



TUGAS AKHIR TF141581

**ANALISIS HAZOP DAN PENENTUAN SAFETY
INTEGRITY LEVEL MENGGUNAKAN
METODE FAULT TREE ANALYSIS PADA
AMMONIA REFRIGRATION PABRIK
AMONIAK UNIT I PT. PETROKIMIA GRESIK**

AKHMAD FIRDAUS HILMI
NRP. 02311440000011

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT TF141581

**HAZOP ANALYSIS AND SAFETY INTEGRITY
LEVEL DETERMINATION USING FAULT
TREE ANALYSIS METHOD ON AMMONIA
REFRIGERATION OF AMMONIA PLANT UNIT
I PT. PETROKIMIA GRESIK**

AKHMAD FIRDAUS HILMI
NRP. 02311440000011

Supervisor
Dr. Ir. Ali Musyafa', M. Sc.

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Akhmad Firdaus Hilmi

NRP : 02311440000011

Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul **“ANALISIS HAZOP DAN PENENTUAN SAFETY INTEGRITY LEVEL MENGGUNAKAN METODE FAULT TREE ANALYSIS PADA AMMONIA REFRIGRATION PABRIK AMONIAK UNIT I PT. PETROKIMIA GRESIK”** adalah bebas plagiasi Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 8 Juli 2018
Yang membuat pernyataan,

Akhmad Firdaus Hilmi
NRP. 02311440000011

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS HAZOP DAN PENENTUAN SAFETY
INTEGRITY LEVEL MENGGUNAKAN METODE
FAULT TREE ANALYSIS PADA AMMONIA
REFRIGERATION PABRIK AMONIAC UNIT I PT.
PETROKIMIA GRESIK**

TUGAS AKHIR

Oleh :

**AKHMAD FIRDAUS HILMI
NRP. 0231144000011**

**Surabaya, 23 Juli 2018
Mengetahui/Menyetujui**

Pembimbing

**Dr. Ir. Ali Musyafa', MSc
NIPN. 19600901 198701 1 001**



Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS HAZOP DAN PENENTUAN SAFETY INTEGRITY LEVEL MENGGUNAKAN METODE FAULT TREE ANALYSIS PADA AMMONIA REFRIGRATION PABRIK AMONIAK UNIT I PT. PETROKIMIA GRESIK

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

AKHMAD FIRDAUS HILMI
NRP. 0231144000011

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Ali Musyafa', MSc.  (Pembimbing)
2. Imam Abadi, ST, MT.  (Ketua Penguji)
3. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.  (Penguji II)
4. Dr. Ing Doty Dewi Risanti, ST, MT.  (Penguji III)

SURABAYA
JULI 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan

**ANALISIS HAZOP DAN PENENTUAN SAFETY
INTEGRITY LEVEL MENGGUNAKAN METODE FAULT
TREE ANALYSIS PADA AMMONIA REFRIGERATION
PABRIK AMONIAK UNIT I PT. PETROKIMIA GRESIK**

Nama Mahasiswa : Akhmad Firdaus Hilmi
NRP : 02311440000011
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Pembimbing I : Dr. Ir. Ali Musyafa', M. Sc.

Abstrak

Pada pabrik amoniak Petrokimia Gresik terdapat proses yang disebut sistem pendinginan amonia 120-CF yang digunakan untuk menjaga suhu produk amonia pada kondisi yang diinginkan sehingga fase produk akhir adalah cair dan dapat didistribusikan ke pabrik lain yang membutuhkan cairan amonia. Proses dimulai dengan meningkatkan tekanan uap amonia yang berasal dari *flash drum* pendingin 120 CF yang dilengkapi dengan kompresor pendinginan amonia 105-J dan menjaga amonia cair pada tangki sehingga suhu produk tetap pada -33°C dan $0,05\text{ kg / tekanan cm}^2$. Untuk meminimalkan risiko pada plant, identifikasi potensi bahaya yang mungkin terjadi di empat node *flash drum* 120 CF 1, 120 CF 2, 120 CF3 dan 120 CF 4 dilakukan dengan menggunakan Hazard and Operability Analysis (HAZOP) dan Analisis SIL dengan metode FTA. Berdasarkan identifikasi 20 komponen BPCS, 7 komponen memiliki kategori extreme risk. Nilai SIL yang didapat dari perhitungan BPCS PFD adalah SIL 1 dengan *Probability Failure Demand* (PFD) senilai 0,082. Setelah mengkonfigurasi elemen akhir BPCS dengan menambahkan valve redundant dan SIS ESDV, PFD sistem diturunkan menjadi 0,003202 dan secara signifikan meningkatkan SIL senilai SIL 2

Kata kunci: *Ammonia Refrigeration, Hazard and Operability Study*
SIS, SIL, failure rate, PFD

Halaman ini sengaja dikosongkan

**HAZOP ANALYSIS AND SAFETY INTEGRITY LEVEL
DETERMINATION USING FAULT TREE ANALYSIS
METHOD ON AMMONIA REFRIGERATION OF
AMMONIA PLANT UNIT I PT. PETROKIMIA GRESIK**

Name : Akhmad Firdaus Hilmi
NRP : 02311440000011
Department : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisor I : Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.

Abstract

At the Petrochemical Gresik ammonia plant there is a process called the 120-CF ammonia refrigeration system used to maintain the temperature of the ammonia product under desired conditions so that the final product phase is liquid and may be distributed to other plants requiring ammonia fluid. The process is initiated by increasing the ammonia vapor pressure derived from a 120 CF cooling drum flash equipped with a 105-J ammonia cooling compressor and maintaining liquid ammonia in the tank so that the product temperature remains at -33 ° C and 0.05 kg / cm² pressure. To minimize risks to the plant, identify potential hazards in the four 120 CF 1, 120 CF 2, 120 CF3 and 120 CF 4 drum nodes performed using Hazard and Operability Analysis (HAZOP) and SIL Analysis with the FTA method. Based on identification on 20 BPCS components, 7 components have extreme risk category. SIL value obtained from the calculation of BPCS PFD is SIL 1 with Probability Failure Demand (PFD) valued at 0.082. After configuring the final elements of BPCS by adding redundant valves and SIS emergency shutdown valves, the system PFD is lowered to 0.003202 and significantly increases SIL's worth of SIL 2

***Keywords: Ammonia Refrigeration, Hazard and Operability Study
SIS, SIL, failure rate , PFD***

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur senantiasa terpanjatkan kepada Allah SWT Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, atas berkah, petunjuk, dan karunia-Nya penulis mampu melaksanakan dan menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul :

ANALISIS HAZOP DAN PENENTUAN SAFETY INTEGRITY LEVEL MENGGUNAKAN METODE FAULT TREE ANALYSIS PADA AMMONIA REFRIGRATION PABRIK AMONIAK UNIT I PT. PETROKIMIA GRESIK

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama menyelesaikan tugas akhir ini, penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Farid Musyafa, Ibu Riqonaah, Farah, Fitra, Filza , dan seluruh keluarga tercinta yang selalu memberikan do'a serta dukungan kepada penulis.
2. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Fisika FTI ITS.
3. Bapak Dr. Ir. Ali Musyafa' M, Sc.selaku dosen wali dan pembimbing tugas akhir yang senantiasa memberikan bimbingan, motivasi, dan arahan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Totok Ruki Biyanto, S.T, M.T, PhD selaku kepala Laboratorium Rekayasa Instrumenasi dan Kontrol.
5. Bapak Imam Abadi ST.,MT. dan Ibu Ronny Dwi Noryati M ,Kes, dan Ibu Dr. Ing. Doty Dewi Risanti , S.T, M.T. selaku pengaji tugas akhir ini.

6. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah banyak memberikan ilmunya sehingga penulis dapat menyelesaikan jenjang kuliah hingga tugas akhir ini.
7. Teman-teman satu perjuangan lainnya Husain, Kayi, Senko, Faiz, Rizky, Wira, Hafid, Dio, Pandu, Haryo, Yusril , dan anggota kantin idjo lainnya atas segala dukungannya selama mengerjakan tugas akhir ini.
8. Teman-teman mengerjakan tugas akhir, Abrori, Zamir, Haris, Faiz, dan Aris atas segala masukan dan saran-saran yang bermanfaat yang telah diberikan kepada penulis
9. Seluruh teman-teman Teknik Fisika lainnya yang tidak bisa disebutkan satu persatu.
10. Pembimbing lapangan Pak Makki dan Pak Ariq dari Pabrik 1 PT Petrokimia Gresik yang telah membantu penulis dalam pengambilan data selama berada di lapangan.
11. Semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan dan penyusunan laporan tugar akhir ini.

Penulis menyadari bahwa terdapat kekurangan dalam laporan tugas akhir ini, maka dari itu kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sangat diharapkan. Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Surabaya, 8 Juli 2018

Akhmad Firdaus Hilmi

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR SIMBOL	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Sistematika Laporan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penjelasan HAZOP pada Penelitian Sebelumnya	7
2.2 <i>Hazard and Operability Study (HAZOP)</i>	9
2.3 <i>Fault Tree Analysis (FTA)</i>	14
2.4 Proses Ammonia Refrigeration.	19
2.5 <i>Safety Instrumented Systems (SIS)</i>	20
2.6 <i>Safety Integrity Level (SIL)</i>	22
2.7 <i>Control Chart X Bar – S</i>	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Diagram Alir Penelitian	27
3.2 Tahapan Penelitian	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Alur Proses Pendinginan Amoniak	31
4.2 Analisis Potensi Bahaya dari HAZOP <i>Study</i>	33

4.2.1 <i>Flow Transmitter</i> FT-1009	34
4.2.2 <i>Flow Transmitter</i> FT-1010	36
4.2.3 <i>Flow Transmitter</i> FT-1011	37
4.2.4 <i>Flow Transmitter</i> FT-1012	39
4.3 Analisis Risiko dari HAZOP <i>Study</i>	43
4.3.1 Menentukan <i>Likelihood</i>	44
4.3.2 Menentukan <i>Consequence</i>	46
4.3.3 Menyusun Ranking Risiko (<i>Risk Ranking</i>)	47
4.4 Perhitungan SIL dengan Metode FTA	55
4.5 Peningkatkan SIL dan Penambahan SIS	60
BAB V PENUTUP	65
5.1 Kesimpulan	65
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN A	<i>DESIGNED HAZOP WORKSHEET</i>
LAMPIRAN B	P&ID 120-CF
LAMPIRAN C	DATA MAINTENANCE & PERHITUNGAN TTF DAN LAMBDA
LAMPIRAN D	HAZOP STUDY REPORT 1350 MTPD
LAMPIRAN E	PROCESS DATA SHEET JUNI 2018

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	<i>Ammonia Refrigeration</i>	2
Gambar 2.1	<i>Fault Tree Analysis</i>	15
Gambar 2.2	<i>And gate</i> dan Tabel Kebenaran <i>AND Gate</i>	16
Gambar 2.3	<i>OR Gate</i> dan Tabel Kebenaran <i>OR Gate</i>	17
Gambar 2.4	<i>NOT Gate</i> dan Tabel kebenaran <i>NOT gate</i>	17
Gambar 2.5	Proses <i>Ammonia Refrigeration</i>	18
Gambar 2.6	<i>Safety Instrumented System (SIS)</i>	20
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 4.1	P&ID <i>Ammonia Utilized Chiller</i>	33
Gambar 4.2	Control Chart X Bar Flow Transmitter FT-1009	35
Gambar 4.3	Control Chart X Bar Flow Transmitter FT-1010	37
Gambar 4.4	Control Chart X Bar Flow Transmitter FT-1011	39
Gambar 4.5	Control Chart X Bar Flow Transmitter FT-1012	41
Gambar 4.6	FTA BPCS <i>Ammonia Refrigeration System</i>	56
Gambar 4.7	FTA <i>Ammonia Refrigeration System</i> untuk Peningkatan SIL	63

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Contoh <i>standard guideword</i>	10
Tabel 2.2	Beberapa contoh korelasi antara parameter dan <i>guideword</i>	10
Tabel 2.3	Nilai <i>likelihood</i>	11
Tabel 2.4	Nilai <i>consequence</i>	11
Tabel 2.5	Kriteria <i>risk matrix</i>	13
Tabel 2.6	<i>HAZOP Worksheet</i>	14
Tabel 2.7	<i>SIL And Required Safety System Performance For Low Demand Mode System</i>	22
Tabel 4.1	<i>Study Report flow Transmitter FT-1009</i>	34
Tabel 4.2	<i>Guideword dan Deviation dari FT-1009</i>	36
Tabel 4.3	<i>Study Report Flow Transmitter FT-1010</i>	36
Tabel 4.4	<i>Guideword dan Deviation dari FT-1010</i>	37
Tabel 4.5	<i>Study Report Flow Transmitter FT-1011</i>	38
Tabel 4.6	<i>Guideword dan Deviation dari FT-1011</i>	39
Tabel 4.7	<i>Study Report Flow Transmitter FT-1012</i>	40
Tabel 4.8	<i>Guideword dan Deviation dari FT-1012.</i>	41
Tabel 4.9	<i>Guideword dan Deviation Seluruh Komponen pada Ammonia Refrigeration.</i>	42
Tabel 4.10	Kriteria <i>Likelihood Node Ammonia Refrigeration</i>	44
Tabel 4.11	Kriteria <i>Consequences Node Ammonia Refrigeration</i>	46
Tabel 4.12	<i>Risk Ranking Node Ammonia Refrigeration</i>	48
Tabel 4.13	Perhitungan TTF FT-1012	56
Tabel 4.14	Perhitungan TTF FV-1012	57
Tabel 4.15	Nilai <i>failure rate & PFD</i> komponen BPCS <i>Ammonia Refrigeration</i>	58
Tabel 4.16	Rumus PFD <i>component</i> berdasarkan <i>voting configuration</i>	61

Tabel 4.17	Nilai PFD dan SIL pada <i>Sensing Element</i>	61
Tabel 4.18	Nilai PFD dan SIL pada <i>Final Element..</i>	62
Tabel 4.19	Nilai PFD dan SIL dari SIS	64

DAFTAR SIMBOL

MTTF	<i>Mean Time To Failure</i>
λ	<i>Failure Rate</i>
Ti	<i>Test Interval</i>
$\bar{\bar{X}}$	Rata- rata data subgroup
A_3	<i>Control limit factor (chart average)</i>
B_3 & B_4	<i>Factor for control limits (chart standart deviation)</i>
\bar{s}	<i>Standart deviation of subgroup</i>
$\bar{\bar{s}}$	<i>Mean of standart deviation subgroup</i>

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

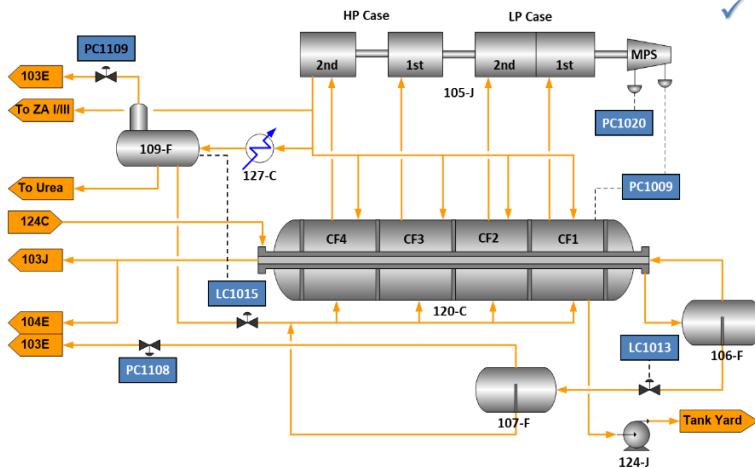
1.1 Latar Belakang

PT Petrokimia Gresik merupakan pabrik pupuk ternama dan terlengkap di Indonesia yang terbagi dalam tiga unit produksi, yaitu unit produksi I (unit pupuk nitrogen), unit produksi II (unit pupuk fosfat) dan unit produksi III (unit asam fosfat). Produksi utama industri pupuk PT Petrokimia Gresik adalah pupuk nitrogen dan pupuk fosfat. Produksi pupuk fosfat membutuhkan bahan baku utama yaitu Asam Fosfat, Amoniak, Asam Sulfat, Urea, KCl, dan ZA (Yenni,2013).

Dalam Unit I (unit pupuk nitrogen) dihasilkan salah satu bahan pupuk nitrogen yaitu amoniak, dimana amoniak merupakan bahan baku dalam pembuatan pupuk Urea, ZA,dan Phonska yang berfungsi sebagai sumber utama unsur N dan menambah *grade* pupuk tersebut. Secara umum Proses pembuatan amoniak dibagi menjadi beberapa tahap yaitu penyediaan gas synthesis, pemurnian gas synthesis, synthesis amoniak ,refrigerasi, dan *recovery purge gas* (Petrokimia Gresik,2018).

Proses refrigerasi dengan media amoniak digunakan untuk mengembunkan amoniak yang terkandung dalam *syn loop*, *recovery* amoniak dari *purge* dan *flash*, serta mendinginkan *make up gas* sebelum masuk *dryer*. Sistem refrigerasi terdiri dari: *refrigerant compressor*, *refrigerant condenser*, *evaporator*,*pump* dan *flash drum* (Petrokimia Gresik,2018).

Dengan bantuan *refrigerant condenser 120-C* yang berfungsi sebagai penukar panas dari *cooling agent* dan uap amoniak yang dihisap oleh kompresor ke kondenser , maka temperatur amoniak cair dijaga pada suhu -33° dan tekanan 16 mPa yang nantinya akan masuk ke tangki 120 CF-1 untuk menjadi produk akhir yang akan menjadi bahan baku pupuk selanjutnya (Petrokimia Gresik,2018).



Gambar 1.1 Ammonia Refrigeration (Petrokimia Gresik,2018)

Pada komponen yang menunjang sistem *heat exchanger* seperti *refrigerant condenser and compressor* pasti pernah mengalami kondisi *downtime, stuck* , maupun *trip* pada waktu yang tiba-tiba (Reza, 2014) . Kondisi ini dapat disebabkan oleh *backflow* yang terjadi pada perbedaan tekanan pada *compressor suction and discharge* (Musyafa,2015). Hal ini tentunya dapat menyebabkan bahaya karena dapat menyebabkan kebocoran *equipment* maupun kavitasi yang mengganggu proses produksi. Selain itu, kebocoran pada *liquid ammonia* dapat membahayakan karena memiliki potensi ledak dan korosif apabila terkena kulit manusia saat mengalami kebocoran. (Petrokimia Gresik, 2018)

Salah satu upaya yang bisa dilakukan untuk pencegahan kondisi tersebut adalah menerapkan metode HAZOP (*Hazard and Operability Analysis*) pada instrumen sistem tersebut. HAZOP merupakan studi keamanan yang sistematis berdasarkan pada sistem pendekatan ke arah sebuah penilaian keamanan dan operabilitas dari peralatan proses yang kompleks atau proses jalannya produksi (Crawley, 2015).

Keamanan sistem *refrigeration* juga harus diperhatikan karena mempengaruhi kualitas produksi amoniak. Sehingga risikonya dapat dikurangi seminimal mungkin melalui perawatan dan kalibrasi. Bila status sistem tidak terkendali, maka diperlukan analisis sistem keamanan *Safety Instrumented System* secara keseluruhan, dengan identifikasi dan pencegahan (Smith,2016). *Heat Exchanger* memiliki potensi bahaya dan risiko tinggi pada perusahaan minyak dan gas serta industri petrokimia (Petrokimia Gresik,2018).Sebagai komponen yang rentan terkena kebakaran dan meledak, amoniak serta uap di dalam sistem *ammonia refrigeration* memerlukan sistem pengaman agar tidak terjadi ledakan, kecelakaan, maupun hilangnya nyawa manusia (Nolan,2000).

Pertama-tama, harus mengidentifikasi bahaya dalam sistem yang menggunakan Analisis Bahaya dan Studi Operabilitas (HAZOP). Melalui analisis HAZOP , dapat dilakukan pengujian pada setiap bagian proses untuk menentukan kemungkinan penyimpangan dari desain awal (Nolan,2000). Selanjutnya ,dari permasalahan yang ada, tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk melakukan *Hazard and Operability Study* (HAZOP) dan menentukan dan meningkatkan *Safety Integrity Level* pada SIS dengan metode *Fault Tree Analysis* sehingga dapat meningkatkan keamanan sistem dan mengurangi risiko bahaya yang akan datang pada *Ammonia Refrigeration* Pabrik Amoniak Unit I PT Petrokimia Gresik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka umusan masalah pada tugas akhir ini adalah adalah sebagai berikut:

- Bagaimana analisis bahaya dengan menggunakan metode HAZOP pada *Ammonia Refrigeration* Pabrik Amoniak Unit I PT Petrokimia Gresik?
- Bagaimana perhitungan dan peningkatan nilai *Safety Integrity Level (SIL)* menggunakan *Fault Tree Analysis* pada *Ammonia Refrigeration* Pabrik Amoniak Unit I PT Petrokimia Gresik?

1.3 Tujuan

Berdasarkan penjelasan mengenai latar belakang dan rumusan masalah tersebut, maka tujuan dari pelaksanaan program ini adalah sebagai berikut:

- Untuk melakukan analisis bahaya dengan menggunakan metode HAZOP pada *Ammonia Refrigeration* Pabrik Amoniak Unit I PT Petrokimia Gresik
- Untuk menghitung dan meningkatkan nilai *Safety Integrity Level* (SIL) dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* pada *Ammonia Refrigeration* Pabrik Amoniak Unit I PT Petrokimia Gresik

1.4 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penyelesaian masalah pada penelitian tugas akhir ini diperlukan beberapa batasan masalah diantaranya sebagai berikut:

- Plant yang digunakan adalah *Ammonia Refrigeration* Pabrik Amoniak Unit I PT Petrokimia Gresik.
- Analisis bahaya pada menggunakan metode HAZOP (*Hazard and Operability Study*)
- Analisis SIL dengan metode *Fault Tree Analysis*.

