set
1-5 Exhaust temperature	At all speed range	°C	Max. 700	Max. 750	
	Ambient temperature		20	20	

Gambar 2. Form of measurement items PPM

ATTENTION: 1. PASTIKAN PPM SETELAH TEMPERATUR KERJA KOMPONEN TERCAPAI 2. PASTIKAN PPM SETELAH SEMUA SAFETY DEVICE SUDAH DIPASTIKAN BERFUNGSI 3. TOOL PPM YANG RUSAK/ABNORMAL SEGERA INFOKAN KE GL TERKAIT AGAR SEGERA DI FOLLOW UP										
 MACHINE INSPECTION REPORT Form. No. POPD/17/F-012										
KOMATSU		Date :	Code Unit :	Location :	Doc. Validation :					
PC2000-8		HM :	Serial No :	Inspector :	GL Validation :					
		Engine Model :								
Operator opinion :										
ITEM	CONDITION	UNIT	STANDARD STD / PMS	CODE	ACTUAL	CORRECTION MADE / NOTE	RESULT			
Requirement Temperature										
Coolant Temp. (04107)	Working Temperature	°C	75 - 95	S1						
Oil Engine Temp. (42700)	Working Temperature	°C	85 - 115	S2						
Hydraulic oil temp. (04401)	Working Temperature	°C	45 - 55	S3						
Radiator & Fan Motor										
Upper Radiator Temperature	Working Temperature High Idle	°C	ΔT min 10°C	R1						
Lower Radiator Temperature	Working Temperature High Idle	°C		R2						
Oil Cooler fan motor	Speed (10004)	rpm	760	R3						
	Pressure (01134)	kg/cm ²	240 - 260	R4						
	Temperature	°C		R5						
Radiator Fan motor	Speed (10001)	rpm	840	R6						
	Pressure (01132)	kg/cm ²	240 - 260	R7						
	Temperature	°C		R8						
ENGINE										
Engine Speed (P MODE) (01002)	Low Idling	rpm	800 - 850	E1						
	High Idling		1955 - 2005	E2						
	Boom Raise relief		1680 - 1880	E3						
	Boom Raise Relief + Heavy Lift ON		1680 - 1880	E4						
	Auto Decel On + Fuel Control Dial Maximum		1300 - 1500	E5						
Blow-by Pressure (42800)	Boom Raise	mmHg	Max. 300 / Max. 600	E6						
Lub Oil Press. (37200)	Low Idling	kg/cm ²	Min. 0.8 / Min. 0.6	E7						
	High Idling		3 - 4.5 / Min. 2	E8						
Boost Press. LH (36500)	Boom Raise	mmHg	Min. 950/Min 850	E9						
	High Idling		-	E10						
	Acceleration		-	E11						
Boost Press. RH	Boom Raise	mmHg	Min. 950/Min 850	E12						
	High Idling		-	E13						
	Acceleration		-	E14						
Exhaust Gas Temp. LH	Ambient Temp. (37501)	°C	-	E15						
	Boom Relief		123 (42600)	E16	Max. 700 / Max 750					
			456 (42601)		Max. 700 / Max 750					
			123 (42608)		Max. 700 / Max 750					
Exhaust Gas Temp. RH			456 (42609)	E19	Max. 700 / Max 750					

