

ANALISA KERUSAKAN PISTON MESIN DIESEL POMPA BANJIR DAN OPTIMASI SISTEM MANAJEMEN PEMELIHARAAN

¹⁾Mochamad Sugiri, ²⁾DN. Adnyana

^{1,2)}Magister Teknik Mesin, Institut Sains Dan Teknologi Nasional Jakarta,
email: sugiri.moch@gmail.com
email: dnadnyana@gmail.com

ABSTRAK

Untuk mengatasi banjir di Jakarta, Dinas Sumber Daya Air DKI Jakarta menyiagakan 144 (seratus empat puluh empat) rumah pompa yang melintasi kali Ciliwung. Selain menyiagakan rumah-rumah pompa, DKI Jakarta juga menyiapkan 133 (seratus tiga puluh tiga) pompa *portable (mobile)* yang tersebar di 5 (lima) wilayah kota administratif. Dari informasi yang diperoleh diketahui bahwa bulan Januari 2018 telah terjadi kerusakan pada piston mesin diesel 1103 Series, penggerak Generator 50 kVA, 36 kW yang beroperasi di pompa banjir wilayah Jakarta. Diidentifikasi faktor penyebab kerusakan adalah diawali adanya indikasi temperatur tinggi pada dinding silinder yang mengakibatkan piston tidak bergerak (*stuck*) akibat dari kurangnya pelumasan dalam *cylinder block*. Penelitian ini akan mengidentifikasi faktor penyebab kerusakan yang terjadi pada mesin diesel pompa banjir di Jakarta Barat, menganalisa kerusakan piston mesin diesel pompa banjir, menentukan tindakan pencegahan dan menentukan teknik pemeliharaan untuk menghindari kerusakan yang sama pada piston mesin diesel pompa banjir tersebut, & menganalisa sistem manajemen pemeliharaan yang diterapkan pada mesin diesel tersebut. Penelitian ini menggunakan metodologi penelitian kualitatif dengan proses tahapan pengujian: makroskopik, metalografi, analisa komposisi kimia, kekerasan, SEM (*Scanning Electron Macroscopy*) yang dilengkapi dengan analisa EDXS (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*), oli bekas (*Schedule Oil Sampling*).

Dari hasil pembahasan, diperoleh faktor penyebab kerusakan piston mesin diesel pompa banjir yang sangat berpengaruh, dengan dilakukannya pengujian: 1) metalografi diperoleh struktur mikro piston berupa aluminium *dendrite* yang menandakan piston mengalami *local melting* yang mengakibatkan *local overheating*; 2) viskositas (kekentalan) oli bekas didapat: TBN (Total Base Number) pada oli sedikit rendah, oksidasi sedikit di atas normal karena pembakaran yang kurang sempurna, adanya kenaikan (selisih) pada unsur Fe dan Cu pada oli bekas yaitu sebesar 9 ppm dan 3 ppm, di mana jika kandungan Fe > akan mengakibatkan kerusakan *Liner Cylinder Block* & piston & apabila Cu > akan mengakibatkan kerusakan pada bearing.

Dari hasil penelitian ini perlu adanya optimasi sistem manajemen pemeliharaan yaitu: 1) melaksanakan *Standard Operation Procedure* mesin diesel (Pemeriksaan: bahan bakar, air radiator, air ACCU, oli mesin, kabel R-S-T-N, kabel ACCU, dan lain-lain); 2). melakukan pemeliharaan prediktif terhadap komponen mesin diesel (Pemeliharaan sistem: aliran bahan bakar, pelumasan, udara masuk dan buang, pendinginan, *starting system*); 3). melakukan pemeliharaan preventif (pemeriksaan: *daily*, 250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000, 8000 dan 12000 jam).

Kata Kunci : Kerusakan, Pompa, Mesin Diesel, Piston, Viskositas, Manajemen Pemeliharaan.

ABSTRACT

To overcome the floods in Jakarta, DKI Jakarta's Water Resources Service alerted 144 (one hundred forty four) pump houses that crossed the Ciliwung River. In addition to alerting the pump houses, DKI Jakarta also prepared 133 (one hundred thirty three) portable (mobile) pumps spread over 5 (five) administrative cities. From the information obtained it is known that in January 2018 there was damage to the 1103 Series diesel engine piston, 50 kVA Generator drive, 36 kW operating in the Jakarta flood pump. Identified factors causing failure are preceded by a high temperature indication on the cylinder wall which causes the piston to be stuck due to lack of cylinder block lubrication. This study will identify the factors causing damage to the diesel engine flood pump in West Jakarta, analyzing the failure to the piston engine diesel flood pump, determines precautionary measures and determines maintenance techniques to avoid the same damage to the flood pump diesel engine piston, & analyzes the maintenance management system applied to the diesel engine. This study uses qualitative research methodology with the process of testing stages: macroscopic, metallographic, chemical composition analysis, hardness, SEM (*Scanning Electron Macroscopy*) which is equipped with EDXS (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) analysis, Schedule Oil Sampling.

