



TUGAS AKHIR - TM 141585

**KAJIAN PENAMBAHAN SISTEM PERALATAN
GUNA MENGURANGI JUMLAH UNPLANNED
SHUTDOWN PADA KOMPRESSOR GTC - 653 PT.
PERTAMINA HULU ENERGI WEST MADURA
OFFSHORE**

**REXA NARESWARA
NRP 2113 100 196**

Dosen Pembimbing
Ir. WITANTYO, M.Eng.Sc

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



FINAL PROJECT - TM 141585

**STUDY OF ADDITIONAL EQUIPMENT SYSTEM TO
REDUCED UNPLANNED SHUTDOWN ON GTC – 653
COMPRESSOR OF PT PERTAMINA HULU ENERGI
WEST MADURA OFFSHORE**

**REXA NARESWARA
NRP 2113 100 196**

Advisor
Ir. WITANTYO, M.Eng.Sc

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL ENGINEERING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2018

**KAJIAN PENAMBAHAN SISTEM PERALATAN GUNA
MENGURANGI JUMLAH UNPLANNED SHUTDOWN
PADA KOMPRESSOR GTC - 653 PT. PERTAMINA HULU
ENERGI WEST MADURA OFFSHORE**

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 :

REXA NARESWARA

NRP. 2113 100 196

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc (Pembimbing)
NIP. 196303141988031002
2. Dinny Harnany, ST, MSc (Penguji I)
NIP. 2100201405001
3. Ari Kurniawan Saputra, ST, MT (Penguji II)
NIP. 198604012015041001
4. Ir. Sampurno, MT (Penguji III)
NIP. 196504041989031002

SURABAYA

JANUARI, 2018

**KAJIAN PENAMBAHAN SISTEM PERALATAN
GUNA MENGURANGI JUMLAH UNPLANNED
SHUTDOWN PADA KOMPRESSOR GTC - 653 PT.
PERTAMINA HULU ENERGI WEST MADURA
OFFSHORE**

Nama Mahasiswa : Rexa Nareswara
NRP : 2113 100 196
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

Abstrak

Kompresor GTC - 653 merupakan salah satu komponen utama yang digunakan dalam proses produksi minyak dan gas pada PT Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore yang digerakkan oleh gas turbin dan berfungsi untuk memberikan *gas lift* pada sumur - sumur di PT PHE WMO. Dari data yang didapat pada tahun 2016-2017 tercatat mesin ini total mengalami 137 kali *unplanned shutdown* dan menyebabkan kerugian produksi sebesar 597.768 bbls/tahun. Berdasarkan data yang didapat 90 kali *shutdown* dari total *unplanned shutdown* yang ada disebabkan oleh adanya *false signal* akibat adanya kondensat pada *tubing seal gas*.

Penurunan tekanan pada *tubing seal gas* membuat sensor pengaman yang ada untuk melakukan *shutdown*. Fluida yang mengalir pada *tubing seal gas* harus memiliki tekanan 20 psi lebih besar dari tekanan *suction* kompresor agar tidak terjadi kebocoran pada proses gas. Oleh karena itu, perlu adanya solusi untuk menangani permasalahan tersebut dan manajemen perawatan yang baik dan terintegrasi.

Agar dapat mengatasi permasalahan tersebut akan dilakukan analisa terhadap penyebab dari turunnya tekanan pada *tubing seal gas*. Dalam penelitian ini didapatkan hasil bahwa terjadi adanya pembekuan kondensat pada *pressure regulator* yang ada pada aliran gas. Pembekuan kondensat yang terjadi menyebabkan adanya penurunan tekanan pada *tubing seal gas*. Modifikasi dengan cara memberikan *filter* tambahan pada sistem *seal gas* merupakan salah satu solusi yang nantinya dapat membuat tekanan pada fluida yang mengalir sesuai dengan parameter yang dibutuhkan. *Filter* ini nantinya dapat memisahkan kondensat dari aliran gas yang mengalir, sehingga proses produksi akan berjalan sebagaimana mestinya. Hasil yang didapatkan pada tugas akhir ini diharapkan mampu meningkatkan hasil produksi PT. PHE WMO.

Kata Kunci: *Gas lift, Unplanned Shutdown, shutdown, false signal, tubing, tubing seal gas, suction, filter*

STUDY OF EQUIPMENT SYSTEM ADDING TO REDUCED UNPLANNED SHUTDOWN ON GTC – 653 COMPRESSOR OF PT PERTAMINA HULU ENERGI WEST MADURA OFFSHORE

Student Name : Rexa Nareswara
NRP : 2113 100 196
Department : Teknik Mesin FTI-ITS
Supervisor : Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

Abstract

GTC – 653 compressor is one of the main component used in oil and gas production in PT Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore. GTC – 653 is a compressor moved by gas turbine and has a function to give gas lift to PT PHE WMO wells. Gas produced by PT PHE WMO will be sold to consumer. From the data achieved in 2016-2017, this machine has been through 137 unplanned shutdown and caused total lost 597.768 bbls/year. According to this data, 90 shutdown out of that unplanned shutdown caused by false signal that happened because of condensate presence in tubing seal gas.

Condensate in tubing cause pressure reduction in the tubing seal gas and caused safety sensor to shutdown. Fluid flows inside tubing seal gas must be 20 psi more pressure than suction compressor so no leaking in gas process. That is why there are solutions needed to handle the problem and good and integrated maintenance management.

To deal with that problem, a treatment to tubing seal gas was needed to make fluids pressure constant. Compressor components will be analyzed in regard of condensate forming inside the tubing. Addition component needed to separate gas and liquid in the

flowing fluids. The result from this final research hoped to increase PT PHE WHO production.

Keywords : *Gas lift, Unplanned Shutdown, shutdown, false signal, tubing, tubing seal gas, suction, filter*

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah kami panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena atas karunia-Nya penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Segala tangis, kebahagiaan, amarah, dan seluruh emosi yang dapat diluapkan selama penulis kuliah merupakan salah satu pengalaman dan kenangan yang tidak akan pernah penulis lupakan untuk menjadi batu loncatan penulis dalam menghadapi kehidupan berikutnya.

Tugas akhir ini merupakan persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin FTI ITS. Dengan diselesaikannya tugas akhir ini, semoga dapat menjadi pembelajaran bagi siapa saja yang ingin memperdalam ilmunya dalam tugas akhir yang penulis lakukan. Dalam penyusunan tugas akhir ini, banyak pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuannya sehingga dapat terselesaikan sesuai dengan waktu yang diharapkan. Oleh karena itu, izinkan penulis untuk mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak tersebut antara lain:

1. Allah SWT serta junjungan besar kami Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan petunjuk dan kekuatan dalam menghadapi segala cobaan dan rintangan.
2. Kedua orang tua saya, Aris Hartoni dan Retna Mara Katarimah yang selalu hadir untuk memberikan dukungan dalam segala aspek, sehingga segala sesuatunya dapat terlewati dengan baik.
3. Bapak Ir. Witantyo, M.Eng.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang membimbing penulis dengan penuh kesabaran.

4. Bapak Ari Kurniawan, ST., MT., Ibu Dinny Harnany, ST., M.Sc., dan Bapak Ir. Sampurno, MT selaku dosen penguji.
5. Bapak Ani Surakhman, Bapak Ariffin, Bapak Erry Hartanto, dan terlebih Mas Ari Antono, selaku pihak dari PT. PHE WMO yang telah membimbing dan membantu dalam pengambilan data serta mengarahkan penulis sehingga tugas akhir ini dapat tersusun dengan baik.
6. Segenap dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin yang telah membantu penulis atas pengetahuan dan pembelajaran yang telah diberikan.
7. Nabil, Delia, Diastanto, Bramantio, Romario, Anna, Putri yang berjuang bersama di Laboratorium Rekayasa Sistem Industri dan seluruh warga Laboratorium yang tidak disebutkan namanya.
8. Jokul, Ulfah, Wayan, nadya yang merupakan anggota fungsionaris Departemen Badan Semi Otonom Himpunan periode 2015/2016.
9. Nino yang membantu penulis dalam pembuatan gambar untuk menyelesaikan tugas akhir ini
10. Segala individu yang pernah ada dalam kehidupan perkuliahan penulis, karena tanpa mereka kegiatan perkuliahan penulis mungkin tidak akan seperti sekarang ini.
11. Anggota grup *line* wicak, anggi, bramantio, yudhis, awo, nauval, faris yang selalu mengisi hari-hari penulis sebagai pengalaman yang tak akan terlupakan.
12. Dan seluruh angkatan 2013 Teknik Mesin ITS M56 yang memberikan penulis banyak arti dan makna dalam menjalankan kehidupan perkuliahan selama berada di Teknik Mesin ITS.

DAFTAR ISI

Abstrak	i
Abstract	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Tugas Akhir	5
1.4 Batasan Masalah	5
BAB II	7
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Gas Turbin Kompresor	7
2.1.1 Kompresor axial.....	7
2.1.2 Ruang pembakaran (<i>combustors</i>).....	8
2.1.3 Turbin	9
2.1.4 Kompresor Sentrifugal.....	10
2.1.5 Spesifikasi GTC – 653	12

2.2	Sistem Seal Pada Kompresor Sentrifugal	14
2.2.1	Wet Seals.....	14
2.2.2	<i>Dry Seals</i>	16
2.3	Gas Bumi dan Kandungannya	17
2.4	Penelitian Terdahulu.....	19
2.4.1	Penemuan masalah.....	19
2.4.2	Langkah yang Diambil.....	21
2.4.3	Hasil yang Didapat.....	23
2.4.4	Kesimpulan	25
2.5	Demister Mist Extractor	25
2.5.1	<i>Vane Type Demister</i>	27
2.5.2	<i>Coalescer</i>	28
2.5.3	Analisa Gravitasi Partikel pada Filter	29
2.6	<i>Root Cause Analysis</i>	34
BAB III.....		38
METODOLOGI PENELITIAN		38
3.1	Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir	38
3.2	Prosedur Pengerjaan Tugas Akhir	40
BAB IV		43
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		43
4.1	Perawatan yang Dilakukan Oleh PT. PHE WMO43	

4.2	Diagram Alur Produksi PHE WMO	44
4.3	<i>Root Cause Analysis</i>	45
4.4	Analisa Filter yang digunakan	48
4.4.1	Filter dengan tipe <i>Vane Packs</i>	51
4.4.2	Pemilihan Filter yang digunakan.....	53
4.5	Perhitungan Diameter Minimum Filter	54
4.6	Analisa biaya modifikasi sistem	61
BAB V	64
KESIMPULAN DAN SARAN	64
DAFTAR PUSTAKA	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 <i>Process Flow Diagram (PFD) PT. PHE WMO</i>.....	2
Gambar 1.2 Diagram Pareto Kompresor GTC - 653	3
Gambar 1.3 Grafik produksi PEP.....	4
Gambar 2.1 Kompresor aksial yang terdapat pada gas turbin (Gas Turbine Engineering Handbook, Meherwan P. Boyce).....	8
Gambar 2.2 Ruang Bakar pada Gas Turbin (Gas Turbine Engineering Handbook, Meherwan P. Boyce) ..	9
Gambar 2.3 Salah Satu skema gas turbin aksial (<i>Gas Turbine Engineering Handbook</i>, Meherwan P. Boyce)..	10
Gambar 2.4 Skema kompresor sentrifugal (<i>Gas Turbine Engineering Handbook</i>, Meherwan P. Boyce)	11
Gambar 2.5 Spesifikasi Gas Turbin Kompresor GTC – 653 (<i>Product Information Letter, Solar Turbines</i>).....	12
Gambar 2.6 Spesifikasi dan Performa GTC – 653 (<i>Product Information Letter, Solar Turbines</i>)	13
Gambar 2.7 Skema Sistem Wet Seal pada Gas Turbin Kompresor (Product Information Letter 140 Solar Turbines).....	15
Gambar 2.8 Skema Sistem Dry Seal Kompresor GTC – 653 (Product Information Letter 140 Solar Turbines)..	16

Gambar 2.9 Skema <i>Dry Seal (Replacing Wet Seals with Dry Seals in Centrifugal Compressors, United States Environmental Protection Agency)</i>	17
Gambar 2.10 Skema <i>Seal Oil dan Lube Oil Kompresor</i>	21
Gambar 2.11 Skema <i>Vaccum Degasser</i> yang disederhanakan.....	24
Gambar 2.12 mekanisme pemisahan pada demister (<i>Demister to Remove Fine Droplets of Liquid, Global Institute</i>)	26
Gambar 2.13 skema <i>vane-type demister</i> (a) mekanisme separasi dengan tumbukan langsung, (b) <i>W</i> atau <i>V V type demister</i> untuk aliran vertikal, (c) <i>VH – 1 type demister</i> untuk aliran horizontal, (d) <i>VH-2 demister</i> untuk aliran horizontal (<i>Demister to Remove Fine Droplets of Liquid, Global Institute</i>)	27
Gambar 2.14 Mekanisme pemisahan secara penyatuan (<i>Demister, Petro Wiki</i>).....	29
Gambar 2.15 Analisa Gravitasi pada Droplet	30
Gambar 2.16 Skema Diagram RCA (<i>Guidance for Performing RCA with Performance Improvement, API</i>)	36
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian tugas akhir	39
Gambar 4.1 Penyerdehanaan Diagram Alur Produksi PT. PHE WMO.....	44

Gambar 4.2 Terdapatnya Embun pada *Pressure Regulator* GTC - 65347

Gambar 4.3 *Mesh – Pad Coalescer Filter* (Gas Processors Suppliers Association, Engineering Data Book).....49

Gambar 4.4 Bilah pemisah pada *Vane Packs Filter* (Gas Processors Suppliers Association, Engineering Data Book)51

Gambar 4.5 *Vane Packs Filter* (Gas Processors Suppliers Association, Engineering Data Book).....53

Gambar 4.6 Mesh – pad yang digunakan pada filter (AlphaMIST™, Halt Corporation).57

Gambar 4.7 Ilustrasi Filter yang digunakan59

Gambar 4.8 Modifikasi pada Sistem *Seal Gas*60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi gas bumi.....	18
Tabel 2.2 Tabel Titik Bakar dan Viskositas Oli <i>Shell Turbo T32</i>	20
Setelah dan Sebelum Terkontaminasi Hidrokarbon	20
Tabel 2.3 Tabel perbandingan antara <i>Leman gas</i> dan <i>Shell Turbo T32</i>	23
Tabel 4.1 Root Cause Analysis.....	46
Tabel 4.2 <i>Sizing Factor Gas Capacity</i> untuk <i>Mist Extractor</i> (Gas Processors Suppliers Association, Engineering Data Book).....	50
Tabel 4.4 <i>Properties</i> gas yang mengalir pada <i>Seal Gas Compressor</i> (PHE WMO)	54
Tabel 4.5 <i>Sizing Factor Adjustment Value</i> (Gas Processors Suppliers Association, Engineering Data Book).....	56
Tabel 4.6 Estimasi Biaya Modifikasi Sistem.....	61
Tabel 4.7 Analisa Kehilangan Kesempatan Produksi...	62

BAB I

PENDAHULUAN

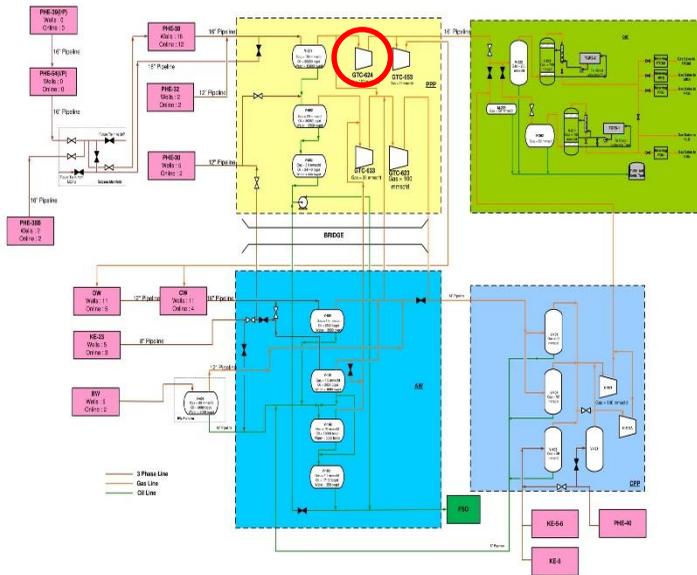
1.1 Latar Belakang

Pada era modern minyak dan gas bumi adalah komoditas sumber energi dan bahan baku industri yang sangat penting. Meningkatnya penggunaan bahan bakar fosil akan membuat pelaku industri minyak dan gas di Indonesia untuk meningkatkan hasil produksi di bidang energi. PT. Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore merupakan anak perusahaan PT. Pertamina (Persero) yang memiliki tugas dalam bidang bisnis hulu energi. PHE WMO sendiri berperan aktif dalam meningkatkan produksi minyak dan gas negara guna memenuhi kebutuhan energi Indonesia sendiri.

