

**IMPLEMENTASI TEKNIK KEANDALAN UNTUK MENGOPTIMALKAN
INTERVAL PERAWATAN PADA SISTEM COAL FEEDER
(Studi Kasus: PT. PJB UP Paiton)**

***THE RELIABILITY TECHNICAL IMPLEMENTATION TO OPTIMIZE THE
MAINTENANCE INTERVAL ON THE COAL FEEDER SYSTEMS
(Case Study: PT. PJB UP Paiton)***

Farisa Islamidina¹, Sugiono², Remba Yanuar Efranto³
Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail: farisa.dina08@gmail.com¹, sugiono_ub@ub.ac.id², remba@ub.ac.id³

Abstrak

PT PJB Unit Pembangkitan Paiton merupakan perusahaan yang memanfaatkan batu bara dan air. Salah satu cara menjaga aset vital perusahaan adalah dengan melakukan perawatan. Namun, masih sering terjadi kerusakan pada salah satu sistemnya. Frekuensi kerusakan pada mesin Coal Feeder yang menyebabkan kerugian bagi perusahaan secara finansial dan kapasitas produksinya. Penelitian ini menggunakan metode Reliability Centered Maintenance II (RCM II). Metode ini digunakan untuk menentukan jadwal perawatan dan interval waktu perawatan. Penelitian ini memadukan metode berupa RCM II dan FMEA untuk menilai resiko kegagalan fungsi pada Coal Feeder. Hasil dari penelitian ini diketahui terdapat 18 bentuk kegagalan. Nilai Risk Priority Number (RPN) tertinggi sebesar 15 terdapat pada jenis kerusakan berupa shearpin putus, clean out macet, signal palsu cute plug, belt feeder aus, sirip bet feeder aus, belt feeder robek. Untuk mengantisipasi kegagalan tersebut dilakukan dengan memberikan rekomendasi jadwal perawatan pada mesin Coal Feeder. Solusi perawatan pada mesin Coal Feeder adalah dalam bentuk lembar kontrol. Sedangkan untuk biaya perawatannya berada pada kisaran Rp.3.382,83 - Rp. 240.015,38 pada setiap jenis kegagalan. Peningkatan keandalan pada Coal Feeder antara 1,56% - 57,22%.

Kata kunci: Coal Feeder, Perawatan, FMEA, Reliability Centered Maintenance II, Reliability

1. Pendahuluan

Perawatan atau *maintenance* merupakan salah satu fungsi utama usaha, dimana fungsi-fungsi lainnya seperti pemasaran, produksi, keuangan, dan sumber daya manusia (Sudradjat, 2011). *Maintenance* mencakup semua aktivitas yang berkaitan dengan menjaga semua peralatan sistem agar dapat bekerja (Heizer dan Render, 2010). Fungsi perawatan perlu dijalankan secara baik, karena dengan dijalankannya fungsi tersebut fasilitas-fasilitas produksi akan terjaga kondisinya. Peranan perawatan terhadap mesin dan peralatan serta fasilitas lainnya menjadi sangat penting dalam menunjang beroperasinya suatu industri. Oleh karena itu, aktivitas perawatan merupakan bagian integral dari suatu industri untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi (Sudradjat, 2011).

Apabila suatu mesin mengalami kerusakan, maka proses produksi akan terganggu dan perusahaan akan mengalami kerugian waktu produksi (Pujotomo dan Septiawan, 2007). Dalam hal ini penerapan

teori keandalan dapat digunakan untuk memperkirakan peluang suatu sistem dapat melaksanakan fungsinya secara maksimal (Sutanto, 2012).

Seiring meningkatnya kebutuhan listrik di Pulau Jawa dan Bali, maka PT. Pembangkitan Jawa-Bali Unit Pembangkitan Paiton (PT. PJB-UP Paiton) harus mengoptimalkan kapasitas produksinya. Salah satu cara untuk mempertahankan mutu dan produktifitas sistem produksinya adalah dengan memperhatikan masalah perawatan (*maintenance*) fasilitas produksinya.

Selama ini PT. PJB UP Paiton melakukan perawatan mesin setelah terjadi kerusakan pada suatu mesin (*corrective maintenance*). Dari beberapa *plant* yang ada di PT. PJB UP Paiton, mesin *Coal Feeder* merupakan mesin yang salah satunya sering mengalami gangguan. Letak mesin *Coal Feeder* berada diantara *Silo* dan *Mill*. Fungsi dari mesin *Coal Feeder* adalah mengalirkan batu bara dari *Silo* menuju

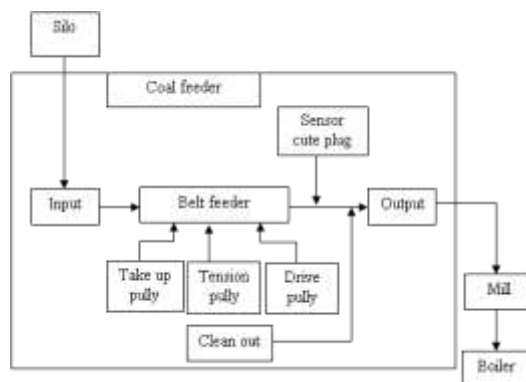
5. Pengujian distribusi terhadap waktu antar kerusakan (T_F) dan waktu antar perbaikan (T_R) pada *Coal Feeder* dengan bantuan software Minitab 16.
6. Penentuan nilai *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR) dengan bantuan software Minitab 16.
7. Perhitungan biaya *maintenance* (C_M) yang terdiri dari gaji kegiatan perawatan, biaya material untuk *preventive maintenance*.
8. Perhitungan biaya perbaikan (C_R) yang terdiri dari biaya *man hours* (C_W), biaya konsekuensi operasional (C_O), biaya penggantian komponen (C_F).
9. Perhitungan interval perawatan optimal (T_M).
10. Penentuan total biaya perawatan (T_C).
11. Penentuan nilai keandalan berdasarkan interval perawatan mode kegagalan masing-masing komponen *Coal Feeder*.

3. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini berisi penjelasan mengenai pengolahan data serta analisis dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

3.1 Functional Block Diagram (FBD)

Diagram ini akan menggambarkan fungsi yang membentuk suatu sistem aliran kerja dari fungsi alat pendukung *Coal Feeder* dalam kesatuan blok yang saling berhubungan antara komponen satu dengan yang lainnya sehingga membentuk satu kesatuan fungsi dalam sistem kerja. Gambar 3. menampilkan *Functional Block diagram* (FBD) *Coal Feeder*.