1.5 Sistematika Laporan

Sistematika laporan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

a. Bab I Pendahuluan

Berisi tentang latar belakang, permasalahan, tujuan, batasan masalah dan sistematika laporan.

b. Bab II Tinjauan Pustaka

Berisi tentang teori yang berhubungan dengan proses pendinginan amoniak pada *Ammonia Refrigeration*, analisis HAZOP, serta perhitungan dan peningkatan SIL dengan metode *Fault Tree Analysis*.

c. Bab III Metodologi

Berisi tentang metode yang digunakan dalam pengerjaan penelitian dan pengolahan data.

d. Bab IV Analisis Data dan Pembahasan

Berisi tentang evaluasi pengolahan data menentukan *guide word* dan *deviation*, menyusun *risk ranking*, menghitung nilai SIL, serta mendesain ulang SIS untuk peningkatan SIL.

e. Bab V Penutup

Berisi tentang hasil penilitian, kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan, serta saran sebagai bentuk keberlanjutan dan pengembangan penelitian selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penjelasan HAZOP dari Penelitian Sebelumnya

Penulis melakukan studi pustaka atas ketelusuran pada beberapa jurnal mengenai metode HAZOP yang dilakukan pada plant *Ammonia Refrigeration* PT Petrokimia Gresik pada penelitian-penelitian sebelumnya. Yang pertama yaitu jurnal penelitian Musyafa, A. , Ronny Dwi Noriyati, Amarendra B. Prakoso, „ yang berjudul "*HAZOP Study and Determination of Safety Integrity Level Using Fault Tree Analysis on Fuel Gas Superheat Burner of Ammonia Unit in Petrochemical Plant, East Java,*" Pada penelitian tersebut Musyafa ,A., Nabila Resti, dan Ronny D. Noriyati melakukan analisis HAZOP serta perhitungan dan peningkatan nilai SIL pada *Primary Reformer Fuel Gas Superheat Burner*. Berdasarkan analisis bahaya dengan HAZOP diketahui komponen PT-1018 dan TT-1005 memiliki risk ranking 20 yang tergolong dalam *kategori high risk*. Sedangkan komponen PT-1013, TT-1020 termasuk dalam kategori 2 moderate, dan komponen lainnya masuk kategori *low risk* ,sehingga dilakukan analisis HAZOP untuk menurunkan risiko tersebut dengan mendesain ulang SIS untuk meningkatkan SIL sistem.

Sebagai tindak lanjut dari analisis risiko dengan HAZOP serta perhitungan SIL *existing plant* , muncul rekomendasi untuk meminimalisir bahaya melalui peningkatan nilai SIL yang disepakati dengan cara memberi tambahan komponen pengaman dan kegiatan pengaman sebagai upaya penurunan risiko. SIL ditingkatkan satu tingkat lebih tinggi dari SIL sistem *superheat burner* keseluruhan. Untuk menguji hasil rancangan SIS dalam meningkatkan SIL dilakukan perhitungan tingkat keamanan sistem pada *superheat burner*. Evaluasi sistem SIS

yang dirancang mempu memenuhi nilai SIL target yang ditentukan sebelumnya.

Jurnal penelitian selanjutnya yaitu karya Musyafa ,A., Nabila Resti, Ronny D. Noriyati yang berjudul ,“*Hazard And Operability Study and Analysis of Safety Integrity Level Case Study: Ammonia Refrigerant Compressor at Petrochemical Plant,*” Advances in Natural and Applied Sciences, 9(8) July 2015, Pages: 36-42.Pada penelitian tersebut Musyafa ,A., Nabila Resti, Ronny D. Noriyati melakukan analisis resiko dengan menggunakan metode HAZOP penilitian ini sistem pendingin di Pabrik Petrokimia ada amonia kompresor pendingin 105 J yang beroperasi untuk menaikkan tekanan uap amonia itu berasal dari drum refrigeran 120 CF *flash* dan menjaga tekanan pada refrigeran flash drum 120 CF untuk mempertahankan suhu produk amonia cair mereka pada -33° C. Untuk menghindari risiko yang terjadi pada kompresor pendingin amonia 105 J, dilakukan identifikasi potensi Bahaya yang dapat terjadi dalam proses di amonia kompresor pendingin 105 J dengan menggunakan *Hazard and Operability Analysis* (HAZOP) dan Analisis SIL.

Dalam penelitian ini ditentukan empat node yang terdiri dari pendingin amonia kompresor tahap 1 sampai 105 J kompresor pendingin amonia 105 J tahap 4. Berdasarkan identifikasi 20 instrumen dipasang di keempat node, valve LV 1024 yaitu level 1024 yang memiliki risiko paling tinggi. Hasil matriks risiko pada empat node kompresor pendingin 105 J, terdapat resiko *low risk* dengan persentase 21,62%. Resiko *moderate risk* memiliki yang tertinggi jumlah persentase sebesar 72,97% dan *high risk* dengan paling sedikit persentase sebesar 5,40%. Rekomendasi HAZOP pada valve LV 1024 dengan menambahkan redundant menghasilkan tingkat kegagalan yang jauh lebih rendah sehingga meningkatkan SIL 0 menjadi SIL 2 pada plant tersebut.

2.2 Hazard and Operability Study (HAZOP)

Hazard and Operability Study (HAZOP) adalah metode yang digunakan untuk menganalisis dan melakukan penilaian bahaya atau *hazard* pada suatu sistem peralatan atau proses secara efisien . Metode ini menggunakan teknik kualitatif yang di eksekusi oleh beberapa personil grup untuk mengidentifikasi potensi bahaya dengan menggunakan sekumpulan *guide words*. HAZOP digunakan untuk menjelaskan setiap bagian dari proses untuk mengetahui penyimpangan-penyimpangan dari desain yang telah dibuat dan apa penyebab dan akibatnya. berlangsung . Secara garis besar HAZOP dijalankan dengan mengikuti prosedur berikut ini (Crawley,2015):

- Pengumpulan gambaran selengkap-lengkapnya setiap proses yang ada dalam sebuah pabrik.Analisis dilakukan dengan menganalisis *Piping and Instrumentation Diagram* untuk mengetahui alur dari sebuah sistem proses yang mencakup jalur pipa, *instrument, transmitter, valve*, dan lain sebagainya.
- Penentuan *node*
Node ditentukan untuk memperjelas pemisahan sub-proses dengan sub-proses yang lain berdasarkan bagian-bagian yang memiliki peluang bahaya yang sama.
- Penentuan *loop* pengendalian
Dari masing-masing *node* ditentukan jenis *loop* pengendaliannya. Contohnya adalah pengendalian *temperature*, pengendalian *pressure*,pengendalian *flow* dan lain sebagainya.
- Pengumpulan data *maintenance* dan data proses
Data *maintenance* yang digunakan untuk menentukan kriteria nilai *likelihood*. Kriteria *likelihood* ini berdasarkan seberapa sering komponen mengalami kegagalan operasi selama kurung waktu lima tahun. Kriteria ini kemudian divalidasi oleh operator. Data

proses digunakan untuk mengetahui penyimpangan agar dapat menentukan *guide word* dan deviasi terhadap parameter.

Tabel 2.1 Contoh *standard guideword* (sesuai *The Standard Australia/ New Zealand AS/NZS 4360:2004*)

<i>Guidewords</i>	<i>Meaning</i>
<i>No (not, none)</i>	Tidak ada tujuan parameter yang tercapai
<i>More (more of, higher)</i>	Kenaikan kuantitatif pada parameter
<i>Less (less of, lower)</i>	Penurunan kuantitatif pada parameter
<i>As well as (more than)</i>	Adanya aktivitas tambahan
<i>Part of</i>	Hanya beberapa tujuan parameter tercapai
<i>Reverse</i>	Terjadi kebalikan dari tujuan parameter
<i>Other than (other)</i>	Aktivitas lain terjadi atau aktivitas yang tidak biasa terjadi atau kondisi yang tidak biasa ada

Tabel 2.2 Hubungan antara parameter dan *guideword* (sesuai *The Standard Australia/ New Zealand AS/NZS 4360:2004*)

Parameter	<i>Guidewords</i>
<i>Flow</i>	<i>None; more of; less of; reverse; as well as</i>
<i>Temperature</i>	<i>Higher; lower</i>
<i>Pressure</i>	<i>Higher; lower; reverse</i>

Tabel 2.2 (Lanjutan)

<i>Level</i>	<i>Higher; lower; none</i>
<i>Mixing</i>	<i>Less; more; none</i>
<i>Composition</i>	<i>Part of; as well as; other than</i>
<i>Communication</i>	<i>None; part of; more of; less of; other; as well as</i>
<i>Reaction</i>	<i>Higher (rate of); lower (rate of); none; reverse; as well as/other than; part of</i>
<i>Phase</i>	<i>Other; reverse; as well as</i>

1. Penentuan nilai *likelihood* dan *consequence*

Nilai probabilitas (*likelihood*) dan *consequence* disesuaikan dengan *The Standard Australia/ New Zealand AS/NZS 4360:2004* atau milik perusahaan.

Tabel 2.3 Kriteria *likelihood* (sesuai *The Standard Australia/ New Zealand AS/NZS 4360:2004*)

<i>Level</i>	<i>Descriptor</i>	<i>Description</i>
A	<i>Almost certain</i>	Risiko terjadi lebih dari 5 kali dalam 10 tahun
B	<i>Likely</i>	Risiko terjadi 4-5 kali dalam 10 tahun
C	<i>Moderate</i>	Risiko terjadi 3 kali atau kurang dari 4 kali dalam 10 tahun

Tabel 2.3 (Lanjutan)

D	<i>Unlikely</i>	Risiko terjadi 2 kali dalam 10 tahun
E	<i>Rare</i>	Risiko jarang sekali terjadi atau kurang dari 2 kali dalam 10 tahun

Tabel 2.4 Kriteria consequence (*The Standard Australia/ New Zealand AS/NZS 4360:2004*)

<i>Level</i>	<i>Descriptor</i>	<i>Description</i>
1	<i>Insignificant</i>	Sistem beroperasi & aman, terjadi sedikit gangguan tidak berarti
2	<i>Minor</i>	Sistem tetap beroperasi & aman, gangguan mengakibatkan sedikit penurunan performasi atau kinerja sistem terganggu
3	<i>Moderate</i>	Sistem dapat beroperasi, kegagalan dapat mengakibatkan mesin kehilangan fungsi utamanya dan/ dapat menimbulkan kegagalan produk
4	<i>Major</i>	Sistem tidak dapat beroperasi. Kegagalan dapat menyebabkan terjadinya banyak kerusakan fisik & sistem, dapat menimbulkan kegagalan produk
5	<i>Catastrophic</i>	Sistem tidak layak operasi, keparahan yang sangat tinggi bila kegagalan mempengaruhi sistem yang aman, melanggar peraturan Keselamatan Kerja

2. Penyusunan *risk matrix*

Kriteria *risk matrix* diperoleh dari hasil perkalian probability dan *consequence*. Kriteria *risk matrix* disesuaikan dengan *The Standard Australia/ New Zealand (AS/NZS 4360:2004)* atau milik perusahaan terkait..

Tabel 2.5 Kriteria *risk matrix* (sesuai *The Standard Australia/ New Zealand AS/NZS 4360:2004*)

Likelihood	Consequences				
	Insignificant	Minor	Moderate	Major	Catastrophic
	1	2	3	4	5
A (Almost certain)	H	H	E	E	E
B (Likely)	M	H	H	E	E
C (Moderate)	L	M	H	E	E
D (Unlikely)	L	L	M	H	E
E (Rare)	L	L	M	H	H

Keterangan :

E = *Extreme Risk*

M = *Moderate Risk*

L = *Low Risk*

H = *High Risk*

7. Penyusunan HAZOP Worksheet

Hasil analisis bahaya menggunakan *HAZOP* akan terangkum pada *HAZOP Worksheet*. *HAZOP Worksheet* digunakan untuk mempermudah pembacaan hasil analisis bahaya yang sudah dilakukan. Adapun bentuk *HAZOP Worksheet* seperti berikut (Nolan, 2000).

Tabel 2.6 HAZOP Worksheet (Nolan,2000)

G W	De v.	Caus es	Consequ ence	Safegua rds	S	L	R	Reco mnd	Comm ents

Berdasarkan langkah-langkah tersebut maka untuk melakukan analisa HAZOP diperlukan dokumen-dokumen antara lain :

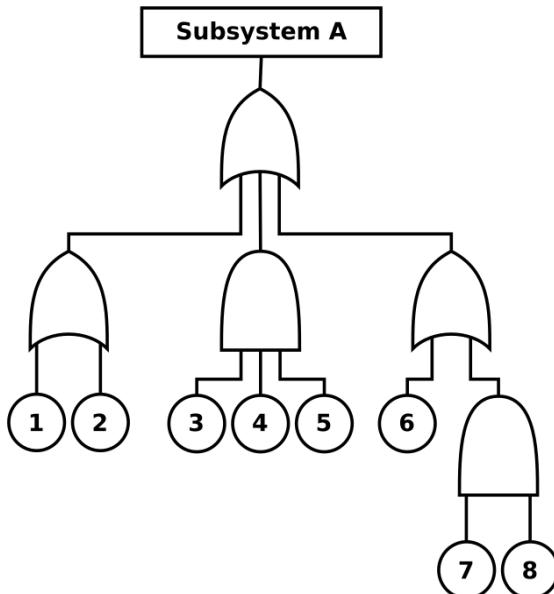
- a. *Process Flow Diagram (PFD)*
- b. *Piping and Instrumentation Diagram (P&ID)*
- c. *Data maintenance*
- d. *Operating instructions*
- e. *Procedure documents/Description of operation*
- f. Dokumen-dokumen lain yang relevan dengan sistem

2.3 Fault Tree Analysis (FTA)

Ada banyak cara yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi kegagalan pada suatu proses, salah satu contohnya adalah metode FTA (*Fault Tree Analysis*) . *Fault Tree Analysis* adalah suatu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi resiko yang berperan terhadap terjadinya kegagalan. Metode ini dilakukan dengan pendekatan yang bersifat *top down*, yang diawali dengan asumsi kegagalan atau kerugian dari kejadian puncak (*Top Event*) kemudian merinci sebab-sebab suatu *Top Event* sampai pada suatu kegagalan dasar (*root cause*). Selain itu metode FTA dapat digunakan

untuk mempresentasikan seberapa handal suatu komponen didalam sebuah sistem. Identifikasi dengan menggunakan FTA digunakan untuk mengetahui kombinasi sebab terjadinya kegagalan dari fungsi suatu komponen yang mempunyai dampak terhadap keselamatan kerja, produksi industri, dan lingkungan kerja sekitar (Smith,2016). Alur proses dari analisis FTA sendiri adalah sebagai berikut (Musyafa,2015).

- Mendefinisikan *Top Event* yang tidak diinginkan dalam sistem yang akan diamati . Contoh : *Burner Failure* beserta *basic event* yang menyebabkannya.
- Mengilustrasikan sebuah diagram logika dan detail yang memperlihatkan kombinasi dari event yang mempengaruhi *top event*. Sebuah sistem FTA menggambarkan keadaan dan kegagalan komponen sistem (*basic event*) dan hubungannya dengan *top event* menggunakan gerbang logika yang terkait.



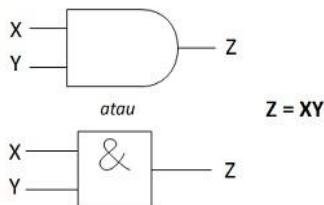
Gambar 2.1 Fault Tree Analysis (Smith,2016)

Dalam pembuatan FTA digunakan simbol grafis yang disebut gerbang logika (*logic gate*) sesuai dengan gambar 2.1. Untuk output dari gerbang logika ditentukan oleh input-input dari gerbang logika itu sendiri. Berikut ini adalah gerbang logika yang digunakan pada FTA (ISA,2002) :

- Fungsi AND

Fungsi AND akan menghasilkan output (1) atau TRUE hanya jika semua input (1) atau TRUE. Fungsi AND bisa mempunyai input tidak terbatas, namun hanya mempunyai satu output. Dalam analisis FTA ini nilai 1 yaitu gagal (komponen atau sistem gagal), dan nilai 0 yaitu baik (komponen atau sistem dalam kondisi baik). Gambar 2.2 merupakan *logic* fungsi AND dengan dua *input* beserta dengan tabel kebenarannya.

Simbol Gerbang AND

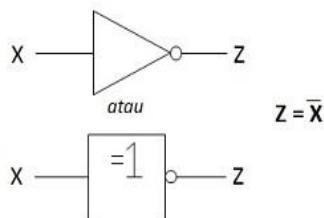


Tabel Kebenaran Gerbang AND

X	Y	Z
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Gambar 2.2 And Gate dan Tabel Kebenaran And Gate

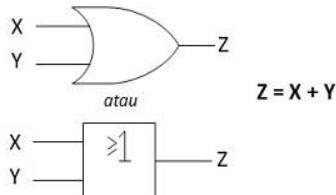
Simbol Gerbang NOT



Tabel Kebenaran Gerbang NOT

X	Z
0	1
1	0

Gambar 2.3 NOT Gate dan Tabel Kebenaran NOT Gate

Simbol Gerbang ORTabel Kebenaran Gerbang OR

X	Y	Z
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Gambar 2.4 NOT Gate dan Tabel kebenaran NOT gate

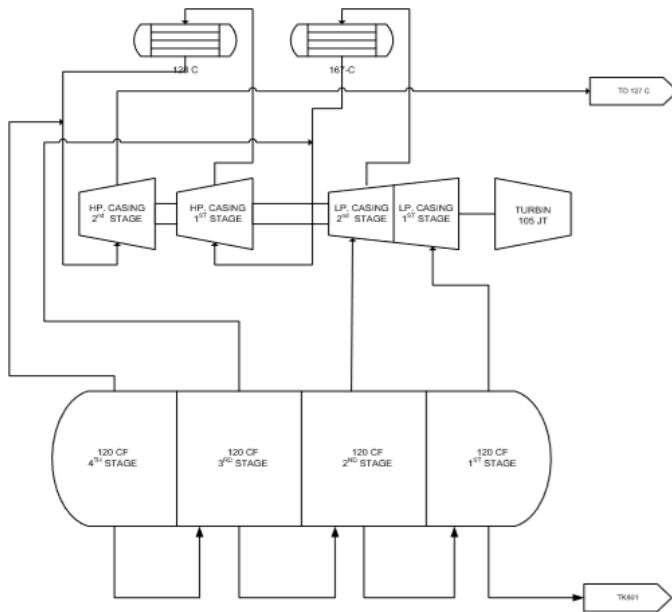
- Fungsi OR

Fungsi OR akan menghasilkan output (1) atau TRUE jika satu atau lebih input adalah (1) atau TRUE. Sebagaimana fungsi AND, fungsi OR bisa mempunyai *input* tidak terbatas, namun hanya mempunyai satu *output*. Dalam analisa FTA ini nilai 1 yaitu gagal (komponen atau sistem gagal), dan nilai 0 yaitu baik (komponen atau sistem dalam kondisi baik). Gambar 2.3 adalah fungsi OR dengan dua input beserta tabel kebenarannya.

- Fungsi NOT

Fungsi NOT akan menghasilkan output (1) atau gagal jika inputnya 0 atau baik. Output dari fungsi NOT selalu kebalikan dari keadaan inputnya, tidak seperti fungsi AND dan fungsi OR, fungsi NOT hanya mempunyai satu input dan satu output. Gerbang NOT hanya memerlukan sebuah Masukan (Input) untuk menghasilkan hanya 1 Keluaran (Output). Gerbang NOT disebut juga dengan Inverter (Pembalik) karena menghasilkan Keluaran (Output) yang berlawanan (kebalikan) dengan Masukan atau Inputnya. Berarti jika kita ingin mendapatkan Keluaran (Output) dengan nilai Logika 0 maka Input atau Masukannya harus bernilai Logika 1. Gerbang NOT biasanya dilambangkan dengan simbol minus (“-”) di atas Variabel Inputnya. Gambar 2.4 merupakan fungsi NOT dengan input dan output beserta tabel kebenarannya

2.4 Proses Ammonia Refrigeration



Gambar 2.5 PFD Ammonia Refrigeration System
(Petrokimia Gresik,2018)

Proses refrigerasi amoniak adalah proses pendinginan amoniak dengan media amoniak itu sendiri untuk mencapai produk akhir yaitu *liquid ammonia* untuk bahan baku selanjutnya. Proses dengan melakukan *startup* yaitu memompa *liquid ammonia* dari *storage tank* ke dalam *flash drum* 120-CF . Setelah itu mengembunkan amoniak yang terkandung dalam *synthesia loop* , *recovery* amoniak dari *purge* dan *flash*, serta mendinginkan *make up gas* yaitu amonia sebelum masuk *dryer*.(Petrokimia Gresik, 2018). Sistem refrigerasi amoniak terdiri dari :

- *Refrigerant Compressor* ,105-J
- *Refrigerant condenser* , 127-C
- *Flash drum*. 120-CF
- *Cold ammonia product pump*, 124-J/JA
- *Warm ammonia product pump*, 113-J/JA

Jenis operasi yang dilakukan pada ammonia refrigeration ini ada 2 jenis yaitu *cold operation* dan *normal operation*, dimana saat *cold operation* produk akhir yang disimpan pada *storage tank* adalah amoniak yang berasal dari tangki *flash drum* 120- CF1 , sedangkan pada *normal operation* produk akhir yang digunakan sebagai produk akhir adalah ammonia yang berasal dari tangki *flash drum* 120- CF4.(Petrokimia Gresik, 2018)

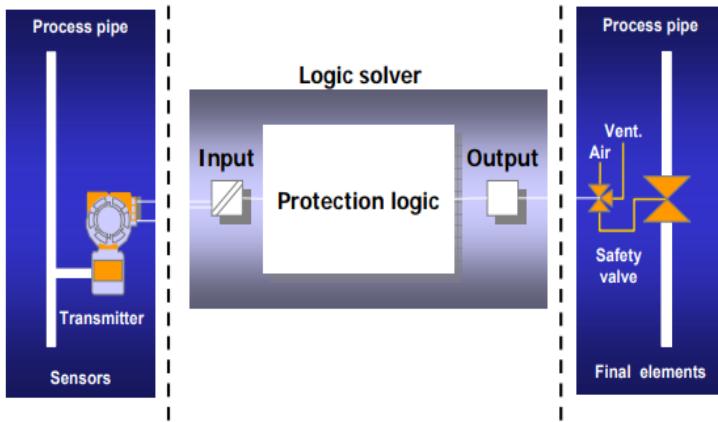
Sebagian besar operasi dilakukan adalah *cold operation* untuk mendapatkan input berupa uap amonia yang berasal dari *drum flash refrigerant*. Pada sistem kompresor uap, amonia melewati empat tahap, yaitu LP. *Casing 1st Stage*, LP. *Casing 2nd stage*, HP. *casing 1st Stage* dan HP. *Casing 2nd Stage*. Setiap tahap berfungsi untuk mengambil uap refrigeran yang berasal dari masing-masing *drum flash* sambil menjaga tekanannya . Tahap 1 dipertahankan tekanan sekitar 0,05 kg / cm² dan suhu -33 ° C, tahap 2 menjaga tekanan sekitar 1,8 kg / cm² dan suhu -12 ° C, tahap 3 menjaga tekanan sekitar 3,4 kg / cm² dan suhu -12 ° C. Tahap 4 menjaga tekanan sekitar 7,9 kg / cm² dan suhu 13 ° C yang bertujuan untuk menjaga agar suhu amoniak cair tetap dingin.(Petrokimia Gresik, 2018)

Setiap tahap dalam *drum refrigerant* amonia terdapat *flash antisurge control* yang berfungsi untuk mempertahankan laju aliran input ke *compressor suction* memenuhi nilai minimum untuk mencegah *surge* arus ketika aliran menuju *compressor* menjadi sangat rendah sementara tekanan pada laju aliran debit sebaliknya yang lebih tinggi dapat menyebabkan *backflow* yang berpotensi merusak kompresor. *flash antisurge control* dipasang pada tahap 1 hingga tahap 4 dengan nomor dan penamaan tag jenis ini FIC-1012/1011/1010/1009, FT-

1012/1011/1010/1009 dan FV-1012/1011/1010/1009. Selain itu ada juga *flash antisurge control* yang menjaga level *flash drum* agar terhindar dari level *low-low* dan level *high-high* karena akan menyebabkan kerusakan pada kompresor dan kavitas pada dinding *flash drum*. (Musyafa,2015)

2.5 Safety Instrumented Systems (SIS)

Safety Instrumented Systems adalah sekumpulan dari SIF (*Safety Instrumented Function*) yang didesain untuk memberikan fungsi keamanan pada proses industri dari *event* bahaya yang dideteksi. Contoh aplikasi SIS adalah *Emergency Shutdown System (ESD)*, *Protective Instrument Systems (PIS)*, *Safety Shutdown System (SSD)*, dan *Safety Interlock System*). (R. Kuphaldt,2015)



Gambar 2.6 Safety Instrumented System (SIS)
(Yokogawa,2010)

Secara umum, SIS terdiri dari 3 komponen penyusun utama yaitu *SIS sensor*, *SIS Controller (Logic Solver)*, dan *SIS final control element*.

