



TUGAS AKHIRTF141581

**ANALISA TINGKAT RESIKO DAN LAPISAN
PELINDUNG DENGAN MENGGUNAKAN *LAYER
OF PROTECTION ANALYSIS (LOPA)* PADA
SISTEM *AIR COMPRESSOR* 101J/JT DI PABRIK
AMMONIA PT. PETROKIMIA GRESIK**

AHMAD SHOLEH HUDDIN
NRP. 2413 105033

Dosen Pembimbing
Ir. RONNY DWI NORAYATI, M.Kes
NIP: 19571126 198403 2 002

JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



*FINAL PROJECT*TF141581

***ANALYSIS OF RISK LEVEL AND PROTECTION LAYER
USING BY LAYER OF PROTECTION ANALYSIS
(LOPA) AIR COMPRESSOR 101J/JT SYSTEM
AMMONIA PLANT PT. PETROKIMIA GRESIK***

AHMAD SHOLEH HUDDIN
NRP. 2413 105033

Supervisor
Ir. RONNY DWI NORAYATI, M.Kes
NIP: 19571126 198403 2 002

*DEPARTEMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institut Of Technology
Surabaya 2014*

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA TINGKAT RESIKO DAN LAPISAN PELINDUNG DENGAN MENGGUNAKAN *LAYER OF PROTECTION ANALYSIS (LOPA)* PADA SISTEM AIR COMPRESSOR 101J/JT DI PABRIK AMMONIA PT. PETROKIMIA GRESIK

TUGAS AKHIR

Oleh :

Ahmad Sholeh Huddin
NRP : 2413 105 013

Surabaya, 01 Juli 2015
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing,



Ir. Ronny Dwi Noryati, M.Kes
NIP: 19571126 198403 2 002

Ketua Jurusan
Teknik Fisika FFI-ITS



Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA
NIP. 19650309 199002 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA TINGKAT RESIKO DAN LAPISAN PELINDUNG DENGAN MENGGUNAKAN *LAYER OF PROTECTION ANALYSIS (LOPA)* PADA SISTEM AIR COMPRESSOR 101J/JT DI PABRIK AMMONIA PT. PETROKIMIA GRESIK

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi Instrumentasi

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika

Fakultas Teknologi Industri

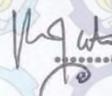
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

AHMAD SHOLEH HUDDIN

NRP. 2413 105 033

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Ronny Dwi Noryati, M.Kes .....(pembimbing)
2. Hendra Cordova, ST, MT. .....(Ketua Penguji)
3. Dr. Ir. Purwadi Agus D., M.Sc .....(Penguji I)
4. Ir. Heri Justiono, MT. .....Penguji II)
5. Nur Laila Hamidah, ST, M.Sc .....(Penguji III)

SURABAYA

Juli, 2015

**ANALYSIS RISK LEVEL AND LAYER OF PROTECTION
USING LAYER OF PROTECTIN ANALYSIS (LOPA) IN AIR
COMPRESSOR 101J/JT AMMONIA PLANT
PT.PETROKIMIA GRESIK**

Name : AHMAD SHOLEH HUDDIN
NRP : 2410 030 033
Departement : Engineering Physics, FTI - ITS
Supervisor : IR. RONNY DWI NORAYATI, M.KES

Abstract

It has been analyzed risk level and layer of protection using LOPA. This final project's object were SIL identifying and Independent Protection Layer (IPL) in Air Compressor 101J/JT. Risk level analysis based on severity level and likelihood of each scenarios in Hazard and Operability (HazOp) PT.Petrokimia Gresik. While layer of protection layer analysis based on Initiaing Event Likelihood (IEL) identifying. Layer of protection in Air Compressor 101J/JT were Basic ProcessControl System (BPCS), Safety Instrumented System (SIS), Alarm System, dan Mechanical Safety. Based on the analysis, each scenarios had different SIL value thats SIL from first scenario until tenth have the same risk reduction is SIL1 but on skenario3 has a value SIL2. PFD while the calculation results have value 5,21E-03 to 6,99E-01. While the Risk value calculation shows that the value is still at a low value. This is shown in the value of the multiplication Consequence Risk and Likelihood ranging from 2 to 6.

Keyword: *Safety Integrity Level, Independent Protection Layer, Layer Of Protection Analysis*

**ANALISIS TINGKAT RESIKO DAN LAPISAN
PELINDUNG DENGAN MENGGUNAKAN LAYER OF
PROTECTION ANALYSIS (LOPA) PADA SISTEM AIR
COMPRESSOR 101J/JT DI PABRIK AMMONIA
PT.PETROKIMIA GRESIK**

Nama Mahasiswa : AHMAD SHOLEH HUDDIN
NRP : 2410 030 033
Jurusan : Teknik Fisika, FTI - ITS
Dosen Pembimbing: IR. RONNY DWI NORYATI, M.KES

Abstrak

Telah dilakukan analisis mengenai tingkat bahaya dan lapisan pelindung menggunakan metode LOPA. Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi nilai Safety Integrity Level (SIL) serta jenis *Independent Protection Layer* (IPL) yang ada pada Air Compressor 101J/JT. Analisis tingkat bahaya dilakukan dengan mengetahui *severity level* dan *likelihood* setiap skenario kejadian berdasarkan *Hazard and Operability* (HazOp) PT.Petrokimia Gresik. Sedangkan analisa lapisan pelindung (IPL) dilakukan dengan mengidentifikasi nilai *Initiating Event Likelihood* (IEL) pada setiap *layer*. Lapisan pelindung yang ada pada Air Compressor 101J/JT terdiri dari *Basic ProcessControl System* (BPCS), *Safety Instrumented System* (SIS), *Alarm System*, dan *Mechanical Safety*. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan diketahui bahwa nilai SIL Pada skenario satu sampai dengan skenario sepuluh memiliki nilai SIL necessary risk reduction yang sama yaitu SIL1 tetapi pada skenario3 memiliki nilai SIL2. Sedangkan PFD hasil perhitungan memiliki nilai $5,21E-03$ sampai dengan $6,99E-01$. Sedangkan nilai *Risk* dari perhitungan menunjukkan bahwa nilai masih pada nilai *low*. Hal ini ditunjukkan pada nilai *Risk* dari perkalian *Consequence dan Likelihood* mulai dari 2 sampai dengan 6.

Kata kunci: *Safety Integrity Level, Independent Protection Layer, Layer Of Protection Analysis*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur kepada Allah SWT Yang Maha Agung dan Maha Bijaksana. Atas berkah, petunjuk, dan karunia-Nyapenulis mampu untuk melaksanakan dan menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**Analisis Tingkat Resiko Dan Lapisan Pelindung Dengan Menggunakan Layer Of Protection Analysis (LOPA) Pada Sistem Air Compressor 101J/JT Di Pabrik Ammonia PT.Petrokimia Gresik**”

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan 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 Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA selaku ketua Jurusan Teknik Fisika, FTI – ITS.
2. Ibu Ir. Ronny Dwi Noryati, M. Keselaku pembimbing tugas akhir atas segala ilmu dan bimbingan yang diberikan dan dosen wali yang selalu memberikan perhatiannya selama penulis menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Fisika.
3. Orang tua dan adik tercinta yang telah memberikan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Ir. Yaumarselaku kepala laboratorium Rekayasa Instrumentasi.
5. Bapak Eka Budiarto, ST yang telah memberikan bimbingan dan pengetahuan kepada penulis selama di PT Petrokimia Gresik.
6. Pak Gelar, Pak Anggoro, dan Pak Veby yang telah memberikan informasi, bantuan, dan pengarahan selama tugas akhir di PT Petrokimia Gresik Jawa Timur.

7. Seluruh karyawan PT Petrokimia Gresik Jawa Timur yang telah membantu penulis selamatkan tugas akhir.
8. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah banyak memberikan ilmunya sehingga penulis dapat menyelesaikan jenjang kuliah sampai tugas akhir ini.
9. Kepada teman-teman Workshop dan SPAIN 2010 yang selalu mendampingi disaat proses pengerjaan tugas akhir.

