

**PERANCANGAN KEBIJAKAN PERAWATAN DENGAN METODE
RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) II PADA MESIN
AIR TURBO COMPRESSOR (ATC) DI PT. POLYCHEM INDONESIA
TBK, MERAK**

JURNAL

TEKNIK INDUSTRI

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



SEPTIAWAN PAMBUDI PRATAMA

NIM. 125060701111002

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2017

PERANCANGAN KEBIJAKAN PERAWATAN DENGAN METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) II* PADA MESIN *AIR TURBO COMPRESSOR (ATC)* DI PT. POLYCHEM INDONESIA TBK, MERAK

DESIGN OF MAINTENANCE POLICY USING REABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) II METHOD ON AIR TURBO COMPRESSOR (ATC) MACHINE IN PT. POLYCHEM INDONESIA TBK, MERAK

Septiawan Pambudi Pratama¹⁾, Oyong Novareza²⁾, Dwi Hadi Sulistyarini³⁾

Jurusan Teknik Industri, Universitas Brawijaya
Jl. Mayjen Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: septiawanpp@gmail.com¹⁾, novareza15@ub.ac.id²⁾, dwhiadi@ub.ac.id³⁾

ABSTRAK

Mesin Air Turbo Compressor (ATC) merupakan salah satu mesin yang beroperasi pada Air Separation Unit Plant II PT. Polychem Indonesia Tbk. Permasalahan yang terjadi pada Mesin ATC adalah masih mengalami downtime sehingga mempengaruhi nilai keandalan mesin. PT. Polychem Indonesia Tbk menggunakan jenis perawatan *corrective* yakni hanya melakukan perawatan terhadap komponen yang mengalami kerusakan. Pada penelitian ini menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM) II* untuk dapat menentukan prioritas penanganan komponen, penentuan waktu interval perawatan, menurunkan biaya perawatan, meningkatkan nilai keandalan komponen serta penentuan jenis perawatan. Hasil penelitian ini adalah menunjukkan komponen kritis yang menjadi prioritas perbaikan adalah *low speed* dan *high speed pinion bearing*, *oil seal stage 1* dan *3*, *gas seal stage 1* dan *3*, serta *impeller stage 1*. Perawatan dilakukan sesuai dengan jenis dan waktu interval perawatan pada *RCM II Decision Worksheet* yang telah disesuaikan dengan pertimbangan biaya dan persediaan optimal.

Kata kunci: Air Turbo Compressor, *Reliability Centered Maintenance (RCM) II*, Interval Perawatan

1. Pendahuluan

Dalam usaha untuk menggunakan fasilitas produksi agar kontinuitas produksi dapat terjamin, maka direncanakan kegiatan perawatan yang dapat menunjang keandalan suatu mesin. Keandalan mesin dan fasilitas produksi merupakan salah satu aspek yang dapat mempengaruhi kelancaran proses produksi serta produk yang dihasilkan. Keandalan ini dapat membantu memperkirakan peluang suatu komponen mesin dapat bekerja sesuai dengan tujuan yang diinginkan. Keandalan dari suatu mesin dapat diwujudkan melalui perawatan mesin optimal. Jika perusahaan melakukan perawatan mesin pada saat sebelum terjadinya kerusakan atau disebut dengan pemeliharaan pencegahan maka biaya yang dihasilkan akan lebih kecil dari penerapan perawatan sebelumnya. Hal ini dikarenakan pemeliharaan pencegahan hanya memerlukan waktu yang sedikit jika dibanding dengan perawatan ketika kerusakan sudah terjadi.

PT. Polychem Indonesia Tbk. merupakan perusahaan manufaktur satu-satunya di Indonesia yang memproduksi *Ethylene Glycol*,

Ethylene Oxide dan *Ethoxylate*. Bahan baku yang digunakan pabrik ini adalah *Ethylene* dan Oksigen. *Ethylene* dibeli dalam fase *liquid* dan digunakan dalam fase gas dengan menggunakan vaporizer, sedangkan oksigen diperoleh dengan cara destilasi udara. Hampir 99,05% udara terdiri dari oksigen dan nitrogen. Komposisi ini hampir sama di setiap tempat di dunia.

Setelah dilakukan observasi dan wawancara kepada perusahaan didapatkan informasi bahwa sistem produksi yang digunakan adalah *continuous production* dengan *flow process*. Diketahui bahwa salah satu unit proses yang berada pada perusahaan ini, yaitu pada *Air Separation Unit* di *Plant II* sering mengalami *downtime* terutama pada mesin *Air Turbo Compressor (ATC)*. Hal ini disebabkan oleh proses produksi yang berjalan secara kontinu yang menyebabkan pemakain mesin secara terus-menerus dan mengakibatkan menurunnya kemampuan mesin atau keandalan mesin dalam kegiatan produksi. Beberapa hal yang ditimbulkan akibat mesin ATC *plant II* yang tidak berfungsi yaitu menumpuknya kapasitas produksi pada *Plant I* imbas dari

perbaikan mesin ATC di *Air Separation Unit Plant II*, Penambahan jam kerja pekerja diluar jadwal yang telah ditentukan sehingga mengakibatkan meningkatnya biaya tenaga kerja, proses produksi yang terhambat saat terjadi perbaikan mesin karena *Air Separation Unit Plant II* tidak dapat melakukan operasi sebagaimana mestinya. Data rata-rata *downtime* mesin *Air Turbo Compressor* (ATC) periode Oktober 2015 – September 2016 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. *Downtime* Mesin *Air Turbo Compressor* (ATC) Periode Oktober 2015 – September 2016

Periode	Available Time (Jam)	Downtime Air Turbo Compressor (Jam)	Persentase Downtime (%)
Oktober 2015	416	63,44	15,25%
November 2015	416	64,75	16,86%
Desember 2015	416	71,52	17,19%
Januari 2016	416	56,18	13,50%
Februari 2016	384	75,91	18,25%
Maret 2016	416	75,47	18,14%
April 2016	416	74,29	17,86%
Mei 2016	416	72,83	17,51%
Juni 2016	416	75,28	18,10%
Juli 2016	416	54,15	13,02%
Agustus 2016	416	56,64	13,62%
September 2016	416	60,54	14,55%

Frekuensi *downtime* yang tinggi seperti pada Tabel 1 tidak hanya disebabkan tingkat utilitas mesin yang tinggi. Faktor keandalan mesin yang mulai berkurang dan sistem perawatan yang kurang optimal juga dapat berpengaruh pada hal tersebut. Sedangkan sistem perawatan yang dilakukan pada mesin ATC selama ini menggunakan sistem *corrective maintenance*. Sistem perawatan saat ini juga kurang memperhatikan faktor keandalan (*reliability*) dari mesin produksi sehingga ketika terjadi kerusakan, pihak perusahaan hanya mengganti komponen yang rusak tanpa memperhatikan keandalan komponen pengganti. Faktor kebersihan mesin juga mempengaruhi kinerja mesin ATC dan ketahanan komponen kritis didalamnya. Selain itu, sistem perawatan saat ini juga berimbas pada pihak *warehouse* yang kesulitan menentukan ketersediaan suku

sadang mesin ATC. Sehingga perbaikan mesin ATC hanya bersifat sementara karena tidak tersedianya suku cadang dan perbaikan tersebut hanya bertujuan untuk mempertahankan kelancaran proses produksi. Hal ini akan mengakibatkan mesin sering berhenti dan menyebabkan terjadinya *downtime*. Masalah tersebut tentunya akan menimbulkan kerugian bagi pihak perusahaan PT. Polychem Indonesia Tbk. dalam segi waktu dan biaya yang dikarenakan terhambatnya proses produksi pada *Air Separation Unit Plant II*. Sehingga diperlukan perencanaan waktu biaya yang optimal pada aktivitas perawatan mesin ATC untuk meminimalisir kerugian tersebut.

Pada penelitian ini metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk melakukan perencanaan maintenance mesin ATC pada *Air Separation Unit Plant II* di PT. Polychem Indonesia Tbk. yang paling berpotensi mengalami *downtime* tinggi saat proses produksi berlangsung. *Reliability Centered Maintenance* (RCM) adalah pendekatan yang efektif untuk pengembangan program *Preventive Maintenance* dalam meminimalkan kegagalan peralatan dan menyediakan plan di industri dengan alat-alat yang efektif dan kapasitas optimal untuk memenuhi permintaan pelanggan. *Reliability Centered Maintenance* (RCM) merupakan landasan dasar untuk perawatan fisik dan suatu teknik yang dipakai untuk mengembangkan perawatan pencegahan (*preventive maintenance*) yang terjadwal [1].