Gambar 3. Formulir pengambilan data kinerja mesin di PT. Saptaindra Sejati

Tabel 1. Produk Keausan Menurut Sumber Komponen

Material	Komponen	Sub componen
Fe (besi)	Engine	Cylinder Wall (Liner), Block, Gear, Ring, Cylinder Head, Wrist, Pin, Valve Train, Bearing, Crankshaft, Oil Pump, Camshaft.
	Transmission	PTO, Gears, Housing, Disc, Bearing, Bend, Shift Spool, Brake, Pump.
	Differential	Gears, Shaft, Bearing, PTO, Housing.
	Planetary	Gear, Bearing, Shaft, Housing.
	Torque Converter	Housing, Shaft, Bearing.
	Hydraulic Power Steering	Vanes, Piston, Gear, Piston, Cylinder Bore and Rod, Bearing, pump Housing, Valve, Pump/Motor.
	Final Drive	Gear, Bearing, Housing, Shaft .
	Gear Box	Gear, Bearing, Shaft .
	Air Compressor	Piston Ring Cylinder, Crankshaft, Housing, Block, Screw, Shaft, Bearing, Oil Pump.
Cu (Tembaga)	Engine	Oil Pump, Wrist Pin Bushing, Cam Bushing, Bearing (Near Failure), Oil Cooler, Bushing, Valve Train, Governor.
	Transmission	Oil Cooler, Clutches, Bushing / Thrust, Steering Disc, Washer.
	Differential	Bushing, Oil Pump, Thrust Washer.
	Planetary	Thrust Washer, Bushing.
	Torque Converter	Thrust Washer, Bushing.
	Hydraulic Power Steering	Cylinder, Pump Piston, Gland Guide, Oil Cooler, Bushing, Pump Thrust Plate.
	Final Drive	Thrust Washer, Bushing.
	Gear Box	Thrust Washer, Bushing.
	Air Compressor	Thrust Washer, Wear Plate, Pin Bushing, Bushing, Wrist, Bearing (Recp).
Al (Aluminium)	Engine	Oil Pump Bushing , Piston, Bearing, Block, Bushing, Housing (Tipe Tertentu), Blower, Cam Bearing (Tipe Tertentu), Thrust Bearing.
	Transmission	Pump, Clutch (Tipe Tertentu), Bushing, Thrust Washer.
	Differential	Bushing Pump (Tipe tertentu), Thrust Washer.
	Torque Converter	Impeller, Pump (Tipe Tertentu), Turbine.
	Hydraulic Power Steering	Pump/Motor Housing Cylinde Gland (Tipe Tertentu)
	Final Drive	Thrust Washer, Oil Pump.
	Gear Box	Thrust Washer, Oil Pump (Tipe Tertentu), Bushing.
	Air Compressor	Housing, Block, Rotor, Bearing, Piston, Thrust Washer.
	Engine	Water Treatment (Tipe Tertentu), Liner, Ring, Roller/Tapper Bearing (Tipe Tertentu), Exhaust Valve.
Cr (Kromium)	Transmission	Water Treatment (Oil Cooler), Roller/Tapper Bearing.
	Differential	Taper / Roller Bearing (Oil Cooler).
	Torque Converter	Taper / Roller Bearing (Oil Cooler).
	Hydraulic Power Steering	Spool, Rod, Tapper Bearing / Roller (Tipe tertentu).
	Final Drive	Tapper / Roller Bearing (Tipe tertentu).
	Gear Box	Tapper / Roller Bearing (Tipe tertentu).
	Air Compressor	Ring, Water Treatment (Oil Cooler), Tapper / Roller Bearing (Tipe Tertentu).
	Engine	Bearing, Piston (Overlay), Bushing.
	Air Compressor	Bearing (Overlay), Piston (Overlay), Bushing.
Sn (Timah)	Engine	Octane Improver, Bearing, Gasoline.
	Transmission	Oil Additive (Tipe Tertentu).
	Differential	Oil Additive (Tipe Tertentu).
	Planetary	Oil Additive (Tipe Tertentu).
	Final Drive	Oil Additive (Tipe Tertentu).
	Gear Box	Oil Additive (Tipe Tertentu).
	Air Compressor	Bearing.
	Engine	External Dirt (Debu / Kotoran), Anti Foam Additive, Sealant.
	Transmission	Disc Lining.
Si (Silikon)	Differential	External Dirt (Debu / Kotoran).
	Torque Converter	External Dirt (Debu / Kotoran).
	Hydraulic Power Steering	Sealant (Tipe Tertentu), External Dirt (Debu / Kotoran).
	Final Drive	External Dirt (Debu / Kotoran).
	Gear Box	External Dirt (Debu / Kotoran).
	Air Compressor	External Dirt (Debu / Kotoran).
	Engine	External Dirt (Debu / Kotoran), Oil Additive (Tipe Tertentu), Road Salt, Anti Freeze.
	Transmission	External Dirt (Debu / Kotoran), Oil Additive, Road Salt, Anti Freeze.
	Differential	External Dirt (Debu / Kotoran).
Na (Sodium)	Planetary	External Dirt (Debu / Kotoran).
	Torque Converter	External Dirt (Debu / Kotoran), Oil Additive.
	Hydraulic Power Steering	External Dirt (Debu / Kotoran), Oil Additive, Sealant (Tipe Tertentu), Anti Freeze.
	Final Drive	External Dirt (Debu / Kotoran), Road Salt, Oil Additive.
	Gear Box	External Dirt (Debu / Kotoran), Oil Additive.
	Air Compressor	External Dirt (Debu / Kotoran), Anti Freeze, Oil Additive.
	Engine	Keausan pada body dan case tipe engine tertentu, Sebagai additive dalam pelumas (biasanya sebagai zat dispersant - detergent), Case dari accessory gear box tertentu.
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	
	Gear Box	
	Air Compressor	
	Engine	
	Transmission	
	Differential	
	Planetary	
	Torque Converter	
	Hydraulic Power Steering	
	Final Drive	

Material	Komponen	Sub componen
Ni (Nikel)		Guide Valve, Tipe bearing tertentu, dan Valve.
Ag (Silver)		Solder dengan perak di oil cooler tertentu, Tipe bearing tertentu.
Mo (Molybdenum)		Untuk lapisan penguas pada ring dan bearing tertentu
Br (Boron)		Sebagai zat Anti oksidasi, Anti keausan, Sebagai campuran dalam Minyak Rem, Grease, Cutting oil.
Ca (Kalsium)		Sebagai zat yang mampu menyerap asam, Zat Dispersant dan Detergent.
Ba (Barium)		Zat anti korosi, Anti Karat, Detergent.
Zn (Zink)		Zat Anti Korosi, Anti Oksidasi, Anti Keausan, Tahan Tekanan Tinggi (Extreeme Pressure), Detergent.
P (Fospor)		Zat yang mampu mengurangi endapan pada combustion chamber dan spark-plug, Zat Anti Karat,.
K (Potassium)		Coolant Additive

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil pengujian PPM

Sebagaimana dijelaskan pada metode, kedua obyek penelitian mengalami *schedule maintenance* yang sama sampai 18000 HM. Setelah 18000 HM, obyek dengan nomer lambung ex200-0034 tetap dilakukan pergantian oli pada interval 500 HM, sedangkan ex200-0051 dilakukan penggantian oli pada interval ujicoba 250 HM. Hasil PPM kedua obyek tersebut ditampilkan pada Gambar 4-7.