Penulis menyadari bahwa terdapat beberapa kekurangan dalam tugas akhir ini, tetapi penulis berharap hasil penelitian tugas akhir ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan dapat menambah wawasan bagi pembaca dan mahasiswa Teknik Fisika yang nantinya dapat digunakan sebagai referensi pengerjaan tugas akhir selanjutnya. Semoga hasil penelitian tugas akhir ini banyak memberikan manfaat untuk kemajuan bidang *safety*, khususnya di *chemical proses plan*.

Surabaya, 01 Juli 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	iii
Abstrak	v
<i>Abstract</i>	vi
Kata Pengantar	vii
Daftar Isi	ix
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
BAB II TEORI PENUNJANG	
2.1 <i>Compressor</i>	5
2.1.1 <i>Komponen Air Compressor 101J/JT</i>	7
2.1.2 <i>Komponen Pengendali Air Compressor 101J/JT</i>	8
2.1.3 <i>Komponen safety Air Compressor 101J/JT</i>	8
2.2 <i>Distribusi Laju Kegagalan</i>	9
2.3 <i>Layer Of Protection Analysis (LOPA)</i>	12
2.3.1 <i>Penilaian Consequence dan Severity</i>	14
2.3.2 <i>Pembuatan Skenario</i>	14
2.3.3 <i>Identifikasi Frekuensi Initiating Event</i>	15
2.3.4 <i>Identifikasi Independent Protection Layer (IPL)</i>	16
2.3.5 <i>Menghitung Kemungkinan Peristiwa Menengah (IEL)</i>	18
2.3.6 <i>Menjumlahkan Kemungkinan Peristiwa Menengah (IEL)</i>	18
2.3.7 <i>Menentukan SIL</i>	18

2.3.8	Menghitung Kemungkinan Pengurangan Peristiwa (MEL)	19
BAB III METODOLOGI		
3.1	<i>Flow Chart</i> Penelitian	23
3.2	Studi Literatur	24
3.3	Pengumpulan Data	24
3.4	Pemilihan dan Pengembangan Skenario	25
3.4.1	Identifikasi <i>Hazard Operability Study</i> (HAZOP)	25
3.4.2	Risk Matrix	26
3.4.3	Identifikasi <i>Initiating Event</i> dan frekuensi Event Likelihood	29
3.5	Identifikasi <i>Independent Protection Layer</i> (IPL)	30
3.5.1	Penentuan Distribusi	31
3.5.2	Menghitung <i>Probability Failure of Demand</i>	34
3.5.3	Menghitung <i>Intermediate Event Likelihood</i> (IEL)	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Analisa <i>Layer of Protection Analysis</i> (LOPA)	41
4.2	Penentuan Tingkat <i>Safety</i> pada Skenario Awal	41
4.3	Perhitungan <i>Initiating Event Likelihood</i> (IEL)	43
4.4	Perhitungan <i>Independent Protection Layer</i> (IPL)	44
4.5	Perhitungan dengan menggunakan metode LOPA	48
4.6	Penentuan Tingkat Resiko	51
BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran	55
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

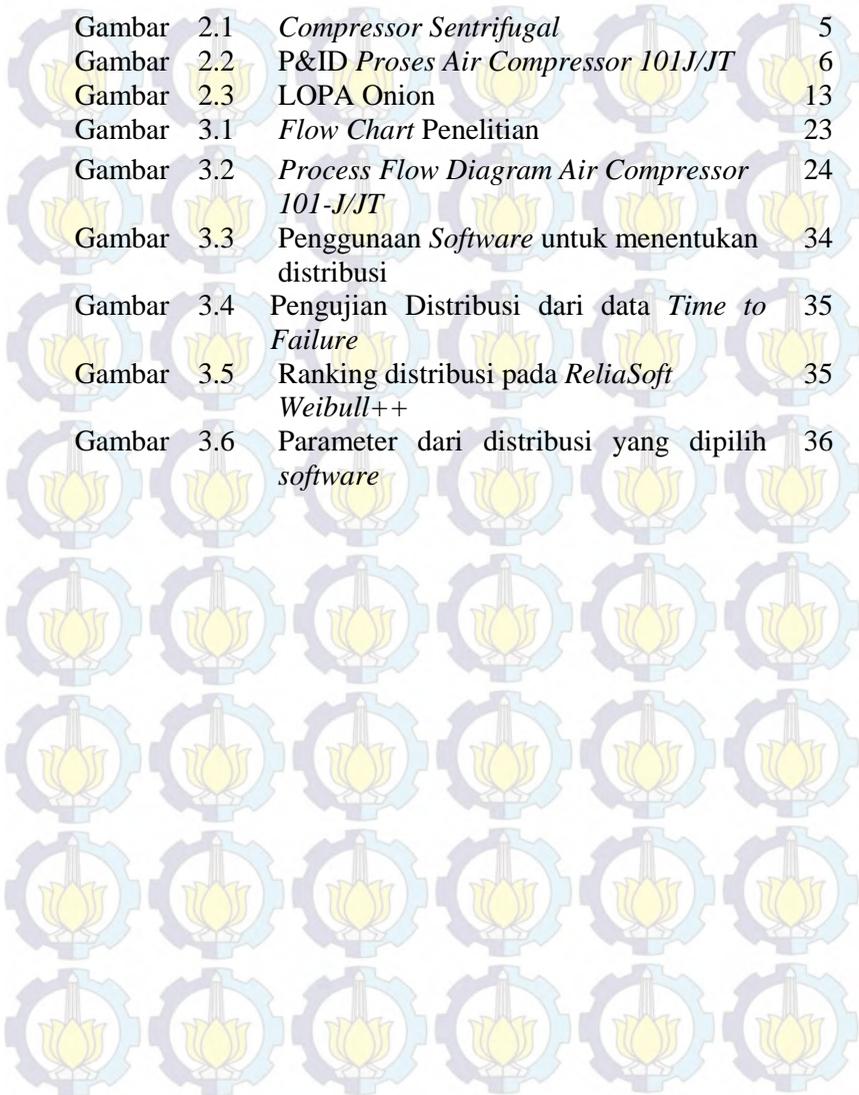
DAFTAR TABEL

Tabel	2.1	Tabel <i>saverity level for safety hazards adapted from Nordhagen (2007)</i>	20
Tabel	3.1	<i>Risk Matrix (Standard AS/NZS 4360 : 2004)</i>	26
Tabel	3.2	<i>Severity (Standard AS/NZS 4360 : 2004)</i>	27
Tabel	3.3	<i>likelihood berdasarkan Standard AS/NZS 4360 : 2004</i>	28
Tabel	3.4	Penyebab awal dan kemungkinan terjadinya kegagalan (CCPS, 2001)	29
Tabel	3.5	PFD for IPLs (CCPS, 2001)	32
Tabel	3.6	<i>Target Mitigated Event Likelihood (TMEL) Of The Consequence Nordhagen (2007)</i>	40
Tabel	4.1	Penentuan nilai Tingkat Keparahan pada Skenario Awal	44
Tabel	4.2	Nilai <i>Initiating Event Likelihood</i>	46
Tabel	4.3	Nilai <i>Probability failure of Demand (PFD)</i> dari <i>Basic Proscess Control System (BPCS)</i>	46
Tabel	4.4	Nilai <i>Probability failure of Demand (PFD)</i> dari <i>Alarm Response</i>	47
Tabel	4.5	Nilai <i>Probability failure of Demand (PFD)</i> dari <i>Additional Mitigated Restricted</i>	49
Tabel	4.6	Nilai <i>Probability failure of Demand (PFD)</i> dari <i>Additional Mitigated Dike</i>	50
Tabel	4.7	Penggabungan <i>Initiating Event</i> dan IPL	51
Tabel	4.8	Perhitungan dengan metode <i>Layer of Protection Analysis</i>	53
Tabel	4.9	Nilai <i>Risk</i> pada Skenario	55



