

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai pengolahan dan analisis data serta rekomendasi perbaikan pada lini produksi yang diteliti.

4.1 GAMBARAN UMUM OBYEK PENELITIAN

Gambaran umum perusahaan akan menjelaskan sejarah perusahaan, lokasi perusahaan, maupun visi dan misi perusahaan.

4.1.1 Profil Perusahaan

PT. YTL Jawa Timur merupakan perusahaan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) swasta yang bergerak dalam bidang pengoperasian dan pemeliharaan untuk unit 5 dan unit 6, yang dibangun saat proyek *Paiton Private Power Project Phase II*. Dan kepemilikannya dimiliki oleh PT. Jawa Power. Sedangkan *Private Power Project Phase I* dibangun untuk unit 7 dan unit 8 yang dioperasikan oleh PT. *International Power Mitsui Operation & Maintenance Indonesia* (IPMOMI).

Paiton Private Power Project Phase II merupakan sebuah konsorsium yang terdiri atas Siemens SPV (*Siemens Project Venture*) yang berasal dari Jerman, PT. YTL yang berasal dari Malaysia, Marubeni *Corporation* yang berasal dari Jepang, serta PT. Bumi Pertiwi yang berasal dari Indonesia. Masing-masing perusahaan tersebut memiliki jumlah saham yang berbeda, yaitu:

1. Siemens SPV : 50%
2. PT. YTL : 20%
3. Marubeni *Corporation* : 15%
4. PT. Bumi Pertiwi : 15%

Keempat pemegang saham tersebut membentuk PT. Jawa Power, sebagai pemilik unit 5 dan unit 6. Operasi komersial penggunaan fasilitas unit 5 dan unit 6 dimulai tanggal 26 Juli 1999 untuk unit 6 dan tanggal 26 Januari 2000 untuk unit 5. Fasilitas pembangkit ini terdiri dari 2 unit menggunakan sistem pembangkit listrik tenaga uap dengan bahan bakar batu bara. Suplai batu bara dalam pengoperasiannya diantaranya diperoleh dari PT. Berau dan PT. Kideco, Kalimantan. Output bersih pada masing-masing pembangkit adalah 610 MW per unit, sehingga untuk 2 unit yang beroperasi bisa menghasilkan daya sebesar 1220

MW. Dari output yang dihasilkan tersebut nantinya akan dijual di bawah PPA (*Power Purchase Agreement*) kepada PLN.

4.1.2 Visi dan Misi Perusahaan

Adapun Visi dan Misi dari PT. YTL Paiton adalah sebagai berikut:

1. Visi
 - a. Menjadi perusahaan utama di bidang pengoperasian dan pemeliharaan pembangkit listrik yang memberikan pelayanan kelas dunia kepada PT. Jawa Power di Indonesia.
 - b. Menjadi dikenal di Indonesia sebagai perusahaan yang paling maju dan terkemuka.
2. Misi
 - a. Berkomitmen untuk terus menerus memberikan pelayanan sempurna yang menguntungkan dalam sasaran bisnis dengan melampaui harapan para pemilik dan para pemegang saham serta peduli terhadap karyawan.
 - b. Menjadi terkemuka dan unggul dalam manajemen kualitas, operasional, keselamatan kerja, kesehatan dan lingkungan.

4.1.3 Lokasi Perusahaan

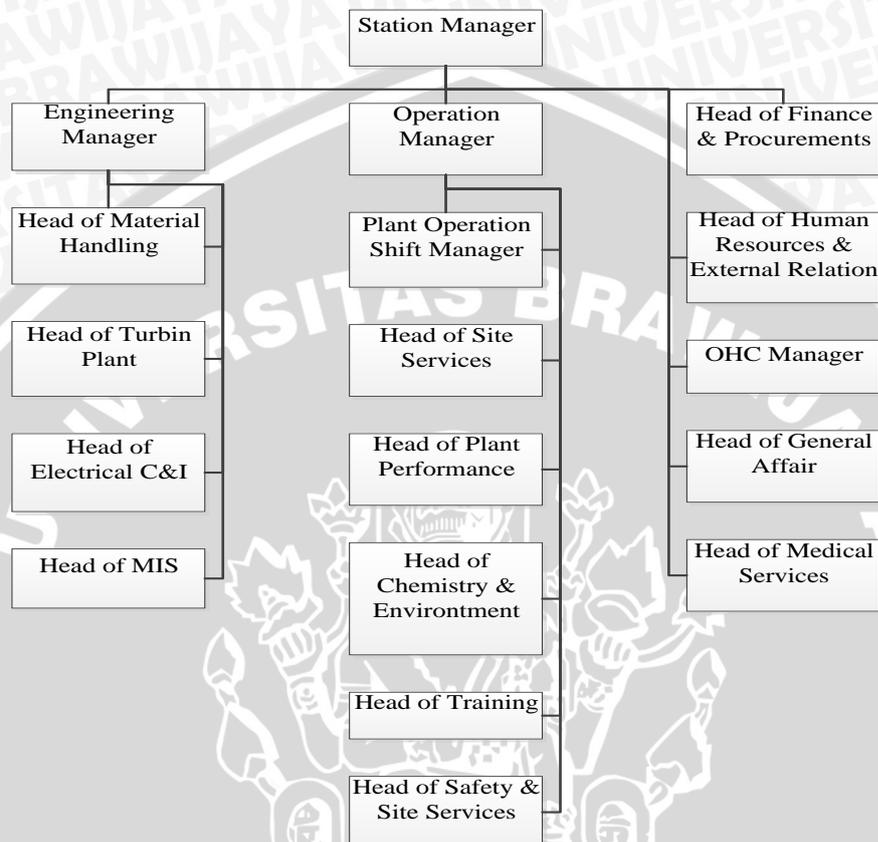
PLTU Paiton didirikan di sebuah lokasi yang memiliki keuntungan dan manfaat yang sangat strategis. Lokasi yang memenuhi persyaratan dan menguntungkan untuk dibangun suatu lokasi pembangkit listrik itu berada di pesisir pantai utara Jawa tepatnya di desa Bhinor, kecamatan Paiton, kabupaten Probolinggo, propinsi Jawa Timur ±52 km dari kota Probolinggo kearah Timur dan ± 141 km dari Surabaya kearah Timur. Selain itu juga berada di dekat jalur utama pantura yang merupakan jalur utama Jawa – Bali. Total proyek keseluruhan PLTU Paiton ini membutuhkan area sebesar ±400 Ha.



Gambar 4.1 Lokasi PT. YTL Paiton Jawa Timur

4.1.4 Struktur Organisasi Perusahaan

Adapun struktur organisasi yang terdapat di PT. YTL Jawa Timur untuk senior staff-line Management dan Mentor yang berlaku mulai 1 April 2000 adalah sebagai berikut.



Gambar 4.2 Struktur Organisasi PT. YTL Paiton Jawa Timur

Sumber : PT. YTL Paiton Jawa Timur

4.1.5 Proses Produksi Listrik

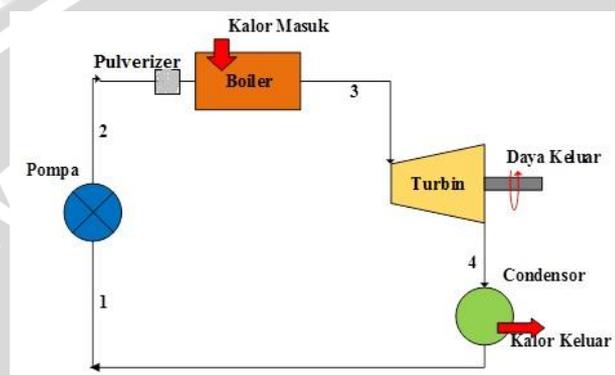
PT. YTL Jawa Timur merupakan pembangkit listrik yang menggunakan uap sebagai tenaga uap generator. PLTU ini bekerja dengan cara mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi panas yang mengubah air menjadi uap. Uap tersebut dihasilkan dari bahan bakar yang berupa minyak dan batu bara.

Batu bara dibakar untuk menghasilkan panas yang cukup tinggi untuk mengubah air menjadi uap bertekanan (*steam*). Proses ini terjadi di dalam alat yang disebut dengan *boiler*. Uap yang bertekanan tersebut mengandung energi potensial yang akan menggerakkan sudu-sudu turbin.

Dari gerakan sudu-sudu turbin akan dihasilkan energi mekanis yang akan memutar generator listrik. Di dalam generator inilah gerakan yang dihasilkan oleh turbin diubah menjadi energi listrik. Setelah memutar turbin, uap kehilangan tenaganya dan akan

dikondensasikan sehingga berubah kembali menjadi air yang siap untuk diumpungkan kembali ke dalam *boiler*. Sehingga terjadilah siklus air yang tertutup.

Desain pembangkit tenaga uap di dasarnya pada teori termodinamika, yaitu *siklus rankine*. Siklus energi pada PLTU didefinisikan sebagai aliran dan proses termodinamika dari suatu fluida yang bekerja secara berulang-ulang dengan tujuan untuk membangkitkan tenaga mekanis. Penjelasan sederhana dari siklus tersebut terdiri dari empat proses seperti sebuah skematik diagram dengan komponen utamanya yaitu ketel uap, turbin uap, kondensor, dan pompa pengisi ketel seperti bagan berikut ini.



Gambar 4.3 Skema Diagram Instalasi PLTU

Sumber: P.T YTL Paiton

Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa siklus pembangkit listrik dengan menggunakan tenaga uap adalah dimulai dari air yang dipompa. Setelah itu air tersebut dimasukkan ke dalam ketel uap (*boiler*). Kemudian air yang telah masuk ke dalam ketel uap (*boiler*) dipanaskan hingga menguap. Uap tersebut akan keluar melalui saluran uap panas menuju turbin. Uap panas tersebut akan menggerakkan turbin sehingga akan menghasilkan daya listrik. Uap sisa dari turbin akan masuk ke dalam kondensator. Di dalam kondensator uap tersebut akan menjadi air kembali dan kemudian dipompakan kembali menuju ke dalam ketel uap (*boiler*). Dan siklusnya akan berulang secara terus menerus.

4.2 PENGUMPULAN DATA

Merupakan tahap untuk mengumpulkan data yang akan dianalisis pada permasalahan yang akan diselesaikan.

4.2.1 Pengumpulan Data Primer

Data Primer didapatkan melalui proses wawancara dengan pihak *engineering* perusahaan untuk mengidentifikasi kegagalan serta proses brainstorming guna mendapatkan data ranking FMEA untuk setiap kegagalan.

4.2.2 Pengumpulan Data Sekunder

Berikut ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari PT. YTL Paiton mengenai mesin *pulverizer*.

1. Data frekuensi kerusakan dan *downtime* mesin *pulverizer* selama Januari 2013 hingga Desember 2014 adalah sebagai berikut.

a. Data *downtime Pulverizer A*

Tabel 4.1 Data *Pulverizer A*

| No. | Sub Assembly | Downtime (jam) |
|-------------------------------|------------------------------------|----------------|
| <i>Corrective Maintenance</i> | | |
| 1 | <i>Pulverizer Motor</i> | 13 |
| 2 | <i>Motor Gear Box Coupling</i> | 9 |
| 3 | <i>Planetary Gear Box</i> | 0 |
| 4 | <i>Scrapper</i> | 27 |
| 5 | <i>Bowl</i> | 33 |
| 6 | <i>Journal</i> | 0 |
| 7 | <i>Journal Spring</i> | 5 |
| 8 | <i>Slide Gate Discharge Valves</i> | 4 |
| 9 | <i>Pyrite Hopper</i> | 59 |
| Total | | 150 |
| <i>Preventive Maintenance</i> | | |
| 10 | <i>Millside</i> | 426 |
| 11 | <i>Vane Wheel</i> | |
| 12 | <i>Separator Body</i> | |
| 13 | <i>Classifier</i> | |
| 14 | <i>Multiport Outlet</i> | 576 |
| Total | | |

Pada tabel 4.1 dapat kita lihat *downtime subassembly* yang terdapat pada *pulverizer A*. Total *downtime* yang terjadi pada *pulverizer A* selama periode Januari 2013 hingga Desember 2014 adalah 576 jam. Data tersebut merupakan data *downtime preventive maintenance* dan *corrective maintenance*.

a. Data *downtime Pulverizer B*

Tabel 4.2 Data *Pulverizer B*

| No. | Sub Assembly | Downtime (jam) |
|-------------------------------|------------------------------------|----------------|
| <i>Corrective Maintenance</i> | | |
| 1 | <i>Pulverizer Motor</i> | 10 |
| 2 | <i>Motor Gear Box Coupling</i> | 7 |
| 3 | <i>Planetary Gear Box</i> | 0 |
| 4 | <i>Scrapper</i> | 16 |
| 5 | <i>Bowl</i> | 21 |
| 6 | <i>Journal</i> | 0 |
| 7 | <i>Journal Spring</i> | 3 |
| 8 | <i>Slide Gate Discharge Valves</i> | 0 |
| 9 | <i>Pyrite Hopper</i> | 38 |
| Total | | 95 |
| <i>Preventive Maintenance</i> | | |
| 10 | <i>Millside</i> | 430 |
| 11 | <i>Vane Wheel</i> | |

Tabel 4.2 Data *Pulverizer B* (lanjutan)

| No. | Sub Assembly | Downtime (jam) |
|-------|-------------------------|----------------|
| 12 | <i>Separator Body</i> | |
| 13 | <i>Classifier</i> | |
| 14 | <i>Multiport Outlet</i> | |
| Total | | 525 |

Pada tabel 4.2 dapat kita lihat *downtime subassembly* yang terdapat pada *pulverizer B*. Total *downtime* yang terjadi pada *pulverizer B* selama periode Januari 2013 hingga Desember 2014 adalah 525 jam. Data tersebut merupakan data *downtime preventive maintenance* dan *corrective maintenance*.

b. Data *downtime Pulverizer C*

Tabel 4.3 Data *Pulverizer C*

| No. | Sub Assembly | Downtime (jam) |
|-------------------------------|------------------------------------|----------------|
| <i>Corrective Maintenance</i> | | |
| 1 | <i>Pulverizer Motor</i> | 9 |
| 2 | <i>Motor Gear Box Coupling</i> | 11 |
| 3 | <i>Planetary Gear Box</i> | 0 |
| 4 | <i>Scrapper</i> | 25 |
| 5 | <i>Bowl</i> | 41 |
| 6 | <i>Journal</i> | 0 |
| 7 | <i>Journal Spring</i> | 11 |
| 8 | <i>Slide Gate Discharge Valves</i> | 0 |
| 9 | <i>Pyrite Hopper</i> | 81 |
| Total | | 156 |
| <i>Preventive Maintenance</i> | | |
| 10 | <i>Millside</i> | 447 |
| 11 | <i>Vane Wheel</i> | |
| 12 | <i>Separator Body</i> | |
| 13 | <i>Classifier</i> | |
| 14 | <i>Multiport Outlet</i> | |
| Total | | 625 |

Pada tabel 4.3 dapat kita lihat *downtime subassembly* yang terdapat pada *pulverizer C*. Total *downtime* yang terjadi pada *pulverizer C* selama periode Januari 2013 hingga Desember 2014 adalah 625 jam. Data tersebut merupakan data *downtime preventive maintenance* dan *corrective maintenance*.

c. Data *downtime Pulverizer D*

Tabel 4.4 Data *Pulverizer D*

| No. | Sub Assembly | Downtime (jam) |
|-------------------------------|--------------------------------|----------------|
| <i>Corrective Maintenance</i> | | |
| 1 | <i>Pulverizer Motor</i> | 27 |
| 2 | <i>Motor Gear Box Coupling</i> | 34 |
| 3 | <i>Planetary Gear Box</i> | 24 |
| 4 | <i>Scrapper</i> | 78 |
| 5 | <i>Bowl</i> | 181 |
| 6 | <i>Journal</i> | 43 |
| 7 | <i>Journal Spring</i> | 29 |

Tabel 4.4 Data *Pulverizer* D (lanjutan)

| No. | Sub Assembly | Downtime (jam) |
|-------------------------------|------------------------------------|----------------|
| 8 | <i>Slide Gate Discharge Valves</i> | 13 |
| 9 | <i>Pyrite Hopper</i> | 147 |
| Total | | 542 |
| <i>Preventive Maintenance</i> | | |
| 10 | <i>Millside</i> | 434 |
| 11 | <i>Vane Wheel</i> | |
| 12 | <i>Separator Body</i> | |
| 13 | <i>Classifier</i> | |
| 14 | <i>Multiport Outlet</i> | |
| Total | | 1010 |

Pada tabel 4.4 dapat kita lihat *downtime subassembly* yang terdapat pada *pulverizer* D. Total *downtime* yang terjadi pada *pulverizer* D selama periode Januari 2013 hingga Desember 2014 adalah 1010 jam. Data tersebut merupakan data *downtime preventive maintenance* dan *corrective maintenance*.

