

ANALISIS SISTEM PERAWATAN UNIT MULTIFLO MF420EX MENGUNAKAN METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* (RCM) DI PT KLM

Adam Alfath¹, Ainur Komariah², Suprpto³

¹Program Studi Teknik Industri Universitas Veteran Bangun Nusantara
Email : adamalfath@gmail.com

²Program Studi Teknik Industri Universitas Veteran Bangun Nusantara
Email : ainurkomariah.ak@gmail.com

³Program Studi Teknik Industri Universitas Veteran Bangun Nusantara
suprptodd2@gmail.com

Abstract. PT KLM is a coal mining company. The obstacle experienced by PT KLM in the period January 2018 to July 2019 in the Dewatering section was the high frequency of unscheduled breakdowns in the Multiflo MF420EX unit. This breakdown resulted in the low performance of the pump engine. As a result, the sump water level rises and closes the coal loading area. This research uses the Reliability Centered Maintenance method. This study aims to detect failure modes, MTBF and maintenance actions on 3 critical components. From this study, data were obtained for 7 components that experienced failure mode, data for 3 components that had the highest RPN value, and MTBF data. The three components are fuel filter 350, gland packing 80, and rubber mounting panel 72. The results of the MTBF calculation show that the MTBF value for the fuel filter component is 216.76 hours, gland packing 471.69 hours, and rubber mounting panel 886.67 hours. . The recommended action for maintaining the fuel filter is to modify the fuel tank by giving a hole in the tank bulkhead for easy cleaning and adding tank cleaning in the maintenance sheet item every 250 hours. The recommendation for gland packing care is to add it to the periodic inspection sheet every 3 days and replace it in the maintenance sheet every 500 hours. The recommendation for maintenance of rubber mounting panels is to add it to the periodic inspection sheet every 3 days and replace it in the maintenance sheet every 750 hours.

Keywords: Maintenance, MF420EX unit, reliability centered maintenance.

I. PENDAHULUAN

Industri pertambangan di Indonesia memiliki nilai ekonomis yang sangat besar. Menurut data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) produksi batubara tahun 2018 adalah sebesar 528 juta ton. Jumlah produksi ini meningkat jika dibanding produksi tahun 2017 yang sebesar 461 juta ton. Diprediksi bahwa pada tahun 2019 produksi batubara akan meningkat kembali jauh berbeda dengan tahun 2018 (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2019). Adapun penggunaan batu bara dalam kehidupan yaitu sebagai bahan bakar cair atau yang jamak disebut sebagai Bahan Bakar Minyak (BBM). Batubara juga menjadi bahan bakar di industri semen. Industri besi dan baja juga menggunakan batubara sebagai bahan bakarnya. Listrik yang dipergunakan oleh masyarakat sehari-hari juga menggunakan batubara sebagai bahan bakar pembangkitnya. PT Perusahaan Listrik Negara (PLN) mengkonsumsi bahan bakar batu bara sebanyak 97 ton untuk memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia pada tahun 2019. Sedangkan pada tahun 2020, konsumsi batubara akan meningkat menjadi 109 ton (Katadata, 2019).

PT KLM adalah sebuah perusahaan pertambangan batu bara. Kinerja PT KLM pada 9 bulan pertama tahun 2018, menghasilkan volume pengupasan lapisan penutup sebanyak 160,19 juta bank cubic meter (bcm). Apabila dibandingkan dengan tahun sebelumnya, ini meningkat sebesar 18% year-on-year (yoy). Pada volume produksi, PT KLM mengalami peningkatan sebesar 23% yoy menjadi 32,44 juta ton (Market bisnis, 2018). Sebagai sebuah perusahaan yang mengandalkan peralatan untuk menjalankan proses produksi maka PT KLM melakukan kegiatan perawatan. Definisi dari perawatan adalah “suatu kombinasi dari berbagai tindakan yang dilakukan untuk menjaga dan memelihara suatu mesin serta memperbaikinya sampai

suatu kondisi yang bisa diterima” (Kurniawan, 2013). Adapun tujuan pemeliharaan yang utama adalah untuk memperpanjang umur penggunaan asset (di mana aset diartikan sebagai setiap bagian atau komponen yang ada di tempat kerja, bangunan, dan segala macam isinya). Perawatan juga berfungsi untuk menjamin ketersediaan pada level maksimum dari setiap peralatan yang instalasi, untuk mendapatkan profit investasi yang maksimum. Di sisi lain, perawatan berguna untuk menjamin ketersediaan operasional (*availability*) dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu, serta menjamin keselamatan orang yang menggunakan peralatan tersebut (Corder, 1992).