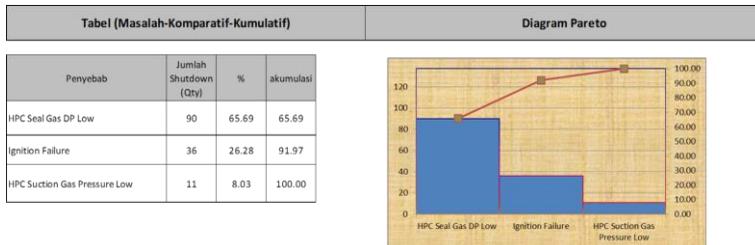
Banyak faktor yang dapat mempengaruhi dalam berjalannya proses produksi minyak dan gas yang terdapat pada PT. PHE WMO yang salah satunya adalah risiko biaya dan operasi yang cukup besar dengan kompleksitas infrastruktur dan fasilitas produksi yang diperlukan dari *offshore platform* hingga *onshore receiving facility* (ORF). Kompresor merupakan salah satu komponen penting dalam proses produksi dikarenakan berfungsi untuk memompa fluida yang mengalir dari *offshore platform* menuju *onshore receiving facility* (ORF) dan memberikan *gas lift* pada seumur- sumur di PHE WMO. Karakteristik dari minyak dan gas bumi yang mengalir juga menjadi faktor yang menentukan terhadap perencanaan dan desain fasilitas produksi yang diperlukan.

Dalam aspek produksi tersebut, PHE WMO memerlukan segala peralatan dan aspek fasilitas dalam keadaan baik dan andal. Namun seiring berjalannya waktu akan timbul permasalahan yang terjadi pada peralatan yang ada yang akan berdampak pada hasil produksi. Salah satu permasalahan yang timbul adalah terjadinya unplanned shutdown pada GTC-653 sebanyak 137 kali sepanjang tahun 2016 – 2017 yang menyebabkan kerugian produksi sebesar

597.768 bbls/tahun. GTC-653 merupakan kompresor sentrifugal yang digerakkan oleh gas turbin dan berfungsi untuk memberikan *gas lift* pada sumur- sumur di PHE WMO yang merupakan komponen vital pada proses produksi. Sehingga diperlukan adanya solusi untuk mengurangi frekuensi *unplanned shutdown* pada GTC-653.

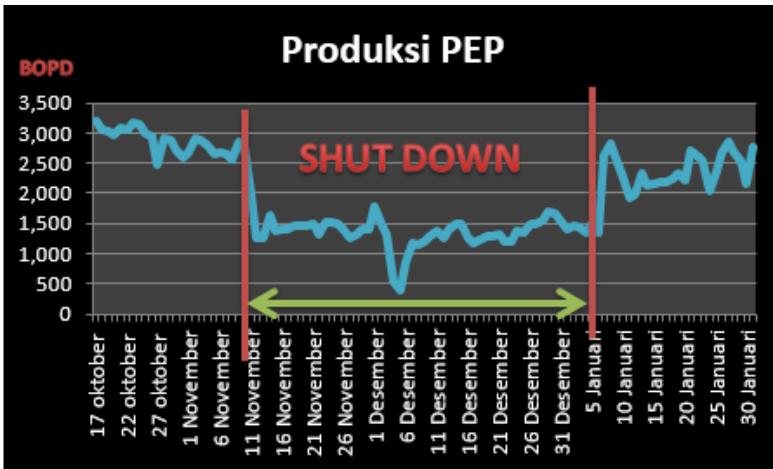


Gambar 1.1 Process Flow Diagram (PFD) PT. PHE WMO



Gambar 1.2 Diagram Pareto Kompresor GTC - 653

Terlihat dari data diagram pareto diatas bahwa dalam sepanjang tahun 2016 – 2017 GTC-653 mengalami 90 kali *shutdown* yang disebabkan oleh turunnya tekanan pada pipa seal oil, 36 kali *shutdown* disebabkan oleh *ignition failure* dan 11 kali *shutdown* oleh *suction gas pressure low*. Bisa dilihat dari data bahwa 65.69% dari total *shutdown* yang terjadi disebabkan oleh turunnya tekanan pada *tubing seal gas*. Penurunan tekanan yang telah melebihi batas pada *tubing seal gas* menimbulkan *automatic shutdown* pada kompresor oleh sensor otomatis yang diberikan oleh pihak manufaktur.



Gambar 1.3 Grafik produksi PEP

Unplanned shutdown secara berkelanjutan akan membuat meningkatnya nilai kerugian dan juga biaya perawatan. Sesuai dengan grafik diatas banyaknya jumlah *unplanned shutdown* pada GTC-653 dapat membuat kerugian yang besar pada produksi minyak dengan rata-rata menjadi 1364 bopd dari 2526 bopd. Kerugian sebanyak 1162 bopd per hari dapat menimbulkan kerugian sebesar Rp 676 juta dan bila diproyeksikan selama setahun dapat mencapai Rp 241,6 miliar/tahun .

Oleh sebab itu pada tugas akhir ini komponen yang akan dianalisa adalah kompresor dengan kode komponen GTC – 653. Diperlukan adanya solusi yang tepat baik secara biaya, waktu dan efektivitas dalam mengurangi angka *unplanned shutdown* pada kompresor GTC-653. Salah satunya adalah dengan menambahkan proses pengondisian pada gas yang mengalir pada *tubing seal gas* dari kompresor *discharge* menuju kompresor agar tidak terjadi perubahan tekanan pada pipa yang dapat menimbulkan *unplanned shutdown* dan dapat menjaga kualitas *dry seal* yang nantinya

diharapkan dapat mengurangi kemungkinan *unplanned shutdown* yang dapat berpengaruh terhadap hasil produksi.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang terdapat dalam proposal tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara mengatasi permasalahan penurunan tekanan seal gas pada *tubing seal gas* pada sistem *dry seal* kompressor GTC-653.
2. Bagaimana pengaruh solusi yang diberikan terhadap lifting minyak dan gas pada PT. PHE WMO.

1.3 Tujuan Tugas Akhir

Mengacu pada rumusan masalah yang telah disebutkan diatas, maka tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui cara mengatasi permasalahan penurunan tekanan pada *tubing seal gas* pada sistem *dry seal* kompressor GTC-653.
2. Membandingkan opsi penggunaan peralatan tambahan yang efektif untuk perbaikan atau perubahan sistem operasi produksi guna mengurangi *unplanned shutdown*.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dan ruang lingkup yang digunakan dalam pengerjaan proposal tugas akhir ini antara lain:

1. Kompressor yang dianalisa adalah GTC-653 dengan tipe *Solar Turbines Saturn 20* pada *Poleng Processing Platform*.
2. Perbaikan dan solusi yang ditawarkan hanya terdapat pada *tubing seal gas* pada sistem *dry seal* kompressor GTC-653.
3. Komponen- komponen yang dianalisa merupakan komponen yang terdapat pada *tubing seal gas* pada sistem *dry seal* kompressor GTC-653.
4. Jenis dan karakteristik fluida yang dianalisa hanya yang melalui *tubing seal gas* pada sistem *dry seal* kompressor GTC-653.

1.5 Manfaat Tugas Akhir

Dengan mengetahui pengaruh terhadap solusi yang diberikan terhadap jumlah *unplanned shutdown* dan proses produksi maka diharapkan hasil penelitian tugas akhir ini dapat digunakan sebagai referensi dalam proses operasional, acuan penelitian dan pengembangan pada PT. Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore.

BAB II

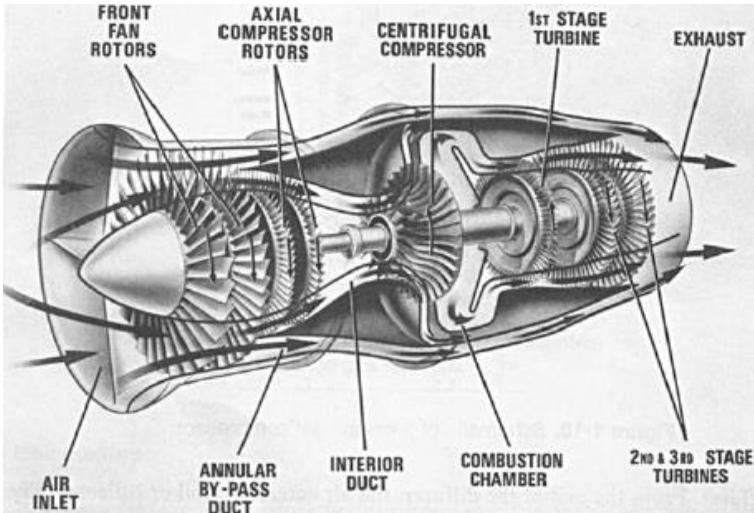
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gas Turbin Kompresor

Gas turbin kompresor merupakan komponen yang menghasilkan energi yang sangat besar dan sudah banyak digunakan di industri minyak dan gas. Salah satu kegunaannya adalah untuk mengalirkan gas dari sumur menuju ke *onshore receiving facility*. Gas turbin kompresor yang menggunakan gas bumi, bahan bakar diesel, naphtha, etana, metana, *crude oil*, *low-Btu gases*, uap dan gas biomassa.

2.1.1 Kompresor axial

Kompresor axial mengkompresi fluida yang bekerja dengan cara menambah kecepatan laju aliran fluida dan mendiffusi fluida yang mengalir untuk mendapatkan penambahan tekanan. Pada ilustrasi gambar 2.1 Fluida yang mengalir dipercepat dengan beberapa jajaran bilah (rotor) yang dilalui oleh fluida dan bilah stationer (stator) yang berfungsi untuk mendiffusi fluida yang mengalir. Diffuse yang terjadi pada stator mengubah penambahan kecepatan laju aliran yang ada pada rotor menjadi penambahan tekanan. Kompresor terdiri dari beberapa tahapan (*stage*), 1 tahapan pada kompresor terdiri dari satu rotor dan stator. *Inlet guide vanes* merupakan berfungsi sebagai biasanya digunakan untuk mengarahkan fluida yang mengalir agar sesuai dengan sudut alir yang diinginkan menuju tahap 1. Penggunaan dari banyak tahapan pada kompresor dapat mendapatkan perbandingan udara yang dikompresi sebesar 40:1. Gambar dibawah merupakan salah satu contoh kompresor aksial yang merupakan salah satu komponen yang terdapat pada gas turbin penggerak kompresor sentrifugal.

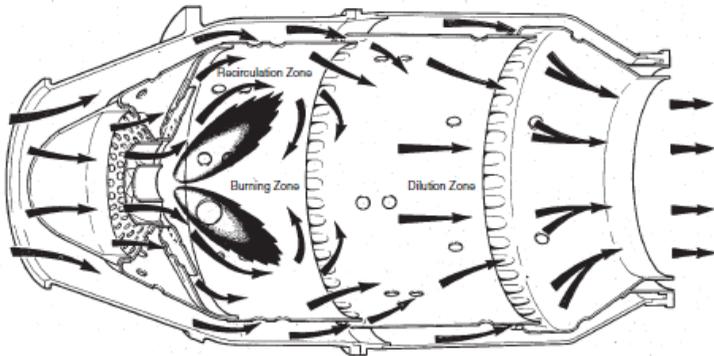


Gambar 2.1 Kompresor aksial yang terdapat pada gas turbin (Gas Turbine Engineering Handbook, Meherwan P. Boyce)

2.1.2 Ruang pembakaran (*combustors*)

Combustors merupakan komponen dari gas turbin kompresor yang berfungsi untuk memberikan energi panas kepada gas turbin. *Combustors* menerima udara dari kompresor yang kemudian dipanaskan dan dialirkan ke gas turbin. Pada ruang bakar terjadi pembakaran langsung pada bahan bakar secara stoikiometri dengan satu per tiga udara *discharge* yang dilepaskan oleh kompresor. Pada gambar 2.2 menunjukkan bahwa Pembakaran yang terjadi adalah campuran antara carbon atau hidrogen dan oksigen yang menghasilkan karbon dioksida dan air. Hasil dari pembakaran ini kemudian akan dicampurkan dengan udara yang dialirkan oleh kompresor menuju turbin gas. Terdapat 3 bagian pada *Combustors* yaitu : zona resirkulasi (*recirculation zone*), zona pembakaran (*burning zone*) dan zona pengenceran (*dilution zone*). Zona resirkulasi berfungsi untuk menguapkan dan mempersiapkan pembakaran bahan bakar sisa yang ada pada zona pembakaran. Idealnya pada bagian akhir dari zona pembakaran

semua bahan bakar yang ada sudah terbakar sehingga fungsi dari zona pengenceran adalah untuk mencampurkan gas panas hasil dari pembakaran dengan udara yang ditipiskan. Campuran yang dihasilkan dari ruang bakar memiliki temperature dan distribusi kecepatan yang dapat menggerakkan turbin.

