



TESIS - TF185471

**OPTIMISASI UNTUK MENENTUKAN JADWAL
PERAWATAN PERALATAN PROSES PADA PLANT
GAS SWEETENING**

AMINUDDIN TEJO NUGROHO

02311750010008

Dosen Pembimbing

Totok Ruki Biyanto, ST, MT, Ph.D.

Departemen Teknik Fisika

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

AMINUDDIN TEJO NUGROHO

NRP: 02311750010008

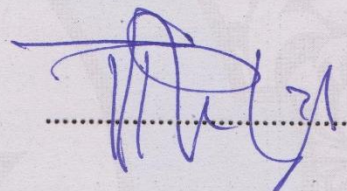
Tanggal Ujian: 10 Juli 2019

Periode Wisuda: September 2019

Disetujui oleh:

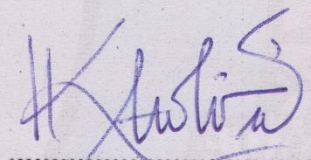
Pembimbing:

1. Totok Ruki Biyanto, ST, MT, Ph.D
NIP: 197107021998021001

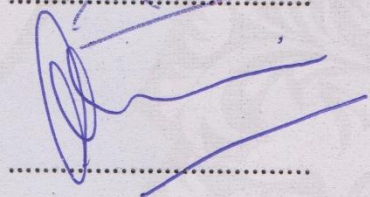


Penguji:

1. Dr. Katherin Indriawati, ST, MT.
NIP: 197605232000122001



2. Dr. Gunawan Nugroho, ST., MT.
NIP: 197711272002121002



**Kepala Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri**

Agus Muhammad Hatta, ST, M.Si, Ph.D.
NIP: 197809022003121002

Halaman ini sengaja dikosongkan

OPTIMISASI UNTUK MENENTUKAN JADWAL PERAWATAN PERALATAN PROSES PADA *PLANT GAS SWEETENING*

Nama Mahasiswa : Aminuddin Tejo Nugroho
NRP : 02311750010008
Pembimbing : Totok Ruki Biyanto, Ph. D

ABSTRAK

Proses *gas sweetening*, merupakan proses penghilangan kandungan asam pada natural gas. Asam ini bersifat korosif terhadap material vessel sehingga jika tidak dilakukan mitigasi yang tepat maka akan mengakibatkan bahaya kebocoran, kebakaran dan ledakan. Salah satu penyebab kandungan asam yang tinggi ini adalah kegagalan peralatan proses dalam mengendalikan konsentrasi gas H_2S . Untuk memitigasi hal tersebut diperlukan strategi dan jadwal perawatan pada peralatan proses yang sesuai. Jika kedua parameter ini ditentukan secara tepat maka dapat menekan *downtime* dan frekuensi kegagalan. Berdasarkan standar migas perawatan untuk peralatan proses dilakukan apabila nilai kehandalan suatu peralatan mencapai 95%. Dengan mengkorelasi standar ini dengan data failure rate dari vendor dapat diperoleh interval perawatan pada kondisi aktual. Selanjutnya dengan melakukan analisis frekuensi kegagalan maka dapat kita tentukan indeks kritikalitas yang dinyatakan dalam *Risk Priority Number* (RPN). Untuk memperoleh *time interval* perawatan yang optimal dapat diperoleh dari optimisasi berbasis pembobotan RPN. Analisis biaya total perawatan dilakukan untuk mengklarifikasi kelayakan penjadwalan perawatan yang diusulkan.

Kata kunci:, jadwal perawatan, *downtime*, RPN, *time interval*, biaya total perawatan

Halaman ini sengaja dikosongkan

OPTIMIZATION TO DETERMINE SCHEDULING MAINTENANCE OF PROCESS EQUIPMENT ON GAS SWEETENING PLANT

Name : Aminuddin Tejo Nugroho
NRP : 02311750010008
Departement : Teknik Fisika ITS
Supervisor : Totok Ruki Biyanto, Ph. D

ABSTRACT

Gas sweetening process is process to remove sour contain from natural gas. This acid is corrosive to vessel material, if it is not carried out of appropriate maintenance task cause leaks hazard, fire and explosion. One of cause of high acid contain is process equipment failure in the controlling of H₂S conscentration. To mitigate it, needed maintenances strategy and scheduling on equipment. If both parameters were appropriate determined, it can minimize of downtime and failure frequency. Base on oil & gas standard, process equipment will conducted maintenance activity if reliability of equipement achieve 95%. Then by correlating this standard with failure rate data from vendor, we can obtained the maintenance interval in the actual conditions. Furthermore, by performing of the failure frequency analysis, we can determine the criticality index that stated in the Risk Priority Number (RPN). To obtain optimal maintenance time intervals can be obtained from optimization based on RPN weighting. Total maintenance cost analysis carried out to clarify the proven of maintenance scheduling that submitted. Keyword:, maintenance scheduling, downtime, RPN, time interval, total maintenance cost

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karuniaNya sehingga penulisan tesis ini mampu terselesaikan dengan baik. Sholawat dan salam semoga tercurah kepada junjungan kita Nabi Besar Muhammad SAW, keluarga, sahabatnya dan seluruh pengikutnya hingga akhir zaman. Penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam menyelesaikan tesis ini, diantaranya:

1. Bapak Totok Ruki Biyanto, ST, MT, Ph.D selaku pembimbing yang telah dengan penuh kesabaran dan perhatian membimbing, mengarahkan, mendukung dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan tesis ini.
2. Ibu Dr. Katherin Indriawati, ST, MT dan Bapak Dr. Gunawan Nugroho, ST, MT selaku penguji yang telah memberikan banyak masukan penting dalam perbaikan penyusunan tesis ini.
3. Ibunda dan ayahanda tercinta atas segala jerih payahnya dalam mendidik, membimbing dan mendoakan untuk kesuksesan ananda.
4. Istriku dan anak-anakku tercinta yang telah banyak memberikan dukungan, motivasi dan doa, sehingga tesis ini dapat terselesaikan.
5. Beasiswa Kemenristekdikti yang telah memberikan kami dukungan dana dalam menempuh studi lanjut.
6. Teman-teman mahasiswa Pascasarjana Departemen Teknik Fisika ITS atas kebersamaan dan dukungannya selama menempuh pendidikan.

Akhirnya penulis sangat berharap adanya, masukan, kritik dan saran membangun untuk penyempurnaan laporan tesis ini.

Surabaya, 31 Juli 2019

Penyusun

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Lingkup Kajian	4
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 Kegagalan dan Mode Kegagalan	5
2.2 Penentuan Komponen Kritis	6
2.3 Persamaan Yang Digunakan Untuk Pemodelan	7
2.4 Maintenance Cost	12
2.5 Strategi Perawatan	13
2.6 Process Flow Diagram (PFD) <i>Gas Sweetening</i>	14
2.7 Deskripsi Inventory	18
2.8 <i>System Function</i> dan <i>Function Failure</i>	23
2.9 <i>Service Class Type</i>	23
2.10 <i>Failure Mode dan Effect Analysis (FMEA)</i>	24
2.11 Konsekuensi kegagalan	25
2.12 Proactive Task	29
2.13 Default Action	29
2.14 Distribusi Dalam Reliability	30
A. Distribusi Normal	30
B. Distribusi Lognormal	30

C. Distribusi Eksponensial.....	30
2.15 Pendekatan Program Perawatan	31
2.16 <i>Genetic Algorithm</i>	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1. Diagram Alir Penelitian.....	33
3.2. Konsekuensi Terintegrasi dan Kewajiban dari RCM II	33
3.3. Asumsi Yang Digunakan.....	36
3.4. Optimisasi <i>Time Interval</i>	37
3.5. Objective Function	39
3.6. Identifikasi Sistem	39
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	45
4.1 Absorber	45
4.1.1 Analisis absorber menggunakan RCM II	45
4.1.2 Penentuan interval perawatan pada absorber	46
4.1.3 Perhitungan biaya perawatan pada absorber	47
4.2 Regenerator.....	48
4.2.1 Analisis regenerator menggunakan RCM II	48
4.2.2 Penentuan interval perawatan pada regenerator.....	49
4.2.3 Perhitungan biaya perawatan pada <i>regenerator</i>	50
4.3 Amine Flash Drum	51
4.3.1 Analisis <i>amine flash drum</i> menggunakan RCM II.....	51
4.3.2 Penentuan interval perawatan pada <i>amine flash drum</i>	53
4.3.3 Perhitungan biaya perawatan pada <i>amine flash drum</i>	53
4.4 Lean/Rich Amine Exchanger	54
4.4.1 Analisis <i>amine exchanger</i> menggunakan RCM II	54
4.4.2 Penentuan interval perawatan pada <i>amine exchanger</i>	57
4.4.3 Perhitungan biaya perawatan pada <i>amine exchanger</i>	57
4.5 Amine Reflux Pump	58
4.5.1 Analisis <i>reflux pump</i> menggunakan RCM II	58
4.5.2 Penentuan interval perawatan pada <i>reflux pump</i>	62
4.5.3 Perhitungan biaya perawatan pada <i>reflux pump</i>	63

4.6Amine Reboiler	64
4.6.1 Analisis <i>amine reboiler</i> menggunakan RCM II.....	64
4.6.2 Penentuan interval perawatan pada <i>reboiler</i>	66
4.6.3 Perhitungan biaya perawatan pada <i>reboiler</i>	67
4.7Control Valve	68
4.7.1 Analisis <i>control valve</i> menggunakan RCM II	68
4.7.2 Penentuan interval perawatan pada <i>control valve</i>	72
4.7.3 Perhitungan biaya perawatan pada <i>control valve</i>	73
4.8Lean Amine Cooler	74
4.8.1 Analisis <i>amine cooler</i> menggunakan RCM II	74
4.8.2 Penentuan interval perawatan pada <i>amine cooler</i>	76
4.8.3 Perhitungan biaya perawatan pada <i>amine cooler</i>	77
4.9Perhitungan biaya total.....	78
BAB V KESIMPULAN & SARAN	81
DAFTAR PUSTAKA	83

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

<u>Gambar 2.1 Kurva bath-tube (Balagurusamy, 1994)</u>	5
<u>Gambar 2.2 Vessel, definisi batasan (OREDA, 2012)</u>	18
<u>Gambar 2.3 Heat Exchanger, Definisi Batasan (OREDA, 2012)</u>	20
<u>Gambar 2.4 Definisi batasan pompa (OREDA, 2012)</u>	21
<u>Gambar 2.5 Mode kegagalan pada pompa (Moubray, 1997)</u>	23
<u>Gambar 2.6 Road Map FMEA</u>	25
<u>Gambar 2.7 Struktur perawatan (IAEA Safety Guide)</u>	28
<u>Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian</u>	33
<u>Gambar 3.2 Diagram Keputusan RCM (Moubray, 1997)</u>	34
<u>Gambar 3.3 Lembar kerja keputusan RCM (Moubray, 1997)</u>	35
<u>Gambar 3.4 Ringkasan tahapan setelah RCM (Moubray, 1997)</u>	36
<u>Gambar 3.5 Diagram Keputusan RCM II (Moubray, 1997)</u>	36
<u>Gambar 3.6 Hubungan Kehandalan dengan Biaya (Balagurusamy, 1994)</u>	38
<u>Gambar 4.1 Grafik interval perawatan pada <i>absorber</i></u>	47
<u>Gambar 4.2 Grafik interval perawatan pada <i>regenerator</i></u>	50
<u>Gambar 4.3 Grafik interval perawatan pada <i>amine flash drum</i></u>	53
<u>Gambar 4.4 Grafik interval perawatan pada <i>amine exchanger</i></u>	57
<u>Gambar 4.5 Grafik interval perawatan pada <i>reflux pump</i></u>	63
<u>Gambar 4.6 Grafik interval perawatan pada <i>amine reboiler</i></u>	67
<u>Gambar 4.7 Grafik interval perawatan pada <i>control valve</i></u>	73
<u>Gambar 4.8 Grafik interval perawatan pada <i>amine cooler</i></u>	77
<u>Gambar 4.9 Profit yang diperoleh setiap peralatan</u>	78

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

<u>Tabel 2.1 Klasifikasi severity peralatan</u>	9
<u>Tabel 2.2 Tabel klasifikasi kejadian peralatan</u>	10
<u>Tabel 2.3 Klasifikasi deteksi peralatan</u>	11
<u>Tabel 2.4 Klasifikasi deteksi peralatan (lanjutan)</u>	12
<u>Tabel 2.5 Vessel, Subdivisi pada Maintainable Items</u>	18
<u>Tabel 2.6 Vessel, Subdivisi pada Maintainable Items (lanjutan)</u>	19
<u>Tabel 2.7 Heat exchanger, Sub divisi dalam item perawatan</u>	20
<u>Tabel 2.8 Subdivisi pada item perawatan pompa</u>	22
<u>Tabel 3.1 Data failure rate peralatan proses sebelum dilakukan optimisasi</u>	40
<u>Tabel 3.2 Data time interval pada kondisi aktual</u>	41
<u>Tabel 3.3 Data Maintenance Cost</u>	42
<u>Tabel 3.4 Time to repair untuk perawatan pencegahan & perbaikan</u>	42
<u>Tabel 4.1 Lembar FMEA untuk absorber</u>	45
<u>Tabel 4.2 RCM Decision Diagram pada Absorber</u>	46
<u>Tabel 4.3 Perbandingan downtime pada absorber</u>	48
<u>Tabel 4.4 Hasil perhitungan biaya perawatan total untuk absorber</u>	48
<u>Tabel 4.5 Lembar FMEA untuk absorber</u>	49
<u>Tabel 4.6 RCM Decision Diagram pada Regenerator</u>	49
<u>Tabel 4.7 Perbandingan downtime pada regenerator</u>	51
<u>Tabel 4.8 Hasil perhitungan biaya perawatan total untuk regenerator</u>	51
<u>Tabel 4.9 Lembar FMEA untuk flash drum</u>	52
<u>Tabel 4.10 RCM Decision Diagram Amine Flash Drum</u>	52
<u>Tabel 4.11 Perbandingan downtime pada flash drum</u>	54
<u>Tabel 4.12 Hasil perhitungan biaya perawatan total untuk flash drum</u>	54
<u>Tabel 4.13 Lembar FMEA untuk amine exchanger</u>	55
<u>Tabel 4.14 RCM Decision Diagram Lean/Rich Amine Exchanger</u>	55
<u>Tabel 4.15 Perbandingan downtime pada amine exchanger</u>	58
<u>Tabel 4.16 Hasil perhitungan biaya perawatan total untuk amine exchanger</u>	58
<u>Tabel 4.17 Lembar FMEA untuk reflux pump</u>	59
<u>Tabel 4.18 RCM Decision Diagram Amine Reflux Pump</u>	60
<u>Tabel 4.19 Perbandingan downtime pada reflux pump</u>	64
<u>Tabel 4.20 Hasil perhitungan biaya perawatan total untuk reflux pump</u>	64
<u>Tabel 4.21 Lembar FMEA untuk reboiler</u>	65
<u>Tabel 4.22 RCM Decision Diagram Amine Reboiler</u>	65
<u>Tabel 4.23 Perbandingan downtime pada reboiler</u>	68
<u>Tabel 4.24 Hasil perhitungan biaya perawatan total untuk reboiler</u>	68

<u>Tabel 4.25 Lembar FMEA untuk control valve</u>	69
<u>Tabel 4.26 RCM Decision Diagram <i>Control Valve</i></u>	69
<u>Tabel 4.27 Perbandingan downtime pada control valve</u>	73
<u>Tabel 4.28 Hasil perhitungan biaya perawatan total untuk control valve</u>	74
<u>Tabel 4.29 Lembar FMEA untuk amine cooler</u>	75
<u>Tabel 4.30 RCM Decision Diagram Lean Amine Cooler</u>	75
<u>Tabel 4.31 Perbandingan downtime pada <i>amine cooler</i></u>	77
<u>Tabel 4.32 Hasil perhitungan biaya perawatan total untuk amine cooler</u>	78
<u>Tabel 4.33 Pengklasifikasian Interval Perawatan Berdasar Kritikalitas Peralatan</u>	79
<u>Tabel 4.34 Penjadwalan perawatan peralatan proses gas sweetening</u>	80

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini perkembangan teknologi telah memasuki era industri 4.0 dimana penggunaan teknologi informasi telah meluas diberbagai aspek. Salah satu penerapannya pada industri pengolahan gas yang juga menerapkan prinsip ekonomi yaitu pengeluaran (*cost*) dibuat seminimal mungkin untuk memperoleh hasil semaksimal mungkin. Pada industri pengolahan gas biaya terbesar pada saat plant beroperasi terletak pada *production cost* dan *maintenance cost*. Perawatan terhadap suatu komponen yang terlalu sering akan membuat *maintenance cost* tinggi namun *production cost* dapat ditekan dan demikian juga sebaliknya. Hal ini dikarenakan dengan kehandalan yang tinggi maka performance peralatan akan semakin bagus sehingga biaya pengoperasian dapat ditekan, namun diperlukan interval perawatan yang lebih sering yang mengakibatkan biaya perawatan membengkak. PT Saka Energi sebagai salah satu perusahaan pengolahan gas dalam operasinya menggunakan banyak peralatan dan komponen, sehingga diperlukan perawatan terhadap berbagai peralatan tersebut untuk menjaga performancenya.

Untuk melakukan analisis kehandalan suatu komponen sangat erat kaitannya dengan data *failure rate* dari suatu komponen. Jika suatu komponen mempunyai nilai *failure rate* besar maka dapat disimpulkan bahwa *availability* dari komponen tersebut rendah. Salah satu penyebab hal ini adalah perawatan yang tidak berjalan dengan efektif sehingga mengakibatkan kualitas produk menurun dan biaya operasi membengkak (Rahmat, 2015). Untuk itu perlu dilakukan kajian perawatan yang salah satunya dapat menggunakan metode *Reliability Centred Maintenance* (RCM) yaitu pemilihan metode perawatan dan pemilihan komponen atau teknologi berdasarkan berdasarkan *failure rate* (λ) yang terbaik. Metodologi ini digunakan untuk mencapai safety dan reliability dari pengoperasian suatu instalasi dalam bentuk *cost-efficient* dan *cost-effective* (Riswanto *et al.*, 2017). Filosofi dari RCM dilakukan dengan perawatan pencegahan, perawatan prediktif, pemantauan secara *real-time*, *run-to-failure* dan teknik perawatan proaktif yang

terintegrasi untuk meningkatkan probabilitas peralatan atau komponen akan tetap berfungsi selama peralatan proses berada dalam siklus hidup desainnya dengan perawatan yang minimum (Afefy, 2010). RCM mempunyai dua langkah pengerjaan yaitu: langkah pertama adalah langkah secara kualitatif dan langkah kedua adalah secara kuantitatif yaitu metode menghitung *reliability* secara matematik menggunakan distribusi yang sering digunakan seperti normal, eksponensial dan weibull (Riswanto, 2018). Metode RCM dapat digunakan untuk mencari jenis, penyebab, penanganan dan pencegahan untuk kegagalan suatu komponen. Tujuan akhir dari RCM adalah mendapatkan perawatan yang optimum dengan cara menghilangkan *maintenance action* yang tidak diperlukan dan melakukan *scheduling* perawatan yang paling optimal (Moubray, 1997). *Downtime* merupakan jenis *shutdown* yang dipaksa sehingga mengakibatkan *shutdown* yang tidak direncanakan. Hal ini terjadi akibat kegagalan suatu sistem, sehingga selama waktu perbaikan terjadi kerugian akibat *plant* tidak berproduksi. Selain itu *downtime* didefinisikan sebagai fungsi waktu ketika komponen sistem tidak dapat berfungsi dengan baik. Prinsip dasar manajemen perawatan adalah untuk menekan periode kerusakan (*breaken period*) sampai batas minimum. Oleh karena itu, penggantian komponen sistem berdasarkan *downtime* minimum melalui penentuan interval perawatan pencegahan (*scheduling*) yang optimal menjadi sangat penting (Gasper, 1992). *Scheduling* memainkan peranan penting dalam manufakturing yang baik dalam kerangka waktu keberterimaan pada saat mengambil batasan yang berbeda dalam perhitungan. *Scheduling* layak untuk memaksimalkan efisiensi operasi dan meningkatkan keuntungan dengan mengurangi biaya manufaktur (Branke *et al.*, 2016).

Masalah utama pada proses *gas sweetening* adalah laju korosi yang tinggi yang biasanya disebabkan oleh klorida, perlu mendapatkan perhatian keselamatan yang serius. Korosi yang tinggi ini akan mengakibatkan biaya perbaikan membengkak, berpotensi merugikan lingkungan dan kehilangan produksi. Berdasarkan survei yang dilakukan oleh *National Assosiation of Corrosion Engineers* (NACE) menunjukkan bahwa 60 % dari total *amine plant* yang disurvei *stress corrosion cracking* pada absorber (Shao *et al.*, 2002). Fouling

merupakan salah satu masalah paling penting pada HE akibat adanya akumulasi dan pembentukan material yang tidak diinginkan pada bagian tube HE. Fouling ini akan mengakibatkan penurunan kapasitas perpindahan panas dan kenaikan pressure drop pada HE (Ardsomang *et al*, 2013). Optimisasi bertujuan untuk meningkatkan keuntungan dengan biaya seminimal mungkin (Patria, 2011). Optimalisasi hasil dari RCM dilakukan dengan mengkonversi hasil penilaian kualitatif menjadi penilaian kuantitatif sehingga hasil yang diperoleh dapat dioptimisasi menggunakan algoritma dan akan diperoleh nilai *maintenance cost* yang paling optimal dengan menggunakan algoritma sebagai *tools* untuk melakukan optimisasi (Riswanto *et al.*, 2017). Metode GA merupakan metode yang dapat memecahkan permasalahan rumit, dimensi yang tinggi, deskrit, non-linier dan diskontinyu (Redutskiy, 2017). Dengan menggunakan metode GA memungkinkan untuk mendapatkan keseimbangan antara *reliability* dengan *maintenance cost* (Riswanto *et al.*, 2017). Model simulasi terakhir untuk menentukan frekuensi *shutdown* selama periode *overhaul* sistem, perawatan preventif dan korektif, dan inspeksi pada pabrik gula. Mereka menggunakan model simulasi bergantung waktu untuk meminimalkan biaya total (Mathew, 1993).

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan penjadwalan perawatan dengan menggunakan distribusi statistik, sehingga belum mempertimbangkan metode optimisasi. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian terkait optimisasi dalam rangka menentukan penjadwalan perawatan peralatan proses pada proses *gas sweetening*. Hal ini perlu dilakukan karena dampak kegagalan peralatan pada proses ini dapat merugikan lingkungan, membuat kehilangan aset dan bahkan dapat mencederai manusia dan selain itu akan menurunkan profit perusahaan. Selanjutnya hasil analisa berupa interval perawatan yang optimal dengan mempertimbangkan *downtime*. Oleh karena itu topik penelitian yang akan diangkat pada tugas akhir ini adalah Optimisasi Untuk Menentukan Jadwal Perawatan Peralatan Proses Pada *Plant Gas Sweetening*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini meliputi :

- a. Bagaimana menganalisa RPN setiap peralatan berdasarkan hasil evaluasi indeks kritikalitas.
- b. Bagaimana melakukan optimisasi untuk menentukan *time interval* perawatan yang optimal berdasar pembobotan RPN.
- c. Bagaimana menentukan biaya perawatan total untuk menguji *time interval* perawatan yang diusulkan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini antara lain:

- a. Menganalisa RPN setiap peralatan berdasarkan hasil evaluasi indeks kritikalitas.
- b. Melakukan optimisasi untuk menentukan *time interval* perawatan yang optimal berdasar data RPN.
- c. Menentukan biaya total perawatan untuk menguji *time interval* perawatan yang diusulkan.
- d. Menentukan profit dari biaya total perawatan.

