



TUGAS AKHIR - TM 141585

**PERANCANGAN DAN PENERAPAN SISTEM
PEMELIHARAAN PADA *DIRTY SULPHUR PUMP P-
1002A/B* DENGAN METODE *RELIABILITY
CENTERED MAINTENANCE***

**(Studi Kasus: PT Petrokimia Gresik Unit Sulphur
Handling)**

ZAHRA FIRDAUS
NRP 0211134000055

Dosen Pembimbing
Ir. WITANTYO, M.Eng.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018



FINAL PROJECT - TM 141585

**DESIGN AND MAINTENANCE SYSTEM
IMPLEMENTATION USING RELIABILITY
CENTERED MAINTENANCE METHOD ON *DIRTY
SULPHUR PUMP P-1002A/B***

**(Case Study: PT Petrokimia Gresik Sulphur Handling
Unit)**

ZAHRA FIRDAUS
NRP 0211134000055

Advisor
Ir. WITANTYO, M.Eng.Sc

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL ENGINEERING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

**PERANCANGAN DAN PENERAPAN SISTEM
PEMELIHARAAN PADA *DIRTY SULPHUR PUMP P-
1002A/B* DENGAN METODE *RELIABILITY
CENTERED MAINTENANCE* (STUDI KASUS: PT
PETROKIMIA GRESIK UNIT *SULPHUR HANDLING*)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ZAHRA FIRDAUS
NRP. 0211134000055

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Witantyo, M.Eng. Sc. (Pembimbing)
NIP. 196303141988031002
2. Dinny Harnany, ST, MSc (Penguji I)
NIP. 198604012015041001
3. Ir. Sampurno, MT (Penguji II)
NIP. 196504041989031002
4. Latifah Nurahmi, ST, MSc, Ph.D (Penguji III)
NIP. 1986201712037

SURABAYA

JULI, 2018

**PERANCANGAN DAN PENERAPAN SISTEM
PEMELIHARAAN PADA *DIRTY SULPHUR PUMP P-
1002A/B* DENGAN METODE *RELIABILITY
CENTERED MAINTENANCE***

**(STUDI KASUS : PT PETROKIMIA GRESIK UNIT
SULPHUR HANDLING)**

Nama : Zahra Firdaus

NRP : 0211134000055

Jurusan: Teknik Mesin FTI-ITS

Dosen Pembimbing: Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

ABSTRAK

Sebagai salah satu industri penghasil pupuk terbesar di Indonesia PT Petrokimia Gresik terus mengembangkan produk-produknya. Produk utama dari PT. Petrokimia Gresik adalah pupuk nitrogen (pupuk ZA dan pupuk Urea) dan pupuk fosfat (pupuk SP-36 dan pupuk Phonska) serta bahan-bahan kimia lainnya seperti CO₂ cair dan kering (dry ice), amoniak, asam sulfat, asam fosfat, O₂ dan N₂ cair. Program pemeliharaan mesin sangat penting untuk kelancaran proses produksi. Data dari Departemen Pemeliharaan III menunjukkan bahwa pompa P-1002A/B sering mengalami kerusakan. Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab terjadinya kerusakan pada sitem pompa P-1002A/B dan sistem pemeliharaan pompa P-1002A/B dievaluasi dengan menggunakan metode Reliability Centered Maintenance (RCM) untuk menurunkan maintenance cost dan meningkatkan kehandalan mesin.

Metode yang digunakan untuk tugas akhir ini adalah dengan Realibility Centered Maintenance. Tahap pertama adalah melakukan analisa data dari historis kerusakan sistem pompa P-1002A/B. Kemudian tahap kedua mencari penyebab kerusakan dengan Failure Tree Analysis, kemudian menyusun metode

maintenance yang baru dimulai dari Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) yang merupakan identifikasi kegagalan dari suatu komponen yang dapat menyebabkan kegagalan fungsi dari sistem yang mungkin terjadi. Selanjutnya tahap Logic Tree Analysis (LTA) merupakan diagram alir proses klasifikasi model pemeliharaan yang sesuai sehingga dapat ditentukan kegiatan perancangan perawatan yang tepat pada setiap komponen.

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah teridentifikasinya 5 failure modes yang dapat dilakukan dengan Predictive maintenance, 1 failure mode dengan Preventive maintenance dan 4 failure mode dengan Proactive Maintenance. Untuk Proactive Maintenance yang diterapkan adalah Redesign dengan menambah suction filter pada pompa agar bebarang cair yang masuk tidak terlalu kotor dan menyebabkan komponen lain rusak pada sistem pompa.

Kata kunci: pompa P-1002A/B, perancangan perawatan, Reliability Centered Maintenance

**DESIGN AND MAINTENANCE SYSTEM
IMPLEMENTATION USING RELIABILITY
CENTERED MAINTENANCE METHOD ON *DIRTY*
*SULPHUR PUMP P-1002A/B***

**(STUDY CASE: SULPHUR HANDLING UNIT
PT PETROKIMIA GRESIK)**

Nama : Zahra Firdaus

NRP : 0211134000055

Jurusan: Teknik Mesin FTI-ITS

Dosen Pembimbing: Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

ABSTRACT

As one of the biggest fertilizer industry in Indonesia PT Petrokimia Gresik continues to develop its products. The main products of PT. Petrokimia Gresik are nitrogen fertilizer (ZA fertilizer and Urea fertilizer) and phosphate fertilizer (SP-36 fertilizer and Phonska fertilizer) also other chemicals such as liquid CO² and dry ice, ammonia, sulphuric acid, phosphoric acid, O² and N² liquid. Maintenances of a machine is needed for the smoothness of the production process. Maintenance Department III data indicates that the P-1002A/B pump often does not work properly. The purpose of this research is to identify the factors that causing damage to P-1002A / B pump system and P-1002A / B pump maintenance system evaluated by Reliability Centered Maintenance (RCM) method to decrease maintenance cost and improve machine reliability.

The method used for this final project is with Reliability Centered Maintenance. The first stage is to analyze data from historical damage of P-1002A / B pump system. Then the second stage looks for the cause of the damage with Failure Tree Analysis, then develop a new maintenance method starting from Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) which is the identification of failure of a component that can cause failure of function of the

system that may occur. The next stage is Logic Tree Analysis (LTA) that explain a flow diagram of the process of classifying the appropriate model of maintenance so that it can be determined the activities of designing appropriate care on each component.

The results of this research is the identification of 5 failure modes which can be done with Predictive maintenance, 1 failure mode with Preventive maintenance and 4 failure mode with Proactive Maintenance. For Proactive Maintenance applied is Redesign by adding suction filter on the pump so that the liquid sulfur entering is not too dirty and cause other components damaged in the pump system.

Key word: P-1002A/B pump, Maintenance, Reliability Centered Maintenance

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah Subhanallahu Wa Ta'ala, karena dengan tuntunan-Nya penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Tugas akhir ini merupakan persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin FTI ITS. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak dan Ibu tercinta, Machruji dan Upik Cholidah yang selalu memberikan do'a dan dukungan yang begitu besar.
2. Bapak Ir. Witantyo, M.Eng.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah membimbing penulis dengan penuh kesabaran.
3. Ibu Latifah Nurahmi, ST., MSc, Ph.D., Ibu Dinny Harnany, ST., M.Sc., dan Bapak Ir. Sampurno, MT selaku dosen penguji.
4. Bapak Buyung, Bapak Bagus, Bapak Karno, dan Bapak Adi selaku pihak dari PT. Petrokimia Gresik yang telah membimbing dan membantu dalam pengambilan data.
5. Segenap dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin yang telah membantu penulis atas pengetahuan dan pembelajaran yang telah diberikan.
6. Tiffany Florentina Rosary B sebagai sahabat yang setia memberikan semangat, motivasi dan membantu penulis untuk tidak putus asa.
7. Putri Kusuma Negari sebagai sahabat yang menyemangati, membantu dan segenap hati mendengarkan curahan hati penulis.
8. Rofiqoh Nur Rohmah yang telah mendoakan dan memotivasi penulis untuk tetap tabah dan semangat menyelesaikan perkuliahan di kampus perjuangan.
9. Rizka Maulidya Hurin Inn terimakasih atas doa dan support juga tumpangan kosannya selama pengerjaan tugas akhir.
10. Amanda Putri Dwima partner TA yang selalu mengingatkan untuk cepat lulus dan membantu dalam Tugas Akhir penulis

11. Tamara, Hanif, Yehezkiel, Hafizh, dan Krisna teman seperjuangan Tugas Akhir di Laboratorium Rekayasa Sistem Industri.
12. Keluarga Angkatan 2013 (M56) yang telah menyemangati dalam berbagai hal juga menorehkan banyak pengalaman berkesan selama di bangku perkuliahan.
13. Pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu oleh penulis.

Dengan segala keterbatasan kemampuan serta pengetahuan penulis, tidak menutup kemungkinan Tugas Akhir ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis bersedia menerima kritik dan saran dari berbagai pihak untuk penyempurnaan lebih lanjut. Semoga hasil penulisan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Juli 2018
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II.....	7
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.2 Reliability Centered Maintenance	9
2.3 NASA RCM Logic Tree Analysis.....	10
Gambar 2.1 NASA RCM Logic Tree Analysis (NASA, 2008	11
2.4 Perawatan.....	15
2.5 Fault Tree Analysis.....	15
2.6 Molten Sulphur	23

2.7	Sistem Pompa Sentrifugal Vertikal Single Suction P-1002A/B.....	24
BAB III.....		27
METODOLOGI PENELITIAN		27
3.1	Diagram Alir Penelitian	27
3.2	Metodologi Penelitian.....	29
3.2.1	Identifikasi Permasalahan.....	29
3.2.2	Studi Lapangan.....	30
3.2.3	Studi Literatur.....	30
3.2.4	Pengumpulan Data.....	30
3.2.5	Analisa Kegagalan dengan <i>Fault Tree Analysis</i> ..	31
3.2.6	Analisa NASA RCM <i>Logic Tree Analysis</i>	31
3.2.7	Perancangan Kegiatan Pemeliharaan.....	31
3.2.8	Evaluasi dan Perbandingan Kegiatan Perawatan.	31
3.2.9	Kesimpulan dan Saran	32
BAB IV.....		33
ANALISIS DAN PEMECAHAN MASALAH.....		33
4.1	Sistem Pemeliharaan di Departemen Pemeliharaan III PT. Petrokimia Gresik.....	33
4.2	Analisis Sistem Pompa P-1002A/B	35
4.2.1	Deskripsi Sistem.....	35
4.2.2	Data Kerusakan.....	37
4.3	Fault Tree Analysis Untuk Mencari Akar Masalah .	41
4.4.	Failure Mode and Effect Analysis (FMEA).....	43
4.4	Logic Tree Analysis (LTA)	45

4.5	Rekomendasi Metode Maintenance Yang Baru	51
4.5.1	Rekomendasi <i>Predictive Maintenance</i>	53
4.5.2	Rekomendasi <i>Preventive Maintenance</i>	57
BAB V	67
KESIMPULAN DAN SARAN	67
5.1	Kesimpulan	67
5.2	Saran	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Alur Proses Unit <i>Sulphur Handling</i> (Sumber: Data Perusahaan).....	2
Gambar 2.1 NASA RCM Logic Tree Analysis (NASA. 2008) ..	11
Gambar 2.2 Macam-macam pola kegagalan (bathtub curve) – (Moubray, 1997).....	12
Gambar 2.3 Basic Event (Wulandari, 2011).....	17
Gambar 2.4 Undeveloped event (Wulandari, 2011).....	17
Gambar 2.5 Conditioning event (Wulandari, 2011).....	18
Gambar 2.6 External event (Wulandari, 2011).....	18
Gambar 2.7 Intermediate event (Wulandari, 2011).....	19
Gambar 2.8 Gerbang AND (Wulandari, 2011)	19
Gambar 2.9 Gerbang OR (Wulandari, 2011)	20
Gambar 2.10 Gerbang Inhibit (Wulandari, 2011)	20
Gambar 2.11 Gerbang Exclusive OR (Wulandari, 2011).....	21
Gambar 2.12 Gerbang Priority AND (Wulandari, 2011)	21
Gambar 2.13 Transfer-in (Wulandari, 2011).....	22
Gambar 2.14 Transfer-out (Wulandari, 2011).....	22
Gambar 2.15 Diagram viskositas belerang (Sumber: www.sulphuric-acid.com)	23
Gambar 2.16 Pompa P-1002 A/B Unit Sulphur Handling	24
Gambar 2.17 Exploded Drawing Pompa P-1002A/B (Sumber : PT Petrokimia Gresik).....	25
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	29

Gambar 4.2 Kegiatan Pengangkatan Sistem Pompa P-1002A/B	34
Gambar 4.4 Sudu <i>Impeller</i> yang tidak rata buatan mekanik sendiri	38
Gambar 4.5 <i>Shaft</i> patah (Sumber : PT Petrokimia Gresik)	38
Gambar 4.6 <i>Line steam jacket</i> bocor	39
Gambar 4.7 Pompa yang diangkat karena <i>Line Discharge</i> tersumbat	39
Gambar 4.8 Motor yang telah diangkat karena <i>shaft</i> patah	40
Gambar 4.9 Fault Tree Analysis P-1002A/B Gagal Beroperasi	42
Gambar 4.10 Letak pemasangan sensor flow	54
Gambar 4.11 Letak sensor vibrasi	55
Gambar 4.12 Letak sensor temperature pada ujung line discharge	56
Gambar 4.13 Sensor temperatur dan vibrasi pada motor	57
Gambar 4.14 Penambahan Suction Filter pada P-1002A/B	58

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data Frekuensi Kerusakan dan <i>Maintenance Cost</i> Peralatan pada Unit <i>Sulphur Handling</i> periode 1 Januari – 31 Desember 2017.	3
Tabel 1.2 Rincian <i>maintenance cost</i> komponen pada pompa P-1002A/B	4
Tabel 4.1 Data <i>corrective maintenance</i> pada sistem pompa (Sumber : PT Petrokimia Gresik)	33
Tabel 4.1 Data Sheet Pompa P-1002A/B	36
Tabel 4.2 Deskripsi Sistem.....	36
Tabel 4.3 Failure Mode Effect Analysis Table.....	43
Tabel 4.5 Logic Tree Analysis	46
Tabel 4.6 Rekomendasi <i>Maintenance Task</i>	52

BAB I

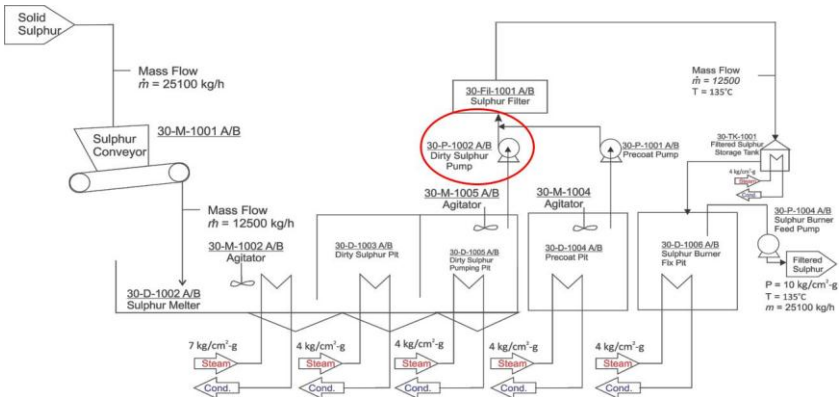
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Sebagai salah satu industri penghasil pupuk terbesar di Indonesia PT Petrokimia Gresik terus mengembangkan produk-produknya. Produk utama dari PT. Petrokimia Gresik adalah pupuk nitrogen (pupuk ZA dan pupuk Urea) dan pupuk fosfat (pupuk SP-36 dan pupuk Phonska) serta bahan-bahan kimia lainnya seperti CO₂ cair dan kering (*dry ice*), amoniak, asam sulfat, asam fosfat, O₂ dan N₂ cair.