Gambar 3. *Functional Block Diagram* (FBD) pada Sistem *Coal Feeder*

3.2 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) digunakan sebagai langkah awal untuk melakukan studi terhadap keandalan.

Terdiri dari beberapa tinjauan terhadap komponen – komponen, rakitan dan sub sistem yang kemudian diidentifikasi kemungkinan bentuk kegagalannya, serta penyebab dan efek dari masing-masing kegagalan.

Setelah mengetahui fungsi komponen dan kegagalan fungsi komponen *Coal Feeder*, selanjutnya adalah menyusun FMEA untuk mencari penyebab dan efek yang ditimbulkan dari kegagalan yang terjadi. Berikut ini adalah contoh dari analisa FMEA pada beberapa komponen *Coal Feeder* terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. *Failure Modes and Effect Analysis* (FMEA) pada *Coal Feeder*

RCMH INFORMATION WORKSHEET		Sistem: <i>Coal Feeder</i>			
		Sub sistem:			
		Fungsi sub sistem: Menyuplai batubara dari Silo ke Mill			
No	Equipment	Function	Function Failure	Failure mode	Effect of failure
1	<i>Belt motion</i>	1. Alat untuk mengukur kecepatan putaran pada <i>belt feeder</i>	1. Gagal melakukan pengukuran kecepatan	1. <i>Belt motion</i> macet 2. <i>Belt motion roller</i> pusing 3. Pen sensor patah	Jumlah produksi MWH menurun sebesar 8 % dari 400 MW. Sensor akan berhenti dan <i>Coal Feeder</i> mati atau trip, sehingga jumlah produksi MWH menurun sebesar 8 % dari 400 MW.
2	<i>Load cell</i>	1. Alat untuk mengukur berat batu bara yang melewati <i>belt feeder</i>	1. Gagal melakukan pengukuran berat batubara	1. Kegagalan fungsi dalam pengukuran	1. Mempengaruhi jumlah batubara yang masuk ke boiler yang berdampak penghitungan <i>overall</i> efisiensi tidak akurat.
3	<i>Roller shaft</i>	1. Alat penahan <i>belt feeder</i>	1. Gagal bekerja	1. <i>Roller</i> patah 2. <i>Roll</i> macet	Jumlah produksi MWH menurun sebesar 8 % dari 400 MW.
4	<i>No Coal Switch</i>	1. Alat untuk menghentikan sistem jika didalam feeder tidak terdapat batubara	1. Gagal melakukan sensor pada batubara	1. Sensor tidak bekerja	<i>Internal combustion</i> di Mill.

Berdasarkan Tabel 1. secara keseluruhan terdapat 18 betuk kegagalan pada komponen-komponen *Coal Feeder*. Untuk lebih jelasnya terdapat pada Lampiran 1.

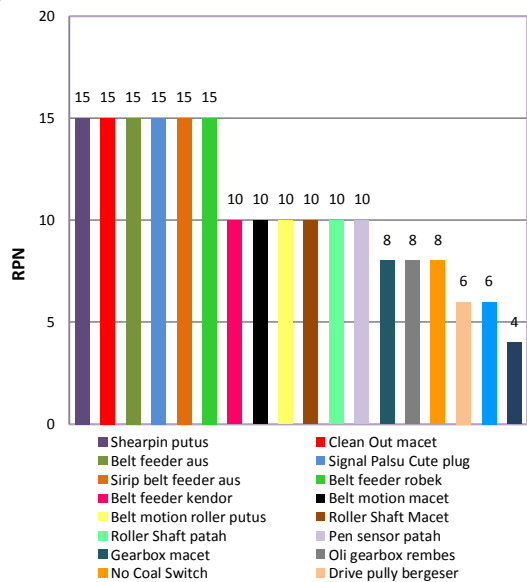
3.3 Risk Priority Number (RPN)

Kriteria penilaian RPN dibuat melalui penyesuaian serta persetujuan dari pihak *Engineering* dan pemeliharaan PT PJB Unit Pembangkitan Paiton. Berikut ini adalah contoh dari hasil penilaian RPN untuk *equipment Coal Feeder* pada Tabel 2.

Tabel 2. *Failure Modes and Effect Analysis (FMEA) dan Penilaian RPN pada Coal Feeder*

RCM II INFORMATION WORKSHEET		Sistem: Coal Feeder											
		Sub sistem:											
		Fungsi sub sistem: Menyuplai batubara dari Silo ke Mill											
No	Equipment	Function	Function Failure	Failure mode	Effect of failure	S	O	D	RPN				
1	Belt Motion	1	Alat untuk mengukur kecepatan putaran pada belt feeder	1	Gagal melakukan pengukuran kecepatan	1	Belt motion macet	Jumlah produksi MWH menurun sebesar 8 % dari 400 MW.	1	5	2	10	
						2	Belt motion roller putus		1	5	2	10	
						3	Pen sensor patah	Sensor akan berhenti dan Coal Feeder mati atau trip, sehingga jumlah produksi MWH menurun sebesar 8 % dari 400 MW.	1	5	2	10	
2	Load cell	1	Alat untuk mengukur berat batu bara yang melewati belt feeder	1	Gagal melakukan pengukuran berat batubara	1	Kegagalan fungsi dalam pengukuran	Mempengaruhi jumlah batubara yang masuk ke boiler yang berdampak penghitungan overall efisiensi tidak akurat.	1	3	2	6	
3	Roller Shaft	1	Alat penahan belt feeder	1	Gagal bekerja	1	Roller patah	Jumlah produksi MWH menurun sebesar 8 % dari 400 MW.	1	5	2	10	
						2	Roll macet		1	5	2	10	
4	No Coal Switch	1	Alat untuk menghentikan sistem jika didalam feeder tidak terdapat batubara	1	Gagal melakukan sensor pada batubara	1	Sensor tidak bekerja	Internal combustion di Mill.	1	4	2	8	
5	Drive Pully	1	Motor penggerak	1	Gagal berputar menggerakkan belt feeder	1	Drive pully bergeser	Internal combustion di Mill.	1	3	2	6	
						2	1	Gearbox macet	Drive pully berhenti Coal Feeder mati atau trip, jumlah produksi MWH menurun sebesar 8 % dari 400 MW	1	4	2	8
							2	Oli gearbox rembes		1	4	2	8
6	Take Up Pully	1	Mengikuti gerak drive pully	1	Gagal berputar	1	Bearing aus	Jumlah produksi MWH menurun sebesar 8 % dari 400 MW	1	2	2	4	
7	Belt feeder	1	Pembawa batubara	1	Gagal berputar membawa batubara	1	Belt feeder robek	Batubara tumpah	1	5	3	15	
						2	Belt feeder aus	- Slip - Tidak dapat dikalibrasi	1	5	3	15	
						3	Belt feeder kendur	- Internal combustion di Mill. - Tidak dapat dikalibrasi	1	5	2	10	
						4	Sirip belt feeder aus	Belt feeder robek apabila tumpahan terlalu banyak	1	5	3	15	
8	Clean Out	1	Sebagai pembersih batubara yang jatuh berserakan	1	Gagal melakukan proses cleaning	1	Shearpin putus	Belt feeder robek apabila tumpahan terlalu banyak	1	5	3	15	
						2	Clean Out macet	Belt feeder robek apabila tumpahan terlalu banyak	1	5	3	15	
9	Sensor cute plug	1	Sebagai sensor jika terjadi penyumbatan	1	Gagal melakukan sensor penyumbatan	1	Muncul signal palsu	Terjadi penyumbatan atau plugging pada output Coal Feeder	1	5	3	15	