Reliability Centered Maintenance II (RCM II) merupakan serangkaian proses untuk menentukan apa yang harus dilakukan dalam rangka memastikan bahwa aset-aset fisik dapat berjalan dengan baik dalam menjalankan fungsi yang dikehendaki oleh perusahaan dengan menambahkan *safety* dan *environmental consequences* [2]. Keuntungan metode RCM adalah meminimasi peluang kegagalan mesin secara mendadak, memfokuskan kegiatan perawatan pada komponen-komponen kritis, dan meningkatkan keandalan komponen. Selain itu dampak penerapan RCM yaitu terjadi peningkatan keandalan dan penurunan total biaya perawatan untuk semua komponen-komponen kritis. Dalam hal ini interval perawatan untuk seluruh komponen kritis dapat dijadikan kebijakan perawatan yang optimal.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengetahui komponen kritis mesin yang berpengaruh pada kegagalan sistem mesin ATC, menentukan interval

perawatan yang efektif dan persediaan suku cadang optimal untuk mesin ATC, serta mengetahui perencanaan biaya perawatan berdasarkan interval perawatan yang sesuai pada mesin ATC.

2. Metode Penelitian

Jenis penelitian adalah kuantitatif deskriptif dengan pengambilan data yang secara langsung dan juga memakai data historis sebagai penunjang. Penelitian kuantitatif deskriptif bertujuan untuk mengumpulkan data agar dapat mewakili daerah yang luas dengan harapan pengolahan data dapat memberikan pemecahan masalah yang muncul [3].

2.1 Langkah-Langkah Penelitian

Berikut ini merupakan alur kegiatan dalam penelitian ini. Langkah-langkah tersebut yaitu:

2.1.1 Tahap Pendahuluan

1. Studi Lapangan
Langkah awal yang dilakukan adalah melakukan pengamatan pada keadaan perusahaan PT. Polychem Indonesia Tbk. Plant Merak, terutama pada bagian produksi. Pengamatan ini dilakukan untuk mendapatkan gambaran dari kondisi sebenarnya dari obyek yang akan diteliti.. Dari hasil studi lapangan ini peneliti dapat mengetahui permasalahan yang terjadi pada perusahaan tersebut.
2. Studi Pustaka
Studi Pustaka berasal dari buku, jurnal, serta studi terhadap penelitian terdahulu dengan topik yang berkaitan dengan metode yang digunakan serta teori yang mendukung lingkup maintenance yang dalam penelitian ini meliputi *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II, *Mean Time To Failure* (MTTF), *Mean Time to Repair* (MTTR), *Availability Rate* dan penentuan penentuan persediaan.
3. Identifikasi Masalah
Identifikasi masalah merupakan tahap dimana setelah mendapatkan input dari studi lapangan. Tahap ini merupakan tahapan awal dalam usaha memahami suatu permasalahan yang terjadi sehingga dapat menemukan solusi yang terbaik bagi permasalahan tersebut.
4. Perumusan Masalah
Perumusan masalah dilakukan setelah

memahami permasalahan yang terjadi kemudian merumuskannya sesuai dengan kenyataan yang terjadi pada lapangan.

5. Penentuan Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ditentukan berdasarkan perumusan masalah yang telah dilakukan sebelumnya sebelumnya. Tujuan penelitian perlu ditetapkan agar penulisan skripsi dapat dilakukan dengan sistematis dan tidak menyimpang dari permasalahan yang dibahas. Tujuan penelitian yang telah ditetapkan sebelumnya dapat digunakan sebagai parameter keberhasilan penelitian ini.

2.1.2 Tahap Pengumpulan dan Pengolahan

Pada tahap pengumpulan dan pengolahan data, langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data

Data ini nantinya akan menjadi input pada pengolahan data. Dalam penelitian ini menggunakan dua jenis data, yaitu data sekunder dan data primer.

a. Data Sekunder

- 1) Proses Produksi di PT. Polychem Indonesia Tbk. Plant Merak.
- 2) Data fungsi mesin di PT. Polychem Indonesia Tbk. Plant Merak.
- 3) Data waktu antar kerusakan mesin di PT. Polychem Indonesia Tbk. Plant Merak.
- 4) Data frekuensi kerusakan dan *downtime* mesin di PT. Polychem Indonesia Tbk. Plant Merak.
- 5) Data biaya kerusakan mesin di PT. Polychem Indonesia Tbk. Plant Merak.
- 6) Data biaya simpan, waktu tunggu, dan biaya pemesanan suku cadang komponen mesin ATC.

b. Data Primer

- 1) Data Kegagalan
- 2) Data Penyebab Kegagalan
- 3) Data Efek Kegagalan

2. Pengolahan Data

Langkah-langkah untuk pengolahan data dilakukan beberapa tahap yakni :

a. Penentuan *Functional Block Diagram* (FBD)

Dengan menggunakan data

komponen mesin kritis beserta fungsi komponen tersebut. *Functional Block Diagram* (FBD) digunakan untuk mendeskripsikan sistem kerja dari mesin kritis tersebut.

b. *Penentuan System Function dan Function Failure*

System Function adalah fungsi utama dari mesin yang diharapkan oleh *user*. *System Function* ini tidak menjelaskan fungsi tiap komponen melainkan fungsi dari komponen mesin kritis yang diamati.

c. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Selanjutnya data olahan *System Function and Function Failure* serta data penyebab dan efek kegagalan digunakan untuk menentukan *Failure Mode and Effect Analysis*. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) digunakan untuk menganalisis terjadinya suatu kegagalan.

d. *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II *Decision Worksheet*

Selanjutnya menganalisis dengan memasukkan semua *failure mode* ke dalam RCM II *decision worksheet* untuk mengetahui konsekuensi dari kegagalan yang terjadi dan jenis perawatan yang sesuai dengan penyebab kegagalan (*proactive task and default action*) yang dituangkan dalam RCM II *decision worksheet*. RCM II *decision worksheet* memiliki komponen sebagai berikut, yaitu:

1) *Failure Consequence*

Failure Consequence bertujuan untuk menganalisa dampak yang ditimbulkan oleh *function failure* yang terjadi pada komponen kritis.

2) *Proactive Task and Default Action*

Proactive Task merupakan langkah yang diambil untuk mencegah terjadinya *failure mode*. Sedangkan *default action* adalah tindakan yang dapat dilaksanakan apabila *proactive task* tidak dapat mencegah terjadinya *failure mode*.

3) *Proposed Task*

Proposed Task memberikan penjelasan mengenai tindakan pencegahan yang diambil untuk mencegah terjadinya *failure mode*. Tindakan ini usulan nyata dari *proactive task and default action*.

4) *Initial Interval*

Initial Interval adalah jarak waktu perawatan efektif terhadap *proactive task and default action* yang telah ditentukan sebelumnya.

5) *Can be done*

Can be done merupakan pihak yang akan melaksanakan atau yang akan bertanggung jawab terhadap tindakan perawatan yang telah ditentukan pada RCM II *decision worksheet*.

e. *Penentuan distribusi data Time To Failure* (TTF) dan *Time To Repair* (TTR).

f. *Pengujian kesesuaian distribusi data kerusakan.*

g. *Penentuan parameter yang sesuai dengan distribusi.*

h. *Penentuan jadwal perawatan mesin yang dilakukan dengan perhitungan Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR).

i. *Perhitungan total biaya perawatan optimal.*

j. *Perhitungan keandalan komponen mesin ATC.*

k. *Perhitungan persediaan komponen mesin ATC.*

3. *Analisa dan Pembahasan*

Pada tahap ini dilakukan analisis dan pembahasan terhadap hasil-hasil yang diperoleh pada tahap pengolahan data.

2.1.3 *Tahap Kesimpulan dan Saran*

Bagian ini merupakan kesimpulan dan saran yang diperoleh dari penelitian yang kemudian dapat dilakukan perawatan atau perbaikan pada mesin ATC.

3. *Hasil dan Pembahasan*

Pada bab ini dijelaskan hasil dan pembahasan pada penelitian ini.