PT Petrokimia Gresik berlokasi di Gresik dan hingga saat ini sudah berkembang memiliki tiga departemen produksi. Departemen Produksi I sebagai penghasil amoniak, ZA I dan III, pupuk urea serta CO₂. Departemen Produksi II sebagai penghasil SP-36 dan Phonska. Departemen Produksi III menghasilkan 1 jenis pupuk, yaitu pupuk ZA II (*Zwavelzuur Ammonia = Ammonia Sulphate*). Disamping memproduksi pupuk tersebut, pada unit ini juga memproduksi produk seperti asam sulfat, asam fosfat, aluminium florida dan *cement retarder*. Untuk kapasitas produksi sendiri, dari unit produksi asam sulfat menghasilkan 510.000 ton/tahun.

Pada Gambar 1.1 merupakan bagian-bagian alur proses pembuatan asam sulfat yaitu tahap awal *sulphur handling* dengan *filtered sulphur* sebagai output. Belerang dari tempat penyimpanan diangkut dengan *shovel loader* ke *Dump Hopper* kemudian belerang diangkut dengan *Sulphur Conveyor* masuk ke dalam Melter D1002 A/B yang berfungsi untuk meleburkan belerang dengan steam coil bertekanan 7 kg/cm² dan temperatur 175° C serta sebuah pengaduk untuk meratakan panas dan mengurangi endapan kotoran pada dasar bak.



Gambar 1.1 Alur Proses Unit *Sulphur Handling* (Sumber: Data Perusahaan)

Belerang yang sudah cair dari melter kemudian masuk ke dalam *Dirty Sulphur Pit* untuk mengendapkan kotoran-kotoran pada belerang cair. Temperatur pada bak ini 135°C untuk menjaga belerang tetap berada pada fase cair. Belerang yang melalui proses pengendapan kotoran disebut *Dirty Molten Sulphur*. Selanjutnya belerang dari *Dirty Sulphur Pit* dipompakan ke bak pemompaan belerang kotor D-1005A/B dengan pompa P-1002A/B yang kemudian ditambahkan *diatomeceus* (bahan *precoat*) sebelum masuk ke dalam *Filter Fil 1001A/B*. Bahan *precoat* dipompa oleh *precoat pump* dari *precoat pit* yang berfungsi untuk membantu proses penyaringan. Belerang cair yang telah melewati proses penyaringan pada *Filter Fil 1001A/B* (*filtered sulphur*) ditampung dalam *Filtered Sulphur Storage Tank*. Kemudian, *filtered sulphur* dialirkan menuju *sulphur burner feed pit* dan dipompa oleh *sulphur burner feed pump* untuk diteruskan ke proses selanjutnya. Semua pipa yang digunakan untuk mengalirkan belerang cair dilengkapi dengan *steam jacket* bertekanan 4 kg/cm^2 dengan temperatur $130\text{--}140^{\circ}\text{C}$ untuk menjaga agar belerang tetap dalam kondisi cair.

Dengan kompleksitas fasilitas produksi pada Unit *Sulphur Handling* untuk menghasilkan *filtered sulphur*, menyebabkan beberapa peralatan pada Unit *Sulphur Handling* sering mengalami kerusakan. Pemberhentian kegiatan produksi menyebabkan kerugian yang cukup besar ditambah dengan *maintenance cost* yang tinggi.

Maintenance peralatan pada Unit *Sulphur Handling* yang dilakukan selama ini adalah dengan *redundant equipment*. Peralatan dengan kode A/B menunjukkan bahwa terdapat dua peralatan dengan jenis yang sama. Jika salah satu peralatan mengalami kerusakan maka akan dialihkan ke peralatan jenis yang sama namun berbeda kode agar peralatan yang mengalami kerusakan dapat diperbaiki terlebih dahulu dan produksi tetap berjalan.

Tabel 1.1 Data Frekuensi Kerusakan dan *Maintenance Cost* Peralatan pada Unit *Sulphur Handling* periode 1 Januari – 31 Desember 2017.

Kode Peralatan	Peralatan	Frekuensi	Total Maintenance Cost (Rp.)
D-1002A/B	<i>Sulphur Melter</i>	20	83.864.241
D-1003A/B	<i>Dirty Sulphur Pit</i>	7	4.763.992
D-1004	<i>Precoat Pit</i>	3	3.807.000
D-1005A/B	<i>Dirty Sulphur Pumping Pit</i>	14	7.500.071
D-1006	<i>Sulphur Burner Feed Pit</i>	6	437.789
FIL-1001A/B	<i>Sulphur Filter</i>	86	181.007.349
M-1001A/B	<i>Sulphur Conveyor</i>	29	124.352.467
M-1002A/B	<i>Agitator</i>	2	875.578
M-1004	<i>Agitator</i>	2	25.611.975
M-1005A/B	<i>Agitator</i>	2	752.240
P-1001	<i>Precoat Pump</i>	6	2.851.440

P-1002A/B	<i>Dirty Sulphur Pump</i>	95	369.956.955
P-1004A/B	<i>Sulphur Burner Feed Pump</i>	39	113.279.025
TK-1001	<i>Filtered Sulphur Storage Tank</i>	24	4.826.067

Pada Tabel 1.1 menunjukkan data frekuensi kerusakan dan total *maintenance cost* masing-masing peralatan pada Unit *Sulphur Handling* periode 1 Januari – 31 Desember 2017. Total *maintenance cost* pada tabel adalah keseluruhan biaya pemeliharaan yang terdiri dari biaya pembelian komponen baru dan biaya jasa pemeliharaan.

Dapat dilihat di tabel bahwa dari 14 alat pada Unit *Sulphur Handling* ada empat alat yang memiliki *maintenance cost* cukup tinggi yakni *dirty sulphur pump* P-1002A/B, *sulphur filter* FIL-1001A/B, *sulphur conveyor* M-1001A/B dan *sulphur burner feed pump* P-1004A/B. Dari ke-empat alat tersebut pompa P-1002 A/B memiliki *maintenance cost* yang sangat tinggi sebesar Rp 369.956.955.

Tabel 1.2 Rincian *maintenance cost* komponen pada pompa P-1002A/B

Komponen	Cost	Frequency
Motor	41,314,215	23
<i>Impeller</i>	3,781,515	16
Line Discharge	187,092,687	15
Line Steam Jacket	0	15
Shaft	137,768,538	26
Total	369,956,955	95

Merujuk pada tabel 1.2 didapatkan bahwa komponen-komponen pada pompa yang menghabiskan *maintenance cost* paling tinggi adalah *Line Discharge* diikuti oleh Shaft. Kerusakan

Shaft diduga disebabkan oleh *Line Discharge* yang tersumbat. Untuk *Line Steam Jacket* tidak memiliki *maintenance cost* karena perbaikan dilakukan oleh orang pabrik sendiri dan tidak *sub-contracting* maka dianggap nol. Dengan perawatan yang baik pada *Line Discharge*, kegagalan shaft pada system pompa kemungkinan dapat diminimalisir.

Pada penelitian ini akan mengusulkan penggunaan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)* untuk menganalisis penyebab terjadinya tingginya *maintenance cost* pada sistem pompa P-1002A/B PT. Petrokimia Gresik. Diharapkan dari penelitian ini dapat menghasilkan usulan perawatan pada mesin sehingga meningkatkan kehandalan dan produksi perusahaan. RCM adalah suatu proses yang direncanakan untuk menentukan tindakan yang harus dilakukan agar suatu sistem berjalan sesuai fungsinya dengan biaya minimal.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi objek penelitian ini adalah:

1. Bagaimana mengidentifikasi faktor-faktor penyebab terjadinya kerusakan pada sistem pompa P-1002A/B?
2. Bagaimana solusi yang tepat dalam perancangan kegiatan perawatan terhadap sistem pompa P-1002A/B untuk menurunkan *maintenance cost* dan meningkatkan kehandalan dari mesin menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan agar pembahasan tidak terlalu luas pada penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Peralatan yang dianalisis adalah sistem pompa *sentrifugal vertical single suction* P-1002A/B pada Unit *Sulphur Handling* PT. Petrokimia Gresik.
2. Sistem pompa terdiri dari motor, *impeller*, *line discharge*, *shaft*.

3. Fluida yang mengalir adalah *dirty molten sulphur*.
4. Data yang digunakan adalah *maintenance cost* dan historis kerusakan peralatan pada Unit *Sulphur Handling* periode 1 Januari 2017 – 31 Desember 2017
5. Tata cara perbaikan dan pemasangan mesin tidak masuk dalam pembahasan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi faktor-faktor penyebab terjadinya kerusakan pada sistem pompa P-1002A/B.
2. Merancang kegiatan perawatan terhadap sistem pompa P-1002A/B dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk menurunkan biaya perawatan dan meningkatkan kehandalan.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat, antara lain:

1. Memberikan saran yang dapat direkomendasikan kepada pihak manager pemeliharaan Pabrik Asam Sulfat PT. Petrokimia Gresik dalam melakukan perawatan yang tepat pada sistem pompa P-1002A/B.
2. Sebagai sarana untuk mengevaluasi dan memperbaiki sistem perawatan pada sistem pompa P-1002A/B yang selama ini telah dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Pada bab ini akan dibahas mengenai dasar teori dan tinjauan pustaka yang digunakan sebagai acuan dalam melakukan kajian sehingga permasalahan yang diangkat dapat terselesaikan dengan baik.

2.1 Tinjauan Pustaka

Perawatan merupakan hal yang penting untuk suatu mesin agar menunjang proses produksi. Mesin akan sering mengalami *downtime* jika tidak memiliki proses perawatan yang memadai. Ketika terjadi *downtime* yang cukup lama, maka akan berdampak pada terhentinya proses produksi, *maintenance cost* yang tinggi dan perusahaan akan mengalami kerugian.

Telah banyak dilakukan penelitian-penelitian mengenai penentuan jenis perawatan. Salah satu jenis perawatan adalah RCM (*Reliability Centered Maintenance*). Penelitian sebelumnya mengenai RCM ini salah satunya adalah *Reliability Centered Maintenance Methodology for Goliath Crane of Transmission Tower*. Pada awal penelitian ini terdapat 7 pertanyaan dasar RCM yakni *system function, functional failure, failure modes, failure effect, failure consequences, proactive task* dan *default actions* pada perusahaan Transmission Power di India yang telah terjawab. Empat jawaban pertama dari 7 pertanyaan dasar RCM tersebut ditulis dalam *RCM Information Worksheet*. Sedangkan untuk 3 jawaban terakhir ditulis dalam *RCM Decision Worksheet*. *RCM information worksheet* ditulis sesuai dengan fungsi dari masing-masing komponen dalam satu sistem. Kemudian, didapat analisis maintenance tasks dari Transmission Tower yang sesuai untuk setiap modus kegagalan yang terjadi menggunakan RCM Decision Worksheet (Barai, 2012).

Analisis dengan metode RCM juga pernah diteliti oleh Zieda Amalia pada Tahun 2016 yang berjudul Perancangan Sistem Pemeliharaan Pada Turbin 103-JT Menggunakan Metode

Reliability Centered Maintenance (Studi Kasus: PT.Petrokimia Gresik Unit Amonia Pabrik I). Penelitian ini dilakukan untuk menentukan rancangan aktivitas pemeliharaan yang tepat untuk sub-sistem Turbin 103-JT PT dengan menerapkan metode *Reliability Centered Maintenance*. Petrokimia Gresik. Penelitian diawali dengan melakukan analisis data historis kerusakan. Kemudian tahap *failure mode and effect analysis* dengan menggunakan *RCM decision worksheet*. Selanjutnya peneliti mencantumkan Fault Tree Analysis untuk menentukan bagian mana yang mengalami kegagalan terbesar. Sehingga didapatkan Logic Tree Analysis yang mengadopsi RCM Decision Worksheet untuk mengklasifikasikan *failure mode* dan perancangan pemeliharaan yang sesuai pada masing-masing komponen turbin (Amalia, 2016).