1.4 Lingkup Kajian

Lingkup kajian dalam penelitian ini meliputi:

- a. Identifikasi data kegagalan setiap peralatan dalam satu periode.
- b. Analisis indeks kritikalitas untuk menentukan RPN.
- c. Optimisasi menggunakan GA untuk menentukan *time interval* yang optimal.
- d. Menentukan biaya total perawatan dalam rangka menghitung profit hasil penjadwalan perawatan yang diusulkan.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Kegagalan dan Mode Kegagalan

Berdasarkan pengalaman selama ini data kegagalan dari berbagai peralatan secara umum dapat dijelaskan dalam kurva *bath tube* seperti ditunjukkan pada gambar 2.1 (Balagurusamy, 1994), yang terdiri dari:

- Periode *burn-in* yaitu kegagalan awal yang diakibatkan oleh cacat ketika manufakturing.
- *Useful life* yaitu pada periode operasi yang panjang terdapat beberapa kegagalan yang dilaporkan namun sulit untuk memprediksi amplitudo dari variasi stress dan waktu kejadiannya. Ini merupakan periode operasi normal dan dikarakterisasi melalui kegagalan konstan per unit waktu, sehingga untuk memitigasinya perlu dilakukan perawatan pencegahan dan perbaikan.
- *Wear-out region* yaitu seiring berjalannya waktu maka unit akan mengalami keusangan dan mulai mengalami penurunan akibat parameter melampaui batasan kegagalan unit yang dapat diterima. Pada periode ini *failure rate* meningkat sehingga untuk memitigasinya perlu dilakukan pembaharuan terhadap peralatan dan memperketat frekuensi perawatan.



Gambar 2.1 Kurva bath-tube (Balagurusamy, 1994)

Jika kita mampu mendeteksi indikasi ini, kita dapat mengambil tindakan yang diperlukan untuk menghindari konsekuensi kegagalan. Kita juga dapat menjadwalkan perawatan terhadap peralatan yang paling tepat dari sisi bisnis

daripada membiarkan peralatan untuk mengontrol waktu kegagalan. Hasilnya adalah respons yang jauh lebih proaktif terhadap masalah, lingkup perbaikan yang lebih rendah karena berkurangnya kerusakan kolateral, pengurangan biaya secara keseluruhan, dan diharapkan *downtime* yang lebih singkat per insiden (Hawkins, 2016). *Downtime* merupakan kerugian ekonomi yang ditimbulkan akibat kegagalan peralatan. Program perawatan pencegahan yang efektif akan mampu mengurangi frekuensi kerusakan mesin, sehingga dapat menekan *downtime* secara signifikan (Worsham, 2000).

Pada dasarnya terdapat dua pendekatan perawatan yang disebut perawatan korektif dan perawatan pencegahan. Perawatan korektif dilakukan setelah terjadi kegagalan dalam peralatan. Sedangkan perawatan pencegahan dilakukan jauh sebelum kegagalan peralatan (Gandhare, 2016). Selanjutnya periode penting dari *life cycle* pada sistem adalah periode operasinya, untuk itu perlu dilakukan perawatan preventif untuk mengeliminasi kegagalan secara luas dan diharapkan mampu memperbaiki kehandalan & *availability* sistem secara keseluruhan. Tujuan melakukan perawatan preventif adalah untuk mempertahankan atau memperpanjang waktu layanan dari sistem dengan mengendalikan degradasi dan kegagalan sampai level yang dapat diterima (Booker *et al.*, 1994).

2.2 Penentuan Komponen Kritis

Komponen kritis adalah kondisi suatu komponen yang berpotensi mengalami kerusakan yang berpengaruh pada kehandalan operasional unit sistem. Sebuah peralatan akan masuk kedalam golongan unit kritis apabila (Assauri, 2008):

- a) Kerusakan peralatan tersebut akan membahayakan kesehatan dan keselamatan para pekerja
- b) Kerusakan peralatan ini akan mempengaruhi kualitas dari produk yang dihasilkan.
- c) Kerusakan peralatan ini akan mengakibatkan kemacetan seluruh proses produksi.

- d) Modal yang ditanamkan dalam fasilitas tersebut atau harga dari fasilitas ini adalah cukup besar dan mahal.

Selanjutnya penilaian komponen kritis dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan critical analysis dengan menggunakan empat kriteria yaitu (Adigama, 2011):

- a) Frekuensi kerusakan tinggi

Frekuensi kerusakan yang tinggi pada suatu komponen jika tidak segera dilakukan tindakan perbaikan dapat merambat ke komponen utama yang berpotensi menimbulkan unit tidak dapat beroperasi.

- b) Dampak kerusakan pada sistem

Apabila terjadi kerusakan pada komponen akan menyebabkan sistem tidak berfungsi maksimal atau gagal menjalankan fungsinya.

- c) Pembongkaran dan pemasangannya sulit

Penggantian terhadap komponen yang rusak harus dilakukan pembongkaran, komponen diperbaiki atau diganti yang baru, kemudian dilakukan pemasangan kembali. Faktor yang mempengaruhi kriteria ini antara lain:

- d) Deteksi

Metode deteksi mencakup penggunaan sistem alarm, sensor dan inspeksi. Tujuan dari metode ini adalah untuk mengidentifikasi potensi kegagalan pada suatu peralatan.

2.3 Persamaan Yang Digunakan Untuk Pemodelan

Fungsi failure rate membahas seberapa besar kemungkinan sebuah item mampu bertahan hingga waktu t , kemudian akan gagal selama unit waktu berikutnya. Untuk memberikan definisi matematis dari nilai fungsi kegagalan dimulai dengan waktu kegagalan (T) dari sistem. Pada umumnya tidak mungkin untuk memprediksi nilai eksak saat gagal dan T , oleh karena itu menjadi variabel acak dengan beberapa distribusi (OREDA, 2002).

Untuk menentukan estimator *failure rate* (λ) diberikan oleh persamaan berikut ini:

$$\lambda = \frac{\text{jumlah kegagalan}}{\text{total waktu inservice}} \quad (2.1)$$

Persamaan diatas hanya berlaku jika:

- Waktu kegagalan untuk jumlah item yang ditentukan dengan nilai kegagalan λ tersedia.
- Data (beberapa kegagalan) tersedia untuk satu item selama periode waktu dan nilai kegagalan λ konstan selama periode ini.
- Kombinasi dari dua situasi diatas (OREDA, 2002)

Selanjutnya suatu peralatan proses yang dioperasikan terus-menerus akan mengakibatkan *reliability* menurun seiring dengan berjalannya waktu. *Reliability* $R(t)$ dirumuskan sebagai berikut:

$$R(t) = e^{-\lambda.t} \quad (2.2)$$

Hasil FMEA umumnya menunjukkan mode kegagalan potensial, mekanisme kegagalan, efek kegagalan, metode deteksi, ketentuan kompensasi dan *severity* dari sub unit (Ibrahim, 2015). Analisis FMEA memfokuskan pada penyebab kerusakan dan mekanisme terjadinya kerusakan (Moubrey, 2001). Ketika penyebab dan mekanisme kerusakan telah diidentifikasi untuk setiap failure mode, selanjutnya dapat diberikan saran untuk waktu pelaksanaan perawatan pencegahan atau perencanaan tindakan monitoring untuk menurunkan failure rate (Hidayat, 2010). FMEA menghasilkan nilai RPN, sedangkan RCM II decision worksheet untuk menentukan kebijakan kegiatan maintenance yang sesuai dengan penggunaan RCM II decision diagram. Risk Priority Number (RPN) adalah pengukuran dari sebuah resiko yang bersifat relatif. RPN ditentukan sebelum mengimplementasikan rekomendasi dari tindakan perbaikan, sehingga dapat digunakan untuk mengetahui bagian manakah yang menjadi prioritas perbaikan berdasarkan nilai RPN tertinggi (Ibrahim, 2015). Untuk melakukan perhitungan RPN digunakan persamaan berikut ini:

$$RPN = \text{Detection} \times \text{Occurance} \times \text{Severity} \quad (2.3)$$

1) Severity

Severity adalah tingkat keparahan atau efek yang ditimbulkan oleh mode kegagalan terhadap keseluruhan mesin. Semakin tinggi nilai *severity* menunjukkan

semakin tingginya potensi bahaya yang dihasilkan apabila terjadi kegagalan pada peralatan sehingga untuk mengamankan aset diperlukan sistem proteksi dan kendali yang bagus. Tingkat *severity* secara umum dapat dilihat pada tabel 2.1 (Wahyunugraha, 2013).

Tabel 2.1 Klasifikasi severity peralatan

Rangking	Severity	Deskripsi
10	Berbahaya tanpa peringatan	Kegagalan sistem menghasilkan efek yang sangat berbahaya
9	Berbahaya dengan peringatan	Kegagalan sistem menghasilkan efek berbahaya
8	Sangat tinggi	Sistem tidak beroperasi
7	Tinggi	Sistem beroperasi tetapi tidak dapat dijalankan secara penuh
6	Sedang	Sistem beroperasi dan aman tetapi mengalami penurunan performa sehingga mempengaruhi output
5	Rendah	Mengalami penurunan kinerja secara bertahap
4	Sangat rendah	Efek yang kecil pada performa sistem
3	Kecil	Sedikit pengaruh pada kinerja sistem
2	Sangat kecil	Efek yang diabaikan pada kinerja sistem
1	Tidak ada efek	Tidak ada efek

Sumber: Wahyu Nugraha, dkk (2013)

2) Occurance

Occurance adalah sebuah penilaian dengan tingkatan tertentu yang menyatakan kemungkinan suatu kegagalan akan terjadi. Dari data lapangan dapat dianalisa tren terjadinya frekuensi kegagalan suatu peralatan. Semakin tinggi nilai kejadian menunjukkan frekuensi kegagalan suatu peralatan semakin besar. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan perawatan yang lebih ketat (Wahyunugraha, 2013). Meningkatnya frekuensi kejadian kegagalan peralatan saat dioperasikan

menunjukkan potensi terjadinya aging dan keusangan pada peralatan. Tingkat kejadian secara umum dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Tabel klasifikasi kejadian peralatan

Rangking	Occurance	Deskripsi
10	Sangat tinggi	Sering gagal
9		
8	Tinggi	Kegagalan yang berulang
7		
6	Sedang	Jarang terjadi kegagalan
5		
4		
3	Rendah	Sangat kecil terjadi kegagalan
2		
1	Tidak ada efek	Hampir tidak ada kegagalan

Sumber: Wahyu Nugraha, dkk (2013)

3) Detection

Deteksi adalah pengukuran terhadap kemampuan mengendalikan kegagalan yang dapat terjadi. Metode deteksi yang umum digunakan adalah penggunaan sistem alarm, sensor dan inspeksi. Semakin besar nilai deteksi menunjukkan program perawatan preventif tidak efektif untuk mendeteksi potensi kegagalan suatu peralatan. Apabila hal ini terjadi maka perlu strategi perawatan yang tepat untuk memitigasi hal tersebut. Strategi perawatan yang umum digunakan adalah menganalisa peralatan mana saja yang perlu diberikan tambahan perawatan, memperketat frekuensi perawatan dan analisa metode perawatan terbaru yang lebih efektif. Selanjutnya jenis kegiatan perawatan untuk mengatasi hal ini adalah perawatan prediktif, perawatan pencegahan berbasis waktu dan perawatan pencegahan berbasis kondisi peralatan. Selain itu untuk peralatan dengan teknologi tinggi telah dilengkapi self diagnostic untuk mendeteksi potensi kegagalan yang akan terjadi. Hasil pengklasifikasian deteksi dapat dilihat pada tabel 2.3 (Wahyunugraha, 2013).

Tabel 2.3 Klasifikasi deteksi peralatan

Rangking	Detection	Deskripsi
10	Tidak pasti	Perawatan preventif tidak akan selalu pasti mampu untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
9	Sangat kecil	Perawatan preventif mempunyai kemungkinan very remote untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
8	Kecil	Perawatan preventif mempunyai kemungkinan remote untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme dan mode kegagalan
7	Sangat rendah	Perawatan preventif mempunyai kemungkinan sangat rendah untuk mampu mendeteksi penyebab potensial dan mode kegagalan
6	Rendah	Perawatan preventif mempunyai kemungkinan rendah untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme dan mode kegagalan
5	Sedang	Perawatan preventif mempunyai kemungkinan moderate untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme dan mode kegagalan
4	Menengah keatas	Perawatan preventif mempunyai kemungkinan moderately high untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme dan mode kegagalan
3	Tinggi	Perawatan preventif mempunyai kemungkinan tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme dan mode kegagalan
2	Sangat tinggi	Perawatan preventif mempunyai kemungkinan sangat tinggi untuk mendeteksi penyebab

Tabel 2.4 Klasifikasi deteksi peralatan (lanjutan)

Rangking	Detection	Deskripsi
		potensial atau mekanisme dan mode kegagalan.
1	Hampir pasti	Perawatan preventif akan selalu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme dan mode kegagalan.

Sumber: Wahyu Nugraha, dkk (2013)

2.4 Maintenance Cost

Nilai RPN ini digunakan sebagai dasar untuk optimisasi dalam rangka menemukan interval perawatan yang optimal. Metode yang digunakan dalam optimisasi adalah pembobotan harga RPN yang dikorelasi dengan interval perawatan. Selanjutnya untuk mengkuantifikasi secara komprehensif terhadap interval perawatan hasil optimisasi dilakukan dengan cara menghitung biaya total perawatan yang dirumuskan oleh persamaan dibawah ini (Savsar 2013).

(2.4)

(2.5)

(2.6)

dimana:

PMC adalah biaya total perawatan pencegahan

T adalah periode operasi

T_i adalah *time interval*

C_{pm} adalah biaya perawatan pencegahan

N adalah jumlah peralatan

CMC adalah biaya total perawatan perbaikan

TI adalah total time interval

C_{cm} adalah biaya perawatan perbaikan

DTC adalah biaya total downtime

N_{dt} adalah jumlah kegagalan dalam satu periode

TTR adalah waktu yang diperlukan untuk setiap perbaikan

C_{dt} adalah biaya per jam downtime

2.5 Strategi Perawatan

Pada dasarnya terdapat dua pendekatan perawatan yang disebut perawatan korektif dan perawatan pencegahan (Duffuaa, 1997). Perawatan korektif dilakukan setelah peralatan mengalami kegagalan, tujuan perawatan ini mengembalikan fungsi peralatan ke kondisi awal dan pelaksanaannya tidak terjadwal. Sedangkan perawatan pencegahan dilakukan jauh sebelum peralatan mengalami kegagalan yang dibagi: berdasar waktu dan berdasar kondisi (Gandhare, 2016). *Failure rate* meningkat dengan meningkatnya frekuensi perawatan pencegahan (Nakagawa, 1988). Keterkaitan strategi perawatan dan biaya total telah dipertimbangkan sebagai fungsi dari kegiatan perawatan pencegahan dan korektif untuk setiap *shutdown* atau kegalan dalam jalur produksi (Salah, 1999). Perawatan pencegahan terdiri dari: inspeksi, pembersihan, pelumasan, *alignment* dan penggantian komponen yang habis pakai. Perawatan pencegahan pada HE didefinisikan sebagai periodik, prediktif atau aktivitas terencana yang dilakukan pada HE sebelum gagal. Tujuan melakukan perawatan pencegahan adalah untuk mempertahankan atau memperpanjang waktu layanan dari HE dengan mengendalikan degradasi dan kegagalan sampai level yang dapat diterima (Booker *et al.*, 1994).

Selanjutnya strategi perawatan pencegahan berbasis waktu adalah penggantian komponen pada saat tertentu dengan asumsi masa pakai komponen dapat diprediksi dan perawatan berdasarkan waktu berjalan. Perawatan berdasar kondisi menggunakan strategi perawatan yang bergantung pada data terukur, misalnya vibrasi. Selanjutnya dari analisa data dapat diambil keputusan apakah nilai level pemantauan melampaui komponen normal untuk dilakukan tindakan perbaikan atau penggantian (Gandhare, 2016). Terlepas dari pendekatan preventif, beberapa kegagalan dapat terjadi karena ketidakpastian dari distribusi kegagalan yang kadang-kadang lebih pendek dari interval perawatan (R. Ahmed, 2011 dalam Gandhare, 2016).

Strategi kegiatan perawatan periodik pada HE didasarkan pada jam operasi, jumlah siklus atau waktu kalender. Jenis kegiatan perawatan periodik pada

HE meliputi penggantian gasket dan komponen terbaharui lainnya, verifikasi torsi paling cepat dan inspeksi untuk kebocoran luar dan/atau kondisi abnormal lainnya (Booker *et al.*, 1994).

Kegiatan perawatan prediktif mencakup pemantauan kondisi parameter operasi HE secara kontinyu dan periodik dan/atau pengujian kinerja fungsional dari HE. Elemen perawatan prediktif juga mencakup pengumpulan data, analisis, diagnosa dan tren untuk menentukan kondisi material dan karakteristik kinerja dari HE. Selanjutnya jenis kegiatan perawatan prediktif pada HE mencakup pemantauan getaran, pengujian kinerja thermal, pemantauan kehilangan tekanan, pengujian *eddy current* dan pengujian kebocoran (Booker *et al.*, 1994).

Model simulasi strategi perawatan sistem manufaktur dibangun untuk mengintegrasikan jadwal perawatan reaktif dan proaktif agar mampu meningkatkan produktivitas dari operasi (Sawhney *et al.*, 2004). Dua model optimisasi telah ditentukan untuk mengestimasi nilai degradasi dari faktor pengurang umur, yang dapat meminimalkan biaya untuk mencapai kehandalan yang ditentukan. Model pertama mempunyai interval waktu perawatan pencegahan secara periodik untuk setiap penggantian. Model kedua yang berisi jadwal perawatan dimana interval waktu antara perawatan terakhir dan penggantian tidak konstan (Cheng *et al.*, 2007).

2.6 Process Flow Diagram (PFD) Gas Sweetening

PFD merupakan gambar yang menjelaskan proses pada proses *gas sweetening*. Hidrokarbon atau aliran yang kaya H_2 yang diolah diumpankan ke dasar menara *absorber (scrubber)* dan secara berlawanan arah menuju ke bagian hulu melalui kontak terdekat pada pembungkus atau nampan absorber. Pelarut amina berfungsi menyerap H_2S , CO_2 dan gas asam. Aliran karbon yang diolah mempunyai kandungan gas asam rendah (*sweet*) akan mengalir ke atas dari menara absorber.

Pelarut yang meninggalkan dasar menara absorber (mengandung H_2S dan CO_2 yang tinggi) dikirim ke *hydrocarbon flash/skimming drum* yang juga berfungsi memberikan lonjakan kapasitas kaya pelarut yang selanjutnya dipanaskan terlebih dahulu pada *exchanger* dan diumpankan ke *regenerator* tekanan rendah didekat bagian atas menara. *Reboiler* menambahkan panas ke dasar *regenerator*

mengakibatkan bagian pelarut menguap sehingga memberikan aliran uap *stripping* keatas pada menara *regenerator* dan selanjutnya mengkondensasi sebagian *regenerator* untuk menyuplai panas selama reaksi desorpsi gas asam endotermik dan untuk memanaskan pelarut.

Uap air dan gas asam dari pelarut yang kaya mengalir dari bagian atas menara *regenerator* dan didinginkan hingga embun menjadi bagian utama dari uap air. Embun dikumpulkan dan secara kontinyu didaur ulang kembali ke sistem untuk mencegah kehilangan air dari sistem dan oleh karena itu mempertahankan keseimbangan air. Selanjutnya direfluks kembali ke atas *regenerator* untuk menghilangkan jejak dari uap alkanolamina dari aliran yang meninggalkan bagian atas menara.

Pelarut panas yang meninggalkan dasar menara *regenerator* memiliki kandungan H_2S dan CO_2 (lean) rendah. Setelah pendinginan parsial pada bagian pelarut yang kaya oleh *heat exchanger*, selanjutnya pendingin *lean* didinginkan oleh penukar panas dengan air dingin atau udara dan dipompa ke bagian atas menara absorber untuk melengkapi sirkuit pelarut. Banyak permasalahan operasi yang dapat dicegah jika lonjakan volume dan penyaringan diberikan untuk pelarut lean dan pelarut lean diumpankan ke setiap absorber dibawah kendali aliran. (Patria, 2011).

A. Absorber

Proses absorpsi pada *gas sweetening plant* meliputi pemisahan gas asam dan komponen-komponen lain dari fase gas melalui transportasi kedalam fase cair. Lapisan gas cair memisahkan fase-fase tersebut. Gas yang terabsorpsi kedalam cairan pada lapisan kemudian didifusikan melintasi lapisan layer dari cairan (*diffusion layer*). Ketika gas asam terdifusi maka gas akan bereaksi dengan komponen amina didalam larutan. Reaksi tersebut akan menghasilkan panas dan produk reaksi seperti karbamat dan karbonat. Produk reaksi tersebut didifusikan ke dalam *liquid bulk* sementara panas reaksi digunakan untuk memanaskan cairan dan ditransfer ke dalam fase uap. Diameter *absorber* ditentukan secara primer dengan laju aliran dari *inlet* gas umpan. Nilai sirkulasi larutan amina ditentukan melalui perhitungan pembebanan keseimbangan yang ketat berdasar pada gas asam yang terkandung dalam gas asam *inlet*, kekuatan pelarut amina, volume *inlet* gas asam

dan jenis amina. Suhu pelarut amina yang masuk ke *absorber* harus lebih tinggi daripada suhu *inlet* gas untuk mencegah kondensasi hidrokarbon pada kontaktor yang dapat mengakibatkan *foaming*. Suhu pelarut *lean* yang tinggi mengakibatkan performa pelarut menurun akibat permasalahan keseimbangan H_2S pada bagian atas *tray* absorber atau meningkatnya kehilangan pelarut akibat kehilangan penguapan yang berlebih.

Instrumen tekanan differensial harus dipasang pada menara absorber dan stripper untuk memonitor tekanan differensial yang melewati *tray* atau pembungkus. Tekanan differensial harus diukur dari bawah *tray* pertama atau bagian atas dari *tray* terakhir. Peningkatan tajam pada tekanan differensial *absorber* adalah indikasi terbaik bahwa permasalahan *foaming* telah terjadi dalam sistem.

B. *Stripper/reboiler*

Tujuan stripper adalah untuk membangkitkan kembali pelarut amina melalui *stripping* amina yang kaya H_2S dan CO_2 dengan uap dibangkitkan oleh *reboiler*. Sebagian besar *stripping* terjadi pada *stripper* daripada dalam *reboiler*. Jika substansial *stripping* terjadi pada *reboiler*, korosi berlebih dan kegagalan prematur tube *reboiler* mungkin terjadi, terutama pada aplikasi dengan CO_2 yang besar. Regenerasi perlu untuk mencapai rasio *reflux* antara 1 s/d 3. Untuk memastikan kecukupan *stripping* pada saat pemanfaatan energi optimisasi pada waktu yang sama, pengendalian input panas ke *reboiler* harus dilakukan dengan monitoring suhu *overhead stripper*. Suhu *overhead* berkaitan secara langsung dengan input energi *reboiler*.

C. *Regenerator*

Regenerator dioperasikan pada tekanan serendah-rendahnya untuk meminimalkan suhu pada menara sehingga mengurangi korosi dan degradasi alkanolamina. *Regenerator* dioperasikan pada refluks total, seluruh cairan yang diembunkan dari atas dipompa kembali ke atas menara diatas titik umpan pelarut amina yang kaya. Daur ulang ini diembunkan kembali ke unit amina untuk membantu mengurangi kehilangan alkanolamina. Ketika unit hidrokarbon mengkonversi zat asam organik kedalam H_2S untuk membuang sisa gas asam melalui penyerapan pada *amine scrubber*. Hal ini akan menghasilkan amina yang diperkaya H_2S yang akan dipompa ke bagian atas kolom *regenerator* amina.

Disinin, aliran balik bersentuhan dengan uap panas dari *reboiler regenerator amina* di dasar kolom. H_2S selanjutnya ditinggalkan dan dipulihkan dari atas kolom, sedangkan *lean amine* dengan jumlah H_2S seimbang dipulihkan dari dasar. *Reflux water* diumpankan ke bagian atas kolom untuk menyerap setiap amina yang terbawa dalam bagian perbaikan. Regenerasi amina untuk mencegah kehilangan amina dibagian atas dan secara efektif membuang seluruh H_2S .