- *SIS Sensor*

Sensor berfungsi sebagai komponen yang mempunyai fungsi untuk mengukur suatu besaran seperti *pressure*, *temperature*, *flow*, dan *level*. Bentuk paling sederhana dari sensor adalah sebuah *process switch*. *SIS sensor* harus dikalibrasi dan dikonfigurasi secara benar untuk mengindikasi adanya suatu bahaya. SIS sensor harus terpisah dan berbeda dari sensor pada proses utama, untuk proteksi diatas proteksi dari BPCS. Dalam SIS sensor difungsikan sebagai *sensing element* yang akan memberikan sinyal kepada *logic solver* ketika dikenai oleh fluida. Contoh dari SIS sensor adalah *pressure transmitter*, *level transmitter*, *flow transmitter*, dan *temperature transmitter*.

- *SIS Controller/Logic solver*

SIS Controller merupakan sebuah kontroler digital yang didesain secara khusus untuk keperluan SIS. *SIS Controller* berfungsi untuk memproses sinyal bahaya yang terdeteksi pada SIS sensor yang didalamnya terdapat logika-logika yang digunakan dalam prosesnya. Logika ini digunakan dalam pemrosesan data sehingga proses yang berjalan sesuai dengan logika yang telah dibuat. *Control safety* pada dasarnya diskrit tergantung pada outputan sinyalnya. *Logic solver* menerima sinyal dari sensor, kemudian diproses sesuai dengan logika yang sudah dibuat dan *logic solver* mengirimkan sinyal ke *final element* untuk dieksekusi. Contoh SIS Controller adalah *Safety PLC*.

- *SIS Final Control Element*

SIS Final control element adalah komponen yang dibutuhkan untuk respon eksekusi dari bahaya yang dideteksi oleh sensor dan diproses oleh *logic solver*. .. Jenis *valve* yang digunakan biasanya menggunakan *globe valve* maupun *rotary valve* dengan sistem *on/off* sehingga jika terjadi gangguan, maka *valve* akan secara cepat dan akurat melakukan tindakan pencegahan secara langsung dan memberikan pengamanan pada proses. Contoh dari *SIS Final Control Element* adalah

Safety Valve, Pressure – relief Valve, dan lain-lain. (R. Kuphaldt,2015)

2.6 Safety Integrity Level (SIL)

Safety Integrity Level (SIL) adalah cara umum yang digunakan untuk menilai tingkat keandalan dari Safety Instrumented Function (SIF) yang memiliki skala 1-4, dimana skala 4 adalah skala *extremely dependable* dan 1 adalah skala *moderately dependable..* dari suatu komponen instrument yang terkofigurasi dengan safety instrumented system (SIS) maupun *Safety Instrumented Function (SIF)* seperti *sensor, logic solver, dan final element* (R. Kuphaldt,2015). Cara menentukan nilai SIL dari suatu komponen adalah pertama -tama dengan cara mengetahui nilai laju kegagalan atau *failure rate* (λ) yang selanjutnya dapat digunakan untuk menentukan nilai *Probability of Failure on Demand (PFD)* dengan rumus $PFD = \frac{\lambda \cdot Ti}{2}$ (ISA,2002), dimana λ adalah laju kegagalan yang di dapat dari *historical data maintenance* dan Ti adalah *test interval* yang digunakan yaitu umumnya 1,3,6,9,12 bulan atau pun 10 tahun.(Musyafa,2015). Setelah mendapatkan nilai PFD dari suatu komponen maka kemudian mencari tingkat SIL dengan mencocokkan nilai SIL yang ada sesuai dengan tabel standard SIL pada IEC 61508. Berikut ini adalah standard nilai SIL sesuai range nilai PFD. Apabila nilai PFD melebihi 0.1 maka akan dinyatakan dengan SIL 0 atau disebut dengan *no safety requirements.*(R. Kuphaldt,2015)

Perhitungan nilai SIL dapat diperoleh pertama-tama dari *data maintenance* dan sangat penting untuk *life cycle*. Metode yang digunakan adalah metode kuantitatif yaitu menghitung *failure rate* dari MTTF (*mean time to failure*) setiap *equipment* dan instrumen yang akan diteliti dengan menggunakan persamaan 2.1 berikut ini (ISA,2002) :

$$\lambda = \frac{1}{(MTTF)} \quad (2.1)$$

Dimana :

$\lambda = \text{failure rate}$ (laju kegagalan)

MTTF = *Mean Time To Failure*

Setelah itu, untuk menentukan nilai *Probability of Failure on Demand* (PFD) dapat menggunakan persamaan 2.2 dan 2.3 sebagai berikut ini (Yokogawa,2010)(ISA,2002):

$$\text{PFD avg element} = \frac{\lambda \cdot Ti \text{ element}}{2} \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} \text{PFD avg SIF} &= \text{PFD avgSensor} + \\ \text{PFD avgLogicSolver} &+ \text{PFD avgFinalElement} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Dimana :

$\lambda = \text{Failure Rate}$

$Ti = \text{Test Interval}$

Tabel 2.7 SIL And Required Safety System Performance For Low Demand Mode System (IEC 61508,1997)(ISA,2002)

Safety Integrity Level(SIL)	Probability Failure on Demand (PFD)	Safety Availability	Risk Reduction Factor (RRF)	PFH = Probability of Failure per Hour
4	0.0001-0.00001	99.99-99.999%	10000-1000000	< 10-8
3	0.001-0.0001	99.9-99.99%	1000-10000	$\geq 10^{-8}$ to < 10-7
2	0.01-0.001	99-99.9%	100-1000	$\geq 10^{-7}$ to < 10-6
1	0.1 – 0.01	90-99%	10-100	$\geq 10^{-6}$ to < 10-5

Dari tabel dan persamaan-persamaan tersebut dapat diketahui bahwa nilai PFD dipengaruhi oleh laju kegagalan peralatan dan *test interval*. Nilai PFD dapat digunakan untuk menentukan SIL dari suatu sistem, dengan menggunakan Tabel 2.7 dapat diketahui nilai PFD dan nilai SIL nya. Untuk SIL 1 menunjukkan *level* keamanan rendah (*lowest safety requirements*) atau kemungkinan terjadinya *failure* semakin besar. Sedangkan SIL 4 berarti *level* keamanannya tinggi atau kemungkinan terjadi *failure* semakin kecil.(IEC 61508,1997)(ISA,2002).

Untuk mendapatkan nilai *failure rate* dilakukan dengan menganalisis *data maintenance* dan *failure* atau *commercial failure rate data*, yaitu data diperoleh dari *database failure rate* seperti salah satunya adalah dari OREDA (*Offshore Reliability Data*) (Smith,2016). *Failure rate* dan *test interval* mempengaruhi nilai PFD dari sebuah komponen. Jika laju kegagalan semakin besar maka peluang terjadinya kegagalan akan semakin besar dan sebaliknya. Selain itu, nilai *test interval* yang tinggi membuat peluang kegagalan komponen semakin besar begitu juga sebaliknya (Musyafa,2015).

2.7 Control Chart X Bar – S

Control chart X Bar - S merupakan salah satu kegiatan *statistic process control* yang beruntuk mengetahui karakteristik proses yang dikendalikan terhadap periode waktu tertentu. Selain itu juga untuk menentukan batas atas, bawah, dan kendali. Berdasarkan data proses yang *plant* dapat diketahui apakah proses tersebut dalam range kendali atau justru diluar kendali (*out of control*). Pada tugas akhir ini menggunakan control chart jenis Xbar serta batas-batas kendali menggunakan upper control limit (UCL)/ batas kendali atas, lower control limit (LCL)/ batas bawah, dan center line (CL) / batas tengah. Dalam kaitannya dengan HAZOP, control chart digunakan untuk menentukan deviasi yang sesuai. Metode ini dapat mengeliminasi *guidewords* sehingga hanya

guidewords yang masuk akal yang dianalisis. Meskipun kurang direkomendasikan namun metode ini dapat mempersingkat waktu analisis. *Parameter control chart* tersebut didapatkan dari perhitungan persamaan dibawah ini (Musyafa,2015). Konstanta/Faktor-faktor *Control Chart* yang digunakan pada persamaan terlampir pada Lampiran E

Xbar Chart

$$CL_{\bar{x}} = \bar{X} \quad (2.4)$$

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{X} + A_3 S \quad (2.5)$$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{X} - A_3 \bar{S} \quad (2.6)$$

S Chart

$$CL_S = \bar{s} \quad (2.7)$$

$$UCL_{\bar{s}} = B_4 \bar{s} \quad (2.8)$$

$$LCL_{\bar{s}} = B_3 \bar{s} \quad (2.9)$$

Dimana :

\bar{X} = rata-rata data subgrup

A_3 = *control limit factor (chart average)*

B_3 & B_4 = *factor for control limits (chart standart deviation)*

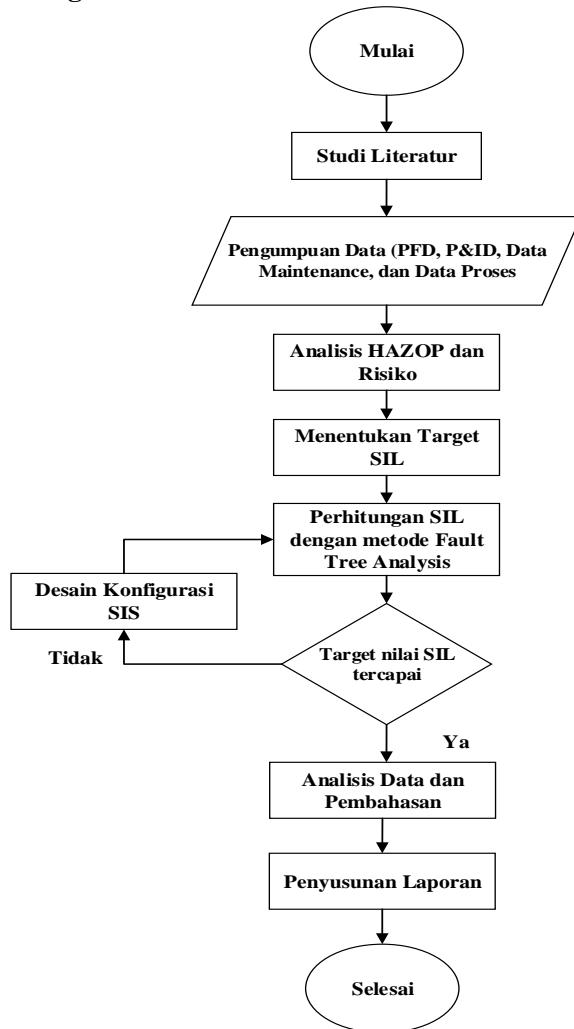
\bar{s} = *standart deviation of subgroup*

\bar{S} = *mean of standart deviation subgroup*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Tahapan Penelitian

Tahap-tahap penelitian pada tugas akhir ini menyangkut hal-hal sebagai berikut :

a. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memahami konsep tentang tugas akhir yang akan dilaksanakan. Studi ini dilakukan dengan membaca referensi buku, jurnal, dan data-data yang sekiranya diperlukan sebagai pendukung untuk mengerjakan tugas akhir ini.

b. Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dimaksud adalah mengumpulkan data-data yang akan diproses maupun data-data penunjang lainnya. Pengumpulan data utama pada pelaksanaan Tugas Akhir ini adalah *Process Flow Diagram*, P&ID, serta data proses(Crawley,2015). Pengumpulan data yang dimaksudkan adalah mengumpulkan data yang akan diproses maupun data-data pendukung lainnya. Data utama dalam pengerjaan tugas ini adalah *data maintenance*, P&ID, data proses dan literatur literatur, Literatur yang digunakan untuk mengumpulkan informasi terkait dengan tugas akhir ini yaitu beberapa jurnal, artikel, internet, buku, data sekunder, dan laporan tugas akhir yang pernah dilakukan. Topik literatur dalam tugas akhir ini adalah mengenai HAZOP dan SIL Dalam P&ID terdapat BPCS (*Basic Process Control System*) yang digunakan sebagai *equipment* utama pada proses . *Equipment-equipment* yang digunakan ditunjukkan pada gambar 2.5 (Petrokimia Gresik,2018)

c. Analisis HAZOP dan Identifikasi Risiko

Analisis HAZOP dan Identifikasi Risiko dilakukan dengan membaca data proses maupun studi yang telah dilakukan oleh perusahaan yang akan dicocokan dengan data pada P&ID sehingga muncul parameter-parameter yang digunakan sesuai pada poin 2.1 untuk menentukan isi dari HAZOP tersebut. *Data Process* dan studi akan mengacu kepada Unit 1 Produksi Amoniak PT. Petrokimia Gresik.

d. Perhitungan Safety Integrity Level

Perhitungan SIL dilakukan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* dengan menentukan *Top event* dari analisis HAZOP dan juga menghitung *Probability Failure on Demand* dari *historical data maintenance equipment* yang ingin diteliti pada node *Ammonia Refrigeration* sehingga diketahui penyebab *failure* dan didapatkan nilai SIL dari PFD yang telah dihitung. (Musyafa,2017). Setelah itu menentukan nilai target SIL untuk menghasilkan rekomendasi minimalisasi bahaya pada sistem. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan FTA dengan menentukan *Top event* dari analisa HAZOP yang telah dilakukan. Sehingga akan terlihat akar-akar penyebab kegagalannya. Nilai SIL didapatkan dengan cara memasukan nilai PFD pada masing masing *basic event* yang nantinya akan dihitung menggunakan gerbang logika pada FTA (Smith,2016). Nilai SIL didapatkan dengan menghitung nilai PFD yang kemudian hasilnya akan diklasifikasikan pada tabel 2.7 (IEC 61508, 1997). Nilai PFD ditentukan melalui persamaan 2.2 dan 2.3 pada bab sebelumnya.

e. Analisis Data , Peningkatan SIL ,dan Perancangan Konfigurasi SIS

Setelah dilakukan Perhitungan SIL, dilakukan analisis dan perancangan konfigurasi SIS dengan meningkatkan nilai SIL sesuai dengan data yang telah diperoleh.

f. Penyusunan Laporan

Menyusun laporan mengenai tugas akhir yang dilakukan dari awal sampai akhir yang merupakan langkah terakhir dalam penelitian atau penggerjaan tugas akhir ini.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Alur Proses Pendinginan Amoniak

Alur proses refrigerasi amoniak dengan melakukan *startup* yaitu memasukkan *liquid ammonia* dari *storage tank* ke dalam *flash drum* 120-CF . Setelah itu mengembunkan amoniak yang terkandung dalam *syn loop* , *Recovery Amoniak* dari *purge* dan *flash*, serta mendinginkan *make up gas* sebelum masuk *dryer*.

Sistem refrigerasi amoniak terdiri dari :

- *Compressor* ,105-J
- *Refrigerant condenser* , 127-C
- *Flash drum*. 120-CF
- *Cold ammonia product pump*, 124-J/JA
- *Warm ammonia product pump*, 113-J/JA

Jenis operasi yang dilakukan pada *ammonia refrigeration* ini ada 2 jenis yaitu *cold operation* dan *normal operation*, dimana saat *cold operation* produk akhir yang disimpan pada *storage tank* adalah amoniak yang berasal dari tangki *flash drum* 120- CF1 , sedangkan pada *normal operation* produk akhir yang digunakan sebagai produk akhir adalah ammonia yang berasal dari tangki *flash drum* 120- CF4. Sebagian besar operasi dilakukan adalah *normal operation*.

Setiap tahap pada *ammonia refrigeration system* ini berfungsi untuk mengambil uap refrigeran yang berasal dari *flash drum* dengan menggunakan kompresor 105-J sambil menjaga tekanan pada *drum* . Tahap 1 terjadi pada *flash drum* 120-CF1 dipertahankan tekanan sekitar 0,05 kg / cm² dan suhu -33 ° C, tahap 2 terjadi pada *flash drum* 120-CF2 menjaga tekanan sekitar 1,8 kg/cm² dan suhu -12 ° C, tahap 3 terjadi pada *flash drum* 120-CF3 menjaga tekanan sekitar 3,4 kg/cm² dan suhu -12 ° C. Tahap 4 terjadi pada *flash drum* 120-CF4 menjaga tekanan sekitar 7.9 kg

/ cm² dan suhu 13 ° C yang bertujuan untuk menjaga agar suhu amoniak cair tetap dingin.

Kompresor refrigerasi menggunakan 4 tingkatan yaitu *LP. Casing 1st Stage, LP. Casing 2nd Stage, HP. 1st Stage casing* dan *HP. Casing 2nd Stage*. Setiap tingkatan tersebut bertujuan untuk menjaga temperatur dan tekanan pada *flash drum* 120 CF-1, 120 CF-2, 120 CF-3, dan 120 CF-4. Masing-masing kompresor tersebut memiliki *kickback* berupa *antisurge* untuk mencegah *backflow* pada kompresor 105 J. Komponen tersebut adalah FT 1012/1011/1010/1009 , FIC 1012/1011/1010/1009, dan FV 1012/1011/1010/1009. Sebagai tambahan terdapat juga *surge control level* berupa LT 1021/1022/1023/1024 , LIC 1021/1022/1023/1024, dan LV 1021/1022/1023/1024 sebagai *Basic Process Control System*.

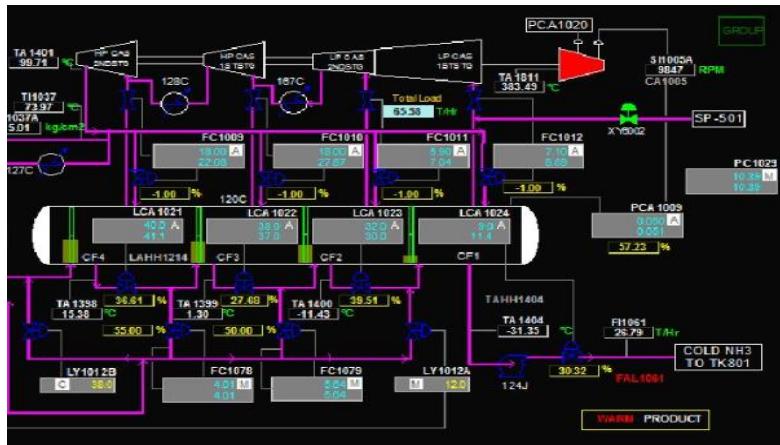
Tekanan pada sistem refrigerasi amoniak tinggi dapat terjadi dan dapat mengakibatkan kerusakan apabila :

- Beban kompresor rendah.
- Terjadi akumulasi gas inert maka tambah pembuangan gas inert di 109-F
- Kurangnya pendinginan di kondenser amoniak
- Miskonfigurasi *flow* dan *temperature inlet* pendingin.

4.2 Analisis Potensi Bahaya dari HAZOP Study

Pokok bahasan pada tugas akhir ini yaitu analisis pada node *Ammonia Refrigeration* 120-C yang merupakan satu kesatuan dari *Ammonia Refrigeration System*. Dalam analisis ini data yang digunakan untuk pengolahan adalah *data maintenance ammonia utilized chiller* 120-C , data proses *ammonia refrigeration* dari tanggal 1-30 Juni 2018, dan *Study Report 1350 MTPD Ammonia Plant* pada tahun 2014 . Semua data tersebut dilampirkan pada Lampiran C,D dan E. Dari data *study report* tersebut potensi

bahaya yang ditimbulkan dapat diketahui berdasarkan *report* kejadian yang telah didata oleh PT. Petrokimia Gresik .