Penelitian lainnya dengan menggunakan metode RCM (*Reliability Centered Maintenance*) adalah Perancangan dan Implementasi *Reliability Centered Maintenance* (RCM) Pada *Greaser System Hard Capsule Machine* (PT. Kapsulindo Nusantara) oleh Diastanto Eka pada tahun 2017. Penelitiannya adalah meneliti komponen yang sering terjadi kecenderungan untuk rusak dari subsistem Greaser. Hard Capsule Machine dianalisis dan dievaluasi untuk menentukan penyebab kerusakannya. Dari penyebab kerusakan tersebut kemudian didapatkan rekomendasi perancangan kegiatan perawatan (*maintenance task*) yang tepat pada setiap komponen sehingga aktivitas perawatan dapat berjalan dengan baik serta dapat mengurangi frekuensi downtime mesin. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah teridentifikasinya 31 *failure mode* dari hasil analisis *RCM decision worksheet*. Terdapat 8 *failure mode* yang dapat dicegah dengan *Scheduled on Condition Task*, 11 *failure mode* yang dapat dicegah dengan *Scheduled restoration task*, 9 *failure mode* yang dapat dicegah dengan *Scheduled discard task*, 2 *failure mode* yang perlakuan perawatannya dengan *failure finding* dan 1 *failure mode* yang harus di *redesign*. Selain karena *failure mode*, *redesign* pada *greaser shell* dikarenakan tingginya frekuensi

downtime akibat system manual yang diterapkan saat ini. Satu *Failure mode* yang dicegah dengan *Redesign* adalah *greaser shell*. *Greaser shell* ditambahkan pipa penyalur fluida agar frekuensi penggantian *greaser shell* dapat berkurang. (Eka, 2017)

2.2 Reliability Centered Maintenance

Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan sebuah proses sistematis yang harus dilakukan untuk menjamin agar seluruh fasilitas fisik dapat beroperasi dengan baik sesuai dengan desain dan fungsinya. RCM merupakan suatu pendekatan pemeliharaan dengan mengkombinasi praktek dan strategi dari *preventive maintenance* dan *corrective maintenance* untuk memaksimalkan umur dan fungsi peralatan. Pada dasarnya RCM menjawab 7 pertanyaan utama dari sistem yang akan diteliti yaitu sebagai berikut:

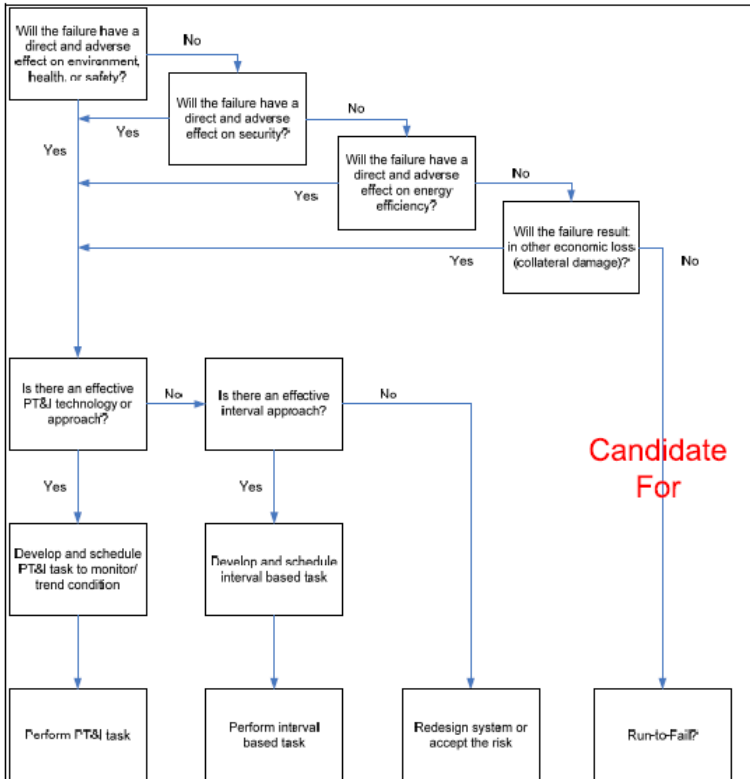
1. Apakah fungsi dari asset dan standar kinerja yang terkait dengan fungsi itu sesuai dengan konteks operasinya saat ini (*system function*)?
2. Bagaimana sistem tersebut gagal memenuhi fungsinya (*functional failure*)?
3. Apakah modus atau penyebab terjadinya kegagalan fungsi tersebut (*failure modes*)?
4. Apakah yang akan terjadi ketika penyebab modus atau penyebab kegagalan itu muncul (*failure effect*)?
5. Bagaimana kegagalan tersebut berpengaruh (*failure consequences*)?
6. Apakah tindakan yang dapat dilakukan untuk memprediksi atau mencegah setiap kegagalan (*proactive task*)?
7. Bagaimana apabila tidak ditemukan tindakan proaktif yang sesuai (*default action*)?

Adapun tujuan dari RCM adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh data dan informasi penting untuk melakukan pengembangan pada desain awal yang kurang baik.
 2. Mengembangkan sistem perawatan yang mampu mengembalikan keandalan dan menambah umur komponen agar mampu digunakan dengan baik.
 3. Memperoleh biaya perawatan yang efektif.
- (Zulkani, 2008)

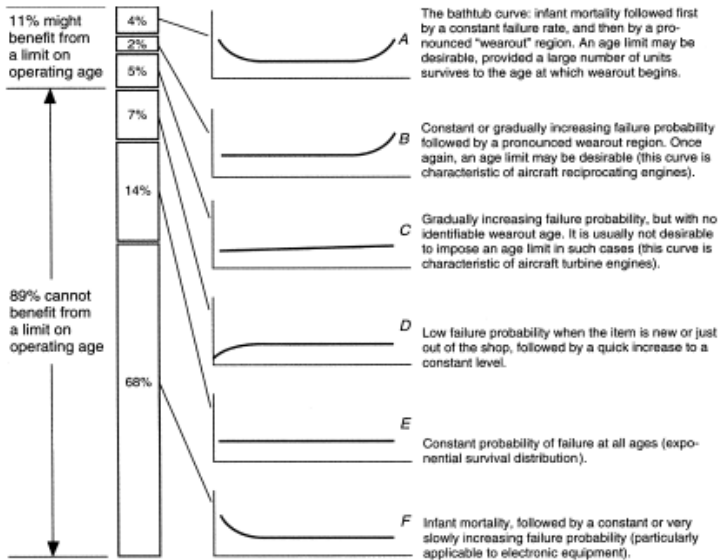
2.3 NASA RCM Logic Tree Analysis

Menurut RCM Guide NASA, Reliability-Centered Maintenance (RCM) mengintegrasikan *Preventive Maintenance*, *Predictive Maintenance*, *Proactive* dan *Run To Fail* untuk meningkatkan kemungkinan bahwa mesin atau komponen akan bekerja sebagaimana fungsinya sesuai dengan desain dengan perawatan dan waktu downtime yang minim. Tujuan dari pendekatan ini adalah mengurangi *Life-Cycle Cost* (LCC) dari mesin seminimum mungkin sambil terus membiarkan mesin bekerja dengan keandalan dan ketersediaan yang dibutuhkan. NASA membagi sistem perawatan ini menjadi 4 kategori dengan Logic Tree Analysis sebagai berikut:



Gambar 2.1 NASA RCM Logic Tree Analysis (NASA. 2008)

1. *Preventive maintenance*, merupakan kegiatan perawatan terjadwal (*time based / interval-based*) untuk merawat suatu peralatan atau komponen sebelum terjadinya kegagalan. Didapatkan hubungan dari semua peralatan atau komponen yang digunakan untuk produksi berbanding lurus dengan umur operasinya. Yang menjadi titik berat pada preventive maintenance ini adalah menghitung batasan umur yang tepat agar komponen tersebut tetap layak digunakan dan bekerja dengan baik.



Gambar 2.2 Macam-macam pola kegagalan (bathtub curve) – (Moubray, 1997)

Gambar 2.2 adalah macam-macam pola kegagalan. Pemilihan tindakan preventive yang sesuai didasarkan atas 6 kurva pola kegagalan atau biasa dikenal dengan *bathtub curve*. Dianalisis apakah alat tersebut mengikuti salah satu dari pola-pola tersebut.

Pola Kegagalan A dikenal sebagai *bathtub curve* memiliki probabilitas kegagalan yang tinggi ketika peralatan masih baru, diikuti oleh tingkat kegagalan acak yang rendah, lalu diikuti oleh peningkatan tajam pada kegagalan pada akhir masa pakainya. Pola ini menyumbang sekitar 4% dari kegagalan.

Pola Kegagalan B dikenal sebagai *wear out curve* memiliki probabilitas kegagalan yang rendah, diikuti oleh

peningkatan tajam kegagalan pada akhir masa pakainya. Pola ini menyumbang sekitar 2% dari kegagalan.

Pola Kegagalan C dikenal sebagai *fatigue curve* memiliki probabilitas kegagalan bertahap selama masa pakai. Pola ini menyumbang sekitar 5% dari kegagalan.

Pola Kegagalan D dikenal sebagai *initial break-in period curve* dan dimulai dengan tingkat kegagalan yang sangat rendah diikuti oleh kenaikan tajam ke tingkat konstan sampai akhir masa pakainya. Pola ini menyumbang sekitar 7% dari kegagalan.

Pola Kegagalan E dikenal sebagai *random pattern* merupakan pola dengan tingkat kegagalan acak yang konsisten selama masa pakai peralatan tanpa kenaikan atau penurunan selama masa pakai peralatan. Pola ini menyumbang sekitar 11% dari kegagalan.

Pola Kegagalan F dikenal sebagai kurva *infant mortality* dan menunjukkan tingkat kegagalan awal yang tinggi diikuti dengan tingkat kegagalan konstan. Pola ini menyumbang 68% dari kegagalan.

Dari setiap pola kegagalan, didapatkan kesimpulan bahwa kegiatan perawatan yang tepat harus dilaksanakan sesuai dengan kondisi dan jenis dari suatu peralatan. Sebagai contoh ketika terdapat komponen yang didesain untuk bekerja secara terus menerus, lalu peralatan tersebut diganti pada suatu waktu tertentu, tidak akan terjadi peningkatan performa. Penggantian peralatan itu hanyalah menambah pengeluaran perusahaan karena seharusnya tidak perlu. Itulah yang menjadikan Preventive maintenance dihindari dan cenderung mahal

2. *Predictive Maintenance*

Predictive maintenance bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan kerusakan atau mendefinisikan tingkat kerusakan yang sudah ada. Di akhir tugas prediksi, orang yang melakukan tugas prediktif tahu lebih banyak tentang

aset, tetapi kondisinya aset belum diubah. Perawatan prediktif yang ditentukan dengan baik akan menyediakan indikasi yang jelas jika tindakan lebih lanjut saat ini diperlukan (Daley, 2008).

3. *Pro Active Maintenance*

Pro active maintenance bertujuan untuk meningkatkan pemeliharaan melalui desain yang lebih baik, instalasi mesin, prosedur pemeliharaan, *workmanship*, dan penjadwalan. Ciri-ciri *pro active maintenance* adalah:

- a. Menggunakan *feedback* dan komunikasi bagi para desainer dan manajer untuk memastikan jika ada perubahan dalam desain atau prosedur perawatan.
- b. Memastikan tidak ada yang mempengaruhi prosedur pemeliharaan dalam keadaan isolatif.
- c. Mengoptimalkan dan menyesuaikan teknik dan teknologi perawatan untuk masing-masing aplikasi.
- d. Mengintegrasikan fungsi yang mendukung pemeliharaan ke dalam program perawatan perencanaan.
- e. Menggunakan analisis penyebab kegagalan akar dan *predictive analysis* untuk memaksimalkan efektivitas pemeliharaan.
- f. Memiliki tujuan akhir untuk memperbaiki peralatan secara permanen.
- g. Evaluasi berkala dari konten teknis dan interval kinerja tugas pemeliharaan.
(Afeby, 2010)

4. *Run To Fail*

Run to Failure Maintenance merupakan salah satu type maintenance yang termasuk ke dalam jenis perbaikan yang

diperlukan penggantian, atau mengembalikan tindakan yang dilakukan pada sebuah mesin setelah terjadinya kegagalan untuk membawa mesin atau fasilitas untuk setidaknya pada kondisi minimum dapat diterima.

2.4 Perawatan

Perawatan merupakan suatu kegiatan untuk memelihara dan mengadakan perbaikan pada suatu fasilitas produksi agar dapat digunakan sesuai dengan fungsinya. Kegiatan perawatan sendiri hal yang sangat penting pada industri untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi. Jika terdapat suatu mesin yang mengalami kerusakan, maka proses produksi akan terganggu dan perusahaan mengalami kerugian baik dari sisi waktu produksi yang berkurang maupun biaya yang dikeluarkan untuk memperbaiki mesin. Perawatan atau *maintenance* juga didefinisikan sebagai perpaduan dari setiap tindakan untuk menjaga atau memperbaiki suatu komponen sampai pada kondisi yang baik untuk beroperasi (Setiawan, 2008).

Tujuan dilakukan perawatan adalah sebagai berikut:

1. Untuk memperpanjang umur peralatan.
2. Menjamin keandalan serta ketersediaan peralatan secara teknis dan ekonomis.
3. Untuk menjamin kesiapan operasional seluruh fasilitas yang diperlukan dalam kegiatan darurat. Contoh unit *backup*, unit pemadam kebakaran dan unit keselamatan dan kesehatan kerja.
4. Dapat menjamin keselamatan dan keamanan kerja bagi penggunaannya.

2.5 Fault Tree Analysis

Metode *Fault tree analysis* (FTA) sering digunakan untuk menganalisa kegagalan dalam suatu sistem. FTA adalah teknik analisis *symbolic logic* dalam ruang lingkup riset operasi untuk menganalisis suatu kejadian yang tidak

diinginkan atau yang dapat disebut *undesired event* pada suatu sistem. Sistem tersebut kemudian dianalisis dengan kondisi lingkungan dan operasional yang ada untuk menemukan semua cara yang mungkin akan terjadi dan mengarah pada terjadinya *undesired event*. *Undesired event* adalah analisis kualitatif yang dapat diketahui bagian mana dari sistem yang gagal dan perlu dilakukan tindakan perbaikan dan pencegahan berdasarkan kegagalan yang ada agar kejadian yang sama tidak terulang kembali (Wulandari, 2011).

Dalam menganalisa kegagalan dengan metode FTA ini diawali dengan pembuatan pohon kegagalan atau *fault tree* dari sistem yang dianalisis terlebih dahulu. *Fault tree* adalah model dari kegagalan-kegagalan pada sistem dan kombinasi yang menghasilkan terjadinya *undesired event*. Kegagalan yang terjadi pada sistem dapat dikarenakan adanya kegagalan pada komponennya, kegagalan pada manusia yang mengoperasikan atau disebut *human error*, dan kejadian-kejadian diluar sistem yang dapat mengarah pada terjadinya *undesired event*. *Fault tree* dibuat berdasarkan pada salah satu *undesired event* yang dapat terjadi pada suatu sistem. Hanya bagian-bagian tertentu saja yang berhubungan beserta kegagalan-kegagalan yang ada, yang dipakai untuk membuat *fault tree*.