IDENTITY		REQ TEMPERATURE		
UNIT	HM PPM	COOLANT	ENG OIL	HYD OIL
		Temperature	Temperature	Temperature
EX200-0034	550	75	78	45
EX200-0034	1508	77	81	48
EX200-0034	2513	74	84	50
EX200-0034	3516	75	84	48
EX200-0034	4539	70	77	46
EX200-0034	5574	76	89	46
EX200-0034	6582	75	84	46
EX200-0034	7550	80	88	48
EX200-0034	8505	77	84	51
EX200-0034	9496	75	85	46
EX200-0034	10691	75	84	46
EX200-0034	11485	70	77	46
EX200-0034	12533	76	85	47
EX200-0034	13519	75	87	45
EX200-0034	14540	75	84	45
EX200-0034	15508	77	85	46
EX200-0034	16517	76	88	45
EX200-0034	17515	75	87	49
EX200-0034	18517	81	87	52
EX200-0034	19476	85	100	43
EX200-0034	20515	90	110	45
EX200-0034	21471	90	103	45
EX200-0034	22490	95	110	55
EX200-0034	23456	98	114	50

IDENTITY		REQ TEMPERATURE		
UNIT	HM PPM	COOLANT	ENG OIL	HYD OIL
		Temperature	Temperature	Temperature
EX200-0051	522	75	87	45
EX200-0051	1486	75	87	54
EX200-0051	2506	75	86	46
EX200-0051	3541	76	84	47
EX200-0051	4574	75	87	45
EX200-0051	5561	76	86	47
EX200-0051	6545	77	88	50
EX200-0051	7555	75	85	45
EX200-0051	8564	76	85	53
EX200-0051	9531	77	88	45
EX200-0051	10550	76	86	46
EX200-0051	11520	78	89	47
EX200-0051	12490	78	89	52
EX200-0051	13487	77	86	53
EX200-0051	14534	77	85	45
EX200-0051	15474	76	85	46
EX200-0051	16527	77	85	46
EX200-0051	17477	77	88	46
EX200-0051	18459	80	89	50
EX200-0051	19490	78	81	46
EX200-0051	20521	77	86	48
EX200-0051	21474	77	88	53
EX200-0051	22488	76	89	47
EX200-0051	23606	76	90	55
EX200-0051	24513	85	107	42
EX200-0051	25469	89	110	45
EX200-0051	26515	90	113	45

Gambar 4. Hasil PPM untuk *requirement temperature*

Standar *requirement temperature* untuk *coolant* 75-95°C, *engine oil temperature* 85-115°C, dan *hydraulic oil temperature* 45-55°C. Pada unit ex200-0034 ditemukan kenaikan *trend coolant temperature* di 18517 HM sampai 23456 HM hingga mencapai 98°C. Hal tersebut menandakan ada permasalahan pada *cooling system*. *Engine oil temperature* juga mengalami kenaikan yang tinggi sejak 18517 HM hingga mendekati batas yang ditentukan Komatsu. *Hydraulic oil temperature* masih dalam kategori normal meskipun pernah mencapai angka batas yaitu 55°C namun mengalami penurunan di HM berikutnya. Sementara itu seluruh data pada unit ex200-0051 berada pada batas standar meski ditemukan *trend* kenaikan *coolant temperature* dan *engine oil temperature* dari 25469 HM sampai 26515 HM. Hal ini memerlukan pengamatan lebih lanjut terkait penyebabnya, terlebih mengingat umur *engine* yang sudah melebihi batas pakainya. Pemahaman terhadap penyebab kenaikan temperatur tersebut akan bisa dijadikan acuan sistem perawatan pada unit-unit yang lebih muda.

IDENTITY		ENGINE AREA				
UNIT	HM PPM	Eng Speed				
		Low Idling	High Idling	Boom Raise relief	Boom Raise Relief + Heavy Lift ON	Auto Decel On + Fuel Control Dial Maximum
EX200-0034	550	820	1959	1740	1760	1395
EX200-0034	1508	824	1963	1740	1769	1395
EX200-0034	2513	820	1961	1733	1743	1393
EX200-0034	3516	820	1961	1733	1755	1395
EX200-0034	4539	800	1961	1790	1720	1393
EX200-0034	5574	826	1958	1781	1785	1397
EX200-0034	6582	822	1975	1735	1754	1395
EX200-0034	7550	820	1960	1727	1731	1395
EX200-0034	8505	821	1962	1731	1753	1395
EX200-0034	9496	795	1960	1720	1731	1394
EX200-0034	10691	814	1955	1745	1711	1396
EX200-0034	11485	800	1961	1730	1720	1393
EX200-0034	12533	812	1960	1780	1782	1395
EX200-0034	13519	829	1951	1730	1746	1400
EX200-0034	14540	814	1957	1765	1780	1396
EX200-0034	15508	819	1958	1768	1705	1396
EX200-0034	16517	819	1958	1701	1706	1394
EX200-0034	17515	830	1954	1708	1724	1390
EX200-0034	18517	820	1955	1756	1701	1394
EX200-0034	19476	820	1943	1750	1722	1394
EX200-0034	20515	821	1959	1721	1742	1395
EX200-0034	21471	821	1959	1721	1742	1395
EX200-0034	22490	819	1957	1710	1725	1390
EX200-0034	23456	821	1964	1715	1725	1395