D. *Lean/rich* yang melewati HE

Suhu amina kaya meninggalkan absorber berkisar 54 s/d 71 $^{\circ}C$ dan *lean amine* dari reboiler berkisar 115,6 s/d 126,7 $^{\circ}C$. Keluaran amina kaya dari *lean/rich* melalui exchanger adalah jenis yang didesain untuk suhu 93,3 s/d 98,9 $^{\circ}C$. Pengambilan panas pada reboiler dilakukan dengan HE jenis *Shell & Tube*. Permasalahan paling umum pada *lean/rich* yang melalui *exchanger* adalah korosi akibat gas asam pembilas di *outlet exchanger* atau pada pipa umpan amina kaya ke *regenerator*. Pembebanan yang tinggi pada amina mengakibatkan berkurangnya nilai sirkulasi atau konsentrasi pelarut rendah akan meningkatkan potensi pembilasan gas asam. Tekanan yang cukup harus dipertahankan pada sisi pelarut kaya dari penukar *lean/rich* untuk mengurangi pembilasan gas asam dan aliran dua fase yang melewati *exchanger*. Untuk mengurangi pembilas dan aliran dua fase maka harus dipasang *valve* pada amina kaya.

E. *Liquid contactor*

Pemulihan cairan sering menjadi sumber kehilangan dan masalah diakibatkan oleh sistem amina terutama pada unit penyulingan amina. Amina melakukan pemulihan dengan hidrokarbon dapat menjadi sumber utama kehilangan amina serta permasalahan utama hingga ke unit hilir.

F. Pompa *lean amine*

Fungsi utama untuk memindahkan *lean amine* kedalam *amine contactor*. Pompa pada proses *gas sweetening* dibuat redundan sehingga apabila satu gagal maka dapat segera diperbaiki tanpa mengganggu operasi plant. Pompa yang digunakan pada plant *gas sweetening* adalah jenis sentrifugal. Dampak kegagalan pompa mengakibatkan aliran fluida menjadi tidak lancar, sehingga proses penghilangan gas asam dapat terganggu.

G. Control Valve

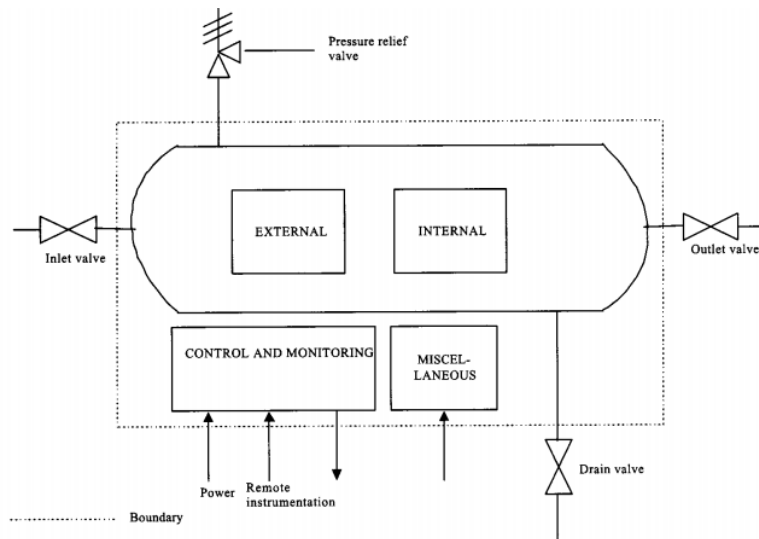
Fungsi utama peralatan ini adalah mengatur kecepatan laju aliran fluida, mengubah arah aliran dan menghentikan aliran.

Selanjutnya gambar PFD dan P&ID yang menjelaskan proses dan peralatan yang digunakan pada proses *gas sweetening* diberikan pada lampiran thesis ini.

2.7 Diskripsi Inventory

A. Vessel

Definisi batasan ditunjukkan pada gambar 2.3 dan definisi sub unit dan item perawatan ditunjukkan pada tabel 2.4. *Inlet*, *outlet*, pelepas tekanan dan *valve* pembuangan secara spesifik dikeluarkan. *Valve* hanya mencakup *valve* kalibrasi dan katub instrumen yang membentuk batasan tekanan (misal *block valve*, *control valve*, katub kalibrasi, indikator lokal/gauge) (OREDA, 2002).



Gambar 2.2 Vessel, definisi batasan (OREDA, 2012)

Tabel 2.5 Vessel, Subdivisi pada Maintainable Items

Vessels			
External	Internal	Control & monitoring	Miscellaneous
• Support	• Body/shell	• Actuating	• Others

Tabel 2.6 Vessel, Subdivisi pada Maintainable Items (lanjutan)

Vessels			
External	Internal	Control & monitoring	Miscellaneous

• Body/shell • Valves & piping • Instruments	• Corrosion protection • Heater • Instruments • Plates, trays, vanes, pads • Sand trap system	• device • Cabling & junction boxes • Control unit • Instruments • Monitoring • Internal power supply • Valves	
--	---	--	--

Sumber: OREDA, 2012

Daftar mode kegagalan

AIR: Abnormal Instrument Reading

ELP: External Leakage – Process Medium

ELU: External Leakage – Utility Medium

SER: Minor In-service Problems

OTH: Other

PDE: Parameter Deviation

PLU: Plugged/Chocked

STD: Structural Deficiency

UNK: Unknown

B. *Heat Exchanger*

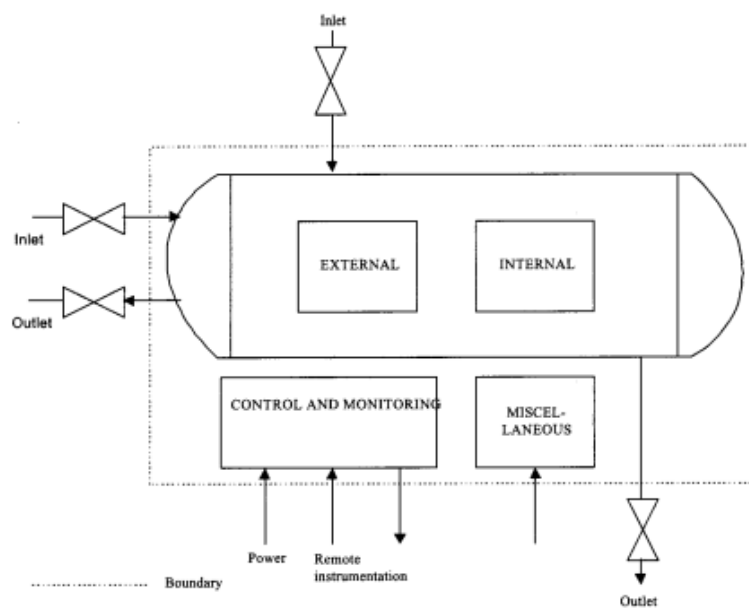
Definisi batasan untuk *Heat Exchanger* ditunjukkan pada gambar 2.4 dan sub divisi yang berkaitan dengan item perawatan ditunjukkan pada tabel 2.5 (OREDA, 2002). Inlet, outlet, pelepas tekanan dan katub pembuangan secara spesifik dikeluarkan. Katub hanya mencakup katub kalibrasi dan katub instrumen yang membentuk batasan tekanan (misal *block valve*, *control valve*, katub kalibrasi, indikator lokal/gauge).

Tabel 2.7 Heat exchanger, Sub divisi dalam item perawatan

Heat Exchanger

External	Internal	Control & monitoring	Miscellaneous
• Support • Body/shell • Valves & piping • Instruments	• Body/shell • Instruments • Platers • Seals (gasket) • Tubes	• Actuating device • Cabling & junction boxes • Control unit • Instruments • Monitoring • Internal power supply • Valves	• Fan w/motor

Sumber: OREDA, 2012



Gambar 2.3 Heat Exchanger, Definisi Batasan (OREDA, 2012)

Daftar mode kegagalan

AIR: Abnormal instrument reading

ELP: External leakage – Process medium

ELU: External leakage – Utility medium

IHT: Insufficient Heat Transfer

INL: Internal Leakage

SER: Minor in Service Problems

OTH: Other

PDE: Parameter Deviation

PLU: Plugged/Chocked

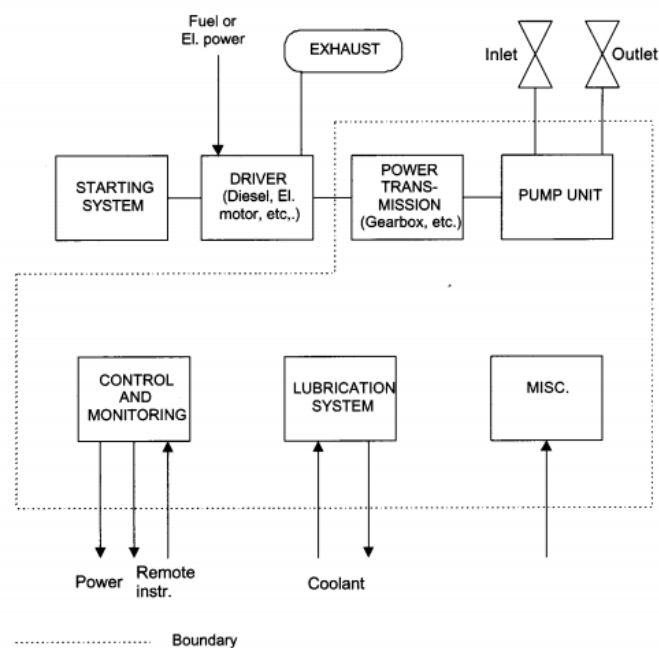
STD: Structural Deficiency

UNK: Unknown

C. Pompa

Deskripsi *inventory* yang menunjukkan batasan pompa ditunjukkan pada gambar 2.5. Selanjutnya pompa dibagi dalam sub unit dan item perawatan seperti ditunjukkan pada tabel 2.6.

Pengendali pompa (misalnya motor) tidak tercakup, *valve inlet & outlet* dan saringan hisap tidak menjadi batasan (OREDA, 2002).



Gambar 2.4 Definisi batasan pompa (OREDA, 2012)

Tabel 2.8 Subdivisi pada item perawatan pompa

Pump				
Power transmission	Pump	Control & monitoring	Lubrication system	Miscellaneous

• Gearbox/variable drive • Bearing • Seals • Lubrication • Coupling to driven • Coupling to driven unit • Instruments	• Support • Casing • Impeller • Shaft • Radial bearing • Thrust bearing • Valves & piping • Cylinder liner • Piston • Diaphragm • Instruments	• Instruments • Cable & junction boxes • Control unit • Actuating devices • Monitoring • Internal power supply • Valves	• Instruments • Reservoir • Heating system • Pump motor • Filter • Cooler • Valves & piping • Oil • Seals	• Purge air • Cooling/heating system • Filter/cyclone • Pulsation damper
---	---	---	---	---

Sumber: OREDA, 2012

Daftar mode kegagalan pada pompa

AIR: Abnormal Instrumen Reading

BRD: Breakdown

ERO: Erratic Output

ELP: External Leakage – Process Medium

ELU: External Leakage – Utility Medium

FTS: Fail to Start on Demand

STP: Fail to Stop on Demand

HIO: High Output

INL: Internal Leakage

LOO: Low Output

SER: Minor in-service problems

NOI: Noise

OTH: Other

OHE: Overheating

PDE: Parameter Deviation

UST: Spurious Stop

STD: Structural Deficiency

UNK: Unknown

VIB: Vibration

2.8 System Function dan Function Failure

Peralatan proses yang digunakan dalam suatu plant mempunyai fungsi tertentu dan secara garis besar dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori fungsi yaitu: pengendali proses (*process control*), perlindungan (*protection*) dan indikator (*indication*). Kegagalan peralatan proses didefinisikan sebagai ketidakmampuan dari setiap aset untuk melakukan apa yang *user* inginkan. *System function* pada RCM memberikan informasi mengenai definisi fungsi dari peralatan yang ada pada suatu sistem di plant, sedangkan *function failure* memberikan informasi bagaimana dampak kegagalan yang terjadi pada sistem terhadap fungsi dari sistem tersebut (Moubray, 1997), seperti yang digambarkan pada gambar 2.6

RCM II INFORMATION WORKSHEET © 1996 ALADON LTD		SYSTEM <i>Cooling Water Pumping System</i>	
		SUB-SYSTEM	
FUNCTION	FUNCTIONAL FAILURE (Loss of Function)	FAILURE MODE (Cause of Failure)	
1 To transfer water from tank X to tank Y at not less than 800 litres/minute	A Unable to transfer any water at all	1 Bearing seizes 2 Impeller comes adrift 3 Impeller jammed by foreign object 4 Coupling hub shears due to fatigue 5 Motor burns out 6 Inlet valve jams closed ... etc	
	B Transfers less than 800 litres per minute	1 Impeller worn 2 Partially blocked suction line ... etc	

Gambar 2.5 Mode kegagalan pada pompa (Moubray, 1997)

2.9 Service Class Type

Jenis kegagalan yang terjadi dapat dikategorikan dalam beberapa kategori dibawah ini:

- Critical failure* ketika kegagalan ini terjadi maka dapat mengakibatkan kerugian langsung dan menyeluruh terhadap kemampuan peralatan dalam menghasilkan keluaran.

- b) *Degraded failure* bukan kegagalan yang sifatnya kritis namun dapat menghambat kinerja peralatan dalam menghasilkan keluaran pada beberapa kondisi. Akan tetapi jenis kegagalan ini dapat meningkat menjadi kritis apabila tidak segera dilakukan mitigasi.
- c) *Incipient failure* ketika kegagalan ini terjadi tidak akan mempengaruhi kinerja peralatan secara langsung, namun apabila tidak diperhatikan maka akan meningkat menjadi degraded failure bahkan dapat meningkat menjadi critical failure dikemudian hari.
- d) *Unknown* kegagalan ini tidak memiliki tingkat keparahan atau tidak dapat terdeteksi.

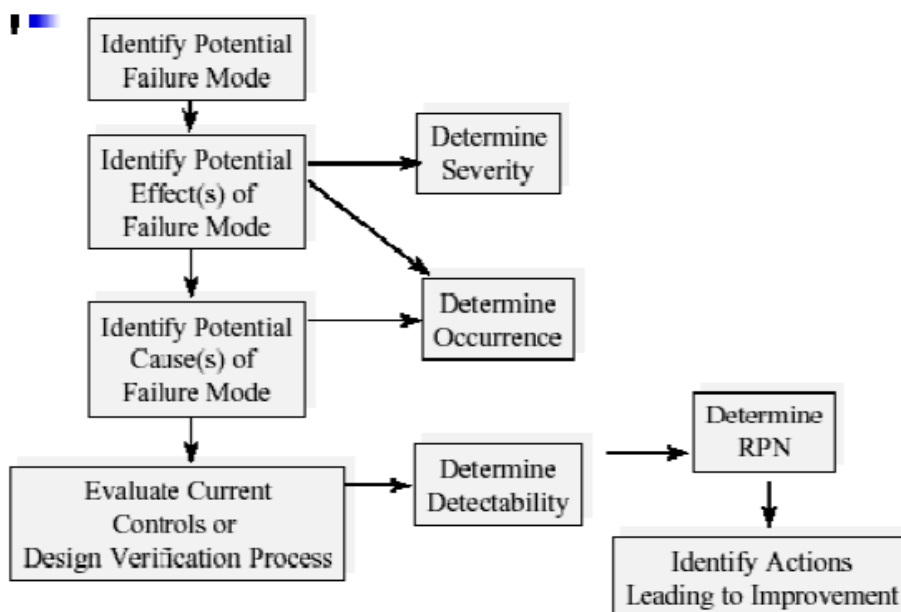
2.10 Failure Mode dan Effect Analysis (FMEA)

FMEA merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisa suatu kegagalan beserta dampaknya untuk menghindari kegagalan tersebut terjadi. Secara umum FMEA peralatan proses diidentifikasi sebagai suatu metode untuk mengidentifikasi peralatan proses melalui tiga hal (Moubray, 1997), yaitu:

- a) Penyebab kegagalan yang potensial dari sistem, desain, produk dan proses selama peralatan proses hidupnya.
- b) Efek dari kegagalan tersebut
- c) Tingkat kekritisan efek kegagalan terhadap fungsi sistem, desain produk dan proses.

Mode kegagalan merupakan setiap kejadian yang mengakibatkan kegagalan fungsional sehingga peralatan proses harus didefinisikan secara rinci agar memungkinkan untuk memilih kebijakan manajemen kegagalan yang tepat. Efek kegagalan menggambarkan apa yang terjadi ketika mode kegagalan terjadi sehingga dapat dilakukan analisis lebih lanjut. Setiap mode kegagalan yang telah diidentifikasi, selanjutnya akan memungkinkan untuk mempertimbangkan apa yang akan terjadi pada saat hal tersebut terjadi, untuk mengkaji konsekuensinya dan

untuk menetapkan apa yang harus dilakukan untuk mengantisipasi, mencegah, mendeteksi atau mengoreksinya (Moubray, 1997). Teknik FMEA digunakan sebagai bagian integral dari pelaksanaan analisa RCM. Ide utama RCM untuk mencegah kegagalan dengan mengeliminasi atau mengurangi penyebab kegagalan. Analisa FMEA memfokuskan pada penyebab kegagalan dan mekanisme terjadinya kegagalan. Road map FMEA ditampilkan dalam 2.7 dibawah ini.



Sumber: www.fmeainfocentre.com/handbooks/umich.pdf, 2000

Gambar 2.6 Road Map FMEA

2.11 Konsekuensi kegagalan

Tahapan RCM menggambarkan pendekatan sistematis yang digunakan untuk mempertahankan fungsi sistem, mengidentifikasi mode kegagalan, prioritas kegagalan yang digunakan untuk mempertahankan fungsi sistem, prioritas mode kegagalan dan melakukan perawatan preventif (Afefy, 2010). Dari uraian sebelumnya dapat disimpulkan bahwa definisi proses RCM sebagai jawaban terhadap tujuh pertanyaan pendekatan perawatan komprehensif (Siddiqui, 2009), yaitu:

- 1) Apakah fungsi dan standar kinerja terkait dari aset dalam konteks operasi saat ini?

- 2) Bagaimana peralatan tersebut gagal dalam menjalankan fungsinya?
- 3) Apakah penyebab setiap kegagalan fungsional?
- 4) Apakah yang terjadi ketika setiap kegagalan terjadi?
- 5) Bagaimana masing-masing kerusakan tersebut berpengaruh?
- 6) Apa yang dapat dilakukan untuk memprediksi atau mencegah setiap kegagalan?
- 7) Apa yang harus dilakukan jika kewajiban proaktif yang sesuai tidak dapat ditemukan?

Selanjutnya dari tujuh pertanyaan diatas akan memunculkan proses sistematis untuk menentukan persyaratan perawatan dari setiap peralatan proses dalam konteks operasinya.

Proses RCM juga mengklasifikasi konsekuensi kegagalan dalam empat kelompok (Siddiqui, 2009) yaitu:

- a) Konsekuensi kegagalan tersembunyi (*hidden failure*) yaitu kegagalan yang tidak dapat dibuktikan secara langsung sesaat setelah kegagalan terjadi.
- b) Konsekuensi keselamatan dan lingkungan jika keagalannya dapat melukai atau membunuh manusia dan mengancam kelestarian lingkungan.
- c) Konsekuensi operasional jika keagalannya mempengaruhi produksi dan operasi
- d) Konsekuensi non-operasional yaitu jika kegagalan tidak mempengaruhi keselamatan dan produksi.

Secara garis besar ada empat keluaran yang dihasilkan dari analisis RCM (Balagurusamy, 1994), yaitu:

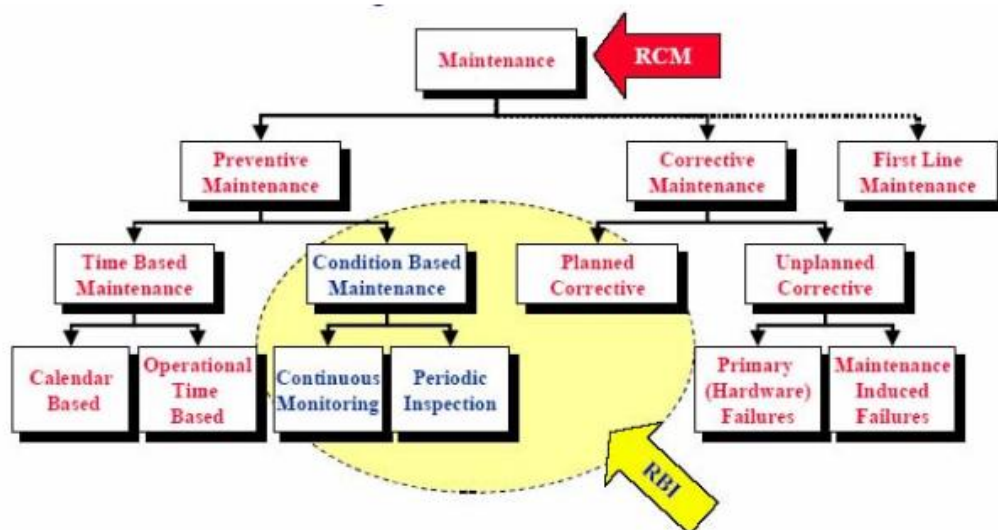
- a) Tidak dilakukan perawatan, hal ini mengacu pada perawatan reaktif, perbaikan, *fix-on-fail* atau *Run-To-Fail* (RTF). Jenis perawatan ini

mengasumsikan bahwa kegagalan peralatan proses mempunyai peluang yang sama terjadi dibagian manapun, dan kegagalannya tidak merugikan operasi. Perawatan ini merupakan satu-satunya jenis perawatan biasa yang mempraktekkan tingkat kegagalan yang tinggi, persediaan bagian besar, dan jumlah lembur yang berlebihan. Program perawatan RTF murni mengabaikan banyak peluang untuk mempengaruhi kelangsungan hidup peralatan.

- b) Perawatan pencegahan terdiri dari inspeksi, penyetelan, uji fungsi pelumasan dan penggantian komponen & peralatan yang dijadwalkan secara reguler. Jenis perawatan ini juga diacu sebagai dikendalikan waktu atau perawatan berbasis interval. Hal ini dilakukan tanpa memperhatikan kondisi peralatan. Perawatan ini menjadwalkan inspeksi dan perawatan pada interval yang ditentukan sebelumnya dalam upaya untuk mengurangi kegagalan peralatan. Namun, seperti yang diketahui Nowlan dan Heap, program PM dapat menghasilkan peningkatan yang signifikan dalam inspeksi dan biaya tanpa peningkatan kehandalan.
- c) Perawatan berbasis kondisi kinerja (CBM) – CBM terdiri dari perawatan prediktif (PdM) dan pemantauan real-time. PdM terutama menggunakan teknik pengujian non-intrusif untuk mengukur dan mengetahui tren kinerja peralatan. Pemantauan *real-time* menggunakan data kinerja saat ini untuk menilai kondisi mesin. CBM menggantikan tugas pemeliharaan yang tidak terjadwal dengan pemeliharaan yang dijadwalkan hanya jika dijamin oleh kondisi peralatan. Analisis lanjut data kondisi peralatan memungkinkan untuk perencanaan dan penjadwalan kegiatan pemeliharaan atau perbaikan sebelum kegagalan fungsional atau bahaya.
- d) Re-desain ketika kegagalan sistem atau peralatan tidak dapat diterima dan tidak satu pun dari tugas di atas dapat memitigasi kegagalan dari peralatan atau sistem yang digunakan. Untuk itu perlu dilakukan redesain untuk meningkatkan kinerja peralatan sehingga dapat menekan laju kegagalan.

Dalam melakukan re-desain perlu memperhatikan biaya pemeliharaan secara keseluruhan.

Keluaran dari analisa RCM dapat menghasilkan perubahan dalam perawatan pencegahan yang telah ada, pemanfaatan kondisi monitoring, inspeksi dan pengujian fungsional, atau menambahkan atau menghilangkan kegiatan yang sudah berjalan. *Risk Based Inspection* (RBI) merupakan suatu metode yang digunakan untuk memantau kondisi suatu peralatan. Output dari RBI dapat digunakan untuk mengkaji dan menganalisa jenis dan interval perawatan. Struktur perawatan hasil analisis RCM dapat ditunjukkan pada gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2.7 Struktur perawatan (IAEA Safety Guide)

Berdasarkan gambar diatas, *preventive maintenance* adalah kegiatan perawatan yang dilakukan secara periodik untuk mencegah timbulnya kegagalan yang tidak terduga dan menentukan kondisi yang menyebabkan fasilitas produksi mengalami kerusakan pada saat digunakan dalam proses produksi. Perawatan pencegahan sangat efektif digunakan untuk fasilitas produksi yang termasuk dalam *critical unit*. Sedangkan untuk perawatan perbaikan berkaitan dengan kegagalan random yang terjadi pada saat sistem beroperasi. Tindakan korektif akan membuat sistem kembali pada kondisi yang baik seperti baru atau bahkan menjadi lebih baik apabila diberikan perbaikan teknologi dan material yang lebih kokoh (Ahmed, 2015).