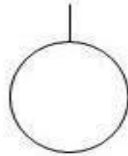
Pada suatu sistem bisa terdapat lebih dari satu *undesired event* dan masing-masing *undesired event* mempunyai representasi *fault tree* yang berbeda-beda dikarenakan faktor atau bagian sistem dan kegagalan yang mengarah pada satu kejadian berbeda dengan lainnya. Pada *fault tree*, *top event* merupakan sebutan untuk *undesired event* yang akan dianalisa.

a. Simbol Kejadian

Simbol kejadian adalah simbol yang berisis keterangan kejaadian pada sistem, yaitu :

1. *Basic event*

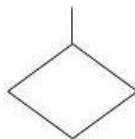
Pada gambar 2.3 merupakan simbol yang digunakan untuk menyatakan *primary event* atau kegagalan mendasar yang tidak perlu dicari penyebabnya. Simbol lingkaran ini merupakan batas akhir penyebab suatu kejadian.



Gambar 2.3 Basic Event (Wulandari, 2011)

2. *Undeveloped event*

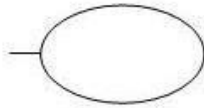
Simbol *diamond* gambar 2.4 menyatakan *undeveloped event* atau kejadian tidak berkembang yaitu suatu kejadian kegagalan tertentu yang tidak dicari penyebabnya baik karena kejadiannya tidak cukup berhubungan atau karena tidak tersedia informasi.



Gambar 2.4 Undeveloped event (Wulandari, 2011)

3. *Conditioning event*

Simbol *conditioning event* gambar 2.5 merupakan suatu kondisi atau batasan khusus yang diterapkan pada suatu kondisi atau batasan khusus yang diterapkan pada suatu gerbang (biasanya pada gerbang Inhibit dan Priority AND). Kejadian *output* terjadi jika kejadian *input* juga terjadi dan memenuhi suatu kondisi tertentu.



Gambar 2.5 Conditioning event (Wulandari, 2011)

4. *External event*

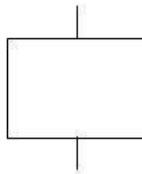
Simbol pada gambar 2.6 menyatakan *external event* yaitu suatu kondisi dimana kejadian yang diharapkan muncul secara normal dan tidak dalam kejadian gagal.



Gambar 2.6 External event (Wulandari, 2011)

5. *Intermediate event*

Simbol pada gambar 2.7 menyatakan *intermediate event* suatu kondisi dimana kejadian yang muncul dari kombinasi kejadiankejadian *input* gagal yang masuk gerbang.



Gambar 2.7 Intermediate event (Wulandari, 2011)

b. Simbol Gerbang

Simbol gerbang dipakai untuk menunjukkan hubungan diantara kejadian *input* yang mengarah pada kejadian *output*. Kejadian *output* disebabkan oleh kejadian *input* yang berhubungan dengan cara tertentu. Adapun jenisjenis simbol gerbang yaitu:

1. Gerbang AND

Gerbang AND pada gambar 2.8 yaitu untuk menunjukkan bahwa kejadian *output* terjadi jika semua *input* dari kejadian tersebut terjadi.



Gambar 2.8 Gerbang AND (Wulandari, 2011)

2. Gerbang OR

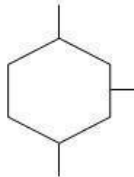
Gerbang OR gambar 2.9 dipakai untuk menunjukkan bahwa kejadian yang akan muncul terjadi jika satu atau lebih kejadian gagal yang merupakan *input* dari kejadian tersebut terjadi.



Gambar 2.9 Gerbang OR (Wulandari, 2011)

3. Gerbang Inhibit

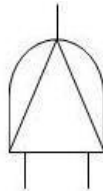
Gerbang Inhibit dengan lambang segienam pada gambar 2.10 adalah kasus khusus dari gerbang AND. *Output* oleh suatu *input*, tetapi harus juga memenuhi suatu kondisi tertentu sebelum *input* dapat menghasilkan *output*.



Gambar 2.10 Gerbang Inhibit (Wulandari, 2011)

4. Gerbang *Exclusive OR*

Gerbang *Exclusive OR* yang ditunjukkan pada gambar 2.11 adalah gerbang OR kasus khusus dari gerbang OR. Kasus ini adalah kejadian *output* muncul jika satu kejadian (tepat satu) muncul.



Gambar 2.11 Gerbang Exclusive OR (Wulandari, 2011)

5. Gerbang *Priority AND*

Gerbang *Priority AND* adalah kasus khusus dari gerbang AND. Terdapat syarat yakni kejadian *output* muncul jika semua kejadian *input* muncul pada urutan tertentu.



Gambar 2.12 Gerbang Priority AND (Wulandari, 2011)

c. Simbol Transfer

Simbol transfer terbagi menjadi dua, yaitu :

1. *Transfer-in*

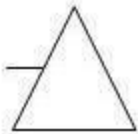
Transfer-in atau *triangle-in* yang ditunjukkan pada gambar 2.13 adalah titik dimana *sub-fault tree* dapat dimulai sebagai kelanjutan dari *transfer-out*.



Gambar 2.13 Transfer-in (Wulandari, 2011)

2. *Transfer-out*

Transfer-out atau *triangle-out* pada gambar 2.14 adalah titik dimana *fault tree* dipecah menjadi *sub-fault tree*.

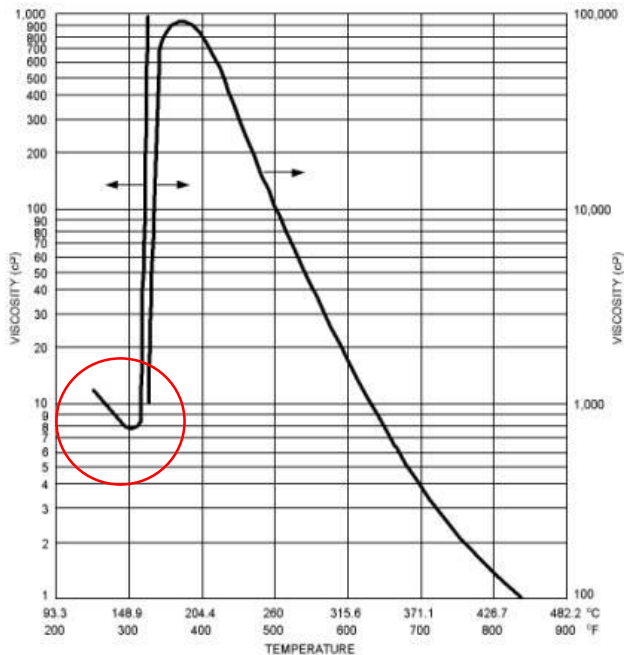


Gambar 2.14 Transfer-out (Wulandari, 2011)

2.6 Molten Sulphur

Molten Sulphur sendiri adalah belerang cair, hasil dari peleburan belerang padat. Belerang ini merupakan bahan baku yang digunakan pada pabrik SA II pembuatan asam sulfat. Komposisi dari belerang adalah :

- Kadar sulfur : 98.11% berat
- Kadar H₂O : 2.6% berat
- Kadar ash : 0.9% berat
- Acidity : 0.52% berat
- Impurities : HCl, NaCl, Fe, K, Na



Gambar 2.15 Diagram viskositas belerang (Sumber: www.sulphuric-acid.com)

Dari gambar 2.15 dapat dilihat bahwa belerang meleleh pada suhu 110°C – 121°C sehingga batas temperatur dari sistem pompa adalah harus jauh diatas 121°C . Dari data perusahaan diketahui jika temperatur sistem pompa dijaga dari 135°C - 145°C kemudian viskositas belerang saat keadaan cair adalah 7-10 centipose atau setara dengan 0.007 Ns/m^2 - 0.01 Ns/m^2 . Densitas belerang dalam keadaan cair adalah 1.819 gr/cm^3 .

2.7 Sistem Pompa Sentrifugal Vertikal Single Suction P-1002A/B

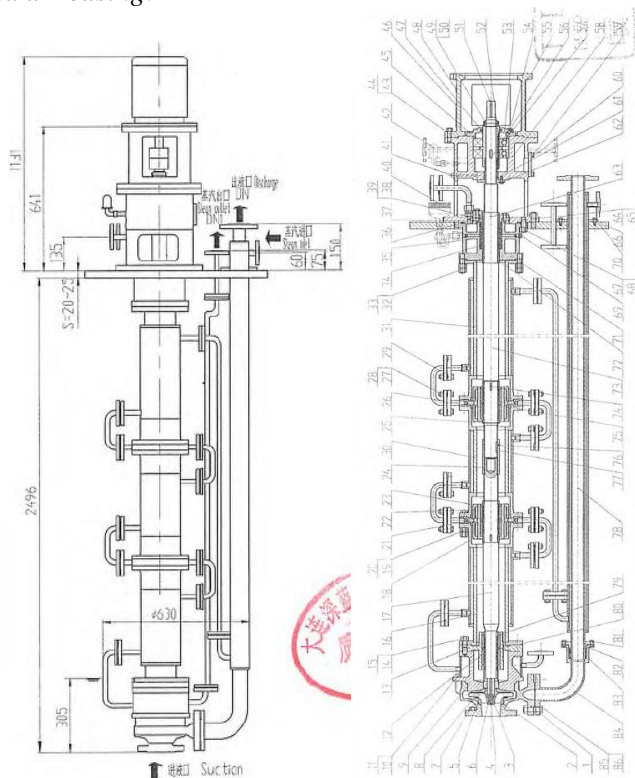
Pompa sentrifugal sendiri ada dua macam yakni sentrifugal vertical dan sentrifugal *multistage*. Untuk kasus ini, pompa yang digunakan oleh Pabrik SA II PT. Petrokimia Gresik unit Sulphur Handling adalah pompa sentrifugal vertikal single suction.



Gambar 2.16 Pompa P-1002 A/B Unit Sulphur Handling

Seperti yang terlihat pada gambar 2.16 adalah salah satu pompa *dirty molten sulphur* P-1002A/B. Terdapat dua pompa

untuk memompa *dirty molten sulphur* P-1002 A dan P-1002 B. Jika pompa P-1002 A bekerja maka pompa P-1002 B dalam posisi *standby*. Kedua pompa tersebut adalah pompa identik buatan China. Pompa P-1002 A/B merupakan jenis pompa *submersible* dengan material SS 304 yang digunakan untuk memompa *dirty molten sulphur* ke *sulphur filter*. Pompa jenis ini bertipe pompa *sentrifugal vertical* dengan prinsip kerja mengubah energi kinetis cairan menjadi energi potensial melalui suatu *impeller* yang berputar dalam *casing*.



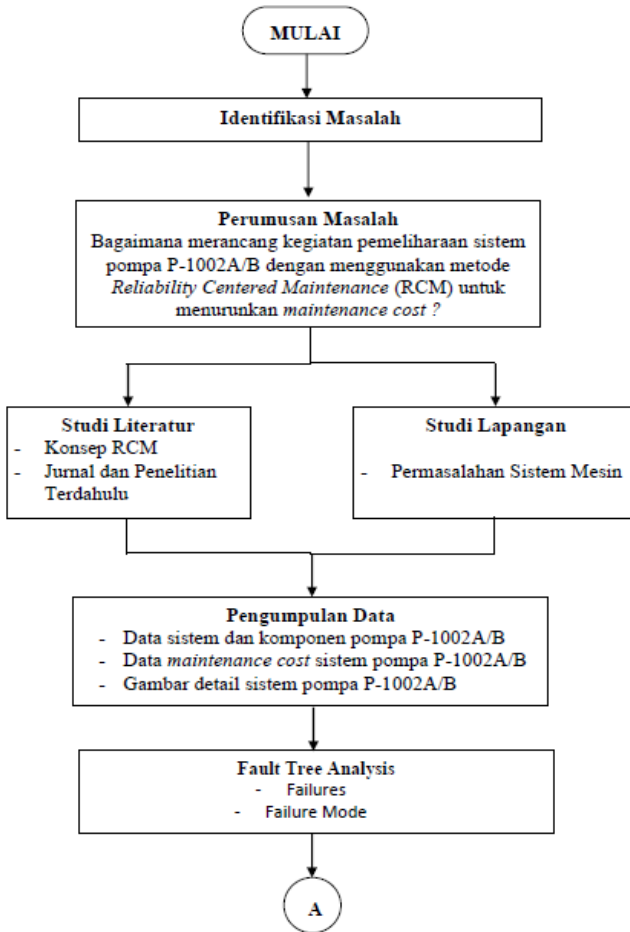
Gambar 2.17 Exploded Drawing Pompa P-1002A/B (Sumber : PT Petrokimia Gresik)

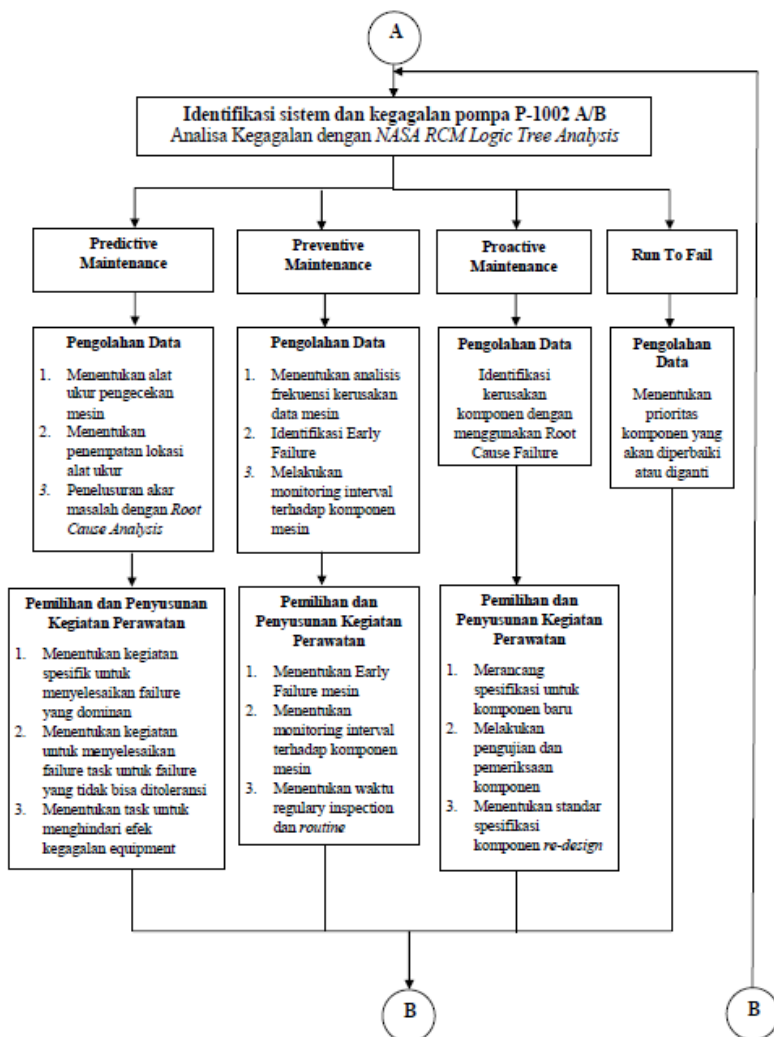
Seperti ditunjukkan pada gambar 2.17 adalah exploded drawing dari pompa P-1002A/B yang menunjukkan bagian-bagian dalam dari pompa. Berdasarkan analisis awal, diketahui bahwa sistem pompa P-1002A/B adalah salah satu alat yang krusial, dimana untuk meneruskan *dirty molten sulphur* ke proses selanjutnya. Apabila proses pemompaan *dirty molten sulphur* tidak berjalan dengan baik, proses selanjutnya yakni penyaringan tidak akan bekerja karena tidak adanya suplai *dirty molten sulphur*. Pada sistem pompa P-1002 A/B, belum banyak tindakan yang dilakukan untuk mencegah pompa rusak berulang kali. Kemudian, belum ada penelitian terdahulu tentang analisis sistem pompa P-1002 A/B. Oleh karena itu, penelitian difokuskan pada sistem pompa P-1002A/B.