RCM dapat didefinisikan sebagai “sebuah proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan untuk menjamin bahwa beberapa asset fisik dapat berjalan secara normal melakukan fungsi yang diinginkan penggunaannya dalam konteks operasi sekarang” (Pranoto, 2015). Keuntungan dari penggunaan RCM adalah efisiensi waktu aktivitas perawatan, minimasi biaya perawatan dengan dengan mengeliminasi tindakan perawatan yang tidak diperlukan, meminimasi kekerapan terjadinya *overhaul*, meminimisasi peluang kegagalan peralatan yang terjadi secara mendadak, memfokuskan aktivitas perawatan pada komponen-komponen kritis, meningkatkan keandalan komponen dengan mengkombinasikan *corrective* dan *scheduled maintenance*, dan menggabungkan *root cause analysis* (Moubray, 1997).

II. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian sistem perawatan dengan menggunakan RCM sudah pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Pranoto (2013) meneliti “Implementasi *Preventive Maintenance* Fasilitas Produksi Dengan Metode RCM Pada PT XYZ”. Pada riset ini didapatkan 7 komponen kritis yang mempengaruhi kinerja fungsi yaitu *rubber*, selang penghisap udara, 2 jenis *bearing*, selang pipa gas argon, *roll karet seal*, dan *coupling*. Pemilihan tindakan perawatan terhadap komponen kritis pada riset ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu *condition directed* dan *time directed*. Dua komponen kritis yang ditentukan tindakan perawatannya dengan *condition directed* adalah *rubber S-205* dan *seal roll karet*. Lima komponen kritis yang ditentukan dengan perawatan *time directed* adalah selang penghisap udara, dua jenis *bearing*, selang pipa gas argon, *coupling*. Riset lain dilakukan oleh Wilbert (2013), berjudul “Penerapan *Preventive Maintenance* Dengan mengaplikasikan Grey FMEA Pada PT WXY”. Riset ini menghasilkan rekomendasi *interval* perawatan berdasarkan RCM, yaitu sebanyak 4 jenis komponen direkomendasikan tindakan perawatan terjadwal dan 4 komponen direkomendasikan perawatan tidak terjadwal. Komponen yang direkomendasikan perawatan terjadwal adalah *spindle* (setiap 33 hari), motor (setiap 36 hari), *radial ball bearing* (setiap 43 hari), dan *v-belt* (setiap 42 hari) (Wilbert, 2013). Dan yang terakhir penelitian dengan judul “Perancangan Sistem Pemeliharaan Menggunakan Metode RCM Pada Pulverizer (Studi Kasus: PLTU Paiton Unit 3)”. Dilakukan analisis data secara kualitatif, dan dari analisis tersebut, terdeteksi 12 mode kegagalan. Analisis dilakukan pada empat subsistem *pulverizer*. Selanjutnya, diperoleh nilai rata-rata waktu antar kegagalan (MTBF) tiap subsistem. Diketahui MTBF grinding roller sebesar 2880,66 jam, hydraulic pump sebesar 5075,06 jam, gearbox sebesar 5381,65 jam, dan coal feeder sebesar 525,17 jam (Bhakti, 2015).