2.12 Proactive Task

Tindakan ini dilakukan sebelum terjadi kegagalan dengan tujuan menghindarkan aset dari kondisi yang dapat mengakibatkan kegagalan (Moubray, 1997) dengan melakukan kegiatan perawatan pencegahan dan prediktif. Pada RCM, perawatan prediktif dikategorikan ke dalam aktivitas *scheduled on condition task*, sedangkan perawatan perbaikan dikategorikan kedalam *scheduled restoration task* maupun *scheduled discard task*. Berikut ini uraian dari ketiga kegiatan penjadwalan perawatan:

- a) *Scheduled Restoration Task* merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan dengan cara memperbaiki peralatan sesuai dengan jadwal tertentu sebelum mengalami kegagalan.
- b) *Scheduled Discard Task* merupakan kegiatan penggantian komponen dengan komponen yang baru pada interval waktu tertentu tanpa melihat kondisi komponen yang akan diganti.
- c) *Scheduled On-condition Task* merupakan kegiatan inspeksi dan pengujian secara periodik untuk mengambil tindakan pemcegahan yang tepat & mencegah potensi kegagalan secara fungsional.

2.13 Default Action

Merupakan suatu tindakan yang dilakukan apabila sudah berada dalam kondisi *failed scale* sehingga tindakan *proactive task* sudah tidak efektif untuk dilakukan (Moubray, 1997). Kegiatan ini meliputi:

- a) *Scheduled Failure Finding* merupakan tindakan pengecekan secara periodik terhadap fungsi untuk mengetahui bagian yang mengalami kegagalan fungsi.
- b) *Re-design* merupakan kegiatan membuat perubahan terhadap perangkat keras dan prosedur guna mengembalikan peralatan ke kondisi awal.
- c) *Run to Failure* yaitu tindakan yang dilakukan dengan membiarkan peralatan beroperasi sampai terjadi kegagalan, hal tersebut dilakukan berdasarkan pertimbangan finansial karena tindakan pencegahan yang dilakukan dinilai tidak menguntungkan.

2.14 Distribusi Dalam Reliability

Berdasarkan probabilitas & statistik, distribusi yang lazim digunakan dalam menentukan reliability suatu komponen meliputi:

A. Distribusi Normal

Distribusi normal atau bisa disebut Gaussian merupakan salah satu jenis distribusi yang paling sering digunakan untuk menjelaskan penyebaran data. *Probabilistic Density Function* (PDF) dari distribusi normal adalah simetris terhadap nilai rata-rata (mean) (Afefy, 2010). Dispersi terhadap nilai rata-rata distribusi normal diukur berdasarkan nilai standar deviasi. Distribusi ini digunakan pada saat nilai dari failure rate mengalami kenaikan dari waktu ke waktu yang disebut *Increase Failure Rate* (IFR) sehingga menggambarkan karakteristik dari komponen yang mengalami fase *wear-out*.

B. Distribusi Lognormal

Pada distribusi ini pada saat variabel acak T (waktu kegagalan) maka logaritma T mempunyai distribusi normal. Distribusi ini digunakan ketika nilai failure rate mengalami penurunan dari waktu ke waktu yang disebut *Decrease Failure Rate* (DFR). Distribusi ini menggambarkan karakteristik komponen pada fase burn-in (Afefy, 2010).

C. Distribusi Eksponensial

Distribusi ini digunakan ketika nilai failure rate tidak mengalami perubahan dari waktu ke waktu (konstan) yang disebut *Constant Failure Rate* (CFR). Distribusi ini menggambarkan karakteristik komponen pada fase *useful-life* (Afefy, 2010).

2.15 Pendekatan Program Perawatan

Program perawatan adalah rangkaian kegiatan yang dihasilkan dari analisis RCM. Pada umumnya program perawatan terdiri dari program awal dan program dinamis yang sedang berjalan. Sebagai filosofi dari perawatan maka tujuan program perawatan efektif adalah untuk (Cotaina, 2000):

- Mempertahankan fungsi keselamatan yang diperlukan
- Mempertahankan keselamatan melekat dan level kehandalan.

- Mengoptimalkan ketersediaan
- Memperoleh informasi yang diperlukan untuk perbaikan desain dari seluruh item.
- Untuk mencapai tujuan dengan biaya total *life-cycle* yang minimum, termasuk biaya perawatan dan biaya sisa kegagalan.
- Memonitor kondisi keselamatan tertentu, komponen kritis dan mahal merupakan tindakan yang sangat penting pada program dinamis.

2.16 Genetic Algorithm

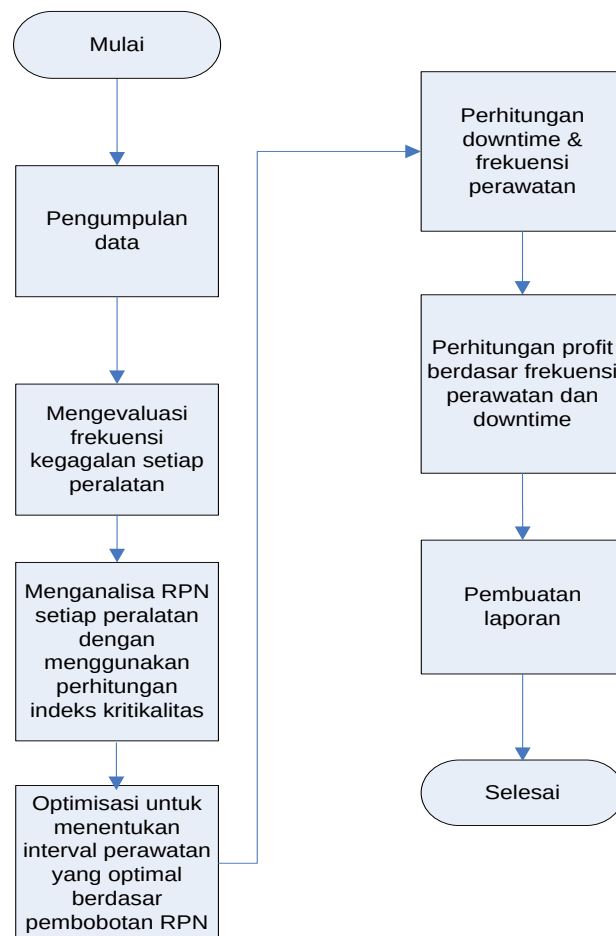
Genetic Algorithm (GA) adalah simulasi dari proses evolusi dan operasi genetika atas kromosom. Pada *Genetic Algorithm* (GA), teknik pencarian dilakukan atas sejumlah solusi yang mungkin dikenal dengan istilah populasi. Individu yang terdapat dalam satu populasi disebut dengan istilah kromosom (Sanjoyo, 2006). Kromosom diproses menggunakan beberapa tahap yaitu ada tahap seleksi individu, *crossover*, dan *mutation* (TRB, 2013). Proses pemilihan pada metode GA didasarkan pada evaluasi fungsi fitness dari setiap individu. Fungsinya yaitu sebagai fungsi objektif yang digunakan untuk menentukan apakah individu tersebut sudah memiliki nilai yang mendekati nilai tujuan. Seleksi individu adalah membuat perbedaan antar individu berdasarkan kualitasnya untuk memungkinkan individu yang lebih baik menjadi orang tua dari generasi berikutnya (Tayal and Fu, 1999). Prinsip pemilihan ini menggunakan *roller wheel* yang merupakan salah satu teknik seleksi GA tradisional. Pemilihan roulette adalah pencarian linier melalui roda rolet dengan slot di roda berbobot sesuai dengan nilai *fitness* individu (Samanta, 2014). *Crossover* merupakan sebuah kromosom yang mengarah pada solusi yang baik dapat diperoleh dari *crossover* dari dua buah kromosom (Sanjoyo, 2006). *Mutation* digunakan sebagai proses seleksi untuk menghindari terperangkapnya algoritma pada lokal optimum dan berperan penting untuk mengembalikan material genetik yang hilang (Sanjoyo, 2006).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini menjelaskan tentang ringkasan dari tahapan penelitian yang akan dilakukan, seperti dijelaskan sesuai dengan gambar 3.1 dibawah ini.

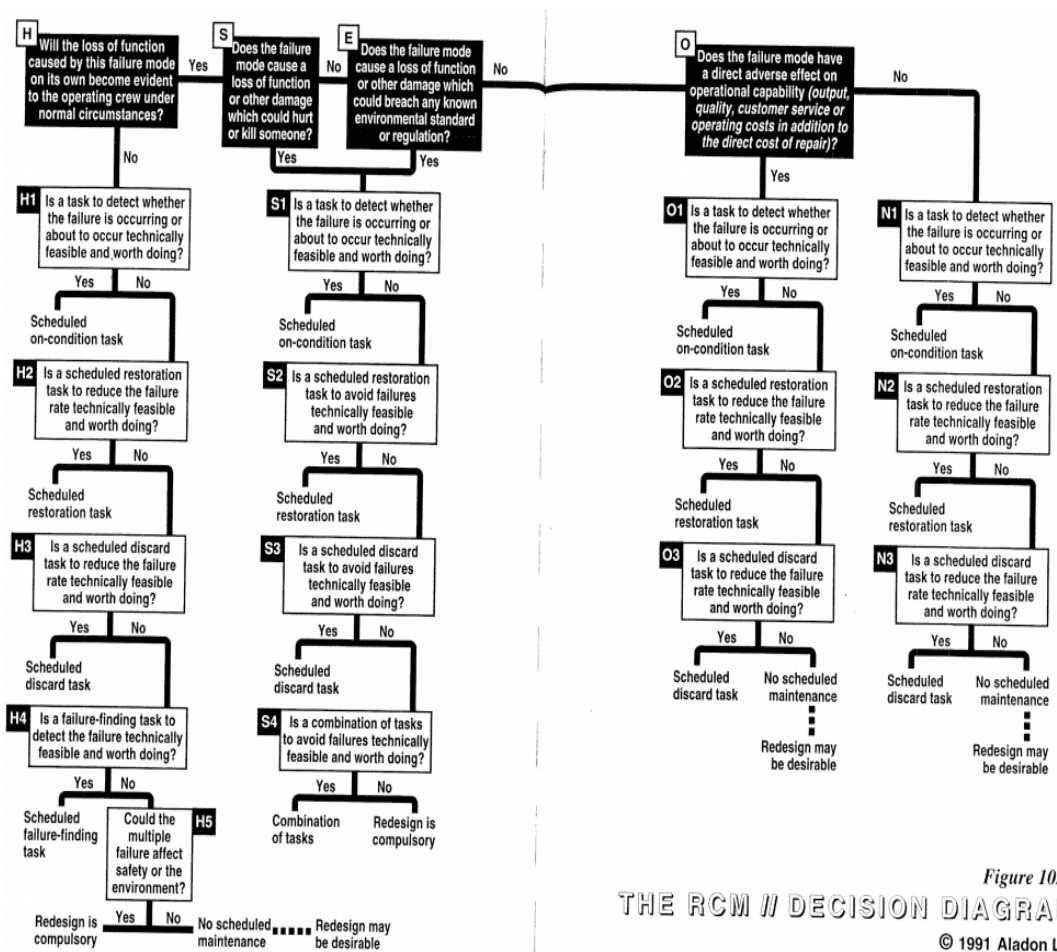


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2. Konsekuensi Terintegrasi dan Kewajiban dari RCM II

RCM II diidentifikasi sebagai suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang seharusnya dilakukan untuk menjamin setiap peralatan dapat berjalan dengan baik sesuai dengan fungsi yang diinginkan. Bagian ini menggambarkan ringkasan kriteria paling penting pada diagram keputusan RCM yang mengintegrasikan seluruh proses keputusan dalam kerangka kerja strategis

tunggal. Pada RCM II Decision Diagram telah mempertimbangkan keempat konsekuensi yang mungkin ditimbulkan oleh kegagalan pada setiap peralatan. Kerangka kerja ini digambarkan dalam gambar 3.2 dan diterapkan untuk setiap mode kegagalan yang terdaftar pada lembar kerja informasi RCM (Moubray, 1997). Penelitian RCM dengan menggunakan optimisasi harus menjawab seluruh pertanyaan pada diagram keputusan ini.



Gambar 3.2 Diagram Keputusan RCM (Moubray, 1997)

Selanjutnya untuk merekam jawaban dari pertanyaan pada diagram keputusan diatas dituangkan dalam kertas kerja seperti ditunjukkan pada gambar 3.3, yang berisi rekaman:

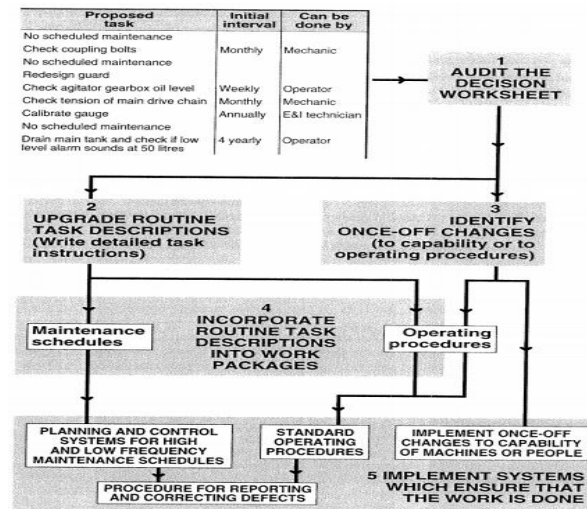
- Apakah perawatan rutin telah dilakukan, berapa sering dilakukan dan oleh siapa
- Kegagalan mana yang cukup serius untuk menjamin desain ulang

- Kasus dimana keputusan sengaja dibuat untuk membiarkan kegagalan terjadi.

[illegible]

Gambar 3.3 Lembar kerja keputusan RCM (Moubray, 1997)

Selanjutnya lembar kerja perlu dianalisa agar proses RCM memberikan keuntungan jangka panjang yang maksimal. Secara ringkas tahapan untuk menganalisis ditunjukkan pada gambar 3.4 dibawah ini.



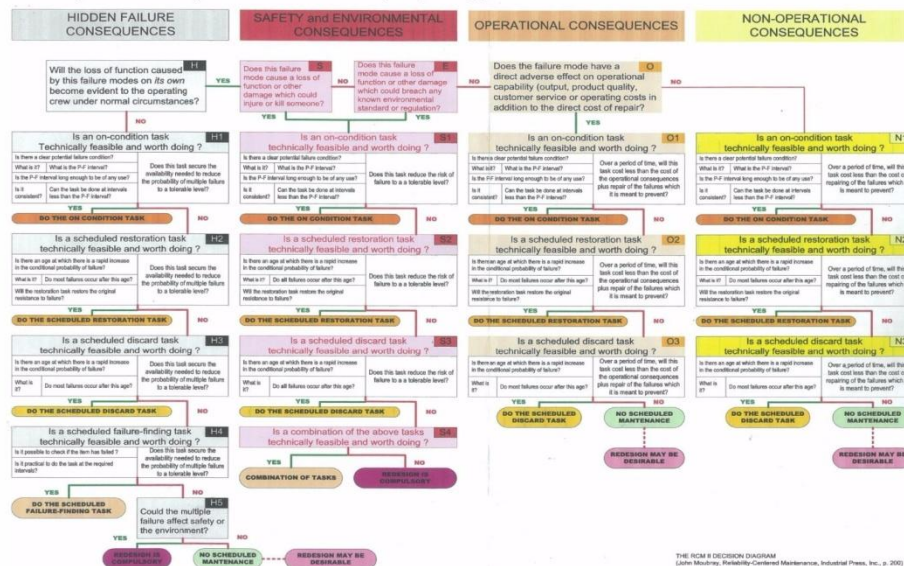
Gambar 3.4 Ringkasan tahapan setelah RCM (Moubray, 1997)

Selanjutnya untuk menentukan tindakan pencegahan kegagalan berdasar diagram keputusan dilakukan dengan alur seperti ditunjukkan pada gambar 3.5 berikut ini:

LAMPIRAN D

D.1

Berikut merupakan *decision diagram* untuk menentukan tindakan pencegahan kegagalan :



Gambar 3.5 Diagram Keputusan RCM II (Moubray, 1997)

3.3.Asumsi Yang Digunakan

Standar batasan reliability yang diizinkan untuk peralatan proses yang digunakan pada industri migas sebesar 95%. Ini artinya apabila nilai kehandalan

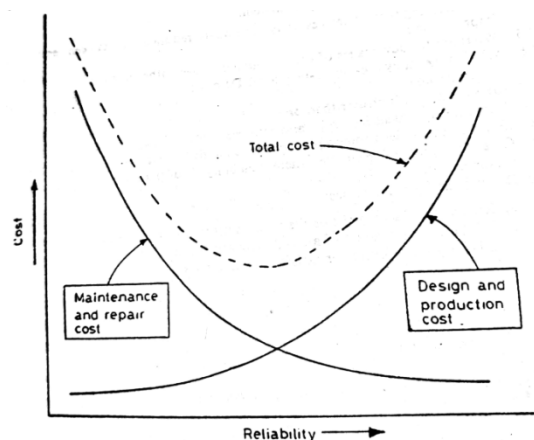
suatu peralatan mencapai batas tersebut maka perlu dilakukan perawatan untuk mengembalikan peralatan seperti pada kondisi awal. Peralatan proses pada proses *gas sweetening* yang menjadi objek penelitian difokuskan pada peralatan mekanik yang terdiri dari: *Vessel*, *Heat Exchanger*, *Control Valve* dan pompa. Peralatan proses yang digunakan pada penelitian ini diasumsikan beroperasi selama 87.600 jam operasi (10 tahun). Analisis dilakukan terhadap *downtime*, perawatan pencegahan dan perawatan perbaikan.

Data aktual untuk masing-masing peralatan proses diperoleh dengan menggunakan data kegagalan setiap peralatan dalam periode operasi 87.600 jam. Selanjutnya data tersebut digunakan untuk mencari nilai RPN dari setiap peralatan. Semakin besar nilai RPN menunjukkan bahwa peralatan tersebut perlu mendapatkan prioritas perawatan yang lebih besar. Berdasar nilai RPN maka kita dapat melakukan optimisasi untuk menentukan interval perawatan untuk setiap peralatan. Hasil optimisasi ini berupa jadwal interval perawatan dalam harian, mingguan, bulanan, setahun, dua tahun, tiga tahun, empat tahun dan tidak perlu dilakukan perawatan. *Objective function* dalam penelitian ini merupakan biaya perawatan total beserta komponen penyusunnya.

3.4. Optimisasi Time Interval

Kegiatan perawatan ditujukan untuk mengembalikan komponen dan peralatan yang mengalami degradasi akibat pengoperasian agar kembali pada kondisi in-service sehingga peralatan tersebut dapat melakukan fungsinya sesuai dengan desain dari plant. Kegiatan perawatan yang telah berjalan pada suatu plant harus dikaji ulang secara berkala untuk menentukan efektivitas dari program perawatan tersebut. Kaji ulang tersebut dapat melalui interval perawatan, metode perawatan dan peralatan yang perlu diberikan perawatan tambahan. Selanjutnya untuk menyeimbangkan resiko kegagalan dan biaya perawatan, program secara periodik harus dievaluasi berdasarkan pada sejarah kegagalan dan analisis kinerja yang dapat dilakukan melalui optimisasi penjadwalan perawatan. Ini merupakan metode secara kontinyu untuk memperbaiki program perawatan, meningkatkan efektivitas dan efisiensi dari kegiatan perawatan.

Selain itu kegiatan perawatan ini juga berkaitan erat dengan kehandalan dan biaya yang harus dikeluarkan untuk perawatan. Analisis efektivitas biaya perlu dilakukan sebelum memilih metode tertentu yang digunakan dalam kehandalan. Untuk mencapai tingkat kehandalan yang tinggi maka diperlukan interval perawatan pencegahan dalam satu periode yang lebih pendek sehingga mengakibatkan biaya operasi membengkak dan demikian juga sebaliknya (Balagurusamy, 1994). Sebagai *initial condition* adalah data *failure rate* dari desain, selanjutnya data tersebut dilakukan variasi dan analisis indeks kritikalitas. Analisis indeks kritikalitas ini berbasis pada frekuensi kegagalan dalam satu periode. Variabel yang akan dioptimisasi pada penelitian ini adalah pembobotan indeks kritikalitas kegagalan untuk mendapatkan interval perawatan yang optimal. Metode optimisasi menggunakan *Genetic Algorithm* (GA) untuk mencari *time interval* optimum untuk mendapatkan *total maintenance cost* yang paling rendah. Efek peningkatan kehandalan terhadap biaya untuk setiap produk ditunjukkan pada gambar 3.6 dibawah ini.



Gambar 3.6 Hubungan Kehandalan dengan Biaya (Balagurusamy, 1994)

Pada optimisasi ini, nilai kehandalan setiap peralatan dijaga sebesar 0,95. Hal ini mengacu pada standar oil and gas, dimana perawatan akan dilakukan apabila kehandalan setiap peralatan mencapai nilai 0,95. Nilai *failure rate* peralatan proses yang tinggi mengindikasikan peralatan tersebut mengalami *aging* sehingga performanya menurun. Untuk memitigasi hal tersebut diperlukan perawatan dengan frekuensi perawatan yang lebih sering (ketat). Optimisasi untuk menentukan jadwal

perawatan yang optimal direpresentasikan melalui perhitungan *time interval* berdasarkan pembobotan indeks kritikalitas. Semakin besar frekuensi kegagalan suatu peralatan akan meningkatkan nilai RPN yang mengakibatkan frekuensi perawatan perlu diperketat. Meskipun frekuensi perawatan diperketat, namun diharapkan *downtime* hasil penjadwalan perawatan berbasis optimisasi dapat diminimalkan. Dengan demikian tujuan optimisasi yang dilakukan terhadap variabel optimisasi ini adalah untuk mendapatkan *downtime* yang lebih rendah daripada nilai aktual. Dengan meminimalisir *downtime* akan dapat menekan biaya perawatan total. Selain itu juga diharapkan dengan memperketat interval perawatan pencegahan maka dapat menekan kegagalan peralatan pada saat dioperasikan. Hal ini mengakibatkan *time to repair* untuk perawatan perbaikan dapat diperkecil sehingga mampu menekan *downtime*. Apabila syarat ini tidak terpenuhi maka diasumsikan fungsi *fitness* pada GA sama dengan nol ($fit = 0$).

3.5. Objective Function

Tujuan dari perawatan pencegahan adalah meminimalkan biaya total dari inspeksi, perbaikan dan *downtime* (Jolai *et al.*, 2009). Untuk menentukan korelasi parameter input dengan output dari model digunakan *objective function* yang dapat diasumsikan sebagai total biaya yang ada (Riswanto *et al.*, 2017). Dalam mencari *objective function* digunakan pendekatan sebagai berikut:

$$(3.1)$$

dimana:

TMC adalah biaya perawatan total

CMC adalah biaya total perawatan perbaikan

PMC adalah biaya total perawatan pencegahan

DTC adalah biaya total downtime

3.6. Identifikasi Sistem

Data *failure rate* untuk peralatan proses tidak tersedia, sehingga untuk memperoleh *failure rate* pada kondisi aktual dengan cara menggunakan data kegagalan peralatan dalam satu periode (87.600 jam operasi). Analisa dilakukan

terhadap peralatan proses dengan memperhatikan frekuensi kegagalan. Apabila terjadi kegagalan pada peralatan pada saat *plant* beroperasi maka akan menimbulkan *downtime* pada saat dilakukan perawatan perbaikan. Diharapkan *downtime* pada interval perawatan hasil optimisasi dapat lebih kecil karena dapat meminimalkan kegagalan yang terjadi pada saat *plant* beroperasi. Pada kondisi aktual (*initial condition*) telah ditetapkan interval perawatan terhadap peralatan proses yang dikeluarkan oleh vendor seperti pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data failure rate peralatan proses sebelum dilakukan optimisasi

No	TAG Number	Nama Peralatan	Failure Rate ($\times 10^{-6}$)
1	135-V-06	Absorber	1,95
2	135-V-07	Regenerator	1,95
3	135-V-10	Flash drum	1,95
4	135-H-02	Amine exchanger	1,95
5	135-P-02	Reflux pump	2,93
6	135-H-03	Reboiler	1,95
7	135-PCV-356	Control valve	1,95
8	135-H-04	Air cooler	1,95

Sumber: PT Saka Energi, 2016

Data *failure rate* ini harus diubah menjadi data *time interval* karena untuk menentukan interval perawatan sangat berkaitan dengan data *time interval*. Selanjutnya dengan memasukkan data *failure rate* pada tabel 3.1 dan batasan *reliability* sebesar 95% (standar migas) ke persamaan (2.2) akan menghasilkan *time interval* pada kondisi aktual, seperti yang ditampilkan dalam tabel 3.2. Data *time interval* kondisi aktual ini akan dibandingkan dengan data *time interval* hasil optimisasi, sehingga dapat diketahui profit yang dihasilkan dari penjadwalan ulang perawatan peralatan proses.