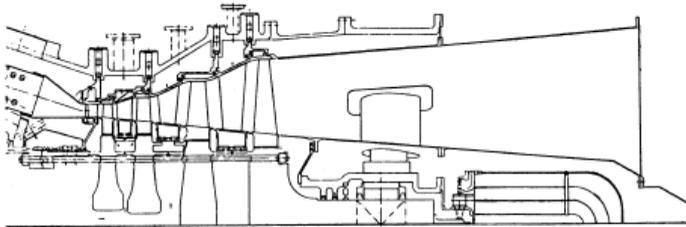


Gambar 2.2 Ruang Bakar pada Gas Turbin (Gas Turbine Engineering Handbook, Meherwan P. Boyce)

2.1.3 Turbin

Pada turbin aksial aliran mengalir dengan kecepatan tinggi dan arah aksial. Terdapat dua tipe turbin aksial yaitu tipe impuls dan tipe reaksi. Pada tipe impuls seluruh penurunan nilai *enthalpy* terjadi di nosel sedangkan pada tipe reaksi terjadi di nosel dan rotor. Kebanyakan turbin aksial terdiri dari beberapa tahapan dengan tahapan awal adalah impuls (*zero reaction*) dan tahapan berikutnya adalah 50% reaksi. Perkembangan pada material yang digunakan untuk pembuatan impeller dapat meningkatkan temperature pembakaran. Rasio tekanan tinggi pada kompressor menyebabkan pendingin pada tahapan awal turbin menjadi sangat panas, dapat mencapai 649°C . Uap yang juga menjadi daya dari siklus yang ada pada turbin juga dapat digunakan sebagai fluida pendingin pada tahapan awal turbin. Penelitian baru dilakukan untuk menggunakan uap sebagai fluida pendingin pada tahapan awal turbin pada pembangkit

listrik dengan siklus gabungan. Gambar 2.3 dibawah merupakan salah satu contoh gas turbin aksial.

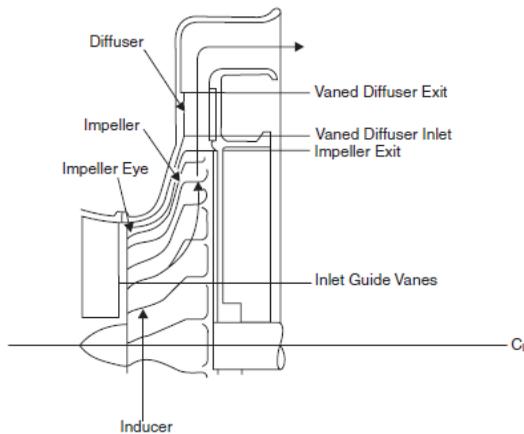


Gambar 2.3 Salah Satu skema gas turbin aksial (*Gas Turbine Engineering Handbook*, Meherwan P. Boyce)

2.1.4 Kompresor Sentrifugal

Kompresor sentrifugal merupakan suatu komponen yang digunakan untuk gas turbin yang berukuran kecil. GTC – 653 merupakan kompresor sentrifugal yang digerakkan oleh gas turbin. Pada turbin gas yang biasa digunakan pada industri petrokimia, digunakan kompresor sentrifugal sebagai alat untuk mengompres fluida yang dialirkan. Kompresor ini digerakkan dengan bantuan turbin gas. Kompresor sentrifugal banyak digunakan karena memiliki keandalan yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis kompresor lainnya. Kompresor sentrifugal memiliki kisaran rasio tekanan dari 3-7:1 per tahapan untuk gas turbin berukuran kecil, kompresor ini dikategorikan sebagai kompresor yang memiliki beban kerja yang tinggi. Dengan rasio tekanan yang melebihi 5:1, aliran yang memasuki *diffuser* dari *rotor* memiliki kecepatan *supersonic* sehingga membutuhkan desain *diffuser* yang berbeda. Berdasarkan gambar 2.4 fluida masuk melalui impeller dengan memutar impeller secara cepat yang nantinya kecepatan fluida yang mengalir akan diubah menjadi tekanan pada impeller dan *diffuser*. Sebagian besar kecepatan yang mengalir akan diubah menjadi energi tekanan di *diffuser*. *Diffuser* pada dasarnya terdiri dari baling-

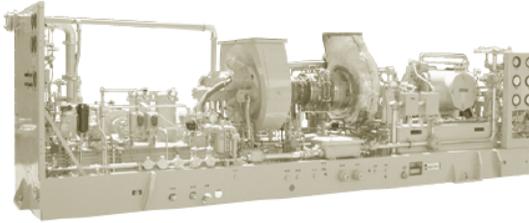
baling yang merupakan tangensial dari impeller. Baling- baling kompresor tersebut dapat mengubah laju kecepatan aliran fluida menjadi energi tekanan. Resultan dari aliran yang mengalir dari impeller memiliki arah yang sama dengan dengan bagian dalam baling- baling. Kompresor sentrifugal merupakan kompresor yang memberikan gas lift pada sumur- sumur di PHE WMO yang digerakkan oleh gas turbin.



Gambar 2.4 Skema kompresor sentrifugal (*Gas Turbine Engineering Handbook*, Meherwan P. Boyce)

2.1.5 Spesifikasi GTC – 653

Berikut merupakan spesifikasi dari set Gas turbin kompresor GTC – 653 tipe *Saturn 20 Solar Turbines*.



General Specifications

Saturn®20 Gas Turbine

- Industrial, Two-Shaft
- Axial Compressor
 - 8-Stage
 - Compression Ratio: 6.7:1
 - Inlet Airflow: 6.4 kg/sec (14.2 lb/sec)
 - Max. Speed: 22,850 rpm
- Combustion Chamber
 - Annular-Type
 - 12 Fuel Injectors
 - Torch Ignitor System
- Gas Producer Turbine
 - 2-Stage, Reaction
 - Max. Speed: 22,525 rpm
- Power Turbine
 - 1-Stage, Reaction
 - Max. Speed: 22,300 rpm
- Bearings
 - Journal: Multi-Ramp Sleeve
 - Thrust: Fixed Tapered Land
- Coatings
 - Compressor: Inorganic Aluminum
 - Turbine and Nozzle Blades: Precious Metal Diffusion Aluminide
- Velocity Vibration Transducer

Key Packages Features

- Base Frame with Drip Pans
- Compressor
 - Compressor Auxiliary Systems
 - 316L Stainless Steel Piping 2.54" dia
 - Compression-Type Tube Fittings
- Digital Gauge Panel
 - Fluid Gauges
 - Electrical System Options
 - NEC, Class I, Group D, Div. 1
 - CENELEC, Zone 1
- Turbotronic™ Microprocessor Control System
 - Freestanding Control Console
 - Color Video Display
 - Vibration Monitoring
- Control Options
 - 24-VDC Control Battery/Charger System
 - Turbine and Package Temperature Monitoring
 - Serial Link, Supervisory Interface
 - Turbine Performance Map
 - Compressor Performance Map
 - Historical Displays
 - Printer/Logger
 - Process Controls
 - Compressor Anti-Surge Control
 - Field Programming
- Start Systems
 - Pneumatic
 - Direct-Drive AC
- Fuel System
 - Natural Gas
- Integrated Lube Oil System
 - Turbine-Driven Accessories
 - Tank Vent Separator
 - Flame Trap
- Oil System Options
 - Oil Cooler
 - Oil Heater
- Axial Compressor Cleaning Systems
 - On-Crank/On-Line
 - Cleaning Tank
- Gearbox (if applicable)
 - Speed Increaser
 - Speed Decreaser
- Air Inlet and Exhaust System Options
- Enclosure and Associated Options
- Factory Testing of Turbine and Package
- Documentation
 - Drawings
 - Quality Control Data Book
 - Inspection and Test Plan
 - Test Reports
 - Operation and Maintenance Manuals

Gambar 2.5 Spesifikasi Gas Turbin Kompresor GTC – 653 (*Product Information Letter, Solar Turbines*).

Performance

Output Power	1185 kW (1590 hp)
Heat Rate	14 870 kJ/kW-hr (10,370 Btu/hp-hr)
Exhaust Flow	23 410 kg/hr (51,815 lb/hr)
Exhaust Temp.	520°C (970°F)

Nominal Rating – per ISO
At 15°C (59°F), at sea level

No inlet/exhaust losses

Relative humidity 60%

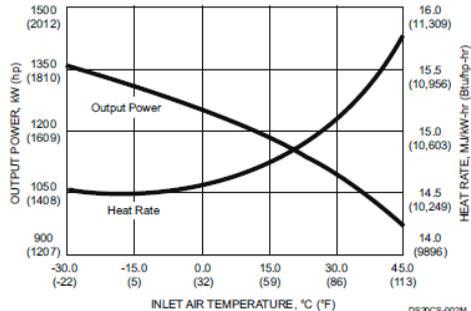
Natural gas fuel with
LHV = 35 MJ/m³ (940 Btu/scf)

Optimum power turbine speed

AC-driven accessories

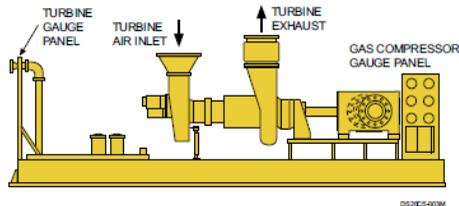
Engine efficiency: 24.5%

Available Power



Package Dimensions

Length:	7.0 m (23' 0")
Width:	1.9 m (6' 4")
Height:	2.1 m (6' 11")
Typical Weight:	11 340 kg (25,000 lb)



Gambar 2.6 Spesifikasi dan Performa GTC – 653 (*Product Information Letter, Solar Turbines*)

GTC – 653 merupakan Gas turbin kompresor yang bertipe *Saturn 20*. GTC – 653 telah beroperasi bertahun – tahun yang menyebabkan adanya penurunan efisiensi dan performa dari komponen itu sendiri. berdasarkan gambar 2.5 dan 2.6 Melihat dari fungsi GTC – 653 sendiri yang merupakan *booster* untuk membantu pengangkatan proses gas pada sumur – sumur yang ada di PHE WMO maka dibutuhkan kompresi gas yang sangat besar yang mencapai 1200 psig untuk dapat mengangkat gas yang ada pada sumur. Kompresor tipe *Saturn 20* memiliki sistem *dry seal* atau yang biasa disebutkan dengan penyegelan kering. Sistem *dry seal* bekerja untuk dapat menjadi penahan proses gas

yang ada pada kompresor agar tidak mengalami kebocoran pada sistem yang nantinya dapat berakibat fatal.

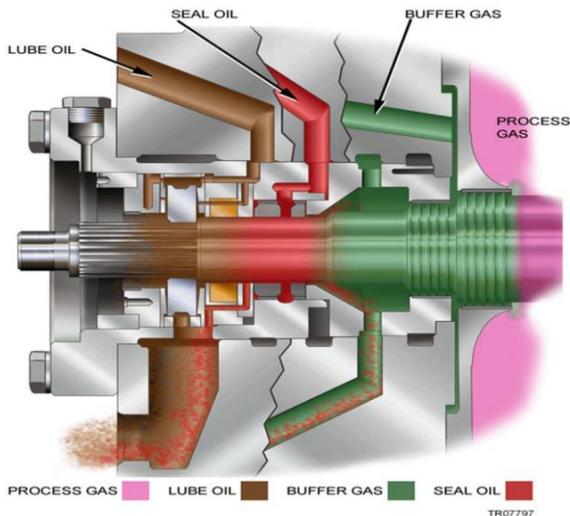
2.2 Sistem Seal Pada Kompresor Sentrifugal

Kompresor sentrifugal merupakan komponen yang banyak digunakan dalam industri minyak dan gas. *Seal* pada poros yang berputar dapat mencegah terjadinya kebocoran gas yang mengalir melalui kompresor. *Wet seals* merupakan salah satu sistem yang sudah banyak digunakan semenjak tahun 1970, namun penggunaan *wet seals* menghasilkan emisi metana sampai 200 scfm (standard cubic feet per minute). *Dry seals* merupakan sistem yang menggunakan gas bertekanan tinggi untuk mencegah terjadinya kebocoran gas pada kompresor. *Dry seals* menghasilkan emisi metana yang lebih kecil yang berkisar 6 scfm untuk dua sistem *seal*. Penggunaan *dry seals* memiliki beberapa keuntungan, dapat meningkatkan efisiensi dan performa dari kompresor dan *pipeline operating*, meningkatkan kendalan kompresor, dan membutuhkan perawatan yang lebih sedikit. *Dry seals* dapat menghemat biaya \$187,000 per tahun dan emisi buang dari 75 mcf sampai 2 mcf per hari. Namun penggunaan *dry seals* tidak bisa digunakan untuk semua kompresor dikarenakan desain kedudukan kompresor dan kebutuhan operasi.

2.2.1 Wet Seals

Wet seal merupakan sistem penyegelan yang menggunakan *seal oil* sebagai pembatas antara proses gas dan lubrikasi kompresor yang tersirkulasi dengan tekanan tinggi pada cincin poros kompresor yang nantinya akan membuat suatu penghalang terhadap kebocoran gas dan antara proses gas dan oli lubrikasi tidak bercampur. *Seal oil* sendiri merupakan campuran dari oli yang digunakan untuk lubrikasi dan *buffer gas*. *Buffer gas* merupakan proses gas yang diambil dari bagian *discharge* kompresor melalui suatu *tubing* yang nantinya tekananya akan

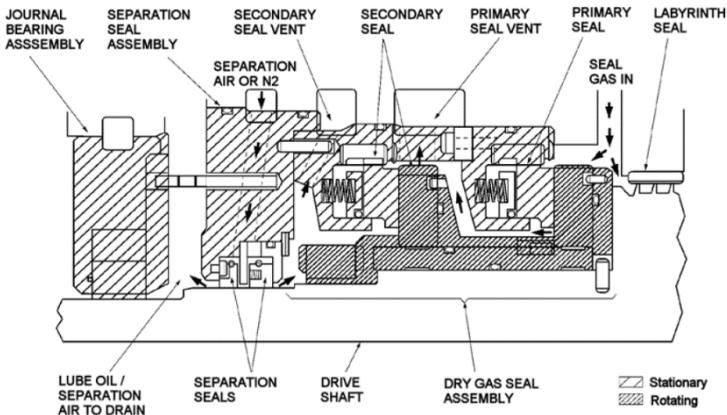
diregulasi sehingga lebih besar sedikit (5-30 psi) dari tekanan pada bagian *suction*, hal ini dilakukan dikarenakan prinsip fluida yang mengalir dari tekanan tinggi ke tekanan rendah. Dikarenakan tekanan pada bagian *discharge* yang jauh lebih besar dari bagian *suction* maka akan timbul gaya axial yang cenderung mengarah kepada bagian *suction*. Untuk menetralkan gaya tersebut, maka terdapat *balance piston* pada bagian *discharge* sehingga gaya axial tersebut besarnya tidak terlalu signifikan. Pada gambar 2.7 dapat terlihat bahwa *buffer gas* pada sisi luar *balance piston* yang mengalami kebocoran kedalam bagian gas proses *discharge* akan dialirkan melalui *balance line* yang nantinya akan dimasukkan kembali ke bagian *suction*.