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Compressor Sentrifugal</i>	5
Gambar 2.2	<i>P&ID Proses Air Compressor 101J/JT</i>	6
Gambar 2.3	<i>LOPA Onion</i>	13
Gambar 3.1	<i>Flow Chart Penelitian</i>	23
Gambar 3.2	<i>Process Flow Diagram Air Compressor 101-J/JT</i>	24
Gambar 3.3	<i>Penggunaan Software untuk menentukan distribusi</i>	34
Gambar 3.4	<i>Pengujian Distribusi dari data Time to Failure</i>	35
Gambar 3.5	<i>Ranking distribusi pada ReliaSoft Weibull++</i>	35
Gambar 3.6	<i>Parameter dari distribusi yang dipilih software</i>	36





BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Petrokimia Gresik adalah salah satu pabrik yang bergerak dibidang produksi pupuk yang berlokasi di Gresik Jawa Timur. Produk pupuk yang dihasilkan antara lain adalah Pupuk Urea, Pupuk Fosfat, Phonska I-II-III-IV, NPK I-II-III-IV, Pupuk ZK, dan Pupuk Petroganik. Selain memproduksi pupuk PT. Petrokimia Gresik juga memproduksi bahan kimia seperti Amoniak, Asam Sulfat (98% H_2SO_4), Asam Fosfat (100% P_2O_5), Aluminium Fluoride, dan *Cement Retarder*. Proses pembuatan pupuk, khususnya pupuk urea, memerlukan bahan baku utama yaitu ammonia dan gas karbondioksida (CO_2). Kedua bahan baku ini dihasilkan oleh Pabrik Ammonia. Pada pembentukan ammonia, terdapat tahap pensuplaian udara dari luar. Udara instrumen disuplai oleh *air compressor 101J*. Sebagian kecil aliran keluaran compressor tersebut di alirkan ke *dryer* untuk dihilangkan molekul H_2O hingga < 100 ppm. Selanjutnya udara instrumen tersebut didistribusikan ke tahap pembentukan produksi ammonia. Selain itu udara dari kompresor juga disalurkan pada instrumen-instrumen *pnuematic* seperti *control valve pneumatic*.

Instrument air compressor 101J adalah plan yang penting dan berbahaya jika mengalami kerusakan, maka dari itu peneliti merasa tertarik dalam melakukan Analisa Tingkat Bahaya dan Lapisan Pelindung dengan menggunakan *Layer Of Protection Analysis (LOPA)* pada *air compressor 101J*. Dengan analisa tersebut diharapkan *compressor* dapat bekerja stabil dan dapat memenuhi penyediaan ammonia sebagai bahan pembuatan pupuk urea di PT.Petrokimia Gresik. Analisa *Layer Of Protection Analysis (LOPA)* pada *air compressor 101J* dilakukan dengan cara mengidentifikasi dari pada node-node *Hazard Operability Study (HAZOP)* dari perusahaan. Dari *Hazard Operability Study (HAZOP)* dapat dicari skenario awal kegagalan plan *air compressor 101J/JT*. Skenario yang mewakili node sebagai awal

pencarian nilai *saverity level*. Selain itu analisa dilakukan dengan mencari Lapisan Pelindung pada *air compressor 101J/JT*. Sehingga dapat dicari nilai dari SIL hasil perhitungan Lapisan Pelindung dengan Target Mitigasi dari perusahaan / standard.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan diatas, permasalahan yang bisa diangkat dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana cara melakukan perhitungan menggunakan metode *Layer of Protection Analysis (LOPA)* untuk menentukan nilai SIL mengidentifikasi *Independent protection layer (IPL)* yang digunakan pada sistem *air compressor 101J/JT*.
2. Bagaimana cara merekomendasikan Penurunan Resiko pada setiap skenario yang memiliki nilai SIL tidak memenuhi standard pada Proses *air compressor 101J* di Pabrik *Ammonia* di PT. Petrokimia Gresik.

1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari meluasnya permasalahan yang muncul, maka dalam pengerjaan tugas akhir ini diambil beberapa batasan masalah sebagai berikut :

1. Peralatan yang menjadi objek studi pada tugas akhir ini adalah *compressor* pada sistem pensuplaian udara untuk pembentukan ammonia.
2. Penelitian yang dilakukan hanya sampai pada analisa SIL *necessary risk reduction*, analisa resiko dan rekomendasi.
3. Penelitian yang dilakukan tidak termasuk perhitungan dalam bentuk rupiah.

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah:

- 1.5 Melakukan perhitungan menggunakan metode *Layer of Protection Analysis (LOPA)* untuk menentukan nilai SIL mengidentifikasi *Independent protection layer (IPL)* yang digunakan pada sistem *air compressor 101J/JT*.

1.5 Merekomendasikan Penurunan Resiko pada setiap skenario yang memiliki nilai SIL tidak memenuhi standard pada Proses *air compressor 101J* di Pabrik *Ammonia* di PT. Petrokimia Gresik.

1.5 Metodologi Penelitian

Dalam mencapai tujuan yang telah ditentukan, diperlukan metodologi atau tahapan-tahapan yang harus dilakukan untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Tahapan- tahapan dari penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Mencari dan mempelajari berbagai literatur seperti buku, jurnal, internet dan para pakar untuk bisa mendapatkan informasi maupun data – data yang berkaitan dengan *Air Compressor 101J/JT*

2. Pengumpulan data teknis

Data yang digunakan adalah data *maintenance* pada *Air Compressor 101J/JT*, P&ID, spesifikasi alat.

3. *Pemilihan konsekuensi dan tingkat keparahan*

Pada tahap ini diidentifikasi dan memilih konsekuensi yang menjadi titik akhir dari suatu skenario

4. *Pemilihan dan pengembangan skenario*

Pada tahap ini dibangun satu rangkaian kejadian yang mengarah pada satu konsekuensi yang telah dipilih. Tiap tiap skenario terdiri dari penyebab awal - dampak peristiwa

5. *Identifikasi initial event dan frekuensi initial event*

Pada tahap ini diidentifikasi penyebab awal dari skenario dan menentukan frekuensi penyebab awal.

6. *Identifikasi IPL*

Pada tahap ini melakukan identifikasi terhadap tiap tiap lapisan pelindung dan menghitung PFD dari tiap tiap lapisan pelindung.

7. *Evaluasi resiko dan pengambilan keputusan*

Pada tahap ini menghitung kemungkinan pengurangan resiko skenario dengan mengkombinasikan konsekuensi, penyebab awal, dan data IPL

8. Rekomendasi penurunan resiko

Pada tahap ini dipaparkan hasil evaluasi dan memberikan rekomendasi jika diperlukan untuk menurunkan resiko

9. Penyusunan Laporan

Pada tahap terakhir ini disusun laporan sebagai dokumentasi dari pelaksanaan Tugas Akhir.

1.6 Sistematika Laporan

Laporan tugas akhir ini akan disusun secara sistematis dan dibagi menjadi beberapa bab, dengan bagian-bagian sebagai berikut ini:

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisikan tentang penjelasan dari latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika laporan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisikan tentang penjelasan singkat tentang teori-teori yang digunakan di dalam proses pengerjaan tugas akhir.

BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini berisi tentang penjelasan mengenai langkah – langkah yang harus dilakukan untuk dapat mencapai tujuan dari penelitian tugas akhir ini yang meliputi perhitungan menggunakan metode *Layer of Protection Analysis* (LOPA) untuk menentukan nilai SIL mengidentifikasi *Independent protection layer* (IPL) yang digunakan pada sistem *air compressor 101J/JT*.

BAB IV Pengujian dan Analisa Hasil Simulasi

Bab ini berisi tentang hasil dari simulasi yang diperoleh dari hasil perhitungan yang didapatkan dalam BAB sebelumnya, yang kemudian dilakukan analisa serta pembahasan pada tujuan penelitian yang telah ditetapkan.