IDENTITY		ENGINE AREA				
UNIT	HM PPM	Eng Speed				
		Low Idling	High Idling	Boom Raise relief	Boom Raise Relief + Heavy Lift ON	Auto Decel On + Fuel Control Dial Maximum
EX200-0051	522	821	1963	1745	1768	1394
EX200-0051	1486	822	1966	1750	1712	1396
EX200-0051	2506	820	1966	1765	1713	1396
EX200-0051	3541	821	1963	1748	1767	1392
EX200-0051	4574	821	1963	1745	1768	1394
EX200-0051	5561	821	1962	1763	1760	1394
EX200-0051	6545	820	1962	1721	1741	1395
EX200-0051	7555	820	1958	1758	1777	1395
EX200-0051	8564	821	1960	1733	1772	1394
EX200-0051	9531	820	1964	1755	1781	1395
EX200-0051	10550	823	1961	1781	1725	1395
EX200-0051	11520	821	1965	1748	1765	1394
EX200-0051	12490	821	1960	1744	1764	1394
EX200-0051	13487	820	1963	1786	1780	1395
EX200-0051	14534	820	1966	1755	1770	1394
EX200-0051	15474	820	1960	1781	1783	1400
EX200-0051	16527	820	1962	1767	1790	1399
EX200-0051	17477	820	1960	1787	1783	1394
EX200-0051	18459	820	1960	1780	1780	1395
EX200-0051	19490	820	1960	1700	1740	1393
EX200-0051	20521	820	1960	1782	1792	1395
EX200-0051	21474	820	1955	1780	1785	1393
EX200-0051	22488	819	1952	1780	1755	1392
EX200-0051	23606	817	1951	1725	1774	1390
EX200-0051	24513	820	1953	1741	1747	1396
EX200-0051	25469	820	1957	1714	1757	1392
EX200-0051	26515	820	1963	1708	1717	1394

Gambar 5. Hasil PPM untuk *engine speed*

Standar *engine speed* untuk kondisi *low idling* 775 - 875 rpm, *high idling* 1930 - 2030 rpm, *boom raise relief* 1680 - 1880 rpm, *boom raise relief + heavy lift on* 1680 - 1880 rpm, dan *auto decel on + fuel control dial maximum* 1300 - 1500 rpm. Hasil pemeriksaan untuk kedua unit berada dalam rentang standar sehingga bisa dinyatakan dalam kondisi baik hingga masa pakai berakhir dengan *overhaul*.

IDENTITY		ENGINE AREA								
UNIT	HM PPM	BlowBy	Lub Oil Press		Boost Press LH			Boost Press RH		
		Boom Raise	Low Idling	High Idling	Boom Raise	High Idling	Acceleration	Boom Raise	High Idling	Acceleration
EX200-0034	550	142	2.5	5	1428	856	859	1428	856	859
EX200-0034	1508	163	2.5	4.4	1462	840	847	1462	840	847
EX200-0034 ¹	2513	133	2.4	4.7	1448	840	848	1448	840	848
EX200-0034	3516	132	2.3	4.5	1497	860	861	1497	860	861
EX200-0034	4539	123	2.4	4.9	1463	855	855	1463	855	855
EX200-0034	5574	120	2.3	4.9	1398	809	860	1398	809	860
EX200-0034	6582	128	2.3	4.5	1497	865	861	1497	865	861
EX200-0034 ¹	7550	135	2.4	4.5	1397	836	853	1397	836	853
EX200-0034	8505	110	2.3	4.8	1413	844	866	1413	844	866
EX200-0034	9496	140	2.4	4.9	1432	827	848	1432	827	848
EX200-0034	10691	160	2.4	4.7	1392	809	850	1392	809	850
EX200-0034	11485	123	2.4	4.9	1463	855	855	1463	855	855
EX200-0034	12533	130	2.5	4.8	1507	853	849	1507	853	849
EX200-0034	13519	180	2.3	4.7	1398	845	870	1398	845	870
EX200-0034	14540	200	2.4	4.7	1388	836	858	1388	836	858
EX200-0034	15508	230	2.3	5.1	1356	834	843	1356	834	843
EX200-0034	16517	200	2.3	4.8	1390	847	850	1390	847	850
EX200-0034	17515	217	2.3	4.8	1413	861	844	1413	861	844
EX200-0034 ¹	18517	211	2.2	4.6	1375	831	858	1375	831	858
EX200-0034	19476	256	2.3	4.9	1375	831	839	1375	831	839
EX200-0034	20515	262	1.8	3.5	1365	853	845	1365	853	845
EX200-0034	21471	280	2	3.3	1365	853	862	1365	853	862
EX200-0034	22490	310	2.1	3.1	1380	855	852	1380	855	852
EX200-0034	23456	350	1.5	3.3	1452	859	849	1452	859	849

IDENTITY		ENGINE AREA								
UNIT	HM PPM	BlowBy	Lub Oil Press		Boost Press LH			Boost Press RH		
		Boom Raise	Low Idling	High Idling	Boom Raise	High Idling	Acceleration	Boom Raise	High Idling	Acceleration
EX200-0051	522	122	2.1	4.3	1390	832	820	1390	832	820
EX200-0051	1486	125	2.2	4.7	1383	840	843	1383	840	843
EX200-0051	2506	125	2.1	4.4	1422	867	867	1422	867	867
EX200-0051	3541	122	2.3	4.8	1412	848	855	1412	848	855
EX200-0051	4574	122	2.1	4.3	1390	832	820	1390	832	820
EX200-0051	5561	125	2.4	4.8	1405	871	875	1397	871	875
EX200-0051	6545	120	2.3	4.8	1402	859	860	1402	859	860
EX200-0051	7555	110	2.6	5	1408	861	861	1408	861	861
EX200-0051	8564	115	2.2	4.7	1406	812	872	1406	812	872
EX200-0051	9531	110	2.2	4.6	1464	849	853	1464	849	853
EX200-0051	10550	130	2.2	4.7	1391	856	871	1391	856	871
EX200-0051	11520	125	2.1	4.5	1454	823	862	1454	823	862
EX200-0051	12490	124	2.5	5.1	1471	809	845	1471	809	845
EX200-0051	13487	120	2.4	4.9	1398	842	863	1398	842	863
EX200-0051	14534	125	2.2	4.7	1407	833	844	1407	833	844
EX200-0051	15474	130	2.7	5.2	1400	858	870	1400	858	870
EX200-0051	16527	130	2.1	4.7	1397	839	837	1397	839	837
EX200-0051	17477	125	2.2	5.2	1462	843	849	1462	843	849
EX200-0051	18459	130	2.4	5	1324	839	862	1324	839	862
EX200-0051	19490	130	2.2	4.7	1326	852	838	1326	852	838
EX200-0051	20521	130	2.6	5.1	1458	856	848	1458	856	848
EX200-0051	21474	125	3.4	5.2	1473	852	839	1473	852	839
EX200-0051	22488	130	2.3	5.1	1439	852	847	1439	852	847
EX200-0051	23606	130	2.2	5.1	1380	861	835	1380	861	835
EX200-0051	24513	134	2.1	4.7	1476	856	840	1476	856	840
EX200-0051	25469	140	2.2	4.8	1423	878	867	1423	878	867
EX200-0051	26515	150	1.9	4.3	1391	839	853	1391	839	853