d. Data *downtime Pulverizer* E

Tabel 4.5 Data *Pulverizer* E

| No. | Sub Assembly | Downtime (jam) |
|-------------------------------|------------------------------------|----------------|
| <i>Corrective Maintenance</i> | | |
| 1 | <i>Pulverizer Motor</i> | 11 |
| 2 | <i>Motor Gear Box Coupling</i> | 13 |
| 3 | <i>Planetary Gear Box</i> | 0 |
| 4 | <i>Scrapper</i> | 22 |
| 5 | <i>Bowl</i> | 39 |
| 6 | <i>Journal</i> | 0 |
| 7 | <i>Journal Spring</i> | 9 |
| 8 | <i>Slide Gate Discharge Valves</i> | 3 |
| 9 | <i>Pyrite Hopper</i> | 76 |
| Total | | |
| <i>Preventive Maintenance</i> | | |
| 10 | <i>Millside</i> | 414 |
| 11 | <i>Vane Wheel</i> | |
| 12 | <i>Separator Body</i> | |
| 13 | <i>Classifier</i> | |
| 14 | <i>Multiport Outlet</i> | |
| Total | | 587 |

Pada tabel 4.5 dapat kita lihat *downtime subassembly* yang terdapat pada *pulverizer* E. Total *downtime* yang terjadi pada *pulverizer* E selama periode Januari 2013 hingga Desember 2014 adalah 587 jam. Data tersebut merupakan data *downtime preventive maintenance* dan *corrective maintenance*.

e. Data *downtime* Pulverizer F

Tabel 4.6 Data Pulverizer F

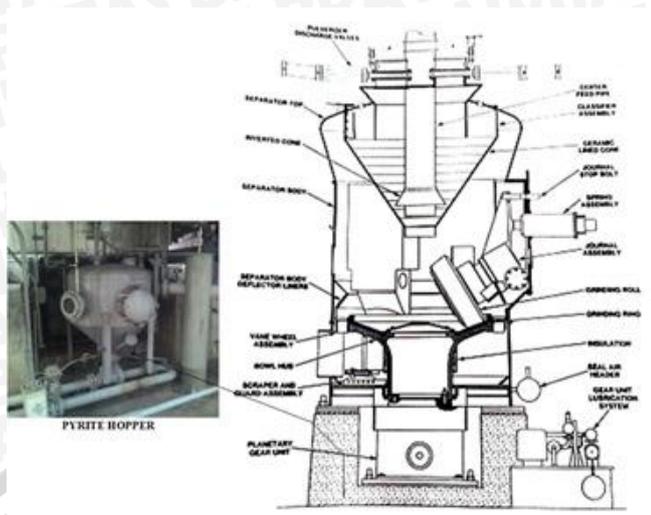
| No. | Sub Assembly | Downtime (jam) |
|-------------------------------|------------------------------------|----------------|
| <i>Corrective Maintenance</i> | | |
| 1 | <i>Pulverizer Motor</i> | 3 |
| 2 | <i>Motor Gear Box Coupling</i> | 2 |
| 3 | <i>Planetary Gear Box</i> | 0 |
| 4 | <i>Scraper</i> | 4 |
| 5 | <i>Bowl</i> | 9 |
| 6 | <i>Journal</i> | 0 |
| 7 | <i>Journal Spring</i> | 2 |
| 8 | <i>Slide Gate Discharge Valves</i> | 0 |
| 9 | <i>Pyrite Hopper</i> | 27 |
| Total | | |
| <i>Preventive Maintenance</i> | | |
| 10 | <i>Millside</i> | 193 |
| 11 | <i>Vane Wheel</i> | |
| 12 | <i>Separator Body</i> | |
| 13 | <i>Classifier</i> | |
| 14 | <i>Multiport Outlet</i> | |
| Total | | 240 |

Pada tabel 4.6 dapat kita lihat *downtime subassembly* yang terdapat pada *pulverizer* F. Total *downtime* yang terjadi pada *pulverizer* F selama periode Januari 2013 hingga Desember 2014 adalah 240 jam. Data tersebut merupakan data *downtime preventive maintenance* dan *corrective maintenance*.

Setelah mengetahui data *downtime* dari masing-masing *pulverizer*, maka dapat dilihat bahwa *pulverizer* yang memiliki *downtime* tertinggi adalah *pulverizer* D. *Pulverizer* D menunjukkan *downtime* selama 1010 jam. Sehingga objek yang akan menjadi fokus dalam melaksanakan penelitian ini adalah *pulverizer* D.

4.2.2.1 Deskripsi Objek yang di Amati

Pulverizer merupakan mesin yang berfungsi untuk menghaluskan batu bara yang akan di distribusikan ke dalam *boiler*. Batu bara berfungsi sebagai sumber bahan bakar *boiler*. Tujuan batu bara harus dihaluskan terlebih dahulu sebelum di distribusikan ke dalam *boiler* adalah agar pembakaran di dalam *boiler* berlangsung dengan sempurna. Tingkat kehalusan batu bara yang diperlukan untuk pembakaran yang sempurna adalah 200mesh. Berikut ini adalah gambar 4.3 yang menunjukkan gambar *pulverizer* yang terdapat pada P.T YTL Paiton.



Gambar 4.4 HP 1003 Coal Pulverizer

Sumber: PT. YTL Paiton

Pulverizer yang dipakai pada unit pembangkit daya 5 dan 6 Paiton adalah jenis *vertical spindle pulverizer* yang diproduksi oleh ABB CE dengan tipe HP 1003 coal pulverizer. HP menunjukkan *pulverizer* ini merupakan tipe *high performance*, "100" merupakan ukuran diameter *bowl* yakni 100 *inch*, dan "3" menunjukkan jumlah *journal* dari *pulverizer*.

Adapun bagian utama dari HP 1003 Coal Pulverizer adalah:

1. *Pulverizer Motor*

Fungsi dari *pulverizer motor* adalah menyuplai energi gerak yang dibutuhkan untuk memutar mangkuk (*bowl*) melalui reduksi pada *gearbox planetary*. Motor listrik secara langsung dihubungkan ke *gear box*.

2. *Motor Gear Box Coupling*

Fungsi dari *gear box coupling* adalah menghubungkan poros motor dengan poros *input pulverizer* dan mengijinkan adanya *misalignment* pada poros.

3. *Planetary Gear Box Assembly*

Fungsi dari *planetary gear box* adalah untuk mentransfer daya dari motor ke *bowl* melalui sistem reduksi roda gigi *planetary*. *Gear box* mentransfer daya sebesar 800 HP. putaran input 975 rpm, putaran output 394 rpm. *Gear box* ini independen sehingga memudahkan penggantian, dilindungi oleh *seal* dan tidak terpengaruh oleh temperatur udara panas.

4. *Millside assembly*

Fungsi dari *millside* adalah merupakan area hagi udara panas memasuki sistem *pulverizer* dan merupakan area dimana benda asing atau batubara yang tidak dapat

digiling dapat dikeluarkan dari *pulverizer*. HP *pulverizer* mempunyai area *millside* yang terisolasi dalam rangka untuk meminimalkan potensi bahaya bagi manusia dan memaksimalkan efisiensi *thermal* dalam *pulverizer*.

5. *Scrapper Assembly*

Fungsi dari *scraper* adalah untuk menjaga area *millside* bersih dari *pyrite* dan batubara yang dikeluarkan. Dua *scraper* yang berputar pada *bowl hub* menyapu material di *reject* dari *bowl* menuju *pyrite hopper*.

6. *Pyrite Hopper*

Pyrite hopper merupakan bagian dari *pulverizer* yang berfungsi sebagai penampung material yang *reject* dari dalam *pulverizer*, seperti batu, besi, dan bongkahan batu bara yang tidak tertumbuk dengan baik.

7. *Bowl Assembly*

Fungsi dari *bowl* adalah untuk memberikan permukaan untuk menggiling dan menghaluskan batubara. Batu, *pyrite*, besi, dan material lain tidak dapat digiling dijatuhkan keluar dari *bowl* menuju *millside* area untuk dibuang menuju *pyrite hopper*.

8. *Vane Wheel Assembly*

Fungsi dan *vane wheel* adalah untuk meningkatkan efisiensi klasifikasi dengan meningkatkan pendistribusian udara melalui *pulverizer* dan menggunakan seluruh area didalam *separator body*.

9. *Separator Body Assembly*

Fungsi dari *separator body* adalah untuk menampung batubara yang akan dihaluskan.

10. *Journal Assemblies*

Fungsi dari *journal assembly* adalah memberikan tumpuan untuk *grinding roll*. pada *grinding roll* terdapat *spring loaded journal* yang berfungsi memberikan gaya pada *grinding roll* dalam menggiling batu bara.

11. *Journal Spring Assemblies*

Fungsi dari *journal spring* adalah untuk memberikan gaya yang sama besar pada tiga *journal assembly* dan menjamin pengilingan berlangsung baik. *Spring* juga meredakan kejutan akibat benda asing yang melewati antara *grinding roll* dengan *bowl*.

12. *Classifier Assembly*

Classifier didesain untuk menjaga dan mengendalikan kehalusan dari batubara yang meninggalkan *pulverizer*.

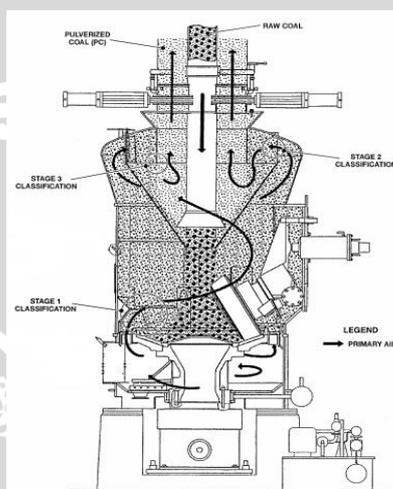
13. *Multiport Outlet Assembly*

Fungsi dari *multiport outlet* adalah untuk mendistribusikan batubara dari *classifier* menuju empat pipa transport batubara.

14. *Slide Gate Discharge Valves*

Fungsi dari *slidegate discharge* adalah untuk mengisolasi *pulverizer* dari gas panas pada unit yang beroperasi.

Adapun aliran distribusi batu bara yang akan dihaluskan akan ditunjukkan pada gambar 4.4 berikut ini.



Gambar 4.5 Aliran Penghalusan Batu Bara di Dalam *Pulverizer*

Sumber: PT. YTL Payton

Pada Gambar 4.5 dapat kita bahwa material batu bara yang masing berbentuk bongkahan dialirkan dari *feeder* kemudian dialirkan melalui *center pipe* untuk masuk ke dalam *pulverizer body*. Di dalam *pulverizer body* batu bara yang masih berbentuk bongkahan akan diputar dengan menggunakan *bowl* sehingga tercipta gaya sentrifugal di dalam *pulverizer*. Setelah *bowl* berputar *grinder* juga akan ikut berputar, dari sinilah muncul efek menumbuk di dalam *pulverizer*. Batu bara akan ditumbuk hingga tingkat kehalusan 200mesh. Apabila tingkat kehalusan tercapai maka batu bara yang telah tertumbuk akan naik melewati *separator body*, *separator top* dan *classifier*. Setelah itu batu bara yang telah dihaluskan akan ditransfer menuju *multiport outlet*. Dari *multiport outlet* inilah nantinya batu bara akan didistribusikan ke dalam *boiler*. Tetapi jika di area *classifier* batu bara tidak bisa terdistribusikan menuju *multiport outlet* maka batu bara tersebut akan turun kembali untuk mengulang proses penumbukan.

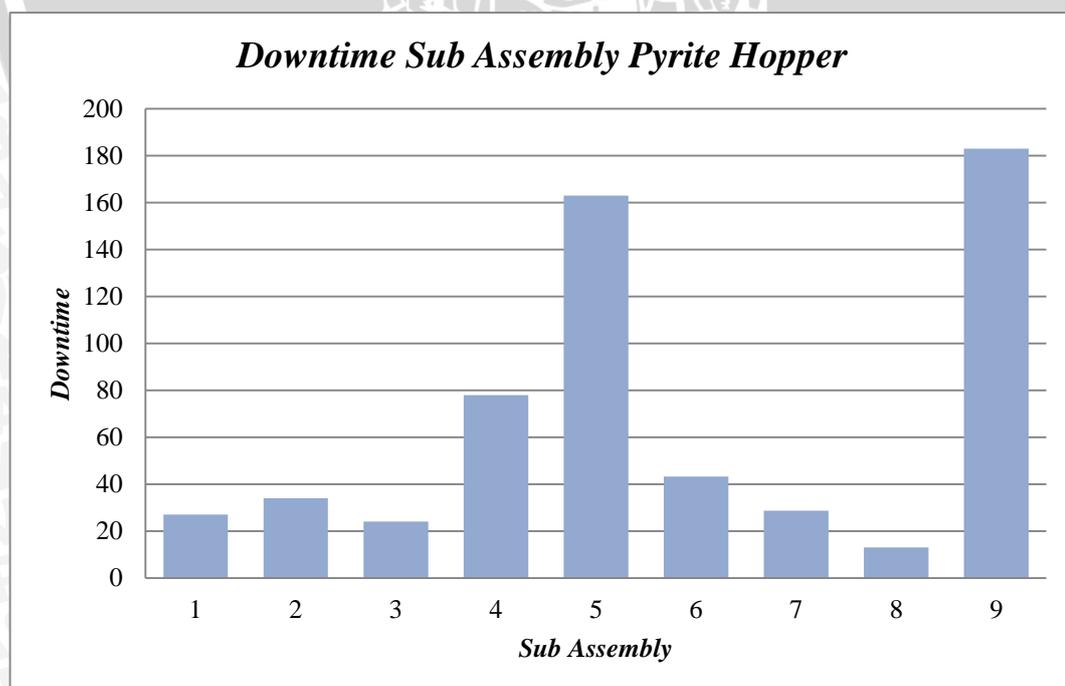
Setelah dijelaskan gambaran operasional *pulverizer*, *pulverizer*, yang selanjutnya dilakukan adalah menentukan *pulverizer* yang memiliki *downtime* tertinggi yang akan dijadikan sebagai fokus penelitian. Berdasarkan data yang diambil dari perusahaan,

pulverizer D merupakan mesin yang memiliki *downtime* tertinggi apabila dibandingkan dengan 5 *pulverizer* lainnya. Dengan tingginya *downtime* yang dimiliki *Pulverizer D* yaitu 1010 jam, tentunya juga akan memiliki lebih banyak *sub assembly* yang memiliki *downtime*. Berikut ini adalah tabel 4.7 yang berisi *downtime sub assembly pulverizer D* selama tahun 2013-2014 dan Gambar 4.6 yang menyajikan diagram Pareto *downtime sub assembly Pulverizer* selama tahun 2013-2014.

Tabel 4.7 Data *Downtime Sub Assembly Pulverizer D*

| No. | Sub Assembly | Frekuensi | Downtime (jam) |
|-------------------|------------------------------------|-----------|----------------|
| <i>Corrective</i> | | | |
| 1 | <i>Pulverizer Motor</i> | 13 | 27 |
| 2 | <i>Motor Gear Box Coupling</i> | 3 | 34 |
| 3 | <i>Planetary Gear Box</i> | 1 | 24 |
| 4 | <i>Scraper</i> | 27 | 78 |
| 5 | <i>Bowl</i> | 5 | 181 |
| 6 | <i>Journal</i> | 2 | 43 |
| 7 | <i>Journal Spring</i> | 11 | 29 |
| 8 | <i>Slide Gate Discharge Valves</i> | 3 | 13 |
| 9 | <i>Pyrite Hopper</i> | 37 | 147 |
| Total | | 102 | 576 |
| <i>Preventive</i> | | | |
| 10 | <i>Millside</i> | 4 | 434 |
| 11 | <i>Vane Wheel</i> | | |
| 12 | <i>Separator Body</i> | | |
| 13 | <i>Classifier</i> | | |
| 14 | <i>Multiport Outlet</i> | | |
| Total | | 106 | 1010 |

Sumber : Hasil pengolahan data *downtime pulverizer D*



Gambar 4.6 *Downtime Sub Assembly Pulverizer PT. YTL Paiton*

Sumber : Hasil pengolahan data *downtime pulverizer D*

Keterangan :

1. *Pulverizer Motor*
2. *Motor Gear Box Coupling*
3. *Planetary Gear Box*
4. *Scrapper*
5. *Bowl*
6. *Journal*
7. *Journal Spring*
8. *Slide Gate Discharge Valves*
9. *Pyrite Hopper*

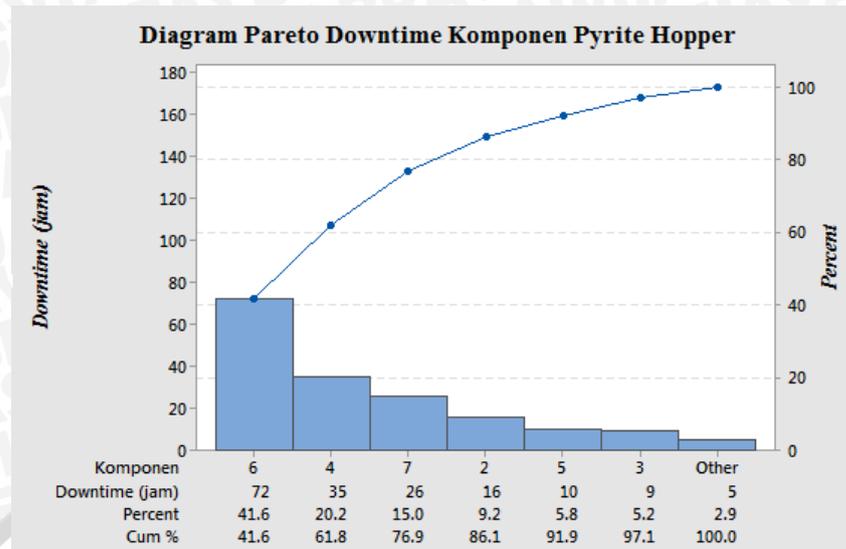
Dari Gambar 4.5 dapat kita lihat jumlah *downtime corrective maintenance sub assembly pulverizer* tanpa memasukkan data *preventive maintenance*. Karena data yang nantinya akan diolah adalah data *corrective maintenance* saja. *Sub assembly pulverizer D* yang memiliki nilai *downtime* tertinggi adalah *pyrite hopper*. Sehingga *sub assembly* tersebut akan dijadikan sebagai fokus pengamatan di dalam penelitian ini. Adapun lama *downtime pyrite hopper* adaah 147 jam dan frekuensi kerusakan sebanyak 37 kali.