Tahap selanjutnya yaitu, setelah nilai *Risk Priority Number* (RPN) diperoleh kemudian merepresentasikan nilai RPN tersebut ke dalam diagram. Diagram tersebut akan membantu dalam memberikan gambaran kegagalan yang terjadi pada peralatan *Coal Feeder*. Gambar 3. menggambarkan diagram nilai RPN pada komponen *Coal Feeder*



Gambar 4. Diagram nilai RPN pada Komponen *Coal Feeder*

Berdasarkan Gambar 4. dapat diketahui bahwa mode kegagalan yang memiliki nilai RPN tertinggi sebesar 15 adalah *belt feeder* robek, *belt feeder* aus, *sirip belt feeder* aus, *shearpin* putus, *clean out* macet dan munculnya signa palsu pada *Chute plug*. Ke enam mode kegagalan ini memiliki nilai yang tinggi karena frekuensi dengan mode kegagalan seperti ini lebih tinggi dan efek yang ditimbulkan dapat mengakibatkan terhentinya sistem *Coal Feeder* dan mengurangi kapasitas *output* produksi.

3.4 RCM II Decision Worksheet

Padadecision worksheet ini akan ditentukan jenis kegiatan perawatan yang sesuai untuk setiap *failure modes* dari peralatan *Coal Feeder*, dimana pengisian *decision worksheet* dibantu dengan RCM II *decision diagram*. Contoh Hasil dari pengisian RCM II *Decision Worksheet* terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. RCM II Decision Worksheet pada *Coal Feeder*

No	Kerusakan	F	FF	FMA	Consequence						Default Action	Proposed Task	Interval (jam)	Cost
					H	S	M	Y	H	S				
1	Alat pemakan batu	Y	N	N	Y	N	N	Y	N	N	Y	Scheduled maintenance	37,00	Medium
2	Alat pemakan batu	Y	N	N	Y	N	N	Y	N	N	Y	Scheduled maintenance	30,00	Medium
3	Alat pemakan batu	Y	N	N	Y	N	N	Y	N	N	Y	Scheduled maintenance	30,75	Medium
4	Alat pemakan batu	Y	N	N	Y	N	N	Y	N	N	Y	Scheduled maintenance	33,00	Medium
5	Alat pemakan batu	Y	N	N	Y	N	N	Y	N	N	Y	Scheduled maintenance	33,00	Medium

RCM II untuk membantu menentukan *consequence* dan *proactive task* yang akan diberikan. Tindakan *proactive task* yang akan diberikan pada masing-masing bentuk kegagalan adalah secara teknis dan mudah dilakukan, dimana untuk mencapai kondisi tersebut terdapat beberapa persyaratan yang ada di dalam metode RCM II.

Setelah itu menentukan jenis perawatan yang tepat pada berbagai jenis kegagalan pada komponen-komponen *Coal Feeder*. Dalam penyusunan *task-task* tersebut juga melakukan *brainstorming* dengan supervisor *engineering* dan pemeliharaan (*maintenance*) yang berwenang di perusahaan. *Task* yang telah disusun secara keseluruhan dapat dibedakan menjadi 3 bagian sebagai berikut:

1. Scheduled discard task

Sebagai contoh kerusakan komponen yang menghendaki dilakukannya *discard task* adalah kerusakan *Belt motion roller* putus, pen sensor *belt motion* patah, roller shaft patah, *Drive Pulley* bergeser, take up pulley, *belt feeder* robek, *belt feeder* aus, sirip *belt feeder* aus, dan *shearpin* putus.

2. Scheduled restoration task

Kegagalan komponen pada *Coal Feeder* yang diatasi dengan *scheduled restoration task* adalah *belt motion* macet, *no coal switch*, sensor *Chute plug*, dan *clean out* macet. Misalnya pada *no coal switch* dengan jenis kegagalan sensor tidak dapat bekerja.

3. Scheduled on-condition task

Scheduled on condition task atau *predictive maintenance* ini kegiatannya dibagi dalam 3 kelompok sebagai berikut:

a. Teknik *condition monitoring*

Teknik ini menggunakan peralatan khusus untuk melakukan monitor terhadap komponen. Tindakan *maintenance* yang diberikan dengan menggunakan teknik ini adalah pendeteksian kegagalan pada *belt feeder* yaitu dengan menggunakan alat ukur *vibrationmeter*.

b. Teknik *primary effect monitoring*

Teknik ini menggunakan peralatan yang mampu memonitor *primary effect* (efek utama). Teknik ini dimonitor langsung oleh operator dengan mengamati melalui sistem computer yang ada di *centre control room* (CCR). Seperti pada mode kegagalan *roller macet* dan *gearbox macet*.

c. Teknik *human sense*

Penggunaan indera kemanusiaan yang dimiliki oleh operator (*look, listen/sound, feel/touch & smell*) untuk menemukan *potential failure*. Seperti pada pendeteksian kegagalan *Load Cell* dengan cara operator melihat langsung adanya ketidaksesuaian dalam pengukuran berat batu bara dan pada jenis kegagalan oli *gearbox* rembes.