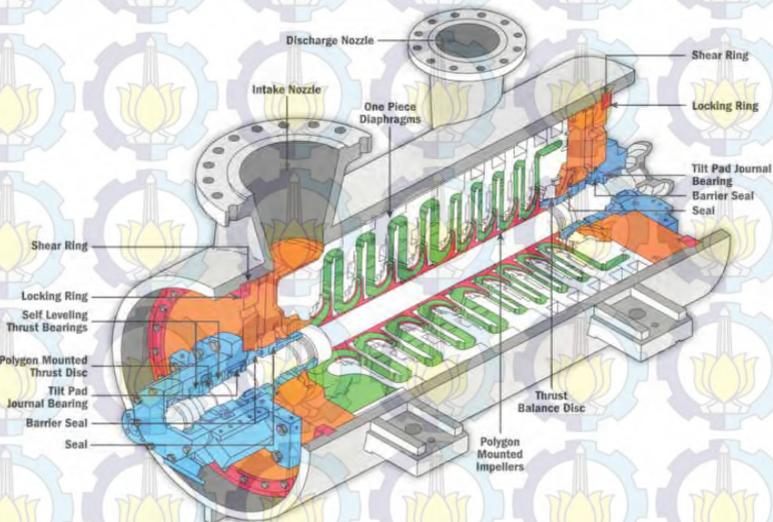
BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan serta saran yang dapat dijadikan sebagai pengembangan penelitian selanjutnya.

BAB II TEORI PENUNJANG

2.1 *Compressor*

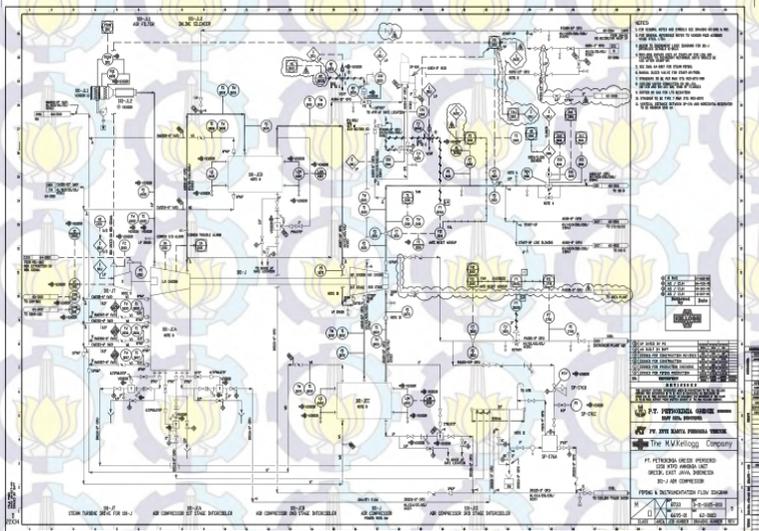
Kompresor adalah salah satu *equipment* yang digunakan untuk menambahkan tekanan pada setiap fluida udara atau gas atau fluida yang *compressible*, sehingga udara atau gas dapat disalurkan dan dimampatkan secara *continue*. Perubahan energi ini bisa terjadi disebabkan adanya gerak mekanis dimana kompresor berfungsi merubah energi mekanik kedalam energi tekanan pada udara atau gas. Udara atau gas tersebut selanjutnya disimpan pada tangki penyimpanan atau berlanjut pada proses selanjutnya.



Gambar 2.1 *Compressor Sentrifugal*

Prinsip kerja *compressor sentrifugal* adalah *compressor* yang bekerja dengan memberi tambahan energi pada udara-gas melalui gaya sentrifugal yang diberikan oleh *impeller*-nya. Gas dihisap kedalam *compressor* melalui saluran hisap kemudian diteruskan ke diafragma yang berfungsi sebagai pengarah aliran. Selanjutnya

gas masuk ke *impeller*, kemudian *impeller* memberi putaran dengan kecepatan yang sangat tinggi. Akibat dari putaran yang sangat tinggi maka gas terlempar keluar dari *impeller* karena adanya gaya sentrifugal yang terjadi. Tekanan dan kecepatan dari gas yang akan naik setelah gas lepas dari ujung *impeller*, gas diperlambat didalam suatu saluran yang disebut *diffuser*. *Diffuser* lebih mudah dan efisien untuk mempercepat aliran dan cenderung tersebar dengan tidak terarah. Akibat dari aliran tidak terarah akan menyebabkan kecenderungan timbulnya aliran turbulen dan arus *steady*, yaitu merubah energi kinetik menjadi energi panas. Oleh karena itu perlu dijaga aliran tersebut tetap searah dengan memasang penyearah. *Compressor* ini pada umumnya beroperasi pada putaran tinggi, diatas 3000 rpm digerakkan oleh motor listrik atau turbin uap.



Gambar 2.2. P&ID Proses Air Compressor 101J/JT

PT. Petrokimia Gresik juga mempunyai Air Compressor 101J/JT yang berfungsi untuk mengkompresi udara luar, setelah itu disalurkan ke Plan ammonia untuk pembuatan pupuk Urea di

pabrik 1 PT. Petrokimia Gresik. *Air Compressor 101J/JT* ini digerakkan oleh steam yang berasal dari WHB (*Waste Heat Boiler*) yang berada pada Pabrik 1 PT. Petrokimia Gresik. *Air Compressor 101J/JT* tentunya juga memiliki desain yang perlu diperhatikan, maka dari itu *Air Compressor 101J/JT* memiliki komponen yang berguna untuk menggerakkan sistem kompresi, sistem pengendali, dan *Safety*.

2.1.1 Komponen *Air Compressor 101J/JT*

Beberapa komponen yang digunakan untuk kompresi udara luar pada *Air Compressor 101J/JT* adalah sebagai berikut:

a. *Steam Turbine Air Compressor 101J/JT*

Pada *Air Compressor 101J/JT* terdapat komponen turbin yang digunakan untuk menggerakkan kompresor dengan putaran yang berasal dari WHB (*Waste Heat Boiler*). Steam yang digunakan memiliki tekanan sebesar 123kg/cm^2 .

b. L.P. (*Low Pressure*) *Chasing*

Komponen ini adalah komponen yang digunakan untuk pengkompresian udara bebas yang terdapat di udara. L.P. (*Low Pressure*) *Chasing* mampu menghasilkan tekanan sebesar 9kg/cm^2 .

c. 101-JCA dan 101-JCB

Alat yang digunakan untuk penyimpanan sementara tekanan yang dihasilkan oleh L.P. (*Low Pressure*) *Chasing*. Sama seperti 101-JCA, 101-JCB digunakan untuk tempat penyimpanan sementara keluaran dari L.P. (*Low Pressure*) *Chasing*. Komponen ini juga digunakan untuk accumulator udara bertekanan pada sistem kompresi

d. H.P. (*High Pressure*) *Chasing 1st Stage*

Berbeda dengan L.P. (*Low Pressure*) *Chasing*, komponen ini tidak lagi menyerap udara bebas melainkan menambah tingkat tekanan pada sistem kompresi dari 101-JCB. H.P. (*High Pressure*) *Chasing 1st Stage* mampu menghasilkan tekanan sebesar 31kg/cm^2 .

e. 101-JCC

Alat yang digunakan untuk penyimpanan sementara tekanan yang dihasilkan oleh H.P. (*High Pressure*) *Chasing 1st Stage*.

f. H.P. (*High Pressure*) *Chasing 2nd Stage*

Setelah fluida dikompresi pada H.P. (*High Pressure*) *Chasing 1st Stage* dan disimpan sementara pada 101-JCC dan ditingkatkan lagi pada tekanan 36,89 kg/cm² pada second stage.

2.1.2 Komponen Pengendali Air Compressor 101J/JT

Untuk menjaga sistem pada suatu plan diperlukan sistem pengendalian. Sama seperti *Air Compressor 101J/JT*, diperlukan sistem pengendalian untuk menjaga sistem berjalan dengan target yang diinginkan.

a. *Speed Control Air Compressor 101J/JT*

Pada plan *Air Compressor 101J/JT* diperlukan pengendalian kecepatan yang berguna untuk mengatur RPM (*Rotation Per Minutes*) sebesar 7400RPM. Hal bertujuan untuk menghindari *Air Compressor 101J/JT overspeed*.

b. *Flow Control Air Compressor 101J/JT*

Seperti yang diketahui pada sistem pengendalian laju aliran pada *Air Compressor 101J/JT* ini ditujukan untuk mengatur laju aliran agar tidak terjadi penumpukan aliran pada pipa dan komponen lain dari *Air Compressor 101J/JT*. Sehingga proses *Charge* dan *Discharge* pada kompresor berjalan seimbang

c. *Pressure Control Air Compressor 101J/JT*

Pengendalian tekanan yang terdapat pada *Air Compressor 101J/JT* adalah bentuk pengendalian untuk menghindari tekanan balik (*surging*) pada sistem kompresi.