Di dalam penelitian ini data yang digunakan sebagai bahan perhitungan adalah data *corrective maintenance*. Data tersebut merupakan data kerusakan komponen yang mengakibatkan proses kerja *sub assembly* tersebut terganggu. Dengan terganggunya proses kerja *sub assembly pulverizer* maka *system* kerja *pulverizer* secara keseluruhan juga akan mengalami gangguan. Untuk menanggulangi hal tersebut maka diperlukan penggantian komponen dengan *sparepart* yang baru atau melakukan suatu perbaikan untuk mengembalikan kinerja mesin. Berikut ini merupakan data-data kerusakan komponen yang terjadi pada *pyrite hopper*.

Tabel 4.8 Data Downtime dan frekuensi kerusakan komponen *pyrite hopper*

| No | Nama Komponen | Frekuensi | Downtime (jam) |
|----|-----------------------------------|-----------|----------------|
| 1 | <i>Service water wash valve</i> | 1 | 5 |
| 2 | <i>Service water inlet valve</i> | 2 | 16 |
| 3 | <i>Seal box water inlet valve</i> | 1 | 9 |
| 4 | <i>Ejector inlet valve</i> | 9 | 35 |
| 5 | <i>Ejector outlet valve</i> | 2 | 10 |
| 6 | <i>Tramp iron valve</i> | 12 | 72 |
| 7 | <i>Body hopper filter</i> | 5 | 26 |

Sumber : Hasil pengolahan data *downtime pulverizer D*



Gambar 4.7 Downtime Komponen Pyrite Hopper Pulverizer D PT. YTL Paiton
Sumber : Hasil pengolahan data downtime pulverizer D

Keterangan :

1. *Service water wash*
2. *Service water inlet valve*
3. *Seal box water inlet valve*
4. *Ejector inlet valve*
5. *Ejector outlet valve*
6. *Tramp iron valve*
7. *Body hopper packing*

Data kerusakan yang akan digunakan dalam perhitungan penelitian ini adalah 80% dari data keseluruhan dengan 20% komponen penyebab kerusakan. Dari gambar 4.7 dapat kita lihat bahwa 80% terjadinya *downtime pyrite hopper* disebabkan oleh *tramp iron valve*, *ejector inlet valve*, dan *body hopper packing*. Sehingga komponen tersebut yang nantinya akan digunakan sebagai obyek amatan di dalam penelitian ini karena merupakan komponen dengan downtime tertinggi yang terdapat pada *pyrite hopper*. Berikut ini merupakan Tabel 4.9, Tabel 4.10, dan Tabel 4.11 yang akan menunjukkan data kerusakan komponen *ejector inlet valve*, *tramp iron valve*, dan *body hopper filter*.

Tabel 4.9 Data waktu kerusakan *ejector inlet valve* Januari 2013-Desember 2014

| Tanggal | TTR (jam) | TTF (jam) |
|-----------|-----------|-----------|
| 15-Feb-13 | 7.1 | |
| 19-Jul-13 | 6.2 | 3687 |
| 22-Aug-13 | 6.4 | 814 |
| 11-Dec-13 | 5.7 | 2664 |
| 28-Apr-14 | 6.4 | 3309 |
| 3-Sep-14 | 5.9 | 3068 |
| 11-Sep-14 | 6.6 | 190 |
| 29-Sep-14 | 6.9 | 428 |
| 20-Nov-14 | 5.2 | 1254 |

Tabel 4.10 Data waktu kerusakan *tramp iron valve* Januari 2013-Desember 2014

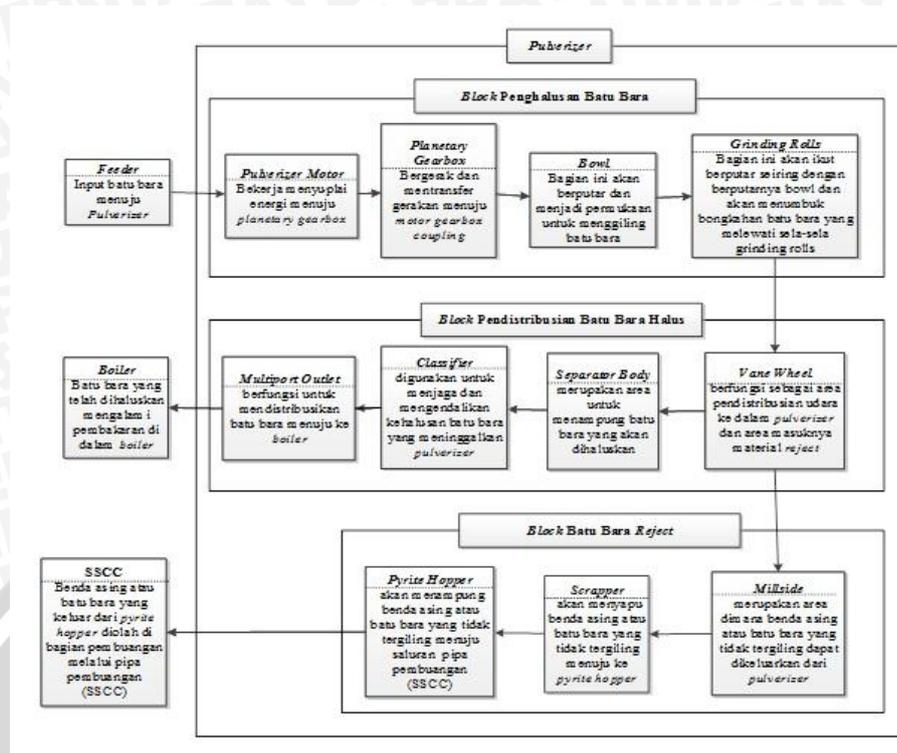
| Tanggal | TTR (jam) | TTF (jam) |
|-------------|--------------|--------------|
| 12-Feb-2013 | 7.6 | |
| 6-Mar-2013 | 8.6 | 521 |
| 17-Mar-2013 | 7.8 | 371 |
| 19-Jul-2013 | 8.3 | 2975 |
| 22-Aug-2013 | 8.5 | 834 |
| 7-Sep-2013 | 7.9 | 421 |
| 21-Jan-2014 | 6.8 | 3327 |
| 12-Mar-2014 | 7.8 | 1230 |
| 9-Jul-2014 | 8.4 | 2661 |
| 17-Jul-2014 | 6.9 | 188 |
| 25-Sep-2014 | 7.7 | 1688 |
| 8-Dec-2014 | 7.9 | 1774 |
| 19-Mar-2013 | 7.7 | |
| 6-Jul-2013 | 8.1 | 2421 |
| 24-Aug-2013 | 7.9 | 1169 |
| 16-Feb-2014 | 6.8 | 4229 |
| 19-Sep-2014 | 7.6 | 5157 |

4.3 Pengolahan Data

Setelah data terkumpul, data diolah dalam bentuk *Functional Block Diagram*. Dengan tujuan mengidentifikasi *system failure and function failure*. Kemudian menyusun *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Pengujian distribusi waktu antar kerusakan (Tf), menghitung interval perawatan efektif, dan menyusun RCM II *Decision Worksheet*.

4.3.1 *Functional Block Diagram* (FBD) *Pulverizer*

Functional block diagram akan mendeskripsikan keterhubungan fungsi dari masing-masing *sub assembly pulverizer*. Selain itu deskripsi yang dilakukan pada FBD tersebut meliputi proses-proses yang terjadi pada saat mesin bekerja. *Functional block diagram pulverizer* dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut ini.



Gambar 4.8 Functional Block Diagram (FBD) Pulverizer PT. YTL Paiton
Sumber : PT. YTL Paiton

Functional block diagram pulverizer diatas dibagi menjadi 3 block, yaitu block penghalusan batu bara, block pendistribusian batu bara yang halus, dan block batu bara reject. Pada masing-masing block terdapat sub assembly yang mendukung kinerja block tersebut.

Pada block penghalusan batu bara terdapat pulverizer motor yang berfungsi untuk menyuplai energi agar planetary gearbox dapat berputar dan mentransfer gerakan menuju bowl. Bowl akan berputar dan menjadi permukaan yang digunakan untuk menggiling batu bara. Kemudian grinding rolls juga akan ikut berputar karena adanya gaya sentrifugal yang muncul akibat putaran bowl. Celah antara bowl dan grinding rolls inilah yang menumbuk batu batu hingga berbentuk serbuk.

Block yang kedua adalah pendistribusian batu bara yang halus. Pada block ini terdapat vane wheel yang berfungsi sebagai area pendistribusian udara ke dalam pulverizer dan area masuknya material yang reject (besi, bongkahan batu bara yang terlalu besar, batu). Karena adanya udara bertekanan yang keluar dari dalam vane wheel, maka batu bara yang telah tertumbuk halus akan naik menuju separator body yang merupakan area untuk menampung batu bara yang telah halus. Setelah itu akan naik lagi ke classifier, pada bagian ini apabila batu bara memiliki tingkat kehalusan sebesar 200 mesh maka batu bara tersebut akan naik menuju multiport outlet yang berfungsi untuk

mendistribusikan batu bara yang halus menuju *boiler*. Tetapi apabila batu bara masih belum mencapai tingkat kehalusan sebesar 200 *mesh* maka batu bara tersebut akan turun, dan kembali menuju *bowl* untuk dihaluskan kembali.

Sedangkan pada *block* yang ketiga, yaitu *block* batu bara *reject* terdapat *millside*, *scrapper*, dan *pyrite hopper*. *Millside* merupakan area dimana benda asing atau batu bara yang tidak tergilinding (*reject*) dapat dikeluarkan dari *pulverizer*. Setelah itu *scrapper* akan menyapu area *millside* sehingga material-material *reject* masuk ke dalam lubang pembuangan yang terhubung dengan *pyrite hopper*. Di dalam *pyrite hopper* inilah semua material-material *reject* ditampung dan nantinya akan dibuang menuju ke pipa pembuangan.

4.3.2 System Function and Function Failure

Berikut ini adalah *function and functional failure* dari komponen dengan downtime tertinggi *pyrite hopper* yang dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.12 *Function and function failure* komponen dengan downtime tertinggi *pyrite hopper*

| Komponen | Function | Function Failure |
|----------------------------|--|--|
| <i>Tramp iron valve</i> | Untuk memisahkan area <i>millside</i> dengan <i>pyrite hopper</i> agar udara yang digunakan untuk transfer batu bara halus tidak ikut tersedot ke dalam <i>pyrite hopper</i> | Gagal memisahkan area <i>millside</i> dengan <i>pyrite hopper</i> |
| <i>Ejector inlet valve</i> | Menggerakkan <i>inlet valve</i> sehingga <i>inlet valve</i> bisa membuka dan menutup menuju ke SSCC | Gagal menggerakkan <i>inlet valve</i> |
| <i>Body hopper filter</i> | Mencegah <i>pyrite</i> masuk ke dalam <i>service water pipe</i> | Gagal menahan <i>pyrite</i> masuk ke dalam <i>service water pipe</i> , sehingga <i>pyrite</i> masuk ke dalam <i>service water pipe</i> |

Tabel 4.12 menunjukkan fungsi (*function*) serta kegagalan fungsi (*function failure*) dari komponen dengan downtime tertinggi pada *pyrite hopper*. Komponen dengan downtime tertinggi yang pertama adalah *tramp iron valve* yang berfungsi untuk memisahkan area *millside* dengan *pyrite hopper*. Selain itu komponen ini juga bertugas untuk mengisolasi *pyrite hopper* agar udara dari dalam *pulverizer* tidak masuk ke dalam *pyrite hopper*. Kegagalan fungsi yang terjadi adalah *tramp iron valve* gagal memisahkan area *millside* dengan *pyrite hopper*.

Komponen dengan downtime tertinggi yang kedua adalah *ejector inlet valve* yang berfungsi untuk menggerakkan *inlet valve* sehingga dapat membuka dan menutup. Komponen ini digunakan dalam proses transfer material-material *reject*. *Inlet valve* akan

membuka apabila proses transfer material-material *reject* dilakukan. Tetapi apabila sedang tidak melakukan proses transfer material-material *reject* maka *inlet valve* akan menutup. Kegagalan fungsi yang akan terjadi adalah gagal menggerakkan *inlet valve* sehingga *inlet valve* tetap dalam kondisi tertutup atau tetap dalam kondisi terbuka.

Pada kolom ke tiga terdapat komponen dengan downtime tertinggi yaitu, *body hopper filter* yang berfungsi untuk mencegah *pyrate* masuk ke dalam *service water pipe*. *Pyrate* akan tersaring oleh *filter* sehingga tidak bisa masuk ke dalam *service water pipe*. Kegagalan fungsi yang akan terjadi adalah gagal menahan *pyrate* untuk masuk ke dalam *service water pipe*, sehingga *pyrite* masuk dan berakibat pada penyumbatan aliran air yang masuk ke dalam *service water pipe*.

4.3.3 *Function Failure and Effect Anaysis (FMEA)*

Setelah mengetahui *system function* dan *functional failure* dari komponen dengan downtime tertinggi objek penelitian, maka dapat disusun *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* untuk mencari penyebab dan efek yang akan ditimbulkan dari kegagalan yang terjadi. Penyebab kegagalan akan dijelaskan pada kolom *failure mode* sedangkan akibat dari kegagalan dijelaskan pada kolom *failure effect*.

Pada komponen pertama yaitu *tramp iron valve* penyebab kegagalan (*failure mode*) terjadi dikarenakan *packing* yang terdapat pada *tramp iron valve* rusak atau aus. Akibat dari rusaknya *packing* adalah tidak bisa melakukan proses isolasi antara *pulverizer* dengan *pyrate hopper*. Sehingga *pyrate* (material-material *reject*) yang ada di dalam *hopper* tidak dapat dibuang menuju SSCC (saluran pembuangan).

Komponen kedua adalah *ejector inlet valve*, penyebab kegagalan terjadi dikarenakan *ejector* yang ada pada *inlet valve* rusak atau aus. Akibat rusaknya *ejector* adalah tidak bisa melakukan *transport pyrate* menuju SSCC sehingga *pyrate* menumpuk di dalam *hopper*. Apabila kegagalan ini terjadi, maka *inlet valve* akan tetap dalam kondisi tertutup atau tetap dalam kondisi terbuka.

Komponen yang ketiga adalah *body hopper filter*, penyebab kegagalan terjadi dikarenakan *filter* yang bertugas untuk menyaring *pyrate* rusak atau aus. Akibat rusaknya *filter* adalah *pyrate* bisa masuk ke dalam *service water pipe* dan menyebabkan penyumbatan. Sehingga sirkulasi air di dalam *service water pipe* tidak dapat berjalan dengan normal.

Tabel 4.13 *Failure Mode and Effect Analysis* Komponen dengan *downtime* tertinggi pada *Pyrite Hopper*

| FMEA WORKSHEET | | SISTEM : Pulverizer | | Facilitator: | |
|----------------|----------------------------|--|--|--|---|
| | | SUB-SYSTEM : Pyrite Hopper | | Auditor: | |
| No. | Komponen | Function | Functional Failure (loss of function) | Failure Mode(cause of failure) | Failure Effect (what happen when it failure) |
| 1. | <i>Tramp iron valve</i> | Untuk memisahkan area <i>millside</i> dengan <i>pyrate hopper</i> agar udara yang digunakan untuk transfer batu bara halus tidak ikut tersedot ke dalam <i>pyrate hopper</i> | Gagal memisahkan area <i>millside</i> dengan <i>pyrate hopper</i> | <i>Packing</i> yang terdapat pada <i>tramp iron valve</i> rusak atau aus | Tidak bisa melakukan proses isolasi antara <i>pulverizer</i> dengan <i>pyrate hopper</i> . Sehingga <i>pyrate</i> yang ada di dalam <i>hopper</i> tidak dapat dibuang menuju SSCC |
| 2. | <i>Ejector inlet valve</i> | Menggerakkan <i>inlet valve</i> sehingga <i>inlet valve</i> bisa membuka dan menutup menuju ke SSCC | Gagal menggerakkan <i>inlet valve</i> | <i>Ejector</i> aus atau rusak | Tidak bisa melakukan <i>transport pyrate</i> menuju SSCC sehingga <i>pyrate</i> menumpuk di dalam <i>hopper</i> . |
| 3. | <i>Body hopper filter</i> | Mencegah <i>pyrite</i> masuk ke dalam <i>service water pipe</i> | Gagal menahan <i>pyrite</i> masuk ke dalam <i>service water pipe</i> , sehingga <i>pyrite</i> masuk ke dalam <i>service water pipe</i> | <i>Filter</i> rusak atau aus | <i>Pyrate</i> bisa masuk ke dalam <i>service water pipe</i> sehingga terjadi penyumbatan |

Sumber: Hasil pengolahan data *function*, *function failure*, *failure mode*, dan *failure effect* komponen dengan *downtime* tertinggi pada *pyrite hopper*

4.3.4 Penentuan Distribusi, Nilai Mean Time to Failure (MTTF), dan Mean Time to Repair (MTTR)

Perhitungan yang selanjutnya dilaksanakan adalah indentifikasi pola distribusi data *time to failure* (TTF) dan data *time to repair* (TTR). Langkah pertama yang dilakukan dalam menentukan distribusi ini adalah dengan menduga suatu distribusi data waktu kerusakan berdasarkan karakteristik dari macam-macam jenis distribusi kerusakan yang sesuai dengan penerapan dalam suatu aplikasi. Data-data kerusakan tersebut akan mengikuti pola salah satu dari empat jenis distribusi, yaitu distribusi *Weibull*, eksponensial, normal, dan lognormal. Keempat distribusi tersebut adalah distribusi yang paling sering digunakan untuk menggambarkan pola atau model kerusakan atau fase keausan mesin dan komponen.