3.5 Uji Distribusi

Dimulai dengan melakukan uji distribusi terhadap interval kerusakan dan selang lamanya perbaikan komponen sehingga diperoleh parameter distribusi dengan menggunakan *software* Minitab 16. Parameter distribusi yang telah diperoleh akan digunakan dalam penentuan *mean time to failure* (MTTF) dan *mean time to repair* (MTTR). Hasil perhitungan MTTF menunjukkan bahwa semakin besar nilai MTTF dari suatu komponen maka hal ini menunjukkan bahwa peralatan tersebut memiliki rentang waktu kerusakan yang lama. Sebaliknya jika nilai MTTF pada suatu komponen kecil, maka hal ini berarti komponen tersebut semakin rentan untuk mengalami kerusakan. Berikut ini adalah tabel mengenai hasil uji distribusi T_F .

Tabel 4. Rekap Hasil Pengujian Distribusi T_f dan MTTF Komponen-komponen Kritis *Coal Feeder*

Equipment	Jenis Kerusakan	Jenis Distribusi	Ket	Parameter		MTTF (jam)
				β	η	
<i>Belt motion</i>	<i>Belt motion macet</i>	Weibull	TTF	1.079	3969,44	3854,87
	<i>Belt motion roller putus</i>	Weibull	TTF	1.887	2799,05	2484,32
	<i>Pen sensor patah</i>	Weibull	TTF	1,062	3604,39	3520,26
<i>Roller Shaft</i>	<i>Roller patah</i>	Weibull	TTF	1,511	5083,33	4584,72
<i>Take Up Pulley</i>	<i>Bearing aus</i>	Weibull	TTF	4,886	5048,22	4628,96
<i>No Coal Switch</i>	<i>Sensor tidak bekerja</i>	Weibull	TTF	1,268	5484,34	5091,18
<i>Drive Pulley</i>	<i>Drive pulley bergeser</i>	Weibull	TTF	1.805	5473,63	4866,56
<i>Belt feeder</i>	<i>Belt feeder robek</i>	Weibull	TTF	1,001	4086,46	4084,51
	<i>Belt feeder aus</i>	Weibull	TTF	1,596	4481,27	4018,59
	<i>Sirip Belt feeder aus</i>	Weibull	TTF	1,55	6516,36	5860,51
<i>Clean out</i>	<i>Clean out macet</i>	Weibull	TTF	1,092	2474,08	2392,81
	<i>Shearpin putus</i>	Weibull	TTF	1,017	3099,9	3078,34
<i>Chute Plug</i>	<i>Signal Palsu</i>	Weibull	TTF	1.005	2239,2	2233,85

Sedangkan hasil rekapan uji distribusi waktu antar perbaikan disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rekap Hasil Pengujian Distribusi T_r dan MTTR Komponen-komponen Kritis *Coal Feeder*

Equipment	Jenis Kerusakan	Jenis Distribusi	Ket	Parameter			MTTR (jam)	
				β	η	σ		
<i>Belt motion</i>	<i>Belt motion macet</i>	Lognormal	TTR			0,171	0,432	1.302
	<i>Belt motion roller putus</i>	Weibull	TTR	5.142	1.733			1.594
	<i>Pen sensor patah</i>	Weibull	TTR	2,48	2,529			2.243
<i>Roller Shaft</i>	<i>Roller patah</i>	Lognormal	TTR			0,652	0,742	2.529
<i>Take up Pulley</i>	<i>Bearing aus</i>	Weibull	TTR	1,849	1,111			0.987
<i>No Coal Switch</i>	<i>Sensor tidak bekerja</i>	Weibull	TTR	4.712	0,714			0,653
<i>Drive Pulley</i>	<i>Drive pulley bergeser</i>	Weibull	TTR	5.304	1,296			1.194
<i>Belt feeder</i>	<i>Belt feeder robek</i>	Lognormal	TTR			1.028	0.430	3.067
	<i>Belt feeder aus</i>	Weibull	TTR	2,651	0,746			0.663
	<i>Sirip Belt feeder aus</i>	Weibull	TTR	1,485	1,309			1.183
<i>Clean out</i>	<i>Cleanout macet</i>	Weibull	TTR	2.996	0,633			0,565
	<i>Shearpin putus</i>	Lognormal	TTR			0.639	0,432	2.081
<i>Chute Plug</i>	<i>Signal Palsu</i>	Weibull	TTR	1.090	0,796			0,77

Dari hasil pengujian distribusi data menunjukkan bahwa komponen yang memiliki nilai waktu antar kerusakan tertinggi adalah sirip *belt feeder* aus yaitu 5860,51 jam, sedangkan komponen yang nilai MTTF nya paling rendah adalah munculnya signal palsu pada sensor *Chute plug* yaitu 2233,85jam.

3.6 Biaya *Maintenance* (C_M)

Untuk melakukan perhitungan biaya *maintenance* (C_M), maka data-data yang dibutuhkan adalah biaya atau gaji tenaga kerja yang melakukan tindakan *preventive maintenance* serta biaya material atau bahan yang digunakan untuk perawatan. Kegiatan perawatan secara rutin pada *Coal Feeder* dilakukan oleh dua orang petugas, dengan alokasi gaji yang disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan Gaji Kegiatan Perawatan

Tenaga Kerja	Gaji (Rp)	Jumlah Personal	Total Gaji (Rp)	
			Per Bulan	Per Jam
Petugas Pemeliharaan	7.000.000	2	14.000.000	87.500

Jam kerja perusahaan dalam 1 hari adalah 8 jam dimana dalam 1 bulan terdapat 20 hari kerja sehingga jumlah jam kerja selama 1 bulan adalah 160 jam. *Preventive maintenance* yang dilakukan pada *Coal Feeder* meliputi pengecekan kondisi mesin, penambahan oli, pembersihan (*cleaning*), kalibrasi. Daftar material atau bahan yang digunakan dalam kegiatan perawatan *preventive* terdapat pada Tabel 6.