From the results of the discussion, it was found that the factors causing the piston diesel engine failure to the flood pump were very influential, by testing: 1) metallography obtained by the piston microstructure in the form of aluminum dendrite which indicated that the piston had local melting which resulted in local overheating; 2). viscosity (viscosity) of used oil

Seminar Nasional Riset dan Teknologi, Jakarta 13 Oktober 2018

is obtained: TBN (Total Base Number) on oil is a little low, oxidation is slightly above normal because of incomplete combustion, there is an increase (difference) in the elements of Fe and Cu in used oil that is 9 ppm and 3 ppm, where if the Fe > content will cause damage to the Cylinder Block Liner & piston & if Cu > will cause failure to the bearing. From the results of this research, it is necessary to optimize the maintenance management system, namely: 1) implementing a Standard Operation Procedure for diesel engines (Inspection: fuel, radiator water, ACCU water, engine oil, R-S-T-N cable, ACCU cable, etc.); 2) perform predictive maintenance of diesel engine components (System maintenance: fuel flow, lubrication, air intake and exhaust, cooling, starting system); 3) do preposterous maintenance (inspection: daily, 250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000, 8000 and 12000 hours).

Keywords: Failure, Pumps, Diesel Engines, Piston, Viscosity, Maintenance Management.

PENDAHULUAN

Latar Belakang Permasalahan Penelitian

Untuk mengatasi banjir di Jakarta, Dinas Sumber Daya Air DKI Jakarta menyiapkan 144 (seratus empat puluh empat) rumah pompa yang melintasi kali Ciliwung. Selain menyiapkan rumah-rumah pompa, DKI Jakarta juga menyiapkan 133 (seratus tiga puluh tiga) pompa portabel (*mobile*) yang tersebar di 5 (lima) wilayah kota administratif (sumber: republik.co.id). Pompa portabel (*mobile*) dengan sumber listrik dari mesin diesel (*generator set*), berfungsi untuk memompa genangan air di saluran kota dan dibuang ke laut. Pompa portabel ini dilengkapi dengan mobil dan *generator set* yang dapat di bawa ke area banjir. Kapasitas pompa banjir portabel yaitu 200 liter per detik dengan tipe *submersible* (celup langsung ke air), membutuhkan daya sebesar 16 kW (20 Hp). Untuk menghidupkan satu unit pompa portabel ini dibutuhkan generator set sebesar 50 kVA (36 kW). Mengingat banyaknya jumlah pompa portabel di DKI Jakarta maka diperlukan satu tim khusus dari Suidin Tata Air untuk merawat (*manintenance*), menghidupkan pompa saat hujan tiba, dan melakukan perbaikan (*repair*) jika terjadi kerusakan agar pompa dapat selalu siap (*ready*).

Dari informasi yang diperoleh diketahui bahwa pada bulan Januari 2018 telah terjadi kerusakan pada piston pada mesin diesel 1103 Series, penggerak Generator 50 kVA, 36 kW yang beroperasi di pompa banjir wilayah Jakarta Barat. Diidentifikasi faktor penyebab kerusakan adalah diawali adanya indikasi temperatur tinggi pada dinding silinder yang mengakibatkan piston tidak bergerak (*stuck*). Sebelum kerusakan unit beroperasi dengan normal dari parameter *water temperatur, oil pressure, fuel pressure*. Mesin Diesel sejenis juga terdapat pada 4 (empat) lokasi lain di Jakarta dengan jumlah total di Jakarta 10 unit, sehingga kerusakan yang sama perlu dihindari/dimitigasi karena itulah penelitian ini perlu dilakukan.

Untuk itu peneliti perlu melakukan analisa kerusakan untuk mengetahui penyebab terjadinya kerusakan mesin diesel tersebut, serta evaluasi data pemeliharaan yang telah dilakukan selama ini, untuk dilakukan langkah-langkah pencegahan agar dikemudian hari tidak terjadi kerusakan yang sama.

Bahasan Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan permasalahan yang terjadi pada piston untuk dilakukan penelitian terhadap kerusakan pada mesin diesel pompa banjir di Jakarta Barat.