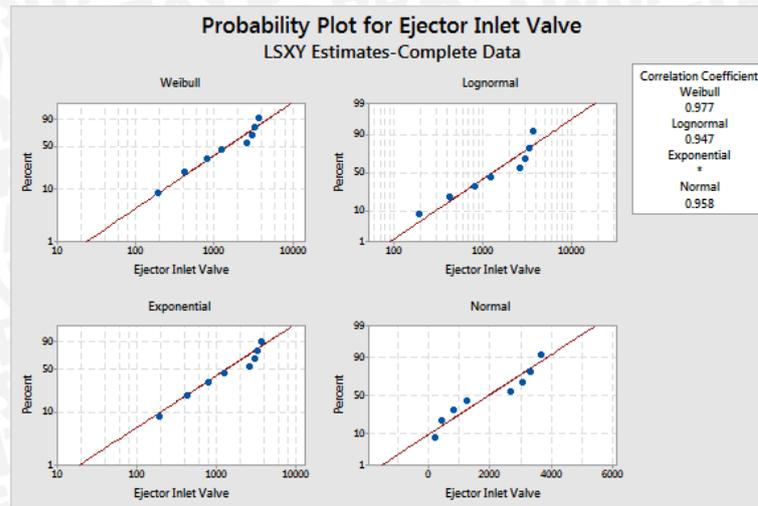
Setelah pendugaan jenis distribusi TTF dan TTR, langkah kedua adalah melakukan pengolahan distribusi yang terpilih untuk memperoleh nilai MTTF dan MTTR dari masing-masing komponen.

4.3.4.1 Penentuan Distribusi *Time To Failure* (TTF) Komponen Dengan Downtime Tertinggi

Langkah yang perlu dilakukan selanjutnya adalah dengan menentukan suatu distribusi data berdasarkan karakteristik suatu distribusi sesuai dengan aplikasi penggunaannya. Pada bab sebelumnya dijelaskan, terdapat empat macam jenis distribusi antara lain Weibull, Eksponensial, Normal, dan Lognormal.

Langkah awal yang dilakukan untuk menentukan distribusi suatu data kerusakan adalah membuat suatu hipotesa apakah data kerusakan mengikuti salah satu dari keempat jenis distribusi kerusakan. Data TTF *ejector inlet valve* diduga berdistribusi *Weibull*. Pendugaan jenis distribusi data TTF *ejector inlet valve* pada komponen *pyrate hopper* berdistribusi *Weibull* ini berdasarkan karakteristik *Weibull* yang merupakan distribusi yang biasanya digunakan untuk menggambarkan waktu hidup atau umur dari suatu komponen mesin yang berkaitan dengan laju kerusakan, maka langkah yang dilakukan adalah pengujian hipotesa lebih lanjut untuk memperkuat hipotesa tersebut.

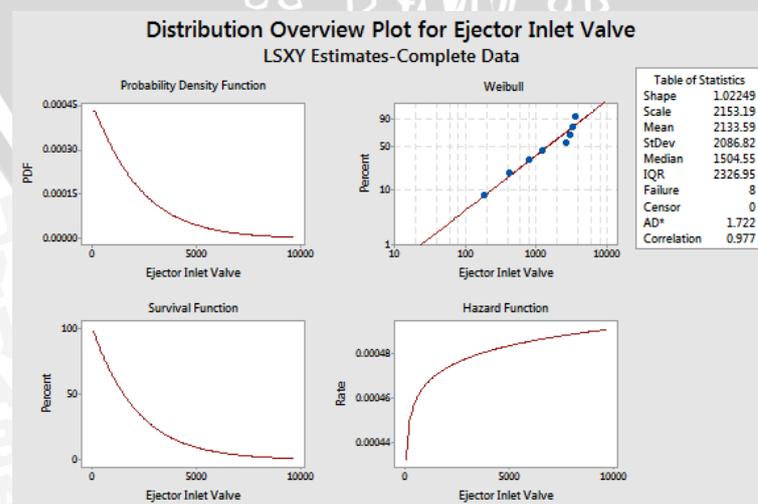
Uji distribusi waktu antar kerusakan (TTF) dari tiap komponen dengan downtime tertinggi yang menjadi objek penelitian dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab 17. Berikut ini merupakan adalah gambar 4.9 yang menunjukkan tahapan pengujian distribusi pada *ejector inlet valve* dengan menggunakan *software* Minitab 17.



Gambar 4.9 Pengujian distribusi data TTF *ejector inlet valve*
Sumber : Pengolahan data menggunakan *software* Minitab 17

Berdasarkan pengujian distribusi data dengan menggunakan *software* Minitab 17 menghasilkan nilai *correlative coefficient* pada distribusi weibull sebesar 0.977, distribusi lognormal sebesar 0.947, distribusi eksponensial tidak memunculkan nilai, dan distribusi normal sebesar 0.958. Dari ke empat jenis distribusi yang muncul pada perhitungan menggunakan *software* Minitab 17 dipilih nilai *correlative coefficient* terbesar, yaitu distribusi weibull dengan nilai sebesar 0.947. Sehingga dapat disimpulkan bahwa data kerusakan pada *ejector inlet valve* memiliki jenis distribusi weibull.

Setelah jenis distribusi didapatkan, maka tahapan yang selanjutnya dilaksanakan adalah penentuan parameter pada *ejector inlet valve* yang memiliki jenis distribusi weibull. Penentuan parameter dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab 17 pula. Berikut adalah gambar 4.10 yang menunjukkan hasil penentuan parameter dengan menggunakan *software* Minitab 17.



Gambar 4.5 Penentuan parameter TTF pada *ejector inlet valve*
Sumber : Pengolahan data menggunakan *software* Minitab 17

Berdasarkan penentuan parameter TTF pada *ejector inlet valve* dengan menggunakan *software* Minitab 17 didapatkan parameter bentuk (*shape*) dengan nilai sebesar 1.02249. Dan pada parameter skala didapatkan nilai sebesar 2153.19. Setelah diketahui parameter pada tiap komponen maka dapat digunakan sebagai dasar perhitungan MTTF tiap komponen. Berikut adalah tabel 4.17 yang menunjukkan jenis distribusi serta penentuan parameter tiap komponen dengan downtime tertinggi pada *pyrite hopper*. Untuk pengujian distribusi dan penentuan parameter selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.14 Uji Distribusi TTF komponen Kritis *Pyrite Hopper*

| Nama Komponen | Jenis Distribusi | Parameter | |
|----------------------------|------------------|-----------------|------------------|
| | | β (Shape) | θ (Scale) |
| <i>Ejector inlet valve</i> | Weibull | 1,02249 | 2153,19 |
| <i>Tramp iron valve</i> | Weibull | 1,19096 | 1586,57 |
| <i>Body hopper filter</i> | Weibull | 1,53210 | 3828,59 |

Sumber: Hasil uji distribusi data TTF komponen dengan downtime tertinggi *Pyrite Hopper*

4.3.4.2 Perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) untuk *Time to Failure* (TTF) Komponen Dengan Downtime Tertinggi pada *Pyrite Hopper*

Setelah dilakukan penentuan distribusi data dan penentuan parameter dengan bantuan *software* Minitab 17. Tahap selanjutnya yaitu melakukan perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF). Oleh karena data *time to failure* (TTF) pada *ejector inlet valve* yang terdapat pada *pyrite hopper* berdistribusi Weibull, maka untuk perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) *ejector inlet valve* dilakukan dengan menggunakan rumus 2.17. Berikut ini adalah perhitungan MTTF untuk *ejector inlet valve*.

$$MTTF = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

$$MTTF = 2153,19 \Gamma \left(1 + \frac{1}{1,02249} \right)$$

$$MTTF = 2153,19 \Gamma(1,978005)$$

$$MTTF = 2153,19 (0,990908)$$

$$MTTF = 2133,613 \text{ jam}$$

Setelah dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus (2.17) maka didapatkan nilai MTTF *ejector inlet valve* sebesar 2133.613. Perhitungan yang sama juga dilakukan pada *tramp iron valve* dan *body hopper filter*. Berikut ini merupakan tabel 4.18

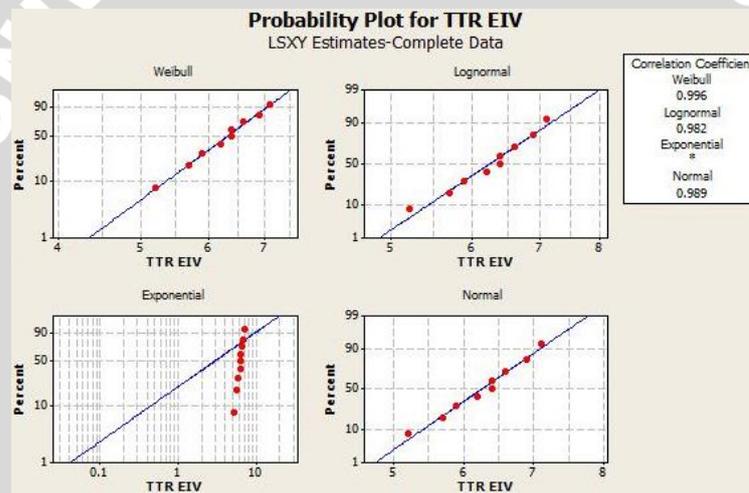
yang menunjukkan nilai MTTF komponen dengan downtime tertinggi pada *pyrite hopper*. Sedangkan untuk perhitungan MTTF selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.15 MTTF Komponen dengan downtime tertinggi pada *Pyrate Hopper*

| Komponen Dengan Downtime | MTTF (Jam) |
|----------------------------|------------|
| <i>Ejector inlet valve</i> | 2133,613 |
| <i>Tramp iron valve</i> | 1495,359 |
| <i>Body hopper filter</i> | 3477,792 |

4.3.4.3 Penentuan Distribusi *Time To Repair* (TTR) Komponen Dengan Downtime Tertinggi

Uji distribusi waktu antar kerusakan (TTR) dari tiap komponen dengan downtime tertinggi yang menjadi objek penelitian dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab 17. Berikut ini merupakan adalah gambar 4.11 yang menunjukkan tahapan pengujian distribusi pada *ejector inlet valve* dengan menggunakan *software* Minitab 17.

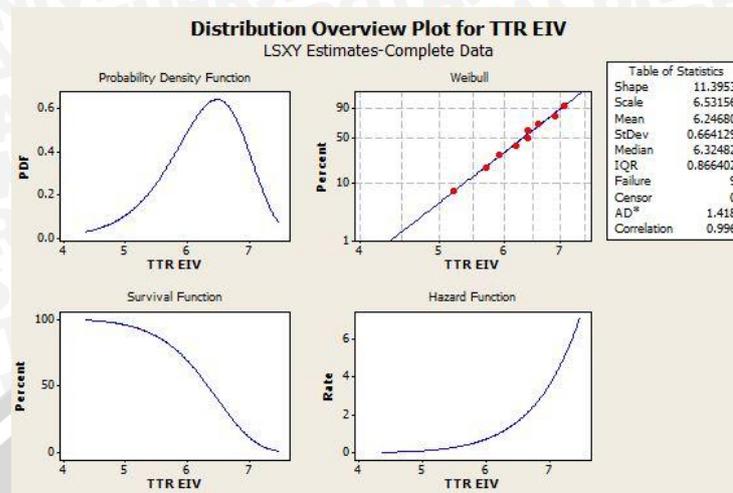


Gambar 4.11 Pengujian distribusi data TTR *ejector inlet valve*
Sumber : Pengolahan data menggunakan *software* Minitab 17

Berdasarkan pengujian distribusi data dengan menggunakan *software* Minitab 17 menghasilkan nilai *correlative coefficient* pada distribusi weibull sebesar 0,996, distribusi lognormal sebesar 0,982, distribusi eksponensial tidak memunculkan nilai, dan distribusi normal sebesar 0,989. Dari ke empat jenis distribusi yang muncul pada perhitungan menggunakan *software* Minitab 17 dipilih nilai *correlative coefficient* terbesar, yaitu distribusi weibull dengan nilai sebesar 0,996. Sehingga dapat disimpulkan bahwa data TTR pada *ejector inlet valve* memiliki jenis distribusi weibull.

Setelah jenis distribusi didapatkan, maka tahapan yang selanjutnya dilaksanakan adalah penentuan parameter pada data TTR *ejector inlet valve* yang memiliki jenis distribusi weibull. Penentuan parameter dilakukan dengan menggunakan *software*

Minitab 17 pula. Berikut adalah gambar 4.12 yang menunjukkan hasil penentuan parameter dengan menggunakan *software* Minitab 17.



Gambar 4.12 Penentuan parameter TTR pada *ejector inlet valve*
Sumber : Pengolahan data menggunakan *software* Minitab 17

Berdasarkan penentuan parameter TTR pada *ejector inlet valve* dengan menggunakan *software* Minitab 17 didapatkan parameter bentuk (*shape*) dengan nilai sebesar 11,3953. Dan pada parameter skala didapatkan nilai sebesar 6,53156. Setelah diketahui parameter pada tiap komponen maka dapat digunakan sebagai dasar perhitungan MTTR tiap komponen. Berikut adalah tabel 4.16 yang menunjukkan jenis distribusi serta penentuan parameter tiap komponen dengan downtime tertinggi pada *pyrite hopper*. Untuk pengujian distribusi dan penentuan parameter selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.16 Uji Distribusi TTR komponen Kritis *Pyrite Hopper*

| Nama Komponen | Jenis Distribusi | Parameter | |
|----------------------------|------------------|-----------------|------------------|
| | | β (Shape) | θ (Scale) |
| <i>Ejector inlet valve</i> | Weibull | 11,3953 | 6,53156 |
| <i>Tramp iron valve</i> | Weibull | 15,6368 | 8,10014 |
| <i>Body hopper filter</i> | Weibull | 16,0625 | 7,84255 |

4.3.4.4 Perhitungan *Mean Time to Repair* (MTTR) untuk *Time to Repair* (TTR) Komponen Dengan *Downtime* Tertinggi pada *Pyrite Hopper*

Setelah dilakukan penentuan distribusi dan penentuan parameter data TTR dengan bantuan *software* Minitab 17. Tahap selanjutnya yaitu melakukan perhitungan *Mean Time to Repair* (MTTR). Oleh karena data *time to repair* (TTR) pada *ejector inlet valve* yang terdapat pada *pyrite hopper* berdistribusi Weibull, maka untuk perhitungan *Mean Time to*

Repair (MTTR) *ejector inlet valve* dilakukan dengan menggunakan rumus 2.12. Berikut ini adalah perhitungan MTTR untuk *ejector inlet valve*.

$$MTTR = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

$$MTTR = 6,53156 \Gamma \left(1 + \frac{1}{11,3953} \right)$$

$$MTTR = 6,53156 \Gamma(1,0878)$$

$$MTTR = 6,53156(0,9564)$$

$$MTTR = 6,2469 \text{ jam}$$

Setelah dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus (2.12) maka didapatkan nilai MTTR *ejector inlet valve* sebesar 6,2469 jam. Perhitungan yang sama juga dilakukan pada *tramp iron valve* dan *body hopper filter*. Berikut ini merupakan tabel 4.17 yang menunjukkan nilai MTTR komponen dengan downtime tertinggi pada *pyrite hopper*. Sedangkan untuk perhitungan MTTR selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.17 MTTR Komponen dengan downtime tertinggi *Pyrate Hopper*

| Nama Komponen | MTTR (jam) |
|----------------------------|------------|
| <i>Ejector inlet valve</i> | 6,2469 |
| <i>Tramp iron valve</i> | 7,8322 |
| <i>Body hopper filter</i> | 7,5893 |

4.3.5 Perhitungan Total Biaya Perawatan

Setelah dilakukan pengujian distribusi waktu antar kerusakan (*time to failure*) dan waktu antar perbaikan (*time to repair*), langkah selanjutnya adalah penentuan total biaya perawatan optimum. Sebelum melakukan perhitungan total biaya perawatan optimum, terlebih dahulu adalah menentukan biaya tenaga kerja, biaya kerugian produksi, dan biaya perbaikan komponen. Berikut merupakan perhitungan biaya tenaga kerja, biaya kerugian produksi, dan biaya perbaikan komponen.