Gambar 6. Hasil PPM untuk *blow by*, *lub oil pressure*, *boost pressure*

Standar tekanan oli pelumas untuk kondisi *blow by* saat *boom raise* maksimal 300 mmAq, *low idling* minimal 0,8 kg/cm², *high idling* minimal 3 kg/cm², dan *boost pressure* minimal 950 mmHg. Pemeriksaan pada unit ex200-0034 ditemukan *trend* hingga melebihi batas (310 mmAq) di 22490 HM dan kembali naik di HM berikutnya. Hal tersebut menandakan adanya indikasi kebocoran kompresi di dalam *crankcase v-engine*. *Lubricating oil pressure* mengalami penurunan namun masih masuk dalam *standard*, sementara *boost pressure LH (left hand)* dan *RH (right hand)* didapatkan hasil normal. Untuk unit ex200-0051 hasil pemeriksaan seluruhnya baik.

IDENTITY		ENGINE AREA				
UNIT	HM PPM	Amb	Exhaust Temp LH		Exhaust Temp RH	
		Ambient Temperature	123	456	123	456
EX200-0034	550	28	548	562	551	553
EX200-0034	1508	27	544	561	551	551
EX200-0034	2513	26	562	572	565	567
EX200-0034	3516	26	562	569	576	570
EX200-0034	4539	28	519	525	530	514
EX200-0034	5574	28	571	570	564	572
EX200-0034	6582	27	564	567	576	577
EX200-0034	7550	26	523	530	544	535
EX200-0034	8505	26	539	532	535	539
EX200-0034	9496	27	558	564	554	560
EX200-0034	10691	28	562	560	565	578
EX200-0034	11485	28	509	525	530	514
EX200-0034	12533	26	544	530	540	546
EX200-0034	13519	27	550	545	555	551
EX200-0034	14540	29	572	560	565	578
EX200-0034	15508	29	545	554	556	548
EX200-0034	16517	24	502	506	511	510
EX200-0034	17515	28	512	523	528	523
EX200-0034	18517	26	544	550	562	550
EX200-0034	19476	26	546	538	537	532
EX200-0034	20515	27	548	562	558	549
EX200-0034	21471	27	551	560	558	550
EX200-0034	22490	27	508	519	518	515
EX200-0034	23456	26	567	554	557	562