Maksud dan Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah di atas, maka yang menjadi maksud dan tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Identifikasi penyebab kerusakan yang terjadi pada mesin diesel pompa banjir di Jakarta Barat.
- Menganalisa kerusakan piston mesin diesel pompa banjir.
- Menentukan tindakan pencegahan dan menentukan teknik pemeliharaan untuk menghindari kerusakan yang sama pada piston mesin diesel pompa banjir tersebut.
- Mengoptimasi sistim manajemen pemeliharaan yang diterapkan pada mesin diesel tersebut.

METODE PENELITIAN

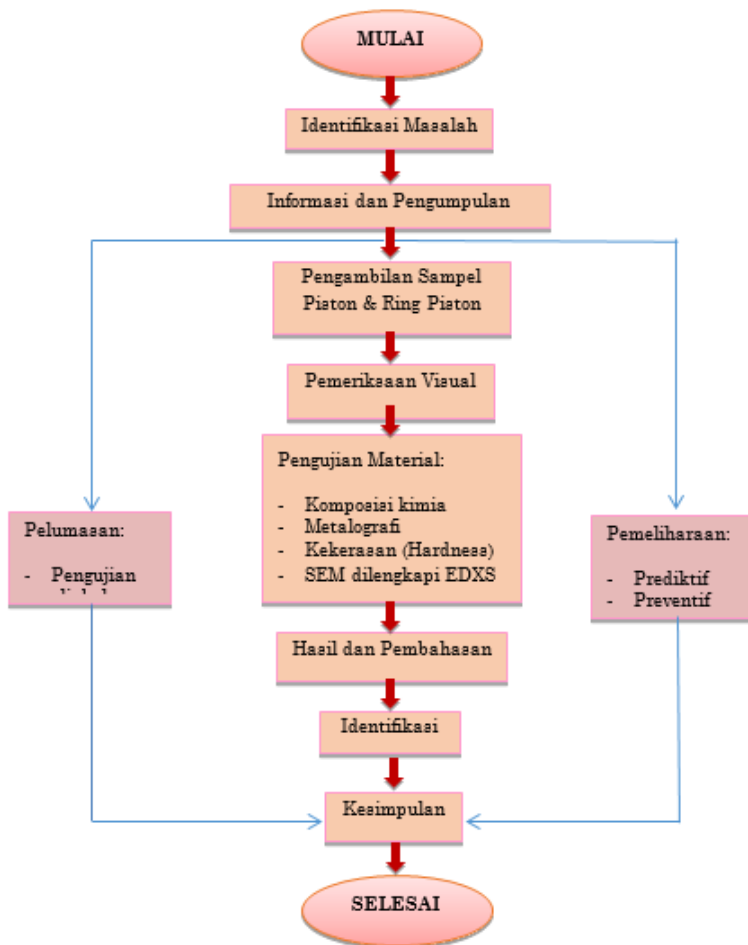
Penelitian ini menggunakan metodologi penelitian kualitatif, dimana peneliti melakukan:

- Observasi untuk menentukan penyebab utama kerusakan.
- Pemeriksaan *visual* pada silinder blok dan piston mesin diesel yang rusak untuk pengambilan contoh uji/*sample*.

Seminar Nasional Riset dan Teknologi, Jakarta 13 Oktober 2018

- c. Membuat contoh bahan uji/sample uji dari piston mesin diesel pompa banjir.
- d. Pemeriksaan *fractografi* pada bahan uji/sample untuk mengetahui kerusakan permukaan piston mesin diesel.
- e. Pemeriksaan *Metallografi* pada contoh uji/sample untuk mengetahui dan mengevaluasi mikrostruktur kondisi piston mesin diesel.
- f. Pemeriksaan kekerasan contoh uji piston mesin diesel.
- g. Pemeriksaan komposisi kimia material piston mesin diesel.
- h. Pemeriksaan komposisi kimia dengan *SEM EDXS* material ring piston.
- i. Pemeriksaan oli bekas mesin diesel dan membandingkan dengan oli.
- j. Membandingkan sistim manajemen pemeliharaan yang ada dengan standar pemeliharaan yang terdapat pada *manual book* mesin diesel.