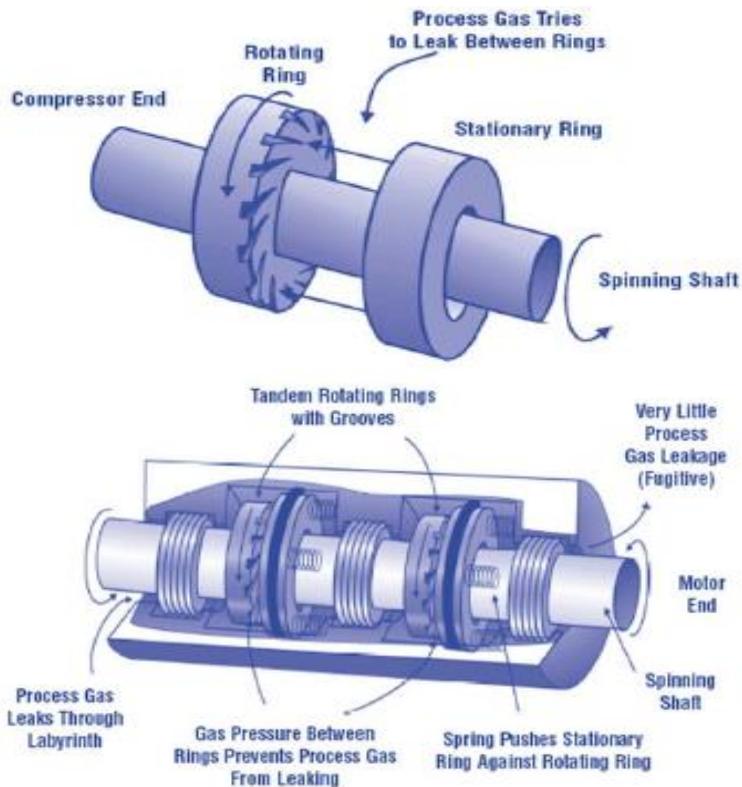
Gambar 2.7 Skema Sistem Wet Seal pada Gas Turbin Kompresor (Product Information Letter 140 Solar Turbines)

2.2.2 Dry Seals

Dry seals terdiri dari cincin stationer yang menempel pada blok mesin dan *rotating disc* yang berputar pada poros kompresor. Sistem penyegelan ini beroperasi secara mekanis dari gaya yang dihasilkan secara berlawanan dari *hydrodynamic grooves* dan tekanan statis. Gambar 2.9 merupakan skema dari dari sistem *dry seal* yang terdapat pada GTC – 653. Terlihat pada gambar 2.8 sistem seal ini terdiri dari *rotating discs* yang berputar bersebelahan dengan *stationary ring*. Saat kompresor tidak berputar *stationary ring* terdorong oleh sejumlah pegas yang nantinya akan tertutup rapat terhadap *rotating discs*, saat operasi pola alur pada cincin yang berputar akan memompa *gas seal* menuju *sealing dam* yang membuat area dengan tekanan tinggi memisahkan cincin stationer dengan cincin yang berputar. Celah (0,0025mm) yang dihasilkan dari area bertekanan tinggi ini akan membatasi kebocoran dari kompresor. Seal gas yang berfungsi sebagai penghalang akan dialirkan dari *discharge* kompresor dengan menurunkan tekanannya dengan menggunakan regulator.



Gambar 2.8 Skema Sistem Dry Seal Kompresor GTC – 653
(Product Information Letter 140 Solar Turbines)



Gambar 2.9 Skema *Dry Seal* (Replacing Wet Seals with Dry Seals in Centrifugal Compressors, United States Environmental Protection Agency)

2.3 Gas Bumi dan Kandungannya

Gas bumi atau *natural gas* merupakan campuran molekul hidrokarbon yang umumnya ditemukan dibawah tanah.

Komponen utama gas bumi merupakan metana (CH_4), Gas bumi

juga mengandung molekul hidrokarbon lainnya seperti etana (C_2H_6), propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}).

Tabel 2.1 Komposisi gas bumi

Methane	CH_4	70-90%
Ethane	C_2H_6	0-20%
Propane	C_3H_8	0-20%
Butane	C_4H_{10}	0-20%
Pentane and Hydrocarbons	C_5H_{12}	0-10%
Carbon Dioxide	CO_2	0-8%
Oxygen	O_2	0-0.2%
Nitrogen	N_2	0-5%
Hydrogen Sulfide, Carbon Sulfide	H_2S, COS	0-5%
Rare Gases: Argon, Helium, Neon, Xenon		A,
He, Ne, Xe	trace	

Tabel 2.1 menunjukkan komposisi pada gas bumi yang. Kondensat merupakan gas bumi yang terbentuk dalam fase cair dengan tekanan uap rendah dibandingkan dengan bensin dan bahan bakar cair lainnya yang biasanya terbentuk dalam senyawa hexana (C_6H_{14}). Keberadaannya sebagai fase cair bergantung pada temperatur dan tekanan yang memungkinkan terjadinya proses kondensasi menjadi zat cair dari gas. Produksi *reservoir* kondensat bisa menjadi sangat rumit karena beberapa sensitivitas tekanan pada beberapa kondensat. Saat produksi ada kemungkinan terjadinya kondensasi dari gas menjadi zat cair jika takanan *reservoir* turun dibawah titik embun (*dew point*).

Tekanan reservoir dapat dipertahankan dengan injeksi cairan agar tidak terjadinya proses kondensasi. Kondensat tidak hanya terbentuk pada *reservoir*, namun juga bisa terbentuk di aliran gas pada jaringan pipa atau fasilitas permukaan.

2.4 Penelitian Terdahulu

Pada jurnal ilmiah *Contamination of Centrifugal Process Gas Compressor Lube Oil and Seal Oil Systems by Hydrocarbon Condensate* oleh L.Cootes Shell U.K. Exploration & Products, North Quay, Lowestoft, England tahun 1981 mengatakan bahwa gas proses pada *lube oil* dan *seal oil* telah terkontaminasi oleh kondensat hidrokarbon dalam jumlah besar.

Pada tahun 1975 *Shell Leman Field* merupakan lading gas yang paling produktif yang terletak pada sector selatan laut utara. Pada tahun itu pula terjadi proses pemasangan kompresor sentrifugal pada stasiun AK dan BK. Konsep awal dari setiap stasiun adalah untuk mengkonfigurasi gas turbin kompresor penggerak kompresor sentrifugal dengan 15.000 Hp, namun seiring dengan berubahnya aturan dasar ekonomi terhadap pemulihan hidrokarbon maka konfigurasi gas turbin kompresor diubah menjadi 96.000 ISO Hp. Kompresor yang digunakan merupakan Cooper Bessener RF 3(2) BB-30 *two stage* kompresor sentrifugal.

2.4.1 Penemuan masalah

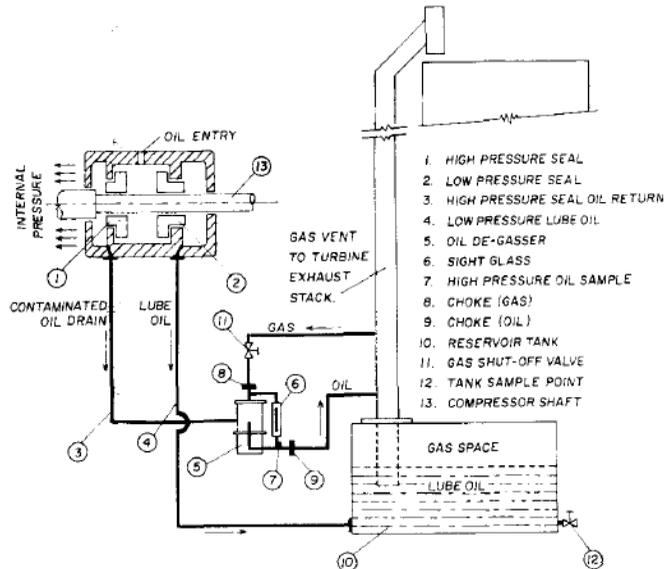
Sesuai dengan program *maintenance* dan prediksi trend dilakukan sebuah pemeriksaan secara berkala terhadap *lube oil* pada kompresor untuk mencari serpihan yang ditimbulkan oleh *bearing*. Dari hasil yang didapat oleh *Shell Research* terjadi penurunan terhadap titik bakar (*flash-point*) pada oli, hal ini disebabkan oli terkontaminasi oleh kondensat hidrokarbon. Kondensat hidrokarbon dengan nomor carbon C₄ sampai dengan C₁₅ dengan puncak pada C₁₀ dan C₁₁. Oli yang digunakan pada

kompresor merupakan Shell Turbo T32 yang memiliki 5 level terhadap nilai viskositas.

Tabel 2.2 Tabel Titik Bakar dan Viskositas Oli *Shell Turbo T32* Setelah dan Sebelum Terkontaminasi Hidrokarbon

TURBO T32	'AS NEW' CONDITION	AVERAGE CONTAMINATED SAMPLE	WORST CONTAMINATED SAMPLE
Flash Point Pensky Marten CC	204°C	80 – 90°C	63°C
Kinematic Viscosity Centistrokes at 40°C	32	25.7	21.12
Percent (WT) Diluent	0.01%	1.26%	3.5

Berdasarkan tabel yang diatas bisa disimpulkan bahwa kontaminasi kondensat hidrokarbon dalam jumlah kecil dapat menurunkan titik bakar dari oli secara drastis. Penurunan viskositas secara drastis dapat mengakibatkan kerusakan pada bantalan kompresor, rotor dan pompa.



Gambar 2.10 Skema *Seal Oil* dan *Lube Oil* Kompresor

Sesuai dengan skema gambar 2.10 diatas oli yang digunakan pada kompresor memiliki dua fungsi. Fungsi yang pertama adalah untuk lubrikasi dan fungsi yang kedua untuk sebagai seal hidrolik untuk membatasi kebocoran gas pada ruang kompresor sepanjang poros rotor. Bisa dilihat dari skema *seal oil* bahwa oli dialirkan pada kerangka mesin diantara dua cincin dengan tekanan sebesar 7 psig (0,5 bar) lebih besar dibandingkan dengan gas. *Seal* gas merupakan suatu formasi yang terbentuk oleh lapisan oli yang ada pada kedua cincin dan poros. *Seal* yang terletak paling dekat dengan proses gas dan dipertimbangkan sebagai bagian yang paling banyak terkontaminasi oleh kondensat hidrokarbon.

2.4.2 Langkah yang Diambil

Seteah berdiskusi dengan pihak vendor bahwa tidak banyak hal yang dapat dilakukan dikarenakan *seal oil* dan *lube oil*

yang ada pada kompresor tidak berada secara terpisah maka dilakukan suatu eksperimen dengan metode memberikan H_2S pada zat yang terkontaminasi pada kondisi 50 Torr dan $100^\circ C$. Dari hasil awal yang didapat terlihat menjanjikan dan dilakukan sebuah eksperimen oleh Shell Research. Sampel diambil dari saluran *Seal oil* yang bertekanan tinggi yang menuju tangki *reservoir*. Oli secara kuantitatif dibakar dari setiap sampel dan dipindahkan pada bejana evakuasi (*evacuated vessel*) untuk diukur secara volumetric pada rasio gas dan oli.

2.4.3 Hasil yang Didapat

Tabel 2.3 Tabel perbandingan antara *Leman gas* dan *Shell Turbo T32*

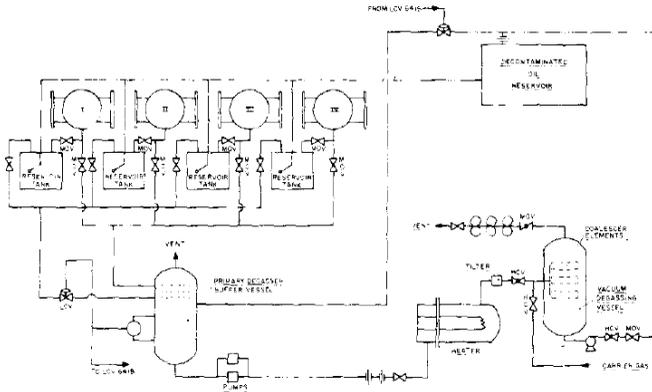
LEMEN GAS:

COMPONENT OR PROPERTY	MOL %
C ₁	91.2
C ₂	2.92
C ₃	0.69
iC ₄	0.14
nC ₄	0.18
iC ₅	0.06
nC ₅	0.06
C ₆ (including Benzene & Cyclohexane)	0.048
C ₇	0.04
C ₈	0.03
C ₉	0.02
C ₁₀	0.01
C ₁₁ - C ₁₅	0.012
CO ₂ , N ₂ , He	4.49
	<u>100.000</u>
Molecular Weight	16.9 - 17.0

SHELL TURBO T32

C ₁ - C ₁₅ content	= 0.01 mol %
Molecular Weight	= 438

Berdasarkan data yang didapat pada tabel 2.3 dari percobaan akan sulit untuk mendapatkan titik bakar dan viskositas kembali saat seperti sebelum terkontaminasi hanya dengan proses vakum dengan temperatur 82° C. Maka dari itu dibutuhkan fluida pembawa (*carrier*) atau penyembur (*sparge*) untuk membantu memisahkan oli dengan zat kondensat. Oleh karena itu pihak perusahaan mengubah desain proses dan P& ID dari sistem sesuai dengan gambar.



Gambar 2.11 Skema *Vacuum Degasser* yang disederhanakan

Berdasarkan data yang didapatkan terjadi kebocoran *seal oil* sebesar 1325 liter/hari yang mengalir melalui *common 2"* header menuju *primary degasser/buffer vessel*. Laju aliran *lube oil* sebesar 300 liter/jam juga dialirkan ke bejana yang sama dengan nosel yang terpisah. Tujuan dari pelumas yang dialirkan adalah untuk memenuhi persyaratan spesifikasi pompa *Vacuum Degasser* dan untuk membantu membersihkan kontaminan dari sumber lain. Beberapa pemisahan atmosfer terjadi pada tahap ini dan sekitar 70% metana tersebar sebagai aliran *offgas*. Kemudian oli dialirkan melalui mixer dan kemudian dialirkan menuju pemanas (*heater*) untuk menaikkan temperaturnya menjadi 98°C. sesuai ilustrasi gambar 2.11 Gas pembawa yang berasal dari sistem bahan bakar dengan nilai 0,045 m³/liter dari kebocoran *seal oil* bertujuan untuk membantu membersihkan oli dari fraksi C₁₀ sampai dengan C₁₅ pada operasi *Vacuum degasser*. Campuran dari gas dan oli ini kemudian dialirkan menuju bejana *Vacuum degasser* melalui lubang- lubang kecil pada beberapa filter penyaring *fiber glass* berukuran 2 micron (*coalescer elements*) dengan kondisi vakum 2 Torr (0,078" Hg). Kontaminan ditarik

keluar oleh pompa vakum dan bergabung dengan aliran *off-gas* dari *Primary Degasser*. Oil yang didekontaminasi dipompa menuju *overhead storage tank* dan dialirkan menuju tangki reservoir. Setelah diterapkannya system ini didapatkan data bahwa *Degasser* berhasil menaikkan titik bakar dari 60 – 70° C menjadi 160 – 180° C, sehingga target titik bakar menjadi 195° C dan viskositas 30,6 Cst telah tercapai.