3.1 *Deskripsi Objek yang di Amati*

Air Turbo Compressor merupakan alat

yang digunakan untuk menaikkan tekanan dari udara yang telah melewati mesin filter hingga mendapatkan suhu yang mendekati titik kritisnya (374°C) sebelum diproses dalam *precooling system*. Kompresor ini memiliki 3 *stage* yang didukung oleh dua buah *intercooler*. Tujuan dari proses ini adalah untuk menghasilkan udara dengan temperatur yang sesuai untuk diproses pada mesin berikutnya. Berikut merupakan penjelasan dari komponen mesin *Air Turbo Compressor* :

1. *Motor*
Fungsi dari *motor* adalah menyuplai energi utama pada *sistem mesin ATC*. Motor akan berhenti secara perlahan dan berada pada keadaan stasioner bila suhu di aliran sistem ATC sangat tinggi yang mengindikasikan proses penyerapan tidak sempurna, tekanan di dalam terlalu tinggi yang mengindikasikan terjadinya kebocoran di dalam sistem yang ada, serta vibrasi yang tinggi.
2. *Kopling*
Fungsi kopling adalah untuk menghubungkan dua poros, dimana yang satu adalah poros penggerak dan yang lainnya adalah poros yang digerakkan. Kopling juga berperan saat mesin berhenti bekerja ketika terjadi kelainan dalam sistem sehingga mesin berhenti secara perlahan.
3. *Bull gear*
Bull gear yang mentransmisikan putaran dari sumber gerak. Dalam hal ini mentransmisikan dari *motor* ke *shaft*.
4. *Shaft*
Shaft berfungsi menjadi poros untuk menggerakkan *impeller*.
5. *Bearing*
Bearing adalah bagian internal kompresor yang berfungsi untuk mendukung beban radial (*journal bearing*) dan aksial (*trusht bearing*) yang berputar dengan tujuan memperkecil gesekan dan mencegah kerusakan pada komponen lainnya. Seluruh *bearing* pada mesin ATC merupakan jenis *sleeve bearing* dan terbuat dari *babbit*. Untuk *journal bearing* terdiri dari *low speed pinion bearing* dan *high pinion bearing* dimana keduanya memiliki spesifikasi yang sama.
6. *Impeller*
Impeller adalah komponen kompresor yang berputar dan berfungsi untuk mentransfer energi dari motor menuju

fluida yang diproses. *Impeller* pada tiap *stage* memiliki spesifikasi yang berbeda.

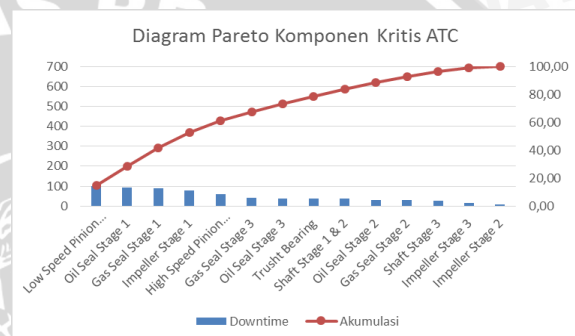
7. *Seal*

Pada masing-masing *stage* terdapat *oil* dan *gas seal* yang berfungsi untuk mencegah kebocoran pelumas dan gas. *Seal* ada tiap *stage* memiliki spesifikasi yang sama dan merupakan material jenis aluminium.

Gambar susunan seluruh komponen mesin ATC dapat dilihat pada lampiran 1.

3.2 Penentuan Komponen Kritis

Penentuan komponen kritis mesin ditentukan dengan konsep diagram pareto yaitu pembagian 80:20.



Gambar 1. *Downtime* Komponen Mesin ATC

Dari gambar 1 dapat disimpulkan bahwa *oil seal stage* 1 dan stage 3, *gas seal stage* 1 dan stage 3, *impeller stage* 1, serta semua jenis *bearing* memiliki total akumulasi 79,80% dari total seluruh *downtime* pada mesin ATC. Komponen tersebut merupakan faktor yang paling berpengaruh dari keseluruhan komponen mesin ATC dan akan digunakan sebagai objek amatan pada penelitian ini.

3.3 Functional Block Diagram (FBD)

Functional Block Diagram (FBD) dibuat untuk mendeskripsikan sistem kerja dari komponen mesin kritis. *Functional Block Diagram ATC* dibagi menjadi beberapa *block*, yaitu *block sistem*, *block ATC*, *block transmisi*, *block kompresor*, serta *block komponen pendukung lainnya*. Berikut ini merupakan penjelasan dari masing-masing *block*.

1. *Block System*

Block ini merupakan sistem utama dari *Air Separation Unit* yang berfungsi untuk memisahkan udara menjadi komponen-komponennya. Terdapat enam mesin yang harus dilewati agar udara dapat dipisahkan pada proses ini. Mesin tersebut adalah *Air Filter*, *ATC*, *Precooling System*,

- Adsorber, Rectifier, Reciprocating Compressor.*
2. *Block ATC*
Dalam *block* ini terdapat *motor* sumber energi utama dalam sistem mesin ATC. Kemudian energi tersebut diubah menjadi energi mekanik yang akan memutar transmisi. Kedua komponen tersebut dihubungkan oleh kopling untuk mengatur kerja kompresor.
 3. *Block Compressor*
Pada *block* ini terdapat berbagai macam komponen yaitu *shaft* dan *impeller*. *Shaft* berfungsi menjadi poros untuk menggerakkan komponen *impeller*. Pada *stage* 1 dan 2, hanya terdapat satu *shaft* yang menjadi poros bagi komponen yang berada pada *stage* tersebut dan satu *shaft* lainnya menjadi poros bagi komponen pada *stage* 3. Masing-masing *shaft* tersebut dilengkapi bearing dan *oil seal*. Pada *shaft stage* 1 dan 2 terdapat *low speed pinion bearing, oil seal stage 1* dan *oil seal stage 2*. Pada *shaft stage* 3 terdapat *high speed pinion bearing* dan *oil seal stage 3*. Komponen lainnya yaitu *Impeller* berfungsi untuk menghasilkan tekanan dan energi. Spesifikasi *impeller* yang berbeda pada masing-masing *stage* sehingga energi yang dihasilkan pada tiap *stage* berbeda pula. Tiap *impeller* dilengkapi oleh *gas seal* yang berfungsi untuk mencegah terjadinya kebocoran fluida.
 4. *Block Transmisi*
Terdapat *shaft gear* yang berfungsi sebagai poros putar bagi *bull gear*. Dimana *shaft gear* dilengkapi *thrust bearing* sebagai bantalan dan *oil seal gear*.
Gambaran *block diagram* sistem dapat dilihat pada lampiran 2.

3.4 Failure Mode and Effect Anaysis (FMEA)

Penyusunan *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* untuk menganalisis terjadinya suatu kegagalan tertinggi pada tiap komponen kritis mesin ATC. Hal ini dilakukan agar dapat menentukan strategi perawatan yang tepat dan dapat menyelesaikan permasalahan PT. Polychem Indonesia Tbk. Langkah- langkah melakukan FMEA yaitu mengidentifikasi proses atau produk, identifikasi potensi mode kegagalan (*failure mode*) selama proses,

identifikasi akibat kegagalan (*failure effect*) dan penyebabnya dari masalah tersebut, menentukan nilai *severity* tiap resiko, menentukan nilai *occurence* tiap resiko, menentukan nilai *detection* tiap resiko, dan menghitung nilai RPN untuk menentukan prioritas tindakan yang harus diambil. RPN diperoleh dengan mengalikan *rating severity, occurence, dan detection* [4]. *Severity* adalah rating yang mengacu pada besarnya dampak dari suatu *potential failure mode*. *Occurence* merupakan rating yang mengacu pada berapa banyak frekuensi *potential failure* yang terjadi. Sedangkan *detection*, yakni rating yang mengacu pada kemungkinan metode deteksi yang sekarang mampu mendeteksi *potential failure mode* sebelum produk tersebut dirilis untuk di produksi, di desain hingga di proses. Hasil analisa tersebut dituangkan dalam RCM II *Information Worksheet* seperti pada lampiran 3.

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

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 [5]. 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.