Diagram alir penelitian yang dilakukan adalah seperti yang diberikan dalam gambar 1, yaitu meliputi:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

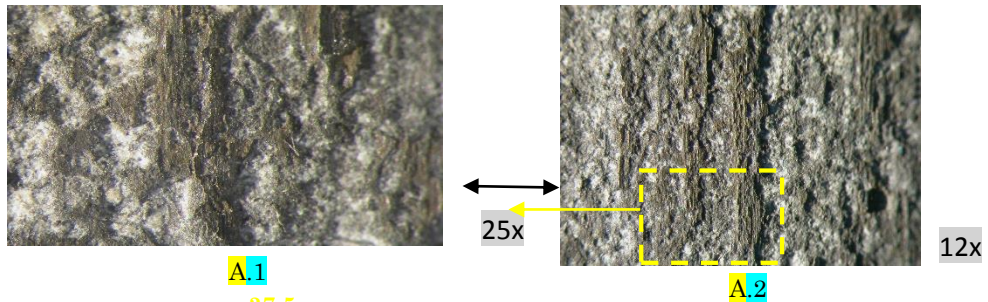
Untuk memperoleh hasil dari pelaksanaan penelitian yang mengarah pada tujuan penelitian maka dilakukan beberapa penguji sebagai berikut:
 Penguji Makroskopik

Pada foto makro terlihat pada gambar 2 cacat/kerusakan pandangan A1 cukup lebar dibanding daerah cacat pandangan A2 yaitu antara 22,4 mm s/d 37,5 mm. Piston mengalami cacat/kerusakan sebagian disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya: karena sistem sirkulasi oli yang tidak sempurna, viskositas oli menurun, berkurangnya volume oli sehingga pada saat piston bergerak ke atas oli tidak sampai pada bagian atas piston (*top*), dan saat piston turun piston bergesekan dengan *cylinder block* tanpa adanya pelumasan.



Gambar 2. Cacat/kerusakan pada A.1 dan A.2

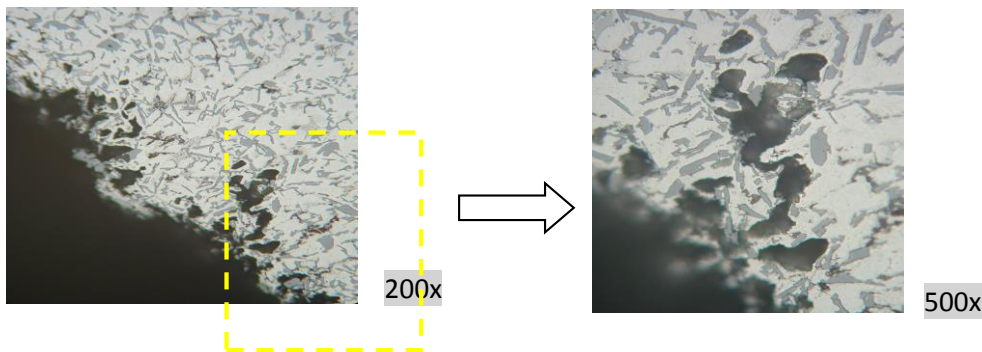
Hasil pengujian makroskopik yang ditunjukkan pada gambar 3 memperlihatkan bahwa jenis dan penyebab serta mekanisme kerusakan yang terjadi pada piston tersebut diperkirakan *cylinder liner* mengalami pemanasan akibat proses pembakaran yang terjadi didalamnya yang mengakibatkan terjadinya mulur (*creep*). Piston mengalami *stuck* sehingga terjadinya gesekan yang mengakibatkan cacat/kerusakan pada permukaan luar piston.



Gambar 3. Cacat/kerusakan piston pada sisi A.1 dan A.2

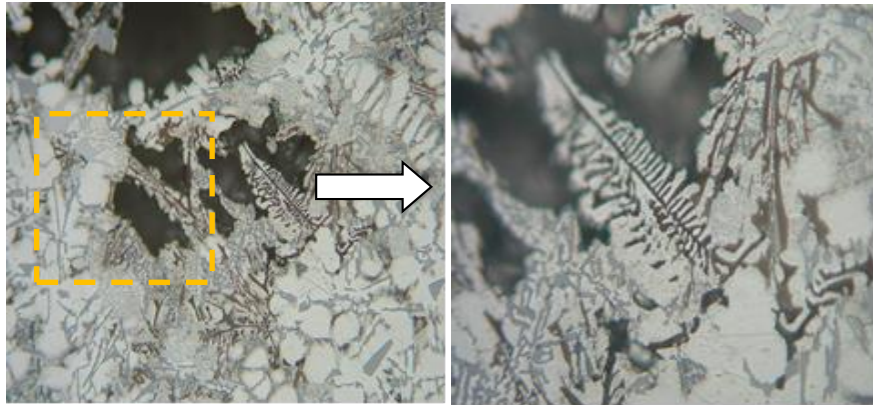
Pengujian Metalografi

Pada gambar 4 menunjukkan struktur mikro lokasi no.1 mengalami *overheating* berupa aluminium-silisium.