Gambar 4.1 P&ID Ammonia Utilized Chiller

Ammonia utilized chiller dijaga prosesnya pada suhu dan tekanan yang diinginkan menggunakan BPCS yang terdiri atas *loop pengendalian flow* dan *level*. Terdapat 8 *loop* pengendalian diantaranya 4 *loop flow transmitter* FT 1009 , FT 1010, FT 1011, dan FT 1012 , serta 4 *loop* pengendalian *surge level* tambahan untuk mencegah terjadinya *surge* pada tangki yaitu *level transmitter* LT 1021 , LT 1022, LT 1023, dan LT 1024. Dari keseluruhan instrumen tersebut digunakan dalam menjaga kestabilan suhu dan tekanan proses pada *ammonia utilized chiller*.

4.2.1 Flow Transmitter FT-1009

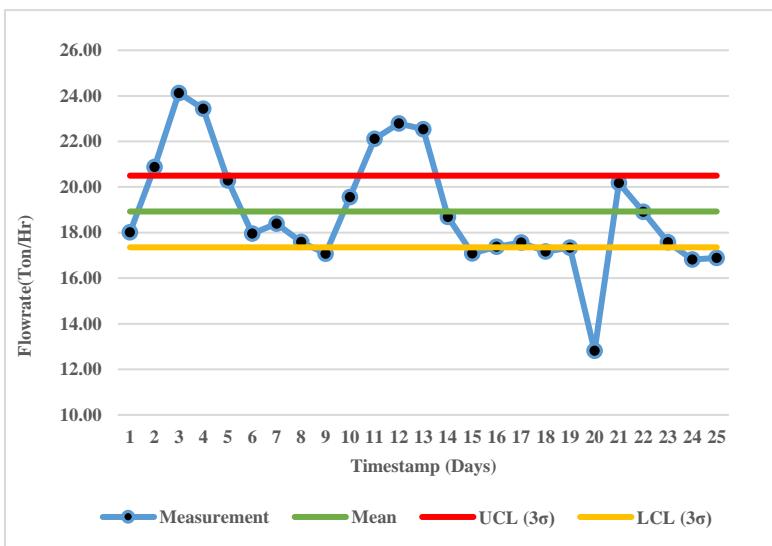
Tahapan ini terjadi pada *liquid ammonia* di node tangki flash drum 120 CF-4 yang menuju kompresor 105-J *high pressure casing 2nd stage*. *warm liquid ammonia* yang ada di dalam *flash drum* dijaga tekanannya sekitar 7.9 kg / cm² dan suhu 13° C dengan cara mengambil uap pada tangki tersebut melalui kompresor 105-J dengan *high pressure casing 2nd stage*. Dari

kompresor 105-J , uap refrigeran tersebut akan didinginkan kembali ke dalam sistem *refrigerant condenser* 127-C untuk di *recycle* kembali dan ada juga uap yang dialirkan sebagai bahan baku pupuk amonium sulfat / pupuk ZA. Parameter yang dikendalikan pada node ini adalah *flow* dari uap refrigeran ke kompresor 105-J dimana pembacaan dari flow transmitter FT 1009 digunakan.

Dari data *Study Report* 1350 MTPD Ammonia Plant pada node *ammonia refrigeration* serta plot *control chart* X bar dari data proses bulan 1-25 Juni 2018 tertera *guideword* untuk Flow Transmitter FT 1009 dengan menganalisis data tersebut . Hasil analisis adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 *Study Report flow transmitter FT-1009*

Node	Instrumen	Deviation	Safeguards	Cause
26-1	FT-1009 FI- 1009	No Flow of Liquid Ammonia from 120- CF4 to 120-CF3	LAL-1022 LAH-1021 LAHH-1214	LV-1021 fails close
26-6	FT-1009 FI- 1009	More Flow of Liquid Ammonia from 120- CF4 to 120-CF3	LAL-1021 LAH-1022 LAHH-1215	LV-1021 fails open



Gambar 4.2 Control Chart X Bar Flow Transmitter FT-1009

Tabel 4.2 Study Report Flow Transmitter FT-1010

Node	Instrumen	Deviation	Safeguards	Cause
26-1	FT-1010 FI- 1010	No Flow of Liquid Ammonia from 120- CF4 to 120-CF3	LAL-1022 LAH-1021 LAHH-1214	LV-1021 fails close
26-6	FT-1010 FI- 1010	More Flow of Liquid Ammonia from 120- CF4 to 120-CF3	LAL-1022 LAH-1023 LAHH-1216	LV-1022 fails open

Dari tabel 4.1 dan gambar 4.2 di atas dapat disimpulkan bahwa deviasi dari instrumen FT-1009 menunjukkan bahwa pembacaan transmitter menjelaskan apabila terjadi less/no flow pada liquid ammonia dari 120 CF4 ke 120 CF3 maka *valve LV-1021* menjadi *fails close*, sedangkan apabila terjadi more flow pada

liquid ammonia dari 120 CF4 ke 120 CF3 maka *valve* LV-1021 menjadi fails open. Maka dari itu *guideword* dan deviasi dari FT-1009 ditunjukkan pada tabel 4.2 di bawah ini :

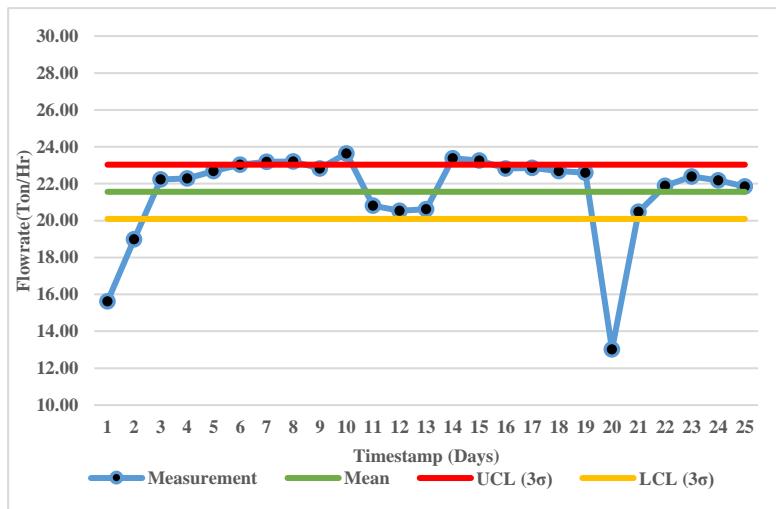
Tabel 4.3 *Guideword* dan *Deviation* dari FT-1009

No	Component	Description	Guideword	Deviation
1	FT-1009	Flow Transmitter	More	Flow
			Less	Flow

4.2.2 Flow Transmitter FT 1010

Tahapan ini terjadi pada tangki *flash drum* 120 – CF3, dimana suhu ammonia dijaga pada - 1°C and tekanan 3.0 kg/cm².g .uap dari liquid ammonia kemudian dialirkan menuju kompresor 105 J dengan *High Pressure Casing 1st stage* . Sama seperti tahapan sebelumnya, uap refrigeran tersebut akan didinginkan kembali ke dalam *sistem refrigerant condenser* 127-C untuk di recycle kembali ke dalam sistem. Pembacaan flow yang digunakan yaitu dari Flow Transmitter FT 1010 .Dari data Study Report 1350 MTPD Ammonia Plant pada node *ammonia refrigeration* serta plot *control chart X bar* tertera *guideword* untuk Flow Transmitter FT 1010 dengan menganalisis dengan menganalisis data tersebut . Hasil analisis adalah sebagai berikut :

Dari tabel 4.3 dan gambar 4.3 di atas dapat disimpulkan bahwa deviasi dari instrumen FT-1010 menunjukkan bahwa pembacaan transmitter menjelaskan apabila terjadi less/no flow pada liquid ammonia dari 120-CF4 ke 120-CF3 maka valve LV-1021 menjadi fails close, sedangkan apabila terjadi more flow pada liquid ammonia dari 120 CF4 ke 120 CF3 maka valve LV-1022 menjadi fails open. Maka dari itu *guideword* dan deviasi dari FT-1010 ditunjukkan pada tabel 4.4 di bawah ini:



Gambar 4.3 Plot Control Chart X Bar Flow Transmitter FT-1010

Dari tabel 4.3 dan gambar 4.3 di atas dapat disimpulkan bahwa deviasi dari instrumen FT-1010 menunjukkan bahwa pembacaan transmitter menjelaskan apabila terjadi less/no flow pada liquid ammonia dari 120-CF4 ke 120-CF3 maka valve LV-1021 menjadi fails close, sedangkan apabila terjadi more flow pada liquid ammonia dari 120 CF4 ke 120 CF3 maka valve LV-1022 menjadi fails open. Maka dari itu guideword dan deviasi dari FT-1010 ditunjukkan pada tabel 4.4 di bawah ini:

Tabel 4.4 Guideword dan Deviation dari FT-1010

No	Component	Description	Guideword	Deviation
1	FT-1010	Flow Transmitter	More	Flow
			Less	Flow

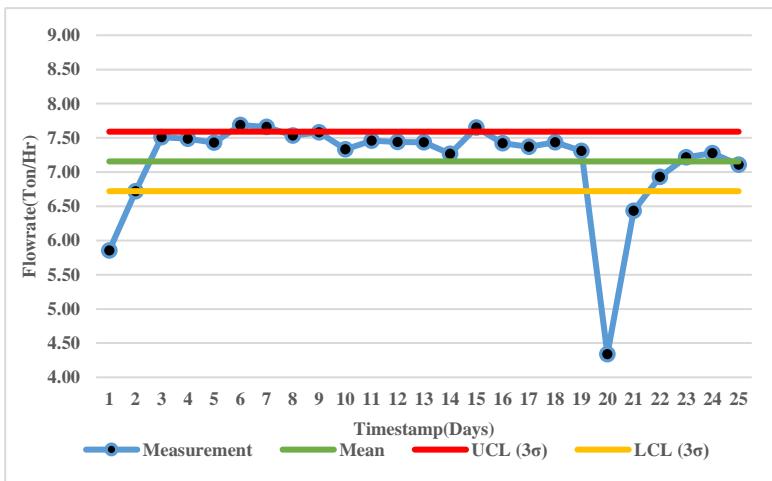
4.2.3 Flow Transmitter FT 1011

Pada tahapan ini, ammonia pada tangki flash drum 120- CF2 dijaga suhunya sebesar -12°C dengan tekanan sebesar 1.8 kg/cm².g dengan mengatur *flow* dari uap ammonia yang dikompresi masuk ke dalam Low Pressure 2nd Stage oleh kompresor 105-J. Sama seperti tahapan sebelumnya, uap refrigeran tersebut akan didinginkan kembali ke dalam sistem refrigerant condenser 127-C untuk di recycle kembali ke dalam sistem. Pembacaan *flowrate* yang digunakan yaitu dari Flow Transmitter FT 1011.

Dari *data Study Report 1350 MTPD Ammonia Plant* pada node *ammonia refrigeration* serta plot *control chart X bar* tertera guideword untuk Flow Transmitter FT 1011 dengan menganalisis dengan menganalisis data tersebut . Hasil analisis adalah sebagai berikut :

Tabel 4.5 Study Report Flow Transmitter FT-1011

Node	Instrumen	Deviation	Safeguards	Cause
26-2	FT-1011 FI- 1011	No Flow of Liquid Ammonia from 120- CF3 to 120-CF2	LAL-1021 LAH-1022 LAHH-1215	LV-1022 fails close
26-6	FT-1011 FI- 1011	More Flow of Liquid Ammonia from 120- CF2 to 120-CF1	LAL-1021 LAH-1022 LAHH-1215	LV-1023 fails open



Gambar 4.4 Plot Control Chart X Bar Flow Transmitter FT-1011

Dari tabel 4.5 dan gambar 4.4 di atas dapat disimpulkan bahwa deviasi dari instrumen FT-1010 menunjukkan bahwa pembacaan transmitter menjelaskan apabila terjadi less/no flow pada liquid ammonia dari 120 CF3 ke 120 CF2 maka valve LV-1022 menjadi fails close, sedangkan apabila terjadi more flow pada liquid ammonia dari 120 CF2 ke 120 CF1 maka valve LV-1023 menjadi fails open. Maka dari itu guideword dan deviasi dari FT-1011 ditunjukkan pada tabel 4.6 di bawah ini:

Tabel 4.6 Guideword dan Deviation dari FT-1011

No	Component	Description	Guideword	Deviation
1	FT-1011	Flow Transmitter	More	Flow
			Less	Flow

4.2.4 Flow Transmitter FT 1012

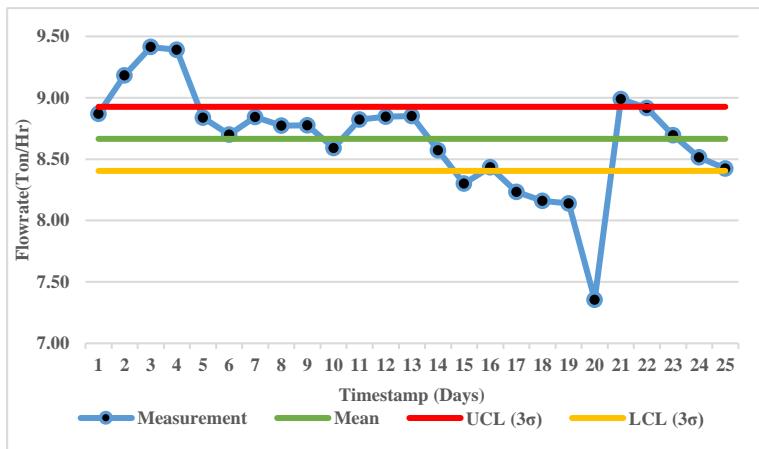
Pada tahapan ini, ammonia pada tangki flash drum 120- CF1 dijaga suhunya sebesar -33°C dengan tekanan sebesar 0.05 kg/cm².g dengan mengatur *flow* dari uap ammonia yang dikompresi masuk ke dalam *Low Pressure 1st Stage* oleh

kompresor 105-J. Pada flash drum ini produk ammonia akhir terbentuk yaitu *cold liquid ammonia* yang akan ditampung sebagai produk akhir. Sama seperti tahapan sebelumnya, uap refrigeran tersebut akan didinginkan kembali ke dalam sistem refrigerant condenser 127-C untuk di recycle kembali ke dalam sistem. Pembacaan *flowrate* yang digunakan yaitu dari Flow Transmitter FT 1011.

Dari data Study Report 1350 MTPD Ammonia Plant pada node ammonia refrigeration serta plot *control chart* X bar tertera guideword untuk Flow Transmitter FT 1012 dengan menganalisis dengan menganalisis data tersebut . Hasil analisis adalah sebagai berikut :

Tabel 4.7 Study Report Flow Transmitter FT-1012

Node	Instrumen	Deviation	Safeguards	Cause
26-3	FT-1012 FI- 1012	No Flow of Liquid Ammonia from 120- CF2 to 120-CF1	LAL-1024 LAH-1023 LAHH-1216	LV-1023 fails close
26-9	FT-1012 FI- 1012	More Flow of Liquid Ammonia from 120- CF1 to Storage Tank	LAL-1024	LV-1024 fails open



Gambar 4.5 Plot Control Chart X Bar Flow Transmitter FT-1012

Dari tabel 4.7 dan gambar 4.5 di atas dapat disimpulkan bahwa deviasi dari instrumen FT-1012 menunjukkan bahwa pembacaan transmitter menjelaskan apabila terjadi less/no flow pada liquid ammonia dari 120 CF2 ke 120 CF1 maka valve LV-1023 menjadi fails close, sedangkan apabila terjadi more flow pada liquid ammonia dari 120 CF1 ke storage tank maka valve LV-1024 menjadi fails open. Maka dari itu guideword dan deviasi dari FT-1012 ditunjukkan pada tabel 4.8 di bawah ini:

Tabel 4.8 Guideword dan Deviation dari FT-1012

No	Component	Description	Guideword	Deviation
1	FT-1012	Flow Transmitter	More	Flow
			Less	Flow
1	FT-1011	Flow Transmitter	More	Flow
			Less	Flow

Selain dari komponen-komponen yang sudah dibahas di atas, terdapat beberapa komponen lain yang juga dilakukan analisis bahaya untuk memperoleh *guide word* dan deviationnya serta aktuator dari seluruh *loop* pengendalian pada seluruh komponen BPCS *ammonia refrigeration*. . Guide word serta deviation tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.9 Guideword dan Deviation Seluruh Komponen pada Ammonia Refrigeration

No	Instrument	Description	Guide Word	Deviation
1	FV1012	<i>Flow Valve</i>	<i>Other Than</i>	<i>Other Than Flow</i>
2	FV1011	<i>Flow Valve</i>	<i>Other Than</i>	<i>Other Than Flow</i>
3	FV1010	<i>Flow Valve</i>	<i>Other Than</i>	<i>Other Than Flow</i>
4	FV1009	<i>Flow Valve</i>	<i>Other Than</i>	<i>Other Than Flow</i>
5	LT1024	<i>Level Transmitter</i>	<i>More Less</i>	<i>More Level Less Level</i>
6	LT1023	<i>Level Transmitter</i>	<i>More Less</i>	<i>More Level Less Level</i>
7	LT1022	<i>Level Transmitter</i>	<i>More Less</i>	<i>More Level Less Level</i>
8	LT1021	<i>Level Transmitter</i>	<i>More Less</i>	<i>More Level Less Level</i>
9	LV1024	<i>Level Valve</i>	<i>Open Close</i>	<i>Fail to Open Fail to Close</i>
10	LV1023	<i>Level Valve</i>	<i>Open Close</i>	<i>Fail to Open Fail to Close</i>

Tabel 4.9 (Lanjutan)

11	LV1022	<i>Level Valve</i>	<i>Open Close</i>	<i>Fail to Open Fail to Close</i>
12	LV1021	<i>Level Valve</i>	<i>Open Close</i>	<i>Fail to Open Fail to Close</i>
13	FIC 1009	<i>Flow Controller</i>	<i>More Less</i>	<i>More Flow Less Flow</i>
14	FIC 1010	<i>Flow Controller</i>	<i>More Less</i>	<i>More Flow Less Flow</i>
15	FIC 1011	<i>Flow Controller</i>	<i>More Less</i>	<i>More Flow Less Flow</i>
16	FIC 1012	<i>Flow Controller</i>	<i>More Less</i>	<i>More Flow Less Flow</i>

4.3 Analisis Risiko dari HAZOP Study

Analisis risiko adalah kegiatan analisis peluang dampak bahaya yang terjadi akibat adanya penyimpangan dari kondisi yang diinginkan dan dikendalikan. Dalam HAZOP tingkat risiko ditinjau dari nilai *likelihood* (peluang) dan *consequence* (dampak) yang diakibatkan. Tingkatan risiko dinyatakan dalam sebuah matrix seperti yang digambarkan pada tabel 2.5 . Dalam memberikan nilai parameter *likelihood* dan *consequence* terdapat standar masing-masing. Penulis dalam tugas akhir ini menggunakan *consequence* yang dibuat oleh Departemen Produksi pabrik I PT. Petrokimia Gresik dan untuk memperoleh nilai *likelihood* penulis menyesuaikannya ke dalam *standard The Standard Australia/ New Zealand (AS/NZS 4360:2004)* karena nilai *likelihood* . Pada node *ammonia refrigeration system* ini

terdapat dua parameter yang menjadi *set point* yaitu suhu dan tekanan, sehingga total terdapat 4 *loop* pengendalian yang akan dianalisis pada tahap selanjutnya.

4.3.1 Menentukan Likelihood

Parameter *likelihood* ditentukan menggunakan *historical data maintenance* dan kalibrasi instrumen pada Lampiran C yang diperoleh dari Departemen Perencanaan dan Pemeliharaan pabrik I Petrokimia. Nilai likelihood diperoleh dari seberapa seringnya komponen mengalami reparasi dalam kurun waktu 10 tahun dari tahun 2008 sampai tahun 2018 yang disesuaikan dengan standar AS/NZS 4360:2004 tabel 2.4 pada Bab II. Sehingga untuk node *Ammonia Refrigeration* memiliki *likelihood* untuk masing-masing komponennya pada tabel 4.10 di bawah ini:

Tabel 4.10 Kriteria *Likelihood Node Ammonia Refrigeration*

No	Instrument	Repair Count (2008-2018)	Likelihood	Description
1	FT-1009	3	C	Risiko terjadi 3 kali atau kurang dari 4 kali dalam 10 tahun
2	FT-1010	4	B	Risiko terjadi 4-5 kali dalam 10 tahun
3	FT-1011	2	D	Risiko terjadi 2 kali dalam 10 tahun
4	FT-1012	4	B	Risiko terjadi 4-5 kali dalam 10 tahun
5	LT-1024	2	D	Risiko terjadi 2 kali dalam 10 tahun

Tabel 4.10 (Lanjutan)

6	LV 1021	4	B	Risiko terjadi 4-5 kali dalam 10 tahun
7	LV-1022	1	E	Risiko jarang sekali terjadi atau kurang dari 2 kali dalam 10 tahun
8	LV-1023	3	C	Risiko terjadi 3 kali atau kurang dari 4 kali dalam 10 tahun
9	LV-1024	5	B	Risiko terjadi 4-5 kali dalam 10 tahun

Dari *data maintenance* yang berdasarkan reparasi dari setiap komponen pada kurun waktu 10 tahun (2008-2018) diperoleh kriteria *likelihood* dari 9 komponen yang memiliki potensi bahaya tertinggi pada node *ammonia refrigeration*. Dari tabel 4.9 ditunjukkan bahwa instrumen FT 1010 , FT 1012 , LV 1021, dan LV 1024 memiliki skala paling tinggi yaitu B pada kriteria *likelihoodnya* karena *repair count* dan kalibrasi yang dilakukan di candalhar terjadi 4-5 kali dalam kurun waktu 10 tahun . Untuk FT-1009 dan LV-1023 memiliki risiko terjadi 3 kali atau kurang dari 4 kali dalam 10 tahun sehingga memiliki predikat C dalam kriteria likelihood. Untuk instrumen FT-1011 dan LT-1024 memiliki resiko yang rendah yaitu 2 kali dalam 10 tahun sehingga mendapat kriteria likelihood C. Yang terakhir yaitu LV 1021 memiliki nilai paramaeter *likelihood* paling rendah yaitu E karena pada rekam data maintenance hanya terdapat 1 kali risiko kegagalan. Kondisi lingkungan di PT Petrokimia Gresik juga mempengaruhi laju kegagalan dan seringnya paparan di kondisi yang berbahaya menjadi faktor utama yang menyebabkan rendahnya usia serta

tingkat keandalan instrumen tersebut. Selain itu, peluang risiko yang besar sehingga diperlukan adanya tindakan serta rekomendasi sebagai usaha mengurangi risiko sehingga bahaya yang terjadi bisa diminimalisir. Keseluruhan nilai likelihood dapat dilihat pada *data maintenance* node *Ammonia refrigeration* pada Lampiran C.