2.1.3 Komponen safety Air Compressor 101J/JT

Selain pengendalian, yang dibutuhkan untuk tindak pencegahan kerusakan plan dibutuhkan sistem *safety*. Sistem *safety* yang terdapat pada *Air Compressor 101J/JT* antara lain adalah *Level Safety Air Compressor 101J/JT* yang digunakan untuk mencegah *over capacity*. *Speed Safety Air Compressor*

101J/JT digunakan untuk mencegah *overspeed* pada *Air Compressor 101J/JT* batas kecepatan yang dihindari adalah 8000RPM. *Flow* dan *Pressure safety* digunakan untuk mencegah surging dan *rupture* pada *Air Compressor 101J/JT*. Disamping keterangan *safety* yang dikendalikan terdapat beberapa komponen *safety* yang tidak dikendalikan. Seperti contohnya *mechanical safety*.

2.2 Ditribusi Laju Kegagalan

Laju kegagalan dari suatu komponen pada umumnya dinyatakan dalam distribusi statistic, jenis distribusi statistik yang digunakan antara lain adalah sebagai berikut:

a. Distribusi Normal

Distribusi normal adalah salah satu distribusi yang umum atau sering digunakan dalam menjelaskan persebaran data. Nilai probabilitas density function dari distribusi normal adalah simetris terhadap nilai rata-rata atau mean dan dispersi terhadap nilai rata-rata yang diukur dengan nilai standar deviasi. Parameter dari distribusi normal ini hanya mean dan standar deviasi. PFD dari distribusi ini dapat dituliskan dengan persamaan: (Ebeling, 1997)

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (2.1)$$

Dengan fungsi kehandalan distribusi normal dapat dituliskan sebagai berikut:

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (2.2)$$

Dan laju kegagalan dari distribusi normal adalah

$$\lambda(t) = \frac{\exp[-(t - \mu)^2 / 2\sigma^2]}{\int_t^{\infty} \exp[-(t - \mu)^2 / 2\sigma^2] dt} \quad (2.3)$$

b. Distribusi Lognormal

Probability density function untuk distribusi *lognormal* dapat ditulis seperti persamaan 2.6. [10]

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (2.4)$$

Karakteristik distribusi *lognormal* mempunyai dua parameter yang pertama parameter lokasi (μ) dan yang kedua parameter skala (σ), sama dengan standar deviasi. Jika distribusi waktu antar kegagalan mengikuti distribusi *lognormal*, maka: (Ebeling, 1997)

Fungsi kehandalan distribusi *lognormal* adalah:

$$R(t) = 1 - \int_0^t \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2\right] dt \quad (2.5)$$

Laju kegagalan distribusi *lognormal* adalah:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.6)$$

Waktu rata-rata kegagalan distribusi *lognormal* adalah:

$$\text{MTTF} = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (2.7)$$

c. Distribusi Weibull

Distribusi *weibull* telah digunakan secara luas dalam teknik kehandalan. Keuntungan dari distribusi ini adalah bisa digunakan untuk merepresentasikan banyak PFD serta bisa digunakan untuk variasi data yang luas. Karakteristik distribusi *weibull*: [10]

Mempunyai 2 (η, β) atau 3 (η, β, γ) parameter, nilai η, β, γ dapat diketahui dari *weibull probability paper* atau dari *software*, Saat nilai $\beta= 1$ dan $\gamma= 0$ *weibull* akan ekuivalen dengan distribusi *eksponensial*, saat nilai $\beta= 3,44$ *weibull* akan mendekati distribusi *normal*. Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu sistem mengikuti distribusi *weibull*, maka: (Ebeling,1997)

Fungsi padat peluang (*Probability Density Function*) distribusi *weibull* adalah:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} \exp \left\{ - \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta \right\} \quad (2.8)$$

Fungsi kehandalan distribusi *weibull* adalah:

$$R(t) = \exp \left\{ - \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta \right\} \quad (2.9)$$

Laju kegagalan distribusi *weibull* adalah:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} \quad (2.10)$$

Saat $\beta < 1$ akan didapatkan penurunan fungsi laju kegagalan, saat $\beta > 1$ akan didapatkan peningkatan fungsi laju kegagalan, $\beta = 1$ merupakan fungsi distribusi *eksponensial*.

Waktu rata-rata kegagalan distribusi *weibull* adalah:

$$MTTF = \gamma + \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (2.11)$$

d. Distribusi *Eksponensial*

Fungsi padat peluang (*probability density function*) distribusi *eksponensial* adalah:[10]

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda(t-\gamma)}, t > 0, \lambda > 0, t \geq \gamma \quad (2.12)$$

Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu sistem mengikuti distribusi *eksponensial*, maka:

Fungsi Keandalan distribusi *eksponensial* adalah

$$R(t) = e^{-\lambda(t\gamma)} \quad (2.13)$$

Laju kegagalan distribusi *eksponensial* adalah

$$\lambda(t) = \lambda \quad (2.14)$$

Waktu rata-rata kegagalan distribusi *weibull* adalah

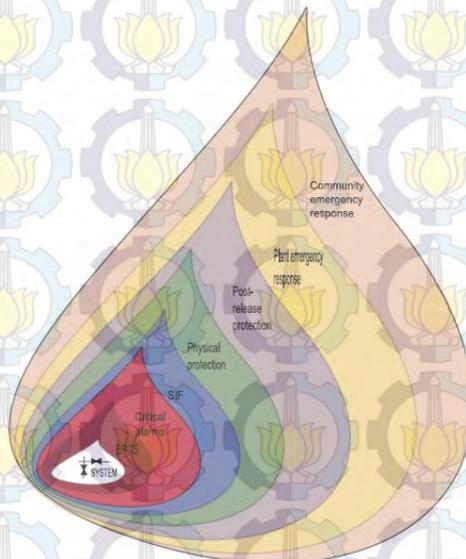
$$MTTF = \gamma + \frac{1}{\lambda} \quad (2.15)$$

2.3 Layer Of Protection Analysis (LOPA)

Layer of Protection Analysis (LOPA) merupakan metode semi-kuantitatif yang menggunakan tingkatan kategori sebagai pendekatan parameter untuk menentukan pengurangan resiko (risk reduction) sehingga sesuai dengan kriteria yang dapat diterima (CCPS, 2002). Pendekatan dilakukan dengan mengevaluasi skenario terburuk dimana semua lapisan pelindung gagal ketika terjadi suatu kegagalan. Frekuensi dari konsekuensi yang tidak diinginkan dapat diketahui dengan mengalikan PFDs lapisan pelindung dengan sistem proteksi yang diinginkan. Dengan membandingkan frekuensi dari konsekuensi yang tidak diinginkan dengan frekuensi resiko yang dapat ditoleransi maka pengurangan resiko dan nilai SIL dapat ditentukan (Marshal and Scharpf, 2002; CCPS, 2001).

LOPA merupakan pengembangan dari event tree analysis (ETA) dimana sistem proteksi dari kejadian yang tidak diinginkan dihubungkan dengan logika AND sehingga nilai frekuensi yang tidak diinkan dapat diketahui dengan perkalian probabilitas. Nilai frekuensi tersebut didapatkan dengan mengalikan frekuensi kejadian awal dengan probability failure on demand (PFD) dari setiap lapisan pelindung (Marshal and Scharpf, 2002). Ilustrasi lapisan pelindung pada LOPA digambarkan dalam bentuk “onion” dimana suatu sistem atau proses mempunyai beberapa

lapisan pelindung. Penentuan lapisan pelindung dari suatu sistem atau proses disesuaikan beberapa kriteria tingkat resiko yang dapat diterima. Kriteria tersebut terdiri dari frekuensi fatalitas, frekuensi kebakaran, frekuensi konsekuensi dan jumlah independent protection layers (IPL) dari jenis konsekuensi yang mungkin terjadi.