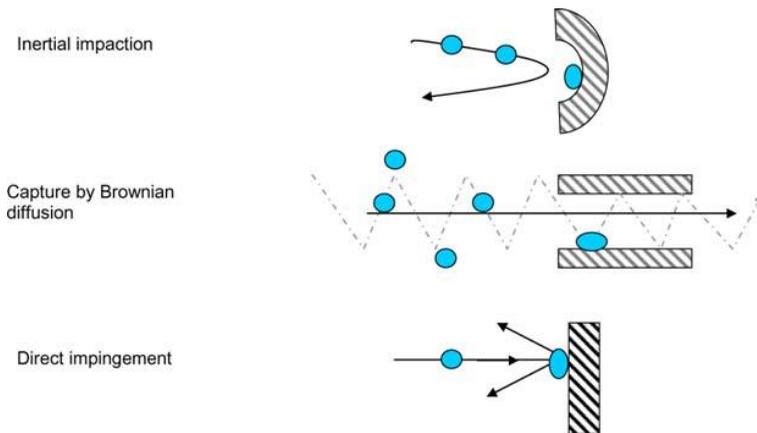
2.4.4 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh tim Shell Research proses kontaminasi zat kondensat hidrokarbon pada sistem *lube oil* dan *seal oil* dapat menurunkan titik bakar (*flash – point*) pada oli. Pada data yang didapat dari percobaan *flash – point* pada oli menurun menjadi 60 – 70° C yang tadinya terletak pada kisaran 180 - 195° C. Berdasarkan data hasil percobaan akan sulit untuk mengembalikan *flash – point* dan viskositas untuk kembali pada kondisi semula sebelum terkontaminasi. Maka dari itu dibutuhkan fluida pembawa (*carrier*) atau penyembur (*sparge*) untuk membantu memisahkan oli dengan zat kondensat. Oleh karena itu pihak perusahaan mengubah desain proses dan P& ID dari sistem sesuai dengan gambar diatas. Fluida penyembur yang digunakan adalah hidrogen sulfida H₂S pada proses *vacuum degasser*. Berdasarkan data hasil percobaan solusi yang diberikan mampu mengembalikan *flash – point* pada oli untuk kembali pada kisaran 180 - 195° C. Jurnal ini dapat dijadikan acuan dalam pemilihan metode yang dialukukan untuk menganalisa komponen yang digunakan pada tugas akhir ini, namun dalam segi pemilihan solusi dibutuhkan peninjauan terhadap kondisi lapangan dan permasalahan yang ada pada tugas akhir ini.

2.5 Demister Mist Extractor

Demister merupakan suatu penyaring yang terdiri dari berbagai mekanisme yang berbeda. Terdapat 3 mekanisme yang digunakan pada demister, yang pertama adalah dengan mengubah arah aliran fluida yang mengalir yang menyebabkan tumbukkan

inersia pada partikel yang lebih berat yang cenderung untuk melawan dari arah aliran fluida yang mengalir dan akan berbenturan dengan benda yang ada pada jalur aliran partikel. Tumbukkan inersia yang terjadi pada partikel dan benda yang dialaluinya efektif untuk menghilangkan partikel dengan diameter diatas $10\ \mu\text{m}$. Mengurangi kecepatan laju aliran dari bulir/droplet dibawah *terminal velocity* dan mengalirkannya pada permukaan statis. Mekanisme yang kedua adalah dengan membiarkan droplet yang berukuran dibawah $5\ \mu\text{m}$ untuk berdiffusi melalui ruang yang sangat sempit dan menabrak permukaan yang diakibatkan oleh *Brownian motion*. Dan yang terakhir adalah dengan menabrakannya ke permukaan.



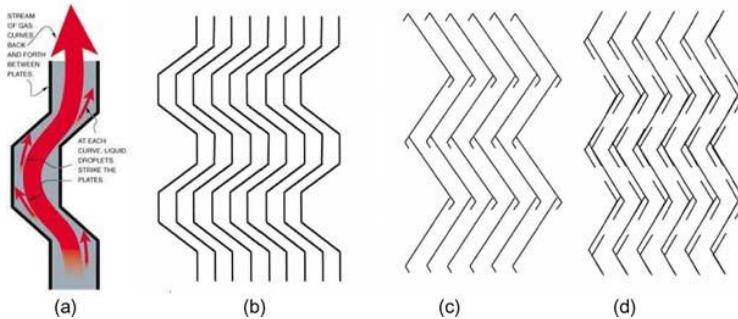
Gambar 2.12 mekanisme pemisahan pada demister (*Demister to Remove Fine Droplets of Liquid*, Global Institute)

Pada gambar 2.12 dapat terlihat mekanisme pemisahan yang digunakan. *Demister* yang menggunakan prinsip tumbukkan secara langsung dan penurunan kecepatan *terminal velocity* dapat memisahkan droplet yang berukuran diatas $5\ \mu\text{m}$ dengan efisien. Untuk mendapatkan efektivitas yang tinggi dibutuhkan fiber

berukuran submikron untuk dapat menangkap droplet dengan menggunakan prinsip *brownian diffusion*.

2.5.1 Vane Type Demister

Vane demister (bilah pemisah) merupakan salah satu tipe *demister* yang menggunakan prinsip tumbukkan secara langsung. *Vane demister* terdiri dari serangkaian pelat parallel yang ditempatkan pada ukuran yang telah ditentukan untuk memberi ruang pada fluida untuk mengalir. Pelat telah diprofilkan dengan bentuk “W” dan “VH” dengan sudut yang telah ditetapkan untuk membuat fluida yang mengalir dapat berubah arah dan bertumbukkan dengan dinding pelat. Partikel berat maupun droplet akan dipisahkan oleh gaya sentrifugal dan mengalir kebawah. Cairan yang bersatu ini kemudian akan dikeringkan melalui kait atau celah yang ada pada bilah.



Gambar 2.13 skema *vane-type demister* (a) mekanisme separasi dengan tumbukkan langsung, (b) *W* atau *V V type demister* untuk aliran vertikal, (c) *VH – 1 type demister* untuk aliran horizontal, (d) *VH-2 demister* untuk aliran horizontal (*Demister to Remove Fine Droplets of Liquid, Global Institute*)

Terdapat dua tipe yaitu desain kantong tunggal dan kantong ganda pada bilah. Dalam gambar 2.13 desain kantong ganda cairan akan lebih terlindungi untuk kembali menyatu dengan gas. Desain ini juga dapat digunakan dengan aliran arah vertikal. Cairan yang bersatu akan dikeringkan melalui celah di

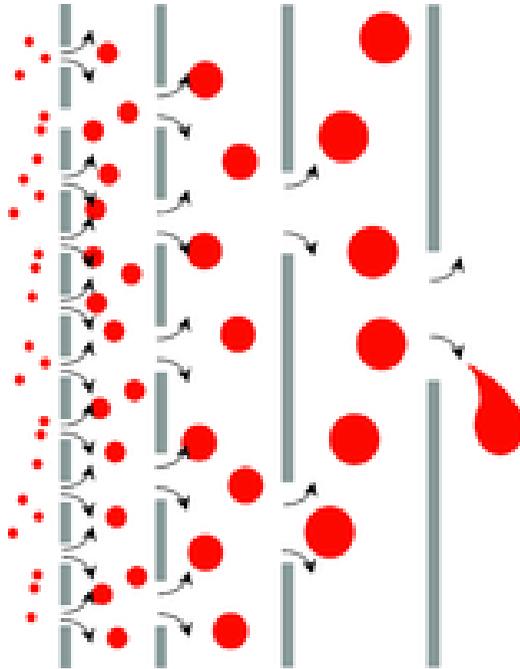
bilah berongga yang dapat manikkan efisiensi. *Vane demister* dapat memisahkan droplet yang berukuran lebih besar dari 8 μm pada kondisi tekanan yang rendah.

Faktor yang mempengaruhi efisiensi separator :

1. Jumlah bilah pada elemen
2. Jarak antar bilah
3. Sudut bilah
4. Ukuran partikel yang akan dipisahkan

2.5.2 *Coalescer*

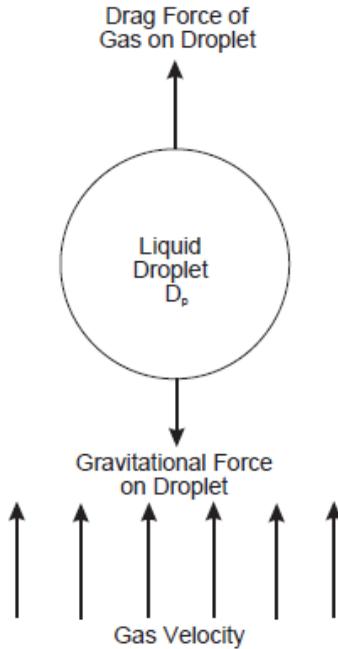
Pada separator tipe *coalescer* gas akan mengalir melalui beberapa media penyaring, setiap lapisan memiliki pembukaan pori- pori yang lebih besar yang dapat membuat droplet yang berukuran kecil akan saling menyatu dan menjadi droplet yang lebih besar dan akan mengalir ke tempat penampungan. *Coalescer* menggunakan serat pori dengan diameter hingga 0,02 mm untuk dapat memisahkan droplet. Penyaring ini menggunakan diffusi *browning* untuk memisahkan droplet yang berukuran 0,1 μm . Sesuai dengan gambar 2.14 *Brownian diffusion* merupakan gerakan acak pada partikel yang tersuspensi dalam bentuk cairan yang dihasilkan dari benturan dengan molekul yang lebih kecil.



Gambar 2.14 Mekanisme pemisahan secara penyatuan (*Demister, Petro Wiki*)

2.5.3 Analisa Gravitasi Partikel pada Filter

Droplet liquid akan terpisah dengan aliran gas yang mengalir bila gaya gravitasi yang bekerja pada pada droplet lebih besar dari gaya drag yang mengalir pada sekitaran droplet. Koefisien drag merupakan fungsi dari bentuk partikel dan bilangan *Reynolds* dari aliran gas. Partikel diasumsikan sebagai partikel bola pejal (*rigid sphere*).



Gambar 2.15 Analisa Gravitasi pada Droplet

$$V_t = \sqrt{\frac{2 g M_p (\rho_l - \rho_g)}{\rho_l \rho_g A_p C'}} = \sqrt{\frac{4 g D_p (\rho_l - \rho_g)}{3 \rho_g C'}} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana,

g = percepatan gravitasi

D_p = diameter droplet

ρ_l = densitas liquid pada aliran gas

ρ_g = densitas gas pada aliran gas

C' = koefisien drag

μ = Viscositas gas yang mengalir

Nilai dari bilangan *Reynolds* didefinisikan sebagai:

$$Re = \frac{1,488 D_p V_t \rho_g}{\mu} \dots\dots\dots(2)$$

Pada tahap ini untuk menghilangkan fungsi kecepatan (C') yang merupakan fungsi koefisien drag dikalikan dengan $(Re)^2$ yang merupakan hasil kuadrat dari bilangan *Reynolds*

$$C'(Re)^2 = \frac{(0.95)(10)^8 \rho_g D_p^3 (\rho_l - \rho_g)}{\mu^2} \dots\dots\dots(3)$$

Stoke's Law

Untuk Bilangan *Reynolds* yang bernilai rendah (dibawah 2), terdapat hubungan linear antara koefisien drag dan bilangan *Reynolds* yang dituliskan dalam persamaan berikut:

$$V_t = \frac{1,488 g D_p^2 (\rho_l - \rho_g)}{18 \mu} \dots\dots\dots(4)$$

Kemudian nilai dari diameter droplet didapatkan dengan persamaan berikut dengan nilai dari $K_{CR} = 0.025$, ($K_{CR} = 0.334$ untuk nilai bilangan *Reynolds* = 500)

$$D_p = K_{CR} \left[\frac{\mu^2}{g \rho_g (\rho_l - \rho_g)} \right]^2 \dots\dots\dots(5)$$

Berdasarkan inspeksi partikel persamaan bilangan *Reynolds* pada *Stoke's Law* biasanya digunakan untuk droplet dengan ukuran yang relatif lebih kecil dengan fasa liquid dengan viskositas yang besar.

Intermediate Law

Untuk bilangan *Reynolds* dengan nilai diantara 2 – 500, persamaan ukuran droplet dapat digunakan dengan persamaan berikut :

$$V_t = \frac{3.49 g^{0.71} D_p^{1.14} (\rho_l - \rho_g)^{0.71}}{\rho_g^{0.29} \mu^{0.43}} \dots\dots\dots(6)$$

Intermediate Law biasanya digunakan untuk pemisahan gas – liquid dan liquid – liquid pada aliran.

Newton's Law

Newton's Law biasanya digunakan untuk nilai bilangan *Reynolds* diantara 500 – 200,000 dengan memisahkan droplet dengan ukuran besar dan partikel solid pada fasa gas. Dengan nilai $C' = 0.44$ didapatkan persamaan berikut :

$$V_t = 1.74 \sqrt{\frac{g D_p (\rho_l - \rho_g)}{\rho_g}} \dots\dots\dots(7)$$

Panjang dari bejana yang dibutuhkan dapat dihitung dengan mengasumsikan waktu antara aliran gas masuk melalui inlet sampai keluar melalui outlet sama dengan waktu dari droplet dengan ukuran D_p untuk jatuh dari puncak bejana sampai dengan permukaan liquid. Kemudian menghubungkan persamaan panjang dari separator dengan diameter yang merupakan fungsi dari persamaan kecepatan

$$L = \frac{4 Q_A}{\pi V_t D_v} \dots\dots\dots(8)$$

Dimana perhitungan aliran gas dapat dihitung dengan persamaan

$$Q_A = \frac{M}{\rho_g} \dots\dots\dots(9)$$

2.6 Root Cause Analysis

Root cause analysis merupakan metode penyelesaian masalah yang digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab dari suatu masalah dan dapat menghasilkan sebuah tindakan perbaikan. *Root cause analysis* (RCA) adalah proses yang didesain untuk digunakan dalam mengidentifikasi dan mengkatagorikan akar permasalahan dari sebuah kejadian yang berkaitan dengan kesehatan, keselamatan, lingkungan, kualitas dan reliabilitas. Gambar 2.16 menunjukkan bahwa RCA dapat mengidentifikasi kerusakan dalam proses dan sistem yang menyebabkan permasalahan tersebut serta mencegah kejadian tersebut di masa depan. Tujuan dari RCA adalah untuk mengetahui apa yang terjadi, mengapa hal itu terjadi, dan menentukan perubahan apa yang akan dilakukan.

Langkah-langkah dalam melakukan RCA adalah sebagai berikut:

1. *Pemilihan peristiwa yang akan di investigasi dan pengumpulan data*

Hal pertama yang harus dilakukan adalah untuk menentukan peristiwa mana yang akan dianalisa dan mengumpulkan data. Tanpa data dan pemahaman yang kuat terhadap suatu permasalahan, akar permasalahan dan faktor-faktor yang terlibat dalam suatu masalah tidak dapat diidentifikasi. Sebagian besar waktu

yang dihabiskan saat investigasi adalah untuk pengumpulan data.

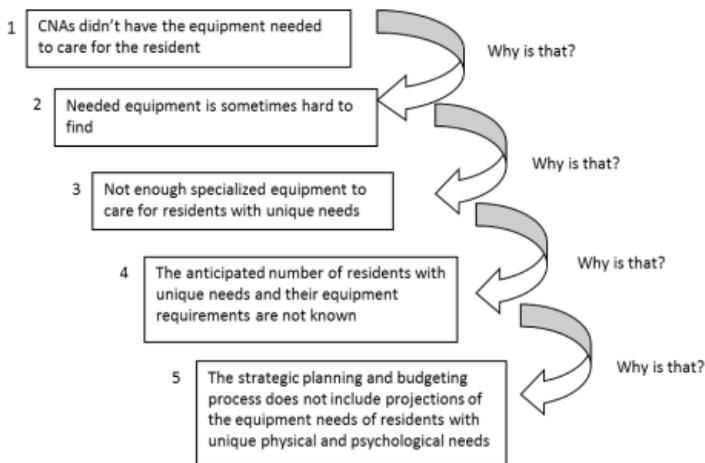
2. Casual Factor Charting

Langkah berikutnya adalah dengan mengidentifikasi apa yang terjadi. Memberikan struktur bagi investigator untuk menyusun dan menganalisa informasi yang diperoleh saat investigasi, dan mengidentifikasi segala *gaps* dan kekurangan informasi selama invetigasi berlangsung. *The casual factor chart* adalah sekumpulan diagram yang runtut yang dilengkapi dengan penalaran atas mengapa sebuah kejadian dapat terjadi ditambah dengan lingkungan sekitar kejadian tersebut. Pengumpulan data berhenti sampai investigator merasa puas dengan tingkat ketelitian dari diagram tersebut. Saat semua data telah terorganisir dengan baik, maka investigator dapat mengidentifikasi penyebab utama suatu permasalahan dapat terjadi yang disebut faktor kasual. Faktor kasual adalah faktor yang disebabkan oleh kesalahan manusia atau kegagalan komponen alat, yang apabila faktor tersebut tidak ada, maka dapat mencegah suatu permasalahan dapat terjadi ataupun mengurangi dampak dari kejadian tersebut.