Gambar 4 Struktur mikro material piston Pandangan B lokasi 1 perbesar 200x dan 500x

Pengambilan sampel material piston untuk analisa struktur mikro pada potongan/pandangan B bagian tengah (No.2) dapat dilihat pada gambar 5. Pada gambar tersebut menunjukkan struktur mikro lokasi No.2 bagian tepi/luar berupa Al-Mg-Si di daerah tengah terdapat cacat berupa aluminium dendrite menandakan piston mengalami *local melting* yang mengakibatkan *local overheating*.



Gambar 5. Struktur mikro material piston pandangan B lokasi 2

Analisa Komposisi Kimia

Hasil analisa komposisi kimia seperti yang disebutkan dalam Tabel1, menurut Standard JIS-AC8A ada kenaikan pada unsur Mn sebesar 0.678%, sedang unsur yang lain (Tabel 1) masih dalam range Standard JIS-AC8A.

Tabel 1. Hasil uji komposisi kimia material piston, dibandingkan dengan material standard

Elemen/ Unsur	% Berat (Weight %)		Material Standard JIS-AC8A
	Lokasi Normal	Lokasi Cacat	
AL	83.2	83.2	Balance
Fe	0.382	0.382	<0.7
Si	13.0	12.9	11 – 13
Mg	0.966	0.919	0.8 – 1.3
Mn	0.192	0.828	< 0.15
Cr	0.0055	0.0067	< 0.10
Ni	0.892	0.887	0.8 – 1.5
Cu	1.16	1.16	0.8 – 1.3
V	0.0106	0.129	-
Ti	0.0557	0.0584	< 0.2
Pb	<0.0050	<0.0050	-
Zn	0.0785	0.0896	<0.15
Co	<0.0020	<0.0020	-

Pengujian Kekerasan

Seperti terlihat pada hasil uji kekerasan (*hardness test*) material piston pada Tabel 2, bahwa untuk sampel A pengujian ke 4, 7, 8, 9, dan10 serta sampel C pengujian ke 2 dan 3 mempunyai nilai tinggi. Hal ini disebabkan karena titik pengujian pada daerah tersebut adalah celah ring piston yang terbuat dari besi cor (*steel casting*) yang tertinggal/terjepit.

Tabel 2. Hasil uji kekerasan piston

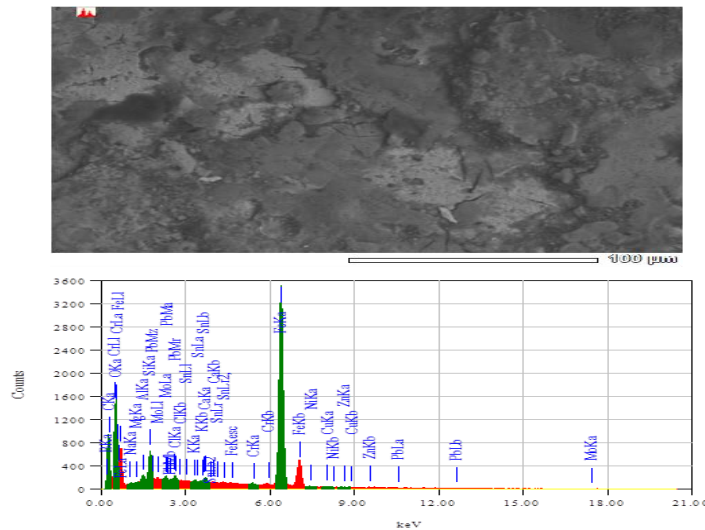
No.	NILAI KEKERASAN (HV)		
	Sampel A	Sampel B	Sampel C
1	74.9	71.9	86.2

No.	NILAI KEKERASAN (HV)		
	Sampel A	Sampel B	Sampel C
2	73.2	71.9	214
3	75.7	75.3	227
4	121.0	75.7	79.7
5	79.7	77.0	79.3
6	82.1	76.1	75.7
7	313.0	79.7	78.8
8	515.0	81.2	80.2
9	157.0	81.2	76.6
10	108.8	-	77.5
11	-	-	67.0
12	-	-	71.9

Keterangan : Beban Uji (P) = 5 Kgf ; Sudut Identor : 136°

Pengujian SEM (*Scaning Electron Macroscopy*) yang dilengkapi dengan analisa EDXS (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*)

Pada gambar 5 terlihat hasil uji SEM EDXS pada material ring piston berupa struktur mikro yang memperlihatkan bahwa ring piston terbuat dari besi cor kelabu (*grey cast iron*) dan Struktur mikro berupa *pearlitic* halus dan adanya *steadite* (putih), ring piston tidak diberi etsa. Pengujian dilaksanakan 3 (tiga) kali pengujian (hasil terlampir) di sini diberikan gambaran salah satu dari masing- masing pengujian.