Gambar 2.. LOPA Onion

Sistem proteksi pada LOPA terdiri dari beberapa lapisan pelindung diantaranya:

- Basic Process Control System
- Tindakan operator
- Use factor
- Sistem Proteksi Mekanik
- Relief devices
- External risk reduction facilities
- Ignition probability

- Exploison probability

Tujuan utama dari LOPA adalah untuk mengetahui apakah sistem proteksi yang ada dapat mengatasi kegagalan yang mungkin terjadi. Berikut merupakan langkah-langkah dalam metode LOPA diantaranya: (CCPS, 2001)

1. Mengidentifikasi setiap konsekuensi
2. Mengidentifikasi skenario kecelakaan dan penyebab yang berkaitan dengan konsekuensi.
3. Mengidentifikasi kejadian awal dari skenario dan menaksir frekuensi kejadian awal
4. Mengidentifikasi lapisan pelindung untuk setiap konsekuensi dan menaksir probability failure on demand (PFD) dari setiap lapisan pelindung.
5. Mengkombinasikan frekuensi kejadian awal dengan probability failure on demand (PFD) untuk setiap independent protection layers (IPL) untuk menaksir frekuensi dari konsekuensi yang dapat dikurangi untuk setiap kejadian.
6. Menggambarkan konsekuensi dan frekuensi terjadinya konsekuensi untuk mendapatkan nilai resiko (risk)
7. Mengevaluasi resiko yang dapat diterima.

2.3.1 Penilaian *Consequence* dan *Severity*

Salah satu komponen resiko dari skenario kecelakaan adalah *consequence*. *Consequence* adalah akibat yang tidak diinginkan dari skenario kecelakaan. Salah satu keputusan pertama yang harus dibuat oleh sebuah organisasi ketika memilih untuk mengimplementasikan LOPA adalah menentukan titik akhir dari *consequence*. Metode yang digunakan untuk mengkategorikan *consequence* harus konsisten dengan kriteria resiko yang dapat ditolerir perusahaan.

2.3.2 Pembuatan Skenario

Pembuatan skenario merupakan langkah LOPA dimana analis atau tim membangun satu rangkaian kejadian, termasuk

kejadian pemicu dan kegagalan dari IPLs, yang mengarah pada satu *consequence* yang tidak diinginkan. Masing-masing skenario terdiri dari sedikitnya dua unsur yaitu: (CCPS, 2001)

1. *Initiating event* yang memulai rantai kejadian. Pada umumnya HAZOP berisi cukup informasi untuk menguraikan.
2. *consequence* yang menghasilkan dampak jika rantai kejadian berlanjut tanpa henti.

2.3.3 Identifikasi Frekuensi *Initiating Event*

Untuk LOPA, masing-masing skenario mempunyai satu *initiating event*. Frekuensi *initiating event* secara normal dinyatakan dalam kejadian per tahun. Beberapa sumber menggunakan satuan lain, seperti kejadian per 10⁶ jam. *Initiating event* secara umum dibagi menjadi tiga tipe yaitu: (CCPS, 2001)

1. *Equipment-Related Initiating Events*
Initiating events yang terkait dengan peralatan dapat digolongkan ke dalam:
 - a. kegagalan sistem kendali
 - b. kegagalan mekanis
2. *Human Failure-Related Initiating Events*
Penyebab yang berhubungan dengan kegagalan manusia adalah salah satu dari kesalahan karena ketidaktahuan atau kesalahan pengawasan, dan meliputi tetapi tidak terbatas pada:
 - a. kegagalan untuk melaksanakan langkah-langkah dari satu tugas dengan baik
 - b. kegagalan untuk mengamati atau menjawab dengan benar pada suatu kondisi proses atau sistem.
3. *External Initiating Events*
Kejadian eksternal meliputi gejala alam seperti gempa bumi, angin topan, atau banjir, ledakan atau kebakaran pada fasilitas-fasilitas pendamping; dan intervensi pihak ketiga seperti dampak mekanis pada peralatan atau tumpuan kendaraan bermotor, atau peralatan konstruksi.

2.3.4 Identifikasi *Independent Protection Layer (IPL)*

IPL adalah sebuah alat, sistem, atau tindakan yang dapat mencegah skenario berproses menjadi *consequence* yang tidak diinginkan dari *initiating events*. Perbedaan antara IPL dan *safeguard* adalah penting. *Safeguard* adalah alat, sistem atau tindakan yang akan menghentikan rantai kejadian setelah *initiating events*. Efektifitas IPL dihitung dengan istilah *probability failure on demand* (PFD) yang merupakan kemungkinan suatu sistem akan gagal melaksanakan fungsinya yang spesifik. PFD adalah angka tanpa dimensi antara 0 dan 1. Karakteristik lapisan perlindungan dan bagaimana mereka seharusnya dikelompokkan sebagai IPL dalam metode LOPA dibahas pada penjelasan di bawah ini: (CCPS, 2001)

1. *Process Design*

Pada banyak perusahaan, diasumsikan bahwa beberapa skenario tidak dapat terjadi karena desain *inherently safer* pada peralatan dan proses. Pada perusahaan lainnya, beberapa fitur pada desain proses yang *inherently safer* dianggap *nonzero* PFD masih terjadi-artinya masih mungkin mengalami kegagalan industri. Desain proses harus dianggap sebagai IPL, atau ditetapkan sebagai metode untuk mengeliminasi skenario, tergantung pada metode yang digunakan oleh organisasi.

2. *Basic Process Control System (BPCS)*

BPCS meliputi kendali manual normal, adalah level perlindungan pertama selama operasi normal. BPCS didesain untuk menjaga proses berada pada area selamat. Operasi normal dari BPCS *control loop* dapat dimasukkan sebagai IPL jika sesuai kriteria. Ketika memutuskan menggunakan BPCS sebagai IPL, analis harus mengevaluasi efektifitas kendali akses dan sistem keamanan ketika kesalahan manusia dapat menurunkan kemampuan BPCS.

3. *Critical Alarms and Human Intervention*

Sistem ini merupakan level perlindungan kedua selama operasi normal dan harus diaktifkan oleh BPCS. Tindakan operator, diawali dengan alarm atau observasi, dapat

dimasukkan sebagai IPL ketika berbagai kriteria telah dapat memastikan keefektifan tindakan

4. *Safety Instrumented Function (SIF)*

SIF adalah kombinasi sensor, *logic solver*, dan *final element* dengan tingkat integritas keselamatan spesifik yang mendeteksi keadaan diluar batas dan membawa proses berada pada fungsi yang aman. SIF merupakan fungsi *independent* dari BPCS. SIF normalnya ditetapkan sebagai IPL dan desain dari suatu sistem, tingkat pengurangan, dan jumlah dan tipe pengujian akan menentukan PFD dari SIF yang diterima LOPA.

5. *Physical Protection (Relief Valves, Rupture Disc, etc)*

Alat ini, ketika ukuran, desain, dan perawatannya sesuai, adalah IPL yang dapat menyediakan perlindungan tingkat tinggi untuk mencegah tekanan berlebih. Keefektifan mereka dapat rusak akibat kotor dan korosi, jika *block valves* dipasang di bawah *relief valve*, atau jika aktivitas inspeksi dan perawatan sangat memprihatinkan.

6. *Post Release Protection (Dikes, Blast Walls, etc)*

IPLs ini adalah alat pasif yang dapat menyediakan perlindungan tingkat tinggi jika didesain dan dirawat dengan benar. Walaupun laju kegagalan mereka rendah, kemungkinan gagal harus dimasukkan dalam skenario.

7. *Plant Emergency Respons*

Fitur ini (pasukan pemadam kebakaran, sistem pemadaman manual, fasilitas evakuasi, dll) secara normal tidak ditetapkan sebagai IPLs karena mereka diaktifkan setelah pelepasan awal dan terlalu banyak variabel mempengaruhi keseluruhan efektifitas dalam mengurangi skenario.

8. *Community Emergency Response*

Pengukuran ini, yang meliputi evakuasi komunitas dan tempat perlindungan secara normal tidak ditetapkan sebagai IPLs karena mereka diaktifkan setelah pelepasan awal dan terlalu banyak variabel mempengaruhi keseluruhan efektifitas dalam mengurangi skenario. Hal ini tidak menyediakan perlindungan terhadap personil *plant*.