Tabel 3.2 Data time interval pada kondisi aktual

No	Nama Peralatan	<i>Time Interval</i> (jam)	<i>Time Interval</i> (hari)
1	Absorber	26280	1095
2	Regenerator	26280	1095
3	Flash drum	26280	1095
4	Amine exchanger	26280	1095
5	Reflux pump	17520	730
6	Reboiler	26280	1095
7	Control valve	26280	1095
8	Air cooler	26280	1095

Namun seiring berjalannya waktu, peralatan mengalami *aging* yang menurunkan kinerja dari peralatan tersebut. Indikasi terjadinya *aging* dapat ditunjukkan melalui meningkatnya kegagalan peralatan pada saat dioperasikan meskipun telah dilakukan perawatan pencegahan secara periodik. Oleh karena itu, perlu dilakukan kaji ulang terhadap program perawatan yang ada. Salah satu output dari kaji ulang ini adalah menambah frekuensi perawatan dalam satu periode. Namun dalam memperketat frekuensi perawatan harus memperhatikan *downtime* sebagai *constrain* dalam melakukan analisis. Analisis frekuensi kegagalan peralatan dianalisa dalam bentuk indeks kritikalitas. Berdasarkan indeks kritikalitas setiap komponen maka dapat kita tentukan RPN. Melalui optimisasi berbasis pembobotan RPN dapat ditentukann interval perawatan yang optimal. Metode umum untuk mengkuantifikasi interval perawatan yang optimal melalui perbandingan biaya perawatan total. Selanjutnya berdasarkan jurnal penelitian sebelumnya dapat ditentukan data biaya perawatan pencegahan dan perbaikan untuk masing-masing peralatan pada *plant gas sweetening* seperti ditunjukkan pada tabel 3.3 berikut:

Tabel 3.3 Data Maintenance Cost

No	TAG Number	Nama peralatan	PM Cost (\$)	CM Cost (\$)
1	135-V-06	Absorber	210	600
2	135-V-07	Regenerator	172	820
3	135-V-10	Flash drum	155	460
4	135-H-02	Amine exchanger	138	483
5	135-P-02	Reflux pump	77	240
6	135-H-03	Reboiler	149	402
7	135-PCV-356	Control valve	32	140
8	135-H-04	Amine cooler	90	257

Sumber: Savsar, 2013

Untuk perawatan pompa dan *control valve* dapat dilakukan tanpa mengganggu operasi *plant*. Hal ini dikarenakan desain pompa dibuat redundan dan desain *control valve* dibuat memungkinkan untuk dilakukan *bypass*. Sedangkan lama perbaikan (time to repair) untuk perawatan pencegahan dan perbaikan setiap peralatan diberikan pada tabel 3.4 berikut ini.

Tabel 3.4 Time to repair untuk perawatan pencegahan & perbaikan

No	Peralatan	TTR (CM) (jam)	TTR (PM) (jam)	Pengaruh PM terhadap produksi
1	Absorber	72	12	x
2	Regenerator	96	12	x
3	Flash drum	72	12	x
4	Heat exchanger	14	8	x

Tabel 3.4 Time to repair untuk perawatan pencegahan & perbaikan (lanjutan)

No	Peralatan	TTR (CM) (jam)	TTR (PM) (jam)	Pengaruh PM terhadap produksi
5	Reboiler	14	7	x
6	Pompa	12	4	-
7	Control valve	5	2	-
8	Amine cooler	14	8	-

Sumber: Nguyen, 2008

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Absorber

4.1.1 Analisis absorber menggunakan RCM II

Fungsi absorber adalah untuk membuang H_2S dari gas asam basah menggunakan larutan amina yang dapat menyerap H_2S . Berdasarkan analisis RCM decision diagram menunjukkan bahwa kegagalan pada absorber berdampak terhadap *safety* dan *hidden failure*. Untuk memitigasi kegagalan dilakukan perawatan terhadap absorber. Agar hasil perawatan efektif dan efisien maka perawatan ini perlu ditetapkan penjadwalan secara tepat sehingga *performance* absorber tetap terjaga dan biaya perawatan dapat ditekan. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan optimisasi terhadap *time interval* agar diperoleh interval perawatan yang optimal.

Pada absorber permasalahan utama adalah korosi, karena berpotensi mengakibatkan kerugian aset bahkan dapat mencederai manusia. Pada industri *refinery* nilai laju korosi harus dipertahankan dibawah 10 mpy, sehingga jika nilainya diatas batasan tersebut dapat dikatakan peralatan mengalami korosi sehingga perlu upaya untuk memitigasi hal tersebut. Metode yang umum digunakan untuk mitigasi korosi adalah mempertebal material, *coating* dan perlindungan katoda, sedangkan untuk inspeksi menggunakan NDT. Berdasarkan hasil analisis FMEA dapat diketahui frekuensi kegagalan dan hasil analisis RPN untuk absorber seperti ditunjukkan dalam tabel 4.1

Tabel 4.1 Lembar FMEA untuk absorber

No	Mekanisme kegagalan	Metode deteksi	Detection	Occurance	Severity	RPN
1	Hidrokarbon terjebak dalam absorber	Sistem alarm	3	1	8	24

Selanjutnya berdasarkan tabel 4.1 diketahui bahwa selama periode operasi 10 tahun (87600 jam), absorber mengalami satu kali kegagalan. Analisa RCM untuk memitigasi kegagalan peralatan tersebut dituangkan dalam tabel 4.2 dibawah ini:

Tabel 4.2 RCM Decision Diagram pada Absorber

No	Failure mode	Maintenable item	Failure cause	Proactive Maintenance	Proposed task
1	STD	<i>Body/shell Support Valve & piping</i>	Korosi Deformasi struktur material	<i>Schedule on conditioning task</i>	Inspeksi sistem perpipaan, <i>body/shell</i>

Berdasarkan tabel 4.2, mode dan penyebab kegagalan pada absorber dapat diuraikan sebagai berikut:

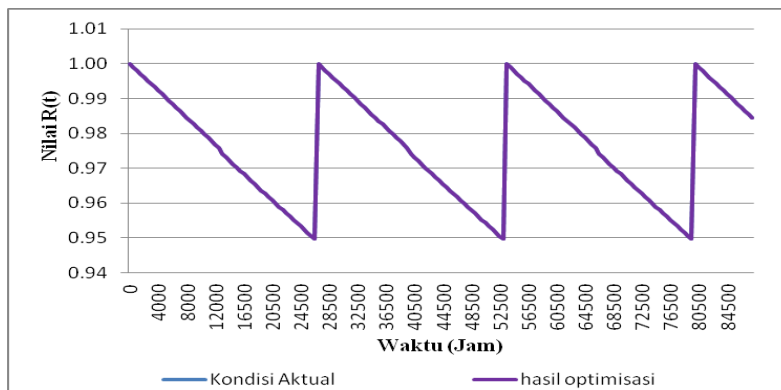
a) Structural Deficiency (STD)

Mode kegagalan tersebut termasuk kedalam *critical severity class*. Penyebab STD adalah korosi dan deformasi material. Apabila mode kegagalan ini terjadi akan mengakibatkan kebakaran, ledakan dan polusi ke lingkungan. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk kedalam kategori *hidden failure* dan *safety*. *Proposed task* yang diusulkan untuk mengatasi mode kegagalan ini berupa inspeksi sistem perpipaan dan *body/shell*. Selanjutnya *proposed task* ini perlu dilakukan penjadwalan agar kegiatan perawatan dapat berjalan secara efektif dan efisien.

4.1.2 Penentuan interval perawatan pada absorber

Berdasarkan tabel 3.1 dan tabel 3.2 dapat diketahui bahwa nilai *failure rate* untuk *absorber* sebesar $1,95 \times 10^{-6}$ dan nilai untuk *time interval* sebesar 26280 jam (1095 hari). Dari *time interval* ini dapat kita tentukan bahwa dalam periode 87600 jam operasi (3650 hari), *absorber* mengalami perawatan pencegahan sebanyak 3 kali. Nilai *failure rate* dan *time interval* ini diasumsikan sebagai kondisi aktual *absorber* sehingga untuk mencapai nilai optimal perlu dilakukan optimisasi berbasis RPN. Hasil interval perawatan hasil optimisasi diharapkan memiliki downtime dan biaya perawatan perbaikan yang lebih rendah daripada kondisi aktual.

Selanjutnya dari hasil optimisasi diperoleh nilai *time interval* setiap 26280 jam operasi (1095 hari). Nilai interval perawatan ini sama dengan nilai *time interval* perawatan pada kondisi aktual. Ini artinya interval perawatan pada kondisi aktual masih efektif digunakan. Selanjutnya dapat disimpulkan bahwa frekuensi perawatan pencegahan hasil optimisasi dalam periode 87600 jam operasi (3650 hari) juga dilakukan sebanyak 3 kali. Perbandingan interval perawatan antara kondisi aktual dengan hasil optimisasi ditunjukkan pada gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4.1 Grafik interval perawatan pada *absorber*

4.1.3 Perhitungan biaya perawatan pada absorber

Selanjutnya untuk menghitung downtime pada kondisi aktual dan hasil optimisasi dapat dilakukan dengan mengkorelasi data pada tabel 3.4, tabel 4.2 dan gambar 4.1. Berdasarkan data lapangan untuk absorber pernah mengalami satu kali kegagalan, sehingga untuk setiap perbaikan diperlukan waktu 72 jam dan dilakukan perawatan pencegahan sebanyak 3 kali dalam periode 87600 jam. Jadi total downtime pada kondisi aktual sebesar 108 jam

Sedangkan berdasarkan hasil optimisasi diperoleh total perawatan pencegahan dalam periode operasi 87600 jam sebanyak 3 kali dan 0,17 kali perbaikan. Oleh karena itu, downtime hasil optimisasi sebesar 48 jam. Apabila *economic lost* setiap jam akibat perawatan sebesar \$ 100 maka perbandingan *economic lost* pada kondisi aktual dengan hasil optimisasi ditunjukkan pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Perbandingan downtime pada absorber

Kondisi	Kondisi aktual (jam)	Hasil optimisasi (jam)	Profit (\$)
Downtime	108	48	6.000

Selanjutnya biaya total untuk perawatan pencegahan dan perbaikan dihitung dengan mengkorelasi tabel 3.3 dengan gambar 4.1. Hasil perhitungan untuk kedua biaya ini ditampilkan pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil perhitungan biaya perawatan total untuk absorber

Hasil perhitungan	PMC (\$)	CMC (\$)	C _T (\$)	Profit (\$)
Aktual	630	600	1.230	0
Optimisasi	630	600	1.230	

Berdasarkan tabel 4.4 biaya total perawatan pencegahan dan perbaikan pada kondisi aktual maupun hasil optimisasi mempunyai nilai yang sama. Hal ini diakibatkan interval perawatan hasil optimisasi sama dengan kondisi aktual, sehingga frekuensi perawatan dalam satu periode akan mempunyai nilai yang sama. Dengan demikian profit yang dihasilkan yang merupakan penjumlahan profit perhitungan downtime dan profit perhitungan biaya perawatan total untuk absorber sebesar \$ 6.000.

4.2 Regenerator

4.2.1 Analisis regenerator menggunakan RCM II

Fungsi utama peralatan ini adalah untuk menghilangkan gas asam yang terperangkap dalam larutan amina. Berdasarkan analisis RCM decision diagram menunjukkan bahwa kegagalan pada regenerator berdampak terhadap *safety*, lingkungan dan *hidden failure*. Untuk memitigasi kegagalan dilakukan perawatan terhadap *regenerator*. Agar hasil perawatan efektif dan efisien maka perawatan ini perlu ditetapkan penjadwalannya secara tepat sehingga performance *regenerator* tetap terjaga dan biaya perawatan dapat ditekan. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan optimisasi terhadap *time interval* agar diperoleh interval perawatan yang optimal. Permasalahan utama pada regenerator adalah korosi. Penyebab korosi ini adalah reaksi antara material *carbon steel* dengan gas asam (CO₂ dan H₂S). Untuk memitigasi korosi perlu ditetapkan jenis dan interval perawatannya. Metode yang umum digunakan untuk mitigasi korosi adalah *coating* dan perlindungan katoda. Sedangkan inspeksi berkala dilakukan dengan NDT.

Berdasarkan hasil analisis FMEA dapat diketahui frekuensi kegagalan dan hasil analisis RPN untuk regenerator ditunjukkan dalam tabel 4.5.

Tabel 4.5 Lembar FMEA untuk absorber

No	Mekanisme kegagalan	Metode deteksi	Detection	Occurance	Severity	RPN
1	Tekanan regenerator rendah	Sistem alarm	3	1	8	24

Selanjutnya untuk memitigasi kegagalan peralatan tersebut dilakukan analisa RCM seperti dituangkan dalam tabel 4.6 dibawah ini:

Tabel 4.6 RCM Decision Diagram pada Regenerator

No	Failure mode	Maintenable item	Failure cause	Proactive Maintenance	Proposed task
1	ELU	<i>Body Support</i>	<i>Body break</i> Retakan	<i>Schedule on conditioning task</i>	Inspeksi pada <i>body/shell</i>

Berdasarkan tabel 4.6, mode dan penyebab kegagalan pada absorber dapat diuraikan sebagai berikut:

a) External Leakage – Utility Medium (ELU)

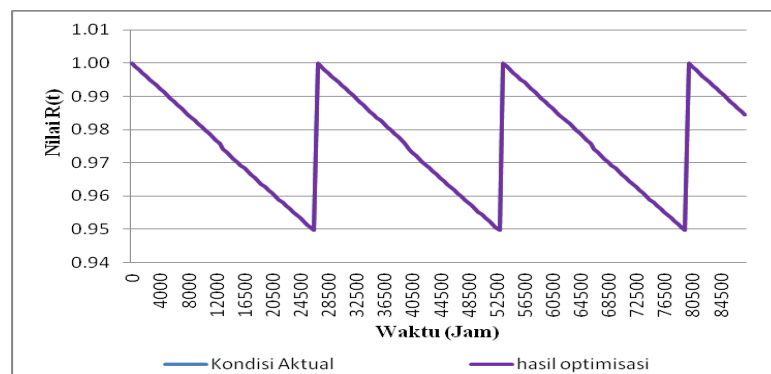
Mode kegagalan tersebut termasuk kedalam *critical severity class*. Penyebab ELP adalah *body break* dan retakan. Apabila mode kegagalan ini terjadi akan mengakibatkan pencemaran lingkungan, kebakaran dan ledakan. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk kedalam kategori *hidden failure* dan *safety*. *Proposed task* yang diusulkan untuk mengatasi mode kegagalan ini berupa inspeksi pada *body* dan *support*. Selanjutnya *proposed task* ini perlu dilakukan penjadwalan agar kegiatan perawatan dapat berjalan secara efektif dan efisien.

4.2.2 Penentuan interval perawatan pada regenerator

Berdasarkan tabel 3.1 dan tabel 3.2 dapat diketahui bahwa nilai *failure rate* untuk *regenerator* sebesar $1,95 \times 10^{-6}$ dan nilai untuk *time interval* sebesar 26280 jam (1095 hari). Dari *time interval* ini dapat kita tentukan bahwa dalam periode 87600 jam operasi (3650 hari), *regenerator* mengalami perawatan pencegahan sebanyak 3 kali. Nilai *failure rate* dan *time interval* ini diasumsikan sebagai kondisi

aktual *regenerator* sehingga untuk mencapai nilai optimal perlu dilakukan optimisasi berbasis RPN. Hasil interval perawatan hasil optimisasi diharapkan memiliki downtime dan biaya perawatan perbaikan yang lebih rendah daripada kondisi aktual.

Selanjutnya dari hasil optimisasi diperoleh nilai *time interval* setiap 26280 jam operasi (1095 hari). Nilai interval perawatan ini sama dengan nilai *time interval* perawatan pada kondisi aktual. Ini artinya interval perawatan pada kondisi aktual masih efektif digunakan. Selanjutnya dapat disimpulkan bahwa frekuensi perawatan pencegahan hasil optimisasi dalam periode 87600 jam operasi (3650 hari) juga dilakukan sebanyak 3 kali. Perbandingan interval perawatan antara kondisi aktual dengan hasil optimisasi ditunjukkan pada gambar 4.2 dibawah ini.



Gambar 4.2 Grafik interval perawatan pada *regenerator*

4.2.3 Perhitungan biaya perawatan pada *regenerator*

Selanjutnya untuk menghitung downtime pada kondisi aktual dan hasil optimisasi dapat dilakukan dengan mengkorelasi data pada tabel 3.4, tabel 4.6 dan gambar 4.2. Berdasarkan data lapangan untuk *regenerator* pernah mengalami satu kali kegagalan, sehingga untuk setiap perbaikan diperlukan waktu 96 jam dan dilakukan perawatan pencegahan sebanyak 3 kali dalam periode 87600 jam. Jadi total downtime pada kondisi aktual sebesar 132 jam.

Sedangkan berdasarkan hasil optimisasi diperoleh total perawatan pencegahan dalam periode operasi 87600 jam sebanyak 3 kali dan 0,17 kali perbaikan. Oleh karena itu, downtime hasil optimisasi sebesar 52 jam. Apabila *economic lost* setiap jam akibat perawatan sebesar \$ 100 maka perbandingan

economic lost pada kondisi aktual dengan hasil optimisasi ditunjukkan pada tabel 4.7

Tabel 4.7 Perbandingan downtime pada regenerator

Kondisi	Kondisi aktual (jam)	Hasil optimisasi (jam)	Profit (\$)
Besarnya biaya	132	52	8.000

Selanjutnya biaya total untuk perawatan pencegahan dan perbaikan dihitung dengan mengkorelasi tabel 3.3 dengan gambar 4.2. Hasil perhitungan untuk kedua biaya ini ditampilkan pada tabel 4.8

Tabel 4.8 Hasil perhitungan biaya perawatan total untuk regenerator

Hasil perhitungan	PMC (\$)	CMC (\$)	C _T (\$)	Profit (\$)
Aktual	516	820	1.336	0
Optimisasi	516	820	1.336	

Berdasarkan tabel 4.8 biaya total perawatan pencegahan dan perbaikan pada kondisi aktual maupun hasil optimisasi mempunyai nilai yang sama. Hal ini diakibatkan interval perawatan hasil optimisasi sama dengan kondisi aktual, sehingga frekuensi perawatan dalam satu periode akan mempunyai nilai yang sama. Dengan demikian profit yang dihasilkan yang merupakan penjumlahan profit perhitungan downtime dan profit perhitungan biaya perawatan total untuk absorber sebesar \$ 8.000.

4.3 Amine Flash Drum

4.3.1 Analisis *amine flash drum* menggunakan RCM II

Fungsi utama peralatan ini adalah untuk melepaskan gas yang terperangkap dalam larutan kaya amina dan memisahkan hidrokarbon dari amina kaya. Berdasarkan analisis RCM decision diagram menunjukkan bahwa kegagalan pada *flash drum* berdampak terhadap *safety* dan *hidden failure*. Korosi pada *amine flash drum* perlu mendapatkan perhatian serius karena jika terjadi kegagalan pada saat plant beroperasi berpotensi mengakibatkan kerugian aset dan bahkan dapat mencederaikan manusia. Oleh karena itu mitigasi terhadap korosi perlu ditetapkan jenis dan interval perawatannya. Agar hasil perawatan efektif dan efisien maka perawatan ini perlu ditetapkan penjadwalannya secara tepat sehingga performance *flash drum* tetap terjaga dan biaya perawatan dapat ditekan. Hal ini dapat dilakukan dengan

melakukan optimisasi terhadap time interval agar diperoleh interval perawatan yang optimal. Selanjutnya berdasarkan hasil analisis FMEA dapat ditunjukkan frekuensi kegagalan dan hasil analisis RPN untuk *flash drum* ditunjukkan dalam tabel 4.9

Tabel 4.9 Lembar FMEA untuk flash drum

No	Mekanisme kegagalan	Metode deteksi	Detection	Occurance	Severity	RPN
1	Kenaikan temperatur	Sistem alarm	3	1	8	24

Sedangkan analisa RCM untuk memitigasi kegagalan peralatan tersebut dituangkan dalam tabel 4.10 dibawah ini:

Tabel 4.10 RCM Decision Diagram Amine Flash Drum

No	Failure mode	Maintenable item	Failure cause	Proactive Maintenance	Proposed task
1	ELP	<i>Body/shell Valve & piping</i>	Kegagalan mekanik	<i>Schedule on conditioning task</i>	Inspeksi pada <i>body/shell</i> dan sistem perpipaan

Berdasarkan tabel 4.10, mode dan penyebab kegagalan pada *flash drum* dapat diuraikan sebagai berikut:

a) External Leakage – Process Medium (ELP)

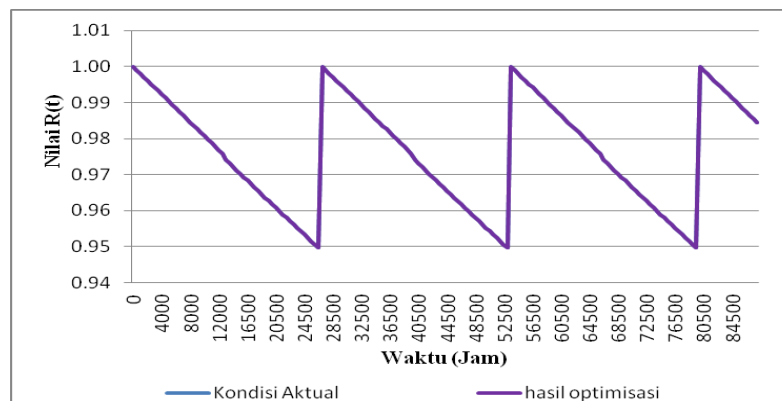
Mode kegagalan tersebut termasuk kedalam *critical severity class*. Penyebab ELP adalah kegagalan pengelasan. Apabila mode kegagalan ini terjadi akan mengakibatkan pencemaran lingkungan, kebakaran dan ledakan. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk kedalam kategori *hidden failure* dan *safety*. *Proposed task* yang diusulkan untuk mengatasi mode kegagalan ini berupa *body/shell* dan sistem perpipaan. Selanjutnya *proposed task* ini perlu dilakukan penjadwalan agar kegiatan perawatan dapat berjalan secara efektif dan efisien.

4.3.2 Penentuan interval perawatan pada amine flash drum

Berdasarkan tabel 3.1 dan tabel 3.2 dapat diketahui bahwa nilai *failure rate* untuk *flash drum* sebesar $1,95 \times 10^{-6}$ dan nilai untuk *time interval* sebesar 26280 jam (1095 hari). Dari *time interval* ini dapat kita tentukan bahwa dalam periode 87600 jam operasi (3650 hari), *flash drum* mengalami perawatan pencegahan

sebanyak 3 kali. Nilai *failure rate* dan *time interval* ini diasumsikan sebagai kondisi aktual *flash drum* sehingga untuk mencapai nilai optimal perlu dilakukan optimisasi berbasis RPN. Hasil interval perawatan hasil optimisasi diharapkan memiliki downtime dan biaya perawatan perbaikan yang lebih rendah daripada kondisi aktual.