Gambar 6. Hasil uji SEM EDXS pada ring piston

Pengujian Oli Bekas (*Schedule Oil Sampling*)

Terlihat pada tabel 3 hasil uji oli bekas, bahwa TBN (*Total Base Number*) pada oli sedikit rendah, oksidasi sedikit diatas normal, kemungkinan karena pembakaran yang kurang sempurna. Hasil dari nilai Zink terlalu rendah untuk oli mesin diesel, elemen lainnya normal.

Tabel 3. Hasil uji oli bekas mesin diesel

Elemen/Unsur	Berat (Mg/Kg=ppm)			
	Wear Metal	Contaminant	Additives	Chemical Test
Cr	-	-	-	-
Pb	2	-	-	-
Fe	10	-	-	-
Cu	5	-	-	-
Al	-	-	-	-
Sn	-	-	-	-
Ni	-	-	-	-
B	-	7	-	-
K	-	2	-	-
Na	-	3	-	-
Si	-	9	-	-
Ca	-	-	850	-
P	-	-	217	-
Zn	-	-	210	-
Mg	-	-	11	-
Mo	-	-	2	-
TBN	-	-	-	2,8

Catatan : Standard TBN sesuai spesifikasi oli : 5,20 m KOH/g (ASTM D 4739)

Seperti terlihat pada tabel 4 hasil uji oli baru, bahwa TBN (Total Base Number) pada oli baru diatas standard dengan perbedaan sebesar 5 m KOH/g. Karena hasil TBN abnormal maka tidak direkomendasikan untuk menggunakan oli tipe ini.

Tabel 4. Hasil Uji Oli Baru Mesin Diesel

Elemen/Unsur	Berat (Mg/Kg=ppm)			
	Wear Metal	Contaminant	Additives	Chemical Test
Cr	-	-	-	-
Pb	-	-	-	-
Fe	1	-	-	-
Cu	2	-	-	-
Al	1	-	-	-
Sn	-	-	-	-
Ni	-	-	-	-
B	-	1	-	-
K	-	2	-	-
Na	-	5	-	-
Si	-	3	-	-
Ca	-	-	3759	-
P	-	-	688	-
Zn	-	-	842	-
Mg	-	-	13	-
Mo	-	-	52	-

TBN	-	-	-	10,2
-----	---	---	---	------

Catatan : Standard TBN sesuai spesifikasi oli : 5,20 m KOH/g (ASTM D 4739)

Dari hasil pengujian oli bekas dan oli baru seperti yang disebutkan dalam tabel 4 dan tabel 5, ada kenaikan pada unsur Fe dan Cu pada oli bekas yaitu sebesar 9 ppm dan 3 ppm. Jika kandungan Fe lebih besar akan mengakibatkan kerusakan *liner cylinder block* dan piston dan jika Cu lebih besar akan mengakibatkan kerusakan pada *bearing*.

Aspek Pemeliharaan

Hasil pengamatan dilapangan selama proses terjadinya kegagalan/kerusakan pada piston mesin diesel pompa banjir seperti terlihat pada tabel 5.

Tabel 5. Kegiatan bagian pemeliharaan

No	Kegiatan	Keterangan
1	Laporan harian pengoperasian mesin diesel	Ada
2	<i>Standard Operation Procedure (SOP)</i>	Tidak ada
3	Jadwal Pemeliharaan Prediktif	Tidak ada
4	Jadwal Pemeliharaan Preventif	Ada, tapi belum maksimal

Untuk mengoptimasi pemeliharaan agar tidak terjadinya kegagalan/kerusakan piston perlu dilakukan hal-hal sebagai berikut:

Optimasi sistem manajemen pemeliharaan adalah sebagai berikut:

a. Pembahasan *Standard Operation Procedure (SOP)*

Untuk dapat mengoperasikan sebuah alat pastinya harus dioperasikan sesuai dengan prosedur yang ada agar dapat berjalan dengan baik dan juga aman, sama halnya dengan mengoperasikan mesin diesel. Menghidupkan atau mematikan mesin diesel harus sesuai prosedur yang ada agar mesin diesel dapat berjalan dengan baik dan membuat mesin diesel lebih tahan lama dibandingkan dengan pengoperasian yang tidak sesuai prosedur. Sebelum kita mengoperasikan genset sebaiknya kita memperhatikan *Standard Operation Procedure (SOP)* atau biasa dibilang cara pengoperasian mesin diesel. Berikut langkah-langkah yang harus dikerjakan:

- Sebelum Menyalakan mesin diesel: Periksa bahan bakar, Periksa air radiator, jika kurang segera tambahkan, Periksa air ACCU, jika kurang segera tambahkan, Periksa oli mesin, jika sudah tidak bagus segera diganti yang baru, Periksa kabel R-S-T-N apakah sudah terpasang dengan benar, Pasang kabel ACCU dengan benar dan kuat. Warna merah adalah positif (+), sedangkan warna hitam (-), Buka box panel, kemudian naikan semua MCB.
- Saat Menyalakan mesin diesel: Hidupkan mesin tanpa beban (*warming up*) kurang lebih selama 10 menit, Periksa *Oil Meter, Battery Charge, Water Temperature, Volt Meter AC, Frequency Meter dan Hour Counter Meter*, apakah sudah dalam keadaan baik ketika mesin dalam keadaan hidup.
- Cara Mematikan mesin diesel: Turunkan breaker atau matikan beban terlebih dahulu. Kemudian tunggu sekitar 5 menit untuk pendinginan mesin (*cooling down*), setelah itu baru matikan mesin.

Standard Operation Prosedur (SOP) di pasang di setiap mesin diesel, agar setiap operator yang akan mengoperasikan membaca SOP ini.

b. Pemeliharaan prediktif terhadap komponen mesin diesel diantaranya:

- Pemeliharaan Sistem Aliran Bahan Bakar (*Flow of Fuel System*)
- Pemeliharaan Sistem Pelumasan (*Lubrication System*)
- Pemeliharaan Sistem Udara Masuk dan Buang
- Pemeliharaan Sistem Pendinginan
- Pemeliharaan *Starting System*

c. Pemeliharaan preventif terhadap komponen mesin diesel diantaranya melakukan pemeriksaan: *daily, 250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000, 8000 dan 12000 jam.*

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis pada penelitian maka dapat disimpulkan bahwa:

- A. Diidentifikasi bahwa faktor penyebab kerusakan adalah adanya kerusakan yang diawali dengan indikasi temperatur tinggi pada dinding silinder yang mengakibatkan piston tidak bergerak (*Stuck*).
- B. Dari hasil analisis:
 - a. Struktur mikro menunjukkan:

Seminar Nasional Riset dan Teknologi, Jakarta 13 Oktober 2018

- Bagian tepi/luar piston berupa Al-Mg-Si.
 - Bagian tengah piston terdapat cacat berupa *aluminium dendrite* yang menandakan piston mengalami *local melting* yang mengakibatkan *local overheating*.
- b. Viskositas (kekentalan) oli bekas didapat: TBN (Total Base Number) pada oli sedikit rendah, oksidasi sedikit di atas normal karena pembakaran yang kurang sempurna, adanya kenaikan (selisih) pada unsur Fe dan Cu pada oli bekas yaitu sebesar 9 ppm dan 3 ppm. Jika kandungan Fe lebih besar akan mengakibatkan kerusakan *LinerCylinder Block* dan piston dan apabila Cu lebih besar maka akan mengakibatkan kerusakan pada bearing.
- C. Cara menentukan pencegahan dan menentukan teknik pemeliharaan untuk menghindari kerusakan yang sama pada piston mesin diesel pompa banjir tersebut, perlu:
- a. Menggunakan oli sesuai dengan standar TBN dengan spesifikasi oli: 5,20 m KOH/g (ASTM D 4739).
 - b. Melakukan kegiatan pemeliharaan, berupa:
 - Laporan harian pengoperasian mesin diesel.
 - *Standard Operation Procedure (SOP)*.
 - Jadwal Pemeliharaan Prediktif.
 - Jadwal Pemeliharaan Preventif.
- D. Dari hasil penelitian perlu adanya optimasi sistem manajemen pemeliharaan, yaitu:
- a. Melaksanakan Standart Operation Procedure (SOP)
 - Sebelum Menyalakan mesin diesel: Periksa bahan bakar, Periksa air radiator, Periksa air ACCU, Periksa oli mesin, Periksa kabel R-S-T-N, Pasang kabel ACCU dengan benar dan kuat. Buka box panel, kemudian naikkan semua MCB.
 - Saat Menyalakan mesin diesel: Hidupkan mesin tanpa beban (*warming up*), Periksa *Oil Meter*, *Battery Charge*, *Water Temperature*, *Volt Meter AC*, *Frequency Meter* dan *Hour Counter Meter*, apakah sudah dalam keadaan baik ketika mesin dalam keadaan hidup.
 - Cara Mematikan mesin diesel: Turunkan breaker atau matikan beban terlebih dahulu. Kemudian tunggu sekitar 5 menit untuk pendinginan mesin (*cooling down*), setelah itu baru matikan mesin.
 - b. Melakukan Pemeliharaan Prediktif terhadap Komponen Mesin Diesel, diantaranya:
 - Pemeliharaan sistem aliran bahan bakar (*flow of fuel system*).
 - Pemeliharaan sistem pelumasan (*lubrication system*).
 - Pemeliharaan sistem udara masuk dan buang.
 - Pemeliharaan sistem pendinginan.
 - Pemeliharaan *Starting System*.
 - c. Melakukan Pemeliharaan Preventif terhadap Komponen Mesin Diesel, diantaranya:
 - Pemeriksaan: *daily*, 250 jam, 500 jam, 1000 jam, 2000 jam, 3000 jam, 4000 jam, 6000 jam, 8000 jam, dan 12000 jam).