Uji distribusi dan penentuan parameter nilai TTF maupun TTR dari tiap komponen dengan downtime tertinggi yang menjadi objek penelitian dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab 16. Sedangkan nilai MTTF dan MTTR didapatkan dari rumus berikut:

$$MTTF/R = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (\text{Pers. 1})$$

Hasil uji distribusi, penentuan parameter, serta perhitungan MTTF dan MTTR dapat dilihat pada tabel 2 dan 3.

Tabel 2. MTTF Komponen Kritis Pada Mesin ATC

Time to Failure				
Nama Komponen	Jenis Distribusi	Parameter		MTTF (Jam)
		β (Shape)	θ (Scale)	
Low Speed Pinion Bearing	Weibull	4,09762	849,12	779,64
Oil Seal Stage 1	Weibull	4,46466	1052,68	966,54
Gas Seal Stage 1	Weibull	2,38098	1305,63	1158,44
Impeller Stage 1	Weibull	2,87392	1556,98	1397,34
High Speed Pinion Bearing	Weibull	3,50445	951,57	873,70
Gas Seal Stage 3	Weibull	2,72127	1587,72	1408,72
Oil Seal Stage 3	Weibull	3,22434	1765,11	1584,14
Trusht Bearing	Weibull	2,80779	938,42	832,62

Tabel 3. MTTR Komponen Kritis Pada Mesin ATC

Time to Repair				
Nama Komponen	Jenis Distribusi	Parameter		MTTR (Jam)
		β (Shape)	θ (Scale)	
Low Speed Pinion Bearing	Weibull	14,7623	7,2960	6,9411
Oil Seal Stage 1	Weibull	12,1175	7,6857	7,3118
Gas Seal Stage 1	Weibull	8,5411	8,5543	8,1381
Impeller Stage 1	Weibull	8,9148	8,0395	7,6483
High Speed Pinion Bearing	Weibull	17,9831	7,9813	7,5930
Gas Seal Stage 3	Weibull	13,5933	8,2080	7,8087
Oil Seal Stage 3	Weibull	10,2514	7,4588	7,0959
Trusht Bearing	Weibull	7,3599	6,9779	6,6384

3.6 Perhitungan Total Biaya Perawatan

Sebelum melakukan perhitungan total biaya perawatan optimum, terlebih dahulu adalah menentukan 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 kerusakan pada mesin ATC. Dimana jumlah jam kerja karyawan selama 1 hari adalah 8 jam. Untuk biaya teknisi per hari dibutuhkan biaya sebesar Rp 260.000/orang. Tenaga kerja tersebut berjumlah 6 orang tenaga teknisi. Sehingga biaya yang dikeluarkan untuk tenaga kerja per hari oleh perusahaan yaitu Rp 1.560.000. Jika dikonversikan menjadi per jam maka diperoleh biaya total untuk tenaga kerja yang dikeluarkan perusahaan yaitu sejumlah Rp195.000,00 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 berproduksi. Kapasitas Daya Listrik yang dapat disuplai oleh 1 unit ATC adalah sebesar 7.157 kWh. Jika Harga Pokok Produksi (HPP) listrik per kWh Rp 996,21 sedangkan output mesin ATC yaitu 7500 Nm³/hours maka biaya kerugian produksi perjam adalah :

Biaya Kerugian Produksi

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Kapasitas Daya Listrik} \times \text{HPP}}{\text{Output}} \\
 &= \frac{7.157 \text{ kWh} \times \text{Rp } 996,21}{7500 \text{ Nm}^3/\text{hours}} \\
 &= \text{Rp } 950,64 \approx \text{Rp } 951/\text{hours}
 \end{aligned}
 \quad (\text{Pers. 2})$$

3. Biaya Pergantian Komponen

Biaya ini timbul akibat adanya kerusakan komponen yang membutuhkan penggantian komponen pada mesin ATC. Harga komponen dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Harga Komponen Mesin ATC

No.	Nama Komponen	Harga Komponen
1.	Journal Bearing	Rp 1.435.000,00
2.	Oil Seal	Rp 725.000,00
3.	Gas Seal	Rp 780.000,00
4.	Impeller stage 1	Rp. 2.850.000,00
5.	Thrust Bearing	Rp 1.625.000,00

4. Biaya perbaikan *failure* (Cf) dan biaya perbaikan *preventive* (Cp)

Waktu perbaikan *corrective* adalah waktu yang diperoleh dari hasil perhitungan *Mean Time to Repair* (MTTR). Waktu perbaikan *preventive* pada mesin ATC memiliki probabilitas yang sama dengan waktu perbaikan *corrective*. Hal ini dikarenakan tindakan penggantian komponen mesin ATC juga harus dilakukan pembongkaran mesin terlebih dahulu seperti saat perbaikan *corrective* ($T_f = \text{MTTR} = T_p$). Sehingga biaya perbaikan *failure* dan *preventive* memiliki nilai yang sama ($C_f = C_p$). Berikut contoh perhitungan *failure cost* (Cf) pada komponen *low speed pinion bearing* adalah sebagai berikut.

$$Cf = ((\text{Biaya Tenaga Kerja} + \text{Biaya Kerugian Produksi}) \times \text{MTTR}) + \text{Harga Komponen} \quad (\text{Pers. 3})$$

$$= ((\text{Rp } 195.000,00 + \text{Rp } 951) \times 6,9411) + \text{Rp } 1.435.000,00$$

$$= \text{Rp } 2.795.107$$

Dengan cara yang sama, maka diperoleh hasil perhitungan *failure cost* (Cf) seperti yang ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Biaya Perbaikan *Failure* Komponen Kritis Mesin ATC

Komponen	Biaya Tenaga Kerja per jam	Biaya Kerugian Produksi per jam	MTTR (jam)	Harga Komponen	Cf
Low Speed Pinion Bearing	Rp 195.000	Rp 951	6,9411	Rp 1.435.000	Rp 2.795.107
Oil Seal Stage 1	Rp 195.000	Rp 951	7,3118	Rp 725.000	Rp 2.157.754
Gas Seal Stage 1	Rp 195.000	Rp 951	8,1381	Rp 780.000	Rp 2.374.677
Impeller Stage 1	Rp 195.000	Rp 951	7,6484	Rp 2.850.000	Rp 4.348.709
High Speed Pinion Bearing	Rp 195.000	Rp 951	7,5930	Rp 1.435.000	Rp 2.922.859
Gas Seal Stage 3	Rp 195.000	Rp 951	7,8087	Rp 780.000	Rp 2.310.120
Oil Stage 3	Rp 195.000	Rp 951	7,0959	Rp 725.000	Rp 2.115.456
Trusht Bearing	Rp 195.000	Rp 951	6,6384	Rp 1.625.000	Rp 2.925.807

Setelah *failure cost* (Cf) atau *preventive cost* (Cp) masing-masing komponen dengan *downtime* tertinggi pada didapatkan, maka langkah selanjutnya adalah menghitung interval perawatan yang optimal dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$TM = \theta \left[\frac{C_p}{C_f(\beta-1)} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (\text{Pers. 4})$$

Interval waktu perawatan pada masing-masing komponen kritis mesin ATC dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Interval Perawatan Optimal

Komponen	Cp	β	θ	TM (jam)
Low Speed Pinion Bearing	Rp 2.795.107	4,09762	849,12	644,37
Oil Seal Stage 1	Rp 2.157.754	4,46466	1052,68	796,93
Gas Seal Stage 1	Rp 2.374.677	2,38098	1305,63	1140,09
Impeller Stage 1	Rp 4.348.709	2,87392	1556,98	1251,35
High Speed Pinion Bearing	Rp 2.922.859	3,50445	951,57	732,26
Gas Seal Stage 3	Rp 2.310.120	2,72127	1587,72	1300,49
Oil Stage 3	Rp 2.115.456	3,22434	1765,11	1377,49
Trusht Bearing	Rp 2.925.807	2,80779	938,42	759,99

5. Total Biaya Perawatan

Dibawah ini merupakan contoh perhitungan total biaya perawatan sebelum dan sesudah menggunakan interval perawatan. Rekapitulasi hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 7.

$$TC_{TM} = \frac{C_p}{TM} + \frac{C_f}{\theta \beta} TM^{\beta-1} \quad (\text{Pers. 5})$$

Untuk perhitungan TC_{MTTF} , nilai TM diganti dengan nilai MTTF.