Disini penulis melakukan penelitian penerapan RCM (Reliability Centered Maintenance) pada unit MF420EX. Pada periode Januari 2018 sampai Juli 2019 yang menjadi kendala dalam *dewatering* adalah frekuensi *breakdown* tidak terjadwal yang tinggi mengakibatkan tidak maksimalnya kegiatan produksi mesin pompa MF420EX yang membuat level air sump naik dan menutup area muat batubara. Jika proses produksi berjalan dengan baik, maka target perusahaan akan tercapai dan permintaan konsumen juga terpenuhi. Untuk itu diperlukan sistem perawatan yang sudah terjadwal pada peralatan produksi di perusahaan untuk meminimisasi terhambatnya proses produksi jika terjadi kerusakan.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Obyek Penelitian

Penelitian dilakukan di PT KLM dan pengambilan data breakdown unit multiflo MF420EX dilakukan pada periode Januari 2018 s/d Juni 2019.

3.2. Metode Pengumpulan Data

Data yang diperlukan adalah data breakdown tidak terjadwal unit multiflo MF420EX periode Januari 2018 s/d Juni 2019, data wawancara kekurangan unit multiflo MF420EX terhadap mekanik bagian dewatering dan sistem perawatan unit multiflo MF420EX periode Januari 2018 s/d Juni 2019.

3.3. Metode Pengolahan Data

Berdasarkan proses pengumpulan data akan dilanjutkan pengolahan data dengan prosedur RCM yaitu : (1) penentuan sistem objek riset dan pengumpulan informasi; (2) Penentuan batasan sistem, (3) Penggambaran diagram blok fungsi, (4) pendeskripsian fungsi sistem dan pendeteksian kegagalan fungsi, (5) Penyusunan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), (6) Penyusunan Logic Tree Analysis (LTA), (7) Penentuan tindakan perawatan. Selanjutnya uji distribusi waktu antar kegagalan untuk mengetahui nilai parameter dan distribusinya. Parameter dari hasil uji ditribusi digunakan untuk menghitung Mean Time Between Failure (MTBF). Tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

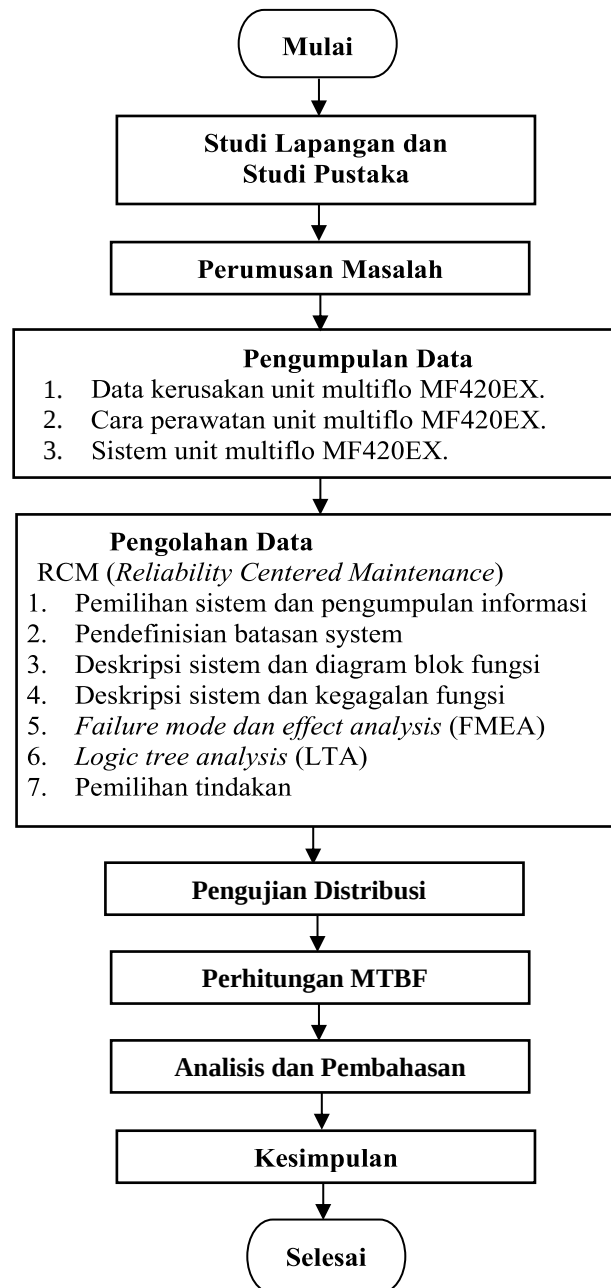
4.1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan pada bagian Dewatering PT KLM. Jenis data yang digunakan dalam perhitungan adalah data durasi kegagalan tidak terjadwal dan data riwayat kerusakan unit Multiflo MF420EX pada periode Januari 2018-Juli 2019. Data frekuensi breakdown tidak terjadwal pada unit Multiflo MF420EX PT KLM dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Frekuensi *Breakdown* Tidak Terjadwal
Unit Multiflo MF420EX