2.3.5 Menghitung Kemungkinan Peristiwa Menengah (IEL)

Menghitung Kemungkinan Peristiwa Menengah ditunjukkan dengan persamaan 8.1 menunjukkan rumus untuk menghitung kemungkinan peristiwa $f_{IEL,i}$ untuk peristiwa ke i .

$$f_{IEL,i} = f_i \cdot \prod_{j=1}^i PFD_{ij} \quad 2.16$$

Dimana

- f_i = frekuensi kejadian awal dari *initiating event*
- PFD_{ij} = *Probability Failure Demand* dari *initiating event*
- f_{IEL} = Frekuensi Kemungkinan Peristiwa Menengah

2.3.6 Menjumlahkan Kemungkinan Peristiwa Menengah (IEL)

Setelah didapatkan nilai dari Kemungkinan Peristiwa Menengah (IEL) dilakukan penjumlahan semua Kemungkinan Peristiwa Menengah. Persamaan 8.2 menunjukkan persamaan yang diterapkan untuk menentukan total kemungkinan peristiwa $f_{IEL,i}$ total untuk peristiwa awal mulai dari $i=1$ sampai $i=n$.

$$f_{IEL,total} = \sum_{i=1}^n f_{IEL,i} \quad 2.17$$

Dimana :

- f_{IEL} = Frekuensi Kemungkinan Peristiwa Menengah

2.3.7 Menentukan SIL

Kesenjangan antara resiko yang dapat diterima (target dikurangi event kemungkinan sesuai dengan kategori konsekuensi tertentu) dan risiko saat ini (intermediate event kemungkinan) harus dihilangkan oleh SIF, maka dibutuhkan SIL. Dengan membagi target dikurangi kemungkinan peristiwa oleh total event kemungkinan menengah, PFD menanggapi SIL ditemukan. Persamaan 8.3 menunjukkan bagaimana frekuensi yang dapat diterima, f_{ACC} , digunakan untuk menentukan pengurangan resiko

diperlukan. Target dikurangi event kemungkinan dilambangkan f_{TMEL} .

$$SIL = \text{necessary risk reduction} = \frac{f_{ACC}}{f_{IEL, total}} = \frac{f_{TMEL}}{f_{IEL, total}} \quad 2.18$$

Dimana :

f_{ACC} = frekuensi yang dapat diterima
 f_{TMEL} = target frekuensi yang dikurangi
 $f_{IEL, TOTAL}$ = Frekuensi Kemungkinan Peristiwa Menengah

Jika dihasilkan $SIL > SIL_3$, sebuah QRA harus memulai. Persyaratan SIL tinggi menuntut keandalan dan kinerja SIS yang lebih tinggi. Lopa termasuk ketidakpastian, dan untuk SIL membutuhkan integritas yang tinggi analisis yang lebih menyeluruh dianjurkan. Perhatikan bahwa kriteria penyaringan dalam hal ini adalah $SIL > 3$, dan kriteria harus disesuaikan dengan situasi yang dihadapi. Dalam beberapa kasus $SIL > SIL_2$ lebih berlaku.

2.3..8 Menghitung Kemungkinan Pengurangan Peristiwa (MEL)

Langkah berikut ini yaitu menghitung kemungkinan pengurangan peristiwa (MEL). Langkah terakhir adalah menghitung kemungkinan pengurangan peristiwa, f_{MEL} , i. Ini adalah frekuensi konsekuensi dalam acara per tahun, setelah SIF telah dilaksanakan. SIL yang dipilih dikalikan dengan kemungkinan peristiwa menengah untuk mendapatkan kemungkinan pengurangan peristiwa. Persamaan 9.4 menunjukkan perhitungan dilakukan untuk semua baris dalam worksheet LOPA terkait dengan dampak peristiwa. Perhatikan bahwa kemungkinan pengurangan peristiwa adalah sama dengan TMEL jika jumlah yang tepat dari SIL dihitung digunakan. Kemudian dapat digunakan sebagai cek apakah risiko dapat diterima atau tidak dengan perhitungan SIL saat ini. Ini adalah langkah terakhir pada prosedur LOPA. Kemudian melanjutkan

analisis sampai semua penyimpangan proses dari HAZOP dievaluasi.

$$f_{TMELi} = f_{IELi} \cdot SIL$$

2.19

Dimana:

SIL = Safety Integrated Level dari persamaan 8.3

f_{IEL} = Frekuensi Kemungkinan Peristiwa Menengah

f_{TMEL} = target frekuensi yang dikurangi

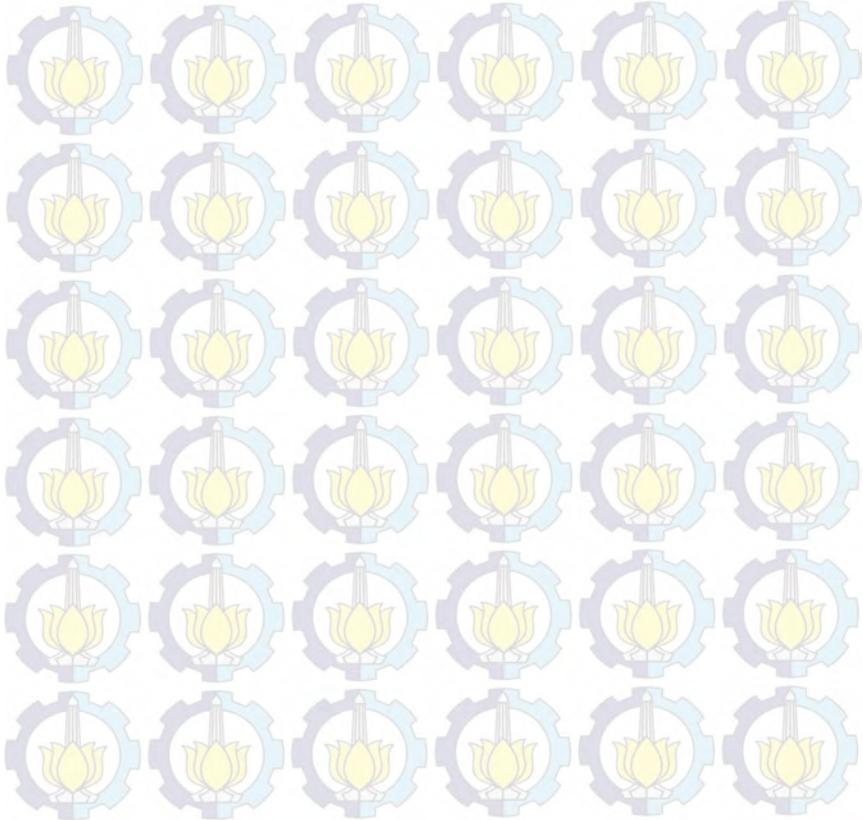
Perhitungan diatas merupakan langkah untuk mencari nilai dari *Target Mitigated Event Likelihood* (TMEL). Selain itu jika nilai dari pada *Target Mitigated Event Likelihood* (TMEL) dapat dicari dari tabel *Saverity level* yang terdapat pada standard *safety hazards adapted from Nordhagen* (2007). Berikut adalah tabel dari *saverity level* untuk mencari *Target Mitigated Event Likelihood* (TMEL). (Marshal and Scharpf, 2002)

Tabel 2.1 tabel *saverity level for safety hazards adapted from Nordhagen* (2007)

severity level	safety consequence	target mitigated event likelihood / year
C_A	single first aid injury	3,E-02
C_B	multiple first aid injuries	3,E-03
C_C	single disabling injury or multiple serious injuries	3,E-04
C_D	single on-site fatality	3,E-05
C_E	more than one and up to three on-site fatalities	1,E-05