Tabel 7. Perhitungan Interval Waktu Perawatan dan Total Biaya Perawatan

Komponen	MTTF (jam)	TM (jam)	TC MTTF (per jam)	TC TM (per jam)
Low Speed Pinion Bearing	779,64	644,37	Rp 6.112	Rp 5.738
Oil Seal Stage 1	966,54	796,93	Rp 3.757	Rp 3.489
Gas Seal Stage 1	1158,44	1140,09	Rp 3.592	Rp 3.591
Impeller Stage 1	1397,34	1251,35	Rp 5.393	Rp 5.330
High Speed Pinion Bearing	873,70	732,26	Rp 5.826	Rp 5.585
Gas Seal Stage 3	1408,72	1300,49	Rp 2.824	Rp 2.808
Oil Seal Stage 3	1584,14	1377,49	Rp 2.278	Rp 2.226
Trusht Bearing	832,62	759,99	Rp 6.025	Rp 5.979

3.7 Perhitungan Keandalan

Keandalan dapat dirumuskan sebagai integral dari distribusi probabilitas suksesnya operasi suatu komponen atau sistem, sejak waktu mulai beroperasi (*switch on*) sampai dengan terjadinya kegagalan (*failure*) pertama. Probabilitas ini diinterpretasikan dengan indeks keandalan yang merupakan fungsi waktu dengan kisaran 0 hingga 1. Perhitungan nilai keandalan ini berfungsi untuk menentukan interval waktu perawatan yang terbaik untuk komponen mesin ATC. Berikut ini merupakan contoh perhitungan keandalan untuk komponen *low speed pinion bearing* sebelum sesudah menggunakan interval perawatan. ($e = 2,178$).

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}} \quad (\text{Pers. 6})$$

$$R(MTTF) = e^{-\left(\frac{779,64}{849,12}\right)^{4,09762}}$$

$$R(MTTF) = 0,578$$

Berikut ini merupakan contoh perhitungan keandalan untuk komponen *low speed pinion bearing* setelah menggunakan interval perawatan.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}} \quad (\text{Pers. 7})$$

$$R(TM) = e^{-\left(\frac{644,37}{849,12}\right)^{4,09762}}$$

$$R(TM) = 0,778$$

Perbandingan hasil perhitungan

keandalan untuk komponen kritis mesin ATC sebelum menggunakan interval perawatan dan setelah menggunakan interval perawatan dapat dilihat pada tabel 8. Sedangkan untuk keandalan sitem ATC secara keseluruhan didapatkan hasil yaitu 26,2% sebelum diterapkan interval perawatan dan meningkat menjadi 48,5% setelah diterapkan interval perawatan.

Tabel 8. Perbandingan Keandalan Komponen Kritis Mesin ATC

Komponen	R (MTTF)	R(MTTF) %	R (TM)	R(TM) %	Peningkatan (%)
Low Speed Pinion Bearing	0,578	57,8%	0,778	77,8%	20%
Oil Seal Stage 1	0,588	58,8%	0,799	79,9%	21,1%
Gas Seal Stage 1	0,557	55,7%	0,669	66,9%	11,2%
Impeller Stage 1	0,565	56,5%	0,660	66%	9,5%
High Pinion Bearing	0,562	56,2%	0,733	73,3%	17,1%
Gas Seal Stage 3	0,570	57%	0,636	63,6%	6,6%
Oil Stage 3	0,577	57,7%	0,705	70,5%	12,8%
Trusht Bearing	0,573	57,3%	0,650	65%	7,7%

3.8 Availability Rate

Availability rate merupakan rasio yang menggambarkan pemanfaatan waktu yang tersedia untuk kegiatan operasi mesin. *Loading time* merupakan waktu mesin bekerja sesuai yang direncanakan. *Downtime* mesin adalah waktu proses mesin yang hilang dikarenakan adanya gangguan pada mesin/peralatan yang mengakibatkan tidak ada *output* yang dihasilkan karena kegagalan mesin, kerusakan alat, *unplanned maintenance*, dan tidak tersedianya bahan baku. *Operation time* merupakan waktu bersih mesin bekerja (tanpa *downtime*) [6]. nilai *availability* dihitung dengan rumus :

$$\text{Operation time} = \text{Loading time} - \text{downtime} (\text{Pers. 8})$$

$$\text{Availability rate} = \frac{\text{Operation time}}{\text{Loading time}} \times 100\% \quad (\text{Pers. 9})$$

Contoh perhitungan dan perbandingan *Availability Rate* komponen *low speed pinion bearing* saat masih diterapkan *corrective maintenance* dan setelah diterapkan *preventive maintenance* dapat dilihat pada lampiran 4.

Diketahui perbandingan *availability rate* komponen *low speed pinion bearing* pada saat sebelum dan setelah dilaksanakan waktu interval perawatan optimal. Setelah total *availability* adalah 71,04%, dan total *availability rate* setelah dilakukan interval perawatan adalah 71,25%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa terjadi

peningkatan *availability rate* sebesar 0,21% dibandingkan dengan *availability rate* yang pada saat sebelum menggunakan penerapan waktu interval perawatan optimal. Peningkatan *availability rate* yang tidak terlalu signifikan dikarenakan waktu *downtime* saat kegiatan *corrective maintenance* dan *preventive maintenance* memiliki probabilitas rata-rata waktu yang hampir sama.

3.10 Reliability Centered Maintenance (RCM) II Decision Worksheet

Pada komponen *low speed pinion bearing*, kolom F tertulis 1, ini berarti fungsi dari *bearing* adalah sebagai bantalan bagi *shaft*. Selanjutnya pada baris pertama kolom FF tertulis A, ini berarti *function failure* yang dialami oleh *function 1* yaitu mengalami keausan. Apabila *function 1* mengalami kegagalan fungsi lainnya maka akan ditulis B pada baris kedua kolom FF, dengan terlebih dahulu memberikan uraian jenis kegagalan tersebut pada kolom *function failure*. Pada kolom FM tertulis angka 1 yang berarti *function 1* dengan *function failure A* disebabkan oleh *failure mode 1* yaitu pelumasan yang jarang dilakukan. Apabila *function 1* dengan *function failure 1* disebabkan oleh *function mode* lainnya, maka kolom FM pada baris kedua akan diberi angka 2, dengan terlebih dulu memberikan uraian tentang *failure mode* tersebut pada kolom *failure mode*. Sehingga F1 dengan FF1 disebabkan oleh FM2, tetapi dalam penelitian ini setiap fungsi komponen memiliki 1 *function failure* dan 1 *function mode*.

Pada *information reference* menghasilkan 1-A-1, pada kolom H di *consequence evaluation* di tulis N, yang berarti *failure mode* tidak diketahui secara langsung oleh operator dalam kondisi normal. Pada kolom S ditulis N, yang berarti *failure mode* tidak berdampak pada keselamatan operator. Pada kolom E ditulis N, yang berarti *failure mode* tidak berdampak pada keselamatan lingkungan. Dan pada kolom O ditulis Y, yang berarti *failure mode* berdampak pada output produksi. Selanjutnya pada kolom H1/S1/O1/N1 ditulis N, yang berarti dalam interval waktu sebelum dilakukan perawatan pencegahan tidak cukup untuk melakukan tindakan terhadap pencegahan kegagalan. Sehingga *proposed task* yang dipilih adalah *schedule discard task*, yang berarti dilakukan perawatan dan pengecekan komponen sesuai dengan interval waktu 644,37 jam dan dilakukan dengan cara memberikan pelumas, pembersihan, dan pengecekan standar pemasangan oleh

Stationary Equipment (sub divisi *maintenance*). *Proposed task* yang sama pula dilakukan pada komponen *bearing* lainnya yaitu *high speed pinion bearing* dan *trusht bearing* dengan interval perawatan masing-masing 732,26 dan 759,99 jam. Penggantian komponen dilakukan jika komponen telah mendekati batas umur pemakaian ataupun kondisi komponen yang sudah tidak pada kondisi standarnya. Ketika melakukan perawatan *bearing*, teknisi akan terlebih dahulu melakukan pengecekan dan perawatan pada komponen *shaft*. Hal ini dikarenakan ketiga jenis *bearing* tersebut merupakan tipe *sleeve bearing* yang pada umumnya menimbulkan kontak gesekan yang cukup kasar dengan *shaft*.