No	<i>Breakdown</i>	Frekuensi
1	Sistem pelumasan	4
2	Sistem elektik	6
3	Sistem pompa	23
4	Sistem bahan bakar	29
	Jumlah	62

Jenis kerusakan yang terjadi pada unit Multiflo MF420EX PT KLM pada periode Januari 2018 s/d Juli 2019 antara lain sistem pelumasan (kebocoran oli pelumas), sistem elektrik (panel tidak berfungsi), Sistem Pompa (tidak bisa vakum, konektor *pressure switch* patah, *volute kavitasi*, *rubber copling* sobek) dan sistem bahan bakar (Filter bahan bakar buntu)



Gambar 1. Tahapan Penelitian

4.2. Pengolahan Data

a. Metode Reliability Centered Maintenance (RCM)

Proses analisis pada metode ini yaitu: 1) Penentuan system yang menjadi objek riset dan pemerolehan informasi, (2) Pendeskripsian batasan sistem, 3) Pembuatan diagram blok fungsi sistem, (4) Pendeskripsian fungsi sistem dan pendeteksian kegagalan fungsi sistem, (5) Penyusunan Failure Mode and Effect Analysis, (6) Pembuatan Logic Tree Analysis (LTA), (7) Penentuan tindakan perawatan. Komponen-komponen yang mengalami kerusakan tidak terjadwal di unit multiflo MF420EX tertera pada Tabel 2.

Tabel 2. Sistem Dan Komponen

No	Sistem	Kode	Komponen
1.	Sistem pelumasan	1.1.	Gasket
2.	Sistem elektrik	2.1.	<i>Rubber mounting panel</i>
3.	Sistem pompa	3.1.	<i>Gland packing</i>
		3.2.	<i>Pressure switch oil</i>
		3.3.	<i>Volute</i>
		3.4.	<i>Rubber coupling</i>
4.	Sistem bahan bakar	4.1.	Filter bahan bakar

Failure Mode and Effect Analysis merupakan proses pengidentifikasian kegagalan sebuah komponen yang berakibat pada kegagalan fungsi sistem. Pada metode FMEA terlebih dahulu ditentukan nilai *severity*, nilai *occurance* dan nilai *detection*. Penentuan rating pada aspek *severity*, *occurance*, *detection* dan hasil penghitungan RPN tertera pada Tabel 3.

Tabel 3. *Failure Mode and Effect Analysis*

Kode	Komponen	Mode kegagalan	Penyebab kegagalan	Dampak kegagalan	S	O	D	RPN
1.1	Gasket	Kebocoran oli pelumas	Baut kendur yang mengakibatkan getaran dan merusak gasket	Mesin mati karena oli pelumas kurang mengakibatkan suhu mesin tinggi	9	2	3	54
2.1	<i>Rubber Mounting Panel</i>	Panel tidak berfungsi	Getaran yang berlebih	Mesin mati	8	3	3	72
3.1	<i>Gland packing</i>	Tidak bisa vakum	Kurangnya penyetelan packing setiap awal operasi	Air tidak mengalir	8	5	2	80
3.2	<i>Pressure switch sensor</i>	Konektor <i>pressure switch</i> putus	Penempatan <i>pressure switch</i> yang kurang tepat	Mesin mati	9	2	1	18
3.3	<i>Volute</i>	Pompa berisik	Adanya <i>kavitasi</i>	<i>Volute</i> rusak	7	2	5	70
3.4	<i>Rubber coupling</i>	<i>Rubber coupling</i> sobek	Tidak adanya inspeksi	Putaran pompa berkurang	7	2	5	70
4.1	Filter bahan bakar	<i>Pressure</i> bahan bakar rendah	Tangki bahan bakar kotor	Tenaga mesin rendah	10	7	5	350

Dari Tabel 3 diketahui 3 komponen dengan rangking nilai RPN tertinggi. Tiga komponen tersebut adalah yaitu filter bahan bakar (RPN 350), gland packing (RPN 80) dan rubber mounting panel (RPN 72).