1. Biaya Tenaga kerja

Biaya tenaga kerja adalah biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan untuk membayar pekerja yang melakukan tindakan *maintenance* selama terjadi kerukan pada mesin *pulverizer*. Tenaga kerja tersebut berjumlah 3 orang tenaga teknis. Dimana jumlah jam kerja selama 1 hari adalah 8 jam. Perhitungan tenaga kerja dapat dilihat pada tabel 4.18.

Tabel 4.18 Biaya Tenaga Kerja Perawatan

| No. | Tenaga Kerja Perawatan | Biaya Per Hari | Jumlah Gaji/ jam | Jumlah Tenaga Kerja |
|--------|------------------------|----------------|------------------|---------------------|
| 1. | Teknisi | 124000 | 15500 | 3 orang |
| Jumlah | | 372000 | 46500 | 3orang |

Jadi biaya total untuk tenaga kerja yang dikeluarkan perusahaan sejumlah Rp46.500,00 per jam dengan asumsi bahwa tenaga kerja tersebut *available* untuk melakukan kegiatan perawatan/perbaikan.

2. Biaya Kerugian Produksi

Biaya kerugian produksi adalah biaya yang muncul apabila terjadi downtime. Hal tersebut menyebabkan perusahaan mengalami kerugian (*loss production*) karena mesin tidak dapat memproduksi. Berikut ini akan dijelaskan perihal yang terjadi akibat *downtime pulverizer* yang berpengaruh pada produksi listrik PT. YTL Paiton. Kapasitas Daya Listrik yang dapat disuplai oleh 1 unit *pulverizer* adalah sebesar 70.840 kWh. Yang didapatkan dari total daya yang dapat disuplai oleh enam *pulverizer* adalah sebesar 425 MWh dibagi 6. Untuk perumusannya adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 D_x &= \frac{D_{\text{total}}}{n} \\
 &= \frac{425\text{MWh}}{6} \\
 &= 70,84 \text{ MWh} \\
 &= 70.840 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Keterangan : D_x = Daya yang dapat disuplai oleh satu *pulverizer*

D_{total} = total daya yang dapat disuplai oleh enam *pulverizer*

n = jumlah *pulverizer* yang beroperasi

Jika Harga Pokok Produksi (HPP) listrik per kWh Rp 533,05 maka biaya kerugian produksi perjam adalah.

$$\begin{aligned}
 Co &= \text{Kapasitas Daya Listrik} \times \text{HPP listrik} \\
 &= 70.840 \text{ kWh} \times \text{Rp } 533,05 \\
 &= \text{Rp } 37.761.262,00
 \end{aligned}$$

3. Biaya Pergantian Komponen

Biaya ini timbul akibat adanya kerusakan komponen yang membutuhkan penggantian komponen pada *pulverizer* dapat dilihat pada tabel 4.19 berikut ini.

Tabel 4.19 Harga Komponen *Pyrite Hopper* pada mesin *Pulverizer*

| No. | Nama Komponen | Harga Komponen |
|-----|----------------------------|----------------|
| 1. | <i>Ejector inlet valve</i> | Rp 640.000,00 |
| 2. | <i>Tramp iron valve</i> | Rp 325.000,00 |
| 3. | <i>Body hopper filter</i> | Rp 870.000,00 |

4. Biaya *failure cost* (Cf) dan *preventive cost* (Cp)

Berikut merupakan perhitungan *failure cost* dan *preventive cost* untuk masing-masing komponen dengan *downtime* tertinggi pada *pyrate hopper*. Rumus yang digunakan untuk menghitung *failure cost* (Cf) adalah.

$$Cf = ((\text{Biaya Tenaga Kerja} + \text{Biaya Kerugian Produksi}) \times \text{MTTR}) + \text{Harga Komponen}$$

Contoh perhitungan *failure cost* (Cf) pada komponen *ejector inlet valve* adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Cf &= ((\text{Biaya Tenaga Kerja} + \text{Biaya Kerugian Produksi}) \times \text{MTTR}) + \text{Harga Komponen} \\ &= ((\text{Rp } 46.500,00 + \text{Rp } 37.761.262) \times 6,2469) + \text{Rp } 640.000,00 \\ &= \text{Rp } 236.821.469,00 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, maka diperoleh hasil perhitungan *failure cost* (Cf) seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.20 berikut ini.

Tabel 4.20 Hasil Perhitungan *Failure Cost* (Cf)

| Nama Komponen | Harga Komponen (Rp) | Biaya Kerugian Produksi (Rp/jam) | Biaya Tenaga Kerja (Rp/jam) | MTTR (jam) | Cf (Rp) |
|----------------------------|---------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------|-----------|
| <i>Ejector inlet valve</i> | 640000 | 37761262 | 46500 | 6,2469 | 236821469 |
| <i>Tramp iron valve</i> | 325000 | 37761262 | 46500 | 7,8322 | 296444365 |
| <i>Body hopper filter</i> | 870000 | 37761262 | 46500 | 7,5893 | 287803238 |

Berdasarkan perhitungan *failure cost* (Cf) pada *pyrite hopper* pada tabel di atas dapat diketahui bahwa *failure cost* (Cf) pada *ejector inlet valve* sebesar Rp236.821.469,00. *Tramp iron valve* sebesar Rp 296.444.365,00. Dan *body hopper filter* sebesar Rp 287.803.238,00. Sedangkan contoh perhitungan *preventive cost* pada komponen *ejector inet valve* adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Cp &= ((\text{Biaya Tenaga Kerja} + \text{Biaya Kerugian Produksi}) \times \text{MTTR}) + \text{Harga Komponen} \\ &= ((\text{Rp } 46.500,00 + \text{Rp } 37.761.262,00) \times 2,5) + \text{Rp } 640.000,00 \\ &= \text{Rp } 95.159.405,00 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, maka diperoleh hasil perhitungan biaya penggantian komponen karena kerusakan seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.21 berikut ini.

Tabel 4.21 Hasil Perhitungan *Preventive Cost* (C_p)

| Nama Komponen | Harga Komponen (Rp) | Biaya Kerugian Produksi (Rp/jam) | Biaya Tenaga Kerja (Rp/jam) | MTTR (jam) | C_p (Rp) |
|----------------------------|---------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------|------------|
| <i>Ejector inlet valve</i> | 640000 | 37761262 | 46500 | 2,5 | 95159405 |
| <i>Tramp iron valve</i> | 325000 | 37761262 | 46500 | 3 | 113748286 |
| <i>Body hopper filter</i> | 870000 | 37761262 | 46500 | 1,8 | 68923972 |

Berdasarkan perhitungan biaya penggantian komponen karena kerusakan pada tabel 4.24, diketahui bahwa biaya penggantian komponen karena kerusakan pada *ejector inlet valve* sebesar Rp 95.159.405,00. *Tramp iron valve* sebesar Rp 113.748.286,00. Dan *body hopper filter* sebesar Rp 68.923.972,00.

Setelah *failure cost* (C_f) dan *preventive cost* (C_p) masing-masing komponen dengan *downtime* tertinggi pada didapatkan, maka langkah selanjutnya adalah menghitung interval perawatan yang optimal dengan menggunakan persamaan 2.22.

$$TM = \theta \left[\frac{C_p}{C_f - C_p} \times \frac{1}{\beta^{-1}} \right]^{\frac{1}{\beta}}$$

Contoh Perhitungan TM *ejector inlet valve*:

Dimana: β = 1,02249
 θ = 2153,19
 C_f = Rp 236.821.469,00
 C_p = Rp 95.159.405,00

$$\begin{aligned} TM &= 2153,19 \left(\frac{95159405}{236821469 - 95159405} \cdot \frac{1}{1,02249^{-1}} \right)^{\frac{1}{1,02249}} \\ &= 2153,19 (0,6717 \times 1,02249)^{\frac{1}{1,02249}} \\ &= 2153,19 (0,6925) \\ &= 1491,1727 \end{aligned}$$

Tabel 4.22 Interval Perawatan Optimal

| Nama Komponen | β (Shape) | θ (Scale) | C_p (Rp) | C_f (Rp) | TM (jam) |
|----------------------------|-----------------|------------------|------------|------------|-----------|
| <i>Ejector inlet valve</i> | 1,02249 | 2153,19 | 95159405 | 236821469 | 1491,1727 |
| <i>Tramp iron valve</i> | 1,19096 | 1586,57 | 113748286 | 296444365 | 1234,2363 |
| <i>Body hopper filter</i> | 1,5321 | 3828,59 | 68923972 | 287803238 | 2379,1884 |

Tabel di atas menginformasikan bahwa interval perawatan komponen tetap bekerja secara optimal untuk komponen *ejector inlet valve* adalah sebesar 1491,1727 jam. *Tramp iron valve* sebesar 1234,2363 jam, dan *body hopper filter* 2379,1884 jam.

4.3.5.1 Perhitungan *Total Cost Maintenance* (TC) dan *Reliability* (R)

Setelah didapatkan interval perawatan optimal, langkah yang selanjutnya dilakukan adalah dengan menghitung *total cost maintenance* (TC) dan *reliability* (R). *Total cost maintenance* (TC) biaya adalah total perawatan yang harus dikeluarkan oleh perusahaan meliputi *failure cost* (C_f) dan *preventive cost* (C_p). Sedangkan *reliability* merupakan nilai keandalan komponen yang muncul. Nilai keandalan ini digunakan untuk mengetahui produktivitas suatu peralatan atau komponen akan berfungsi sebagaimana mestinya selama selang waktu tertentu. Berikut ini merupakan perhitungan *total cost maintenance* (TC) dan *reliability* (R) komponen dengan *downtime* tertinggi pada yang terdapat pada *pyrite hopper*.

1. Perhitungan *total cost maintenance* (TC) dan *reliability* (R) *ejector inlet valve*

Untuk *total cost maintenance* (TC_{MTTF}) dan *reliability* (R_{MTTF}) *ejector inlet valve* yang sekarang sedang dilaksanakan oleh perusahaan berturut-turut adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} TC_{MTTF} &= \frac{C_f}{\theta^\beta} MTTF^{\beta-1} + \frac{C_p}{MTTF} \\ &= \frac{236821469}{2153,19^{1,02249}} 2133,613^{1,02249-1} + \frac{95159405}{2133,613} \\ &= Rp 154.564,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{MTTF} &= e^{-\left(\frac{MTTF}{\theta}\right)^\beta} \\ &= e^{-\left(\frac{2133,613}{2153,19}\right)^{1,02249}} \\ &= 0,3713 \end{aligned}$$

Dari perhitungan *total cost maintenance* (TC_{MTTF}) dapat dilakukan perhitungan biaya perawatan selama terjadinya kerusakan. Biaya ini dihitung berdasarkan lama waktu perbaikan komponen saat terjadi kerusakan. Berikut ini merupakan tabel 4.23 yang berisi perhitungan biaya perawatan *ejector inlet valve* selama terjadi kerusakan pada periode Januari 2013 – Desember 2014 pada PY YTL Paiton.

Tabel 4.23 Total Cost Maintenance (TC_{MTTF}) ejector inlet valve Januari 2013-Desember 2014

| Tanggal | Biaya Perawatan per jam (Rp/jam) | TTR (jam) | Total Cost Maintenance (TC) |
|--------------|----------------------------------|-----------|-----------------------------|
| 15-Feb-13 | 154.564 | 7.1 | 109.7404 |
| 19-Jul-13 | 154.564 | 6.2 | 958.297 |
| 22-Aug-13 | 154.564 | 6.4 | 989.209 |
| 11-Dec-13 | 154.564 | 5.7 | 881.014 |
| 28-Apr-14 | 154.564 | 6.4 | 989.209 |
| 3-Sep-14 | 154.564 | 5.9 | 911.928 |
| 11-Sep-14 | 154.564 | 6.6 | 1.020.122 |
| 29-Sep-14 | 154.564 | 6.9 | 1.066.492 |
| 20-Nov-14 | 154.564 | 5.2 | 803.733 |
| Total | | | 8.717.410 |

Dari perhitungantabel 4.23 dapat dilihat bahwa *total cost maintenance ejector inlet valve* pada periode Januari 2013 – Desember 2014 adalah sebesar Rp 8.717410,00. Tahapan selanjutnya adalah dengan menghitung *total cost maintenance* (TC_{TM}) dan *reliability* (R_{TM}) *ejector inlet valve* sesuai dengan usulan interval perawatan berturut-turut adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 TC_{TM} &= \frac{C_f}{\theta^\beta} TM^{\beta-1} + \frac{C_p}{TM} \\
 &= \frac{236821469}{2153.19^{1.02249}} 1491,1727^{1,02249-1} + \frac{95159405}{1491,1727} \\
 &= \text{Rp } 172.896,00 \\
 R_{TM} &= e^{-\left(\frac{TM}{\theta}\right)^\beta} \\
 &= e^{-\left(\frac{1491,1727}{2153.19}\right)^{1,02249}} \\
 &= 0,5032
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan *total cost maintenance* (TC_{TM}) dapat dilakukan perhitungan biaya perawatan selama terjadinya kerusakan. Biaya ini dihitung berdasarkan lama waktu perbaikan komponen saat terjadi kerusakan setelah dilakukan interval waktu perawatan (TM) dengan jumlah kerusakan yang disesuaikan dengan kerusakan sebelum dilakukan interval waktu perawatan. Berikut ini merupakan tabel 4.24 yang berisi perhitungan biaya perawatan *ejector inlet valve* dengan jumlah kerusakan yang disesuaikan dengan data historis.

Tabel 4.24 Total Cost Maintenance (TC_{TM}) ejector inlet valve setelah interval perawatan

| Tanggal | Biaya Perawatan per jam (Rp/jam) | TTR (jam) | Total Cost Maintenance (TC) |
|-----------|----------------------------------|-----------|-----------------------------|
| 15-Feb-13 | 172.896 | 2.5 | 432.240 |
| 19-Jul-13 | 172.896 | 2.5 | 432.240 |
| 22-Aug-13 | 172.896 | 2.5 | 432.240 |

Tabel 4.24 Total Cost Maintenance (TC_{TM}) ejector inlet valve setelah interval perawatan

| Tanggal | Biaya Perawatan per jam (Rp/jam) | TTR (jam) | Total Cost Maintenance (TC) |
|--------------|----------------------------------|-----------|-----------------------------|
| 11-Dec-13 | 172.896 | 2.5 | 432.240 |
| 28-Apr-14 | 172.896 | 2.5 | 432.240 |
| 3-Sep-14 | 172.896 | 2.5 | 432.240 |
| 11-Sep-14 | 172.896 | 2.5 | 432.240 |
| 29-Sep-14 | 172.896 | 2.5 | 432.240 |
| 20-Nov-14 | 172.896 | 2.5 | 432.240 |
| Total | | | 3.890.160 |

Dari perhitungan tabel 4.24 dapat dilihat bahwa *total cost maintenance ejector inlet valve* setelah diterapkan interval waktu perawatan adalah sebesar Rp 3.890.160,00. Setelah dilakukan perhitungan diatas dapat dilihat bahwa $TC_{MTTF} > TC_{TM}$, terjadi penurunan biaya sebesar Rp 8.717.410,00 – Rp 3.890.160,00 = Rp 4.827.250,00 per tahun dan apabila dipersentasikan terjadi penurunan sebesar 55,37 %. Apabila dilihat dari sisi *reliability* (R) menunjukkan hasil $R_{MTTF} < R_{TM}$, yaitu dari 0,3713 menjadi 0,503162, terjadi peningkatan *reliability* (R) sebesar 0,503162 – 0,3713 = 0,1318 dan apabila dipersentasikan meningkat sebesar 26,2 %. Dari perhitungan tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa interval waktu perawatan yang diusulkan dapat menurunkan *total cost maintenance* (TC). Selain itu apabila dilihat dari sisi *reliability* (R) *ejector inlet valve* terjadi peningkatan yang cukup signifikan. Sehingga interval perawatan hasil perancangan dapat diajukan sebagai interval waktu perawatan efektif.

2. Perhitungan *total cost maintenance* (TC) dan *reliability* (R) *tramp iron valve*

Untuk *total cost maintenance* (TC_{MTTF}) dan *reliability* (R_{MTTF}) *tramp iron valve* yang sekarang sedang dilaksanakan oleh perusahaan berturut-turut adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 TC_{MTTF} &= \frac{C_f}{\theta\beta} MTTF^{\beta-1} + \frac{C_p}{MTTF} \\
 &= \frac{296444365}{1586.57^{1,19096}} 1495,359^{1,19096-1} + \frac{113748286}{1495,359} \\
 &= \text{Rp } 260.813,00
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{MTTF} &= e^{-\left(\frac{MTTF}{\theta}\right)^\beta} \\
 &= e^{-\left(\frac{1495,359}{1586.57}\right)^{1,19096}} \\
 &= 0,3938
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan *total cost maintenance* (TC_{MTTF}) dapat dilakukan perhitungan biaya perawatan selama terjadinya kerusakan. Biaya ini dihitung berdasarkan lama waktu perbaikan komponen saat terjadi kerusakan. Berikut ini merupakan tabel 4.25 yang berisi perhitungan biaya perawatan *tramp iron valve* selama terjadi kerusakan pada periode Januari 2013 – Desember 2014 pada PY YTL Paiton.