Sedangkan *proposed task* yang sama pula dilakukan pada komponen *oil seal stage 1* dan 3 yaitu melakukan pembersihan rutin dan pengecekan kondisi komponen tersebut oleh *Rotating Equipment* (sub divisi *maintenance*) sesuai interval perawatan masing-masing yaitu 796,93 dan 1377,49 jam. Untuk *gas seal stage 1* dan 3 yaitu melakukan pengecekan kondisi suhu dan vibrasi sistem serta pembersihan secara rutin oleh *Rotating Equipment* sesuai interval perawatan masing-masing yaitu 1140,09 dan 1300,49 jam. Untuk *impeller stage 1* yaitu memonitori kesesuaian tekanan yang dihasilkan, pembersihan, dan kesesuaian *balancing* oleh *Stationary Equipment* dengan interval perawatan 1251,35 jam. Penggantian komponen dilakukan jika komponen telah mendekati batas umur pemakaian ataupun kondisi komponen yang sudah tidak pada kondisi standarnya. RCM II *Decision Worksheet* dapat dilihat pada lampiran 5.

3.11 Penentuan Jumlah Persediaan Optimal Komponen Kritis

Perhitungan persediaan optimal ini hanya dilakukan komponen kritis mesin ATC untuk menyeimbangkan ketersediaan suku cadang komponen pada *warehouse* dengan interval waktu perawatan yang telah ditetapkan. Dimana dalam perhitungan ini akan menentukan pemesanan optimal dan titik pemesanan kembali (ROP). Untuk nilai TM pada komponen yang memiliki spesifikasi sama maka digunakan nilai TM yang lebih kecil yang mempresentasikan bahwa interval perawatan komponen tersebut lebih dulu dilakukan. Metode perhitungan persediaan dibawah ini menggunakan metode probabilistik dengan metode Q. Perhitungan kebutuhan komponen dibawah ini menggunakan

asumsi bahwa tiap interval perawatan (TM) dilakukan penggantian komponen. Sedangkan persediaan *stock* minimum ditentukan menggunakan batas *reorder point* (ROP). Berikut ini merupakan contoh perhitungan penentuan persediaan untuk komponen *journal bearing*.

$$TM = 644,37 \text{ jam} = \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \times 644,37 \text{ jam} \\ = 26,85 \text{ hari} \approx 27 \text{ hari}$$

$$D = \frac{360}{TM} \times \text{kebutuhan komponen} \quad (\text{Pers. 10}) \\ = \frac{360}{27} \times 4 = 53,3 \approx 54 \text{ unit}$$

$$C = \text{Rp } 100.000$$

$$H = 5\% \times \text{Rp } 1.435.000 = \text{Rp } 71.750/\text{bulan}$$

$$\text{Lead Time} = 14 \text{ hari}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \times C \times D}{H}} \quad (\text{Pers. 11}) \\ = \sqrt{\frac{2 \times 100.000 \times 54}{71.750}} = 12,27 \approx 13 \text{ unit}$$

$$\text{Waktu siklus optimal} = \frac{Q^*}{D} \times 12 \text{ bulan} \quad (\text{Pers. 12}) \\ = \frac{13}{54} \times 12 \text{ bulan} = 2,8 \text{ bulan} \approx 3 \text{ bulan}$$

$$ROP = \frac{D}{360} \times L + SS \quad (\text{Pers. 13}) \\ = \frac{54}{360} \times 14 + 4 = 6,1 \approx 7 \text{ unit}$$

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa hasil lot pemesanan optimal sebesar 13 unit per sekali pesan dengan waktu siklus optimal 3 bulan dan pemesanan kembali dilakukan ketika jumlah suku item di *warehouse* tersisa 7 unit. Rekapitulasi nilai Q* dan ROP untuk semua komponen kritis dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Rekapitulasi Nilai Q* dan ROP

No.	Nama Komponen	Q*	Waktu Siklus	ROP
1.	Journal Bearing	13	3 bulan	7
2.	Oil Seal	12	6,5 bulan	4
3.	Gas Seal	9	7 bulan	4
4.	Impeller stage 1	4	7 bulan	2
5.	Thrust Bearing	8	4 bulan	2

3.12 Analisis dan Pembahasan

Pada tahap ini dilakukan analisis dan pembahasan, dari FMEA, MTTF, MTTR, serta biaya perawatan dan keandalan mesin.

1. *Failure mode and effect analysis* (FMEA)
Failure mode and effect analysis (FMEA) menunjukkan potensi kegagalan proses serta efek yang ditimbulkan dari komponen-komponen kritis pada mesin ATC. Dengan mengetahui hal tersebut, maka dapat diidentifikasi tindakan yang dapat

menghilangkan atau mengurangi potensi kegagalan tersebut. *Failure mode* yang menyebabkan terjadinya kegagalan fungsi pada komponen kritis yang menjadi bahan penelitian ini adalah kegagalan yang disebabkan oleh usia pakai dari komponen (*lifetime condition*). Komponen pertama adalah *low speed pinion bearing* yang berfungsi untuk menahan getaran *pinion gear* pada *shaft stage 1* dan 2. Kegagalan fungsi yang terjadi adalah *low speed pinion bearing* gagal menahan getaran *pinion gear* pada *shaft stage 1* dan 2 karena aus. Hal ini disebabkan kurangnya pelumasan dan bocornya sistem *oil*. Sehingga komponen *bearing* bekerja dalam kondisi level *oil* dibawah standar. Nilai RPN dari komponen ini sebesar 128 atau yang terbesar diantara komponen lainnya. Komponen kedua yaitu *oil seal stage 1* yang berfungsi mencegah terjadi kebocoran sistem *oil* pada *stage 1*. Kegagalan fungsi yang terjadi adalah *seal* mengalami kebocoran yang disebabkan pemasangan yang longgar. Nilai RPN dari komponen *oil seal stage 1* sebesar 64. Komponen ketiga adalah *gas seal stage 1* yang berfungsi untuk menjaga agar fluida yang diproses proses tidak masuk kedalam sistem *oil* pada *stage 1*. Kegagalan fungsi pada komponen ini adalah muncul kerak pada *sealface* yang disebabkan suhu dan tekanan yang tinggi didalam sistem serta fluida proses yang kotor dan terkontaminasi sehingga mengendap pada *seal*. Hal tersebut dapat menyebabkan vibrasi yang cukup tinggi pada sistem. Nilai RPN dari komponen *gas seal stage 1* sebesar 48.

Komponen lain yang memiliki *downtime* cukup tinggi dan terdapat pada *stage 1* adalah *impeller* yang berfungsi meningkatkan tekanan pada fluida yang diproses pada *stage 1* dan kegagalan fungsi yang terjadi yaitu terjadi kerusakan pada sudu-sudunya yang mengakibatkan vibrasi yang tinggi dan tekanan yang dihasilkan proses tidak sesuai. Hal itu disebabkan karena *unbalancing* pada *impeller* yang kemudian dapat merusak pelindungnya (*housing*). Nilai RPN dari komponen *impeller stage 1* sebesar 48.

Untuk komponen *bearing* lainnya yaitu *high speed pinion bearing* dan *thrust bearing* memiliki fungsi yang mirip yaitu menahan gaya dan gesekan yang dibebankan, perbedaannya terdapat pada letak kedua komponen tersebut di mesin ATC. Kegagalan fungsi yang terjadi yaitu terjadi korosi, dalam hal ini jenis korosi *pitting* dan *fretting*. Korosi *pitting* disebabkan karena kurangnya pelumasan dan pengecekan,

sedangkan korosi *fretting* disebabkan karena gesekan dengan *shaft* dalam waktu yang lama serta mengalami keausan. Nilai RPN dari kedua komponen ini sama, yaitu sebesar 96. Sedangkan dua komponen berikutnya yaitu *gas* dan *oil seal* pada *stage 3* yang memiliki fungsi yang serupa dengan *seal* pada *stage 1* dan kegagalan fungsi masing – masing komponen tersebut yaitu *overheating* dan pengendapan. *Overheating* tersebut terjadi karena temperatur yang tinggi pada sistem *stage 3* dan gesekan yang terjadi dengan *shaft*. Sedangkan pengendapan pada *oil seal* akibat kurangnya pembersihan yang mengakibatkan kotoran mengendap hingga menjadi zat solid. Nilai RPN dari kedua komponen ini sama pula, yaitu sebesar 48.