Selanjutnya, *Logic Tree analysis* adalah memilah mode kegagalan ke dalam beberapa kategori. Dengan mengelompokkan ke dalam kategori, maka dapat ditentukan tingkat urutan kepentingan dalam penanganan tiap failure mode. Adapun kategori yang ditetapkan adalah kategori A (*safety problem*), kategori B (*outgae problem*), Kategori C (*economic problem*) dan kategori D (*hidden failure*). Hasil LTA dari Focus Group Discussion (FGD) tertera pada Tabel 4.

Tabel 4. *Logic Tree Analysis*

Kode	Komponen	Mode kegagalan	Analisa kritis			
			Evident	Safety	Outage	Category
1.1	Gasket	Kebocoran oli pelumas	Y	N	Y	B
2.1	<i>Rubber mounting panel</i>	Panel tidak berfungsi	Y	N	Y	B
3.1	<i>Gland packing</i>	Tidak terjadi vakum	Y	N	Y	B
3.2	<i>Pressure switch sensor</i>	Konektor <i>pressure switch</i> patah	Y	N	Y	B
3.3	<i>Volute</i>	Pompa berisik	Y	N	N	C
3.4	<i>Rubber coupling</i>	<i>Rubber coupling</i> sobek	Y	N	N	C
4.1	Filter bahan bakar	<i>Pressure</i> bahan bakar rendah	Y	N	Y	B

Dari Tabel 4 dapat disimpulkan dalam kategori B terdapat gasket, *pressure switch sensor*, *rubber mounting panel*, *gland packing* dan filter bahan bakar sedangkan dari kategori C terdapat *volute* dan *ruuber coupling*.

Pemilihan tindakan merupakan tahap terakhir dari proses RCM. Rekomendasi tindakan yang dihasilkan dengan pendekatan RCM sebagai perencanaan tindakan terhadap masing-masing komponen. Hasil dari *Focus Group Discussion* (FGD) pemilihan tindakan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Pemilihan Tindakan

Kode	Komponen	Mode kegagalan	Panduan seleksi							Tindakan perawatan
			1	2	3	4	5	6	7	
1.1	Gasket	Kebocoran oli pelumas	N	N	Y	N	N	Y	N	<i>Condition Directed</i>
2.1	<i>Rubber mounting panel</i>	Panel tidak berfungsi	N	N	Y	N	N	Y	N	<i>Condition Directed</i>
3.1	<i>Gland packing</i>	Tidak terjadi vakum	N	N	Y	N	N	Y	N	<i>Condition Directed</i>
3.2	<i>Pressure switch sensor</i>	Konektor <i>pressure switch</i> patah	N	N	Y	N	N	Y	Y	<i>Condition Directed & Design</i>

3.3	<i>Volute</i>	Pompa berisik	N	N	Y	N	N	Y	N	<i>Condition Directed</i>
3.4	<i>Rubber coupling</i>	<i>Rubber coupling</i> sobek	N	N	Y	N	N	Y	Y	<i>Condition Directed & Design</i>
4.1	Filter bahan bakar	pressure bahan bakar rendah	N	N	Y	N	N	Y	Y	<i>Condition Directed & Design</i>

Dari Tabel 5 dapat disimpulkan tindakan perawatan *condition directed* terdapat pada gaset, *rubber mounting panel*, *gland packing* dan *volute* sedangkan untuk tindakan perawatan *condition directed and design* terdapat pada *pressure switch sensor*, *rubber coupling* dan filter bahan bakar.