Selanjutnya dari hasil optimisasi diperoleh nilai *time interval* setiap 26280 jam operasi (1095 hari). Nilai interval perawatan ini sama dengan nilai *time interval* perawatan pada kondisi aktual. Ini artinya interval perawatan pada kondisi aktual masih efektif digunakan. Selanjutnya dapat disimpulkan bahwa frekuensi perawatan pencegahan hasil optimisasi dalam periode 87600 jam operasi (3650 hari) juga dilakukan sebanyak 3 kali. Perbandingan interval perawatan antara kondisi aktual dengan hasil optimisasi ditunjukkan pada gambar 4.3 dibawah ini.



Gambar 4.3 Grafik interval perawatan pada *amine flash drum*

4.3.3 Perhitungan biaya perawatan pada *amine flash drum*

Selanjutnya untuk menghitung downtime pada kondisi aktual dan hasil optimisasi dapat dilakukan dengan mengkorelasi data pada tabel 3.4, tabel 4.6 dan gambar 4.3. Berdasarkan data lapangan untuk *flash drum* pernah mengalami satu kali kegagalan, sehingga untuk setiap perbaikan diperlukan waktu 72 jam dan dilakukan perawatan pencegahan sebanyak 3 kali dalam periode 87600 jam. Jadi total downtime pada kondisi aktual sebesar 108 jam.

Sedangkan berdasarkan hasil optimisasi diperoleh total perawatan pencegahan dalam periode operasi 87600 jam sebanyak 3 kali dan 0,17 kali

perbaikan. Oleh karena itu, downtime hasil optimisasi sebesar 48 jam. Apabila *economic lost* setiap jam akibat perawatan sebesar \$ 100 maka perbandingan *economic lost* pada kondisi aktual dengan hasil optimisasi ditunjukkan pada tabel 4.11

Tabel 4.11 Perbandingan downtime pada flash drum

Kondisi	Kondisi aktual (jam)	Hasil optimisasi (jam)	Profit (\$)
Besarnya biaya	108	48	6.000

Selanjutnya biaya total untuk perawatan pencegahan dan perbaikan dihitung dengan mengkorelasi tabel 3.3 dengan gambar 4.3. Hasil perhitungan untuk kedua biaya ini ditampilkan pada tabel 4.12

Tabel 4.12 Hasil perhitungan biaya perawatan total untuk flash drum

Hasil perhitungan	PMC (\$)	CMC (\$)	C _T (\$)	Profit (\$)
Aktual	516	820	1.336	0
Optimisasi	516	820	1.336	

Berdasarkan tabel 4.12 biaya total perawatan pencegahan dan perbaikan pada kondisi aktual maupun hasil optimisasi mempunyai nilai yang sama. Hal ini diakibatkan interval perawatan hasil optimisasi sama dengan kondisi aktual, sehingga frekuensi perawatan dalam satu periode akan mempunyai nilai yang sama. Dengan demikian profit yang dihasilkan yang merupakan penjumlahan profit perhitungan downtime dan profit perhitungan biaya perawatan total untuk absorber sebesar \$ 6.000.

4.4 Lean/Rich Amine Exchanger

4.4.1 Analisis *amine exchanger* menggunakan RCM II

Fungsi utama peralatan adalah untuk menaikkan suhu amina dingin yang keluar dari *Amine Flash Drum* melalui pertukaran panas silang dari *lean amine* panas yang meninggalkan *Amine Regenerator*. Jadi pada *amine exchanger* ini gas yang mengandung pengotor dipanaskan. Berdasarkan analisis RCM *decision diagram* menunjukkan bahwa kegagalan pada HE berdampak terhadap *safety*, *operasi* dan *hidden failure*. Untuk memitigasi kegagalan dilakukan perawatan terhadap HE. Agar hasil perawatan efektif dan efisien maka perawatan ini perlu ditetapkan penjadwalannya secara tepat sehingga performance HE tetap terjaga dan

biaya perawatan dapat ditekan. Hal ini dapat dilakukan dengan optimisasi terhadap *time interval* agar diperoleh interval perawatan yang optimal.

Fouling pada HE perlu mendapatkan perhatian serius, karena jika terjadi kegagalan pada saat plant beroperasi berpotensi mengakibatkan penurunan performance dan dapat mencemari lingkungan. Mitigasi terhadap fouling dapat dilakukan melalui pembersihan sisi *tube*. Selanjutnya berdasarkan hasil FMEA dapat diketahui frekuensi kegagalan dan hasil analisis RPN untuk *amine exchanger* seperti ditunjukkan pada tabel 4.13

Tabel 4.13 Lembar FMEA untuk amine exchanger

No	Mekanisme kegagalan	Metode deteksi	Detection	Occurance	Severity	RPN
1	Deposit material	Suhu keluaran meningkat	4	1	6	24

Untuk memitigasi kegagalan peralatan tersebut dilakukan analisa RCM terhadap HE seperti ditampilkan dalam tabel 4.14 dibawah ini.

Tabel 4.14 RCM Decision Diagram Lean/Rich Amine Exchanger

No	Failure mode	Maintenable item	Failure cause	Proactive Maintenance	Proposed task
1	IHT	<i>Body/shell</i>	Fouling	<i>Schedule on conditioning task</i>	Pembersihan pada bagian tube
2	INL	<i>Body/shell Valve & piping</i>	Korosi HE pada sisi panas dengan dingin	<i>Schedule on conditioning task</i>	Inspeksi pada <i>body/shell</i>
3	ELP	<i>Body/shell Valve & piping</i>	Korosi	<i>Schedule on conditioning task</i>	Inspeksi pada item perawatan

Berdasar pada tabel 4.14, mode dan penyebab kegagalan pada *amine exchanger* dapat diuraikan sebagai berikut:

a) Insufficient Heat Transfer (IHT)

Mode kegagalan tersebut termasuk kedalam *critical severity class*. Penyebab IHT adalah fouling pada sisi tube. Apabila mode kegagalan ini terjadi akan mengakibatkan kapasitas perpindahan panas berkurang. Konsekuensi

kegagalan pada mode ini termasuk kedalam kategori *safety* dan *operational*. *Proposed task* yang diusulkan untuk mengatasi mode kegagalan ini berupa pembersihan HE pada sisi tube secara berkala. Selanjutnya *proposed task* ini perlu dilakukan penjadwalan agar kegiatan perawatan dapat berjalan secara efektif dan efisien.

b) Internal Leakage (INL)

Mode kegagalan tersebut termasuk kedalam *critical severity class*. Penyebab INL adalah korosi. Apabila mode kegagalan ini terjadi akan mengakibatkan kegagalan fungsi. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk kedalam kategori operasional dan *hidden failure*. *Proposed task* yang diusulkan untuk mengatasi mode kegagalan ini berupa inspeksi pada bagian *body/shell*. Sedangkan *proposed task* yang diusulkan adalah NDT terhadap *body/shell*. Selanjutnya *proposed task* ini perlu dilakukan penjadwalan agar kegiatan perawatan dapat berjalan secara efektif dan efisien.

c) External Leakage – Process Medium (ELP)

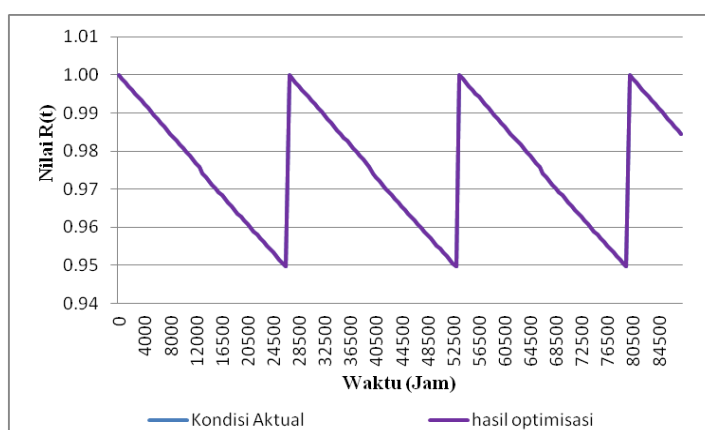
Mode kegagalan tersebut termasuk kedalam *critical severity class*. Penyebab ELP adalah korosi pada *body/shell* dan sistem perpipaan. Apabila mode kegagalan ini terjadi akan mengakibatkan kebakaran dan ledakan. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk kedalam kategori *safety*. *Proposed task* yang diusulkan untuk mengatasi mode kegagalan ini inspeksi pada item perawatan. Selanjutnya *proposed task* ini perlu dilakukan penjadwalan agar kegiatan perawatan dapat berjalan secara efektif dan efisien.

4.4.2 Penentuan interval perawatan pada *amine exchanger*

Berdasarkan tabel 3.1 dan tabel 3.2 dapat diketahui bahwa nilai *failure rate* untuk *amine exchanger* sebesar $1,95 \times 10^{-6}$ dan nilai untuk *time interval* sebesar 26280 jam (1095 hari). Dari *time interval* ini dapat kita tentukan bahwa dalam periode 87600 jam operasi (3650 hari), *amine exchanger* mengalami perawatan pencegahan sebanyak 3 kali. Nilai *failure rate* dan *time interval* ini diasumsikan sebagai kondisi aktual *amine exchanger* sehingga untuk mencapai nilai optimal perlu dilakukan optimisasi berbasis RPN. Hasil interval perawatan hasil optimisasi

diharapkan memiliki downtime dan biaya perawatan perbaikan yang lebih rendah daripada kondisi aktual.

Selanjutnya dari hasil optimisasi diperoleh nilai *time interval* setiap 26280 jam operasi (1095 hari). Nilai interval perawatan ini sama dengan nilai *time interval* perawatan pada kondisi aktual. Ini artinya interval perawatan pada kondisi aktual masih efektif digunakan. Selanjutnya dapat disimpulkan bahwa frekuensi perawatan pencegahan hasil optimisasi dalam periode 87600 jam operasi (3650 hari) juga dilakukan sebanyak 3 kali. Perbandingan interval perawatan antara kondisi aktual dengan hasil optimisasi ditunjukkan pada gambar 4.4 dibawah ini.



Gambar 4.4 Grafik interval perawatan pada *amine exchanger*

4.4.3 Perhitungan biaya perawatan pada *amine exchanger*

Selanjutnya untuk menghitung downtime pada kondisi aktual dan hasil optimisasi dapat dilakukan dengan mengkorelasi data pada tabel 3.4, tabel 4.6 dan gambar 4.4. Berdasarkan data lapangan untuk *amine exchanger* pernah mengalami dua kali kegagalan, sehingga untuk setiap perbaikan diperlukan waktu 14 jam dan dilakukan perawatan pencegahan sebanyak 3 kali dalam periode 87600 jam. Jadi total *downtime* pada kondisi aktual sebesar 52 jam.

Sedangkan berdasarkan hasil optimisasi diperoleh total perawatan pencegahan dalam periode operasi 87600 jam sebanyak 3 kali dan 0,17 kali perbaikan. Oleh karena itu, *downtime* hasil optimisasi sebesar 27 jam. Apabila *economic lost* setiap jam akibat perawatan sebesar \$ 100 maka perbandingan

economic lost pada kondisi aktual dengan hasil optimisasi ditunjukkan pada tabel 4.15

Tabel 4.15 Perbandingan downtime pada amine exchanger

Kondisi	Kondisi aktual (jam)	Hasil optimisasi (jam)	Profit (\$)
Besarnya biaya	52	27	2.500

Selanjutnya biaya total untuk perawatan pencegahan dan perbaikan dihitung dengan mengkorelasi tabel 3.3 dengan gambar 4.4. Hasil perhitungan untuk kedua biaya ini ditampilkan pada tabel 4.16

Tabel 4.16 Hasil perhitungan biaya perawatan total untuk amine exchanger

Hasil perhitungan	PMC (\$)	CMC (\$)	C _T (\$)	Profit (\$)
Aktual	414	483	897	0
Optimisasi	414	483	897	

Berdasarkan tabel 4.16 biaya total perawatan pencegahan dan perbaikan pada kondisi aktual maupun hasil optimisasi mempunyai nilai yang sama. Hal ini diakibatkan interval perawatan hasil optimisasi sama dengan kondisi aktual, sehingga frekuensi perawatan dalam satu periode akan mempunyai nilai yang sama. Dengan demikian profit yang dihasilkan yang merupakan penjumlahan profit perhitungan downtime dan profit perhitungan biaya perawatan total untuk absorber sebesar \$ 2.500.

4.5 Amine Reflux Pump

4.5.1 Analisis *reflux pump* menggunakan RCM II

Fungsi utama peralatan ini adalah untuk memindahkan lean amine kedalam *amine contactor*. Parameter yang biasa digunakan untuk menilai performa pompa meliputi: *head*, efisiensi dan daya pompa. Berdasarkan analisis RCM decision diagram menunjukkan bahwa kegagalan pada *amine reflux pump* berdampak terhadap operasional dan *hidden failure*. Untuk memitigas kegagalan pada pompa perlu dilakukan perawatan. Selanjutnya agar hasil perawatan dapat berjalan efektif dan efisien maka perlu ditetapkan penjadwalan secara tepat sehingga performance pompa tetap terjaga dan biaya perawatan dapat ditekan. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan optimisasi terhadap *time interval* agar diperoleh interval perawatan yang optimal. Selanjutnya berdasarkan hasil analisa FMEA dapat

diketahui frekuensi kegagalan dan hasil analisis RPN untuk *reflux pump* seperti ditunjukkan dalam tabel 4.17

Tabel 4.17 Lembar FMEA untuk reflux pump

No	Mekanisme kegagalan	Metode deteksi	Detection	Occurance	Severity	RPN
1	Kegagalan pada bearing, shaft, impeller, misalignment	Suhu pompa meningkat	7	3	4	420
2	Kerusakan bearing, impeler dan shaft	Vibrasi		2		
3	Missalignment, kegagalan seal, kerusakan pada bearing, impeler dan shaft	Liquid drop		5		
4	Impeler rusak	Daya hisap pompa menurun		2		
5	Kegagalan motor	Pompa mati mendadak		3		

Selanjutnya untuk memitigasi kegagalan peralatan tersebut dilakukan analisa RCM seperti ditampilkan dalam tabel 4.18 dibawah ini.

Tabel 4.18 RCM Decision Diagram Amine Reflux Pump

No	Failure mode	Maintenable item	Failure cause	Proactive Maintenance	Proposed task
1	ELP	<i>Seal</i>	Kegagalan mekanik	<i>Schedule on discard task</i>	Pemeriksaan & penggantian <i>seal</i>
2	VIB	<i>Bearing Rotor Shaft Impeller</i>	Kegagalan mekanik	<i>Schedule on restoration task</i>	<i>Check & repair item run out</i>
3	ELU	<i>Support</i>	Kebocoran minyak pelumas	<i>Schedule on restoration task</i>	<i>Repair</i>
4	OHE	<i>Kopling Bearing Misalignment Shaft bend</i>	Kegagalan mekanik	<i>Schedule on discard task</i>	Pemeriksaan & penggantian
5	FTS	Sistem kelistrikan	Kegagalan power supply	<i>Schedule on restoration task</i>	<i>Repair</i>
6	BRD	<i>Impeller Gearbox</i>	Kavitasi	<i>Schedule on restoration task</i>	<i>Repair</i>

Berdasar pada tabel 4.18, mode dan penyebab kegagalan pada pompa dapat diuraikan sebagai berikut:

a) External Leakage – Process Medium (ELP)

Mode kegagalan tersebut termasuk kedalam *critical severity class*. Penyebab ELP adalah korosi, aging dan kegagalan mekanik. Apabila mode kegagalan ini terjadi akan mengakibatkan pompa *shutdown*. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk kedalam kategori pencemaran lingkungan dan *operational*. *Proposed task* yang diusulkan untuk mengatasi mode kegagalan ini berupa pemeriksaan & penggantian terhadap komponen item perawatan secara berkala. Selanjutnya *proposed task* ini perlu dilakukan penjadwalan agar kegiatan perawatan dapat berjalan secara efektif dan efisien.

b) Vibration (VIB)

Mode kegagalan tersebut termasuk kedalam *critical severity class*. Penyebab VIB adalah kegagalan mekanik/getaran. Apabila mode kegagalan ini terjadi akan mengakibatkan pompa cepat mengalami kerusakan. Konsekuensi

kegagalan pada mode ini termasuk kedalam kategori *hidden failure* dan *operational*. *Proposed task* yang diusulkan untuk mengatasi mode kegagalan ini berupa pemeriksaan dan perbaikan terhadap *bearing* dan *impeller*. Selanjutnya *proposed task* ini perlu dilakukan penjadwalan agar kegiatan perawatan dapat berjalan secara efektif dan efisien.

c) External Leakage – Utility Medium (ELU)

Mode kegagalan tersebut termasuk kedalam *critical severity class*. Penyebab ELU adalah kebocoran pelumas. Apabila mode kegagalan ini terjadi akan mengakibatkan performa pompa menurun. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk kedalam kategori *hidden failure* dan *operational*. *Proposed task* yang diusulkan untuk mengatasi mode kegagalan ini berupa perbaikan dan penggantian komponen *maintenable item*. Selanjutnya *proposed task* ini perlu dilakukan penjadwalan agar kegiatan perawatan dapat berjalan secara efektif dan efisien.

d) Overheating (OHE)

Mode kegagalan tersebut termasuk kedalam *critical severity class*. Penyebab OHE adalah kegagalan mekanik. Apabila mode kegagalan ini terjadi akan mengakibatkan pompa shutdown. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk kedalam kategori *hidden failure* dan *operational*. *Proposed task* yang diusulkan untuk mengatasi mode kegagalan ini berupa pemeriksaan dan penggantian komponen *maintenable item* secara berkala. Selanjutnya *proposed task* ini perlu dilakukan penjadwalan agar kegiatan perawatan dapat berjalan secara efektif dan efisien.

e) Fail to Start on Demand (FTS)

Mode kegagalan tersebut termasuk kedalam *critical severity class*. Penyebab FTS adalah kegagalan *power supply*. Apabila mode kegagalan ini terjadi akan mengakibatkan *motor starter* pompa tidak bisa dijalankan. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk kedalam kategori *hidden failure* dan *operational*. *Proposed task* yang diusulkan untuk mengatasi mode kegagalan ini berupa perbaikan sistem kelistrikan. Selanjutnya *proposed task* ini perlu dilakukan

penjadwalan agar kegiatan perawatan dapat berjalan secara efektif dan efisien.

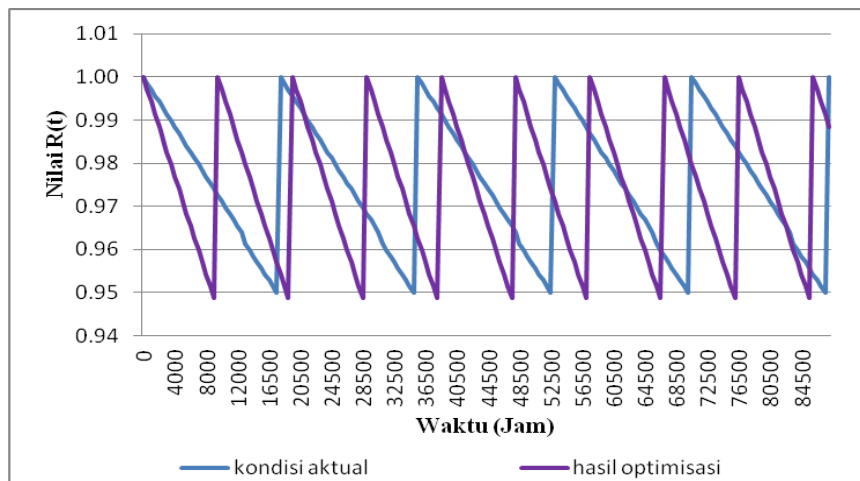
f) Breakdown (BRD)

Mode kegagalan tersebut termasuk kedalam *critical severity class*. Penyebab BRD adalah kavitasi pada pompa. Apabila mode kegagalan ini terjadi akan mengakibatkan efisiensi pompa berkurang. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk kedalam kategori *hidden failure* dan *operational*. *Proposed task* yang diusulkan untuk mengatasi mode kegagalan ini berupa perbaikan terhadap *impeller*. Selanjutnya *proposed task* ini perlu dilakukan penjadwalan agar kegiatan perawatan dapat berjalan secara efektif dan efisien.

4.5.2 Penentuan interval perawatan pada *reflux pump*

Berdasarkan tabel 3.1 dan tabel 3.2 dapat diketahui bahwa nilai *failure rate* untuk *reflux pump* sebesar $2,93 \times 10^{-6}$ dan nilai untuk *time interval* sebesar 17520 jam (730 hari). Dari *time interval* ini dapat kita tentukan bahwa dalam periode 87600 jam operasi (3650 hari), *reflux pump* mengalami perawatan pencegahan sebanyak 5 kali. Nilai *failure rate* dan *time interval* ini diasumsikan sebagai kondisi aktual *reflux pump* sehingga untuk mencapai nilai optimal perlu dilakukan optimisasi berbasis RPN. Hasil interval perawatan hasil optimisasi diharapkan memiliki *downtime* dan biaya perawatan perbaikan yang lebih rendah daripada kondisi aktual.

Selanjutnya dari hasil optimisasi diperoleh nilai *time interval* setiap 8760 jam operasi (365 hari). Nilai interval perawatan hasil optimisasi ini lebih pendek jika dibandingkan dengan nilai *time interval* perawatan pada kondisi aktual. Ini artinya interval perawatan perlu lebih diperketat dibandingkan dengan kondisi awal. Selanjutnya dapat disimpulkan bahwa frekuensi perawatan pencegahan hasil optimisasi dalam periode 87600 jam operasi (3650 hari) dilakukan sebanyak 10 kali. Perbandingan interval perawatan antara kondisi aktual dengan hasil optimisasi ditunjukkan pada gambar 4.5 dibawah ini.



Gambar 4.5 Grafik interval perawatan pada *reflux pump*

4.5.3 Perhitungan biaya perawatan pada *reflux pump*

Selanjutnya untuk menghitung downtime pada kondisi aktual dan hasil optimisasi dapat dilakukan dengan mengkorelasi data pada tabel 3.4, tabel 4.6 dan gambar 4.5. Berdasarkan data lapangan untuk *reflux pump* pernah mengalami lima belas kali kegagalan, hal ini menunjukkan perawatan rutin belum berjalan optimal. Apabila untuk setiap perbaikan diperlukan waktu 12 jam dan dilakukan perawatan pencegahan sebanyak 5 kali dalam periode 87600 jam. Jadi total downtime pada kondisi aktual sebesar 200 jam.

Sedangkan berdasarkan hasil optimisasi diperoleh total perawatan pencegahan dalam periode operasi 87600 jam sebanyak 10 kali dan 0,5 kali perbaikan. Frekuensi perawatan perbaikan sebesar 0,5 kali ini merujuk pada interval perawatan pompa yang optimal. Oleh karena itu, downtime hasil optimisasi sebesar 46 jam. Namun karena pompa didesain redundan maka *downtime* akibat perbaikan peralatan pada saat dioperasikan dapat diabaikan. Hal ini diakibatkan pada saat pompa diperbaiki tidak mengganggu kegiatan operasional *plant*. Selanjutnya apabila *economic lost* setiap jam akibat perawatan sebesar \$ 100 maka perbandingan *economic lost* pada kondisi aktual dengan hasil optimisasi ditunjukkan pada tabel 4.19

Tabel 4.19 Perbandingan downtime pada reflux pump

Kondisi	Kondisi aktual (jam)	Hasil optimisasi (jam)	Profit (\$)
Besarnya biaya	200	46	15.400

Selanjutnya biaya total untuk perawatan pencegahan dan perbaikan dihitung dengan mengkorelasi tabel 3.3 dengan gambar 4.5. Hasil perhitungan untuk kedua biaya ini ditampilkan pada tabel 4.20

Tabel 4.20 Hasil perhitungan biaya perawatan total untuk *reflux pump*

Hasil perhitungan	PMC (\$)	CMC (\$)	C _T (\$)	Profit (\$)
Aktual	385	240	625	-265
Optimisasi	770	120	890	

Berdasarkan tabel 4.20 biaya total perawatan pencegahan hasil optimisasi mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi aktual. Hal ini diakibatkan interval perawatan hasil optimisasi lebih pendek dibandingkan kondisi aktual, sehingga frekuensi perawatan menjadi meningkat. Dengan kata lain, frekuensi perawatan perlu lebih diperketat untuk memitigasi kegagalan yang terjadi. Selain itu dengan memperketat frekuensi perawatan pencegahan akan mampu menekan kegagalan peralatan sehingga perawatan perbaikan hasil optimisasi dapat ditekan. Selanjutnya profit merupakan penjumlahan profit downtime dan biaya perawatan total untuk *reflux pump* yaitu sebesar \$ 15.135.