2. MTTF dan MTTR

MTTF menunjukkan rata-rata interval waktu pada saat komponen selesai diperbaiki sampai pada saat komponen tersebut mengalami kerusakan berikutnya. Dalam penelitian ini, *low speed pinion bearing* memiliki nilai MTTF sebesar 779,64 jam, *oil seal stage 1* memiliki nilai MTTF sebesar 966,54 jam, *gas seal stage 1* memiliki nilai MTTF sebesar 1158,44 jam, *impeller stage 1* memiliki nilai MTTF sebesar 1397,34 jam, *High Speed Pinion Bearing* memiliki nilai MTTF sebesar 873,70 jam, *gas seal stage 3* memiliki nilai MTTF sebesar 1408,73 jam, *oil seal stage 3* memiliki nilai MTTF sebesar 1584,13 jam, dan *thrust bearing* memiliki nilai MTTF sebesar 832,63 jam.

MTTR menunjukkan rata-rata waktu waktu yang dibutuhkan dalam melakukan perbaikan terhadap komponen yang rusak. Dalam penelitian ini, *low speed pinion bearing* memiliki nilai MTTR sebesar 6,9411 jam, *oil seal stage 1* memiliki nilai MTTR sebesar 7,3118 jam, *gas seal stage 1* memiliki nilai MTTR sebesar 8,1381 jam, *impeller stage 1* memiliki nilai MTTR sebesar 7,6483 jam, *High Speed Pinion Bearing* memiliki nilai MTTR sebesar 7,5930 jam, *gas seal stage 3* memiliki nilai MTTR sebesar 7,8087 jam, *oil seal stage 3* memiliki nilai MTTR sebesar 7,0959 jam, dan *thrust bearing* memiliki nilai MTTR sebesar 6,6384 jam.

3. Biaya Perawatan dan Keandalan Komponen

Pada pembahasan sebelumnya dapat disimpulkan bahwa pada komponen *low speed pinion bearing* apabila menggunakan interval perawatan maka akan terjadi penurunan biaya perawatan yang awalnya sebesar Rp. 6.112/jam menjadi Rp. 5.738/jam. Selain itu dengan

penggunaan interval perawatan maka nilai keandalan dari komponen mesin *low speed pinion bearing* meningkat dari nilai keandalan awal 57,8% menjadi 77,8%. Begitu pula halnya dengan komponen yang memiliki spesifikasi sama, yaitu *high speed pinion bearing*. Terjadi penurunan biaya perawatan yang awalnya sebesar Rp. 5.826/jam menjadi Rp. 5.585/jam dan nilai keandalan awal 56,2% menjadi 73,3%. Sedangkan untuk komponen *bearing* lainnya yaitu *trusht bearing* terjadi penurunan biaya perawatan yang awalnya sebesar Rp. 6.025/jam menjadi Rp. 5.979/jam dan nilai keandalan awal 57,3% menjadi 65%.

Untuk komponen pada *stage 1* apabila menggunakan interval perawatan terjadi penurunan biaya dan peningkatan keandalan. Penurunan biaya perawatan komponen *oil seal stage 1* yang awalnya sebesar Rp. 3.757/jam menjadi Rp. 3.489/jam dan nilai keandalan awal 58,8% menjadi 79,9%. Penurunan biaya perawatan komponen *gas seal stage 1* yang awalnya sebesar Rp. 3.592/jam menjadi Rp. 3.591/jam dan nilai keandalan awal 55,7% menjadi 66,9%. Penurunan biaya perawatan komponen *impeller stage 1* yang awalnya sebesar Rp. 5.393/jam menjadi Rp. 5.330/jam dan nilai keandalan awal 56,5% menjadi 66%. Sedangkan penurunan biaya perawatan komponen *gas seal stage 3* yang awalnya sebesar Rp. 2.824/jam menjadi Rp. 2.808/jam dan nilai keandalan awal 57% menjadi 63,6%. Penurunan biaya perawatan komponen *oil seal stage 3* yang awalnya sebesar Rp. 2.278/jam menjadi Rp. 2.226/jam dan nilai keandalan awal 57,7% menjadi 70,5%.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai perbaikan dan perawatan mesin ATC dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengolahan data dengan menggunakan diagram pareto dapat diketahui bahwa komponen yang memiliki *downtime* tertinggi pada mesin ATC adalah *low speed pinion bearing*, *oil seal stage 1*, *gas seal stage 1*, *impeller stage 1*, *high speed pinion bearing*, *gas seal stage 3*, *oil seal stage 3*, serta *trusht bearing*.
2. Interval waktu perawatan optimal untuk masing-masing komponen kritis mesin ATC yaitu 644,37 jam untuk komponen *low speed pinion bearing*; 796,93 jam

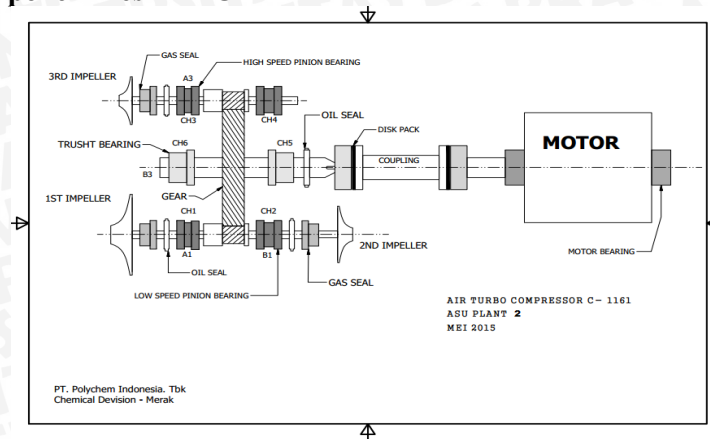
untuk komponen *oil seal stage 1*; 1140,09 jam untuk komponen *gas seal stage 1*; 1251,35 jam untuk komponen *impeller stage 1*; 732,26 jam untuk komponen *high speed pinion bearing*; 1300,48 jam untuk komponen *gas seal stage 3*; 1377,49 jam untuk komponen *oil seal stage 3*, serta 759,99 jam untuk komponen *trusht bearing*. Sedangkan *stock* minimum dari komponen tersebut yaitu 7 unit untuk *journal bearing*, 4 unit untuk *oil seal*, dan 4 unit untuk *gas seal*, 2 unit untuk *impeller stage 1*, dan 2 unit untuk *trusht bearing*.

3. Berikut ini merupakan biaya perawatan yang direncanakan pada masing-masing komponen kritis pada mesin ATC berdasarkan interval perawatan. Biaya tersebut sebesar Rp 5.738/jam untuk komponen *low speed pinion bearing*, Rp 3.489/jam untuk komponen *oil seal stage 1*, Rp 3.591/jam untuk komponen *gas seal stage 1*, Rp 5.330/jam untuk komponen *impeller stage 1*, Rp 5.585/jam untuk komponen *high speed pinion bearing*, Rp 2.808/jam untuk komponen *gas seal stage 3*, Rp 2.226/jam untuk komponen *oil seal stage 3*. Serta Rp 5.979/jam untuk komponen *trusht bearing*.