b. Pengujian Pola Distribusi

Pengujian distribusi menggunakan *software Easyfit* dan di ujikan dalam distribusi *exponential*, *weibull*, *normal*, *log normal*. Uji distribusi digunakan untuk mengetahui termasuk dalam distribusi mana dan mengetahui parameternya. Dari hasil pengujian tampak bahwa distribusi untuk data filter bahan bakar adalah distribusi lognormal, *gland packing* adalah distribusi *exponential*, *rubber mounting panel* adalah distribusi *normal* dan parameternya dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Distribusi

No	Komponen	Distribusi	Statistik	Parameter
1	Filter bahan bakar	Lognormal	0,12496	$\square=1,1343$ $\square=4,7355$
2	<i>Gland packing</i>	Exponential	0,19696	$\square=0,00212$
3	<i>Rubber mounting panel</i>	Normal	0,24157	$\square=966,78$ $\square=886,67$

c. Perhitungan Mean Time Between Failure (MTBF)

Perhitungan MTBF digunakan sebagai parameter penentuan perawatan atau penggantian pada komponen system. Hasil hitung MTBF yaitu filter bahan bakar mempunyai MTBF 216,76 jam, *gland packing* mempunyai MTBF 471,69 jam dan *rubber mounting panel* mempunyai MTBF 886,67 jam.

4.3. Pembahasan

Berdasarkan hasil FMEA dilihat bahwa dari 7 mode kegagalan unit MF420EX dapat diketahui 3 komponen kritis berdasarkan urutan nilai RPN yaitu filter bahan bakar dengan nilai 350, *gland packing* dengan nilai 80 dan *rubber mounting panel* dengan nilai 72. Dari hasil tersebut, disusunlah usulan tindakan perawatan dengan metode Focused Group Discussion, yang hasilnya tertera pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekomendasi Tindakan Perawatan Filter Bahan Bakar

No	Komponen	Logic Tree Analysis & Pemilihan Tindakan	Pembahasan	Rekomendasi Tindakan Perawatan
1	Filter bahan bakar	Kategori B (<i>outage problem</i>) Mengakibatkan mesin berhenti. Kategori <i>Condition Directed & Design</i> Memodifikasi peralatan dan mendeteksi kerusakan dengan cara <i>visual inspection</i>, memeriksa alat, memonitoring sejumlah data yang ada secara berkala.	Filter bahan bakar memiliki MTBF 216,76 jam yang seharusnya bisa 250 jam, Filter bahan bakar sering buntu karena tangki bahan yang kotor, tangki bahan bakar dalamnya terdiri dari 12 sekatan tanpa dilengkapi lubang pembersihan sehingga menyebabkan tangki belum pernah dibersihkan,	Memodifikasi tangki bahan bakar dengan memberi lubang pada sekat tangki untuk memudahkan dalam pembersihan. Menambahkan pembersihan tangki bahan bakar ke dalam item lembar perawatan setiap 250 jam.
2	<i>Gland packing</i>	Kategori B (<i>outage problem</i>) Mengakibatkan mesin berhenti. Kategori <i>Condition Directed & Design</i> Mengecek kerusakan dengan cara observasi (inspeksi visual), memeriksa alat dan mengecek sejumlah data yang ada secara periodik.	<i>Gland packing</i> memiliki MTBF 471,69 jam, belum ada jadwal pemeriksaan dan penggantian sehingga membuat air banyak yang bocor antara <i>gland packing</i> dan <i>shaft sleeve</i> membuat cepat rusaknya <i>gland packing</i> . Seharusnya air yang bocor 1 liter per menit hanya digunakan sebagai pendingin dan pelumas <i>gland packing</i> .	Menambahkan pemeriksaan dan penyetelan <i>gland packing</i> ke dalam item lembar pemeriksaan berkala yang di lakukan 3 hari sekali. 2. Menambahkan penggantian <i>gland packing</i> ke dalam item lembar perawatan setiap 500 jam.
3	<i>Rubber mounting panel</i>	Kategori B (<i>outage problem</i>) Mengakibatkan mesin berhenti. Kategori <i>Condition Directed & Design</i> Mengecek kerusakan dengan cara observasi (inspeksi visual), memeriksa alat dan mengecek sejumlah data yang ada secara periodik.	<i>Rubber mounting panel</i> memiliki MTBF 886,67 jam, berbahan karet yang digunakan untuk meredam panel yang berisi komponen elektrik dari getaran unit sehingga komponen elektrik agar awet.	Menambahkan pemeriksaan <i>rubber mounting panel</i> ke dalam item lembar pemeriksaan berkala yang di lakukan 3 hari sekali. Menambahkan penggantian <i>rubber mounting panel</i> ke dalam item lembar perawatan setiap 750 jam