Tabel 4.25 *Total Cost Maintenance* (TC_{MTTF}) *tramp iron valve* Januari 2013-Desember 2014

| Tanggal | Biaya Perawatan per jam (Rp/jam) | TTR (jam) | Total Cost Maintenance (TC) |
|--------------|----------------------------------|-----------|-----------------------------|
| 12-Feb-2013 | 260.813 | 7.6 | 1.982.179 |
| 6-Mar-2013 | 260.813 | 8.6 | 2.242.992 |
| 17-Mar-2013 | 260.813 | 7.8 | 2.034.341 |
| 19-Jul-2013 | 260.813 | 8.3 | 2.164.748 |
| 22-Aug-2013 | 260.813 | 8.5 | 2.216.911 |
| 7-Sep-2013 | 260.813 | 7.9 | 2.060.423 |
| 21-Jan-2014 | 260.813 | 6.8 | 1.773.528 |
| 12-Mar-2014 | 260.813 | 7.8 | 2.034.341 |
| 9-Jul-2014 | 260.813 | 8.4 | 2.190.829 |
| 17-Jul-2014 | 260.813 | 6.9 | 1.799.610 |
| 25-Sep-2014 | 260.813 | 7.7 | 2.008.260 |
| 8-Dec-2014 | 260.813 | 7.9 | 2.060.423 |
| Total | | | 24.568.585 |

Dari perhitungantabel 4.25 dapat dilihat bahwa *total cost maintenance tramp iron valve* pada periode Januari 2013 – Desember 2014 adalah sebesar Rp 24.568.585,00. Tahapan selanjutnya adalah dengan menghitung *total cost maintenance* (TC_{TM}) dan *reliability* (R_{TM}) *tramp iron valve* sesuai dengan usulan interval perawatan berturut-turut adalah sebagai berikut. Sedangkan untuk menghitung *total cost maintenance* (TC_{TM}) dan *reliability* (R_{TM}) *tramp iron valve* sesuai dengan usulan interval perawatan berturut-turut adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 TC_{TM} &= \frac{C_f}{\theta\beta} TM^{\beta-1} + \frac{C_p}{TM} \\
 &= \frac{296444365}{1586,57^{1,19096}} 1234,2363^{1,19096-1} + \frac{113748286}{1234,2363} \\
 &= Rp 270.258,00
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{TM} &= e^{-\left(\frac{TM}{\theta}\right)^\beta} \\
 &= e^{-\left(\frac{1234,2363}{1586,57}\right)^{1,19096}} \\
 &= 0,4764
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan *total cost maintenance* (TC_{TM}) dapat dilakukan perhitungan biaya perawatan selama terjadinya kerusakan. Biaya ini dihitung berdasarkan lama waktu

perbaikan komponen saat terjadi kerusakan setelah dilakukan interval waktu perawatan (TM) dengan jumlah kerusakan yang disesuaikan dengan kerusakan sebelum dilakukan interval waktu perawatan. Berikut ini merupakan tabel 4.26 yang berisi perhitungan biaya perawatan *tramp iron valve* dengan jumlah kerusakan yang disesuaikan dengan data historis.

Tabel 4.26 Total Cost Maintenance (TC_{TM}) *tramp iron valve* setelah interval perawatan

| Tanggal | Biaya Perawatan per jam (Rp/jam) | TTR (jam) | Total Cost Maintenance (TC) |
|--------------|----------------------------------|-----------|-----------------------------|
| 12-Feb-2013 | 270.258 | 3 | 810.774 |
| 6-Mar-2013 | 270.258 | 3 | 810.774 |
| 17-Mar-2013 | 270.258 | 3 | 810.774 |
| 19-Jul-2013 | 270.258 | 3 | 810.774 |
| 22-Aug-2013 | 270.258 | 3 | 810.774 |
| 7-Sep-2013 | 270.258 | 3 | 810.774 |
| 21-Jan-2014 | 270.258 | 3 | 810.774 |
| 12-Mar-2014 | 270.258 | 3 | 810.774 |
| 9-Jul-2014 | 270.258 | 3 | 810.774 |
| 17-Jul-2014 | 270.258 | 3 | 810.774 |
| 25-Sep-2014 | 270.258 | 3 | 810.774 |
| 8-Dec-2014 | 270.258 | 3 | 810.774 |
| Total | | | 9.729.288 |

Dari perhitungan tabel 4.26 dapat dilihat bahwa *total cost maintenance ejector inlet valve* setelah diterapkan interval waktu perawatan adalah sebesar Rp 9.729.288,00. Setelah dilakukan perhitungan diatas dapat dilihat bahwa $TC_{MTTF} > TC_{TM}$, terjadi penurunan biaya sebesar Rp 24.568.585,00 – Rp 9.729.288,00 = Rp 14.839.297,00 dan apabila dipersentasikan menurun sebesar 60,41 %. Apabila dilihat dari sisi *reliability* (R) menunjukkan hasil $R_{MTTF} < R_{TM}$, yaitu dari 0,39379 menjadi 0,47639, terjadi peningkatan *reliability* (R) sebesar $0,47639 - 0,39379 = 0,0826$ dan apabila dipersentasikan meningkat sebesar 17,34 %. Dari perhitungan tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa interval waktu perawatan yang diusulkan dapat menurunkan *total cost maintenance* (TC). Selain itu apabila dilihat dari sisi *reliability* (R) *tramp iron valve* terjadi peningkatan yang cukup signifikan. Sehingga interval perawatan hasil perancangan dapat diajukan sebagai interval waktu perawatan efektif.

3. Perhitungan *total cost maintenance* (TC) dan *reliability* (R) *body hopper filter*

Untuk *total cost maintenance* (TC_{MTTF}) dan *reliability* (R_{MTTF}) *body hopper filter* yang sekarang sedang dilaksanakan oleh perusahaan berturut-turut adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} TC_{MTTF} &= \frac{C_f}{\theta^\beta} MTTF^{\beta-1} + \frac{C_p}{MTTF} \\ &= \frac{287803238}{3828.59^{1.5321}} 3477.792^{1.5321-1} + \frac{68923972}{3477.792} \\ &= Rp 91.243,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{MTTF} &= e^{-\left(\frac{MTTF}{\theta}\right)^\beta} \\ &= e^{-\left(\frac{3477,792}{3828,59}\right)^{1,5321}} \\ &= 0,4219 \end{aligned}$$

Dari perhitungan *total cost maintenance* (TC_{MTTF}) dapat dilakukan perhitungan biaya perawatan selama terjadinya kerusakan. Biaya ini dihitung berdasarkan lama waktu perbaikan komponen saat terjadi kerusakan. Berikut ini merupakan tabel 4.27 yang berisi perhitungan biaya perawatan *body hopper filter* selama terjadi kerusakan pada periode Januari 2013 – Desember 2014 pada PY YTL Paiton.

Tabel 4.27 *Total Cost Maintenance* (TC_{MTTF}) *body hopper filter* Januari 2013-Desember 2014

| Tanggal | Biaya Perawatan per jam (Rp/jam) | TTR (jam) | Total Cost Maintenance (TC) |
|--------------|----------------------------------|-----------|-----------------------------|
| 19-Mar-2013 | 91.243 | 7.7 | 702.571 |
| 6-Jul-2013 | 91.243 | 8.1 | 739.068 |
| 24-Aug-2013 | 91.243 | 7.9 | 720.820 |
| 16-Feb-2014 | 91.243 | 6.8 | 620.452 |
| 19-Sep-2014 | 91.243 | 7.6 | 693.447 |
| Total | | | 3.476.358 |

Dari perhitungantabel 4.27 dapat dilihat bahwa *total cost maintenance body hopper filter* pada periode Januari 2013 – Desember 2014 adalah sebesar Rp 3.476.358,00. Tahapan selanjutnya adalah dengan menghitung *total cost maintenance* (TC_{TM}) dan *reliability* (R_{TM}) *body hopper filter* sesuai dengan usulan interval perawatan berturut-turut adalah sebagai berikut. Sedangkan untuk menghitung *total cost maintenance* (TC_{TM}) dan *reliability* (R_{TM}) *body hopper filter* sesuai dengan usulan interval perawatan berturut-turut adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 TC_{TM} &= \frac{C_f}{\theta^\beta} TM^{\beta-1} + \frac{C_p}{TM} \\
 &= \frac{287803238}{3828,59^{1,5321}} 2379,1884^{1,5321-1} + \frac{68923972}{2379,1884} \\
 &= Rp 87.330,00
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{TM} &= e^{-\left(\frac{TM}{\theta}\right)^\beta} \\
 &= e^{-\left(\frac{2379,1884}{3828,59}\right)^{1,5321}} \\
 &= 0,6173
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan *total cost maintenance* (TC_{TM}) dapat dilakukan perhitungan biaya perawatan selama terjadinya kerusakan. Biaya ini dihitung berdasarkan lama waktu perbaikan komponen saat terjadi kerusakan setelah dilakukan interval waktu perawatan (TM) dengan jumlah kerusakan yang disesuaikan dengan kerusakan sebelum dilakukan interval waktu perawatan. Berikut ini merupakan tabel 4.28 yang berisi perhitungan biaya perawatan *body hopper filter* dengan jumlah kerusakan yang disesuaikan dengan data historis.

Tabel 4.28 Total Cost Maintenance (TC_{TM}) *body hopper filter* setelah interval waktu perawatan

| Tanggal | Biaya Perawatan per jam (Rp/jam) | TTR (jam) | Total Cost Maintenance (TC) |
|--------------|----------------------------------|-----------|-----------------------------|
| 19-Mar-2013 | 87.330 | 1.8 | 157.294 |
| 6-Jul-2013 | 87.330 | 1.8 | 157.294 |
| 24-Aug-2013 | 87.330 | 1.8 | 157.294 |
| 16-Feb-2014 | 87.330 | 1.8 | 157.294 |
| 19-Sep-2014 | 87.330 | 1.8 | 157.294 |
| Total | | | 785.970 |

Dari perhitungan diatas dapat dilihat bahwa $TC_{MTTF} > TC_{TM}$, setelah dilakukan perhitungan biaya optimal ternyata terjadi penurunan biaya sebesar Rp 3.476.358,00 – Rp 785.970,00 = Rp 2.690.388,00 apabila dipersentasikan menurun sebesar 77,39 %. Apabila dilihat dari sisi *reliability* (R) menunjukkan hasil $R_{MTTF} < R_{TM}$, yaitu dari 0,42186 menjadi 0,426699, terjadi peningkatan *reliability* (R) sebesar 0,61727 – 0,42186 = 0,1954 dan apabila dipersentasikan meningkat sebesar 31,66 %. Dari perhitungan tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa interval waktu perawatan yang diusulkan dapat menurunkan *total cost maintenance* (TC) dan meningkatkan *reliability* (R) *body hopper filter*. Sehingga interval perawatan hasil perancangan dapat diajukan sebagai interval waktu perawatan efektif.

Tabel 4.23 Perbandingan Antara *Total Cost Maintenance* (TC) dan *Reliability* (R) Aktual Perusahaan Dengan Interval Perawatan Efektif Hasil Rancangan

| Nama Komponen | MTTF (jam) | TM (jam) | TC _{MTTF} (Rp) | TC _{TM} (Rp) | R _{MTTF} | R _{TM} | Penurunan TC (%) | Kenaikan R (%) |
|----------------------------|------------|-----------|-------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------|------------------|----------------|
| <i>Ejector Inlet Valve</i> | 2.133,613 | 1.491,172 | 8.716.410 | 3.890.160 | 0,371315 | 0,503162 | 55,37 | 26,20 |
| <i>Tramp Iron Valve</i> | 1.495,359 | 1.234,236 | 24.568.585 | 9.729.288 | 0,393799 | 0,476397 | 60,41 | 17,34 |
| <i>Body Hopper Filter</i> | 3.477,792 | 2.379,188 | 3.476.358 | 785.970 | 0,421855 | 0,617269 | 77,39 | 31,66 |

Keterangan :

- MTTF = rata-rata waktu kerusakan yang muncul sesuai dengan interval perawatan yang dilakukan oleh perusahaan
- TM = interval perawatan optimal
- TC_{MTTF} = total biaya perawatan yang muncul sesuai dengan interval perawatan yang dilakukan oleh perusahaan
- TC_{TM} = total biaya perawatan yang muncul setelah dilakukan interval perawatan sesuai dengan hasil rancangan
- R_{MTTF} = nilai keandalan yang muncul sesuai dengan interval perawatan yang dilakukan oleh perusahaan
- R_{TM} = nilai keandalan yang muncul setelah dilakukan interval perawatan sesuai dengan hasil rancangan

4.3.5.2 Perhitungan *Availability Rate*

Pada tahapan ini akan dihitung *Availability Rate* sebelum dilakukan perencanaan interval perawatan optimal dan setelah dilakukan interval perawatan optimal. Dengan melakukan perhitungan ini perusahaan akan mengetahui peningkatan *availability* setelah dilakukan interval perawatan optimal. Data yang dibutuhkan untuk menghitung *availability rate* antara lain data jam kerja dan data *downtime* mesin. Sedangkan untuk menghitung *Availability Rate* diselesaikan dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$\text{Operation time} = \text{Loading time} - \text{downtime}$$

$$\text{Availability rate} = \frac{\text{Operation time}}{\text{Loading time}} \times 100\%$$

Berikut ini adalah contoh perhitungan *Availability Rate ejector inlet valve* pada tanggal 15 Februari 2013 yang terdapat pada tabel 4.24.

$$\begin{aligned} \text{Availability rate} &= \frac{\text{Operation time}}{\text{Loading time}} \times 100\% \\ &= \frac{16,9}{24} \times 100\% \\ &= 70,42\% \end{aligned}$$

Perhitungan yang sama juga dilakukan pada semua data komponen dengan *downtime* tertinggi pada untuk menghasilkan data *availability rate*. Berikut ini merupakan rekap tabel perhitungan *availability rate* pada komponen komponen dengan *downtime* tertinggi pada *pyrate hopper* sebelum dilaksanakan berdasarkan waktu interval perawatan optimal.

Tabel 4.24 Data Hasil Perhitungan *Availability Rate Ejector Inlet Valve* Sebelum Penerapan Waktu Interval Perawatan Optimal

| Tanggal | TTR (jam) | TTF (jam) | Loading Time (jam) | Downtime (jam) | Operation Time (jam) | Availability Rate (%) |
|-------------------------|-----------|-----------|--------------------|----------------|----------------------|-----------------------|
| 15-Feb-13 | 7,1 | | 24 | 7,1 | 16,9 | 70,42 |
| 16-Jul-13 | 6,2 | 3687 | 24 | 6,2 | 17,8 | 74,17 |
| 18-Aug-13 | 6,4 | 814 | 24 | 6,4 | 17,6 | 73,33 |
| 7-Dec-13 | 5,7 | 2664 | 24 | 5,7 | 18,3 | 76,25 |
| 24-Apr-14 | 6,4 | 3309 | 24 | 6,4 | 17,6 | 73,33 |
| 29-Aug-14 | 5,9 | 3068 | 24 | 5,9 | 18,1 | 75,42 |
| 6-Sep-14 | 6,6 | 190 | 24 | 6,6 | 17,4 | 72,50 |
| 23-Sep-14 | 6,9 | 428 | 24 | 6,9 | 17,1 | 71,25 |
| 24-Nov-14 | 5,2 | 1254 | 24 | 5,2 | 18,8 | 78,33 |
| Total TTR | 56,4 | | | | | |
| Loading Time | | | 216 | | | |
| Total Downtime | | | | 56,4 | | |
| Total Operational Time | | | | | 159,6 | |
| Total Availability Rate | | | | | | 73,89 |

Tabel 4.24 merupakan data keseluruhan *availability rate* saat terjadi kerusakan pada komponen *ejector inlet valve* selama periode Januari 2013 hingga Desember 2014. Setelah dilakukan perhitungan, total *availability rate* saat terjadi kerusakan pada komponen *ejector inlet valve* selama periode Januari 2013 hingga Desember 2014 adalah sebesar 73,89 %.

Tabel 4.25 Data Hasil Perhitungan *Availability Rate Tramp Iron Valve* Sebelum Penerapan Waktu Interval Perawatan Optimal

| Tanggal | TTR (jam) | TTF (jam) | Loading Time (jam) | Downtime (jam) | Operation Time (jam) | Availability Rate (%) |
|--------------------------------|-----------|-----------|--------------------|----------------|----------------------|-----------------------|
| 12-Feb-13 | 7,6 | | 24 | 7,6 | 16,4 | 68,33 |
| 6-Mar-13 | 8,6 | 521 | 24 | 8,6 | 15,4 | 64,17 |
| 17-Mar-13 | 7,8 | 371 | 24 | 7,8 | 16,2 | 67,50 |
| 19-Jul-13 | 8,3 | 2975 | 24 | 8,3 | 15,7 | 65,42 |
| 22-Aug-13 | 8,5 | 834 | 24 | 8,5 | 15,5 | 64,58 |
| 7-Sep-13 | 7,9 | 421 | 24 | 7,9 | 16,1 | 67,08 |
| 21-Jan-14 | 6,8 | 3327 | 24 | 6,8 | 17,2 | 71,67 |
| 12-Mar-14 | 7,8 | 1230 | 24 | 7,8 | 16,2 | 67,50 |
| 9-Jul-14 | 8,4 | 2661 | 24 | 8,4 | 15,6 | 65,00 |
| 17-Jul-14 | 6,9 | 188 | 24 | 6,9 | 17,1 | 71,25 |
| 25-Sep-14 | 7,7 | 1688 | 24 | 7,7 | 16,3 | 67,92 |
| 8-Dec-14 | 7,9 | 1774 | 24 | 7,9 | 16,1 | 67,08 |
| Total TTR | 94,2 | | | | | |
| Loading Time | | | 288 | | | |
| Total Downtime | | | | 94,2 | | |
| Total Operational Time | | | | | 193,8 | |
| Total Availability Rate | | | | | | 67,29 |

Tabel 4.25 merupakan data keseluruhan *availability rate* saat terjadi kerusakan pada komponen *tramp iron valve* selama periode Januari 2013 hingga Desember 2014. Setelah dilakukan perhitungan, total *availability rate* saat terjadi kerusakan pada komponen *tramp iron valve* selama periode Januari 2013 hingga Desember 2014 adalah sebesar 67,29 %.