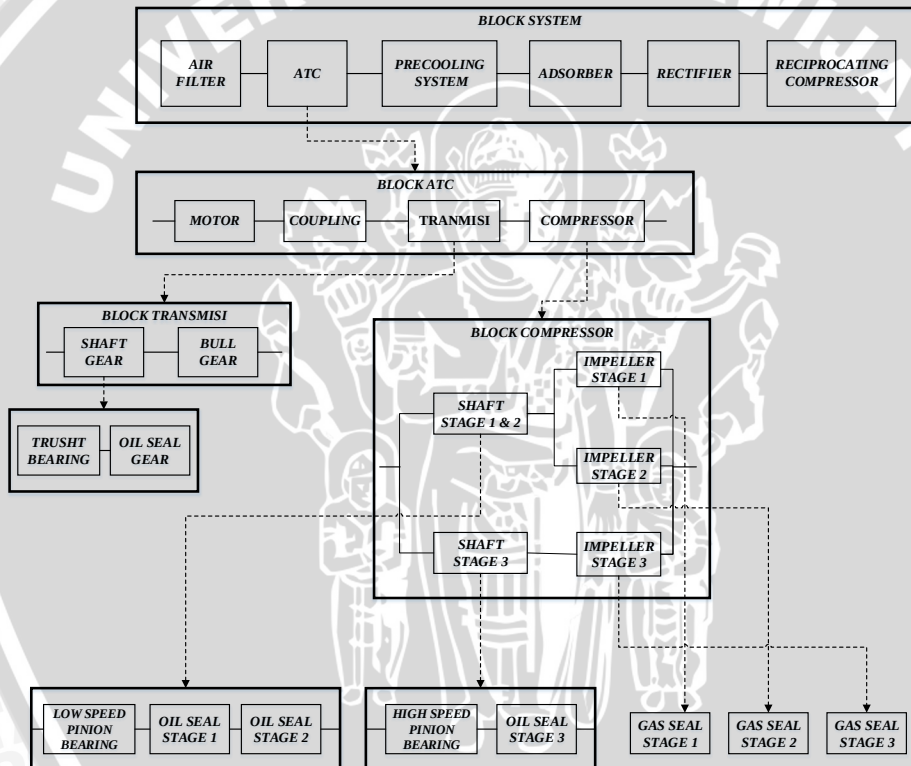
DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ben-Daya, M. 2000. *You May Need RCM to Enhance TPM Implementation*. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 6(2).
- [2] Moubray, J. 1997. *Reliability Centered Maintenance II*. New York: Industrial Press Inc.
- [3] Sugiyono. 2012. *Memahami Penelitian Kualitatif*. Bandung: ALFABET.
- [4] Cayman Business Systems. 2002. *Failure Mode and Effect Analysis*. Diakses pada tanggal 28 Maret 2016, dari <http://www.fmeainfocentre.com>.
- [5] Ebell, C.E. 1997. *An introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. New York: The Mc.Graw Hill Company Inc.
- [6] Stephen P. Mattew. 2004. *Productivity and Reliability Based Maintenance Management*. New Jersey : Pearson education Inc.

Lampiran 1. Komponen Mesin ATC



Lampiran 2. Functional Block Diagram Mesin ATC



Lampiran 3. RCM II Information Worksheet

RCM II Information Worksheet			SISTEM : Air Separation Unit	Facilitator:					
			SUB-SYSTEM : ATC	Auditor:					
No	Komponen	Function	Functional Failure (loss of function)	Failure Mode (cause of failure)	Failure Effect (what happen when it failure)	S	O	D	RPN
1	Low Speed Pinion Bearing	Berfungsi untuk menahan getaran pinion gear pada shaft stage 1 dan 2	Aus	Pembersihan dan pelumasan yang jarang dilakukan	Menyebabkan keausan dini dan vibrasi tinggi	4	4	8	128
2	Oil Seal Stage 1	Mencegah terjadi kebocoran sistem oil pada stage 1	Seal bocor	Pemasangan yang tidak tepat dan (longgar) dan kurangnya pengecekan	Meyebabkan seal menjadi rusak dan terjadi kebocoran pada sistem	4	4	4	64
3	Gas Seal Stage 1	Berfungsi untuk menjaga agar fluida yang diproses proses tidak masuk kedalam sistem oil pada stage 1	Muncul kerak pada sealface	Suhu dan tekanan sistem yang tinggi serta fluida proses yang kotor dan terkontaminasi	Menyebabkan vibrasi yang cukup tinggi pada sistem	4	3	4	48
4	Impeller Stage 1	Berfungsi untuk meningkatkan tekanan pada fluida yang diproses pada stage 1	Sudu impeller rusak	Ketidakseimbangan putaran pada impeller karena kurangnya pengecekan	Merusak pelindungnya (housing) dan terjadi vibrasi tinggi serta pressure yang dihasilkan tidak sesuai	4	3	4	48
5	High Speed Pinion Bearing	Berfungsi untuk menahan getaran pinion gear pada shaft stage 3	Pitting corrosion	Pelumasan yang jarang dilakukan dan sistem yang bekerja terus menerus	Menyebabkan umur pemakaian bearing berkurang dan cepat aus akibat timbul korosi	4	3	8	96
6	Gas Seal Stage 3	Berfungsi untuk menjaga agar fluida yang diproses proses tidak masuk kedalam sistem oil pada stage 3	Overheating	Aliran fluida pada stage 3 memiliki temperatur yang cukup tinggi dan gesekan pada shaft	Menyebabkan seal aus dan berwarna kemerahan sehingga kerapatan berkurang	4	3	4	48
7	Oil Seal Stage 3	Mencegah terjadi kebocoran sistem oil pada stage 3	Pengendapan pada seal	Pembersihan yang jarang dilakukan dan kotoran yang menumpuk pada seal	Menyumbat sistem oil dan mengurangi sistem pelumasan pada bearing	4	3	4	48
8	Trusht Bearing	Berfungsi untuk menahan gaya aksial pada shaft bull gear	Fretting corrosion	Gesekan dengan shaft dalam waktu yang lama dan mengalami keausan	Meyebabkan terjadinya kelonggaran pada kedudukan bearing	4	3	8	96

Lampiran 4. Contoh Availability Rate Komponen Low Speed Pinion

Periode	Corrective Maintenance				Periode	Preventive Maintenance			
	LT (jam)	DT (jam)	OT (jam)	AR (%)		LT (jam)	DT (jam)	OT (jam)	AR (%)
1	24	7,3	16,70	69,58%	1	24	6,9	17,1	71,25%
2	24	6,3	17,70	73,75%	2	24	6,9	17,1	71,25%
3	24	7,4	16,60	69,17%	3	24	6,9	17,1	71,25%
4	24	7,2	16,80	70,00%	4	24	6,9	17,1	71,25%
5	24	6,5	17,50	72,92%	5	24	6,9	17,1	71,25%
6	24	7,4	16,60	69,17%	6	24	6,9	17,1	71,25%
7	24	7,0	17,00	70,83%	7	24	6,9	17,1	71,25%
8	24	7,1	16,90	70,42%	8	24	6,9	17,1	71,25%
9	24	7,5	16,50	68,75%	9	24	6,9	17,1	71,25%
10	24	6,1	17,90	74,58%	10	24	6,9	17,1	71,25%
11	24	7,3	16,70	69,58%	11	24	6,9	17,1	71,25%
12	24	6,3	17,70	73,75%	12	24	6,9	17,1	71,25%
TOTAL					TOTAL				
LT	288				LT	288			
DT		83,40			DT		83		
OP			204,60		OP			205	
AR				71,04%	AR				71,25%

Lampiran 5. RCM II Decision Worksheet

RCM II DECISION WORKSHEET					SYSTEM : Air Separation Unit										Date:	Sheet No:	
					SUB-SYSTEM : Air Turbo Compressor												Of
Information reference					Consequence evaluation				H1	H2	H3	Default action			Proposed task	Initial interval	
									S1	S2	S3						
									O1	O2	O3						
No	Equipment	F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1	Low Speed Pinion Bearing	1	A	1	N	N	N	Y	N	N	Y	-	-	-	Scheduled discard task.	644,37	Stationary Equipment
2	Oil Seal Stage 1	1	A	1	Y	N	N	Y	N	N	Y	-	-	-	Scheduled discard task.	796,93	Rotating Equipment
3	Gas Seal Stage 1	1	A	1	Y	N	N	Y	N	N	Y	-	-	-	Scheduled discard task.	1140,09	Rotating Equipment
4	Impeller Stage !	1	A	1	Y	N	N	Y	N	N	Y	-	-	-	Scheduled discard task.	1251,35	Stationary Equipment
5	High Speed Pinion Bearing	1	A	1	N	N	N	Y	N	N	Y	-	-	-	Scheduled discard task.	732,26	Stationary Equipment
6	Gas Seal Stage 3	1	A	1	Y	N	N	Y	N	N	Y	-	-	-	Scheduled discard task.	1300,49	Rotating Equipment
7	Oil Seal Stage 3	1	A	1	Y	N	N	Y	N	N	Y	-	-	-	Scheduled discard task.	1377,49	Rotating Equipment
8	Trusht Bearing	1	A	1	N	N	N	Y	N	N	Y	-	-	-	Scheduled discard task.	759,99	Stationary Equipment