Tabel 6. Daftar Material untuk *Preventive Maintenance*

No.	Item	Konsumsi per-bulan	Harga per-liter (Rp)	Konsumsi per jam (liter)	Harga (Rp)/jam
1.	Lubricating Oil	100 liter/bulan	34.000	0,139	4.722

Sehingga dari data gaji tenaga kerja untuk kegiatan perawatan dan material untuk *preventive maintenance* di atas dapat diketahui alokasi biaya untuk *maintenance* (C_M) sebagai berikut:

Tabel 7. Alokasi biaya untuk *maintenance* (C_M)

Komponen Biaya	Besarnya biaya per-jam
Biaya Pekerja	Rp. 87.500
Biaya Material	Rp. 4.722
Total	Rp. 92.222

3.7 Biaya Perbaikan (C_R)

Biaya perbaikan timbul akibat adanya komponen *Coal Feeder* yang mengalami kerusakan atau kegagalan dan membutuhkan perbaikan atau penggantian komponen. Biaya perbaikan (C_R) terdiri dari biaya *man hours* (C_W), biaya pemulihan atau penggantian komponen (C_F), dan biaya konsekuensi operasional akibat mesin tidak beroperasi (C_O).

1. Biaya *Man Hours* (C_W)

Tenaga kerja tersebut berjumlah 5 orang yang terdiri dari 1 orang supervisor, dan 4 orang pelaksana. Dimana jumlah jam kerja perusahaan selama satu bulan adalah 160 jam. Perhitungan biaya *man hours* dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Perhitungan Gaji untuk Kegiatan Perawatan Perbaikan

Tenaga Kerja	Gaji		Jumlah Personel	Total Gaji	
	Per-bulan (Rp)	Per-jam (Rp)		Per-bulan (Rp)	Per-jam (Rp)
Supervisor Pemeliharaan	9.000.000	56.250	1	9.000.000	56.250
Pemeliharaan/Mekanik	7.000.000	43.750	2	14.000.000	87.500
Pemeliharaan/Instrumen	7.000.000	43.750	2	14.000.000	87.500
Total				37.000.000	231.250

Jadi total biaya untuk tenaga kerja yang dikeluarkan oleh perusahaan untuk kegiatan perbaikan (C_W) adalah sebesar Rp. 231.250,00 per jam dengan asumsi bahwa seluruh tenaga kerja tersebut *available* untuk melakukan kegiatan perawatan atau perbaikan.

2. Biaya konsekuensi operasional (C_O)

Biaya konsekuensi operasional merupakan biaya yang timbul akibat terjadinya *downtime* pada *Coal Feeder*. Hal tersebut menyebabkan perusahaan mengalami kerugian. Jika pada PLTU Paiton berkapasitas 400 MW dengan harga 1 KWH adalah Rp. 800,00 maka besarnya biaya konsekuensi operasional yang akan diterima oleh perusahaan sebagai berikut:

$$C_O = \text{Rp. } 800,00/\text{kWh} \times (400 \times 10^3) \text{ kW} \\ = \text{Rp. } 320.000.000,00/\text{jam}$$

3. Biaya penggantian komponen (C_F)

Biaya ini timbul akibat adanya kerusakan dari komponen atau peralatan *Coal Feeder* yang membutuhkan penggantian pada komponennya, diasumsikan dengan menggunakan harga komponen *Coal Feeder* secara umum dengan persetujuan pihak perusahaan karena adanya kebijakan data asset merupakan rahasia perusahaan, maka harga komponen dari *Coal Feeder*. Berikut ini adalah rekap dari perhitungan biaya perbaikan disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Rekap Biaya Perbaikan (C_R)

Equipment	Jenis Kerusakan	C_f	C_w	C_o	MTTR	C_R
Belt motion	Belt motion macet	Rp. 0,00	231.250	320×10 ⁶	1,302	Rp. 416.941.08750
	Belt motion roller putus	Rp. 3.340,95	231.250	320×10 ⁶	1,594	Rp. 510.451.95345
	Pen sensor patah	Rp. 2.840,70	231.250	320×10 ⁶	2,243	Rp. 718.281.53445
Roller Shaft	Roller patah	Rp. 1.199,64	231.250	320×10 ⁶	2,529	Rp. 809.866.03089
Take Up Pulley	Bearing aus	Rp. 799,32	231.250	320×10 ⁶	0,987	Rp. 316.069.04307
No Coal Switch	Sensor tidak bekerja	Rp. 0,00	231.250	320×10 ⁶	0,653	Rp. 209.111.00625
Drive Pulley	Drive Pulley bergeser	Rp. 3.082,26	231.250	320×10 ⁶	1,194	Rp. 382.359.19476
Belt feeder	Belt feeder robek	Rp. 2.448,27	231.250	320×10 ⁶	3,067	Rp. 982.151.69202
	Belt feeder aus	Rp. 2.488,43	231.250	320×10 ⁶	0,663	Rp. 212.315.80718
	Sirip belt feeder aus	Rp. 1.706,34	231.250	320×10 ⁶	1,183	Rp. 378.835.27509
Clean Out	Clean out macet	Rp. 0,00	231.250	320×10 ⁶	0,563	Rp. 180.930.65625
	Shearpin putus	Rp. 3.216,02	231.250	320×10 ⁶	2,081	Rp. 666.404.44727
Chute Plug	Muncul signal palsu	Rp. 0,00	231.250	320×10 ⁶	0,770	Rp. 246.578.06250

3.8 Interval Perawatan Optimal (T_M)

Penentuan T_M dilakukan dengan mempertimbangkan biaya yang dikeluarkan untuk perawatan (C_M), biaya untuk perbaikan (C_R) serta nilai dari waktu antar perbaikan (MTTR). Oleh karena itu besarnya biaya yang dikeluarkan untuk perawatan dan perbaikan harus ditentukan terlebih dahulu sebelum menghitung nilai interval perawatan optimal (T_M).

Berdasarkan perhitungan interval perawatan optimal (T_M), maka dapat diketahui bahwa besarnya nilai T_M lebih rendah dari nilai MTTFnya. Hal ini menunjukkan bahwa interval perawatan yang disarankan tidak melebihi waktu keagalannya sehingga dapat meminimalkan terjadinya kegagalan. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 10. mengenai rekap hasil perhitungan T_M dengan nilai MTTFnya.