Tabel 4.26 Data Hasil Perhitungan *Availability Rate Body Hopper Filter* Sebelum Penerapan Waktu Interval Perawatan Optimal

| Tanggal | TTR (jam) | TTF (jam) | Loading Time (jam) | Downtime (jam) | Operation Time (jam) | Availability Rate (%) |
|--------------------------------|-----------|-----------|--------------------|----------------|----------------------|-----------------------|
| 19-Mar-13 | 7,7 | | 24 | 7,7 | 16,3 | 67,92 |
| 6-Jul-13 | 8,1 | 2421 | 24 | 8,1 | 15,9 | 66,25 |
| 24-Aug-13 | 7,9 | 1169 | 24 | 7,9 | 16,1 | 67,08 |
| 16-Feb-14 | 6,8 | 4229 | 24 | 6,8 | 17,2 | 71,67 |
| 19-Sep-14 | 7,6 | 5157 | 24 | 7,6 | 16,4 | 68,33 |
| Total TTR | 38,1 | | | | | |
| Loading Time | | | 120 | | | |
| Total Downtime | | | | 38,1 | | |
| Total Operational Time | | | | | 81,9 | |
| Total Availability Rate | | | | | | 68,25 |

Tabel 4.26 merupakan data keseluruhan *availability rate* saat terjadi kerusakan pada komponen *body hopper filter* selama periode Januari 2013 hingga Desember 2014. Setelah dilakukan perhitungan, total *availability rate* saat terjadi kerusakan pada komponen *body hopper filter* selama periode Januari 2013 hingga Desember 2014 adalah sebesar 68,25 %.

Tabel 4.27 Data Hasil Perhitungan *Availability Rate Ejector Inlet Valve* Setelah Penerapan Waktu Interval Perawatan Optimal

| Tanggal | TTR (jam) | TM (jam) | Loading Time (jam) | Downtime (jam) | Operation Time (jam) | Availability Rate (%) |
|-------------------------|--------------|-------------|--------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------|
| 15-Feb-13 | 2,5 | 1491,1727 | 24 | 2,5 | 21,5 | 89,58 |
| 5-Apr-13 | 2,5 | 1491,1727 | 24 | 2,5 | 21,5 | 89,58 |
| 25-May-13 | 2,5 | 1491,1727 | 24 | 2,5 | 21,5 | 89,58 |
| 13-Jul-13 | 2,5 | 1491,1727 | 24 | 2,5 | 21,5 | 89,58 |
| 31-Aug-13 | 2,5 | 1491,1727 | 24 | 2,5 | 21,5 | 89,58 |
| 20-Oct-13 | 2,5 | 1491,1727 | 24 | 2,5 | 21,5 | 89,58 |
| 8-Dec-13 | 2,5 | 1491,1727 | 24 | 2,5 | 21,5 | 89,58 |
| 28-Jan-14 | 2,5 | 1491,1727 | 24 | 2,5 | 21,5 | 89,58 |
| 18-Mar-14 | 2,5 | 1491,1727 | 24 | 2,5 | 21,5 | 89,58 |
| 6-May-14 | 2,5 | 1491,1727 | 24 | 2,5 | 21,5 | 89,58 |
| 25-Jun-14 | 2,5 | 1491,1727 | 24 | 2,5 | 21,5 | 89,58 |
| 4-Aug-14 | 2,5 | 1491,1727 | 24 | 2,5 | 21,5 | 89,58 |
| 24-Sep-14 | 2,5 | 1491,1727 | 24 | 2,5 | 21,5 | 89,58 |
| 12-Nov-14 | 2,5 | 1491,1727 | 24 | 2,5 | 21,5 | 89,58 |
| Total TTR | 35 | | | | | |
| Loading Time | | | 336 | | | |
| Total Downtime | | | | 35 | | |
| Total Operational Time | | | | | 301 | |
| Total Availability Rate | | | | | | 89,58 |

Tabel 4.27 merupakan data keseluruhan *availability rate* setelah dilakukan perencanaan waktu interval perawatan optimal. Setelah dilakukan perhitungan, total *availability rate* setelah dilakukan perencanaan waktu interval perawatan optimal adalah sebesar 89,58%. Terjadi peningkatan *availability rate* sebesar 15,69% jika dibandingkan dengan *availability rate* sebelum penerapan waktu interval perawatan optimal.

Tabel 4.28 Data Hasil Perhitungan *Availability Rate Tramp Iron Valve* Setelah Penerapan Waktu Interval Perawatan Optimal

| Tanggal | TTR (jam) | TM (jam) | Loading Time (jam) | Downtime (jam) | Operation Time (jam) | Availability Rate (%) |
|-----------|--------------|-------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------|
| 12-Feb-13 | 3 | 1234,2363 | 24 | 3 | 21 | 87,50 |
| 26-Mar-13 | 3 | 1234,2363 | 24 | 3 | 21 | 87,50 |
| 6-May-13 | 3 | 1234,2363 | 24 | 3 | 21 | 87,50 |
| 16-Jun-13 | 3 | 1234,2363 | 24 | 3 | 21 | 87,50 |

Tabel 4.28 Data Hasil Perhitungan *Availability Rate Tramp Iron Valve* Setelah Penerapan Waktu Interval Perawatan Optimal

| Tanggal | TTR (jam) | TM (jam) | Loading Time (jam) | Downtime (jam) | Operatio n Time (jam) | Availability Rate (%) |
|--------------------------------|--------------|-------------|--------------------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------|
| 27-Jul-13 | 3 | 1234,2363 | 24 | 3 | 21 | 87,50 |
| 7-Sep-13 | 3 | 1234,2363 | 24 | 3 | 21 | 87,50 |
| 9-Oct-13 | 3 | 1234,2363 | 24 | 3 | 21 | 87,50 |
| 29-Nov-13 | 3 | 1234,2363 | 24 | 3 | 21 | 87,50 |
| 9-Jan-14 | 3 | 1234,2363 | 24 | 3 | 21 | 87,50 |
| 19-Feb-14 | 3 | 1234,2363 | 24 | 3 | 21 | 87,50 |
| 1-Apr-14 | 3 | 1234,2363 | 24 | 3 | 21 | 87,50 |
| 12-May-14 | 3 | 1234,2363 | 24 | 3 | 21 | 87,50 |
| 22-Jun-14 | 3 | 1234,2363 | 24 | 3 | 21 | 87,50 |
| 2-Aug-14 | 3 | 1234,2363 | 24 | 3 | 21 | 87,50 |
| 12-Sep-14 | 3 | 1234,2363 | 24 | 3 | 21 | 87,50 |
| 23-Oct-14 | 3 | 1234,2363 | 24 | 3 | 21 | 87,50 |
| 3-Dec-14 | 3 | 1234,2363 | 24 | 3 | 21 | 87,50 |
| Total TTR | 51 | | | | | |
| Loading Time | | | 408 | | | |
| Total Downtime | | | | 51 | | |
| Total Operational Time | | | | | 357 | |
| Total Availability Rate | | | | | | 87,50 |

Tabel 4.28 merupakan data keseluruhan *availability rate* setelah dilakukan perencanaan waktu interval perawatan optimal. Setelah dilakukan perhitungan, total *availability rate* setelah dilakukan perencanaan waktu interval perawatan optimal adalah sebesar 87,50%. Terjadi peningkatan *availability rate* sebesar 20,21% jika dibandingkan dengan *availability rate* sebelum penerapan waktu interval perawatan optimal.

Tabel 4.29 Data Hasil Perhitungan *Availability Rate Body Hopper Filter* Setelah Penerapan Waktu Interval Perawatan Optimal

| Tanggal | TTR (jam) | TM (jam) | Loading Time (jam) | Downtime (jam) | Operation Time (jam) | Availabilit y Rate (%) |
|--------------------------------|--------------|-------------|--------------------------|-------------------|----------------------------|------------------------------|
| 19-Mar-13 | 1,8 | 2379,1884 | 24 | 1,8 | 22,2 | 92,50 |
| 7-Jun-13 | 1,8 | 2379,1884 | 24 | 1,8 | 22,2 | 92,50 |
| 25-Aug-13 | 1,8 | 2379,1884 | 24 | 1,8 | 22,2 | 92,50 |
| 12-Nov-13 | 1,8 | 2379,1884 | 24 | 1,8 | 22,2 | 92,50 |
| 30-Jan-14 | 1,8 | 2379,1884 | 24 | 1,8 | 22,2 | 92,50 |
| 21-Apr-14 | 1,8 | 2379,1884 | 24 | 1,8 | 22,2 | 92,50 |
| 13-Jul-14 | 1,8 | 2379,1884 | 24 | 1,8 | 22,2 | 92,50 |
| 1-Oct-14 | 1,8 | 2379,1884 | 24 | 1,8 | 22,2 | 92,50 |
| Total TTR | 14,4 | | | | | |
| Loading Time | | | 192 | | | |
| Total Downtime | | | | 14,4 | | |
| Total Operational Time | | | | | 177,6 | |
| Total Availability Rate | | | | | | 92,50 |

Tabel 4.29 merupakan data keseluruhan *availability rate* setelah dilakukan perencanaan waktu interval perawatan optimal. Setelah dilakukan perhitungan, total

availability rate setelah dilakukan perencanaan waktu interval perawatan optimal adalah sebesar 92,50%. Terjadi peningkatan *availability rate* sebesar 24,25% jika dibandingkan dengan *availability rate* sebelum penerapan waktu interval perawatan optimal.

4.3.5.3 Opportunity Cost

Opportunity cost didefinisikan sebagai suatu kesempatan mendapatkan keuntungan yang hilang karena mengambil suatu keputusan. Pengambilan keputusan didasarkan pada manfaat yang didapat daripada biaya yang meningkat. Berikut ini adalah tabel 4.30 dan 3.34 yang menunjukkan rekap perhitungan *opportunity cost* pada komponen dengan *downtime* tertinggi pada *pyrite hopper*.

Tabel 4.30 Perbandingan Hasil Perhitungan *Availability Rate* Sebelum dan Sesudah Diterapkan Interval Waktu Perawatan Optimal

| | <i>Ejector Inlet Valve</i> | | <i>Tramp Iron Valve</i> | | <i>Body Hopper Filter</i> | |
|------------------------|----------------------------|-------|-------------------------|-------|---------------------------|-------|
| | MTTF | TM | MTTF | TM | MTTF | TM |
| Loading Time (jam) | 216 | 336 | 288 | 408 | 120 | 192 |
| Downtime (jam) | 56,4 | 35 | 94,2 | 51 | 38,1 | 14,4 |
| Operational Time (jam) | 159,6 | 301 | 193,8 | 357 | 81,9 | 177,6 |
| Availability rate (%) | 73,89 | 89,58 | 67,29 | 87,50 | 68,25 | 92,50 |
| Peningkatan AR (%) | 15,69 | | 20,21 | | 24,25 | |

Tabel 4.30 menunjukkan perbandingan antara sebelum dan sesudah diterapkan interval waktu perawatan optimal pada komponen dengan *downtime* tertinggi pada *pyrite hopper*. Dari tabel di atas dapat kita lihat bahwa setelah melakukan penerapan interval waktu perawatan optimal terjadi peningkatan *availability rate*. Pada komponen *ejector inlet valve* terjadi peningkatan *availability rate* sebesar 15,69%, *tramp iron valve* sebesar 20,21%, dan *body hopper filter* sebesar 24,25%.

Tabel 4.31 *Opportunity Cost* hasil perhitungan *availability rate* MTTF dan TM

| | <i>Ejector Inlet Valve</i> | | <i>Tramp Iron Valve</i> | | <i>Body Hopper Filter</i> | |
|-----------------------|----------------------------|---------------|-------------------------|---------------|---------------------------|-------------|
| | MTTF | TM | MTTF | TM | MTTF | TM |
| Availability rate (%) | 73.89 | 89.58 | 67.29 | 87,50 | 68.25 | 92,50 |
| TC (Rp) | 1.353.979.456 | 1.514.572.931 | 2.284.721.484 | 2.367.462.790 | 799.290.323 | 765.011.794 |
| Peningkatan AR (%) | 0 | 15,69% | 0 | 20,21% | 0 | 24,25% |

Berdasarkan tabel di atas biaya yang muncul setelah dilakukan interval waktu perawatan optimal lebih tinggi jika dibandingkan dengan biaya aktual yang ada pada perusahaan. Tetapi pelaksanaan interval waktu perawatan optimal tetap dilaksanakan dan dijadikan prioritas. Karena pemilihan inilah muncul *opportunity cost*, karena harus

mengorbankan biaya yang lebih murah untuk menghasilkan *availability* yang lebih tinggi, sehingga jumlah produksi juga bisa semakin meningkat.

4.3.6 RCM II *Decision Worksheet*

Setelah mengetahui kegagalan fungsi yang terjadi pada komponen dengan *downtime* tertinggi pada *pyrite hopper* pada tabel FMEA (Tabel 4.16), kemudian masuk ke dalam tahapan RCM II *Decision Worksheet*. RCM II *Decision Worksheet* ini digunakan untuk mencari jenis kegiatan perawatan (*maintenance task*) yang tepat dan memiliki kemungkinan untuk dapat mengatasi setiap *failure mode*. RCM II *Decision Worksheet* terdiri dari 6 bagian utama, yaitu:

1. *Information Reference*

Information reference merupakan informasi yang diperoleh dari FMEA/RCM II *decision worksheet*, yaitu dengan memasukan informasi mengenai *function*, *failure function*, *failure mode* dari peralatan/komponen.

2. *Failure Consequences*

Pemetaan atau penentuan *failure consequences* dilakukan menggunakan RCM II *Decision Diagram*. Lembar RCM II *Decision Diagram* dapat dilihat pada lampiran 6. Pemetaan dimulai dengan menjawab pertanyaan pada pojok kiri atas RCM II *Decision Diagram*. Misalnya untuk *information reference* 1-A-1, “apakah operator mengetahui jenis kegagalan dalam kondisi normal?”, jawabannya adalah “ya”, maka pada kolom H dalam RCM *Decision Worksheet* ditulis Y dan dilanjutkan ke pertanyaan berikutnya sesuai atahan dari RCM *decision diagram*, sehingga nanti akan didapatkan jenis tindakan perawatan yang sesuai dengan penyebab terjadinya kegagalan/kerusakan.

3. *Proactive Task and Default Action*

Penjelasan tentang komponen-komponen *proactive task and default action* yang terdapat pada RCM II *Decision Diagram* ditunjukkan oleh Tabel 4.33. Apabila aktivitas *proactive task and default action* tidak dapat mengatasi atau mengantisipasi kegagalan yang terjadi maka aktivitas perawatan digolongkan ke dalam *no scheduled maintenance* dimana tidakkan *redesign* terhadap peralatan perlu dipertimbangkan untuk mencegah terjadinya kegagalan.