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ASM International Handbook Committee. *ASM Handbook: Casting, Volume 15*, Copyright by ASM International, Ohio, 1992.
- [2]. ASM International Handbook Committee. *ASM Handbook: Failure Analysis and Prevention, Volume 11*, Copyright by ASM International, Ohio, 2002.
- [3]. ASM International Handbook Committe. *ASM Handbook: Metallography and Microstructures, Volume 9*, Copyright by ASM International, Ohio, 2004.
- [4]. Djoko Wiyono, *Panduan Pengujian Material*, Luk UPT-BPPT Serpong.
- [5]. DN. Adnyana, *Kegagalan dan Kerusakan pada Komponen dan Peralatan Industri, Volume 1 Cetakan Pertama*, Penerbit Institut Sains dan Teknologi Nasional (ISTN), Jakarta Selatan, Juli/Agustus 2016.
- [6]. E. Karyanto, *Penuntun Praktikum Tekonologi Perlengkapan Mesin Diesel*, Penerbit Restu Agung, Jakarta, 2008.
- [7]. Fuad Abdillah, *Perlakuan Panas Paduan AL-SI Pada Prototipe Piston Berbasis Material Piston Bekas*, Universitas Diponegoro, Semarang, 2010.
- [8]. Hiroshi Yamagata, *The Science and Technology of Material in Automotive Engines, 1st Edition*, Publisher by Elsevier Science, Japan, 2005.
- [9]. <http://belajardiesel.blogspot.com/2011/07/prinsip-pemeliharaan-mesindiesel.html>
- [10]. <http://eprints.ums.ac.id/9508/2/D200900013.pdf>
- [11]. <https://id.wikipedia.org/wiki/Pompa>
- [12]. <http://rahmatsuharjana.blogspot.com>

- [13]. John Moubray, *Reliability-Centered Maintenance (RCM 2), Second Edition*, Publisher of Industrial Press, Inc., New York, 1997.
- [14]. L.L.J. Mahon, *Diesel Generator Handbook, 1st Edition*, Elsevier Butterworth-Heinemann, Burlington, 2004.
- [15]. Martin G.H., *Kinematika dan Dinamika Teknik, Edisi II*, Erlangga, Jakarta, 1985.
- [16]. Muhammad Arif Nugroho, *Analisa Karakteristik Viskositas dan Konduktivitas Termal Oli MPX2 Baru dan Oli MPX2 Bekas Beserta Pengaruhnya Terhadap Kinerja Motor Honda Motor Beat 110 CC Tahun 2009*, Jurnal Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, DI Yogyakarta, 2016.
- [17]. Naharuddin, *Penentuan Kecepatan dan Percepatan Mekanisme Engkol Peluncur pada Komponen Mesin*, Jurnal Mekanikal, Vol 3 No. 2, 2012.
- [18]. Perkins, *Operation and Maintenance Manual*, Copyright Perkins Engines Company Limited, U.K., Januari 2015.
- [19]. R.C. Singh, Roop. Lal, Ranganath MS, Rajiv Chaudhary, *Failure of Piston in IC Engines, International Journal of Modern Engineering Research, Vol.4*, 2014.
- [20]. R. Keith Mobley, *Maintenance Engineering Handbook, 7th Edition*, Mc Graw Hill, New York, 2008.
- [21]. Sukoco dan Zainal Arifin, *Teknologi Motor Diesel*, Penerbit Alfabeta, Bandung, 2008.
- [22]. Sularso & Haruo Tahara, *Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan Pompa dan Kompresor*, Penerbit PT Pradnya Paramita, Cetakan Kedelapan, Jakarta, 2004.
- [23]. Tata Surdia & Shinroku Saito, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Penerbit PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1985.
- [24]. Zaenuddin HM, *Banjir Jakarta*, Penerbit PT Zaytuna Ufuk Abadi, Jakarta, Mei 2013.