Tabel 10. Rekap Hasil Perhitungan T_M dengan Nilai MTTF

Equipment	Jenis kerusakan	T_M (jam)	MTTF (jam)
Belt motion	Belt motion macet	17,09	3854,87
	Belt motion roller putus	30,98	2484,32
	Pen sensor patah	10,71	3520,26
Roller Shaft	Roller patah	19,46	4584,72
Take Up Pulley	Bearing aus	722,82	4628,96
No Coal Switch	Sensor tidak bekerja	34,99	5091,18
Drive Pulley	Drive Pulley bergeser	61,14	4866,56
	Belt feeder robek	384,65	4084,51
Belt feeder	Belt feeder aus	48,50	4018,59
	Sirip belt feeder aus	44,69	5860,51
	Clean out macet	21,24	2392,81
Clean Out	Shearpin putus	27,35	3078,34
	Muncul signal palsu	169,73	2233,85

Berdasarkan Tabel 10. menunjukkan bahwa interval waktu perawatan optimal (T_M) bertujuan untuk menghindari dan

mencegah terjadinya kegagalan (*failure*) pada komponen sebelum kegagalan tersebut terjadi.

3.9 Keandalan dan Total Biaya Perawatan (T_C)

Setelah menghitung interval perawatan optimal (T_M), mengetahui interval perawatan aktual (T_A) dan telah dihitung pula keandalan aktualnya $R(t)_A$ dan nilai keandalan berdasarkan interval perawatan optimal $R(t)$. Dari hasil perhitungan ternyata nilai keandalan dapat ditingkatkan dan total biaya pada komponen-komponen kritis dapat diturunkan.

Peningkatan keandalan terbesar terdapat pada komponen *clean out* dengan jenis kerusakan berupa *clean out* macet, persentase peningkatan keandalan sebesar 57,22%. Untuk komponen yang memiliki peningkatan keandalan terkecil pada *take up pulley* dengan jenis kerusakan *bearing* macet, peningkatan keandalannya sebesar 1,56%. Hal ini terjadi karena nilai keandalan aktual dan keandalan berdasarkan T_M telah menduduki posisi tertinggi sehingga peningkatannya tidak terlalu banyak dan dikarenakan kerusakan jenis ini sangat jarang terjadi. Berikut ini adalah rekap hasil perhitungan keandalan.

Tabel 11. Rekap Hasil Perhitungan Keandalan dan Persentase Kegagalan

Equipment	Jenis kerusakan	T_M	$R(t)$	$Q(t)$
Belt motion	Belt motion macet	17,09	0,9972	0,28%
	Belt motion roller putus	30,98	0,9998	0,02%
	Pen sensor patah	10,71	0,9979	0,21%
Roller Shaft	Roller patah	19,46	0,9998	0,02%
Take Up Pulley	Bearing aus	722,82	0,9999	0,01%
No Coal Switch	Sensor tidak bekerja	34,99	0,9984	0,16%
Drive Pulley	Drive Pulley bergeser	61,14	0,9997	0,03%
Belt feeder	Belt feeder robek	384,65	0,9104	8,96%
	Belt feeder aus	48,50	0,9993	0,07%
	Sirip belt feeder aus	44,69	0,9996	0,04%
Clean Out	Clean out macet	21,24	0,9945	0,55%
	Shearpin putus	27,35	0,9919	0,81%
Chute Plug	Muncul signal palsu	169,73	0,9279	7,21%

Kemudian untuk total biaya perawatan seluruhnya mengalami penurunan biaya perawatan. Penurunan total biaya perawatan terbesar berdasarkan selisih dari biaya perawatan aktual dan biaya usulan terdapat pada komponen *belt motion* dengan jenis kerusakan *belt motion roller* putus sebesar Rp. 138.620,86 dan selisih total biaya perawatan terkecil terdapat pada *belt feeder* robek sebesar Rp.

217,04. Penurunan total biaya perawatan dan peningkatan keandalan dapat dijadikan usulan interval perawatan optimal pada komponen *Coal Feeder*. Berikut ini adalah hasil rekap perhitungan total biaya perawatan.

Tabel 12. Rekap Total Biaya Perawatan (T_c)

Equipment	Jenis kerusakan	T_M (jam)	T_c
<i>Belt motion</i>	<i>Belt motion macet</i>	17,09	Rp. 73.698,11
	<i>Belt motion roller patah</i>	30,98	Rp. 6.334,47
	Pen sensor patah	10,71	Rp. 147.537,72
<i>Roller Shaft</i>	<i>Roller patah</i>	19,46	Rp. 14.011,09
<i>Take Up Pulley</i>	<i>Bearing aus</i>	722,82	Rp. 160,43
<i>No Coal Switch</i>	Sensor tidak bekerja	34,99	Rp. 12.474,51
<i>Drive Pulley</i>	<i>Drive Pulley bergeser</i>	61,14	Rp. 3.382,83
<i>Belt feeder</i>	<i>Belt feeder robek</i>	384,65	Rp. 240.015,38
	<i>Belt feeder aus</i>	48,50	Rp. 5.093,38
	Sirip <i>belt feeder</i> aus	44,69	Rp. 5.816,42
<i>Clean Out</i>	<i>Clean out macet</i>	21,24	Rp. 51.548,49
	<i>Shearpin putus</i>	27,35	Rp. 201.737,16
<i>Chute Plug</i>	Muncul signal palsu	169,73	Rp. 109.250,94

3.10 Usulan Perbaikan Tindakan Perawatan dan Jadwal Perawatan Optimal

Sumber informasi tindakan perawatan yang akan dilakukan dapat dilihat pada Tabel 3. *RCM II Decision Worksheet* pada *Coal Feeder* dengan mengacu pada *proposed task* dan interval waktu perawatan optimal.

Berikut ini adalah contoh usulan jadwal perawatan berdasarkan interval waktu perawatan optimal (T_M). Usulan jadwal perawatan dilakukan berdasarkan jenis kegagalan pada masing-masing komponen *Coal Feeder*. Jadwal perawatan tersebut dilakukan untuk mengontrol kondisi mesin dalam bentuk *checklist* dengan 3 kriteria kondisi, yaitu:

1. Periksa (P)
2. Tindakan: memberikan pelumas dan membersihkan (T)
3. Ganti (G)

Tiga kriteria tersebut digunakan untuk memberikan informasi terhadap kondisi masing-masing komponen *Coal Feeder*.

Berikut ini adalah contoh usulan jadwal perawatan dimulai dari jam ke 00.00 WIB pada minggu ke empat bulan Januari 2014 pada Tabel 13.