4.3.2 Menentukan *Consequence*

Consequence ditentukan untuk mencari tahu tingkat keparahan dari dampak yang terjadi karena adanya risiko penyimpangan dari keadaan yang diinginkan atau operasi yang diluar kendali. Berdasarkan *Study Report 1350 MTPD Ammonia Plant*, data proses pabrik amoniak penulis menentukan tingkatan keparahan dari resiko dari hasil studi tersebut dan menyesuaikannya ke standar keparahan sesuai dengan kategori *consequences AS/NZS 4360:2004* yang terdapat pada tabel 2.4 pada bab II. Parameter *consequences* untuk node *ammonia refrigeration* dapat dilihat pada tabel 4.11 di bawah ini

Tabel 4.11 Parameter *Consequences*

No	Instrument	Severity	Consequences Level	Description
1	FT-1009	105-J surge and damage	4	Major
2	FT-1010	105-J surge and damage	4	Major
3	FT-1011	105-J surge and damage	4	Major
4	FT-1012	105-J surge and damage	4	Major
5	LT-1024	124J/JA cavitation	3	Moderate

Tabel 4.11 (Lanjutan)

6	LV 1021	105-J surge and damage	4	Major
7	LV-1022	105-J surge and damage	4	Major
8	LV-1023	105-J surge and damage	4	Major
9	LV-1024	105-J surge and damage	4	Major

Berdasarkan kriteria *consequences* dari *Study Report 1350 MTPD Ammonia Plant* dari 9 komponen dengan potensi bahaya pada *ammonia refrigeration* nilai 4 memiliki arti *major* dimana risiko akan berdampak besar pada produksi, hingga berakibat sangat signifikan pada kegiatan produksi sehingga aktifitas produksi harus dihentikan (*shutdown*). FT 1009 , FT 1010, FT 1011, FT 1012 dan LV 1021/1022/1023/1024 memiliki consequence 4 sedangkan 1 komponen lainnya yaitu LT 1024 memiliki consequence 3 yaitu masih tergolong *moderate*. Keseluruhan nilai *consequences ammonia refrigeration* dapat dilihat pada tabel HAZOP Lampiran A.

4.3.3 Menyusun Ranking Resiko (*Risk Ranking*)

Tahapan terakhir pada analisis HAZOP adalah menyusun risk ranking yaitu menyusun risk ranking pada study report. Risk ranking disusun berdasarkan standar pada bab II. Diperoleh susunan *risk ranking* pada tabel 4.12. Berdasarkan *risk ranking* tersebut, dari 9 komponen yang dianalisis resikonya, 7 dari 9 komponen mendapat predikat resiko tertinggi yaitu *Extreme Risk* sebesar 78% dan 2 komponen tergolong dalam kategori *High Risk* adalah LT-1024 dan FT-1012 sebesar 22%

Tabel 4.12. Risk Ranking Ammonia Refrigeration

Compon ent	Description	Guidew ord	More Flow	Cause	Consequen ces	Safegu ard	L	C	R R	Reccomendation
FT-1010	Flow Transmitter	No	No Flow	LV-1021 fails closed	Higher Level in 120-CF4 and possible mist carry to 105-J and damage Loss of Liquid level in 120-CF3 resulting 105-J surge and damage	LAH-1021 LAHH-1214 LAL-1023 FI-1010 FV-1010	B	4	E	Refer to recommendation 251
		More	More Flow	LV-1022 fails opened	Loss of liquid level in 120-CF3 resulting 105-J surge and damage Higher level in 120-CF2	LAL-1022 FI-1010 FV-1010 LAH-1023 LAHH-1216	B	4	E	Refer to recommendation 251

Tabel 4.12. Risk Ranking Ammonia Refrigeration (Lanjutan)

49

					and possible mist carry over to 105-J and damage				E	
FT-1011	Flow Transmitter	No	No Flow	LV-1022 fails closed	Higher Level in 120-CF2 and possible mist carry to 105-J and damage Loss of Liquid level in 120-CF3 resulting 105-J surge and damage	LAH-1022 LAHH-1215 LAL-1023 FI-1011 FV-1011	B	4	E	Refer to recommendation 251

Tabel 4.12. *Risk Ranking Ammonia Refrigeration (Lanjutan)*

		More	More Flow	LV-1023 fails opened	Loss of liquid level in 120-CF2 resulting 105-J surge and damage Higher level in 120-CF2 and possible mist carry over to 105-J and damage	LAL-1023 FI-1011 FV-1011 LAH-1024 LAHH-1217	B	4	E	Refer to recommendation 251
FT-1009	Flow Transmitter	More	More Flow	LV-1021 fails opened	Loss of liquid level in 120-CF4 resulting 105-J surge and damage Higher level in 120-CF3 and possible	LAL-1021 FI-1009 FV-1009 LAH-1022 LAHH-1215	B	4	E	Refer to recommendation 251

Tabel 4.12. Risk Ranking Ammonia Refrigeration (Lanjutan)

					mist carry over to 105-J and damage						
FT-1012	Flow Transmitter	No	No Flow	LV-1023 fails closed	Higher Level in 120-CF2 and possible mist carry to 105-J and damage Loss of Liquid level in 120-CF1 resulting 105-J surge and damage	LAH-1023 LAHH-1216 LAL-1024 FI-1012 FV-1012	B	3	H	Refer to recommendation 251	

52 **Tabel 4.12.** Risk Ranking Ammonia Refrigeration (Lanjutan)

			More Flow	LV-1024 fails opened	Loss of liquid level in 120-CF2 resulting 105-J surge and damage	LAL-1023 FI-1011 FV-1011 LAH-1024 LAHH-1217	B	3	H	Refer to recommendation 251
LT-1024	Level Transmitter	Less	Less Flow	LV-1024 fails closed 124-J/JA stop	Higher Level in 120-CF1 and possible mist carry to 105-J and damage	LAH-1024 LAHH-1217	B	2	H	Refer to recommendation 251
		More	More Flow		Loss of Liquid level in 120-CF1 resulting in 124J/JA cavitation	LAL-1024 FIQ 1061	B	2	H	Refer to recommendation 251

Tabel 4.12. Risk Ranking Ammonia Refrigeration (Lanjutan)

LV 1021	Control Valve	Open	Fail to Open	System control fail No Control signal	Mist carry to 105-J causing surge and damage	Manual ly operate d valve	B	4	E	Refer to recommendation 251
		Close	Fail to Close	System control fail No Control signal	Mist carry to 105-J causing surge and damage		B	4	E	Refer to recommendation 251
LV-1022	Control Valve	Open	Fail to Open	System control fail No Control signal	Mist carry to 105-J causing surge and damage	Manual ly operate d valve	B	4	E	Refer to recommendation 251
		Close	Fail to Close	System control fail No Control signal	Mist carry to 105-J causing surge and damage		B	4	E	Refer to recommendation 251
LV-1023	Control Valve	Open	Fail to Open	System control fail No Control signal	Mist carry to 105-J causing surge and damage	Manual ly operate d valve	B	4	E	Refer to recommendation 251

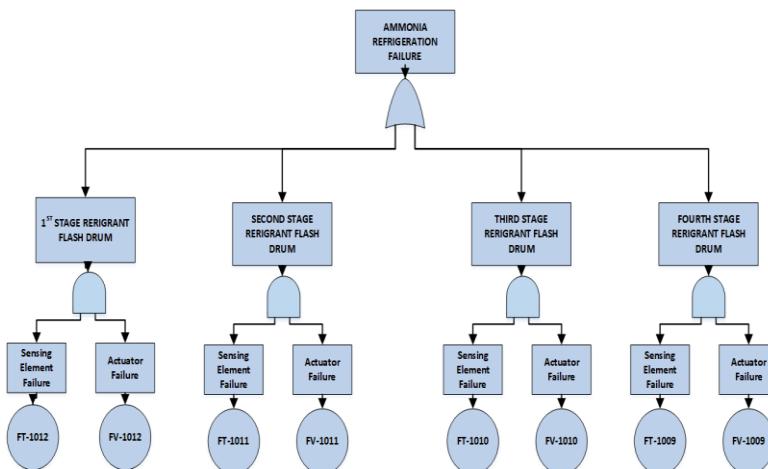
54 **Tabel 4.12.** Risk Ranking Ammonia Refrigeration (Lanjutan)

		Close	Fail to Close	System control fail No Control signal	Mist carry to 105-J causing surge and damage		B	4	E	Refer to recommendation 251
LV-1024	Control Valve	Open	Fail to Open	System control fail No Control signal	Mist carry to 105-J causing surge and damage	Manually operated valve	B	4	E	Refer to recommendation 251
		Close	Fail to Close	System control fail No Control signal	Mist carry to 105-J causing surge and damage		B	4	E	Refer to recommendation 251

Berdasarkan *risk ranking* tersebut, dari 9 komponen yang dianalisis resikonya, 7 dari 9 komponen yaitu FT-1009/1011/1010 dan LV-1021/1022/1023/1024 mendapat predikat resiko tertinggi yaitu *Extreme Risk* sebesar 78% dan 2 komponen tergolong dalam kategori *High Risk* adalah LT-1024 dan FT-1012 sebesar 22%

4.4 Perhitungan SIL pada BPCS Ammonia Refrigeration dengan Metode Fault Tree Analysis

Analisis SIL pada BPCS Ammonia Refrigeration dimulai dengan analisis *event-event* kegagalan yang kemungkinan terjadi pada node tersebut berdasarkan analisis potensi bahaya dan resiko yang sebelumnya telah dilakukan. Kegagalan tersebut memiliki *top event* berupa kompresor pendingin amonia berfungsi sebagai perlindungan terhadap sistem keamanan dalam proses pendingin amonia . Setelah itu dihitung dengan cara mencari nilai PFD dari *failure rate* komponen komponen yang akan digunakan untuk analisa *Fault Tree Analysis*.



Gambar 4.6 FTA BPCS Ammonia Refrigeration System

Pada analisis kali ini, komponen yang digunakan untuk FTA tidak diambil dari semua *loop* pengendalian, akan tetapi hanya mengambil beberapa komponen yang memiliki data kegagalan yang diperoleh dari *historical data maintenance* pada *Ammonia Refrigeration*. Komponen yang tidak pernah ada catatan kegagalan atau tidak memiliki data kegagalan tidak akan dimasukan kedalam analisis. analisis perhitungan SIL pada BPCS . logika *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk melihat peristiwa dasar penyebab kegagalannya terjadi pada BPCS diilustrasikan menggunakan Microsoft Visio pada gambar 4.6

Perhitungan SIL pada sistem SIS *ammonia refrigeration* menggunakan nilai PFD yang didapat dari *data maintanance* dilakukan perhitungan seperti pada persamaan 2.1 dan 2.2 untuk mendapatkan nilai *failure rate* dan PFD dari FT-1012 dan FV-1012 pada *1st stage refrigerant flash drum* seperti pada tabel 4.12 di bawah ini. Untuk perhitungan *failure rate* komponen-komponen lain terdapat pada Lampiran C.

Tabel 4.13 Perhitungan TTF FT-1012

<i>Object ID</i>	<i>Actual Start</i>	<i>Actual Completion</i>	<i>Work Done</i>	<i>TTF (Hours)</i>
FT 1012.120 CF1	12/3/2008	12/3/2008	Ganti Gasket RV	0
FT 1012.120 CF1	2/12/2009	2/12/2009	KALIBRASI FT-1012/PCA-1012 (QUALITY PLAN)	1704
FT 1012.120 CF1	4/16/2014	4/16/2014	SERVICE FT 1012	45336
FT 1012.120 CF1	1/9/2016	1/14/2016	SERVICE FT 1012	15312

Berdasarkan persamaan 2.1 dan 2.2, hasil dari perhitungan MTTF dan laju kegagalan adalah sebagai berikut :

$$MTTF = \frac{1704 + 45336 + 15312}{3}$$

$$MTTF = 20784 \text{ Hr}$$

$$\lambda = \frac{1}{20784}$$

$$\lambda = 0,0000481139$$

$$PFD \text{ avg element} = \frac{0,0000481139 \times 8760}{2}$$

$$PFD \text{ avg element} = 0.21 (\text{SIL 0})$$

Sedangkan untuk final element FV 1012 , perhitungan TTF , *failure rate*, dan PFD adalah pada tabel 4.14 sebagai berikut.

Tabel 4.14 Perhitungan TTF FV-1012

Object ID	Actual Start	Actual Completion	Work Done	TTF (Hours)
FV 1012.120CF 1	12/1/2008	12/2/2008	Repair Body Safety Valve	0
FV 1012.120CF 1	2/6/2013	2/6/2013	Repair dan reset FV120CF1	36648
FV 1012.120CF 1	4/16/2014	4/16/2014	Service	10416

Berdasarkan persamaan 2.1 dan 2.2, hasil dari perhitungan MTTF dan laju kegagalan adalah sebagai berikut :

$$MTTF = \frac{36648+10416}{2}$$

$$MTTF = 23552 \text{ Hr}$$

$$\lambda = \frac{1}{23552}$$

$$\lambda = 0,0000424592$$

$$PFD \text{ avg element} = \frac{0,0000424592 \times 8760}{2}$$

$$PFD \text{ avg element} = 0.185 (\text{SIL } 0)$$

Dari seluruh hasil perhitungan TTF pada *historical data maintenance* didapatkan PFD dari seluruh komponen BPCS *Ammonia Refrigeration* dapat dilihat pada tabel 4.15

Tabel 4.15 Nilai *failure rate* & PFD komponen BPC

No	<i>Sensing Element</i>			
1	<i>Instrument</i>	<i>Failure Rate</i>	PFD	SIL
	FT 1012	4.81139E-05	0.21	0
	FT 1011	3.39305E-05	0.148	0
	FT 1010	7.57576E-05	0.331	0
	FT 1009	2.12694E-05	0.0931	1

Tabel 4.16 (Lanjutan)

	Final Control Element			
	Instrument	Failure Rate	PFD	SIL
2	FV 1012	4.24592E-05	0.185	0
	FV 1011	1.75439E-05	0.076	1
	FV 1010	1.59459E-05	0.0698	1
	FV 1009	2.17581E-05	0.0953	1

Dengan menggunakan *Fault Tree Analysis*, maka perhitungan SIL didasari pada logika konfigurasi BPCS *Ammonia Refrigeration System* serta memperhatikan nilai masing-masing PFD dari komponen. Sistem BPCS *Safeguard* sesuai dengan *Study Report 1350 MTPD* diterapkan pada plant *ammonia refrigeration* untuk mencegah terjadinya resiko- resiko bahaya yang dapat mengakibatkan kerusakan pada plant tersebut.

Melalui analisis FTA dari gambar 4.6 di atas didapatkan perhitungan nilai SIL dari *ammonia refrigeration* menggunakan gerbang logika sebagai berikut.

$$PFD_{total} = (PFD_{firststage} \cup PFD_{secondstage} \cup PFD_{thirdstage} \cup PFD_{fourthstage}) \quad (4.1)$$

$$PFD_{total} = (PFD_s \cap PFDe) \cup (PFD_s \cap PFDe) \cup (PFD_s \cap PFDe) \cup (PFD_s \cap PFDe) \quad (4.2)$$

$$\begin{aligned} PFD_{total} = & (0.21 \cap 0.185) \cup (0.148 \cap 0.076) \\ & \cup (0.331 \cap 0.0698) \cup (0.0931 \cap 0.0953) \end{aligned}$$

$$PFD_{total} = 0.08207423 \text{ (SIL 1)}$$

Dan setelah dihitung maka didapat nilai PFD *ammonia refrigeration* adalah 0.08207423 . Berdasarkan tabel 2.7 hasil ini menunjukan bahwa *Safeguard Basic Process Control System* dari menunjukan SIL 1. SIL 1 adalah tingkat keamanan terendah dalam s dari tingkatan SIL 1-4 sehingga dalam plant ini harus ditingkatkan lagi nilai SILnya dengan cara mengkonfigurasi *voting architecture* sistem

4.5 Peningkatkan SIL dengan *voting configuration* dan penambahan SIS

Melalui perhitungan SIL pada sistem BPCS di atas diperoleh nilai SIL sistem adalah 1. Untuk meningkatkan nilai lebih dari 1, MooN channel konfigurasi SIS dapat dilakukan dengan kombinasi antara *sensing element* dan *final element* dengan PFD yang dihitung kembali dan disusun sesuai rumus *voting architecture*.

Tabel 4.16 Tabel Rumus Voting Architecture

Architecture (Voting Configuration)	Average Before Logic		Average After Logic		% Difference Between PFD _{Avg} Results - Average After Logic Versus Average Before Logic
	PFD _{avg} Equation	PFD _{avg} Value Obtained *	PFD _{avg} Equation	PFD _{avg} Value Obtained *	
1oo1	$\frac{\lambda(TT)}{2}$	4.38 x E-2	$\frac{\lambda(TT)}{2}$	4.38 x E-2	0
1oo2	$\frac{\lambda^2(TT)^2}{4}$	1.92 X E-3	$\frac{\lambda^2(TT)^2}{3}$	2.56 X E-3	33
2oo2	$\lambda(TT)$	8.76 X E-2	$\lambda(TT)$	8.76 X E-2	0
1oo3	$\frac{\lambda^3(TT)^3}{8}$	8.40 X E-5	$\frac{\lambda^3(TT)^3}{4}$	1.68 X E-4	100
2oo3	$\frac{3\lambda^2(TT)^2}{4}$	5.76 X E-3	$\lambda^2(TT)^2$	7.67 X E-3	33
2oo4**	$\frac{\lambda^3(TT)^3}{2}$	3.36 X E-4	$\lambda^3(TT)^3$	6.72 X E-4	100

Tabel 4.17 Nilai PFD dan SIL pada *Sensing Element*

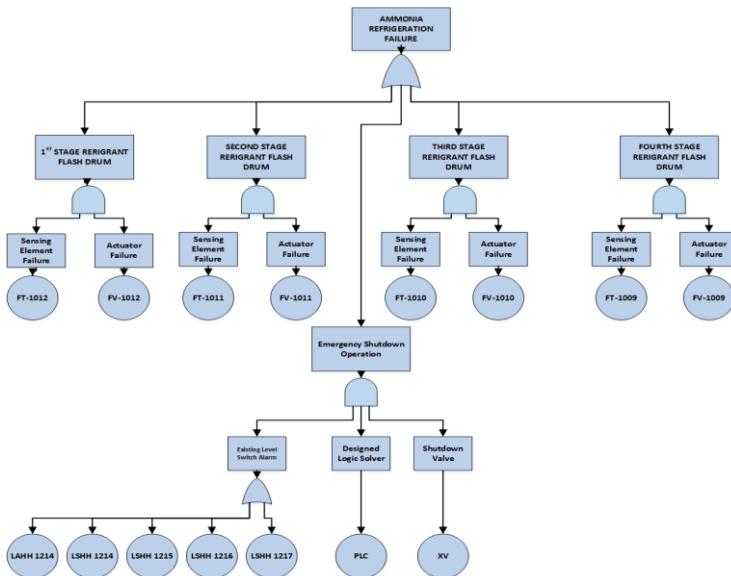
Konfigura si <i>Voting</i>	PFD <i>Sensing Element (Before Logic)</i>			
	FT 1012 $\lambda=4.81139E-05$	FT1011 $\lambda=3.39305E-05$	FT1010 $\lambda=7.57576E-05$	FT1009 $\lambda=2.12694E-05$
1oo1	0.21074 (SIL 0)	0.14800 (SIL 0)	0.33100 (SIL 0)	0.09310 (SIL 1)
1oo2	0.04441 (SIL 1)	0.04417 (SIL 1)	0.11010 (SIL 0)	0.00868 (SIL 2)
1oo3	0.00936 (SIL 2)	0.00328 (SIL 2)	0.03653 (SIL 2)	0.00081 (SIL 3)

Kenyataan pada plant saat ini *sensing element* disusun secara seri dan memiliki nilai SIL 0 dan 1. Sedangkan apabila ditambahkan komponen dan konfigurasi 1oo2 bernilai SIL 0,1,dan 2. Apabila diubah menjadi 1oo3 bernilai SIL 2 dan 3. Dengan hal ini dapat menyimpulkan bahwa penambahan komponen pada keluaran *sensing element* dapat menambah nilai SIL dari *sensing element*.

Tabel 4.18 Nilai PFD dan SIL pada *Final Element*

Konfigurasi <i>Voting</i>	PFD <i>Final Element (After Logic)</i>			
	FV 1012 $\lambda=4.25E-05$	FV 1011 $\lambda=1.75E-05$	FV 1010 $\lambda=1.59E-05$	FV 1009 $\lambda=2.18E-05$
1oo1	0.18597 (SIL 0)	0.07600 (SIL 1)	0.06980 (SIL 1)	0.09530 (SIL 1)
1oo2	0.04611 (SIL 1)	0.00787 (SIL 2)	0.00650 (SIL 2)	0.01211 (SIL 1)
1oo3	0.01286 (SIL 1)	0.00091 (SIL 3)	0.00068 (SIL 3)	0.00173 (SIL 2)
2oo2	0.37194 (SIL 0)	0.15368 (SIL 0)	0.13969 (SIL 0)	0.19060 (SIL 0)
2oo3	0.13834 (SIL 0)	0.02362 (SIL 1)	0.01951 (SIL 1)	0.03633 (SIL 1)
2oo4	0.05146 (SIL 1)	0.00363 (SIL 2)	0.00273 (SIL 2)	0.00692 (SIL 2)

Berdasarkan analisis pada nilai PFD di atas, penulis mengamati bahwa penambahan keluaran pada konfigurasi voting 1oo2 sudah bedampak besar pada kenaikan SIL pada sistem. Oleh karena itu, konfigurasi voting 1oo2 akan diterapkan pada desain FTA baru untuk menghitung nilai SIL baru yang akan ditingkatkan. Selain itu, dikarenakan pada P&ID sistem *Ammonia Refrigeration* sudah terdapat alarm system namun tidak memiliki *final control element* berupa ESDV , maka penulis akan mendesain SIS dengan komponen tersebut dengan menambahkan fungsi *Emergency Shut Down Valve* untuk menambah keamanan sistem.Nilai PFD dari *final control element* yang akan ditambahkan diperoleh dengan referensi *failure rate* dari OREDA 2002. Berikut ini adalah desain FTA dengan tambahan komponen dan SIS pada gambar 4.7



Gambar 4.7 FTA Ammonia Refrigeration System untuk Peningkatan SIL

Sesuai P&ID dari *Ammonia Refrigeration System*, SIS dapat ditambahkan dengan menambahkan *final control element* pada *alarm system check level* dari tiap-tiap tangki *flash drum*. berikut ini adalah nilai PFD dari masing-masing komponen baru yang ditambahkan pada tabel 4.19 di bawah ini

Tabel 4.19 Nilai PFD dan SIL dari SIS

No	Instrumen	Failure Rate	PFD (Voting 1oo1)	SIL
1	LSHH 1214	0.00000133	0.0058254	2
2	LSHH 1215	0.00000133	0.0058254	2
3	LSHH 1216	0.00000133	0.0058254	2
4	LSHH 1217	0.00000133	0.0058254	2
5	PLC	0.000000936	0.00409968	2
6	Emergency Shutdown Valve	0.000004564	0.01999032	1

Tahapan terakhir dari peningkatan SIL ini adalah dengan mengkalkulasikan hasil PFD dari voting 1oo2 yang dikombinasikan dengan SIS *Emergency Shutdown*. Untuk

kalkulasi SIL dengan konfigurasi *voting* 1oo3,2oo1,2oo2,dan 2oo3 dapat dilihat pada Lampiran C.