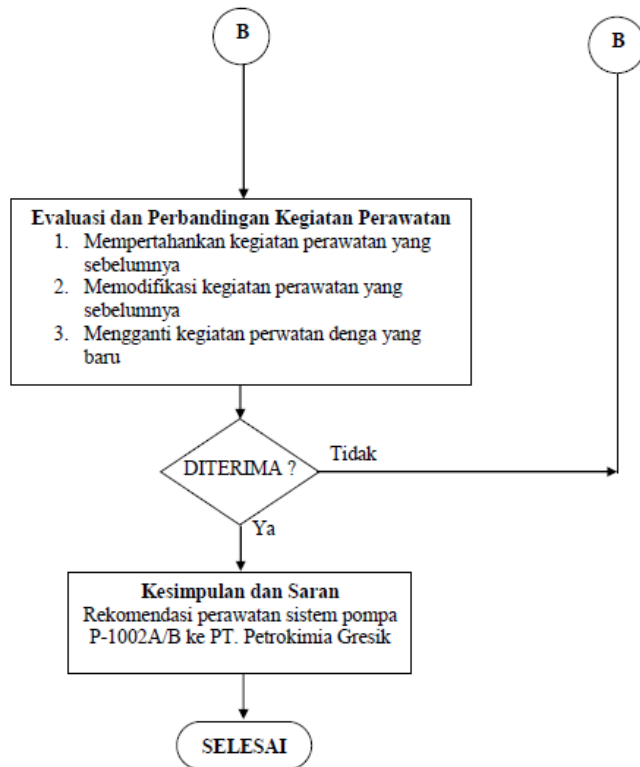
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian Tugas Akhir ini dilaksanakan dengan mengikuti diagram alir penelitian sebagai berikut :







Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

3.2 Metodologi Penelitian

Diagram alir penelitian pada gambar 3.1 di atas dijelaskan sebagai berikut

3.2.1 Identifikasi Permasalahan.

Tahap awal yang dilakukan adalah tahap identifikasi permasalahan yang terjadi pada pompa P-1002A/B. Dari hasil identifikasi,

didapatkan bahwa pompa P-1002A/B memiliki *maintenance cost* yang paling tinggi. Permasalahan lain yaitu pompa P-1002A/B memiliki beberapa komponen yang menunjukkan *maintenance cost* yang cukup tinggi. Permasalahan pada komponen pompa ini akan menjadi fokus utama pada penelitian ini dikarenakan permasalahan tersebut berpotensi menyebabkan produksi tidak maksimal.

3.2.2 Studi Lapangan

Selanjutnya yang dilakukan pada penelitian ini adalah studi lapangan ke perusahaan PT Petrokimia Gresik. Studi lapangan dilakukan untuk mencari informasi dan kondisi perusahaan untuk mengidentifikasi permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini. Tahap ini juga mencakup area spesifik dalam pengambilan data-data pendukung dalam penelitian yaitu Departemen Pemeliharaan pada PT Petrokimia Gresik.

3.2.3 Studi Literatur

Tahap berikutnya yaitu studi literatur dengan tujuan mendapatkan informasi yang dapat menunjang penelitian baik dari buku, jurnal maupun penelitian-penelitian terdahulu. Studi literatur yang dilakukan mengenai pompa P-1002 A/B berupa cara kerja dan fungsi tiap komponen. Selain itu juga pengumpulan informasi tentang metode Reliability Centered Maintenance.

3.2.4 Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data-data terkait pompa P-1002A/B yang telah dicatat sebelumnya oleh perusahaan pada saat proses produksi. Data yang digunakan adalah data mulai dari bulan 1 Januari 2017 sampai dengan 28 Februari 2018 yang meliputi:

1. Data sistem dan komponen pompa P-1002A/B
2. Data *maintenance cost* pompa P-1002A/B
3. Gambar detil pompa P-1002A/B

3.2.5 Analisa Kegagalan dengan *Fault Tree Analysis*

Tahap FTA merupakan metode analisis dengan melakukan analisa kualitatif untuk mengetahui bagian mana dari sistem yang gagal dan perlu dilakukan tindakan perbaikan dan pencegahan berdasarkan kegagalan yang ada agar kejadian yang sama tidak terulang.

3.2.6 Analisa dengan NASA RCM *Logic Tree Analysis*

Tahap NASA RCM Logic Tree Analysis merupakan metode analisis dengan melakukan pembagian analisa berdasarkan *predictive maintenance*, *preventive maintenance*, *proactive maintenance* dan *run to fail* untuk mengetahui komponen mana dari sistem yang gagal dan perlu dilakukan tindakan perbaikan dan pencegahan berdasarkan kegagalan yang ada agar kejadian yang sama tidak terulang.

3.2.7 Perancangan Kegiatan Pemeliharaan

Pada tahap ini akan menentukan metode pemeliharaan yang tepat pada komponen yang telah dianalisa dimana komponen tersebut berpengaruh besar terhadap kegiatan operasional. Setelah itu akan di rekomendasikan kepada perusahaan apakah kegiatan perawatan ini sesuai dengan kondisi perusahaan dan perusahaan akan memberikan *feedback* kepada peneliti.

3.2.8 Evaluasi dan Perbandingan Kegiatan Perawatan

Pada tahap ini akan dilakukan Evaluasi dan perbandingan kegiatan perawatan dari beberapa rancangan kegiatan yang telah dilakukan pada tahapan sebelumnya kepada pihak perusahaan. Tujuan dari tahapan ini adalah menentukan serta penyesuaian apakah kegiatan perawatan yang diajukan sesuai dengan kondisi perusahaan dan perusahaan memberikan *feedback* kepada peneliti, sehingga dapat dilakukannya pemeliharaan yang tepat bagi perusahaan.

3.2.9 Kesimpulan dan Saran

Tahap ini merupakan tahap terakhir pada penelitian Tugas Akhir. Pada tahap ini hasil yang dicapai akan diuraikan setelah melalui proses analisis dan dijadikan sebagai kesimpulan. Selanjutnya akan diberikan rekomendasi berupa daftar kegiatan perbaikan yang harus dilakukan untuk perawatan komponen pada sistem *Pompa P-1002A/B*.

BAB IV ANALISIS DAN PEMECAHAN MASALAH

Bab ini membahas tentang dua hal, yang pertama adalah akar masalah dari sistem pompa P-1002A/B. Langkah selanjutnya, pengolahan data sehingga mendapatkan rekomendasi perancangan kegiatan perawatan pada setiap komponen.

4.1 Sistem Pemeliharaan di Departemen Pemeliharaan III PT. Petrokimia Gresik

Departemen Pemeliharaan III pada PT.Petrokimia Gresik menerapkan *Corrective Maintenance* untuk sistem pompa P-1002A/B. *Corrective maintenance* merupakan kegiatan perawatan atau pemeliharaan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan.

Tabel 4.1 Data *corrective maintenance* pada sistem pompa
(Sumber : PT Petrokimia Gresik)

No	Tanggal Kerusakan	Jenis Kerusakan	Perbaikan
1	31-08-2017	Pompa tidak bisa memompa. Ampere rendah 9A	Diganti pompa model asli
2	03-09-2017	Ampere tinggi, putaran pompa berat	Repair impeller
3	11-09-2017	Pompa tidak bisa memompa. Setelah di cek ternyata <i>impeller</i> lepas dari shaft	Diganti pompa ITT GOLD Pump dengan shaft yang baru dari bengkel
4	30-10-2017	Tercatat ampere Rendah (9A) setelah pompa diangkat ternyata <i>impeller</i> lepas.	Diganti dengan pompa spare (yang asli). Dengan kondisi : Bearing Baru SKF Explorer 7312

Tabel 4.1 adalah contoh catatan data kerusakan komponen pada sistem pompa P-1002A/B. Perawatan ini dilakukan ketika terdapat kinerja sistem yang tidak sesuai dengan standar kerjanya atau menimbulkan mesin berhenti berproduksi. Salah satu contoh kegiatan *corrective maintenance* yang diterapkan pada *Dirty Sulphur Pump* P-1002A/B adalah perbaikan *impeller* yang *unbalance*.



Gambar 4.2 Kegiatan Pengangkatan Sistem Pompa P-1002A/B

Gambar 4.2 merupakan kegiatan pemeliharaan yang dilakukan ketika terjadi kerusakan pada *impeller*. Untuk memperbaiki *impeller* diadakan proses pengangkatan pompa terlebih dahulu. Kegiatan penggantian komponen hanya dilakukan ketika pompa tidak mengalirkan fluida atau ketika pabrik dalam kondisi *shutdown* karena penggantian hanya dapat dilakukan ketika mesin dalam keadaan mati dan dingin.

Maintenance peralatan yang dilakukan selama ini adalah dengan *redundant equipment*. Peralatan dengan kode A/B menunjukkan bahwa terdapat dua peralatan dengan jenis yang sama. Jika salah satu peralatan mengalami kerusakan maka akan dialihkan ke peralatan jenis yang sama namun berbeda kode agar peralatan yang mengalami kerusakan dapat diperbaiki terlebih dahulu dan produksi tetap berjalan. Untuk penulisan kerusakan tidak ada pemisahan antara pompa A dan pompa B. Juga banyak komponen-komponen yang sering rusak namun tidak dianalisa kerusakannya.

4.2 Analisis Sistem Pompa P-1002A/B

Pada tahap ini dilakukan analisis sistem pompa dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)*. Analisis akan dilakukan dari level sistem kemudian ke level komponen. Hal ini dikarenakan kegagalan fungsi pada suatu sistem dapat dilihat dari bagaimana sistem bekerja terlebih dahulu kemudian ditentukan pendukung fungsi sistem tersebut yakni komponen-komponen yang ada pada sistem tersebut.

4.2.1 Deskripsi Sistem

Berdasarkan data *maintenance cost* unit *sulphur handling* ditemukan bahwa sistem pompa P-1002A/B adalah yang paling tinggi. Karena *maintenance cost* yang tinggi dan adanya masalah yang tidak terlihat, maka sistem pompa P-1002A/B dipilih sebagai objek yang diteliti pada tugas akhir ini. Gambar 4.3 merupakan sistem pompa P1002A/B. Kemudian tabel 4.1 dan tabel 4.2 berikut menunjukkan spesifikasi dari sistem pompa P-1002A/B.



Gambar 4.3 Sistem pompa pada unit Sulphur Handling

Tabel 4.1 Data Sheet Pompa P-1002A/B

Tipe Pompa	<i>Vertical Centrifugal Pump Single Suction</i>
Fungsi	Memompa Dirty Molten Sulphur Dari Pit
<i>Medium</i>	<i>Dirty Molten Sulfur</i> (Sg. Gr 1819 kg/m ³)
Kapasitas	17 m ³ /jam (max) dan 15 m ³ /jam (min)
Head	47 m
Putaran	2900 rpm
Effisiensi	37%
Berat	2300 Kg Poros : 650 Kg <i>Impeller</i> : 40 Kg
<i>Radial Bearing</i>	Sleeve
NPSHA	4,7 m
NPSHR	2,5 m
Daya	22 kW
Tipe <i>Impeller</i>	<i>Semi Closed Single Volute (single admission)</i>
Material	SS 4340 Poros: ASSAB 4340
Temperatur inlet	150°C

Tabel 4.2 Deskripsi Sistem

System Boundary	
Pabrik	PT. Petrokimia, Gresik
Unit	Produksi Asam Sulfat
Sistem	Pompa P-1002A/B
Subsistem	Motor dan Pompa

Major Equipment Included	
Pompa P-1002A/B	<i>Impeller</i> , Line Discharge, Line Steam Jacket, Shaft, Motor
Operating content	
<p>Diketahui bahwa pada sistem pompa P-1002A/B penggerak utama berasal dari <i>Shaft</i> yang berasal dari motor. Motor terletak di bagian atas sistem pompa dan berada diatas <i>ground</i> sementara pompa berada <i>underground</i> terbenam pada pit. Motor tersebut menggerakkan <i>shaft</i> kemudian menggerakkan <i>impeller</i> pada bagian <i>suction</i> tempat belerang cair masuk. Kemudian belerang cair akan langsung dialirkan masuk ke <i>line discharge</i> yang diselubungi oleh <i>steam jacket</i> agar belerang cair tidak membeku di tengah-tengah pipa. Terdapat juga <i>steam jacket</i> lain di beberapa bagian pompa yang berfungsi untuk melelehkan belerang yang masuk ke sela-sela pompa agar tidak menyumbat pergerakan <i>shaft</i> atau komponen lain di dalam pompa. Selanjutnya belerang cair akan keluar pada bagian <i>discharge</i> diteruskan ke proses filtrasi.</p>	

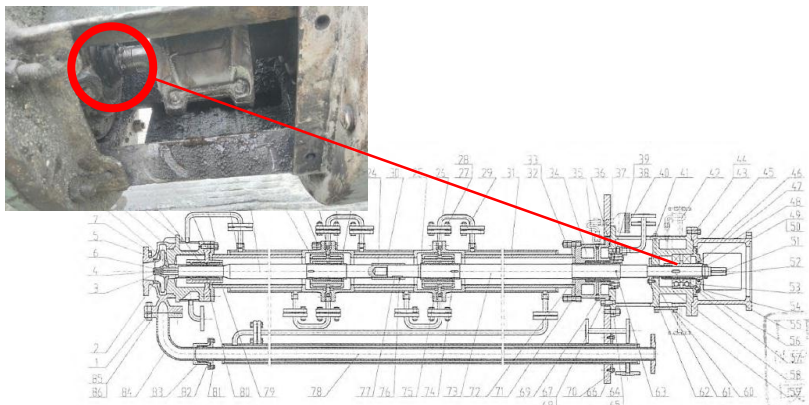
4.2.2 Data Kerusakan

Berdasarkan data yang diperoleh dari Departemen Pemeliharaan III PT Petrokimia Gresik, komponen dari pompa P-1002A/B sering mengalami kerusakan sehingga menyebabkan *maintenance cost* yang tinggi. Kerusakan sering terjadi pada komponen *impeller*, *shaft*, *line steam jacket*, *line discharge* dan motor.