Tabel 13. Usulan Jadwal Perawatan bulan Januari Minggu Ke-4

Coal Feeder	Bulan Januari 2014						
Kampanye	Minggu Ke-4						
	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu
1. Belt Motion							
Belt motion macet	17	34	51	68	85	102	119
Belt motion roller patah		30	60	90	120	150	
Pen sensor patah	10	30	50	70	90	110	130
	20	40	60	80	100	120	140
2. Lead Coil							
Kegagalan fungsi dalam pengukuran							
3. Roller Shaft							
Roller patah	19	38	57	76	95	114	133
Roller macet							
4. No Coal Switch							
Sensor tidak bekerja		34	68			102	136
5. Drive Pulley							
Drive pulley bergeser			61			122	
Grahaus macet							
OLI carbon romba							
6. Take Up Pulley							
Bearing macet							
7. Belt Feeder							
Belt feeder robek							
Belt feeder aus			49		98		147
Belt feeder kendor							
Sirip feeder aus			49	98	147		
8. Cleanout							
Shearpin putus		27	54	81	108	135	162
Cleanout macet	21	42	63	84	105	126	147
9. Sensor Chute Plug							
Muncul signal palsu							
Keterangan:							
■ - Tidak dilakukan perawatan	- Waktu dalam jam						
■ - Seling hari	- Waktu dimulai dari jam 00.00 WIB						

Berdasarkan Tabel 7 dapat diketahui bahwa kegiatan perawatan untuk *Coal Feeder* berdasarkan waktu interval perawatan optimal. Lembar kontrol tersebut diisi sesuai kode yang telah disebutkan sebelumnya berdasarkan kondisi suatu komponen pada mesin *Coal Feeder*.

Keuntungan dari adanya lembar kontrol tersebut dapat meminimalkan terjadinya kegagalan fungsi pada komponen-komponen *Coal Feeder*. Rekomendasi jadwal perawatan dilakukan berdasarkan T_M pada jenis kegagalan masing-masing komponen dan aktivitas perawatannya berdasarkan kondisi dari suatu komponen tersebut.

4. Penutup

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisa data yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil penilaian resiko dengan *risk priority number* (RPN) yang diberikan dalam RCM II *information worksheet* atau FMEA menunjukkan bahwa komponen kritis yang perlu mendapatkan prioritas utama atau memiliki tingkat kepentingan tinggi untuk diperhatikan (*need most attention*) adalah kegagalan fungsi (*functional failure*) pada *shear pin* putus, *cleanout* macet, *belt feeder* aus, dan signal palsu *Chute plug* dengan nilai RPN masing-masing adalah 15.
2. Jenis perawatan untuk mesin *Coal Feeder* berdasarkan interval pada masing-masing jenis kegagalan komponen *Coal Feeder* dalam bentuk lembar kontrol. Hal tersebut ditujukan untuk menjaga kondisi mesin agar selalu dalam keadaan siap pakai dan meminimalkan terjadinya kegagalan.
3. Berdasarkan hasil perhitungan interval perawatan optimal (T_M) dengan mempertimbangkan biaya *maintenance* (C_M) dan biaya perbaikan (C_R), maka dapat diketahui bahwa nilai interval perawatan optimal (T_M) yang diperoleh untuk mencegah kegagalan pada komponen *Coal Feeder* lebih kecil dari nilai MTTFnnya. Hal ini menunjukkan bahwa dengan waktu interval perawatan optimal (T_M), maka akan berusaha untuk mencegah terjadinya kegagalan fungsi komponen sebelum kerusakan terjadi. Hasil perhitungan T_M dapat meningkatkan keandalan dan meminimalkan biaya perawatan seperti pada berikut ini:
 - a. Terjadi peningkatan keandalan dan penurunan total biaya perawatan (T_C) untuk semua komponen-komponen kritis. Peningkatan keandalan terbesar terdapat pada *clean out* macet sebesar 57,22% dan terkecil terdapat pada *take up pulley* dengan jenis kerusakan *bearing* aus sebesar 1,56%.
 - b. Selain itu terdapat penurunan total biaya perawatan terbesar terdapat pada komponen *belt motion* dengan jenis kerusakan *roller belt motion* putus sebesar Rp. 138.620,86 dan penurunan total biaya perawatan terkecil sebesar

Rp. 217,04 dengan jenis kegagalan *belt feeder* robek. Dalam hal ini interval perawatan untuk seluruh komponen kritis dapat dijadikan kebijakan perawatan yang optimal pada mesin *Coal Feeder*.

Daftar Pustaka

- Ebelling, E, Charles. (1997), *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*, Singapore.
- Heizer, Jey dan Barry, Render (2010), *Manajemen Operasi*, Jakarta: Salemba Empat.
- PT. Pembangkitan Jawa-Bali Unit Pembangkitan Paiton (2013), Paiton.
- Pujotomo, Darminto dan Septiawan, Heppy.
<http://ejournal.undip.ac.id/index.php/jgti/article/view/2242>, diakses pada 4 Februari 2013.
- Sudradjat, Ating (2011), *Pedoman Praktis Manajemen Perawatan Mesin Industri*, Jakarta: efika Aditama.
- Sutanto, Fajar Ardyantara. 22 Maret 2013.
<http://digilib.its.ac.id/ITS-Undergraduate-21001120000247/19639>.