V. KESIMPULAN

Berdasarkan data riwayat *breakdown* tidak terjadwal terdapat 7 mode kegagalan yaitu kebocoran oli pelumas, panel tidak berfungsi, tidak bisa vakum, konektor *pressure switch* patah, *volute kavitasi*, *rubber coupling* sobek dan *pressure* filter bahan bakar rendah.

Berdasarkan analisis FMEA terdapat 3 komponen kritis yang memiliki nilai RPN tertinggi diantaranya filter bahan bakar dengan nilai 350, *gland packing* dengan nilai 80 dan *rubber mounting panel* dengan nilai 72. Perhitungan MTBF digunakan sebagai parameter penentuan perawatan atau penggantian pada komponen dan sistem memperoleh hasil sebagai berikut: a) Filter bahan bakar mempunyai MTBF 216,76 jam, b) *Gland packing* mempunyai MTBF 471,69 jam, c) *Rubber mounting panel* mempunyai MTBF 886,67 jam.

Rekomendasi tindakan perawatan untuk masing-masing komponen yaitu: a) Filter bahan bakar tindakan perawatannya antara lain memodifikasi tangki bahan bakar dengan memberi lubang pada sekat tangki untuk memudahkan dalam pembersihan dan menambahkan pembersihan tangki bahan bakar ke dalam item lembar perawatan setiap 250 jam, b) *Gland packing* tindakan perawatannya antara lain menambahkan pemeriksaan gland packing ke dalam item lembar pemeriksaan berkala yang di lakukan 3 hari sekali dan menambahkan penggantian *gland packing* ke dalam item lembar perawatan setiap 500 jam, c) *Rubber mounting panel* tindakan perawatannya antara lain Menambahkan pemeriksaan *rubber mounting panel* ke dalam item lembar pemeriksaan berkala yang di lakukan 3 hari sekali dan menambahkan penggantian *rubber mounting panel* ke dalam item lembar perawatan setiap 750 jam.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- Bhakti, Ratna. 2015. *Perancangan Sistem Pemeliharaan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance Pada Pulverizer PLTU Paiton Unit 3*. Surabaya: Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh November.
- Hafiyyan. 2018. Anak Usaha ADRO Kantongi Pinjaman US\$350 Juta. <https://market.bisnis.com/read/20181121/192/861838/anak-usaha-adro-kantongi-pinjaman-us350-juta>
- Kurniawan, Fajar. 2013. *Manajemen Perawatan Industri Teknik dan Aplikasi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Moubray, John. 1997. *Reliability Centered Maintenance (RCM II)*. New York : Industrial Press.
- Pranoto, Hadi. (2015). *Realibility Centred Maintenance*. Jakarta: Mitra Wacana Media.
- Pranoto, Jeffrynardo. 2013. *Implementasi Studi Preventive Maintenance Fasilitas Produksi Dengan Metode Reliability Centered Maintenance Pada PT XYZ*. Medan: Fakultas Teknik Industri Universitas Sumatera Utara.
- Pribadi, A. 2019. Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. Siaran Pers : 0042 Pers/04/SJI/2019. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/tahun-2019-dmo-batubara-20-25-persen>
- Setiawan, V. N. 2019. Ada PLTU Mulai Beroperasi PLN Butuh 109 Juta Ton Batu Bara di 2020. <https://katadata.co.id/berita/2019/08/02/ada-pltu-mulai-beroperasi-pln-butuh-109-juta-ton-batu-bara-di-2020>
- Wilbert. 2013. *Penerapan Preventive Maintenance Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance Mengaplikasikan GREY FMEA Pada PT WXY*. Medan: Fakultas Teknik Industri Universitas Sumatera Utara.