3. Identifikasi Akar Permasalahan

Semua kejadian memiliki penyebabnya. Tahap ini membutuhkan diagram keputusan untuk mengetahui penyebab adanya beberapa faktor kasual yang teridentifikasi. Diagram tersebut membantu investigator untuk menjawab “mengapa” permasalahan itu terjadi, sehingga permasalahan sekitar penyebab suatu kejadian untuk terjadi dapat ditemukan. Akar penyebab

dari suatu masalah biasanya disebabkan oleh kesalahan pada proses atau sistem yang mengarah kepada kejadian yang berbahaya. Faktor kontribusi bukanlah penyebab masalah, sehingga perlu diadakannya pemeriksaan terhadap faktor pendukung untuk menemukan akar penyebab. Hal ini dapat dilakukan dengan cara menggali lebih dalam pada akar permasalahan dengan teknik “*five why’s*” sesuai dengan ilustrasi dibawah.



Gambar 2.16 Skema Diagram RCA (Guidance for Performing RCA with Performance Improvement, API)

4. Perubahan desain dan Implementasi untuk menghilangkan penyebab permasalahan

Pada langkah ini perlu dievaluasi akar penyebab dari permasalahan untuk menentukan cara terbaik untuk mengurangi

atau mencegah kejadian yang berbahaya dimasa depan dengan pemilihan tindakan yang tepat untuk menangani setiap akar penyebab masalah. Tindakan ini umumnya membutuhkan sebuah perubahan proses yang lama. Setidaknya satu tindakan perbaikan (*corrective action*) harus dikembangkan untuk mengurangi atau menghilangkan akar permasalahan yang terjadi. Dibutuhkan rencana sebagai solusi untuk memperbaiki faktor – faktor pendukung dalam rencana jangka pendek untuk memperbaiki akar permasalahan.

5. Analisa pasca penerapan solusi

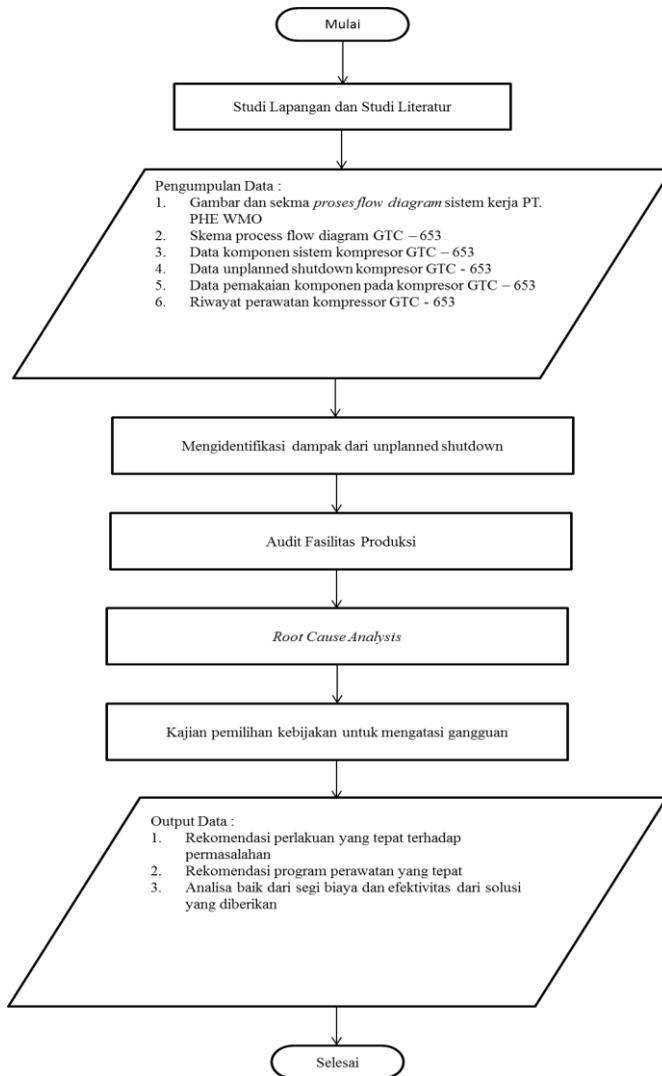
Bersamaan dengan implementasi solusi yang diberikan juga dilakukan pengumpulan data untuk mengukur keberhasilan tindakan perbaikan. RCA harus mengurangi kejadian berbahaya dimasa depan dengan cara meminimalkan atau menghilangkan akar penyebab masalahnya. Selain dari penerapan implementasi yang diberikan, dibutuhkan juga sistem untuk memonitor terhadap implementasi yang diberikan. Pemeriksaan secara dapat mengurangi resiko kesalahan pada proses dan sistem yang ada.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

Langkah-langkah yang dilakukan untuk mencapai tujuan dari penelitian ini seperti pada (Gambar 3.1) berikut:



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian tugas akhir

3.2 Prosedur Pengerjaan Tugas Akhir

Proses dalam penyelesaian tugas akhir ini melalui beberapa tahap sebagai berikut:

1. Studi Lapangan dan Studi Literatur

Studi lapangan dilakukan dengan cara mendatangi kantor pusat PT. PHE WMO di Jakarta dan *Onshore Receiving Facility* (ORF) milik PT. PHE WMO di Gresik, Jawa Timur. Hal ini dilakukan dalam rangka meningkatkan pemahaman terhadap permasalahan yang terjadi secara langsung.

Studi literatur dilakukan dengan cara mempelajari bahan- bahan pustaka yang terkait dengan permasalahan yang ada dari buku, jurnal, penelitian terdahulu dan referesi lainnya yang terkait dengan permasalahan yang dianalisa.

2. Pengumpulan Data

Pada tahap ini data yang dikumpulkan merupakan data yang berasal dari PT. PHE WMO terhitung sejak bulan Oktober 2016 hingga Juli 2017. Data-data tersebut yaitu:

- 1) Gambar dan skema *process flow diagram* sistem kerja PT. PHE WMO
- 2) Skema *process flow diagram* GTC - 653
- 3) Data komponen sistem kompresor GTC - 653
- 4) Data *unplanned shutdown* kompresor GTC - 653
- 5) Data pemakaian komponen pada kompresor GTC - 653
- 6) Riwayat perawatan kompresor GTC – 653

3. Mengidentifikasi Dampak dari *Unplanned Shutdown*

Pada tahapan dijelaskan secara rinci dan spesifik terhadap dampak yang terjadi akibat *unplanned shutdown* pada kompresor GTC - 653, baik dari segi operasional

maupun kerugian produksi yang didapat dari *unplanned shutdown*.

4. Audit Fasilitas Produksi

Pada tahap ini, data yang telah diperoleh akan diproses untuk mengetahui komponen dan sistem yang mengalami kerusakan sehingga analisa dan solusi yang tepat dapat dihasilkan.

5. Root Cause Analysis

Tahap ini memberikan pemahaman yang lebih mendetail terhadap permasalahan yang terjadi dengan menggunakan metode *root cause analysis*. Metode RCA diharapkan dapat memberikan informasi terhadap akar permasalahan yang terjadi, sehingga permasalahan tersebut tidak akan terulang kembali maupun dapat diberikan solusi yang tepat atasnya.

6. Kajian Pemilihan Kebijakan untuk Mengatasi Gangguan

Setelah melalui beberapa tahapan baik dari segi mengidentifikasi masalah, data-data yang diperoleh, menganalisa secara metode RCA, maka didapatkan berbagai kesimpulan dan solusi yang dapat mengatasi permasalahan yang terjadi. Pemilihan solusi didasara dari segi biaya, nilai investasi dan efektivitas.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, dijelaskan mengenai pengumpulan data dan pengolahan terhadap data yang telah dihimpun dari PT. PHE WMO. Data-data tersebut berupa data kualitatif dan kuantitatif, dimana data kualitatif merupakan informasi yang berkaitan dengan sistem yang digunakan pada perusahaan, pemeliharaan yang dilakukan pada area *Poleng Processing Platform.*, serta informasi-informasi lainnya yang berkaitan dengan kualitatif. Sedangkan data kuantitatif adalah informasi yang dikumpulkan berupa waktu antar kerusakan komponen, waktu perbaikan, data biaya perbaikan, serta informasi-informasi lainnya yang berkaitan dengan kuantitatif.

4.1 Perawatan yang Dilakukan Oleh PT. PHE WMO

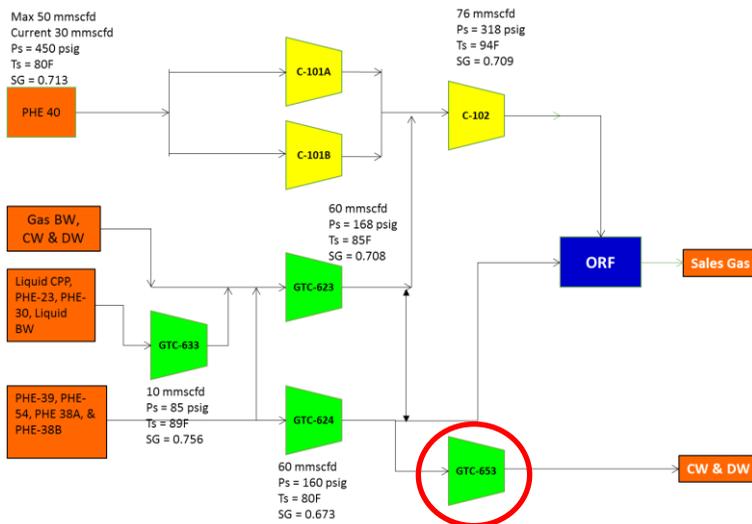
Strategi perawatan yang diterapkan oleh PT. PHE WMO adalah *predictive, preventive, dan corrective maintenance*. Artinya berbagai macam perawatan, perbaikan, dan penggantian dilakukan untuk setiap komponen terkecil, sehingga sistem perawatan di PT. PHE WMO sangat banyak dan kompleks.

Saat ini, PT. PHE WMO melakukan jenis perawatan *preventive maintenance* pada peralatan yang berada pada lokasi *offshore*. Kegiatan yang dilakukan berupa pengecekan kondisi setiap komponen, perbaikan komponen yang rusak, serta penggantian komponen apabila diperlukan. Lama dari perawatan tersebut tergantung pada tingkat kerusakan dan model kerusakan pada setiap peralatan yang terjadi.

Akan tetapi, apabila terdapat beberapa kondisi yang membahayakan ataupun tidak sesuai dengan batas minimal standar yang ditentukan, terkadang sistem harus dimatikan untuk dilakukan pengecekan dan penanganan pertama. Hal tersebut diatasi dengan menggunakan *predictive maintenance* dan *corrective maintenance*. Banyaknya permasalahan yang ada pada

komponen yang terdapat pada platform dapat membuat menurunnya kualitas produksi dari PT PHE WMO, hal ini membuktikan perlu adanya solusi agar dapat meningkatkan proses produksi dari PT PHE WMO itu sendiri. Salah satunya adalah GTC – 653 yang merupakan komponen yang sangat berpengaruh terhadap proses produksi, walaupun teknik manajemen perawatan yang dilakukan oleh perusahaan sudah mencapai standar internasional namun terdapat beberapa permasalahan yang muncul yang dipengaruhi oleh faktor alam. Sehingga diperlukan adanya pembaharuan sistem dan pemberian solusi yang tepat agar proses produksi dapat terus meningkat.

4.2 Diagram Alur Produksi PHE WMO



Gambar 4.1 Penyerdehanaan Diagram Alur Produksi PT. PHE WMO

GTC-653 merupakan gas turbin kompresor yang berada pada *Poleng Processing Platform*. GTC – 653 merupakan kompresor sentrifugal yang digerakkan oleh gas turbin dan

berfungsi untuk memberikan *gas lift* pada sumur- sumur di PHE WMO. GTC – 653 merupakan gas turbin kompresor tipe *Saturn 20 Solar Turbines by Caterpillar*. Berdasarkan diagram diatas GTC – 653 merupakan komponen vital pada proses produksi dikarenakan fungsinya untuk memberikan tekanan pada sumur- sumur PHE WMO agar proses pengangkatan gas dapat berjalan sesuai mestinya. *Unplanned shutdown* pada GTC – 653 dapat mengganggu berjalannya proses produksi dan dapat mengakibatkan penurunan rata - rata produksi sebesar 1162 bopd.

4.3 Root Cause Analysis

Mengacu pada penelitian terdahulu pada jurnal diatas, metode yang digunakan pada jurnal dapat digunakan untuk mengidentifikasi permasalahan yang terjadi pada tugas akhir ini. Berdasarkan data yang didapatkan terjadinya penurunan *seal gas* pada tubing dalam sistem seal kompresor sentrifugal GTC – 653. Pada kasus ini regulator tidak bekerja sebagaimana fungsinya dan dapat menyebabkan *false signal* pada sensor yang membuat kompresor mati. Kemungkinan yang kedua adalah terjadinya pembekuan kondensat yang mengalir pada tubing akibat *joule – Thompson effect*, hal ini memicu terjadinya penurunan tekanan dan dibutuhkan analisa lebih lanjut untuk mengetahui penyebab dari permasalahan yang terjadi. Alternatif yang dapat dilakukan adalah dengan menambah perawatan tambahan pada sistem *seal* kompresor yang dapat memisahkan gas dan kondensat yang mengalir pada tubing. Terdapat banyak pilihan yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan ini, baik berupa saringan yang dapat memisahkan gas dan kondensat yang mengalir maupun *heater* untuk menaikkan suhu kondensat. Untuk mengetahui peralatan tambahan yang dapat digunakan dibutuhkan analisa lebih lanjut untuk menentukan solusi yang diberikan guna mengurangi jumlah *unplanned shutdown* dan meningkatkan proses produksi. Berikut merupakan tabel analisa akar permasalahan dengan menggunakan metode *5 why analysis*.

Tabel 4.1 Root Cause Analysis

1. Why	- Kenapa unit terjadi Unplanned Shutdown?	- Karena adanya automatic shutdown dari sensor otomatis.
2. Why	- Kenapa terjadi automatic shutdown dari sensor otomatis?	- Karena adanya penurunan tekanan pada tubing seal gas kompresor.
3. Why	- Kenapa terjadi adanya penurunan tekanan pada tubing seal gas kompresor?	- Karena fungsi pressure regulator tidak berjalan sesuai mestinya.
4. Why	- Kenapa fungsi pressure regulator tidak berjalan sesuai mestinya?	- Karena adanya indikasi penyumbatan pada regulator dan tubing seal gas.
5. Why	- Kenapa Terdapat indikasi adanya penyumbatan pada regulator dan tubing seal gas.	- Kondensat yang terdapat pada aliran seal gas mengalami pembekuan pada pressure regulator yang disebabkan oleh Joule – Thomson Effect.