Lampiran 1. Failure Modes and Effect Analysis (FMEA) pada Coal Feeder

RCM II INFORMATION WORKSHEET		Sistem: <i>Coal Feeder</i>						
		Sub sistem:						
		Fungsi sub sistem: <i>Menyuplai batubara dari Silo ke Mill</i>						
No	Equipment	Function		Function Failure	Failure mode	Effect of failure		
1	<i>Belt motion</i>	1	Alat untuk mengukur kecepatan putaran pada <i>belt feeder</i>	1	Gagal melakukan pengukuran kecepatan	1	<i>Belt motion</i> macet	Jumlah produksi MWH menurun sebesar 8 % dari 400 MW.
						2	<i>Belt motion roller</i> putus	
						3	Pen sensor patah	Sensor akan berhenti dan <i>Coal Feeder</i> mati atau trip, sehingga jumlah produksi MWH menurun sebesar 8 % dari 400 MW.
2	<i>Load cell</i>	1	Alat untuk mengukur berat batu bara yang melewati <i>belt feeder</i>	1	Gagal melakukan pengukuran berat batubara	1	Kegagalan fungsi dalam pengukuran	Mempengaruhi jumlah batubara yang masuk ke boiler yang berdampak penghitungan <i>overall</i> efisiensi tidak akurat.
3	<i>Roller Shaft</i>	1	Alat penahan <i>belt feeder</i>	1	Gagal bekerja	1	<i>Roller</i> patah	Jumlah produksi MWH menurun sebesar 8 % dari 400 MW.
						2	Roll macet	
4	<i>No Coal Switch</i>	1	Alat untuk menghentikan sistem jika didalam feeder tidak terdapat batubara	1	Gagal melakukan sensor pada batubara	1	Sensor tidak bekerja	<i>Internal combustion</i> di Mill.
5	<i>Drive Pulely</i>	1	Motor penggerak	1	Gagal berputar menggerakkan belt feeder	1	Drive Pulely bergeser	<i>Internal combustion</i> di Mill.
						2	Gangguan pada gearbox	1
6	<i>Take Up Pully</i>	1	Mengikuti gerak drive pully	1	Gagal berputar	1	Bearing aus	Jumlah produksi MWH menurun sebesar 8 % dari 400 MW
7	<i>Belt feeder</i>	1	Pembawa batubara	1	Gagal berputar membawa batubara	1	Belt feeder robek	Batubara tumpah
						2	Belt feeder aus	- Slip -Tidak dapat dikalibrasi
						3	Belt feeder kendur	- <i>Internal combustion</i> di Mill. -Tidak dapat dikalibrasi
						4	Sirip belt feeder aus	<i>Belt feeder</i> robek apabila tumpahan terlalu banyak
8	<i>Clean Out</i>	1	Sebagai pembersih batubara yang jatuh berserakan	1	Gagal melakukan proses <i>cleaning</i>	1	Shearpin putus	<i>Belt feeder</i> robek apabila tumpahan terlalu banyak
						2	Clean Out macet	<i>Belt feeder</i> robek apabila tumpahan terlalu banyak
9	<i>Sensor Chute plug</i>	1	Sebagai sensor jika terjadi penyumbatan	1	Gagal melakukan sensor penyumbatan	1	Muncul signal palsu	Terjadi penyumbatan / <i>plugging</i> pada output <i>Coal Feeder</i>

Lampiran 2. RCM II Decision Worksheet pada Coal Feeder

RCM II DECISION WORKSHEET		Sistem: <i>Coal Feeder</i>										Date:			Sheet no:			
		Sub sistem:																
		Fungsi sub sistem: Menyuplai batubara dari <i>Silo ke Mill</i>										Of:			Of:			
Information Reference					Consequence Evaluation				H1	H2	H3	Default Action			Proposed Task	Initial Interval (jam)	Can be done by	
No	Equipment	F	FF	FM	H	S	E	O	E1	E2	E3	H4	H5	S4				
									O1	O2	O3							
1	<i>Belt motion</i>	Alat untuk mengukur kecepatan putaran pada <i>belt feeder</i>	Gagal melakukan proses pengukuran kecepatan	<i>Belt motion</i> macet	Y	N	N	Y	N	Y					<i>Scheduled restoration task</i>	17,09	Maintenance	
				<i>Belt motion roller</i> putus	Y	N	N	Y	N	N	Y					<i>Scheduled discard task</i>	30,98	Maintenance
				Pen sensor patah	Y	N	N	Y	N	N	Y						<i>Scheduled discard task</i>	10,71
2	<i>Load cell</i>	Alat untuk mengukur berat batu bara yang melewati <i>belt feeder</i>	Gagal melakukan proses pengukuran berat batubara	Kegagalan fungsi dalam pengukuran	Y	N	N	Y	Y					<i>Scheduled on-condition task</i>	Several days to week	Maintenance		
3	<i>Roller Shaft</i>	Alat penahan <i>belt feeder</i>	Gagal bekerja	<i>Roller</i> patah	Y	N	N	Y	N	N	Y				<i>Scheduled discard task</i>	19,46	Maintenance	
				<i>Roll</i> macet	Y	N	N	Y	Y						<i>Scheduled on-condition task</i>	Several days to week	Maintenance	
4	<i>No Coal Switch</i>	Alat untuk menghentikan sistem jika didalam feeder tidak terdapat batubara	Gagal melakukan sensor pada batubara	Sensor tidak bekerja	Y	N	N	Y	N	Y				<i>Scheduled restoration task</i>	34,99	Maintenance		
5	<i>Drive Pulley</i>	Motor penggerak	Gagal berputar menggerakkan <i>belt feeder</i>	<i>Drive pulley</i> bergeser	Y	N	N	Y	N	N	Y				<i>Scheduled discard task</i>	61,14	Maintenance	
				Gangguan pada gearbox	<i>Gearbox</i> macet	Y	N	N	Y	Y						<i>Scheduled on-condition task</i>	Several days to week	Maintenance
					<i>Oli gearbox</i> rembes	Y	N	N	Y	Y							<i>Scheduled on-condition task</i>	Several days to week
6	<i>Take Up Pully</i>	Mengikuti gerak drive pully	Gagal berputar	Bearing macet	Y	N	N	Y	N	N	Y			<i>Scheduled discard task</i>	722,82	Maintenance		
7	<i>Belt feeder</i>	Pembawa batubara	Gagal berputar membawa batubara	<i>Belt feeder</i> robek	Y	N	N	Y	N	N	Y				<i>Scheduled discard task</i>	384,65	Maintenance	
				<i>Belt feeder</i> aus	Y	N	N	Y	N	N	Y				<i>Scheduled discard task</i>	48,50	Maintenance	
				<i>Belt feeder</i> kendur	Y	N	N	Y	Y						<i>Scheduled on-condition task</i>	Several days to week	Maintenance	
				Sirip <i>belt feeder</i> aus	Y	N	N	Y	N	N	Y					<i>Scheduled discard task</i>	44,69	Maintenance
8	<i>Clean Out</i>	Sebagai pembersih batubara yang jatuh berserakan	Gagal melakukan proses cleaning	<i>Shearpin</i> putus	Y	N	N	Y	N	N	Y				<i>Scheduled discard task</i>	27,35	Maintenance	
				<i>Clean Out</i> macet	Y	N	N	Y	N	Y					<i>Scheduled restoration task</i>	21,24	Maintenance	
9	<i>Sensor cute plug</i>	Sebagai sensor jika terjadi penyumbatan	Gagal melakukan sensor penyumbatan	Muncul signal palsu	Y	N	N	Y	N	Y				<i>Scheduled restoration task</i>	169,73	Maintenance		