Gambar 4.4 Sudu *Impeller* yang tidak rata buatan mekanik sendiri

Gambar 4.4 menunjukkan kerusakan yang terjadi pada *impeller* modifikasi sendiri oleh orang pabrik dengan kepresisian yang rendah sehingga menjadikannya cepat terdeformasi dan *unbalance* sehingga membuat kerja motor berat karena vibrasi yang berlebihan lalu fluida tidak bisa terpompa dengan baik.



Gambar 4.5 *Shaft* patah (Sumber : PT Petrokimia Gresik)

Gambar 4.5 menunjukkan daerah bagian *shaft* yang sering patah pada bagian dekat motor. Letaknya diatas bearing dibawa

lock-nut. Patahnya dikarenakan kelebihan beban fluida yang ditanggung oleh *impeller* dan diduga terjadi terpusatnya beban diujung shaft kemudian terjadi whirling shaft lalu patah.



Gambar 4.6 *Line steam jacket* bocor

Gambar 4.6 yang ditandai dengan lingkaran merah menunjukkan *line steam jacket* yang bocor dikarenakan korosi dan dilakukan pengelasan. Kerusakan tersebut mengakibatkan steam tidak teralirkan dengan baik dan belerang dalam pompa dapat membeku.



Gambar 4.7 Pompa yang diangkat karena *Line Discharge* tersumbat

Gambar 4.7 menunjukkan *line discharge* yang tersumbat pada bagian yang dilingkari merah. Penyumbatan tersebut dikarenakan banyaknya kotoran yang mengendap dan menempel pada dalam line atau belerang yang membeku di dalam karena *steam jacket* tidak bekerja mengalirkan steam. Kerusakan tersebut mengakibatkan fluida tidak dapat keluar ke proses selanjutnya. Penyumbatan kemungkinan bisa dikurangi jika radius belokan pipa dibesarkan.



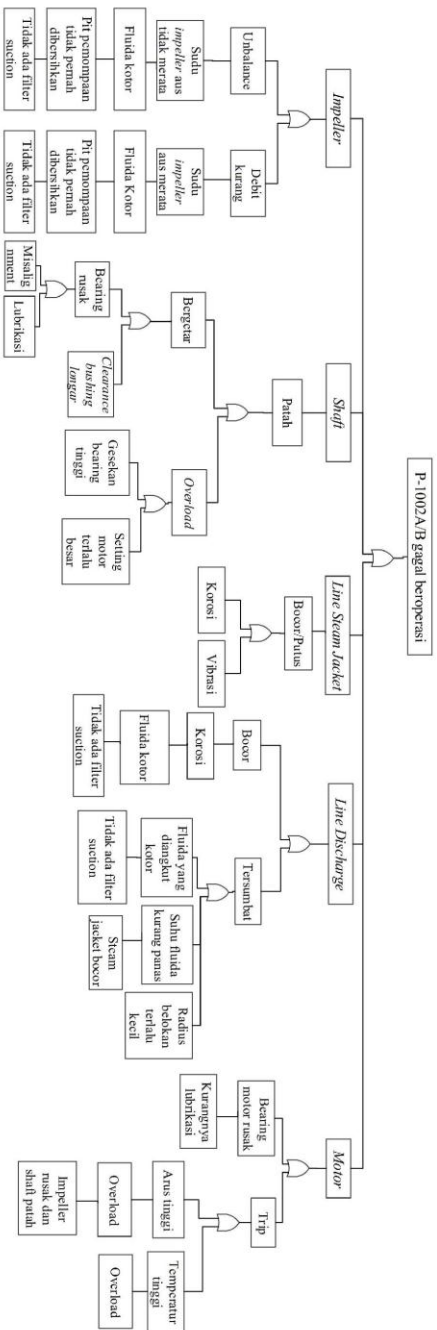
Gambar 4.8 Motor yang telah diangkat karena *shaft* patah

Gambar 4.8 menunjukkan motor yang trip karena *shaft* patah karena *impeller* yang *unbalance* dan motor bekerja terlalu keras untuk memompa fluida hingga *overload*. Beberapa kali sempat tercatat ampere motor rendah dan oleh operator ampere motor ditinggikan lalu akhirnya motor rusak.

4.3 Fault Tree Analysis Untuk Mencari Akar Masalah

Tahap analisis kegagalan dengan menggunakan *Fault Tree Analysis (FTA)*. *Fault tree Analysis* merupakan salah satu cara identifikasi untuk menentukan dari mana kegagalan itu berasal. Analisis sistem pompa gagal beroperasi dengan menggunakan *Fault Tree Analysis* akan ditampilkan pada gambar 4.9.

Berdasarkan hasil diskusi dengan Departemen Pemeliharaan PT. Petrokimia Gresik kerusakan yang terjadi pada sistem pompa P-1002A/B dan menyebabkan gagal beroperasi adalah motor yang trip, *impeller* aus, *steam jacket* bocor, *line discharge* tersumbat dikarenakan fluida yang kotor dan tidak adanya *filter suction*.



Gambar 4.9 Fault Tree Analysis P-1002A/B Gagal Beroperasi

4.4. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Adanya kerusakan pada bagian-bagian pompa menyebabkan kinerja sistem pompa terganggu. Untuk menganalisis penyebab dan efek yang ditimbulkan dari kerusakan pada sistem pompa P-1002A/B maka akan ditentukan fungsi (*function*), kegagalan fungsi (*functional failure*), modus kegagalan fungsi (*failure mode*), dan efek kegagalan fungsi (*failure effect*) dari setiap bagian yang mengalami kerusakan. Disajikan pada Tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3 Failure Mode Effect Analysis Table

<i>Item Name</i>	<i>Function</i>	<i>Functional Failure</i>	<i>Failure Mode</i>	<i>Failure Effect</i>
1) <i>Impeller</i>	Mentransfer energi dari putaran motor menuju dirty molten sulphur	(A) Dirty molten sulphur tidak dapat dipompa dengan baik.	(1) <i>Impeller unbalance</i>	Fluida yang dialirkan mengalami penurunan <i>flowrate</i> dan perubahan tekanan.
			(2) Sudu <i>impeller</i> aus merata	Fluida yang dipompa keluar tidak lebih dari batas minimal untuk keperluan produksi yakni 15m ³ /hr.
2) <i>Shaft</i>	Mentransmisikan putaran dari motor ke <i>impeller</i>	(A) <i>Impeller</i> tidak dapat berputar	(1) <i>Shaft</i> patah	1. Motor tidak berfungsi 2. Fluida tidak dapat dialirkan keluar

(3) <i>Line Steam Jacket</i>	Mensirkulasikan <i>steam</i> untuk memanaskan sulfur di dalam pompa	(A) Sulfur tidak tercairkan dengan baik	(1) <i>Line Steam jacket</i> bocor/putus	Aliran <i>steam</i> terganggu menyebabkan sulfur membeku di dalam pompa. Jika dibiarkan komponen lain dari pompa bisa retak karena beban belerang yang membeku di celah celah pompa.
(4) <i>Line Discharge</i>	Sebagai tempat mengalir kan belerang cair keluar.	(A) Belerang cair tidak dapat mengalir keluar dengan baik	(1) Pipa bocor	Kapasitas fluida yang dialirkan tidak normal atau dibawah dari minimal yakni 15m ³ /hr
			(2) Pipa tersumbat	Pompa tetap menyala namun fluida tidak mengalir keluar
(5) Motor	Sumber tenaga pompa. Mengubah	(A) Shaft tidak dapat mentransmisikan	(1) <i>Motor trip</i>	Fluida tidak dapat dipompa keluar

	tenaga listrik menjadi tenaga mekanik yang akan diteruskan melalui <i>shaft</i> ke <i>impeller</i> .	daya ke <i>impeller</i>	(2) <i>Bearing</i> motor rusak	Terjadinya vibrasi yang tidak normal
			(3) Kumparan terbakar	Motor tidak menyala

4.4 Logic Tree Analysis (LTA)

Tahap *Logic Tree Analysis* pada sistem pompa untuk mengetahui perawatan apa yang cocok untuk masing-masing komponen. *Logic Tree Analysis* seperti pada Tabel 4.5 dimana terdapat *Information reference*, *Consequence evaluation*, *Maintenance Task* dan *Proposed Task*. Kolom *consequence evaluation* diisi dengan Y (*yes*) jika kolom tersebut sesuai dengan jenis perawatan yang tepat atau N (*no*) jika kolom tersebut tidak sesuai dengan jenis perawatan yang tepat teruntuk masing-masing komponen.

Tabel 4.5 Logic Tree Analysis

<i>Logic Tree Analysis</i>											
<i>Information Reference</i>			<i>Consequence Evaluation</i>				<i>Maintenance Task</i>				<i>Proposed Task</i>
F	FF	FM	EHS	S	EE	C	P1	P2	P3	H4	
1	A	1	N	N	Y	Y	Y	N	Y		Monitoring flowrate tidak boleh kurang dari 15m ³ /hr, dilakukan balancing <i>impeller</i> yang sudu-sudunya aus sebagian dengan cara di las dan penambahan filter pada <i>suction</i> agar kotoran pada fluida yang menempel pada <i>impeller</i> berkurang. (Perform Proactive

											<i>Task. Redesign : suction filter)</i>
1	A	2	N	N	Y	Y	Y	N	Y		Monitoring flowrate tidak boleh kurang dari 15m ³ /hr, dilakukan penggantian <i>impeller</i> dan penambahan filter pada <i>suction</i> agar kotoran pada fluida yang menempel pada <i>impeller</i> berkurang. <i>(Perform Proactive Task. Redesign : suction filter)</i>
2	A	1	N	N	Y	N	Y				Monitoring vibrasi tidak boleh lebih dari 4mm/s, dilakukan penggantian

											shaft atau pengelasan shaft. <i>(Perform PT&I Task)</i>
3	A	1	Y	Y	N	Y	Y				Monitoring tekanan steam tidak boleh kurang dari 4 kg/cm ² , pengecekan temperatur tidak boleh kurang dari 135°C, dilakukan pengelasan <i>steam jacket</i> yang bocor atau penggantian <i>steam jacket</i> yang putus. <i>(Perform PT&I Task)</i>
4	A	1	N	Y	Y	Y	Y	N	Y		Monitoring flowrate tidak boleh kurang dari 15m ³ /hr, dilakukan pengelasan

											<p><i>line discharge,</i> penambahan <i>filter suction</i> agar kotoran pada fluida yang menempel pada dinding pipa berkurang.</p> <p><i>(Perform Proactive Task. Redesign : suction filter)</i></p>
4	A	2	N	Y	Y	Y	Y	N	Y		<p>Monitoring flowrate tidak boleh kurang dari 15m³/hr dan dilakukan blender atau pemanasan pada <i>line discharge</i> yang buntu, penambahan <i>filter suction</i> agar kotoran pada fluida yang menempel pada</p>

												dinding pipa berkurang. <i>(Perform Proactive Task. Redesign : suction filter)</i>
5	A	1	N	N	Y	Y	Y					Monitoring vibrasi tidak boleh lebih dari 4 mm/s, monitoring temperature motor, dilakukan restart motor yang <i>overload/trip</i> . <i>(Perform PT&I Task)</i>
5	A	2	N	N	Y	Y	Y					Monitoring vibrasi tidak boleh lebih dari 4mm/s, monitoring temperatur motor, dilakukan penggantian bearing pada motor.

										<i>(Perform PT&I Task)</i>
5	A	3	N	N	Y	Y	Y			Monitoring vibrasi tidak boleh lebih dari 4mm/s, monitoring temperature motor <i>(Perform PT&I Task)</i>

Keterangan :

F: Function

FF: Function Failure

FM: Failure Mode

EHS : Environment, Health or Safety

S: Security

EE: Energy Efficiency

C: Economic Loss (Colateral Damage)

P1 : *Predictive (Perform PT&I task)*

P2 : *Preventive (Perform interval based task)*

P3 : *Proactive task (Redesign system or accept the risk)*

H4: *Run To Fail*

4.5 Rekomendasi Metode Maintenance Yang Baru

Rekomendasi tindakan yang dihasilkan dengan pendekatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) sebagai

perencanaan tindakan terhadap masing-masing *failure mode* komponen.