<u>Root Cause</u>	- Terjadinya pembekuan kondensat pada <i>pressure regulator</i> akibat <i>Joule - Thomson Effect</i> .
<u>Immediate Action</u>	- Flushing terhadap kondensat yang membeku pada tubing seal gas dan penambahan filter agar dapat memisahkan kondensat dengan aliran gas yang mengalir.

Berdasarkan analisa akar permasalahan dengan metode 5 *why root cause analysis* dapat disimpulkan bahwa terdapatnya kondensat pada aliran seal gas filter kompresor merupakan penyebab utama terjadinya *unplanned shutdown* pada GTC – 653. Sehingga dibutuhkan sebuah modifikasi terhadap sistem seal gas agar kondensat yang mengalir pada *tubing seal gas* dapat dipisahkan dengan *seal gas*. Indikasi pembekuan pada regulator dan tubing seal gas dapat dilihat pada gambar 4.2 bahwa terdapatnya embun pada *pressure regulator* mengindikasikan terjadinya pembekuan kondensat. Hal ini disebabkan oleh efek *Joule - Thomson* pada fluida yang mengalir akibat penurunan tekanan yang relatif besar.



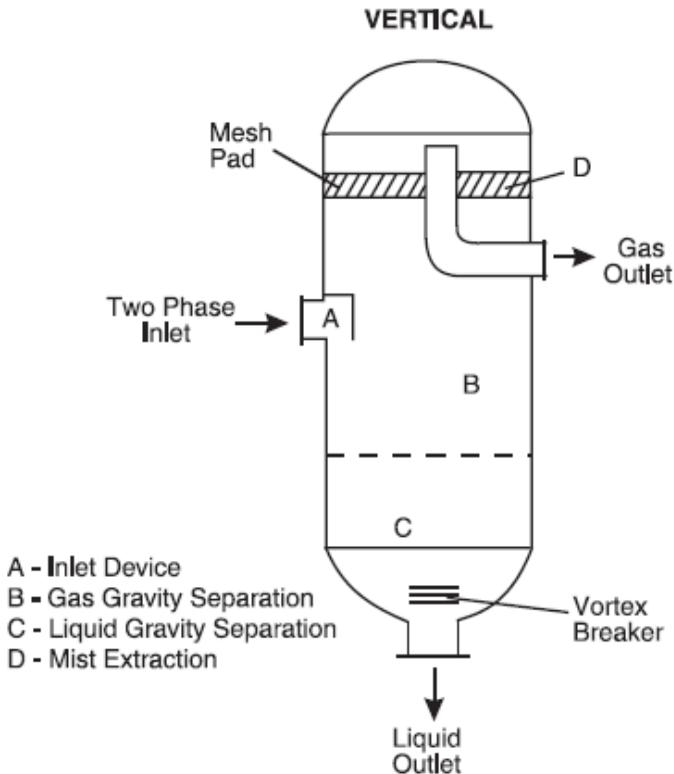
Gambar 4.2 Terdapatnya Embun pada *Pressure Regulator* GTC - 653

Pembekuan kondensat yang terjadi pada *pressure regulator* disebabkan oleh efek *Joule – Thomson* yang merupakan proses ekspansi pada gas yang disebabkan oleh proses *throttling* (gas mengalir melalui katup) dari tekanan tinggi ke tekanan rendah yang menyebabkan adanya penurunan temperatur. Jadi proses ini merupakan proses adiabatik karena proses pertukaran

energi terjadi sangat cepat sehingga tidak ada pertukaran energi dengan lingkungan.

4.4 Analisa Filter yang digunakan

Wire – mesh mist extractors atau yang biasa disebut *mesh – pads* merupakan suatu rajutan dari fiber, besi ataupun plastik yang ditumpuk secara berlapis – lapis yang nantinya akan membentuk *pad thickness*. Filter jenis ini dapat memisahkan partikel yang lebih besar dari 10 micron, untuk memisahkan partikel yang lebih kecil dari 10 micron dibutuhkan rajutan fiber yang lebih kecil dan dengan kualitas yang lebih baik. *Mesh – pads* memisahkan partikel liquid dengan cara menabrakan aliran gas yang mengalir dengan lapisan fiber yang nantinya partikel liquid akan akan terbentuk menjadi partikel yang lebih besar dan terjatuh akibat gaya gravitasi. Prinsip kerja dari *mesh – pads* sama dengan halnya dengan filter jenis *coalescer*, hanya saja dengan bentuk yang berbeda.



Gambar 4.3 *Mesh – Pad Coalescer Filter* (Gas Processors Suppliers Association, Engineering Data Book).

Untuk kualitas pemisahan partikel oleh *mesh – pads* terdapat dua faktor yang berpengaruh yaitu efisiensi pemisahan droplet dan kapasitas gas yang mengalir pada *mesh – pads*. Efisiensi pemisahan droplet biasanya diberikan oleh pihak manufaktur dalam bentuk grafik persen pemisahan terhadap fungsi ukuran droplet pada aliran gas. Grafik yang diberikan didasari atas tes terhadap penyaringan air pada tekanan atmosfer.

Kapasitas gas yang mengalir pada *mesh – pads* dispesifikasikan secara universal dengan *sizing factor*, *K*, yang tercantum pada persamaan *Souders and Brown* berikut:

$$V_t = K \sqrt{\frac{(\rho_l - \rho_g)}{\rho_g}} \dots\dots\dots(10)$$

Nantinya luasan area *mesh – pads* yang dibutuhkan dapat dicari dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

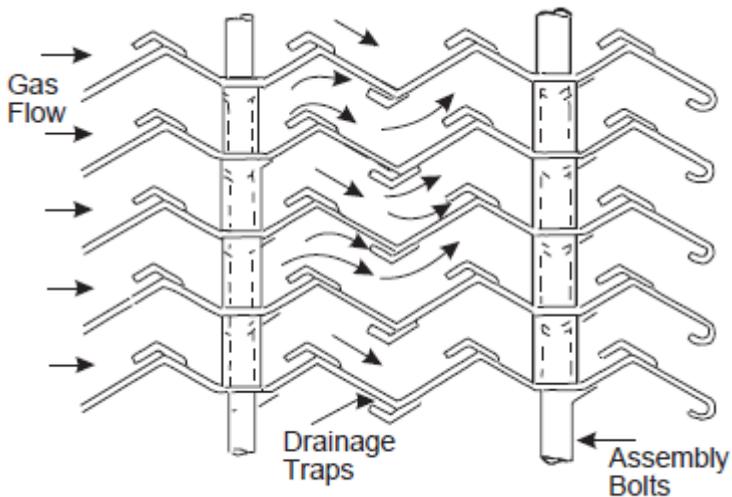
$$A = \frac{Q_A}{V_t} \dots\dots\dots(11)$$

Tabel 4.2 *Sizing Factor Gas Capacity* untuk *Mist Extractor* (Gas Processors Suppliers Association, Engineering Data Book)

Tipe Elemen Filter	Kapasitas Gas, K, ft/s
Mesh - Pad	0.22 - 0.39. Semakin rendahnya nilai K menunjukan desain filter dengan tingkat efisiensi yang semakin tinggi
Vane - Packs	Aliran Horizontal : 0.9 - 1.0 Aliran Vertikal : 0.4 - 0.5.

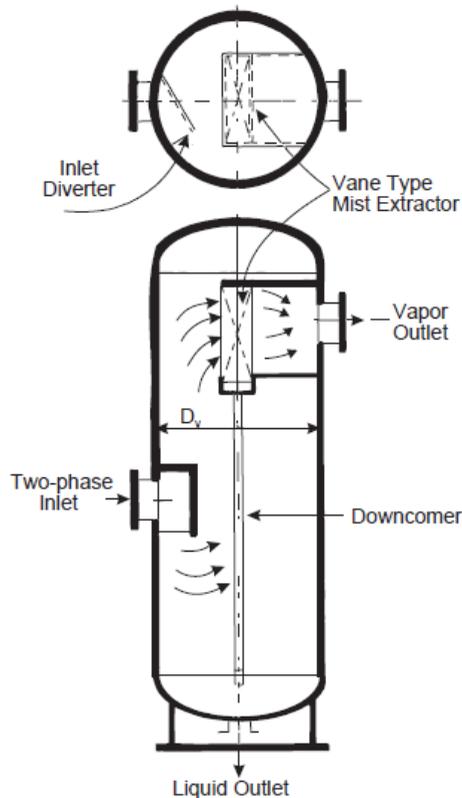
4.4.1 Filter dengan tipe *Vane Packs*

Vane packs merupakan separator antara gas dan liquid tanpa menggunakan elemen namun hanya menggunakan serial bilah berarah secara bertumpuk. Berbeda dengan *mesh – pad*, filter jenis ini terdiri dari serangkaian pelat parallel yang ditempatkan pada ukuran yang telah ditentukan untuk memberi ruang pada fluida untuk mengalir. Pelat telah diprofilkan dengan bentuk “W” dan “VH” dengan sudut yang telah ditetapkan untuk membuat fluida yang mengalir dapat berubah arah dan bertumbukkan dengan dinding pelat. Partikel berat maupun droplet akan dipisahkan oleh gaya sentrifugal dan mengalir kebawah. Cairan yang bersatu ini kemudian akan dikeringkan melalui kait atau celah yang ada pada bilah.



Gambar 4.4 Bilah pemisah pada *Vane Packs Filter* (Gas Processors Suppliers Association, Engineering Data Book)

Prinsip kerja dari filter ini terdiri dari dua tahapan, tahapan yang pertama merupakan tahapan knock out section. Sama halnya dengan *filter mesh - pads* partikel liquid yang relatif besar akan terpisahkan dengan gas yang mengalir akibatnya adanya penurunan kecepatan yang kemudian akan mengalir kebawah akibat gaya gravitasi. Pada tahap kedua gas akan mengalir melalui *vane packs* yang merupakan serangkain bilah berarah yang tersusun secara parallel yang membuat gas yang mengalir akan terbentur secara langsung dengan dinding bilah akibat gaya sentrifugal yang kemudian partikel liquid sampai dengan ukuran 10 μm atau lebih besar akan terjatuh dan mengalir menuju *liquid outlet* melalui *downcomer*.



Gambar 4.5 *Vane Packs Filter* (Gas Processors Suppliers Association, Engineering Data Book).

4.4.2 Pemilihan Filter yang digunakan

Berdasarkan data yang didapatkan filter jenis *mesh – pad* lebih cocok digunakan pada kasus ini, hal ini disebabkan efisiensi pemisahan antara liquid yang mengalir dengan gas dapat dicapai lebih tinggi dibandingkan dengan tipe *vane – packs*. Hal ini disebabkan pada filter jenis *mesh – pad* mekanisme pemisahan menggunakan prinsip tumbukkan secara langsung dan penyatuan untuk membentuk ukuran partikel droplet yang lebih besar, lain

halnya dengan *vane – packs* yang menggunakan gaya sentrifugal untuk mekanisme pemisahannya.

4.5 Perhitungan Diameter Minimum Filter

Tabel 4.4 *Properties* gas yang mengalir pada *Seal Gas Compressor* (PHE WMO)

Operating pressure		1200 psig
Operating temperature		170 °F
Gas		
	Flow rate	0.5 MMscfd
	Z Factor	0.99686
	Viscosity	0.01327 cP
	Molecular Weight	18.53
	R	10.73
Liquid		
	Density	62.92 lb/ft ³
	Droplet diameter	2 μm

Pada awal perhitungan dibutuhkan nilai densitas dari gas yang akan mengalir pada filter dengan tekanan atmosfer 14,7 psia dan $R = 10,73$

$$\rho_g = \frac{P (MW)}{R T Z} = \frac{(1200 + 14.7)(18.53)}{(10.73)(170 + 460)(0,8989)} = 3.708 \text{ lb/ft}^3$$

Setelah didapatkan nilai dari ρ_g maka selanjutnya akan menghitung laju massa,

$$M = \frac{(0.5)(10^6)(18.53)}{(379)(24)(3600)} = 0.282 \text{ lb/s}$$

Setelah mendapatkan nilai $M = 0,331 \text{ lb/s}$ dibutuhkan nilai kecepatan gas yang akan mengalir pada *mesh pad* yang nantinya bisa didapatkan luasan area dari *mesh pad*. Pada tahap ini nilai dari *sizing factor* yang diberikan oleh pihak manufaktur berada pada $K=0.39$, namun diperlukan adanya penyesuaian dengan kondisi dari tekanan yang mengalir. Sehingga dibutuhkan *correction factor* pada nilai K dengan $P = 1200$ psig. Pada tabel yang merujuk pada GPSA Engineering Data Book nilai K dapat disesuaikan dengan dengan cara mengalikan K *sizing factor* dengan *pressure adjustment*.

Tabel 4.5 *Sizing Factor Adjustment Value* (Gas Processors Suppliers Association, Engineering Data Book).

Pressure, psig	Percent of Design Value
Atmospheric	100
150	90
300	85
600	80
1,150	75

$$K = (0.39)(0.75) = 0.2925 \text{ ft/s}$$

$$\begin{aligned}
 V_t &= K \sqrt{\frac{(\rho_l - \rho_g)}{\rho_g}} = (0.2925) \sqrt{\frac{(62.92 - 3.708)}{3.708}} \\
 &= 1.168 \text{ ft/s}
 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai kecepatan dari aliran maka dibutuhkan nilai dari laju aliran massa aktual,

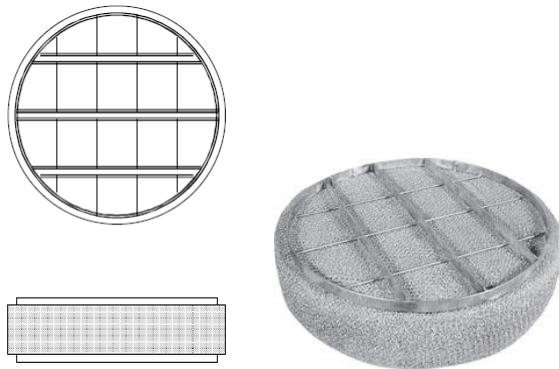
$$Q_A = \frac{M}{\rho_g} = \frac{0.282}{3.708} = 0.076 \text{ ft}^3/\text{s}$$

Kemudian menghitung luasan area *mesh pad*,

$$A = \frac{Q_A}{V_t} = \frac{0.076}{1.168} = 0.0651 \text{ ft}^2$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai luasan area dari *mesh pad* yang dibutuhkan agar desain dari filter dapat disesuaikan dengan spesifikasi dari sistem seal gas pada GTC – 653. Kemudian perhitungan diameter filter dapat dilakukan dengan persamaan dari luas lingkaran.

$$D_f = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(0.0651)}{3.14}} = 0.288 \text{ ft} = 3.45 \text{ in}$$

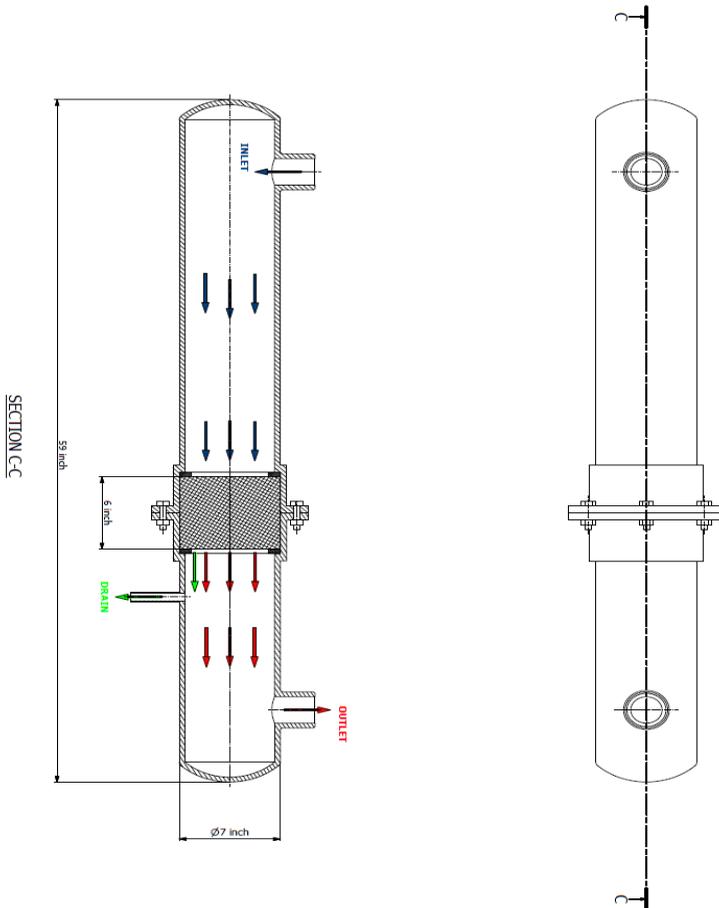


Gambar 4.6 Mesh – pad yang digunakan pada filter (AlphaMIST™, Halt Corporation).