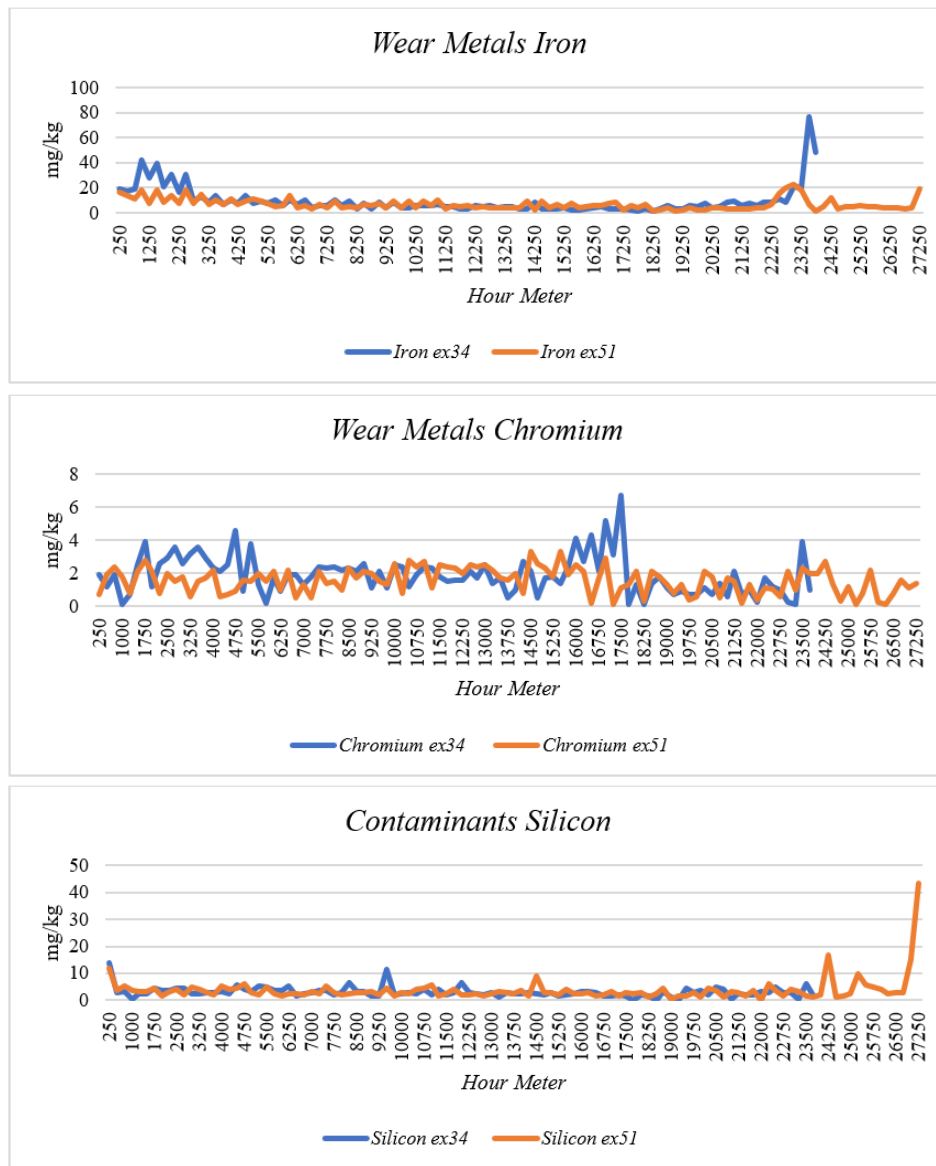
IDENTITY		ENGINE AREA				
UNIT	HM PPM	Amb	Exhaust Temp LH		Exhaust Temp RH	
		Ambient Temperature	123	456	123	456
EX200-0051	522	30	519	528	515	518
EX200-0051	1486	27	563	563	552	558
EX200-0051	2506	29	567	575	564	565
EX200-0051	3541	26	556	560	544	647
EX200-0051	4574	30	519	528	515	518
EX200-0051	5561	28	538	523	535	528
EX200-0051	6545	28	558	561	555	565
EX200-0051	7555	26	538	545	529	542
EX200-0051	8564	31	533	540	539	544
EX200-0051	9531	30	515	532	520	509
EX200-0051	10550	30	564	569	560	553
EX200-0051	11520	34	566	560	549	553
EX200-0051	12490	26	529	535	521	537
EX200-0051	13487	33	535	535	519	527
EX200-0051	14534	28	546	566	548	565
EX200-0051	15474	26	525	535	527	539
EX200-0051	16527	29	562	563	563	562
EX200-0051	17477	26	546	555	544	552
EX200-0051	18459	29	544	546	532	538
EX200-0051	19490	28	547	554	538	545
EX200-0051	20521	25	567	559	560	563
EX200-0051	21474	30	569	558	558	560
EX200-0051	22488	28	570	517	555	515
EX200-0051	23606	28	630	534	560	528
EX200-0051	24513	27	628	566	578	562
EX200-0051	25469	29	656	543	677	541
EX200-0051	26515	27	672	556	664	558

Gambar 7. Hasil PPM untuk *ambient temperature*, *exhaust temperature* LH dan RH

Standar temperatur *engine* adalah maksimal 700°C. Hasil pemeriksaan pada kedua unit menunjukkan angka di bawah batas maksimal dan bisa dinyatakan dalam kondisi baik. Namun pada unit ex200-0051 ditemukan *trend* kenaikan temperatur pada *cylinder LH no 123* mulai 23606 HM dan diikuti oleh *cylinder RH no 123* mulai 25469 HM. Kondisi ini perlu dicari penyebabnya untuk acuan standar perawatan pada unit-unit berikutnya.

3.2. Hasil pengujian PAP

Rekaman data PAP sejak 0 HM hingga diputuskan untuk *overhaul* pada unit pengamatan dilakukan untuk semua produk keausan sebagaimana ditunjukkan Tabel 1 (25 grafik – tersedia jika diminta). Namun demikian, rekaman yang ditunjukkan pada artikel ini hanya untuk produk-produk yang menunjukkan penyimpangan data saja, sebagai contoh analisis studi kasus.



Gambar 8. Contoh hasil PAP untuk *wear metal* dan kontaminan

Secara umum, seluruh grafik rekaman hasil PAP untuk kedua unit pengamatan mengikuti pola sebagaimana tampak pada Gambar 8. Nilai-nilai pengukuran berada pada batas aman sebagaimana ditetapkan standar perawatan. Kedua unit menunjukkan pola hasil pengukuran yang mayoritas identik, dimana angka-angka pengukuran pada unit ex200-0051 rata-rata lebih kecil dari ex200-0034. Terminasi *overhaul* untuk unit ex200-0051 lebih panjang dari ex200-0034. Yang menarik untuk dicermati adalah ada beberapa jenis *wear metal* dan kontaminan yang menunjukkan lonjakan di awal dan akhir masa operasi unit (Gambar 8 atas), pola pengukuran dinamik (Gambar 8 tengah), atau lonjakan insidental pada HM tertentu (Gambar 8 bawah). Kondisi tersebut mengindikasikan gambaran kondisi operasional abnormal. Kondisi-kondisi tersebut perlu didokumentasi sebagai bahan acuan penetapan standar perawatan baku. Sayangnya tidak ada catatan tentang kondisi operasional harian untuk bahan analisis lanjutan.