Tabel 4.6 Rekomendasi *Maintenance Task*

Komponen	<i>Failure Mode</i>	<i>Maintenance Task</i>
<i>Impeller</i>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Unbalance</i> - <i>Sudu impeller aus merata</i> 	<ul style="list-style-type: none"> -Monitoring flowrate -Dilakukan <i>balancing</i> -Dilakukan penggantian <i>impeller</i>. -Penambahan <i>filter suction</i>
<i>Shaft</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Patah 	<ul style="list-style-type: none"> -Monitoring bearing -Monitoring <i>bushing</i> -Monitoring <i>impeller</i>
<i>Line Steam jacket</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Bocor - Putus 	<ul style="list-style-type: none"> -Monitoring tekanan steam -Monitoring temperatur -Pengelasan <i>line steam jacket</i> / penggantian <i>line steam jacket</i> -Evaluasi <i>material steam jacket</i> terhadap ketahanan korosi -Evaluasi <i>mounting line steam jacket</i> agar tidak mudah putus saat terkena getaran
<i>Line Discharge</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Bocor - Tersumbat 	<ul style="list-style-type: none"> -Monitoring flowrate -Pengelasan <i>line discharge</i> -<i>Blander line discharge</i>

		<ul style="list-style-type: none"> - Penambahan <i>suction filter</i> - Penambahan radius belokan <i>discharge</i>
<i>Motor</i>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Trip</i> - <i>Bearing</i> rusak - <i>Kumparan terbakar</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoring vibrasi - Monitoring suhu - Penggantian penyetelan sistem pengaman overload terhadap arus dan suhu - Penggantian bearing motor
<i>Sulphur Pit</i>	Banyak endapan kotoran	Pembersihan pit saat <i>Turn Around</i> (1 tahun sekali)

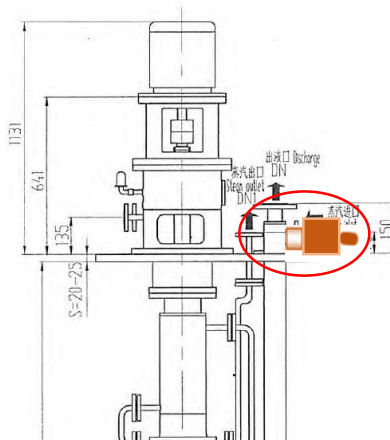
4.5.1 Rekomendasi *Predictive Maintenance*

Rekomendasi untuk komponen *impeller*, *steam jacket*, *line discharge*, motor dan *shaft* yaitu dengan perawatan *PT&I task* atau sama dengan *Predictive Maintenance*. Kegiatan perawatan tersebut yaitu dengan melakukan monitoring pada masing-masing komponen. Baiknya diberi sensor dan alarm agar operator dapat mengetahui jika ada hal yang tidak biasa terjadi pada sistem pompa A atau sistem pompa B. Begitu juga dengan pemberian kode pada saat monitoring sistem pompa antara A dan B agar dibedakan dan tidak jadi satu sehingga diketahui pompa A atau B yang mengalami kerusakan. Berikut adalah rincian monitoring untuk tiap komponen mencegah terjadinya kerusakan yang fatal:

1. *Impeller*

Metode perawatan untuk monitoring debit belum diterapkan sebelumnya oleh PT. Petrokimia Gresik.

Pemasangan sensor untuk cek debit pada posisi horizontal yang diberi lingkaran merah seperti gambar 4.12. Dengan memasang sensor pada bagian pipa keluar pompa maka akan diketahui apakah *impeller* bekerja dengan baik atau tidak menyerap fluida dari pit pemompaan. Dalam satu tahun terjadi 16 kali kegagalan. Umur *impeller* seharusnya adalah 5 tahun namun terjadi 15 kali pengelasan dan 1 kali penggantian *impeller* dalam satu tahun.

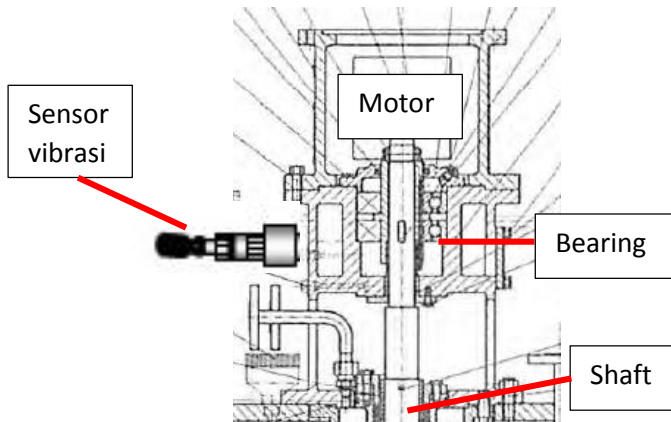


Gambar 4.10 Letak pemasangan sensor flow (Sumber: Data Perusahaan)

2. Shaft

Sebelumnya telah dilakukan perawatan untuk vibrasi pompa P1002A/B namun pencatatan dan rekap data vibrasi tidak lengkap dan tidak setiap hari atau dalam waktu yang tidak tentu. Pemasangan sensor untuk vibrasi seperti yang ditunjukkan gambar 4.13 dilakukan agar diketahui adanya getaran yang tidak normal melebihi 4 mm/s sewaktu-waktu dan alarm akan berbunyi menginformasikan operator. Diketahui jika shaft patah sebanyak 26 kali dalam satu tahun

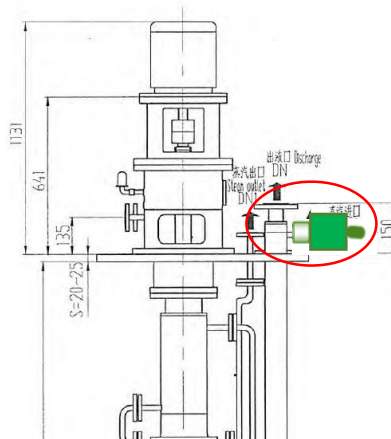
dengan penyebab getaran tidak normal sebanyak 16 kali dan overload 10 kali.



Gambar 4.11 Letak sensor vibrasi (Sumber: Data Perusahaan)

3. Line Steam Jacket

Metode perawatan untuk monitoring tekanan steam dan temperatur belum diterapkan sebelumnya oleh PT. Petrokimia Gresik. Pemasangan sensor untuk monitoring tekanan dan temperature steam pada *line steam jacket* yang tidak boleh kurang dari 4 kg/cm² dan 135°C. Jika *steam* tidak tersirkulasi dengan baik maka belerang dalam pompa akan membeku dan membuat buntu discharge. Cara yang lain untuk mencegah membekunya belerang di tengah pipa adalah meninggikan temperatur steam. Dalam satu tahun terjadi 15 kali kegagalan. Namun tidak ada maintenance cost untuk *Line Steam Jacket* karena dari pihak PT Petrokimia Gresik hanya mendata pengeluaran dengan *sub-contract*. Yang dimonitor suhu belerang keluar.



Gambar 4.12 Letak sensor temperature pada ujung line discharge (Sumber: Data Perusahaan)

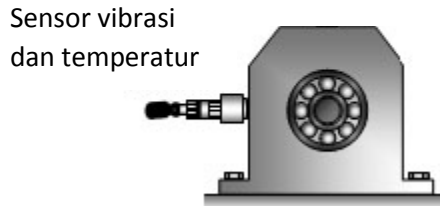
4. Line Discharge

Metode perawatan untuk line discharge adalah monitoring flowrate yang tidak boleh kurang dari $15\text{m}^3/\text{hr}$ dengan memberi sensor pada ujung line discharge seperti sensor yang sama untuk monitoring *impeller*. Dalam satu tahun terjadi 15 kali kerusakan dengan 2 kali tersumbat dan 13 kali bocor. Dari data kerusakan didapatkan bahwa *maintenance cost* yang tinggi untuk komponen ini adalah kegiatan blander line discharge yang tersumbat.

5. Motor

Metode perawatan untuk motor yang paling utama adalah monitoring vibrasi dan temperatur. Karena jika motor berhenti beroperasi maka pemompaan fluida berhenti dan produksi akan berhenti. Dalam satu tahun terjadi 23 kali kerusakan dengan rincian 16 kali *trip* lalu dilakukan

disconnect kabel kemudian pengangkatan motor untuk diganti yang baru dan 7 kali pergantian *bearing* motor.



Gambar 4.13 Sensor temperatur dan vibrasi pada motor
(Sumber: Data Perusahaan)

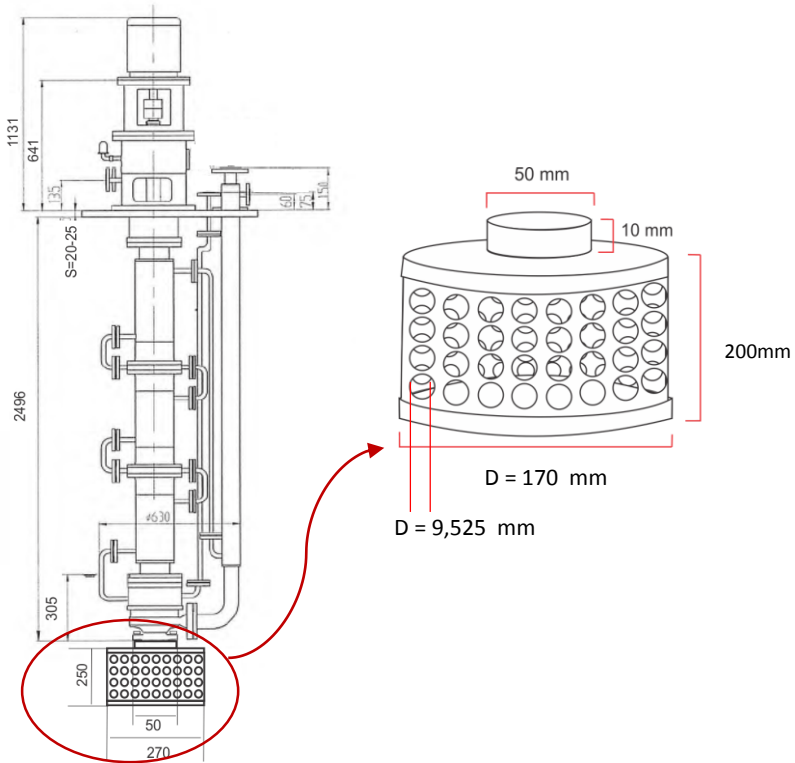
4.5.2 Rekomendasi *Preventive Maintenance*

Rekomendasi selanjutnya adalah untuk *pit* penampungan belerang dengan perawatan *interval based task* atau sama dengan *Preventive Maintenance*. Kegiatan perawatan ini dilakukan dengan membersihkan pit penampungan belerang secara berkala dengan menjadwalkan pembersihan pit satu tahun sekali pada saat *Turn Around* pabrik karena pada kegiatan perawatan sebelumnya belum pernah dilakukan pembersihan *pit* penampungan sehingga kotoran-kotoran belerang menumpuk pada dasar *pit* dan fluida yang dipompa mengandung banyak kotoran yang akan menyebabkan endapan di bagian pompa yang lain seperti pada *impeller* dan *line discharge*.

4.5.3 Rekomendasi *Proactive Maintenance*

Rekomendasi yang terakhir adalah untuk *impeller* dan *line discharge* dengan perawatan *Proactive: Redesign*. Diketahui dari *Fault Tree Analysis* bahwa akar masalah dari kegagalan sistem pompa P-1002A/B adalah fluida yang kotor dari pit pemompaan yang kemudian dapat berefek ke kedua komponen tersebut. Untuk mengurangi kegagalan tersebut maka dapat dipasang salah satu

tipe *suction filter* dengan bahan *Stainless Steel* seperti pada gambar 4.14 dengan lubang dan tertutup pada bagian bawah. Pemilihan *Stainless steel* sebagai material karena sifat belerang yang korosif. Bentuk dari filter ini adalah tabung dengan lubang-lubang di seluruh permukaan untuk memudahkan belerang cair masuk namun juga menyaring kotoran-kotoran yang tidak ikut mengendap dalam pit.



Gambar 4.14 Penambahan Suction Filter pada P-1002A/B

- Lubang-lubang pada suction filter:
Kotoran pada belerang: Batu-batuan yang tidak larut dalam proses melting dengan diameter lebih dari 10mm.

Standard diameter lubang pada *water suction filter* adalah $3/8\text{in} = 9,525 \text{ mm}$.

Desain lubang disamakan dengan *water suction filter* karena kotoran pada belerang memiliki diameter lebih dari $9,525 \text{ mm}$.

- Estimasi endapan pada *suction filter* :
 Diameter partikel impurities (HCl, NaCl, Fe, K, Na): $6\mu\text{m}$
 Viskositas belerang cair: $0,08 \text{ poise}$
 $\rho_s = 2,16 \text{ kg/m}^3$
 $\rho_o = 1,819 \text{ kg/m}^3$

Kecepatan pengendapan dengan Hukum Stokes:

$$V = \frac{2d(\rho_s - \rho_o)g}{18 \pi_o}$$

Keterangan :

V = Kecepatan pengendapan (m/s)

d = diameter partikel impurities (m)

ρ_s = densitas partikel impurities (kg/m^3)

ρ_o = densitas belerang cair (kg/m^3)

g = gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)

π_o = koefisien viskositas fluida (Poise)

Perhitungan:

$$\begin{aligned} V &= \frac{2d(\rho_s - \rho_o)g}{18 \pi_o} \\ &= \frac{2(0.000006\text{m}) \left(2.16 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 1.819 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) 9.8 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}{18 (0.08 \text{ poise})} \\ &= \frac{0.0000044111}{1.44} \end{aligned}$$

$$= 0.00003033 \frac{m}{s}$$

$$= 0.109188 \text{ m/hr}$$

Volume ketika endapan penuh pada suction filter :

$$\begin{aligned} V &= \pi r^2 t \\ &= \pi (85\text{mm})^2 (200\text{mm}) \\ &= 53.580\text{mm}^3 = 53,58 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Lama waktu untuk *suction filter* penuh dengan endapan :

$$\frac{\text{Volume}}{\text{Kecepatan Pengendapan}} = \frac{53,58}{0.109188} = 490.71 \text{ hr}$$

Suction filter perlu dibersihkan sebelum 490.71 jam atau 20 hari. Dapat dijadwalkan 2 minggu sekali untuk pembersihan *suction filter*.