Hasil perhitungan SIL adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} PFD_{total} = & (PFD_{firststage} \cup PFD_{secondstage} \cup \\ & PFD_{thirdstage} \cup PFD_{fourthstage} \cup \\ & PFD_{Desdv}) \end{aligned} \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} PFD_{total} = & (PFD_s \cap PFD_{fe}) \cup (PFD_s \cap PFD_{fe}) \cup \\ & (PFD_s \cap PFD_{fe}) \cup (PFD_s \cap PFD_{fe}) \cup \\ & (PFD_s \cap PFD_{ls} \cap PFD_{fe}) \end{aligned} \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned} PFD_{total} = & (0.441 \cap 0.0461) \cup (0.04417 \cap 0.00787) \\ & \cup (0.11 \cap 0.0065) \cup (0.00868 \cap 0.01211) \\ & \cup (4 \times 0.0058254 \cap 0.00409968 \cap 0.0199902) \end{aligned}$$

$$PFD_{total} = 0.003202 \text{ (SIL 2)}$$

Setelah mendapatkan peningkatan SIL dari SIL 1 menjadi SIL 2, tahap terakhir yaitu menyusun ulang HAZOP *Worksheet* dari *risk ranking* yang telah disusun pada Tabel 4.12 Dari HAZOP worksheet tersebut diperoleh data bahwa peningkatan SIL berdampak signifikan pada sebagian besar resiko dari *node ammonia refrigeration*. Dari 10 *guideword* dan *deviation* pada worksheet, 70% diantaranya turun dari kategori *Extreme Risk* ke dalam kategori *high risk* dan 30% turun dalam kategori *moderate risk*. Hal ini menunjukkan penurunan resiko yang signifikan pada plant dengan hanya penambahan 1 *loop SIS* dan konfigurasi voting 1oo2. Hasil akhir dari rekomendasi HAZOP *Worksheet* penulis lampirkan pada Lampiran A.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- a. Dari analisis potensi bahaya dan resiko yang telah dilakukan, diketahui ada 9 komponen dengan potensi bahaya paling besar pada sistem *Ammonia Refrigeration* dengan 4 komponen tergolong dalam kategori consequence *major* yaitu FT-1009/1010/1011/1012 dan 5 lainnya yaitu LV-1021/1022/1023/1034 serta LT-1024 tergolong dalam kategori *moderate*. Dari hasil perhitungan *existing SIL* dari BPCS *safeguard* pada *Ammonia Refrigeration* diperoleh nilai PFD sebesar 0.08207423 sehingga menghasilkan nilai SIL 1 pada sistem . Kategori ini adalah tingkatan SIL yang paling rendah.
- b. Peningkatan SIL tercapai melalui konfigurasi *voting architecture 1oo2* dan juga penambahan *emergency shutdown valve* pada keluaran *alarm system* pada *ammonia refrigeration* . Nilai PFD dari kombinasi tersenbut sebesar 0.003202 . Penambahan komponen ini sudah cukup untuk menaikkan SIL sistem menjadi SIL 2. Peningkatan SIL dari SIL 1 menjadi SIL 2 menyebabkan turunnya resiko bahaya pada plant dari 78% *Extreme Risk* dan 22% *High Risk* menjadi 70% *High Risk* dan 30% *Moderate Risk*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- AS/NZS 4360.2004, *The Australian and New Zealand Standard Risk Management 3rd Edition.* NSA Scotland,2004
- Crawley,Frank & Tyler, Bryan., *HAZOP: Guide to Best Practice Guidelines to Best Practice for the Process and Chemical Industries (3rd Edition)*, United States :Elsevier, 2015
- D. P. Nolan, *Application of HAZOP and What- If Safety Review to The Petroleum, Petrochemical, and Chemical Industries*, New Jersey: Noyes Publications, 2000.
- Ebeling, C.E., 1997. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Singapore: The McGraw – Hill Companies.
- Henrique ,Martini Paula," *Failure Rates for Programmable Logic Controllers,*"Reliability Engineering and System Safety 39 (1993) 32.5-328 ,1993
- International Electrotechnical Commission ^a 61508 IEC: 1997," *Functional safety of electrical/electronic/ programmble electronic safety-related systems,*". 1997
- Instrumentation,Systems,and Automation Society ISA- TR84.00.02:2002"SIF-Safety Integrity Level(SIL) Evaluation Techniques",2002
- Kotek a, L and Tabas M, "HAZOP study with qualitative risk analysis for prioritization of corrective and preventive actions .," Procedia Engineering, vol. 42 , no. 20th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2012, 25-, p. 808 – 815, 2012.
- Musyafa, A. , Ronny Dwi Noriyati, Amarendra B. Prakoso, , Adi Soeprijanto, "HAZOP Study and Determination of Safety Integrity Level Using Fault Tree Analysis on Fuel Gas Superheat Burner of Ammonia Unit in Petrochemical Plant, East Java," Asian Journal of Applied Sciences, vol. 05, no. 02, 2017.

- Musyafa ,A., Nabila Resti, Ronny D. Noriyati , “*Hazard And Operability Study and Analysis of Safety Integrity Level Case Study: Ammonia Refrigerant Compressor at Petrochemical Plant,*” Advances in Natural and Applied Sciences, 9(8) July 2015, Pages: 36-42
- Petrokimia Gresik, *Ammonia Plant* ,Unit I , Gresik: 2018
- R. Kuphaldt, Tony. *Lessons In Industrial Instrumentation.* United States : Independent. 2015
- Reza, Alaei, Seyed Ali Akbar Mansoori, Asghar Haeri Moghaddam, Seyed Mohammad Mansoori, Navid Mansoori, "Safety assessment approach of hazard and operability (HAZOP) for sulfur recovery unit Claus reaction furnace package; blower; heat exchanger equipment in South Pars gas processing plant," Journal of Natural Gas Science and Engineering, no. 20, pp. 271-284, 2014.
- SINTEF. 2009., Industrial Management. “*Offshore Reliability Data Handbook 4th Edition*”. OREDA Participants,2002
- Smith, Dr .,David J ,Kenneth GL., *The Safety Critical Systems Handbook A Straightforward Guide To Functional Safety: IEC 61508 (2010 Edition), IEC 61511 (2016 Edition) & Related Guidance* , United States: Elsevier,2016
- Yenni, Yefta, "Sejarah dan Perkembangan PT. Petrokimia Gresik," Dept Prod III, PT. Petrokimia Gresik,2013, Gresik, 2013.
- Yokogawa, “*Details on Functional Safety*”,Safety Assurance and Consultancy:2010

LAMPIRAN A
**DESIGNED HAZOP WORKSHEET NODE 26 AMMONIA REFRIGRATION AFTER IMPROVED
 SIL**

<i>Node</i>	<i>Guide Word</i>	<i>Deviation</i>	<i>Cause</i>	<i>Consequences</i>	<i>Safeguards</i>	<i>Likelihood (after Risk Reduction from SIL 2)</i>	<i>C</i>	<i>Risk Ranking</i>	Keterangan
26-1	No	No Flow of Liquid Ammonia from 120CF4 to 120-CF3	LV-1021 fails closed	Higher level in 120-CF4 and possible mist carry over to 105J and damage Loss of liquid level in 120CF3 resulting in 105-J surge and damage	LAH-1021 LAHH-1214 leads to 105-J trip LAL-1022 FI-1010 FV-1010 Vibration monitor with alarm Axial rotor position High High trip 105-J	E	4		High Risk

<i>Node</i>	<i>Guide Word</i>	<i>Deviation</i>	<i>Cause</i>	<i>Consequences</i>	<i>Safeguards</i>	<i>Likelihood (after Risk Reduction from SIL 2)</i>	<i>C</i>	<i>Risk Ranking</i>	<i>Keterangan</i>
26-2	No	No Flow of Liquid Ammonia from 120CF3 to 120-CF2	LV-1022 fails closed	Higher level in 120-CF2 and possible mist carry over to 105J and damage Loss of liquid level in 120CF3 resulting in 105-J surge and damage	LAH-1022 LAHH-1215 leads to 105-J trip LAL-1023 FI-1011 FV-1011 Vibration monitor with alarm Axial rotor position High High trip 105-J	E	4		High Risk
26-3	No	No Flow of Liquid Ammonia from 120CF2 to 120-CF	LV-1023 fails closed	Higher level in 120-CF2 and possible mist carry over to 105J and damage Loss of liquid level in 120CF1 resulting in 105-J surge and damage	LAH-1023 LAHH-1216 leads to 105-J trip LAL-1024 FI-1012 FV-1012 Vibration monitor with alarm Axial rotor position High High trip 105-J	E	4		High Risk

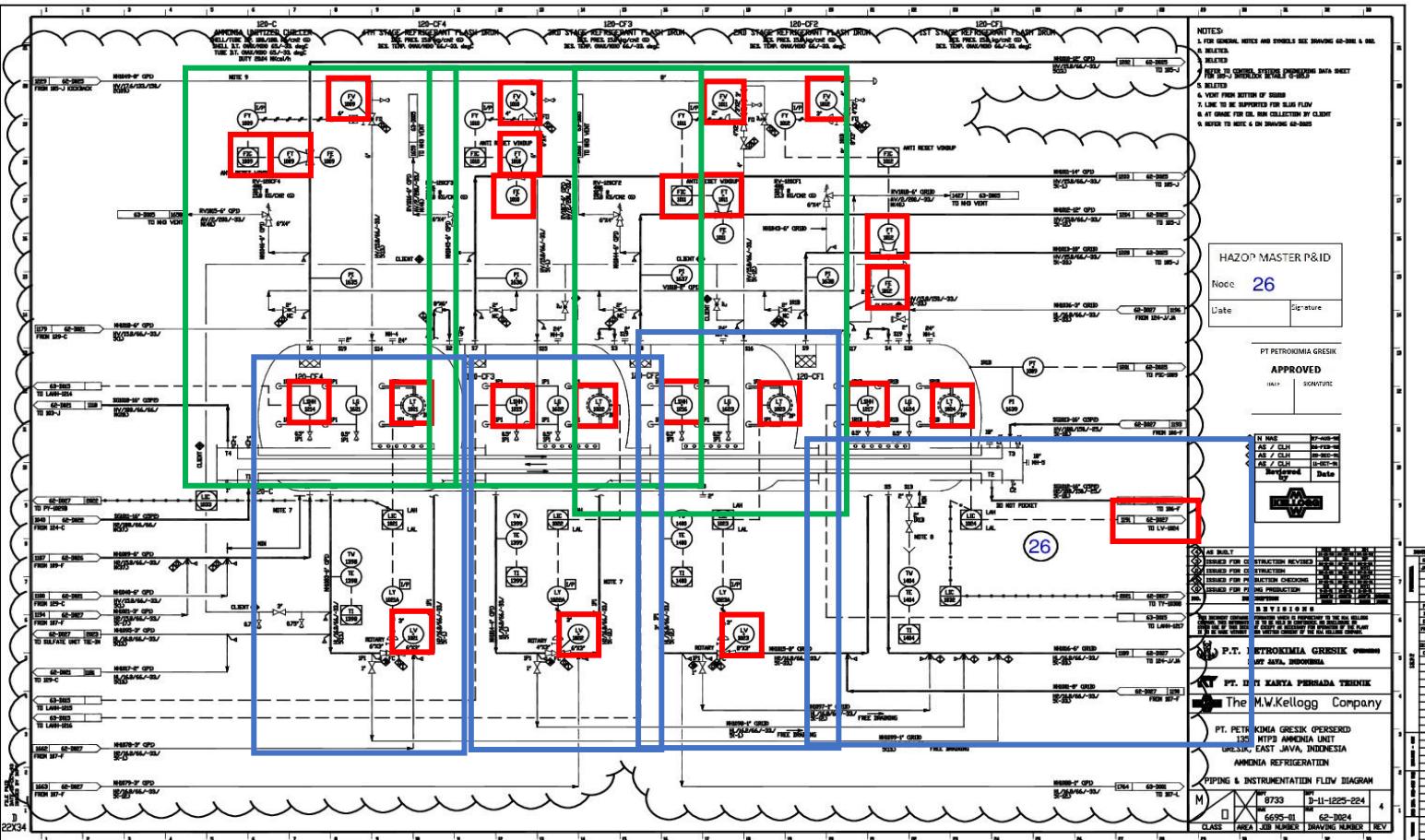
<i>Node</i>	<i>Guide Word</i>	<i>Deviation</i>	<i>Cause</i>	<i>Consequences</i>	<i>Safeguards</i>	<i>Likelihood (after Risk Reduction from SIL 2)</i>	<i>C</i>	<i>Risk Ranking</i>	<i>Keterangan</i>
26-4	No	No Flow of Liquid Ammonia from 120CF1 to Storage Tank	LV-1024 fails closed	Higher level in 120-CF1 and possible mist carry over to 105J damage	LAH-1024 LAHH-1217 leads to 105-J tri	E	3		<i>Moderate Risk</i>
26-5	No	No Flow of Liquid Ammonia from 120CF1 to Storage Tan	124 J/JA stop	Higher level in 120-CF1 and possible mist carry over to 105J damage	LAH-1024 LAHH-1217 leads to 105-J trip	E	3		<i>Moderate Risk</i>

<i>Node</i>	<i>Guide Word</i>	<i>Deviation</i>	<i>Cause</i>	<i>Consequences</i>	<i>Safeguards</i>	<i>Likelihood (after Risk Reduction from SIL 2)</i>	<i>C</i>	<i>Risk Ranking</i>	<i>Keterangan</i>
26-6	More	More Flow of Liquid Ammonia from 120CF4 to 120-CF3	LV-1021 fails opened	Loss of liquid level in 120CF4 and resulting 105-J surge and damage Higher level in 120-CF3 and possible mist carry over to 105J and damage	LAL-1021 FI-1009 FV-1009 Vibration monitor with alarm Axial rotor position High High trips 105-J LAH-1022 LAHH-1215 leads to 105-J trip	E	4		<i>High Risk</i>
26-7	More	More Flow of Liquid Ammonia from 120CF3 to 120-CF	LV-1022 fails opened	Loss of liquid level in 120CF3 and resulting 105-J surge and damage Higher level in 120-CF2 and possible mist carry over to 105J and damage	LAL-1022 FI-1010 FV-1010 Vibration monitor with alarm Axial rotor position High High trips 105-J LAH-1023 LAHH-1216 leads to 105-J trip	E	4		<i>High Risk</i>
26-8	More	More Flow of Liquid Ammonia	LV-1023	Loss of liquid level in 120CF2 and resulting 105-	LAL-1023 FI-1011 FV-1011 Vibration	E	4		<i>High Risk</i>

		from 120CF2 to 120-CF	fails opened	J surge and damage Higher level in 120-CF1 and possible mist carry over to 105J and damage	monitor with alarm Axial rotor position High High trips 105-J LAH-1024 LAHH-1217 leads to 105-J trip				
26-9	More	More Flow of Liquid Ammonia from 120CF1 to Storage Tank	LV-1024 fails opened	Loss of liquid level in 120CF1 resulting 105-J surge and damage	LAL-1024 FI-1012 FV-1012 Vibration monitor with alarm Axial rotor monitor High High trips 105-J	E	4		<i>High Risk</i>
26-10	More	More Flow of Liquid Ammonia from 120CF1 to Storage Tank	-	Loss of liquid level in 120CF1 resulting in 124J/JA cavitation	LAL-1024 FIQ-1061	E	3		<i>Moderate Risk</i>

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN B



LAMPIRAN C

DATA MAINTENANCE, PERHITUNGAN TTF DAN FAILURE RATE

120 CF1

Object ID	Actual Start	Actual Completion	Work Done	TTF (Hours)
FT 1012.120 CF1	12/3/2008	12/3/2008	Ganti Gasket RV	0
FT 1012.120 CF1	2/12/2009	2/12/2009	KALIBR ASI TI- 1404/PCA -1012 (QUALITY PLAN)	1704
FT 1012.120 CF1	4/16/2014	4/16/2014	SERVICE FT 1012	45336
FT 1012.120 CF1	1/9/2016	1/14/2016	SERVICE FT 1012	15312

Object ID	Actual Start	Actual Completion	Work Done	TTF (Hours)
LV 1024.120 CF1	12/1/2008	12/2/2008	Repair Body Safety Valve	0
LV 1024.120 CF1	2/6/2013	2/6/2013	Repair dan reset RV120CF1	36648
LV 1024.120 CF1	4/16/2014	4/16/2014	Service	10416
LV 1024.120 CF1	4/16/2015	4/16/2015	Service	8760
LV 1024.120 CF1	1/9/2016	1/9/2016	Service	6432

120 CF2

Object ID	Actual Start	Actual Completion	Work Done	TTF (Hours)
FT 1011.120 CF2	8/1/2005	8/1/2005	Repair dan reset FT 120CF2/3	0
FT 1011.120 CF2	12/1/2008	12/11/2008	KALIBRASI (QUALITY PLAN)	29472

FV 1011.120 CF2	8/1/2 005	8/1/200 5	Ganti Gasket FV	0
FV 1011.120 CF2	2/1/2 012	2/1/201 2	KALIBRASI FV (QUALITY PLAN)	57000

Jumlah Maintenance	TTF	MTTF	Failure rate	PFD
2	2947 2	29472	3.39305E-05	0.148 61563 5

Jumlah Maintenance	TTF	MTTF	Failure rate	PFD
2	5700 0	57000	1.75439E-05	0.076 84210 5

120 CF3

Object ID	Actual Start	Actual Completion	Work Done	TTF (Hours)
FT 1010.120 CF3	1/8/201 3	1/8/2013	FT LOKAL MERAGUK AN BUTUH OVERHAUL	0

FT 1010.120 CF3	4/15 /201 4	4/15/20 14	Kalibrasi	1108 8
FT 1010.120 CF3	1/12 /201 6	1/13/20 16	SERVICE FT 1010	1531 2
FT 1010.120 CF3	1/23 /201 6	1/23/20 16	SERVICE FT 1010	264

Object ID	Actual Start	Actual Completion	Work Done	TTF (Hours)
FV 1010.120 CF3	11/3 0/20 08	11/30/2 008	FT LOKAL MERAGUKAN BUTUH OVERHAUL	0
FV 1010.120 CF3	1/26 /201 6	1/26/20 16	Kalibrasi	6271 2

Jumlah Maintenance	TTF	MTTF	Failure rate	PFD
4	2640 0	13200	7.57576E-05	0.331 8181 82

120 CF4

Object ID	Actual Start	Actual Completion	Work Done	TTF (Hours)
FT 1009.120 CF4	12/3 /2013	12/3/2013	FT LOKAL MERAGUKAN BUTUH OVERHAUL	0
FT 1009.120 CF4	4/15 /2014	4/15/2014	Kalibrasi	47016
FT 1009.120 CF4	9/11 /2015	9/11/2015	Kalibrasi	9240

Object ID	Actual Start	Actual Completion	Work Done	TTF (Hours)
FV 1009.120 CF4	6/14 /2010	6/14/2010	REPAIR , PLUG BOCOR SISI UTARA	0
FV 1009.120 CF4	9/11 /2015	9/11/2015	Kalibrasi	45960

Jumlah Maintenance	TTF	MTTF	Failure rate	PFD
3	47016	47016	2.12694E-05	0.093159775

LAMPIRAN D

STUDY REPORT MTPD 2014

Node #	Ref #	Deviation	Cause	Consequences	Safeguards	Rec #	Recommendation	Action Bv
26 Ammonia Refrigeration								
26	26-1	No Flow of Liquid Ammonia from 120-CF4 to 120-CF3	LV-1021 fails closed	Higher level in 120-CF4 and possible mist carry over to 105-J and damage Loss of liquid level in 120-CF3 resulting in 105-J surge and damage	LAH-1021 LAHH-1214 leads to 105-J trip LAL-1022 FI-1010 FV-1010 Vibration monitor with alarm Axial rotor position High High trip 105-J		Refer to recommendation 25-1	
	26-2	No Flow of Liquid Ammonia from 120-CF3 to 120-CF2	LV-1022 fails closed	Higher level in 120-CF2 and possible mist carry over to 105-J and damage Loss of liquid level in 120-CF3 resulting in 105-J surge and damage	LAH-1022 LAHH-1215 leads to 105-J trip LAL-1023 FI-1011 FV-1011 Vibration monitor with alarm Axial rotor position High High trip 105-J		Refer to recommendation 25-1	
	26-3	No Flow of Liquid Ammonia from 120-CF2 to 120-CF1	LV-1023 fails closed	Higher level in 120-CF2 and possible mist carry over to 105-J and damage Loss of liquid level in 120-CF1 resulting in 105-J surge and damage	LAH-1023 LAHH-1216 leads to 105-J trip LAL-1024 FI-1012 FV-1012 Vibration monitor with alarm Axial rotor position High High trip 105-J		Refer to recommendation 25-1	
	26-4	No Flow of Liquid Ammonia from 120-CF1 to Storage Tank	LV-1024 fails closed	Higher level in 120-CF1 and possible mist carry over to 105-J damage	LAH-1024 LAHH-1217 leads to 105-J trip			
	26-5	No Flow of Liquid Ammonia from 120-CF1 to Storage Tank	124-J/A stop	Higher level in 120-CF1 and possible mist carry over to 105-J damage	LAH-1024 LAHH-1217 leads to 105-J trip			