3.3. Pembahasan

Maintenance memiliki peran penting dalam perawatan peralatan atau mesin, namun dalam pelaksanaannya dibutuhkan analisis terhadap berjalannya sebuah sistem di perusahaan. Yanti (2015) meneliti tentang *preventive maintenance* dengan metode *modularity design*. Penelitian ini merujuk pada pengurangan perbaikan komponen di hari yang sama dengan waktu yang hampir bersamaan, dengan tujuan untuk menghemat biaya dan waktu. Ansyari (2023) juga meneliti tentang *maintenance optimization* pada komponen alat berat di sektor pertambangan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui interval waktu yang tepat dalam melakukan perawatan agar didapat biaya yang paling rendah. Hasil penelitiannya menggunakan analisis distribusi Weibull mendapatkan temuan bahwa *maintenance* akan lebih murah dan lebih baik jika dilakukan sebagai tindakan *preventive*. Penelitian Ramadhania (2018) menunjukkan bahwa jumlah biaya penggantian *preventive* dan biaya *preventive maintenance* inspeksi lebih kecil dibanding biaya *existing maintenance*, sehingga bisa dimanfaatkan sebagai rekomendasi perbaikan. Selain itu terdapat penelitian yang menggunakan metode TPM (*Total Productive Maintenance*) untuk meneliti efektifitas perawatan alat berat di PT. United Tractors Pekanbaru. Penelitian tersebut mendapatkan hasil angka *availability*, *performance efficiency*, *rate off quality product* dan angka OEE, yang menunjukkan bahwa manajemen perawatan telah berjalan secara efektif (Lestari, 2022). Siregar, Kindangen, dan Palandeng (2022) menyampaikan bahwa hasil evaluasi pemeliharaan mesin dan peralatan produksi yang dilakukan PT. Multi Nabati Sulawesi (MNS) Kota Bitung mendapatkan hasil yang memuaskan karena proses *maintenance* sudah terlaksana sesuai dengan prosedur yang ada, namun beberapa kali masih menemui kendala dalam pelaksanaannya, khususnya untuk keterbatasan *parts* yang tersedia dan tenaga ahli yang masih kurang.

Di sisi lain, *engine* harus memiliki performa yang baik untuk menjaga kinerja operasional terutama pada alat berat. Purwono dan Djunaedi (2011) bahkan meneliti performa *engine* KOMATSU SA12V140-1 yang telah dilakukan *overhaul*. Pemeriksaan terdiri dari torsi, tenaga dan biaya yang dibutuhkan. Selain itu juga terdapat penelitian yang membahas tentang meningkatnya konsumsi bahan bakar, kebutuhan spesifik bahan bakar, daya *engine*, torsi *engine*, efektivitas daya yang dikeluarkan oleh *engine* komatsu PC200-8 (Ruslan dan Lazuardy, 2018). Hasil penelitian menunjukkan bahwa putaran mesin sangat mempengaruhi perubahan nilai laju konsumsi bahan bakar, torsi mesin, kebutuhan spesifik bahan bakar, daya mesin, dan daya efektif mesin. Selain itu mesin juga akan bekerja lebih optimal ketika mendapatkan beban dibandingkan tanpa beban. Performansi mesin juga bisa dilihat dari kualitas pelumasannya. Menurut Wijaya, Vitayala, dan Gaffara (2020), keausan *inner part* pada *engine* diesel HD 785 disebabkan oleh berubahnya sifat pelumas. Penelitian ini menyarankan penggunaan oli pelumas yang lebih cocok dengan *engine* dan perlunya acuan dalam penggantian pelumas tepat waktu, untuk dapat meningkatkan umur *engine*, juga mengurangi perbedaan performa sebelum dan sesudah dilakukan *overhaul*. Demmatacco, Soeparman dan Soenoko (2013) menyampaikan hasil penelitian tentang metode memaksimalkan sistem pemeliharaan dan perbaikan terencana alat produksi berdasarkan analisis keandalan pada PLTD Hatiwe Kecil kota Ambon. Ditemukan bahwa komponen yang bersifat kritis adalah *exhaust valve housing*, *gasket*, *exhaust valve*, *cylinder head*, dan *inlet valve*. Penggantian dilakukan sesuai dengan interval yang telah ditentukan mengikuti metode *RCM Decission Worksheet*. Pada aspek bahan bakar, Haryono dan Nolandy (2019) meneliti pemanfaatan *crude oil* atau minyak mentah menjadi bahan bakar mesin. Bahan bakar tersebut menghasilkan kandungan jelaga hasil pembakaran di dalam *oil pan*, sejumlah gas *blow by*, viskositas oli yang menurun, dan keausan pada dinding silinder dan ring piston. Namun berdasarkan hasil analisa kondisi pelumas bekas, penyebab penurunan performa mesin bukan karena sistem pelumasan yang bermasalah akan tetapi disebabkan saluran bahan bakar yang tersumbat.

Penelitian-penelitian di atas menunjukkan hasil yang positif terhadap *preventive maintenance* dari segi efektifitas dan biaya, namun belum ditemukan adanya pengujian terkait *schedule maintenance* secara spesifik terkait penggantian oli. *Performance test* dan pemeriksaan kondisi pelumas secara rutin juga memiliki potensi sebagai acuan metode perawatan mesin. Kebaruan dari penelitian ini adalah penyatuan *schedule maintenance* penggantian oli dan filter oli *engine* dengan *performance test* dan analisa kondisi pelumas untuk diambil sebagai acuan penilaian *engine*. Analisa kondisi pelumas dimanfaatkan untuk mengamati kondisi keausan *part* di dalam *engine* dan *performance test* akan dimanfaatkan untuk menjaga produktifitas *engine*. Nilai positif yang didapat dari kebaruan penelitian ini adalah metode yang digunakan bisa diterapkan pada jenis *engine* lain dan pelumas yang berbeda.