4. *Propose Task*

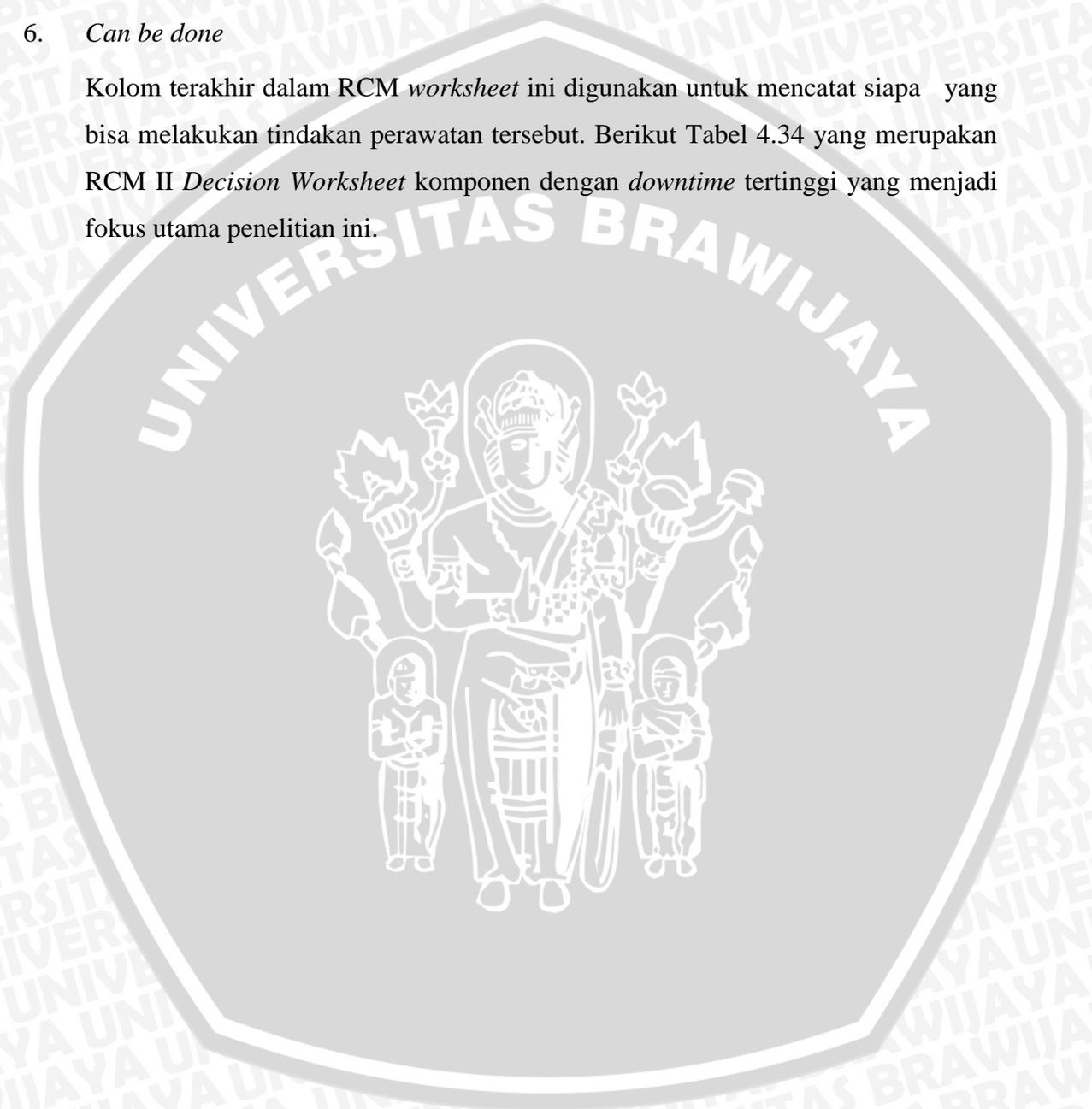
Apabila *proactive task* telah dipilih, maka diskripsi dari tindakan pencegahan yang akan diambil dimasukkan dalam kolom *proposed task*.

5. *Initial Interval*

Interval perawatan yang dipilih merupakan interval optimum. Apakah interval perawatan tersebut harian, mingguan, atau bulanan.

6. *Can be done*

Kolom terakhir dalam RCM *worksheet* ini digunakan untuk mencatat siapa yang bisa melakukan tindakan perawatan tersebut. Berikut Tabel 4.34 yang merupakan RCM II *Decision Worksheet* komponen dengan *downtime* tertinggi yang menjadi fokus utama penelitian ini.



Tabel 4.34 RCM II Decision Worksheet

| RCM II DECISION WORKSHEET | | | SYSTEM | | | | | | | System: Pulverizer | | | Facilitator: | | | Date | Sheet N* |
|---------------------------|----|----|------------------------|---|---|---|----|----|----|---------------------------|----|----|---|-----------|----------|------------------|----------------|
| | | | SUB-SYSTEM | | | | | | | Sub-system: Pyrite Hopper | | | Auditor: | | | Date | Of |
| Information reference | | | Consequence evaluation | | | | H1 | H2 | H3 | Default action | | | Proposed task | | | Initial interval | Can be done by |
| | | | | | | | S1 | S2 | S3 | | | | | | | | |
| F | FF | FM | H | S | E | O | N1 | N2 | N3 | H4 | H5 | S4 | | | | | |
| 1 | A | 1 | Y | N | N | Y | N | N | Y | - | - | - | Scheduled discard task. Tindakan yang dilakukan adalah melakukan penggantian ejector inlet valve. | 1491,1727 | Mechanic | | |
| 2 | A | 1 | Y | N | N | Y | N | N | Y | - | - | - | Scheduled discard task. Tindakan yang dilakukan adalah melakukan penggantian tramp iron valve. | 1234,2363 | Mechanic | | |
| 3 | A | 1 | N | N | N | Y | N | N | Y | - | - | - | Scheduled discard task. Tindakan yang dilakukan adalah melakukan penggantian body hopper filter | 2379,1884 | Mechanic | | |

Sumber: Hasil pemetaan dengan menggunakan RCM II Decision Diagram untuk pyrite hopper

Pada baris pertama kolom F tertulis 1, ini berarti fungsi dari *ejector inlet valve* adalah memisah area *millside* dengan *pyrite hopper*. Selanjutnya pada baris pertama kolom FF tertulis A, ini berarti *function failure* yang dialami oleh *function* 1 yaitu gagal memisahkan area *millside* dengan *pyrite hopper*. Apabila *function* 1 mengalami kegagalan fungsi (*function failure*) lainnya maka akan ditulis B pada baris kedua kolom FF, dengan terlebih dahulu memberikan uraian jenis kegagalan tersebut pada kolom *function failure*. Pada baris pertama kolom FM tertulis angka 1 yang berarti *function* 1 dengan *function failure* A disebabkan oleh *failure mode* 1 yaitu *packing* yang terdapat pada *tramp iron valve* rusak atau aus. Apabila *function* 1 dengan *function failure* 1 disebabkan oleh *function mode* lainnya, maka kolom FM pada baris kedua akan diberi angka 2 dengan terlebih dahulu memberikan uraian tentang *failure mode* tersebut pada kolom *failure mode*, yang artinya F1 dengan FF1 disebabkan oleh FM2. Tetapi dalam penelitian ini setiap fungsi (*function*) memiliki masing-masing 1 *function failure* dan 1 *function mode*.

4.4 Analisis dan Pembahasan

4.4.1 Analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Failure mode and effect analysis (FMEA) menunjukkan potensi kegagalan proses serta efek yang ditimbulkan dari komponen-komponen dengan *downtime* tertinggi pada *pyrite hopper*. Dengan mengetahui hal tersebut, maka dapat diidentifikasi tindakan yang dapat menghilangkan atau mengurangi potensi kegagalan tersebut.

Dari tabel *failure mode and effect analysis* pada Tabel 4.16, *failure mode* yang menyebabkan terjadinya kegagalan fungsi pada komponen dengan *downtime* tertinggi yang menjadi bahan penelitian ini adalah kegagalan yang disebabkan oleh usia pakai dari komponen (*lifetime condition*). Kegagalan ini disebabkan oleh *failure rate* (kecepatan kerusakan) yang naik. Hal ini dapat dilihat dari nilai parameter bentuk yang memiliki nilai lebih dari 1 ($\beta > 1$) pada komponen-komponen dengan *downtime* tertinggi pada *pyrite hopper*. Laju kerusakan akan semakin meningkat sesuai dengan penambahan usia dari komponen tersebut.

4.4.2 Analisis Penentuan Distribusi Data TTF dan TTR Komponen Dengan *Downtime* Tertinggi *Pyrite Hopper*

Setelah diketahui komponen dengan *downtime* tertinggi pada *pyrite hopper* langkah selanjutnya adalah mengidentifikasi pola distribusi dari data *time to failure* (TTF) dan

data *time to repair* (TTR) komponen dengan downtime tertinggi. Tujuan mengidentifikasi pola distribusi data *time to failure* (TTF) dan data *time to repair* (TTR) adalah agar dapat menentukan parameter yang sesuai dengan jenis distribusi data yang muncul. Langkah awal yang dilakukan dalam menentukan pola suatu distribusi ini adalah dengan menduga pola suatu distribusi data menduga jenis distribusi data TTF dan TTR, maka langkah yang selanjutnya dilakukan adalah dengan melakukan pengujian distribusi data dengan menggunakan bantuan *software* Minitab 17. Rekapitulasi hasil uji data dari *software* Minitab 17 dapat dilihat pada Tabel 4.17 untuk data TTF komponen dengan downtime tertinggi dan Tabel 4.19 untuk data TTR komponen dengan downtime tertinggi.

Data TTF dan TTR masing-masing komponen dengan downtime tertinggi diduga berdistribusi weibull. Pendugaan jenis distribusi data TTF dan TTR komponen dengan *downtime* tertinggi pada *pyrite hopper* ini berdasarkan karakteristik weibull yang merupakan distribusi yang biasanya digunakan untuk menggambarkan waktu hidup atau umur dari suatu komponen mesin yang berkaitan dengan laju kerusakan. Setelah pendugaan jenis distribusi pada data TTF dan TTR *pyrite hopper*, maka langkah yang dilakukan adalah pengujian distribusi data dengan menggunakan bantuan *software* Minitab 17 untuk memastikan apakah hasil pendugaan tersebut sesuai atau tidak.

4.4.3 Analisis Perhitungan Mean Time to Failure (MTTF) untuk Time to Failure (TTF) Komponen Dengan Downtime Tertinggi pada Pyrite Hopper

Nilai parameter data *time to failure* (TTF) yang muncul pada masing-masing komponen dengan downtime tertinggi digunakan untuk melakukan perhitungan MTTF berdasarkan jenis distribusi yang terpilih. MTTF menunjukkan rata-rata interval waktu pada saat komponen selesai diperbaiki sampai pada saat komponen tersebut mengalami kerusakan berikutnya. Hasil rekapitulasi perhitungan nilai MTTF dapat dilihat pada Tabel 4.18. Dalam penelitian ini, *ejector inlet valve* memiliki nilai MTTF sebesar 2133,613 jam, *tramp iron valve* memiliki nilai MTTF sebesar 1495,359, *body hopper filter* memiliki nilai MTTF sebesar 3477,792.

4.4.4 Analisis Perhitungan Mean Time to Repair (MTTR) untuk Time to Repair (TTR) Komponen Dengan Downtime Tertinggi pada Pyrite Hopper

Nilai parameter data *time to repair* (TTR) yang muncul pada masing-masing komponen dengan downtime tertinggi digunakan untuk melakukan perhitungan MTTR berdasarkan jenis distribusi yang terpilih. MTTR menunjukkan rata-rata waktu waktu

yang dibutuhkan dalam melakukan perbaikan terhadap komponen yang rusak. Hasil rekapitulasi perhitungan nilai MTTR dapat dilihat pada Tabel 4.20. Dalam penelitian ini, *ejector inlet valve* memiliki nilai MTTR sebesar 6,2469 jam, *tramp iron valve* memiliki nilai MTTR sebesar 7,8322 jam, *body hopper filter* memiliki nilai MTTR sebesar 7,5893 jam. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa nilai MTTR tiap-tiap komponen berbeda-beda hal ini disebabkan karena perbedaan komponen itu sendiri serta perbedaan waktu pergantian tiap komponen. *Ejector inlet valve* memiliki nilai MTTR terkecil, hal ini dikarenakan waktu yang digunakan untuk memperbaiki *ejector inlet valve* memiliki langkah-langkah perawatan yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan komponen lainnya.

4.4.5 Analisis Perhitungan Total Biaya Perawatan dan Interval Perawatan Efektif

Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan interval perawatan efektif (TM) pada *ejector inlet valve* ternyata menaikkan total biaya perawatan (TC). Total biaya perawatan sesuai dengan interval perawatan yang sekarang (TC_{MTTF}) adalah sebesar Rp 3.890.160,00. Setelah disesuaikan dengan interval perawatan sesuai dengan usulan (TM), biaya meningkat menjadi Rp 4.827.250,00. Ini berarti terjadi penurunan total biaya perawatan sebesar Rp 937.090,00. Selain itu apabila dilihat dari sisi *reliability* usulan interval perawatan (TM) dapat meningkatkan *reliability ejector inlet valve*. Nilai *reliability ejector inlet valve* sesuai dengan interval perawatan yang sekarang (TC_{MTTF}) adalah sebesar 0,3713. Setelah disesuaikan dengan interval perawatan sesuai dengan usulan (TM) *reliability* meningkat menjadi 0,5032. Berarti terjadi peningkatan *reliability* sebesar 0,1318 atau apabila dipersentasikan adalah meningkat sebesar 26,20%.

Dari perhitungan tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa interval waktu perawatan yang diusulkan (TM) dapat meningkatkan *total cost maintenance* (TC). Walaupun terjadi peningkatan TC apabila dilihat dari sisi *reliability* (R) *ejector inlet valve* terjadi peningkatan yang cukup signifikan. Sehingga interval perawatan hasil perancangan dapat diajukan sebagai interval waktu perawatan efektif. *Reliability* (R) menjadi fokus yang lebih utama dibandingkan total biaya perawatan (TM). Hal ini dikarenakan, apabila *reliability* meningkat maka perusahaan dapat menjaga kestabilan produksi listrik dan mendapatkan daya yang lebih tinggi. Sehingga profit yang nantinya akan didapatkan oleh perusahaan juga akan semakin meningkat.

Penggunaan interval perawatan sesuai dengan usulan penelitian (TM) juga dapat diterapkan pada *tramp iron valve* dan *body hopper filter*. Karena pada kedua komponen ini juga terjadi peningkatan total biaya perawatan (TC). Walaupun total biaya perawatan (TC) meningkat tetapi apabila dilihat dari sisi *reliability* komponen juga meningkat. Sehingga interval perawatan hasil perancangan dapat diajukan sebagai interval waktu perawatan efektif. Hasil perbandingan antara total biaya perawatan (TC) dan *reliability* (R) actual perusahaan dengan interval perawatan efektif hasil rancangan dapat dilihat pada tabel 4.27.

4.4.6 Analisis *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II

Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II merupakan suatu proses yang dilaksanakan untuk menentukan apa saja yang harus dilakukan agar dapat mencegah terjadinya kegagalan dan untuk memastikan bahwa alat atau mesin dapat mencegah terjadinya kegagalan. Selain itu juga untuk memastikan bahwa alat atau mesin dapat bekerja optimal sesuai dengan fungsinya. Melalui metode RCM II ini akan diperoleh informasi yang penting untuk mengembangkan system *maintenance* sehingga dapat mengurangi kegagalan fungsi komponen mesin secara tiba-tiba dan juga bisa menjadi program pemeliharaan yang efisien dibandingkan dengan metode lain.

Berdasarkan RCM II *decision worksheet* (Tabel 4.34), efek dari kegagalan yang terjadi mengakibatkan konsekuensi *operational capability*, dimana terjadi kerugian akibat *lost production*. Sehingga tindakan perawatan yang perlu dilaksanakan adalah *scheduled discard task*, yaitu kegiatan penggantian komponen sehingga tindakan dapat diambil untuk mencegah terjadinya *functional failure*. Dimana potensial *failure* didefinisikan dengan sebuah kondisi yang dapat mengidentifikasi sedang terjadi kegagalan fungsi (*functional failure*).

Tabel 4.35 Kegiatan Perawatan yang Disarankan dan Interval Perawatan yang Optimal

| Sub Assembly | Nama Komponen | Kegiatan Perawatan | Interval Perawatan | Can Be Done By |
|---------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------|-----------------|
| Pyrite Hopper | <i>Ejector inlet valve</i> | <i>Scheduled discard task</i> | 1491,1727 | <i>Mechanic</i> |
| | <i>Tramp iron valve</i> | <i>Scheduled discard task</i> | 1234,2363 | <i>Mechanic</i> |
| | <i>Body hopper filter</i> | <i>Scheduled discard task</i> | 2379,1884 | <i>Mechanic</i> |

Berdasarkan Tabel 4.35 dapat dilihat bahwa tindakan perawatan yang perlu dilakukan pada ke tiga komponen dengan downtime tertinggi pada *pyrite hopper* adalah *scheduled discard task*. Untuk *ejector inlet valve* dan *body hopper filter* pengecekan dapat dilakukan dengan teknik inspeksi secara langsung yang dilakukan oleh mekanis.

Penggantian komponen ini dilakukan sesuai dengan interval perawatan efektif (TM) yang diusulkan dalam penelitian ini. Untuk *ejector inlet valve* penggantian dilakukan setiap 1491,1727 jam dan *body hopper filter* pengecekan dilakukan setiap 2379,1884. Sedangkan untuk *tramp iron valve* memiliki dampak kegagalan yang memiliki konsekuensi *hidden failure* (kerusakan yang tersembunyi) yang berdampak pada kegagalan *tramp iron valve* pada saat dilakukan proses isolasi *pulverizer* untuk keperluan transfer *pyrate* menuju SSCC. Kerusakan ini akan menyebabkan bocornya tekanan yang berasal dari *pulverizer* menuju *pyrate hopper*, apabila hal ini terjadi maka akan berdampak tidak dapat dilaksanakan transfer *pyrate* menuju SSCC sehingga menyebabkan *pyrate* menumpuk di dalam *hopper*. Dikarenakan *tramp iron valve* memiliki konsekuensi *hidden failure* (kerusakan yang tersembunyi) maka tindakan perawatan melibatkan penggunaan peralatan khusus untuk memonitor kondisi *tramp iron valve*. Alat yang digunakan disebut dengan *pressure inspect calibration*, alat ini akan memeriksa *tramp iron valve* ketika dilakukan proses isolasi *pulverizer*. Apabila ketika proses isolasi *pulverizer* dilaksanakan ternyata alat ini menunjukkan adanya kebocoran tekanan pada *tramp iron valve* maka akan dilakukan pembongkaran untuk melakukan pengecekan lebih lanjut untuk mengembalikan fungsi dari *tramp iron valve*. Untuk waktu penggantian *tramp iron valve* dilakukan di setiap 1234,2363 jam.