Node #	Ref #	Deviation	Cause	Consequences	Safeguards	Rec #	Recommendation	Action Bv
26-6 More Flow of Liquid Ammonia from 120-CF4 to 120-CF3								
	26-6	More Flow of Liquid Ammonia from 120-CF4 to 120-CF3	LV-1021 fails opened	Loss of liquid level in 120-CF4 and resulting 105-J surge and damage Higher level in 120-CF3 and possible mist carry over to 105-J and damage	LAL-1021 FI-1008 FV-1009 Vibration monitor with alarm Axial rotor position High High trip 105-J LAH-1022 LAHH-1215 leads to 105-J trip			
	26-7	More Flow of Liquid Ammonia from 120-CF3 to 120-CF2	LV-1022 fails opened	Loss of liquid level in 120-CF3 and resulting 105-J surge and damage Higher level in 120-CF2 and possible mist carry over to 105-J and damage	LAL-1022 FI-1010 FV-1010 Vibration monitor with alarm Axial rotor position High High trip 105-J LAH-1023 LAHH-1216 leads to 105-J trip			
	26-8	More Flow of Liquid Ammonia from 120-CF2 to 120-CF1	LV-1023 fails opened	Loss of liquid level in 120-CF2 and resulting 105-J surge and damage Higher level in 120-CF1 and possible mist carry over to 105-J and damage	LAL-1023 FI-1011 FV-1011 Vibration monitor with alarm Axial rotor position High High trip 105-J LAH-1024 LAHH-1217 leads to 105-J trip			
	26-9	More Flow of Liquid Ammonia from 120-CF1 to Storage Tank	LV-1024 fails opened	Loss of liquid level in 120-CF1 resulting 105-J surge and damage	LAL-1024 FI-1012 FV-1012 Vibration monitor with alarm Axial rotor monitor High High trips 105-J			
	26-10	More Flow of Liquid Ammonia from 120-CF1 to Storage Tank		Loss of liquid level in 120-CF1 resulting in 124/J/A cavitation and damage	LAH-1024 FIQ-1061		Consider to add High alarm to FIQ-1061 in combination with mode selector switch HS-1023	
	26-11	Less Flow	Not Applicable					

Node #	Ref #	Deviation	Cause	Consequences	Safeguards	Rec #	Recommendation	Action By
26-12		Other Than Flow	FV-1009 fails opened	Higher pressure and temperature of 105-J 4th stage suction, possible over pressure	PAH-1401 SV-1220 TAH-1401			
26-13		Other Than Flow	FV-1010 fails opened	Higher pressure and temperature of 105-J 3rd stage suction, but no mechanical damage	TAH-1433			
26-14		Other Than Flow	FV-1011 fails opened	Higher pressure and temperature of 105-J 2nd stage suction, but no mechanical damage	TAH-1436			
26-15		Other Than Flow	FV-1012 fails opened	Higher pressure and temperature of 105-J 1st stage suction, but no mechanical damage	PAH-1009			
26-16		Other Than Flow	FV-1009 doesn't open when required	105-J surge and damage	FI-1009 Handjack on FV-1009 Vibration monitor with alarm Axial rotor position High High Trips 105-J		Refer to recommendation 25-1	
26-17		Other Than Flow	FV-1010 doesn't open when required	105-J surge and damage	FI-1010 Handjack on FV-1010 Vibration monitor with alarm Axial rotor position High High Trips 105-J		Refer to recommendation 25-1	
26-18		Other Than Flow	FV-1011 doesn't open when required	105-J surge and damage	FI-1011 Handjack on FV-1011 Vibration monitor with alarm Axial rotor position High High Trips 105-J		Refer to recommendation 25-1	
26-19		Other Than Flow	FV-1012 doesn't open when required	105-J surge and damage	FI-1012 Handjack on FV-1012 Vibration monitor with alarm Axial rotor position High High Trips 105-J		Refer to recommendation 25-1	
26-20		Higher Temperature	Covered by Scenario 26-12, 26-13, 26-14, 26-15					

Node #	Ref #	Deviation	Cause	Consequence	Safeguards	Rec #	Recommendation	Action By
26-21		Lower Temperature	Depressurizing of system	Ammonia temperature may decrease -33 degC at atmospheric condition	Mechanical design			
26-22		Higher Pressure	Covered by Scenario 26-12, 26-13, 26-14, 26-15					
26-23		Lower Pressure	Covered by Scenario 26-1, 26-2, 26-3, 26-6, 26-7, 26-8, 26-9					
26-24		Higher Level	Covered by Scenario 26-1, 26-2, 26-3, 26-4, 26-5, 26-6, 26-7, 26-8					
26-25		Lower Level	Covered by Scenario 26-1, 26-2, 26-3, 26-6, 26-7, 26-8, 26-10					
26-26		As Well As Composition	Not Applicable					

Halaman ini semgaja dikosongkan

LAMPIRAN E

Data Proses FT-1009 June 1st -25th (TON/HR)

Day	Hours																								
	12:00 AM	1:00 AM	2:00 AM	3:00 AM	4:00 AM	5:00 AM	6:00 AM	7:00 AM	8:00 AM	9:00 AM	10:00 AM	11:00 AM	12:00 PM	1:00 PM	2:00 PM	3:00 PM	4:00 PM	5:00 PM	6:00 PM	7:00 PM	8:00 PM	9:00 PM	10:00 PM	11:00 PM	
1	18.5 4	18.4 6	18.5 0	18.4 3	18.5 5	18.5 1	18.5 1	18.4 6	18.4 8	18.5 7	18.4 5	18.2 7	18.5 5	18.6 0	18.4 7	18.5 1	17.0 4	17.0 0	17.0 4	17.1 2	17.0 7	16.9 8	17.0 3	17.1	
2	17.0 5	17.2 7	17.0 1	17.2 2	16.6 9	16.8 8	18.4 6	18.2 3	20.7 5	20.7 2	21.6 0	21.8 2	21.8 1	21.6 1	21.8 5	22.2 8	22.6 2	23.9 6	23.9 9	23.9 0	23.9 2	23.9 0	23.7 1	24.0 7	
3	24.0 4	24.2 5	24.0 4	24.3 7	24.4 0	24.3 5	24.2 7	24.5 2	24.5 0	24.0 3	24.1 4	23.9 9	23.9 0	23.9 0	23.9 0	24.3 1	24.1 1	23.9 3	23.6 2	24.2 0	24.0 8	23.8 9	24.1 7	24.2	
4	24.0 0	24.2 8	24.2 4	24.2 2	24.3 6	24.0 4	24.2 5	24.0 1	23.9 4	23.9 1	23.5 8	23.7 3	23.7 0	23.5 0	23.6 4	24.1 8	24.8 7	23.3 9	22.5 3	22.6 0	19.8 3	19.5 6	22.2 9		
5	20.6 4	21.7 6	21.8 2	20.5 2	20.7 0	20.4 6	20.4 4	20.8 5	19.1 1	20.4 8	19.7 3	20.3 1	20.3 5	20.3 0	20.0 4	20.5 8	20.6 7	20.2 1	20.5 1	19.8 1	19.5 3	18.8 6	18.5 3		
6	16.0 8	19.3 3	19.7 2	19.3 4	19.4 1	19.6 6	19.2 3	19.7 1	18.6 7	18.6 1	19.0 1	17.1 3	17.1 1	17.0 1	16.9 0	16.7 0	16.9 0	16.9 4	16.9 3	16.9 1	16.9 8	17.2 1	17.1 8	19.3 8	
7	18.5 4	18.8 9	16.7 1	17.2 7	17.0 9	16.8 8	16.9 8	16.9 6	16.9 1	16.9 9	17.0 1	17.0 1	17.0 1	17.0 5	17.1 0	17.2 0	17.1 6	16.9 3	17.2 3	17.2 2	19.4 2	21.8 5	22.9 2	22.9 3	
8	18.7 0	19.8 4	17.3 5	17.5 2	17.8 6	17.9 1	17.5 6	17.0 9	17.8 2	17.8 8	16.8 1	16.9 7	16.9 6	16.9 0	16.9 6	17.0 2	17.0 0	17.0 8	17.7 8	17.7 0	17.2 8	17.4 8	18.3 4	16.8 3	17.3 7
9	16.9 9	16.8 9	16.6 6	16.5 6	16.7 1	16.6 1	16.6 2	16.6 3	16.6 3	16.7 4	16.6 2	16.6 1	16.6 2	16.6 1	16.6 2	16.8 9	16.7 2	16.7 9	16.6 1	16.7 6	16.7 9	16.6 2	19.2 2	17.8 6	17.5 6
10	17.6 7	16.8 4	17.5 3	17.6 3	18.2 4	18.5 3	17.9 5	21.5 2	20.1 6	20.3 5	20.7 6	19.9 6	20.0 5	20.0 6	20.0 2	20.4 4	20.2 1	20.0 6	20.0 7	20.3 3	20.0 5	20.1 7	19.8 7	20.4 7	20.5
11	20.7 3	21.3 5	22.5 0	21.9 5	22.0 2	21.7 4	22.4 3	22.0 0	21.2 7	22.3 1	22.3 3	22.3 1	22.4 9	22.5 6	22.3 9	22.5 2	22.2 7	22.2 0	22.1 2	22.5 0	22.1 3	22.4 0	22.3 3	22.3 3	
12	22.8 4	23.0 4	23.1 4	23.0 4	23.2 5	23.2 4	23.3 5	22.8 3	21.6 2	22.4 2	22.9 3	22.4 2	22.8 1	22.6 0	22.5 1	22.5 2	22.6 5	22.8 4	21.9 3	22.0 0	22.7 2	22.7 5	23.0 1	23.1 5	
13	23.0 9	22.8 4	22.6 0	22.1 6	21.8 1	21.4 9	21.5 5	21.3 4	21.4 6	21.6 7	22.7 2	22.1 3	22.9 7	23.0 3	23.5 5	23.1 4	22.9 0	23.1 2	23.0 3	23.0 2	23.3 3	23.3 2	23.2 2		
14	22.0 5	21.7 4	20.1 0	19.9 3	19.6 2	19.7 8	19.5 2	19.9 0	19.6 8	19.6 5	20.0 5	19.9 4	19.4 5	18.3 3	16.7 3	17.4 4	16.7 1	16.9 0	16.7 1	17.0 6	16.7 1	16.6 7	16.6 7	16.6 7	
15	16.9 4	16.8 5	16.4 0	17.2 2	16.5 9	16.4 2	16.6 0	17.3 1	17.0 2	17.2 0	17.4 1	17.2 0	17.2 0	17.6 0	17.4 0	17.2 5	17.2 2	16.8 5	17.3 2	16.8 3	17.5 9	17.5 2	18.4 0		
16	17.0 4	16.8 3	16.7 0	17.4 2	16.4 7	17.6 4	16.3 2	16.9 5	17.5 1	17.7 3	18.0 1	17.0 3	17.6 1	17.7 8	17.6 3	17.7 2	17.7 1	17.9 5	17.6 3	17.6 8	17.9 7	17.5 0	17.8 7		
17	17.9 9	17.9 6	17.6 3	17.6 0	17.9 8	17.2 5	17.1 6	16.6 4	17.3 7	17.3 9	17.3 4	16.6 7	17.3 7	17.6 1	17.4 7	17.4 0	19.0 5	18.1 7	17.7 5	18.1 9	17.1 2	16.9 4			
18	17.1 4	17.0 9	17.1 0	16.8 8	16.6 4	17.1 2	17.2 4	16.7 3	17.0 1	17.4 6	17.3 1	17.4 6	17.6 1	17.4 1	17.6 5	17.7 7	17.7 0	17.8 6	16.9 1	17.6 6	17.4 0	16.5 0			
19	17.1 7	17.5 2	17.4 9	17.4 4	17.4 3	16.9 0	16.8 7	17.7 2	17.4 0	17.5 7	17.3 6	17.3 9	17.3 6	17.3 1	17.4 3	17.4 1	17.4 0	17.6 7	17.6 1	17.1 1	16.5 4	17.1 3	17.4 3		
20	17.6 2	17.3 6	17.4 7	17.4 8	17.2 7	17.4 8	17.4 3	17.2 0	17.0 7	17.6 6	17.3 9	17.3 6	17.3 9	17.3 1	17.4 2	17.4 0	17.4 7	17.4 1	17.1 1	17.1 1	16.5 1	17.1 1	17.0		
21	16.4 2	16.6 2	16.5 1	17.0 7	16.4 6	24.0 5	24.2 1	23.5 5	23.3 7	23.3 2	22.5 0	23.8 5	24.0 0	23.6 0	23.8 8	22.7 8	22.7 7	20.6 6	19.1 5	17.0 6	16.4 1	16.6 1	17.1 5		
22	19.5 7	18.6 5	20.4 1	19.7 3	19.1 1	20.1 0	18.2 2	18.1 6	19.7 3	19.5 2	19.5 7	18.7 5	18.9 7	18.5 7	17.6 7	18.9 7	18.7 9	19.0 7	19.2 9	18.1 4	18.8 8	18.6 5	17.1 6		
23	17.4 2	17.3 1	20.6 3	20.6 4	17.8 3	17.3 3	18.8 3	18.3 2	17.5 2	16.7 3	17.7 1	15.8 6	16.0 6	16.0 2	17.2 2	16.6 1	16.5 5	17.2 2	17.3 1	17.3 1	16.7 0	16.9 2	16.2 7		
24	17.8 9	16.7 1	17.0 0	16.6 9	16.5 8	16.0 8	16.4 0	17.1 7	17.3 2	17.9 3	17.3 5	16.8 6	16.8 5	17.9 4	17.5 0	17.7 5	17.0 3	16.9 7	16.7 0	16.1 2	16.0 2	16.2 8	15.9 5		
25	16.4 8	16.2 6	16.3 2	16.6 1	16.4 8	16.3 8	16.5 6	16.8 5	16.8 4	16.8 3	17.9 3	17.5 0	17.6 0	17.1 0	17.6 5	17.7 8	17.7 1	16.3 7	16.0 7	15.8 6	16.1 3	15.8 6	16.1 5		

Data Proses FT-1010 June 1st -25th (TON/HR)

D a y	Hours																							
	12:00 AM	1:00 AM	2:00 AM	3:00 AM	4:00 AM	5:00 AM	6:00 AM	7:00 AM	8:00 AM	9:00 AM	10:00 AM	11:00 AM	12:00 PM	1:00 PM	2:00 PM	3:00 PM	4:00 PM	5:00 PM	6:00 PM	7:00 PM	8:00 PM	9:00 PM	10:00 PM	11:00 PM
1	16.5 6	16.4 9	16.4 6	16.4 6	16.4 2	16.5 9	16.4 8	16.4 0	16.4 0	16.1 1	16.5 3	16.4 6	16.0 7	15.5 0	14.7 4	14.2 0	13.5 9	13.6 7	13.6 4	13.6 7	13.6 2			
2	13.6 6	12.8 1	14.5 7	15.0 6	13.5 7	15.1 5	15.5 8	15.5 1	14.0 9	18.1 7	21.5 3	21.7 5	21.9 9	21.7 4	21.3 3	21.8 0	22.1 7	22.1 8	22.2 1	22.2 8	22.3 3	22.2 3	22.2 0	22.2 0
3	22.1 5	22.0 4	22.1 4	22.1 5	22.2 7	22.1 8	22.3 9	22.1 7	22.4 5	22.4 8	22.2 3	22.3 5	22.3 9	22.4 4	22.4 3	22.2 3	22.3 5	22.3 1	22.3 5	22.2 3	22.2 0	22.2 0	22.0 8	
4	22.1 7	22.2 9	22.1 0	22.3 2	22.1 4	22.4 7	22.3 8	22.4 9	22.4 5	22.2 0	22.3 4	22.3 0	22.3 4	22.3 9	22.3 1	22.1 9	22.1 8	22.4 2	21.8 3	21.8 7	21.6 9	22.2 2	22.6 3	
5	22.2 7	21.7 9	22.7 0	22.2 2	22.4 0	21.5 2	22.4 4	22.4 8	23.0 9	22.6 0	22.8 2	22.5 7	22.5 1	22.4 4	22.5 9	22.9 5	23.2 1	23.1 0	22.9 3	23.0 1	23.0 9	23.1 1	23.1 0	
6	23.3 5	23.5 3	23.7 7	23.5 5	23.7 2	23.5 4	23.4 8	23.4 0	23.4 8	23.1 2	23.4 7	22.6 2	22.5 7	22.5 1	23.4 5	23.4 9	22.9 5	23.6 6	23.1 6	22.9 5	23.1 1	23.6 3	23.4 0	
7	23.2 8	23.4 6	23.0 8	23.2 4	23.1 1	23.1 9	22.2 8	22.7 3	22.8 0	22.7 7	23.0 7	23.0 9	23.0 9	23.0 0	24.4 8	24.2 5	24.1 2	23.7 1	23.7 7	23.5 2	23.1 1	23.0 0	22.0 8	21.8 0
8	23.8 4	24.3 3	22.7 4	22.7 2	22.5 8	22.5 6	23.4 6	23.3 8	23.0 0	23.3 8	23.0 5	23.7 0	22.7 8	23.3 2	23.9 8	23.5 2	22.9 6	23.4 1	23.0 8	23.6 2	23.4 4	23.0 5	22.4 9	
9	23.2 4	22.8 9	22.5 8	22.6 0	22.9 3	22.8 5	22.3 9	22.3 4	23.0 1	23.0 7	23.3 5	22.7 5	22.6 8	22.6 2	22.6 0	22.5 1	22.7 7	22.8 2	22.5 5	22.5 2	22.5 0	22.3 3	23.0 3	
10	24.1 1	23.5 5	23.6 2	23.3 0	23.5 3	23.7 5	23.6 8	23.4 7	23.4 3	23.3 9	23.5 1	23.7 4	23.7 9	23.8 1	23.4 4	23.4 1	23.6 5	23.6 4	23.7 8	23.7 3	23.7 1	23.7 0		
11	23.7 6	22.1 2	19.2 0	20.7 3	20.6 9	20.6 4	20.8 5	20.7 1	20.6 5	20.5 4	20.8 1	20.7 1	20.5 8	20.6 0	20.6 9	20.6 1	20.7 2	20.7 6	20.5 1	20.5 6	20.6 6	20.6 9	20.7 1	
12	20.6 8	20.5 8	20.7 9	20.6 0	20.6 3	20.7 2	20.5 9	20.6 3	20.6 2	20.7 3	21.3 6	20.8 5	20.3 9	20.4 6	20.4 2	20.3 7	21.2 6	20.7 7	19.8 6	19.7 7	19.8 9	19.7 8	20.5 4	
13	20.3 6	20.4 6	20.2 9	21.3 9	21.0 7	21.6 6	21.4 8	21.4 1	21.7 3	20.7 8	20.3 0	20.6 7	20.4 5	20.1 0	20.1 1	20.0 8	20.3 7	20.2 6	20.2 1	20.1 0	20.4 3	21.1 2		
14	22.1 1	22.4 1	23.2 0	23.5 7	23.3 7	23.5 3	23.4 0	23.4 1	23.4 1	23.3 1	23.3 0	23.5 6	23.9 5	23.7 9	23.0 6	23.4 9	23.0 2	23.4 1	23.4 4	23.4 1	24.4 5			
15	24.3 3	24.5 2	23.8 4	23.2 6	24.0 5	23.4 9	23.4 1	23.4 6	23.4 1	23.3 9	23.5 7	22.6 2	22.4 7	22.9 4	23.0 5	23.0 9	23.0 1	23.2 5	23.0 9	23.4 3	23.4 1	23.6 6		
16	23.1 2	23.2 9	22.7 0	22.5 1	22.3 2	22.7 7	22.5 4	22.7 3	22.8 6	23.0 0	23.0 3	22.9 1	23.2 0	23.1 1	23.0 0	22.8 7	22.9 2	22.8 0	22.6 1	22.6 2	22.6 4	22.5 8		
17	22.6 5	22.6 0	22.6 8	22.6 2	22.6 1	22.6 2	22.6 7	22.7 0	22.7 5	22.6 0	22.5 7	22.2 4	22.2 7	22.2 2	22.2 4	24.5 8	23.6 4	23.6 8	23.6 2	23.6 6	23.0 0	22.9 1		
18	23.0 1	23.5 6	22.7 5	23.2 7	23.3 2	22.1 3	22.4 4	22.4 7	22.1 0	22.3 5	22.3 0	22.7 9	22.8 1	22.5 0	22.5 8	22.9 5	22.5 2	22.5 5	22.5 2	22.5 1	22.6 3	21.7 9		
19	22.1 3	22.1 3	22.9 2	22.2 5	22.3 6	21.9 8	22.2 1	22.5 1	22.4 8	22.4 2	22.4 1	23.7 2	23.1 7	23.1 4	23.1 1	23.0 9	23.3 5	23.2 2	23.0 9	23.4 3	23.4 1	23.6 6		
20	22.0 0	22.1 5	22.3 2	21.9 6	16.2 6	16.2 7	17.1 1	1.35	1.44	2.37	1.52	2.30	2.30	2.02	2.02	2.05	15.2	13.4	12.5	14.8	14.9	15.0	13.5	15.0
21	14.5 1	14.3 1	14.1 3	16.6 9	19.0 9	26.1 3	21.8 2	21.8 3	22.0 1	21.9 4	21.7 1	21.0 7	20.8 7	20.7 6	20.6 7	20.8 9	21.3 6	20.9 9	21.6 9	21.6 8	21.6 1	21.0 7	21.7 0	
22	21.8 4	21.9 2	21.0 7	21.7 1	22.8 3	21.5 2	21.8 1	22.7 9	22.6 8	22.5 0	22.5 7	22.2 4	22.2 8	21.7 7	21.7 6	21.7 8	21.2 5	21.2 3	21.1 7	21.1 5	21.0 6	22.0 3		
23	22.2 2	22.0 8	21.8 6	21.9 6	21.9 1	22.9 4	22.1 8	22.1 6	22.5 8	22.3 2	22.1 1	21.9 1	21.9 7	22.2 1	22.2 4	22.2 6	22.5 5	22.5 2	22.5 1	22.7 7	22.7 9	23.2 9		
24	22.8 9	22.6 5	22.6 7	21.8 8	22.0 3	22.2 2	22.3 4	22.4 8	22.3 7	22.1 9	22.1 7	21.8 3	21.8 4	21.8 8	21.8 3	21.7 2	22.2 1	22.2 9	21.7 8	21.7 1	23.0 3	21.9 1		
25	24.4 9	21.2 3	21.5 5	21.3 9	21.4 6	21.4 8	21.3 7	21.3 8	22.0 6	21.2 4	21.2 2	21.6 1	22.1 6	22.1 2	22.1 1	22.0 6	23.2 8	23.2 6	21.6 8	21.5 5	21.5 0	21.1 8		