4.6 Amine Reboiler

4.6.1 Analisis *amine reboiler* menggunakan RCM II

Fungsi utama peralatan ini adalah untuk amina agar gas asam terpisah dari pelarut amina. Berdasarkan analisis RCM decision diagram menunjukkan bahwa kegagalan pada amine cooler berdampak terhadap *safety*, operasional dan *hidden failure*. *Foaming* pada *reboiler* perlu mendapatkan perhatian serius karena dapat mengurangi efisiensi kolom, kehilangan larutan yang terbawa pada fase lean gas dan peningkatan tekanan yang hilang sepanjang *absorber*. *Foaming* ini diakibatkan oleh kontaminasi hidrokarbon kedalam larutan amina dalam waktu yang lama, sehingga sebagian gas tertinggal dalam fase cairan. Untuk memitigasi *foaming* dilakukan dengan injeksi *anti-foam* untuk mengendalikan pembentukan *foaming*, untuk itu perlu ditetapkan interval perawatannya. Agar perawatan dapat berjalan

efektif dan efisien maka perlu ditetapkan jadwal perawatan secara tepat sehingga performance *amine reboiler* tetap terjaga dan biaya perawatan dapat ditekan. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan optimisasi terhadap *time interval* agar diperoleh interval perawatan yang optimal. Selanjutnya berdasarkan hasil analisa FMEA dapat diketahui frekuensi kegagalan dan hasil analisis RPN untuk *reboiler* ditunjukkan dalam tabel 4.21.

Tabel 4.21 Lembar FMEA untuk reboiler

No	Mekanisme kegagalan	Metode deteksi	Detection	Occurance	Severity	RPN
1	Deposit material	Suhu keluaran sisi primer meningkat	5	2	6	120
2	Korosi	Inspeksi		2		
3	<i>Body break, small crack, weld failure</i>	Inspeksi		1		

Untuk memitigasi kegagalan peralatan tersebut dilakukan melalui analisa RCM seperti ditampilkan dalam tabel 4.22 dibawah ini.

Tabel 4.22 RCM Decision Diagram Amine Reboiler

No	Failure mode	Maintenable item	Failure cause	Proactive Maintenance	Proposed task
1	IHT	<i>Body/shell</i>	Fouling	<i>Schedule on conditioning task</i>	Pembersihan pada bagian tube
2	INL	<i>Body/shell Valve & piping</i>	Korosi	<i>Schedule on conditioning task</i>	Inspeksi pada bagian <i>body/shell</i>
3	ELP	<i>Body/shell Valve & piping</i>	Korosi Retakan	<i>Schedule on conditioning task</i>	Inspeksi pada sistem perpipaan.

Berdasar pada tabel 4.22 mode dan penyebab kegagalan pada *amine reboiler* dapat diuraikan sebagai berikut:

a) Insufficient Heat Transfer (IHT)

Mode kegagalan tersebut termasuk kedalam *critical severity class*. Penyebab IHT adalah *fouling* pada sisi *tube*. Apabila mode kegagalan ini terjadi akan mengakibatkan kapasitas perpindahan panas berkurang. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk kedalam kategori *safety* dan *operational*. *Proposed task* yang diusulkan untuk mengatasi mode kegagalan ini berupa pembersihan HE pada sisi tube secara berkala. Selanjutnya *proposed task* ini perlu dilakukan penjadwalan agar kegiatan perawatan dapat berjalan secara efektif dan efisien.

b) Internal Leakage (INL)

Mode kegagalan tersebut termasuk kedalam *critical severity class*. Penyebab INL adalah korosi. Apabila mode kegagalan ini terjadi akan mengakibatkan kegagalan fungsi. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk kedalam kategori operasional dan *hidden failure*. *Proposed task* yang diusulkan untuk mengatasi mode kegagalan ini berupa inspeksi pada bagian body/shell. Sedangkan tindakan mitigasi yang diusulkan adalah *coating* terhadap body/shell. Selanjutnya *proposed task* ini perlu dilakukan penjadwalan agar kegiatan perawatan dapat berjalan secara efektif dan efisien.

c) External Leakage – Process Medium (ELP)

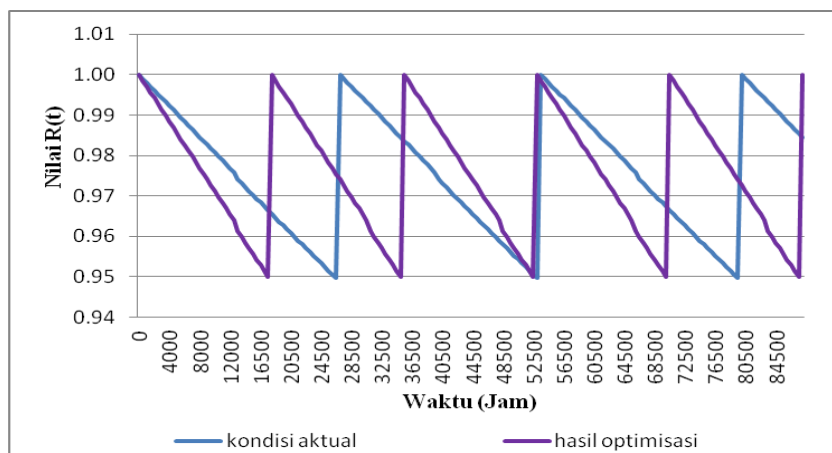
Mode kegagalan tersebut termasuk kedalam *critical severity class*. Penyebab ELP adalah korosi pada tube dan kegagalan mekanik. Apabila mode kegagalan ini terjadi akan mengakibatkan kebakaran dan ledakan. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk kedalam kategori *safety*. *Proposed task* yang diusulkan untuk mengatasi mode kegagalan ini inspeksi terhadap sistem perpipaan. Selanjutnya *proposed task* ini perlu dilakukan penjadwalan agar kegiatan perawatan dapat berjalan secara efektif dan efisien.

4.6.2 Penentuan interval perawatan pada *reboiler*

Berdasarkan tabel 3.1 dan tabel 3.2 dapat diketahui bahwa nilai *failure rate* untuk *reboiler* sebesar $1,95 \times 10^{-6}$ dan nilai untuk *time interval* sebesar 26280 jam

(1095 hari). Dari *time interval* ini dapat kita tentukan bahwa dalam periode 87600 jam operasi (3650 hari), *reboiler* mengalami perawatan pencegahan sebanyak 3 kali. Nilai *failure rate* dan *time interval* ini diasumsikan sebagai kondisi aktual *reboiler* sehingga untuk mencapai nilai optimal perlu dilakukan optimisasi berbasis RPN. Hasil interval perawatan hasil optimisasi diharapkan memiliki *downtime* dan biaya perawatan perbaikan yang lebih rendah daripada kondisi aktual.

Selanjutnya dari hasil optimisasi diperoleh nilai *time interval* setiap 17520 jam operasi (730 hari). Nilai interval perawatan hasil optimisasi ini lebih pendek jika dibandingkan dengan nilai *time interval* perawatan pada kondisi aktual. Ini artinya interval perawatan perlu lebih diperketat dibandingkan dengan kondisi awal. Selanjutnya dapat disimpulkan bahwa frekuensi perawatan pencegahan hasil optimisasi dalam periode 87600 jam operasi (3650 hari) dilakukan sebanyak 5 kali. Perbandingan interval perawatan antara kondisi aktual dengan hasil optimisasi ditunjukkan pada gambar 4.6 dibawah ini.



Gambar 4.6 Grafik interval perawatan pada *amine reboiler*

4.6.3 Perhitungan biaya perawatan pada *reboiler*

Selanjutnya untuk menghitung *downtime* pada kondisi aktual dan hasil optimisasi dapat dilakukan dengan mengkorelasi data pada tabel 3.4, tabel 4.6 dan gambar 4.6. Berdasarkan data lapangan untuk *reboiler* pernah mengalami lima kali kegagalan, sehingga perawatan rutin belum berjalan secara optimal. Apabila untuk setiap perbaikan diperlukan waktu 14 jam dan dilakukan perawatan pencegahan

sebanyak 3 kali dalam periode 87600 jam. Jadi total downtime pada kondisi aktual sebesar 91 jam.

Sedangkan berdasarkan hasil optimisasi diperoleh total perawatan pencegahan dalam periode operasi 87600 jam sebanyak 5 kali dan 0,3 kali perbaikan. Oleh karena itu, downtime hasil optimisasi sebesar 75 jam. Apabila *economic lost* setiap jam akibat perawatan sebesar \$ 100 maka perbandingan *economic lost* pada kondisi aktual dengan hasil optimisasi ditunjukkan pada tabel 4.23

Tabel 4.23 Perbandingan downtime pada *reboiler*

Kondisi	Kondisi aktual (jam)	Hasil optimisasi (jam)	Profit (\$)
Besarnya biaya	91	75	1.600

Selanjutnya biaya total untuk perawatan pencegahan dan perbaikan dihitung dengan mengkorelasi tabel 3.3 dengan gambar 4.6. Hasil perhitungan untuk kedua biaya ini ditampilkan pada tabel 4.24

Tabel 4.24 Hasil perhitungan biaya perawatan total untuk *reboiler*

Hasil perhitungan	PMC (\$)	CMC (\$)	C _T (\$)	Profit (\$)
Aktual	447	402	849	-164
Optimisasi	745	268	1.013	

Berdasarkan tabel 4.24 biaya total perawatan pencegahan hasil optimisasi mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi aktual. Hal ini diakibatkan interval perawatan hasil optimisasi lebih pendek dibandingkan kondisi aktual, sehingga frekuensi perawatan menjadi meningkat. Dengan kata lain, frekuensi perawatan perlu lebih diperketat untuk memitigasi kegagalan yang terjadi. Selain itu dengan memperketat frekuensi perawatan pencegahan akan mampu menekan kegagalan peralatan sehingga perawatan perbaikan hasil optimisasi dapat ditekan. Selanjutnya profit merupakan penjumlahan profit downtime dan biaya perawatan total untuk *reboiler* yaitu sebesar \$ 1.436.

4.7 Control Valve

4.7.1 Analisis *control valve* menggunakan RCM II

Fungsi utama peralatan ini adalah untuk mengendalikan laju alir cairan pada

amine contactor inlet KO drum kompartemen pertama *vessel* bawah. Berdasarkan analisis RCM decision diagram menunjukkan bahwa kegagalan pada *control valve* berdampak terhadap *safety*, *hidden failure* dan operasional. Untuk memitigasi kegagalan dilakukan perawatan terhadap *control valve*. Agar perawatan dapat berjalan efektif dan efisien maka perlu ditetapkan jadwal perawatan secara tepat sehingga performance *control valve* tetap terjaga dan biaya perawatan dapat ditekan. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan optimisasi terhadap *time interval* agar diperoleh interval perawatan yang optimal. Selanjutnya berdasarkan hasil analisis FMEA dapat kita ketahui frekuensi kegagalan dan hasil analisis RPN

untuk *control valve* seperti ditunjukkan dalam tabel 4.25

Tabel 4.25 Lembar FMEA untuk control valve

No	Mekanisme kegagalan	Metode deteksi	Detection	Occurance	Severity	RPN
1	Body gasket damage	Sistem alarm	6	1	3	198
2	Spring broken	Sistem alarm		2		
3	Closure member blockage	Sistem alarm		2		
4	Gear teeth distortion	Sistem alarm		2		
5	Hooking of plug valve	Sistem alarm		1		
6	Actuator diaphragm leaks	Sistem alarm		3		

Untuk memitigasi kegagalan peralatan tersebut dilakukan analisa RCM terhadap *control valve* seperti ditampilkan dalam tabel 4.26.

Tabel 4.26 RCM Decision Diagram *Control Valve*

No	Failure mode	Maintenable item	Failure cause	Proactive Maintenance	Proposed task
1	FTR	<i>E/P Positioner</i>	<i>Low air pressure supply</i>	<i>Schedule conditioning</i>	Uji fungsi <i>control valve</i>

Tabel 4.26 RCM Decision Diagram *Control Valve* (lanjutan)

No	Failure mode	Maintenable item	Failure cause	Proactive Maintenance	Proposed task
	FTR	<i>E/P Positioner</i>	<i>E/P Positioner discrepancy</i>	<i>task</i>	
2	LCP	<i>Seat ring</i>	<i>Seat rings gasket damage</i>	<i>Schedule restoration task</i>	<i>Repair</i>
3	FTO	<i>Diaphragm</i>	<i>Diaphragm leaks</i> <i>Input devices fail</i>	<i>Schedule on conditioning task</i>	Uji fungsi control valve
4	FTC	<i>Closure member</i>	<i>Closure member blockage</i>	<i>Schedule on conditioning task</i>	Uji fungsi control valve
5	ELP	<i>Bonnet Packing</i>	<i>Body bonnet gasket damage</i> <i>Stem packing damage</i> Korosi	<i>Schedule on restoration task</i>	<i>Repair</i>
6	AIR	<i>Instrument</i>	Kegagalan instrumen	<i>Schedule on conditioning task</i>	Uji fungsi dan kalibrasi

Berdasar pada tabel 4.26, mode dan penyebab kegagalan pada *control valve* dapat diuraikan sebagai berikut:

a) Fail to Regulate (FTR)

Mode kegagalan tersebut termasuk kedalam *critical severity class*. Penyebab FTR adalah suplai tekanan rendah dan *E/P Positioner discrepancy*. Apabila mode kegagalan ini terjadi akan mengakibatkan ketidakakuratan bukaan valve. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk kedalam kategori *safety* dan *operational*. *Proposed task* yang diusulkan untuk mengatasi mode kegagalan ini berupa uji fungsi *control valve* secara berkala. Selanjutnya *proposed task* ini perlu dilakukan penjadwalan agar kegiatan perawatan dapat berjalan secara efektif dan efisien.

b) Leakage in Closed Position (LCP)

Mode kegagalan tersebut termasuk kedalam *critical severity class*. Penyebab LCP adalah posisi penempatan valve yang tidak tepat. Apabila mode

kegagalan ini terjadi akan mengakibatkan aliran fluida tidak terkendali. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk kedalam kategori *hidden failure*. *Proposed task* yang diusulkan untuk mengatasi mode kegagalan ini berupa repair terhadap *seat ring gasket*. Selanjutnya *proposed task* ini perlu dilakukan penjadwalan agar kegiatan perawatan dapat berjalan secara efektif dan efisien.

c) Fail to Open on Demand (FTO)

Mode kegagalan tersebut termasuk kedalam *critical severity class*. Penyebab FTO adalah penempatan posisi valve tidak sesuai dengan input yang diinginkan. Apabila mode kegagalan ini terjadi akan mengakibatkan kebakaran dan ledakan. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk kedalam kategori *hidden failure* dan *safety*. *Proposed task* yang diusulkan untuk mengatasi mode kegagalan ini berupa uji fungsi dan kalibrasi. Selanjutnya *proposed task* ini perlu dilakukan penjadwalan agar kegiatan perawatan dapat berjalan secara efektif dan efisien.

d) Fail to Close on Demand (FTC)

Mode kegagalan tersebut termasuk kedalam *critical severity class*. Penyebab OHE adalah kegagalan instrument. Apabila mode kegagalan ini terjadi akan mengakibatkan ledakan. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk kedalam kategori *hidden failure* dan *safety*. *Proposed task* yang diusulkan untuk mengatasi mode kegagalan ini berupa uji fungsi & kalibrasi instrument secara berkala. Selanjutnya *proposed task* ini perlu dilakukan penjadwalan agar kegiatan perawatan dapat berjalan secara efektif dan efisien.

e) External Leakage (ELP)

Mode kegagalan tersebut termasuk kedalam *critical severity class*. Penyebab ELP adalah kegagalan mekanik dan korosi. Apabila mode kegagalan ini terjadi akan mengakibatkan kebakaran & ledakan. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk kedalam kategori *safety*. *Proposed task* yang diusulkan untuk mengatasi mode kegagalan ini berupa repair terhadap *body bonet*. Selanjutnya *proposed task* ini perlu dilakukan penjadwalan agar kegiatan perawatan dapat berjalan secara efektif dan efisien.

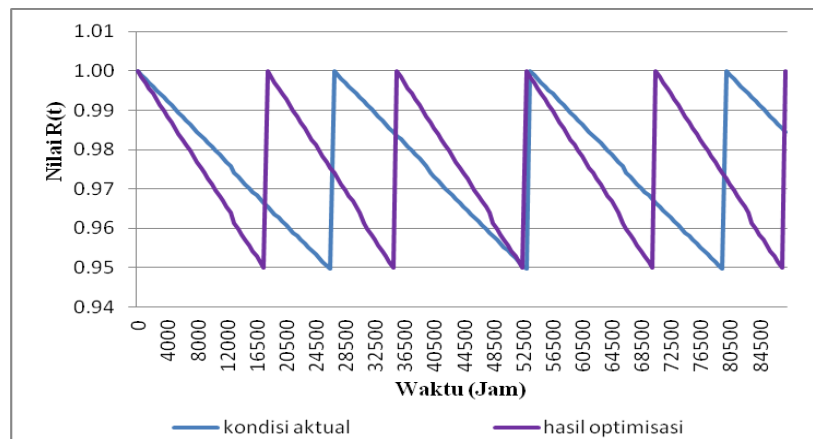
f) Abnormal Instrument Reading (AIR)

Mode kegagalan tersebut termasuk kedalam *critical severity class*. Penyebab AIR adalah kegagalan instrument. Apabila mode kegagalan ini terjadi akan mengakibatkan ketidak akuratan pengukuran. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk kedalam kategori *hidden failure* dan *safety. Proposed task* yang diusulkan untuk mengatasi mode kegagalan ini berupa uji fungsi & kalibrasi *instrument* secara berkala. Selanjutnya *proposed task* ini perlu dilakukan penjadwalan agar kegiatan perawatan dapat berjalan secara efektif dan efisien.

4.7.2 Penentuan interval perawatan pada *control valve*

Berdasarkan tabel 3.1 dan tabel 3.2 dapat diketahui bahwa nilai *failure rate* untuk *control valve* sebesar $1,95 \times 10^{-6}$ dan nilai untuk *time interval* sebesar 26280 jam (1095 hari). Dari *time interval* ini dapat kita tentukan bahwa dalam periode 87600 jam operasi (3650 hari), *control valve* mengalami perawatan pencegahan sebanyak 3 kali. Nilai *failure rate* dan *time interval* ini diasumsikan sebagai kondisi aktual *control valve* sehingga untuk mencapai nilai optimal perlu dilakukan optimisasi berbasis RPN. Hasil interval perawatan hasil optimisasi diharapkan memiliki *downtime* dan biaya perawatan perbaikan yang lebih rendah daripada kondisi aktual.

Selanjutnya dari hasil optimisasi diperoleh nilai *time interval* setiap 17520 jam operasi (730 hari). Nilai interval perawatan hasil optimisasi ini lebih pendek jika dibandingkan dengan nilai *time interval* perawatan pada kondisi aktual. Ini artinya interval perawatan perlu lebih diperketat dibandingkan dengan kondisi awal. Selanjutnya dapat disimpulkan bahwa frekuensi perawatan pencegahan hasil optimisasi dalam periode 87600 jam operasi (3650 hari) dilakukan sebanyak 5 kali. Perbandingan interval perawatan antara kondisi aktual dengan hasil optimisasi ditunjukkan pada gambar 4.7 dibawah ini.



Gambar 4.7 Grafik interval perawatan pada *control valve*

4.7.3 Perhitungan biaya perawatan pada *control valve*

Selanjutnya untuk menghitung *downtime* pada kondisi aktual dan hasil optimisasi dapat dilakukan dengan mengkorelasi data pada tabel 3.4, tabel 4.6 dan gambar 4.7. Berdasarkan data lapangan untuk *control valve* pernah mengalami sebelas kali kegagalan, hal ini menunjukkan perawatan rutin belum berjalan secara optimal. Apabila untuk setiap perbaikan diperlukan waktu 5 jam dan dilakukan perawatan pencegahan sebanyak 3 kali dalam periode 87600 jam. Jadi total *downtime* pada kondisi aktual sebesar 61 jam.

Sedangkan berdasarkan hasil optimisasi diperoleh total perawatan pencegahan dalam periode operasi 87600 jam sebanyak 5 kali dan 0,3 kali perbaikan. Oleh karena itu, *downtime* hasil optimisasi sebesar 12 jam. Namun karena desain *control valve* dibuat redundan maka *downtime* akibat perbaikan peralatan pada saat dioperasikan dapat diabaikan. Apabila *economic lost* setiap jam akibat perawatan sebesar \$ 100 maka perbandingan *economic lost* pada kondisi aktual dengan hasil optimisasi ditunjukkan pada tabel 4.27

Tabel 4.27 Perbandingan *downtime* pada *control valve*

Kondisi	Kondisi aktual (jam)	Hasil optimisasi (jam)	Profit (\$)
Besarnya biaya	61	12	4.900

Selanjutnya biaya total untuk perawatan pencegahan dan perbaikan dihitung dengan mengkorelasi tabel 3.3 dengan gambar 4.7. Hasil perhitungan untuk kedua biaya ini ditampilkan pada tabel 4.28

Tabel 4.28 Hasil perhitungan biaya perawatan total untuk control valve

Hasil perhitungan	PMC (\$)	CMC (\$)	C _T (\$)	Profit (\$)
Aktual	96	140	236	-17
Optimisasi	160	93	253	

Berdasarkan tabel 4.28 biaya total perawatan pencegahan hasil optimisasi mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi aktual. Hal ini diakibatkan interval perawatan hasil optimisasi lebih pendek dibandingkan kondisi aktual, sehingga frekuensi perawatan menjadi meningkat. Dengan kata lain, frekuensi perawatan perlu lebih diperketat untuk memitigasi kegagalan yang terjadi. Selain itu dengan memperketat frekuensi perawatan pencegahan akan mampu menekan kegagalan peralatan sehingga perawatan perbaikan hasil optimisasi dapat ditekan. Selanjutnya profit merupakan penjumlahan profit downtime dan biaya perawatan total untuk *control valve* yaitu sebesar \$ 4.883.

4.8 Lean Amine Cooler

4.8.1 Analisis *amine cooler* menggunakan RCM II

Fungsi utama peralatan ini adalah untuk lebih mendinginkan lean amine yang berasal dari Lean/Rich Amine Exchanger 135-H-02 A/B. Berdasarkan analisis RCM decision diagram menunjukkan bahwa kegagalan pada amine cooler berdampak terhadap lingkungan, operasional dan *hidden failure*. Korosi pada *body/shell amine cooler* perlu mendapatkan perhatian serius karena mengakibatkan ketidakmampuan pendinginan lanjut lean amine pada bagian hilir penukar *lean/rich amine*. Hal ini berpotensi mengakibatkan kehilangan pendingin yang dapat memicu ledakan. Untuk memitigasi kegagalan dilakukan perawatan terhadap *amine cooler*. Agar perawatan dapat berjalan efektif dan efisien maka perlu ditetapkan jadwal perawatan secara tepat sehingga performance *amine cooler* tetap terjaga dan biaya perawatan dapat ditekan. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan optimisasi terhadap *time interval* agar diperoleh interval perawatan yang optimal. Selanjutnya berdasarkan analisa FMEA dapat diketahui frekuensi kegagalan dan hasil RPN untuk *amine cooler* seperti ditunjukkan dalam tabel 4.29.

Tabel 4.29 Lembar FMEA untuk amine cooler

No	Mekanisme kegagalan	Metode deteksi	Detection	Occurance	Severity	RPN
1	Fin tube fouling	Kenaikan suhu	5	2	6	180
2	Korosi	Kebocoran		2		
3	Kegagalan mekanik	Vibrasi		2		

Untuk memitigasi kegagalan peralatan tersebut dilakukan melalui analisa RCM seperti ditampilkan dalam tabel 4.30 dibawah ini.