Dengan lubang-lubang yang besar di sekeliling filter untuk masuknya belerang cair tidak akan cepat buntu oleh kotoran dibandingkan jika desain diameter lubang lebih kecil dari kemungkinan *filter* akan cepat buntu. Bagian bawah filter yang tertutup dapat menghindari terangkutnya endapan pada dasar pit. Dengan adanya *suction filter* diestimasi dapat mengurangi maintenance cost pada *impeller*, *shaft*, *line discharge* dan motor. *Line steam jacket* tidak dihitung karena maintenance cost tidak dihitung oleh pabrik jika di kerjakan oleh orang pabrik sendiri. Estimasi harga dari filter ini adalah Rp 2.975.000,- Berikut adalah estimasi perhitungan *maintenance cost* sebelum dan sesudah dipasang *suction filter*.

- Impeller

Maintenance cost untuk 1 kali pengelasan *impeller* adalah Rp 119.992,-

Maintenance cost untuk 1 kali penggantian *impeller* adalah Rp 1.861.636,-

Frekuensi *maintenance impeller* dalam 1 tahun adalah 16 kali dengan rincian 15 kali pengelasan dan 1 kali penggantian *impeller*. Yang seharusnya umur *impeller* adalah 5 tahun namun dalam 1 tahun sudah diganti.

- Total *maintenance cost* dalam 1 tahun:
 $(15 \times \text{Rp } 119.992,-) + \text{Rp } 1.861.636,-$
 $= \text{Rp } 3.781.515,-$
- Total *maintenance cost* dalam 5 tahun:
 $5 \times \text{Rp } 3.781.515,- = \text{Rp } 18.907.575,-$
- Total estimasi *maintenance cost* setelah pembersihan pit dan pemasangan *suction filter*:
Impeller rusak dalam 5 tahun dengan Rp 1.861.636,
- Penghematan :
 $(\text{Total } \textit{maintenance cost} \text{ dalam } 5 \text{ tahun}) - (\text{Total estimasi } \textit{maintenance cost} \text{ setelah pemasangan } \textit{suction filter})$
 $= (\text{Rp } 18.907.575,-) - (\text{Rp } 1.861.636,-) = \text{Rp } 17.045.939,-$
- *Shaft*
Maintenance cost untuk 1 kali penggantian *shaft* adalah Rp 9.420.000,-
Maintenance cost untuk 1 kali penggantian *bearing* adalah Rp 328.225,-

Frekuensi *maintenance shaft* dalam 1 tahun adalah 26 kali. Dengan rincian gagal karena bearing rusak oleh vibrasi 13 kali dan overload 10 kali. Namun biaya *maintenance* tidak dituliskan atau dianggap 0 ketika dilakukan oleh mekanik dari PT Petrokimia Gresik sendiri seperti penggantian bushing yang terjadi 3 kali.

- Total *maintenance cost* dalam 1 tahun:
 $(10 \times \text{Rp } 9.420.000,-) + (13 \times \text{Rp } 328.225,-) =$
 $\text{Rp } 94.200.000 + \text{Rp } 43568500 = \text{Rp } 137.768.538,-$
- Total *maintenance cost* dalam 5 tahun:
 $5 \times \text{Rp } 137.768.538 = \text{Rp } 688,842,690,-$
- Total estimasi *maintenance cost* setelah pembersihan pit dan pemasangan *suction filter*:
Shaft rusak dalam 5 tahun dengan Rp 9.420.000,-
 Bearing rusak dalam 1,5 tahun x 3 x Rp 328.225,-
 = Rp 1.477.131,-
- Penghematan :
 $(\text{Total } \textit{maintenance cost} \text{ dalam } 5 \text{ tahun}) - (\text{Total estimasi } \textit{maintenance cost} \text{ setelah pemasangan } \textit{suction filter})$
 $= (\text{Rp } 688,842,690,-) - ((\text{Rp } 9.420.000,-) + (\text{Rp } 1.477.131,-))$
 $= (\text{Rp } 688,842,690,-) - (\text{Rp } 10.897.131,-)$
 $= \text{Rp } 677.945.559,-$

- *Line Discharge*

Maintenance cost untuk 1 kali *blander*/pemanasan *line discharge* adalah Rp 91.050.835,-

Maintenance cost untuk 1 kali pengelasan *line discharge* adalah Rp 383.924,-

Frekuensi *maintenance* dalam 1 tahun adalah 15 kali dengan rincian 13 kali pengelasan dan 2 kali *blander*.

- Total *maintenance cost* dalam 1 tahun:

$$(13 \times \text{Rp } 383.924,-) + (2 \times \text{Rp } 91.050.835,-)$$

$$= (\text{Rp } 4.991.017,-) + (\text{Rp } 182.101.670)$$

$$= \text{Rp } 187,092,687,-$$

- Total *maintenance cost* dalam 5 tahun:

$$(\text{Rp } 187,092,687,-) \times 5 = \text{Rp } 935.463.439,-$$

- Total estimasi *maintenance cost* setelah pembersihan pit dan pemasangan *suction filter*:

Blander tidak diperlukan karena *line discharge* tidak tersumbat karena dilakukan *predictive maintenance* pengecekan steam secara rutin.

Line Discharge bocor dalam 5 tahun Rp 383.924,-

- Penghematan :

(Total *maintenance cost* dalam 5 tahun) – (Total estimasi *maintenance cost* setelah pemasangan *suction filter*)

$$= (\text{Rp } 935.463.439,-) - (\text{Rp } 383.924,-)$$

$$= \text{Rp } 935.079.515,-$$

- *Motor*

Maintenance cost untuk 1 kali *disconnect* pompa adalah Rp 2.175.245,-

Maintenance cost untuk 1 kali penggantian bearing motor adalah Rp 437.789,-

- Total *maintenance cost* dalam 1 tahun:
 $(16 \times \text{Rp } 2.175.245,-) + (7 \times \text{Rp } 437.789,-)$
 $= (\text{Rp } 38.249.692,-) + (\text{Rp } 3.064.523,-)$
 $= \text{Rp } 41.314.215,-$
- Total *maintenance cost* dalam 5 tahun:
 $(5 \times \text{Rp } 41.314.215,-) = \text{Rp } 206.571.075,-$
- Total estimasi *maintenance cost* setelah pembersihan pit dan pemasangan *suction filter*:
Motor rusak dalam 5 tahun dengan Rp 2.175.245,-
 Bearing rusak dalam 1,5 tahun $\times 3 \times \text{Rp } 437.789,-$
 $= \text{Rp } 1.970.050,-$
- Penghematan :
 $(\text{Total } \textit{maintenance cost} \text{ dalam 5 tahun}) - (\text{Total estimasi } \textit{maintenance cost} \text{ setelah pemasangan } \textit{suction filter})$
 $= (\text{Rp } 206.571.075,-) - ((\text{Rp } 2.175.245,-) + (\text{Rp } 1.970.050,-))$
 $= (\text{Rp } 206.571.075,-) - (\text{Rp } 4.145.295,-)$
 $= \text{Rp } 202.425.779,-$

- Perbandingan estimasi total biaya seluruh komponen per lima tahun :
 - Total *maintenance cost* impeller, shaft, line discharge dan motor dalam 5 tahun dengan metode perawatan yang lama yakni sistem *redundant equipment* adalah Rp 1.849.784.775,
 - Maintenance filter suction yang diberishkan 2 minggu sekali dengan asumsi biaya pengangkatan pompa dan membersihkan *suction filter* Rp 2.175.245,-
 - 1 tahun = 53 minggu
 - 5 tahun = 53 minggu x 5 = 265 minggu
 - Jadwal pembersihan = 265 minggu/2 = 133 kali
 - Harga maintenance suction filter selama 5 tahun = Rp 2.175.245,- x 133 = Rp 288.219.962.5
 - Total estimasi *maintenance cost* setelah perawatan dan pemasangan *suction filter* dalam 5 tahun adalah [Total biaya maintenance + Harga suction + Maintenance Suction Filter] = (Rp 17.287.986,-) + (Rp 2.975.000,-) + (Rp 288.219.962.5) = Rp 308.482.948,-

Jadi, dibandingkan dengan metode perawatan sebelumnya dengan *redundant equipment* yang menghabiskan Rp 1.849.784.775,- , metode perawatan dengan predictive, preventive dan proactive maintenance hanya memerlukan Rp 308.482.948,-. Terutama pada penambahan *suction filter* yang dapat mencegah impeller, shaft, line discharge dan motor rusak sebelum umur batasnya 5 tahun.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengumpulan dan pengolahan data yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari analisa kegagalan yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa penyebab terjadinya kerusakan sistem pompa P-1002A/B pada unit sulphur handling dipengaruhi oleh beberapa komponen yaitu *motor, impeller, line discharge, line steam jacket* dan *shaft*.
2. Didapatkan *maintenance task* melalui analisis RCM NASA Logic Tree Analysis untuk masing-masing komponen. Didapatkan hasil sebagai berikut :
 - 5 *failure mode* dengan menggunakan *Predictive Maintenance* yaitu tindakan yang diambil dengan melakukan kegiatan monitoring terhadap aliran steam, temperatur, vibrasi dan arus. Apabila pada sensor steam, temperatur, vibrasi dan arus telah melebihi batas yang maksimal atau kurang dari batas minimal maka akan ada alarm agar dilakukan pengecekan lebih lanjut pada komponen yang menjadi sumber aktifitas yang tercatat tidak biasa.
 - 4 *failure mode* dengan metode *Proactive Maintenance: Redesign*. Tindakan yang diambil dengan melakukan modifikasi pada bagian *suction* yakni penambahan *suction filter* sehingga kotoran dengan diameter lebih dari 10mm akan tersaring. Kemudian sesuai perhitungan endapan dilakukan pembersihan *suction filter* setiap dua minggu sekali.
 - 1 *maintenance task* dengan metode *Preventive Maintenance*. Tindakan yang diambil dengan melakukan perawatan secara berkala pada pit penampungan belerang dengan menjadwalkan

pembersihan pit satu tahun sekali pada saat *Turn Around* pabrik agar sistem pompa tidak sering mengalami kerusakan karena kotoran-kotoran yang mengendap pada *pit*.

Jadi, estimasi penurunan *maintenance cost* jika ketiga *maintenance task* diterapkan adalah Rp 308.482.948,-.

5.2 Saran

1. Sistem perawatan yang dilakukan oleh perusahaan belum menggunakan teori perawatan RCM untuk mencegah kegagalan yang terjadi sehingga sulit untuk mendefinisikan kerusakan yang terjadi pada pompa P-1002A/B. Maka dari itu sebaiknya digunakan sistem perawatan yang baik agar dapat dengan mudah mendefinisikan dan mencegah kegagalan yang akan terjadi.
2. PT. Petrokimia Gresik diharapkan mendata dan menyimpan secara lengkap seluruh data kerusakan berdasarkan akar dari kerusakannya di tiap komponen. Kemudian diberikan pengkodean yang jelas berdasarkan kerusakan komponennya.
3. Diperlukan monitoring untuk sistem pompa P-1002A/B agar dapat diketahui jika ada aktifitas yang tidak biasa terjadi pada sistem pompa akan langsung di alarm untuk dilakukan pengecekan pada komponen yang bersangkutan.
4. Dilakukan perbaikan sistem mengenai data *history* waktu perbaikan dan penggantian komponen sehingga dapat mempermudah dalam menentukan umur komponen.

DAFTAR PUSTAKA

- Afey, I.H. 2010. **Reliability-Centered Maintenance Methodology and Application: A Case Study**. Egypt : Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Fayoum University.
- Amalia, Z. 2016. **Perancangan Sistem Pemeliharaan Pada Turbin 103-JT Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (Studi Kasus : PT.Petrokimia Gresik Unit Amonia Pabrik I)**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Barai, R M. 2012. **Reliability-Centered Maintenance Methodology for Goliath Crane of Transmission Tower**. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering.
- Daley, D. 2008. **Predictive and Preventive Maintenance**. New York: Continuing Education and Development, Inc.
- Eka, D. 2017. **Perancangan Dan Implementasi *Reliability Centered Maintenance (RCM)* Pada *Greaser System Hard Capsule Machine* di PT. Kapsulindo Nusantara**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Moubray, J. 1997, **Reliability Centered Maintenance II, 2nd Edition**. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- NASA. 2008. **RCM Guide for Facilities and Collateral Equipment**. United States of America: National Aeronautics and Space Administration.
- Setiawan, F. 2008, **Perawatan Mekanikal Mesin Produksi**. Yogyakarta: Maximus.

Sulphuricacid. 2015. **Knowledge for Sulphuric Acid Industry**. URL:http://www.sulphuric-acid.com/techmanual/Properties/properties_sulphur.htm (Diakses 24 Juli 2018)

Wulandari, T. 2011. **Analisa Kegagalan Sistem Dengan Fault Tree**. Depok: Universitas Indonesia.

Zulkani, Y. 2008. **Penerapan Metode Reliability Centered Maintenance Pada Sistem Penukar Panas Sekunder Reaktor Triga Mark 2000**. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

BIODATA PENULIS



Zahra Firdaus, dilahirkan pada tanggal 02 Agustus 1995 di Surabaya. Merupakan anak pertama dari dua bersaudara pasangan Machruji dan Upik Cholidah. Penuli telah menempuh pendidikan di SDN Nogosari 2 Pandaan, SMP Negeri 1 Pandaan dan SMA Negeri 1 Pandaan.

Setelah lulus dari SMA pada tahun 2013, penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Mesin FTI ITS melalui jalur SNMPTN Undangan, dengan mengambil bidang studi Sistem Rekayasa Industri.

Selama menjadi mahasiswa, penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT Dirgantara Indonesia, sebelum akhirnya melakukan penelitian tugas akhir di PT Petrokimia Gresik.

Penulis aktif dalam kegiatan organisasi mahasiswa dalam bidang musik dengan menjadi Staff Divisi Internal dan Staff Ahli Divisi Internal Mesin Music Club. Penulis juga aktif mengikuti kepanitiaan *event* mahasiswa dengan menjadi Anggota Sie Publikasi KMHE 2014, Staff Ahli Wahana Budaya ITS Expo 2014, serta Chief Graphic Design Mechanical City 2015. Penulis juga mengikuti berbagai pelatihan manajemen diri dan menjadi relawan untuk project Explore East Indonesia bersama AIESEC. Penulis dapat dihubungi melalui *email* berikut: **zahrafirdaus56@gmail.com**