Data Proses FT-1011 June 1st -25th (TON/HR)

Day	Hours																							
	12:00 AM	1:00 AM	2:00 AM	3:00 AM	4:00 AM	5:00 AM	6:00 AM	7:00 AM	8:00 AM	9:00 AM	10:00 AM	11:00 AM	12:00 PM	1:00 PM	2:00 PM	3:00 PM	4:00 PM	5:00 PM	6:00 PM	7:00 PM	8:00 PM	9:00 PM	10:00 PM	11:00 PM
1	6.01	5.96	5.99	6.05	6.04	6.00	5.97	6.06	6.01	5.98	5.98	5.00	6.02	6.04	6.02	6.03	5.99	5.96	5.76	5.49	5.55	5.48	5.59	5.55
2	5.47	5.33	5.48	5.49	5.07	6.02	5.74	5.81	6.01	6.11	7.33	7.56	7.33	7.52	7.61	7.38	7.59	7.37	7.47	7.50	7.56	7.37	7.45	7.69
3	7.57	7.49	7.66	7.40	7.39	7.51	7.48	7.58	7.28	7.55	7.33	7.46	7.52	7.50	7.61	7.40	7.53	7.62	7.78	7.49	7.49	7.65	7.45	7.54
4	7.45	7.40	7.60	7.45	7.49	7.67	7.45	7.48	7.32	7.45	7.57	7.66	7.55	6.99	7.52	7.51	7.69	7.39	7.13	7.50	7.50	7.61	8.17	7.17
5	7.53	7.86	7.22	8.14	7.99	7.97	7.60	7.57	7.09	7.17	7.27	7.24	7.62	7.62	7.48	6.90	6.64	7.20	7.40	7.36	7.21	7.19	7.31	7.74
6	7.29	7.35	7.44	7.41	7.56	7.52	7.49	7.31	7.41	7.21	8.14	8.20	8.07	8.22	8.53	8.02	7.68	7.76	7.41	7.67	7.61	8.26	7.25	7.68
7	7.55	7.54	7.04	7.63	7.71	7.94	7.34	7.67	7.82	7.88	8.14	7.83	7.95	7.88	7.42	7.72	7.96	8.16	7.36	7.47	7.32	7.74	7.51	7.22
8	7.78	6.47	7.10	8.32	8.27	8.17	7.06	6.11	7.90	7.72	7.54	7.16	8.14	7.22	7.13	7.34	7.71	8.32	7.17	8.11	7.10	7.32	7.79	7.93
9	7.95	7.29	7.89	7.59	7.37	7.17	7.29	7.46	7.44	7.78	8.06	7.82	6.87	7.32	8.44	7.87	6.43	8.10	7.86	7.92	8.15	6.06	8.05	7.79
10	7.34	7.30	7.65	7.85	7.51	7.15	7.46	7.08	7.44	7.13	7.11	7.11	7.15	7.59	7.39	7.20	7.47	7.19	7.31	7.33	7.35	7.35	7.35	7.17
11	7.09	7.72	7.91	7.65	7.56	7.65	7.51	7.16	7.33	7.53	7.23	7.24	7.36	7.36	7.29	7.20	7.53	7.47	7.55	7.68	7.36	7.59	7.54	7.51
12	7.40	7.46	7.55	7.56	7.61	7.58	7.65	7.36	7.53	7.68	7.48	7.39	7.37	7.30	7.27	7.40	7.41	7.27	7.46	6.86	7.50	7.54	7.68	7.30
13	7.71	7.29	7.60	7.71	7.44	7.29	7.50	7.47	7.57	7.29	7.41	7.44	7.38	7.19	7.41	7.22	7.30	7.64	7.70	7.42	7.18	7.47	7.36	7.48
14	7.36	7.43	7.16	6.97	7.65	7.19	7.41	7.10	7.09	6.86	7.10	7.04	6.96	6.40	7.02	7.36	7.92	7.63	7.54	7.38	7.69	7.23	7.35	7.56
15	8.04	7.24	8.36	7.51	7.15	8.00	8.01	8.49	7.66	7.68	7.70	7.24	7.85	7.65	7.48	7.25	7.59	7.43	7.71	7.80	7.40	7.75	7.45	7.19
16	7.17	7.54	7.80	7.41	7.80	7.33	7.97	7.49	7.20	7.57	7.27	7.25	7.58	6.99	7.05	7.48	7.27	7.72	7.46	7.23	7.31	7.36	7.56	7.35
17	7.47	7.57	7.09	7.37	7.74	7.46	7.64	7.62	7.31	7.20	7.48	6.99	7.63	7.37	7.49	7.68	7.64	6.11	7.06	7.60	7.02	7.18	7.83	7.36
18	7.33	7.29	7.50	7.06	7.41	7.60	7.55	7.67	7.46	7.28	7.45	7.58	6.98	7.32	7.51	7.26	7.25	7.60	7.45	7.51	7.63	7.41	7.44	7.88
19	7.71	7.47	7.27	7.25	7.18	7.34	7.82	7.10	7.15	7.33	7.48	7.32	6.70	7.14	7.37	6.89	7.35	7.46	7.11	7.51	7.30	7.28	7.43	7.51
20	7.60	7.39	7.40	7.71	5.43	2.42	0.54	0.50	0.47	1.02	0.44	0.99	6.05	6.31	6.28	5.03	4.40	4.10	5.13	5.10	5.07	4.71	4.85	5.14
21	4.98	4.96	5.23	5.23	5.17	6.16	6.67	6.71	6.82	6.91	6.76	6.72	6.82	6.69	6.80	6.79	6.84	6.61	6.70	6.82	6.47	7.56	7.05	6.99
22	7.20	7.33	7.09	7.10	6.39	7.48	6.53	7.00	6.87	6.62	6.58	6.55	6.43	6.86	6.96	6.92	7.11	6.90	7.11	7.24	7.03	7.16	6.89	6.99
23	7.00	7.17	6.89	6.91	6.85	6.62	7.06	7.46	6.85	7.18	7.04	7.26	7.34	7.13	7.22	7.57	7.72	7.60	7.35	7.13	7.38	7.40	7.84	7.22
24	7.62	7.79	7.34	7.45	7.44	7.55	7.18	7.16	6.83	7.02	7.14	7.25	7.39	7.69	7.23	7.46	6.89	7.13	7.16	7.23	6.88	7.38	7.21	
25	7.13	7.67	7.52	7.40	7.12	7.61	7.22	7.12	6.85	6.94	7.25	6.95	6.81	6.94	6.86	6.61	6.84	6.76	7.29	7.01	6.98	7.01	7.53	7.15

Data Proses FT-1012 June 1st -25th (TON/HR)

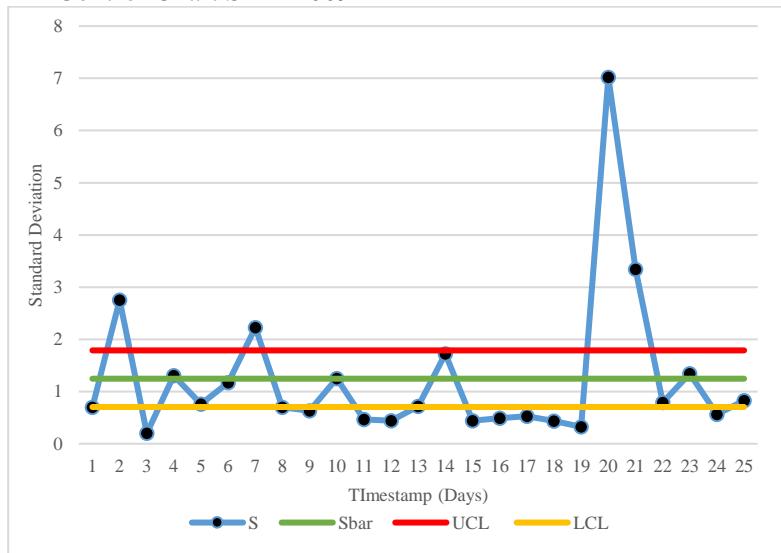
Day	Hours																							
	12:00 AM	1:00 AM	2:00 AM	3:00 AM	4:00 AM	5:00 AM	6:00 AM	7:00 AM	8:00 AM	9:00 AM	10:00 AM	11:00 AM	12:00 PM	1:00 PM	2:00 PM	3:00 PM	4:00 PM	5:00 PM	6:00 PM	7:00 PM	8:00 PM	9:00 PM	10:00 PM	11:00 PM
1	9.00	9.04	8.94	8.99	9.00	8.97	9.00	8.94	9.07	9.01	8.92	9.01	9.01	9.01	8.98	9.00	9.01	8.66	8.57	8.62	8.51	8.64	8.46	8.55
2	8.51	9.01	8.54	8.46	8.26	8.53	8.44	8.38	10.9 ₃	11.0 ₀	9.31	9.14	9.32	9.23	9.20	9.25	9.23	9.33	9.24	9.31	9.22	9.26	9.26	9.39
3	9.39	9.44	9.40	9.47	9.49	9.40	9.45	9.42	9.50	9.41	9.40	9.40	9.37	9.39	9.44	9.51	9.37	9.35	9.31	9.34	9.37	9.40	9.44	9.44
4	9.53	9.50	9.42	9.45	9.49	9.46	9.50	9.46	9.49	9.36	9.43	9.37	9.35	9.35	9.41	9.38	9.47	9.56	9.40	9.37	9.42	8.45	9.28	9.49
5	8.72	9.19	9.31	9.07	9.03	9.62	9.32	9.26	8.47	9.01	8.63	8.82	8.93	8.84	8.74	8.76	8.96	8.94	8.80	8.63	8.33	8.41	8.20	8.11
6	8.36	8.54	8.65	8.61	8.60	8.76	8.73	8.77	8.32	9.10	8.69	8.88	9.00	8.25	8.99	8.46	8.41	8.55	8.47	8.71	9.38	8.67	9.12	8.78
7	8.93	8.81	8.33	8.83	8.91	8.94	8.64	8.85	8.99	9.10	8.93	8.83	8.85	8.90	8.51	8.32	8.26	7.36	9.15	9.10	9.07	9.53	9.68	9.43
8	9.02	9.54	8.40	9.27	9.05	9.02	8.86	8.17	8.61	9.14	9.04	8.86	8.07	8.42	8.42	8.36	9.21	8.68	9.47	9.08	9.29	8.41	7.48	8.68
9	8.56	8.38	8.25	9.06	8.82	9.06	8.70	8.45	9.02	8.93	9.11	9.24	8.74	8.56	8.85	9.26	8.75	9.05	7.74	9.17	9.06	8.34	8.54	8.96
10	8.74	8.65	8.76	8.82	8.64	8.92	8.76	8.74	8.36	8.58	8.61	8.61	8.64	8.41	8.53	8.53	8.50	8.73	8.54	8.32	8.35	8.39	8.53	
11	8.54	8.68	9.06	8.93	8.86	8.87	8.76	8.93	8.89	8.82	9.10	8.89	8.87	8.83	8.86	8.92	8.79	8.80	8.74	8.72	8.76	8.66	8.74	8.74
12	8.87	8.88	8.91	8.90	8.90	8.90	9.05	9.10	8.82	8.60	8.80	8.92	8.86	8.84	8.89	8.88	8.84	8.70	8.60	8.86	8.63	8.78	8.81	8.95
13	8.75	8.95	8.99	8.95	8.81	8.46	8.78	8.85	8.63	8.71	8.75	8.90	8.81	9.00	8.84	9.08	8.92	8.88	8.82	8.81	8.87	8.87	9.10	8.88
14	8.72	8.71	8.58	8.55	8.26	8.47	8.55	8.54	8.48	8.68	8.54	8.60	8.51	8.86	8.84	8.95	8.58	8.62	8.54	8.59	8.47	8.75	8.27	8.07
15	7.61	7.90	7.67	8.31	8.36	7.91	7.88	8.20	8.64	8.67	8.63	8.61	8.47	8.64	8.60	8.55	8.44	8.23	8.34	8.26	8.23	8.18	8.37	8.53
16	8.46	8.10	8.24	8.69	8.59	8.54	8.42	8.73	8.60	8.43	8.47	8.41	8.42	8.51	8.56	8.30	8.43	8.37	8.20	8.46	8.41	8.34	8.37	8.36
17	8.30	8.23	8.52	8.40	8.29	8.26	8.32	8.37	8.43	8.52	8.35	8.21	8.34	8.48	8.43	8.42	8.33	7.61	7.73	8.10	8.00	7.97	7.92	8.06
18	8.07	7.98	8.02	8.16	8.01	8.35	8.34	8.05	8.27	8.43	8.35	8.31	8.29	8.10	8.30	7.95	8.09	8.06	7.98	8.22	8.10	8.06	7.96	8.41
19	8.18	8.31	7.98	8.43	8.31	8.27	8.27	8.47	8.28	8.27	8.24	8.31	8.13	7.83	7.84	8.25	7.52	8.29	8.20	8.21	7.95	7.98	7.68	8.19
20	8.01	8.22	8.15	8.22	11.6 ₂	4.96	0.74	0.95	0.93	1.85	0.42	1.81	12.0 ₁	11.9 ₀	11.2 ₉	9.08	7.80	9.69	10.2 ₃	10.0 ₀	10.0 ₂	9.21	9.71	9.71
21	9.30	9.40	9.22	7.75	8.10	8.78	9.10	9.21	9.03	8.92	8.98	8.70	8.80	8.88	8.99	8.90	9.05	9.30	9.23	9.10	9.06	9.36	9.28	9.28
22	8.99	9.00	9.23	9.05	9.06	8.83	8.89	8.64	8.59	8.81	8.76	8.73	9.18	9.13	8.56	8.28	8.83	8.86	9.03	9.02	8.97	9.04	9.33	9.20
23	9.19	9.27	9.02	9.11	9.06	8.66	8.63	8.77	9.03	8.57	8.14	8.83	8.72	9.15	8.68	8.76	8.46	8.57	8.39	8.83	8.33	8.43	8.01	8.05
24	7.92	8.06	8.36	8.81	8.73	8.47	8.66	8.77	8.99	8.80	8.72	8.55	8.68	8.72	8.62	8.56	8.49	8.59	8.54	8.33	8.47	8.17	7.96	8.42
25	8.20	8.51	8.52	8.69	8.86	8.68	8.56	8.54	8.50	8.28	8.52	8.24	8.49	8.30	8.33	8.47	8.40	8.33	8.50	8.34	7.85	8.46	8.27	8.36

LAMPIRAN E

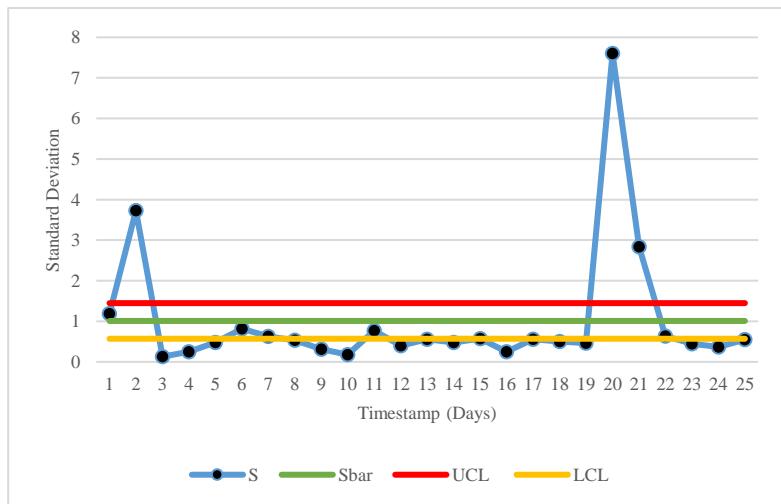
Tabel Nilai konstanta untuk *Control Chart*

Sample Size = m	A ₂	A ₃	d ₂	D ₃	D ₄	B ₃	B ₄
2	1.880	2.659	1.128	0	3.267	0	3.267
3	1.023	1.954	1.693	0	2.574	0	2.568
4	0.729	1.628	2.059	0	2.282	0	2.266
5	0.577	1.427	2.326	0	2.114	0	2.089
6	0.483	1.287	2.534	0	2.004	0.030	1.970
7	0.419	1.182	2.704	0.076	1.924	0.118	1.882
8	0.373	1.099	2.847	0.136	1.864	0.185	1.815
9	0.337	1.032	2.970	0.184	1.816	0.239	1.761
10	0.308	0.975	3.078	0.223	1.777	0.284	1.716
11	0.285	0.927	3.173	0.256	1.744	0.321	1.679
12	0.266	0.886	3.258	0.283	1.717	0.354	1.646
13	0.249	0.850	3.336	0.307	1.693	0.382	1.618
14	0.235	0.817	3.407	0.328	1.672	0.406	1.594
15	0.223	0.789	3.472	0.347	1.653	0.428	1.572
16	0.212	0.763	3.532	0.363	1.637	0.448	1.552
17	0.203	0.739	3.588	0.378	1.622	0.466	1.534
18	0.194	0.718	3.640	0.391	1.608	0.482	1.518
19	0.187	0.698	3.689	0.403	1.597	0.497	1.503
20	0.180	0.680	3.735	0.415	1.585	0.510	1.490
21	0.173	0.663	3.778	0.425	1.575	0.523	1.477
22	0.167	0.647	3.819	0.434	1.566	0.534	1.466
23	0.162	0.633	3.858	0.443	1.557	0.545	1.455
24	0.157	0.619	3.895	0.451	1.548	0.555	1.445
25	0.153	0.606	3.931	0.459	1.541	0.565	1.435

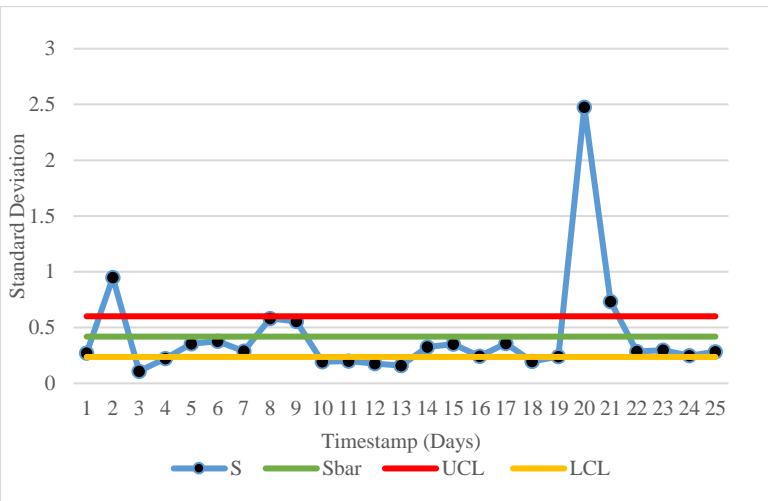
- Control Chart S FT-1009



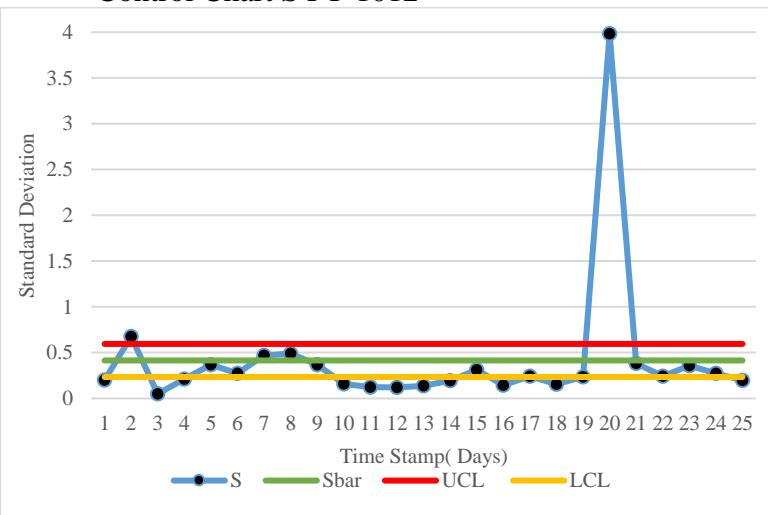
- Control Chart S FT-1010



- Control Chart S FT-1011



- Control Chart S FT-1012



Dari grafik *control chart S* yang di plot dari data proses *ammonia refrigeration* dari tanggal 1-25 Juni 2018 tersebut, diketahui bahwa distribusi data pada FT 1009 dan FT 1012 banyak mengalami deviasi. Pada FT 1010 memiliki deviasi paling banyak dari kesuluran pembacaan transmitter . Untuk FT 1011 dengan distribusi data paling akurat dan paling sedikit terdapat deviasi

BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir pada tanggal 15 Oktober 1995 di Bekasi. Penulis menempuh pendidikan di SD Islam Al Azhar 9 Kemang Pratama Bekasi (2002-2008), SMP Labschool Jakarta (2008-2011), dan SMA Labschool Jakarta (2011-2014). Penulis melanjutkan studinya di Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Bidang minat yang diambil penulis adalah rekayasa instrumentasi dan kontrol terutama mengenai topik

safety and reliability. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam kegiatan non-akademik sebagai anggota BEM FTI ITS dan UKM basket ITS . Selain itu, pengalaman *internship* dan keja praktek penulis adalah melakukan analisis performansi penerbangan pesawat terbang N 219 PT Dirgantara Indonesia dengan variasi *rating code* dan *altitude* yang berbeda. Penulis dapat dihubungi melalui surat elektronik ferdihilm@gmail.com