Dari perhitungan diatas didapatkan $D_f = 3.45 \text{ in}$ yang merupakan panjang diameter minimum yang dibutuhkan filter.

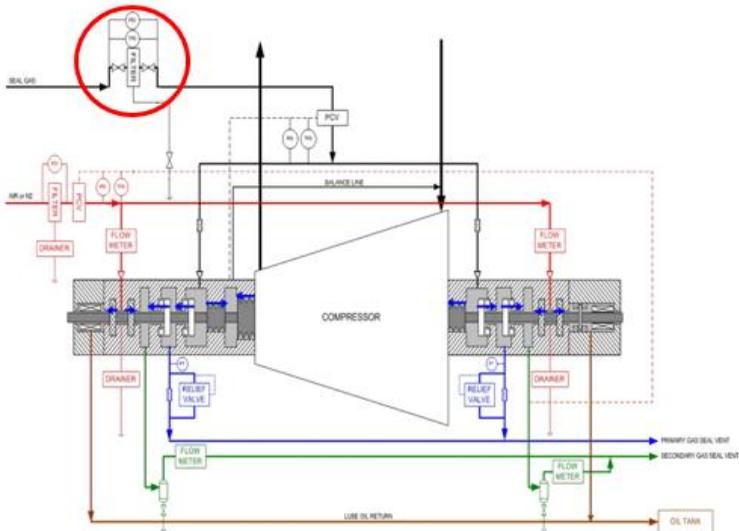
Setelah mendapatkan diameter minimal dari filter yang dibutuhkan selanjutnya adalah memperhitungkan sisa ruang yang ada pada *platform*. Sisa ruang yang ada pada kompresor GTC – 653 sangat terbatas. Sisa ruang yang tersedia hanyalah sebesar 2000 mm panjang x 1800 mm lebar x 3000 mm tinggi. Ukuran *filter* yang digunakan harus menyesuaikan dengan sisa ruang yang ada pada *platform*. Sesuai gambar 4.7 *Mesh – pad* yang digunakan merupakan tipe HE – 1G AlphaMIST™ yang terbuat dari material *Glass Wool* dengan wire diameter = 0.20 mm dengan arah horizontal. *Filter* yang digunakan nantinya akan bersifat *consumable* yang dapat diganti setiap 1 tahun sekali apabila telah terjadi korosi pada *filter*. *Filter* jenis ini tidak membutuhkan proses yang rumit dan untuk perawatannya hanya membutuhkan operator *in – house* sehingga tidak perlu mendatangkan tenaga ahli. Gambar 4.7 dibawah merupakan ilustrasi perkiraan dari filter yang akan digunakan. Besar partikel pada aliran gas diasumsikan sebesar 2 mikron. Berdasarkan *GPSA Engineering Data Book 12th Edition, section 7*, didapatkan nilai minimum luasan area minimum *mesh – pad* $A = 0.0651 \text{ ft}^2$ dengan besar diameter minimum $D_f = 3.45 \text{ in}$ untuk dapat memisahkan partikel sebesar 2 mikron yang mengalir pada aliran gas sesuai dengan parameter yang ada. Ilustrasi menunjukkan bahwa gas 2 fasa mengalir melalui inlet yang bagian atas, *filter* ini dipasang dengan arah horizontal. Kemudian gas yang masuk kedalam ruang dari filter selanjutnya akan dialirkan masuk melalui *mesh – pad*. Kondensat yang terdapat pada aliran gas nantinya akan tersaring pada rajutan fiber yang ada pada filter yang kemudian akan mengalami proses penyatuan dari yang awalnya kecil menjadi semakin besar yang nantinya akan terjatuh akibat gaya gravitasi setelah keluar melalui *mesh – pad*. Kondensat yang telah terbentuk menjadi partikel lebih besar akan terjatuh dan mengalir melalui drain yang nantinya akan diarahkan masuk kedalam *drainer*. Kemudian gas yang telah terbebas dari partikel kondensat akan mengalir menuju outlet

yang ada diatas yang nantinya akan dialirkan menuju *pressure regulator*.



Gambar 4.7 Ilustrasi Filter *Mesh – pad* Horizontal yang digunakan

Filter yang digunakan merupakan *filter* dengan *Mist Extraction* dengan jenis *mesh – pads* dengan besar luasan area minimum *mesh – pads* 0.0651 ft^2 dan diameter sebesar 7 in. Nilai dari diameter filter ini merupakan spesifikasi filter yang sesuai dengan sistem Seal Gas GTC – 653. Setelah melakukan analisa terhadap akar permasalahan penyebab terjadinya *unplanned shutdown* pada GTC – 653 disimpulkan bahwa kondensat yang ikut mengalir melalui *tubing seal gas* pada proses *seal gas* mengalami pembekuan saat diturunkannya tekanan seal gas yang mengalir pada *pressure regulator*, sehingga modifikasi penambahan filter dapat dimasukkan dalam sistem sebelum seal gas masuk menuju *pressure regulator* sesuai dengan ilustrasi gambar 4.8 dibawah..



Gambar 4.8 Modifikasi pada Sistem Seal Gas

4.6 Analisa biaya modifikasi sistem

Modifikasi terhadap sistem Seal gas GTC – 653 merupakan solusi yang harus dilakukan agar dapat meningkatkan proses produksi pada PT PHE WMO. Pada kasus ini dibutuhkan suatu sistem tambahan pengondisian gas atau yang biasa disebut dengan GCU agar dapat menyelesaikan permasalahan yang ada pada sistem. Dalam pemasangan GCU terdapat beberapa parameter biaya yang harus dikeluarkan yang mencakup biaya investasi (pembelian alat), instalasi dan tenaga kerja sesuai dengan tabel dibawah ini.

Tabel 4.6 Estimasi Biaya Modifikasi Sistem

No.	Jenis	Estimasi Biaya (USD)
1	Gas Conditioning Unit (GCU) (Seal Gas Filter with Continuous Flow Transfer, piping support within skids, valve)	200.000
2	Manpower (Lead Engineer, certified Welder)	8.000
3	Logistic (Tools and accesories)	20.000
	Total	228.000

Tabel diatas merupakan estimasi biaya yang dikeluarkan terhadap modifikasi sistem dengan menambahkan komponen GCU. Karena GTC – 653 berada pada PPP yang merupakan lokasi *offshore* maka biaya pemasangan yang dikeluarkan lebih

besar dibandingkan dengan biaya pemasangan *onshore*. Pada kasus ini biaya yang dikeluarkan berkisar 20.000 USD untuk biaya pemasangan namun hal tersebut belum termasuk biaya tenaga kerja. Pada industri minyak dan gas pemasangan maupun penambahan komponen pada suatu sistem dibutuhkan tenaga kerja yang telah tersertifikasi mengacu pada standar internasional hal ini merupakan suatu keharusan mengingat resiko yang ditimbulkan bila terjadi kesalahan pemasangan. Biaya yang dikeluarkan untuk tenaga kerja berada di kisaran 8.000 USD. Namun pemasangan GCU merupakan salah satu solusi yang tepat mengingat besarnya nilai nominal kehilangan produksi yang dialami perusahaan sesuai dengan tabel dibawah ini.

Tabel 4.7 Analisa Kehilangan Kesempatan Produksi

Barrel Oil Loss	PHE WMO	PEP	Total	Production Loss (USD)
per day	476	1162	1638	\$ 81.900,00
1 year	171360	418320	589680	\$ 29.484.000,00

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa *unplanned shutdown* pada GTC – 653 menyebabkan banyaknya nilai *production loss* pada perusahaan. Hal ini disebabkan GTC – 653 merupakan salah satu komponen yang vital pada diagram alur proses produksi PT PHE WMO. Berdasarkan data yang didapatkan dapat dilihat pada tabel bahwa rata – rata terdapat 476 *barrel oil* yang tidak terproduksi akibat dari permasalahan ini. Pada tabel juga dapat dilihat bahwa *production loss* yang dialami dapat mencapai \$81.900,00 USD per hari yang bila diakumulasikan selama setahun dapat mencapai \$29.484.000,00 USD. Melihat dari jumlah kehilangan produksi yang sangat besar maka dibutuhkan suatu solusi yang dapat menyelesaikan permasalahan ini agar dapat meningkatkan kerja dari GTC – 653

yang diharapkan dapat meningkatkan proses produksi dari GTC – 653.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Faktor penyebab terjadinya *unplanned shutdown* pada kompresor GTC – 653 disebabkan karena adanya penurunan tekanan pada *tubing seal gas*. Penurunan tekanan yang ada disebabkan adanya pembekuan kondensat pada pressure regulator akibat dari *Joule – Thomson Effect*. Penurunan tekanan yang sangat besar mengakibatkan perubahan suhu yang sangat besar dan mencapai titik beku dari kondensat. Hal ini membuat tekanan pada *tubing seal gas* menurun akibat adanya penyumbatan saluran oleh kondensat yang membeku pada *pressure regulator* dan *tubing seal gas*.
2. Terdapatnya kondensat pada aliran gas kompresor GTC – 653 mengharuskan adanya modifikasi pada sistem *seal gas* yang dapat memisahkan kondensat yang ada pada aliran gas. Penambahan adanya *filter* pada saluran *seal gas* sebelum masuk kedalam *pressure regulator* merupakan solusi yang dapat ditawarkan. Hal ini disebabkan karena *filter* berfungsi sebagai pemisah antara kondensat pada aliran gas yang mengalir. Penyaringan kondensat sebelum masuk kedalam *pressure regulator* membuat proses penurunan tekanan berjalan sesuai mestinya.
3. Pemilihan *filter* dengan *mist extractor* merupakan solusi yang tepat akibat kemampuan dari *filter* tersebut yang dapat memisahkan partikel *solid* maupun *liquid* dengan baik. Hal ini disebabkan ukuran partikel kondensat dalam kategori *mist* yang berkisar antara 2 – 10 micron. *Filter* dengan *mist extractor* dalam hal ini *mesh pad* dapat memisahkan

kondensat yang mengalir pada aliran gas dengan ukuran diameter minimal filter $D_f = 3.45 \text{ in.}$

4. Penambahan *filter* pada sistem *seal gas* merupakan solusi yang tepat melihat dari besarnya nilai kehilangan kesempatan produksi yang mencapai \$81.900,00 USD per harinya dibandingkan dengan investasi awal pemasangan alat *filter* pada sistem sebesar \$228.00,00 USD. Hal ini dapat meningkatkan hasil produksi PT. PHE WMO yang nantinya.

5.2 Saran

1. Dalam rangka mendesain elemen yang berpengaruh terhadap proses produksi, dalam kasus ini *platform* dibutuhkan sebuah rancangan yang lebih baik. Terutama perihal ruang yang dibutuhkan untuk melakukan penambahan peralatan agar dapat meningkatkan kesempatan produksi. Semakin banyaknya ruang yang tersedia pada platform maka akan semakin banyak juga opsi dari solusi yang dapat diberikan.
2. Pada proses pengeboran sumur yang dilakukan oleh perusahaan dibutuhkan kajian dan analisa yang lebih baik agar dapat memperhitungkan kemungkinan *anomalies* yang dapat mengganggu proses produksi perusahaan. Persiapan sejak dini dapat mengurangi tingkat kehilangan kesempatan produksi.

DAFTAR PUSTAKA

Michael J. Moran, Howard N. Saphiro, “Fundamentals of Engineering Thermodynamics.”Fifth Edition

Meherwan P. Boyce, “Gas Turbine Engineering Handbook.”Second Edition

Gas Processors Suppliers Association, “Engineering Data Book.” Volumes I & II 2004

American Petroleum Institute Recommended Practice 14E(RP 14E), “Recommended Practice for Design and Installation of Offshore Production Platform Piping Systems.”Fifth Edition, October 1, 1991

Aimikhe V.J., Akpabio E.J., “Comparing the Lateral Behaviour of a Boil off Gas Compressor with Dry and Wet Seals.”International Journal of Science and Technology Volume 2 No.2, February, 2013

United States Environmental Protection Agency Air and Radiation, “Replacing Wet Seals with Dry Seals in Centrifugal Compressors.”

Yevhen Pistun, Fedir Matiko, “Simplified Method for Calculation of the Joule – Thomson Coefficient at Natural Gas Flowrate Measurement.” Volume 1, Number 2, 2015 Lviv Polytechnic National University.

Karl Kolmetz, “Coalescer (Engineering Design Guideline).” KLM Technology Group October 2012

Cootes L., “Contamination of Centrifugal Process Gas Compressor Lube Oil and Seal Oil Systems by Hydrocarbon Condensate.” ASME , 1981

American Petroleum Institute, “Guidance for Performing Root Cause Analysis (RCA) with Performance Improvement Projects (PIPs).”

BIODATA PENULIS



Rexa Nareswara, dilahirkan di Medan 16 Maret 1996. Merupakan anak pertama dari pasangan Aris Hartoni dan Retna Mara Katarimah. Penulis mengenyam pendidikan di SD Mutiara Bunda, SMP Taruna Bakti dan SMAN 3 Bandung. Pada tahun 2013 penulis melanjutkan pendidikan tingginya di Jurusan Teknik Mesin FTI ITS, dengan bidang studi Sistem Rekayasa Industri.

Pada saat menjadi mahasiswa penulis aktif dalam kegiatan organisasi maupun acara kemahasiswaan dengan menjadi Kepala Divisi Pewacana dan Perencana Event Badan Semi Otonom HMM 2015-2016, penulis juga mengikuti berbagai pelatihan manajemen diri dan kegiatan. Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore yang akhirnya dilanjutkan dengan penelitian tugas akhir di tempat yang sama.