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa tindakan mengubah interval pergantian oli dan filter oli dari 500 HM menjadi 250 HM menghasilkan kinerja *engine* yang lebih baik di semua parameter kinerja, baik untuk tindakan PPM maupun PAP. Umur operasional unit yang menggunakan interval penggantian oli 250 HM lebih panjang 15%. Temuan ini bisa digunakan untuk menghasilkan *standard* dan metode *maintenance* baru untuk diterapkan perusahaan, khususnya di PT. Saptaindra Sejati. Kelemahan dari penelitian ini adalah tidak adanya rekaman data tentang kondisi operasional pembebanan *engine* yang bisa digunakan untuk menjelaskan fenomena-fenomena perubahan pola pada grafik PAP. Ini menjadi rekomendasi untuk penelitian berikutnya.

4. KESIMPULAN

Hasil pengujian pada *excavator* ex200-0034 yang dilakukan *schedule maintenance* penggantian oli dan filter oli *engine* setiap interval 500 HM mampu bertahan sampai 23760 HM dengan beberapa temuan di dalamnya. Temuan penurunan kondisi *engine* hingga melebihi *standard* terjadi pada 22490 HM. *Engine* masih tetap dioperasikan dengan pertimbangan hasil PAP yang masih normal. Jika perusahaan ingin menjaga performa *engine* tetap dalam kondisi baik maka *overhaul* harus dilakukan sebelum mencapai 22490 HM.

Hasil pengujian pada *excavator* ex200-0051 yang dilakukan *schedule maintenance* khusus dengan penggantian oli dan filter oli *engine* setiap 250 HM setelah melebihi 18000 HM mampu bertahan sampai 27320 HM dengan beberapa temuan di dalamnya. Temuan penurunan kondisi *engine* hingga mendekati batas *standard* terjadi pada 26515 HM. *Engine* masih tetap dioperasikan dengan pertimbangan hasil PAP yang masih normal dan semakin memburuk ketika memasuki 27320 HM. Jika perusahaan ingin menjaga performa *engine* tetap dalam kondisi baik dan memperkecil potensi kerusakan *part* maka *overhaul* harus dilakukan sebelum mencapai 26515 HM.

DAFTAR PUSTAKA

- Ansyari, I. (2023). *Analisis Maintenance Optimization Pada Komponen Alat Berat Di Sektor Pertambangan*. Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Demmatacco, F., Soeparman, S., & Soenoko, R. (2013). Optimalisasi Sistem Perawatan Dan Perbaikan Terencana Mesin Produksi Berdasarkan Analisis Keandalan Pada Pltd Hatiwe Kecil Kota Ambon. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 4(2), 141–146.
- Fithri Prima. (2010). *Optimasi Preventive Maintenance Dan Penjadwalan Penggantian Komponen Mesin Kompresor Dengan Menggunakan Mixed Integer Non Linier Programming Dari Kamran*.
- Haryono, I., & Noland, H. (2019). Analisa Pelumas Bekas Pada Uji *Engine* Berbahan Bakar Minyak Mentah (Crude Oil). *Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri*.
- Komatsu. (N.D.-A). *Shop Manual Engine Saa12v140e-3 Series*. Komatsu Indonesia.
- Komatsu. (N.D.-B). *Shop Manual Hydraulic Excavator Pc2000-8 (Sn 20001 And Up, Vol. 03)*. Komatsu Indonesia.
- Komatsu. (2023). *Pc2000-8*. <http://www.komatsu.co.id/page/61/pc2000-8>.
- Lestari, K. I. (2022). *Evaluasi Manajemen Pemeliharaan (Maintenance) Alat Berat Pada Pt United Tractors Di Pekanbaru*.
- Maryulina, A. (2010). *Analisis Pemeliharaan Mesin Produksi Pada Pt. P&P Bangkinang Di Desa Simalinyang*.
- Mas'ud, A. S. (2016). *Tugas Akhir Manajemen Pemeliharaan Mesin Copymilling Dengan Menerapkan Total Productive Maintenance (Tpm) Di Inter Metal Technology*.
- Plant People Development. (2009). *Basic Program Analisa Pelumas*.
- Plant People Development. (2010). *Panduan Analisa Problem Program Analisa Pelumas*.
- Plant People Development. (2013). *Ppm Excellent Maintenance*.
- Purwono, H., & Djunaedi, T. (2011). Pengujian Dan Perhitungan Performa Mesin Komatsu Sa12v140-1 Setelah Proses Remanufacturing. *Sintek*, 10(2).
- Ramadhania, C. (2018). *Penentuan Preventive Maintenance (Pm) Optimal Pada Peralatan Lease (Studi Kasus Di Pt Trakindo Utama Surabaya)*.
- Ruslan, W., & Lazuardy, I. (2018). *Analisis Kinerja Dan Performansi Mesin Excavator Pc200-8 Komatsu*.
- Siregar, C. T. N., Kindangen, P., & Palandeng, I. D. (2022). Evaluasi Pemeliharaan Mesin Dan Peralatan Produksi Pt. Multi Nabati Sulawesi (Mns) Kota Bitung. *Emba*, 10, 428–435.
- Wijaya, L. T., Vitayala, A. I., & Gaffara, G. R. (2020). Analisis Kehausan Inner Part Engine Diesel Hd 785. *Jurnal Inovasi*, 16(2).
- Yanti, V. T. (2015). *Penerapan Preventive Maintenance Dengan Menggunakan Metode Modularity Design Pada Mesin Goss Di Pt. Abc*.