Tabel 4.30 RCM Decision Diagram Lean Amine Cooler

No	Failure mode	Maintenable item	Failure cause	Proactive Maintenance	Proposed task
1	ELP	<i>Gasket</i>	Kegagalan mekaik	<i>Schedule on restoration task</i>	<i>Repair</i>
2	INL	<i>Body/shell</i>	Korosi	<i>Schedule on conditioning task</i>	Inspeksi pada <i>body/shell</i>
3	IHT	<i>Support</i>	Kegagalan mekanik	<i>Schedule on restoration task</i>	Perbaikan pada kipas

Berdasar pada tabel 4.30, mode dan penyebab kegagalan pada *amine cooler* dapat diuraikan sebagai berikut:

a) External Leakage – Process Medium (ELP)

Mode kegagalan tersebut termasuk kedalam *critical severity class*. Penyebab ELP adalah kegagalan mekanik. Apabila mode kegagalan ini terjadi akan mengakibatkan penurunan level amina yang berpotensi mencemari lingkungan. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk kedalam kategori *hidden failure* dan *environmental*. *Proposed task* yang diusulkan untuk mengatasi mode kegagalan ini berupa perbaikan pada seals (gasket). Selanjutnya *proposed task* ini perlu dilakukan penjadwalan agar kegiatan perawatan dapat berjalan secara efektif dan efisien.

b) Internal Leakage (INL)

Mode kegagalan tersebut termasuk kedalam *critical severity class*. Penyebab INL adalah korosi antara bagian panas dengan dingin. Apabila mode

kegagalan ini terjadi akan mengakibatkan kontaminasi *lean amine*. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk kedalam kategori *hidden failure* dan operasional. *Proposed task* yang diusulkan untuk mengatasi mode kegagalan ini inspeksi terhadap *body/shell*. Selanjutnya *proposed task* ini perlu dilakukan penjadwalan agar kegiatan perawatan dapat berjalan secara efektif dan efisien.

c) Insufficient Heat Transfer (IHT)

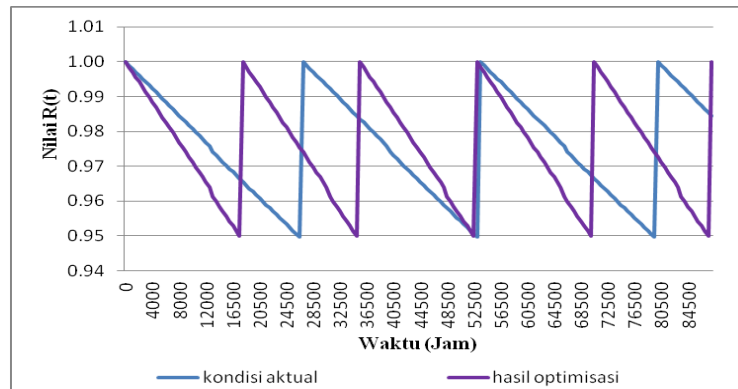
Mode kegagalan tersebut termasuk kedalam *critical severity class*. Penyebab IHT adalah kegagalan mekanik. Apabila mode kegagalan ini terjadi akan mengakibatkan meningkatnya temperatur amina yang masuk ke amine contactor sehingga mengurangi efisiensi pembuangan gas asam. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk kedalam kategori *hidden failure* dan *operational*. *Proposed task* yang diusulkan untuk mengatasi mode kegagalan ini berupa perbaikan komponen mekanik. Selanjutnya *proposed task* ini perlu dilakukan penjadwalan agar kegiatan perawatan dapat berjalan secara efektif dan efisien.

4.8.2 Penentuan interval perawatan pada *amine cooler*

Berdasarkan tabel 3.1 dan tabel 3.2 dapat diketahui bahwa nilai *failure rate* untuk *amine cooler* sebesar $1,95 \times 10^{-6}$ dan nilai untuk *time interval* sebesar 26280 jam (1095 hari). Dari *time interval* ini dapat kita tentukan bahwa dalam periode 87600 jam operasi (3650 hari), *amine cooler* mengalami perawatan pencegahan sebanyak 3 kali. Nilai *failure rate* dan *time interval* ini diasumsikan sebagai kondisi aktual *amine cooler* sehingga untuk mencapai nilai optimal perlu dilakukan optimisasi berbasis RPN. Hasil interval perawatan hasil optimisasi diharapkan memiliki *downtime* dan biaya perawatan perbaikan yang lebih rendah daripada kondisi aktual.

Selanjutnya dari hasil optimisasi diperoleh nilai *time interval* setiap 17520 jam operasi (730 hari). Nilai interval perawatan hasil optimisasi ini lebih pendek jika dibandingkan dengan nilai *time interval* perawatan pada kondisi aktual. Ini artinya interval perawatan perlu lebih diperketat dibandingkan dengan kondisi awal. Selanjutnya dapat disimpulkan bahwa frekuensi perawatan pencegahan hasil

optimisasi dalam periode 87600 jam operasi (3650 hari) dilakukan sebanyak 5 kali. Perbandingan interval perawatan antara kondisi aktual dengan hasil optimisasi ditunjukkan pada gambar 4.8 dibawah ini.



Gambar 4.8 Grafik interval perawatan pada *amine cooler*

4.8.3 Perhitungan biaya perawatan pada *amine cooler*

Selanjutnya untuk menghitung *downtime* pada kondisi aktual dan hasil optimisasi dapat dilakukan dengan mengkorelasi data pada tabel 3.4, tabel 4.6 dan gambar 4.8. Berdasarkan data lapangan untuk *amine cooler* pernah mengalami enam kali kegagalan, sehingga perawatan rutin belum berjalan secara optimal. Apabila untuk setiap perbaikan diperlukan waktu 14 jam dan dilakukan perawatan pencegahan sebanyak 3 kali dalam periode 87600 jam. Jadi total *downtime* pada kondisi aktual sebesar 108 jam.

Sedangkan berdasarkan hasil optimisasi diperoleh total perawatan pencegahan dalam periode operasi 87600 jam sebanyak 5 kali dan 0,3 kali perbaikan. Oleh karena itu, *downtime* hasil optimisasi sebesar 45 jam. Apabila *economic lost* setiap jam akibat perawatan sebesar \$ 100 maka perbandingan *economic lost* pada kondisi aktual dengan hasil optimisasi ditunjukkan pada tabel 4.31

Tabel 4.31 Perbandingan *downtime* pada *amine cooler*

Kondisi	Kondisi aktual (jam)	Hasil optimisasi (jam)	Profit (\$)
Besarnya biaya	108	45	6.300

Selanjutnya biaya total untuk perawatan pencegahan dan perbaikan dihitung dengan mengkorelasi tabel 3.3 dengan gambar 4.8. Hasil perhitungan untuk kedua biaya ini ditampilkan pada tabel 4.32

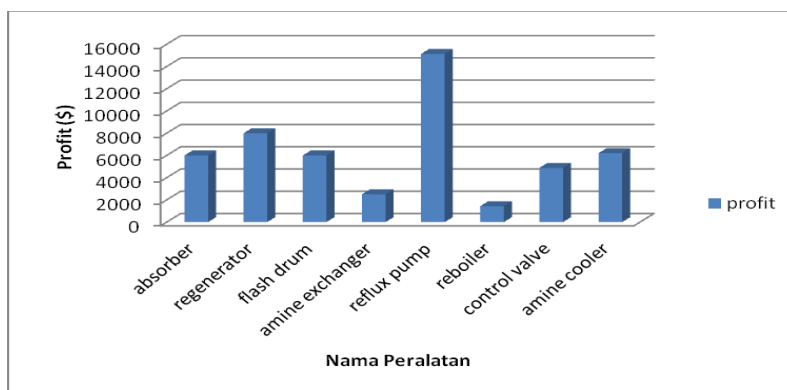
Tabel 4.32 Hasil perhitungan biaya perawatan total untuk amine cooler

Hasil perhitungan	PMC (\$)	CMC (\$)	C _T (\$)	Profit (\$)
Aktual	270	257	527	-94
Optimisasi	450	171	621	

Berdasarkan tabel 4.32 biaya total perawatan pencegahan hasil optimisasi mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi aktual. Hal ini diakibatkan interval perawatan hasil optimisasi lebih pendek dibandingkan kondisi aktual, sehingga frekuensi perawatan menjadi meningkat. Dengan kata lain, frekuensi perawatan perlu lebih diperketat untuk memitigasi kegagalan yang terjadi. Selain itu dengan memperketat frekuensi perawatan pencegahan akan mampu menekan kegagalan peralatan sehingga perawatan perbaikan hasil optimisasi dapat ditekan. Selanjutnya profit merupakan penjumlahan profit downtime dan biaya perawatan total untuk *amine cooler* yaitu sebesar \$ 6.206.

4.9 Perhitungan biaya total

Biaya total untuk setiap peralatan proses dihitung berdasarkan persamaan (3.1). Selanjutnya dengan memasukkan profit untuk setiap peralatan dapat kita peroleh profit total keseluruhan untuk perawatan peralatan proses berdasarkan selisih profit hasil optimisasi dengan kondisi aktual. Besarnya profit yang diperoleh untuk setiap peralatan ditampilkan pada gambar 4.9 berikut ini.



Gambar 4.9 Profit yang diperoleh setiap peralatan

Berdasarkan gambar 4.9 diatas profit terbesar berasal dari perawatan *reflux pump*. Faktor yang mempengaruhi besarnya profit ini adalah *downtime*, biaya total perawatan dan penjadwalan perawatan dalam rangka menekan kegagalan peralatan. Dari hasil analisis menunjukkan bahwa nilai *downtime* merupakan penyumbang terbesar total cost untuk perawatan, sehingga perlu diminimalisir. Berdasarkan perhitungan biaya perawatan total dapat diketahui bahwa rescheduling perawatan berbasis pembobotan RPN efektif untuk menekan *downtime*. Meskipun berdasarkan pembobotan nilai RPN beberapa peralatan harus diperketat frekuensi perawatannya, namun biaya untuk menambah frekuensi perawatan ini masih lebih kecil dibanding dengan keuntungan yang diperoleh dari meminimalkan *downtime*. Hal ini disebabkan penjadwalan ulang perawatan mampu menekan kerugian akibat kegagalan peralatan dan memberikan klasifikasi kegagalan yang efisien berdasarkan pada prioritas kegagalan. Dari sini dapat kita simpulkan bahwa pengaruh *downtime* akibat perbaikan peralatan pada saat *plant* beroperasi sangat penting untuk dipertimbangkan. Selanjutnya kita juga dapat menentukan profit total biaya perawatan seluruh peralatan proses. Besarnya profit total ini dari hasil penjumlahan profit yang diperoleh dari setiap peralatan proses yaitu sebesar **\$ 50.160**.

Selanjutnya berdasarkan hasil optimisasi berbasis pembobotan nilai RPN maka secara garis besar interval perawatan dapat diklasifikasikan seperti pada tabel

4.33 berikut.

Tabel 4.33 Pengklasifikasian Interval Perawatan Berdasar Kritikalitas Peralatan

No	Nilai RPN	Kelompok	Interval perawatan
1	0 s/d 10	VIII	Tidak perlu dilakukan perawatan
2	10 s/d 100	VII	Setiap 3 tahun
3	100 s/d 200	VI	Setiap 2 tahun
4	200 s/d 450	V	Setiap setahun
5	450 s/d 600	IV	Setiap bulan
6	600 s/d 700	III	Setiap minggu
7	700 s/d 750	II	Setiap hari
8	>750	I	Setiap jam

Berdasarkan tabel diatas, semakin besar nilai RPN maka interval perawatan perlu diperketat. Sedangkan perbandingan interval waktu penjadwalan perawatan peralatan proses berdasarkan hasil optimisasi dengan kondisi awal ditampilkan

dalam tabel 4.34 dibawah ini.

Tabel 4.34 Penjadwalan perawatan peralatan proses gas sweetening

No	Nama peralatan	Tahun ke-n										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Absorber											
2	Regenerator											
3	Flash drum											
4	Amine exchanger											
5	Reflux pump											
6	Reboiler											
7	Control valve											
8	Amine cooler											
	Hasil optimisasi											
	Kondisi awal (aktual)											

BAB V

KESIMPULAN & SARAN

Berdasarkan perhitungan RPN menunjukkan bahwa kegagalan pompa, *control valve*, *reboiler* dan *amine cooler* cenderung meningkat, meskipun telah dilakukan perawatan secara periodik. Selanjutnya berdasarkan hasil optimisasi diperoleh hasil bahwa frekuensi perawatan untuk peralatan tersebut perlu diperketat. Peningkatan frekuensi perawatan ini dapat menekan *downtime* dan kegagalan peralatan pada saat dioperasikan, sehingga mampu menekan biaya perbaikan.

Untuk peralatan proses yang lain berdasarkan hasil optimisasi menunjukkan nilai interval perawatan hasil optimisasi mendekati nilai kondisi aktual. Hal ini menunjukkan bahwa interval perawatan pada kondisi awal (aktual) masih efektif untuk digunakan. Selanjutnya profit total yang diperoleh dari hasil optimisasi berbasis pembobotan RPN dalam rangka menentukan time interval yang optimal sebesar \$ 50.160.

Pada penelitian ini menggunakan data sekunder karena tidak tersedia data lapangan, sehingga untuk hasil yang lebih komprehensif untuk penelitian yang akan datang disarankan untuk menggunakan data lapangan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Afey, I. H. (2010) 'Reliability-Centered Maintenance Methodology and Application : A Case Study', 2010(November), pp. 863–873. doi: 10.4236/eng.2010.211109.
- Balagurusamy (1994) *Reliability Engineering*. Mc Graw-Hill.
- Ebeling (1997) 'An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering', New York: The Mc Graw Hill Companies, Inc.
- Booker, S. *et al.* (1994) 'AGING MANAGEMENT GUIDELINE FOR COMMERCIAL NUCLEAR POWER PLANTS- HEAT EXCHANGERS', in. US DOE.
- Cotaina, N. (2000) 'Study of Existing Reliability Centered Maintenance (Rcm)', pp. 1–97.
- Gandhare, B. S. (2016) 'Maintenance Strategy Selection', (April).
- Gupta, S. (2013) 'OPTIMIZATION OF COST MAINTENANCE AND REPLACEMENT FOR ONE-UNIT SYSTEM', 2(4).
- Hawkins, B. (2016) 'Instrumentation – It ' s Not Just for Process Control Anymore', (May), pp. 1–7.
- Moubray, J. (1997) *Reliability Centred Maintenance (BookFi)*.
- OREDA (2002) 'OREDA2002', pp. 1–835.
- Biyanto, T.R. (2016) 'Thermal and Hydraulic Impacts Consideration in Refinery Crude Preheat Train Cleaning Scheduling Using Recent Stochastic Optimization Methods', Elsevier.
- Redutskiy, Y. (2017) 'Modelling and Design of Safety Instrumented Systems for Upstream Processes of Petroleum Sector', *Procedia Engineering*. The Author(s), 182(1877), pp. 611–618. doi: 10.1016/j.proeng.2017.03.165.
- Riswanto, F. D. *et al.* (2017) 'OPTIMISASI MAINTENANCE COST PADA RCM BERDASARKAN FAILURE RATE'.
- Riswanto, F. D. (2018) *OPTIMISASI MAINTENANCE COST PADA RELIBAILITY CENTERED MAINTENANCE BERDASARKAN FAILURE RATE PADA SISTEM FLASH GAS COMPRESSION*.
- Samanta, S. (2014) 'Genetic Algorithm : An Approach for Optimization (Using MATLAB)', 3(3), pp. 261–267.
- Sanjoyo (2006) 'Aplikasi Algoritma Genetika', *Aplikasi Algoritma Genetika*, pp. 1–23.

Siddiqui, A. (2009) 'Reliability Centred Maintenance', *Handbook of Maintenance Management and Engineering*, (September), pp. 1–20. doi: 10.1007/978-1-84882-472-0.

Tayal, M. C. and Fu, Y. (1999) 'Optimal Design of Heat Exchangers : A Genetic Algorithm Framework', pp. 456–467.

TRB (2013) 'Simple Genetic Algorithm (by TRB)'.

Singh, D. (2013) '*Study of Centrifugal Pump Using Failure Mode Effect and Critical Analysis Based on Fuzzy Cost Estimation: A Case Study*', International Journal of Science and Research.

Ibrahim, A. (2015) '*Reliability Analysis of Reactor Regenerator Unit of The Kaduna Refinery Using Failure Modes Effects and Criticality Analysis*', International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science.

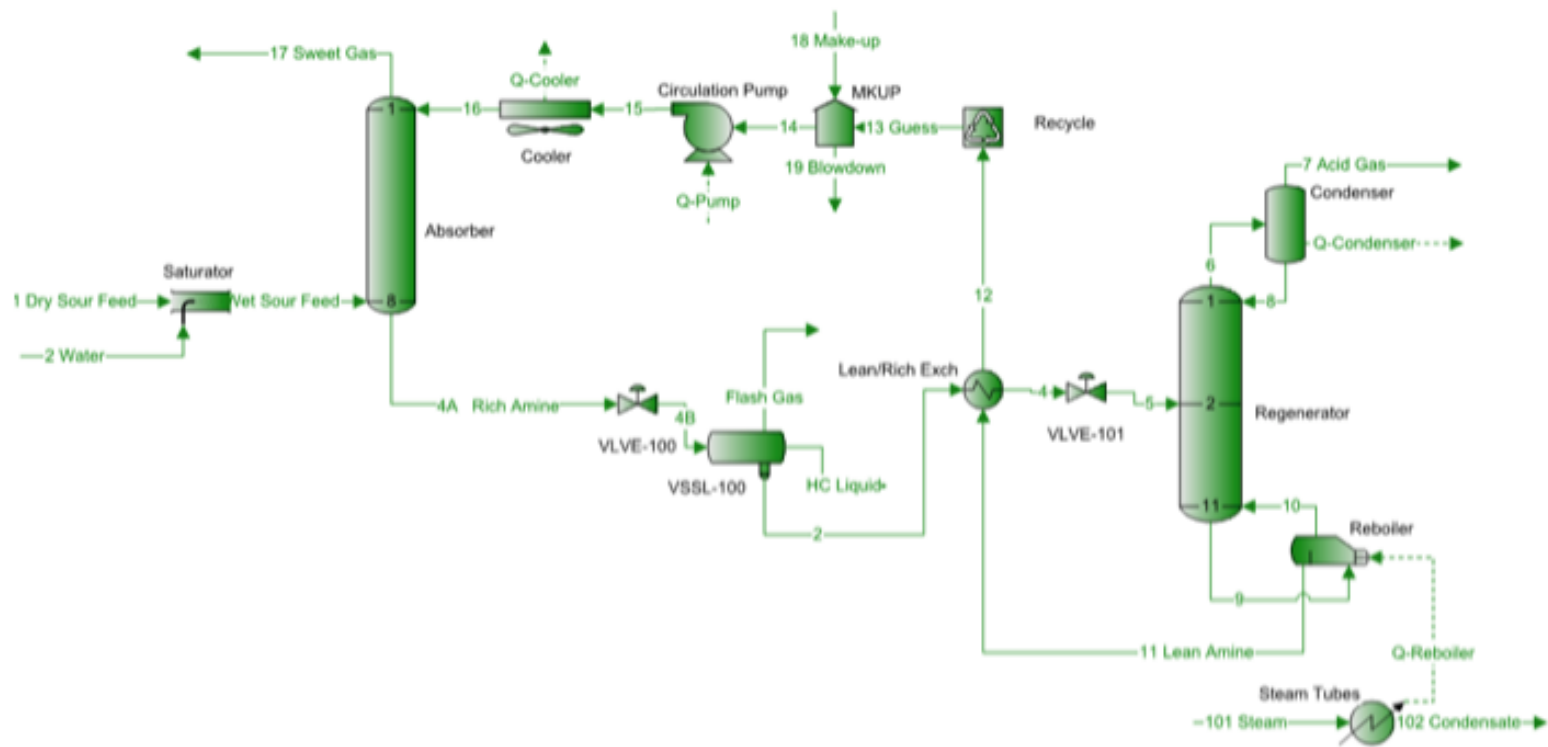
Taufik, 'Penentuan Interval Waktu Perawatan Komponen Kritis Pada Mesin Turbin di PT PLN Sektor Pembangkit Ombilin', Optimasi Sistem Industri.

Mitra, S. (2015) '*A Technical Report on Gas Sweetening System*', ResearchGate.

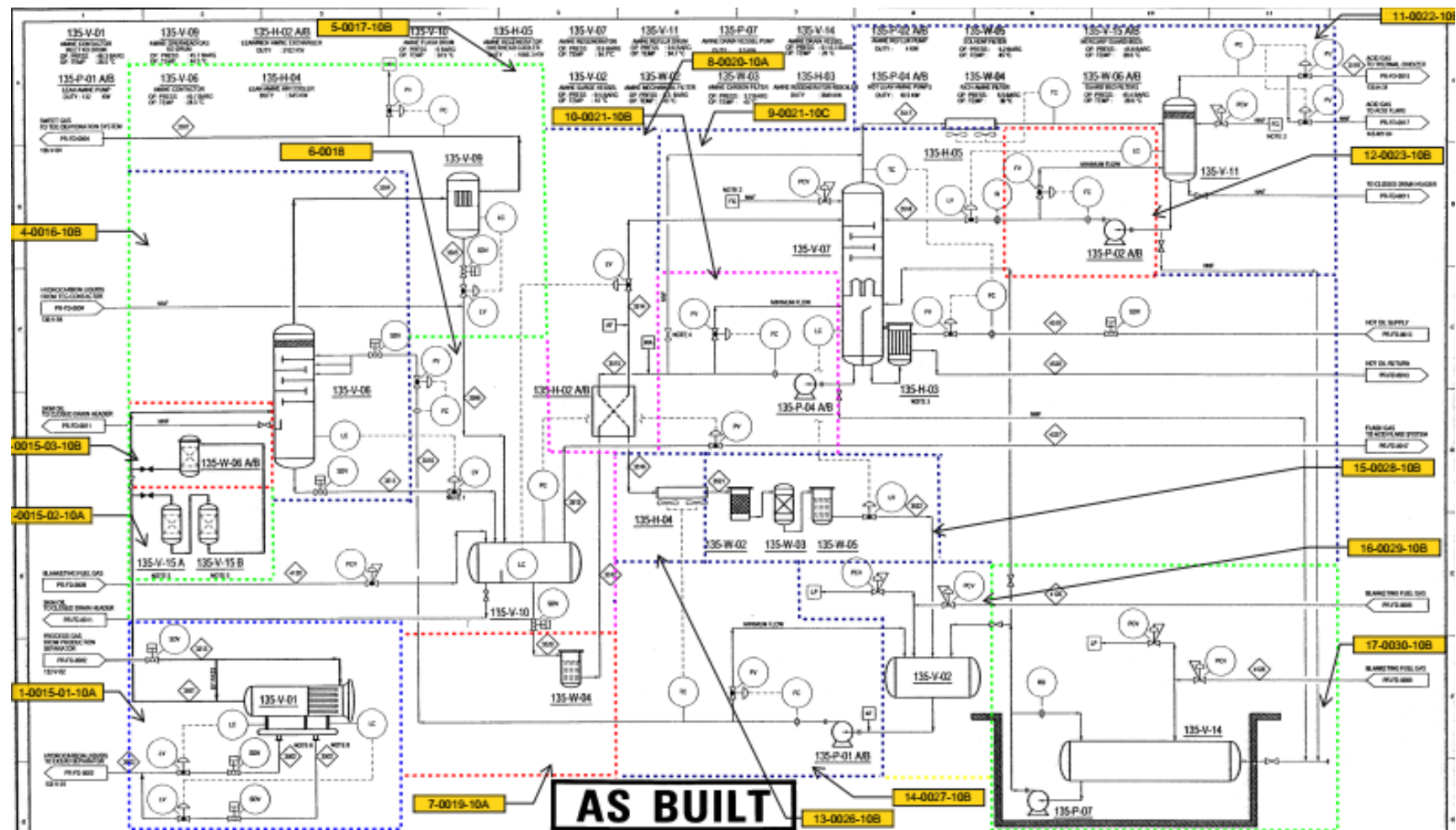
Savsar, M. (2013) '*Analysis and Scheduling of Maintenance Operation for a Chain of Gas Stations*', Journal of Industrial Engineering.

Nguyen, DQ. (2008) '*Optimization of Preventive Maintenance Scheduling in Processing Plants*', 18th European Symposium on Computer Aided Process Engineering.

LAMPIRAN



Gambar 1 PFD Plant Gas Sweetening



Gambar 2 P&ID Peralatan Proses Pada Gas Sweetening Plant