Pada tabel diatas merupakan untuk setiap peristiwa dampak tingkat konsekuensi keparahan ditentukan, dan dampak Acara yang dipertimbangkan. Ini bisa saja dilakukan sudah dalam studi HAZOP, dan jika ada hasil ini dapat digunakan. Dalam Tabel 4.2

tingkat keparahan tersebut diberikan. Huruf C dinotasikan sebagai tingkat konsekuensi keparahan dibagi menjadi lima kategori. Jika suatu kejadian dampak diklasifikasikan dengan tingkat konsekuensi keparahan CC CD atau CE, sebuah *Quantitative Risk Analysis* (QRA) harus dilakukan. Ini berarti bahwa dampak peristiwa konsekuensi dinilai sebagai CA, CB, atau CC dievaluasi dengan Lopa. Perhatikan bahwa kriteria untuk memilih *Quantitative Risk Analysis* (QRA) LOPA harus disesuaikan. (Marshal and Scharpf, 2002)

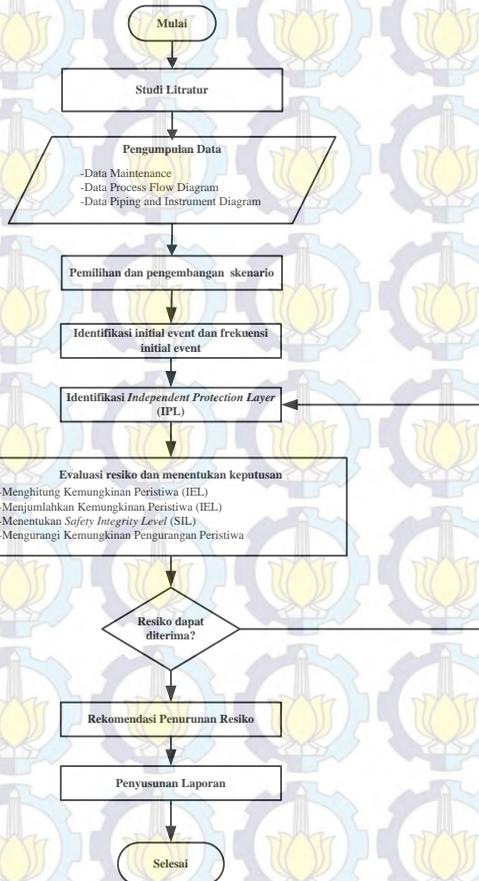




BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. *Flow Chart* Penelitian

Pada bab ini dijelaskan mengenai tahapan dalam pengerjaan tugas akhir. Tahapan tersebut digambarkan dalam diagram alir berikut ini.



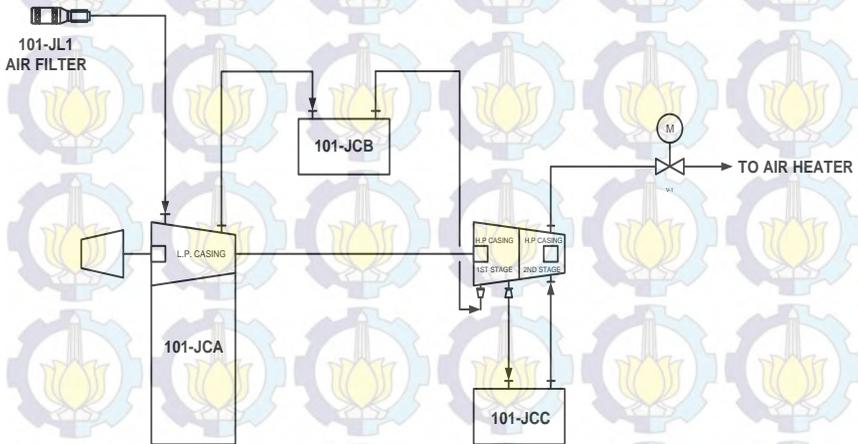
Gambar 3.1 *Flow Chart* Penelitian

3.2. Studi Literatur

Sebelum melakukan penelitian ini diperlukan studi literatur dengan merujuk pada penelitian sebelumnya. Selain itu juga studi literatur dilakukan pada standard yang mengacu pada penelitian ini. Beberapa referensi standard yang mengacu pada penelitian ini adalah Offshore Reliability Data (OREDA), CCPS (2001), Australia Standard (AS) dan juga IEC 60158.

3.3. Pengumpulan Data

Adapun data yang dibutuhkan untuk mendukung analisa *Layer Of Protection Analysis (LOPA)* yaitu data *Piping and Instrument Diagram*, data *Process Flow Diagram*, data *Hazard Operability Study*, dan data *Maintenance* dalam bentuk *Work Orde*. Pengumpulan data dilakukan dengan beberapa metode dengan cara Studi Literatur dari penelitian sebelumnya terkait dengan penelitian ini. Melakukan pengkajian alat dan plan yang akan dilakukan penelitian.



Gambar 3.2 *Process Flow Diagram Air Compressor 101-J/JT*

Pada gambar diatas menunjukkan *Process Flow Diagram Air Compressor 101-J/JT*. Input dari Air Compressor 101-J/JT berasal dari udara bebas yang selanjutnya masuk ke dalam Air

Filter 101-JL1 kemudian udara dihisap menuju ke *Low Pressure Compressor* dan disimpan sementara pada *101-JCA storage*. Tidak cukup pada *Low Pressure Compressor* sistem kompresinya tetapi masih ada dua tahapan kompresi yaitu pada *High Pressure 1st stage Compressor* kemudian disimpan sementara pada *101-JCB* dan menuju *High Pressure 2nd stage Compressor* disimpan sementara pada *101-JCB* agar sistem pengompresian udara bisa maksimal. *Air Compressor 101-J/JT* sendiri digerakkan oleh *Steam Turbin 101-JT* yang berasal dari *Waste Heat Boiler* pada pabrik Amoniak. Output dari *Air Compressor 101-J/JT* menuju ke *Air Heater 101-BCA* untuk dipanaskan.

3.4. Pemilihan dan Pengembangan Skenario

Untuk pemilihan skenario kejadian awal dilakukan pemilihan komponen yang mempengaruhi plan tersebut dengan cara melihat data *Hazard Operability Study (HAZOP)*, pemilihan skenario awal, dan frekuensi kegagalan dari pada plan *Air Compressor 101-J/JT*. Selain studi pada *Hazard Operability Study (HAZOP)* dilakukan analisa dengan mencari nilai *likelihood* dan *saverity level* untuk mengetahui seberapa parah dan sering kegagalan terjadi pada plan *Air Compressor 101-J/JT*.

3.4.3 Identifikasi Hazard Operability Study (HAZOP)

Terdapat enam kejadian yang tidak diinginkan pada plan *Air Compressor 101J/JT* yang tercatat pada data *Hazard Operability Study (HAZOP)*. Berikut adalah kejadian yang tidak diinginkan tercatat sebagai node kegagalan plan:

- a) Node 40-1 s/d Node 40-7 adalah node yang menjelaskan tentang kegagalan *Air Compressor 101J/JT* pada bentuk tidak ada aliran pada proses. Penyebab dari kejadian ini adalah 101J trip sehingga proses tidak berjalan, menutupnya MOV-1006 sehingga udara tidak dapat mengalir ke proses selanjutnya, FV-1004 menutup aliran ke exhaust sehingga udara tidak dapat terkompresi.
- b) Node 40-9 adalah node yang menjelaskan tentang kekurangan aliran pada plan *Air Compressor 101J/JT*. Hal ini disebabkan oleh 101-JL1 mengalami

penyumbatan sehingga aliran fluida tidak dapat menyalurkan udara yang terkompresi secara lancar.

- c) Node 40-10 adalah node yang menjelaskan tentang pembalikan aliran fluida yang di kompresi pada plan *Air Compressor 101J/JT*.
- d) Node 40-11 dan Node 40-12 menjelaskan node kegagalan kelebihan laju aliran pada plan *Air Compressor 101J/JT*. Pada node ini menyebabkan aliran balik pada kompresor.
- e) Node 40-13 sampai dengan 40-15 menjelaskan tentang kegagalan menyalurkan aliran pada proses selanjutnya *Air Compressor 101J/JT*. Hal ini disebabkan kerusakan pipa yang menyalurkan fluida udara pada *Air Compressor 101J/JT*.
- f) 40-16 sampai dengan 40-18 menjelaskan tentang node kegagalan kelebihan temperatur pada kompresor *Air Compressor 101J/JT*.

3.4.2. Risk Matrix

Matrik resiko digunakan untuk menunjukkan frekuensi yang dapat ditolerir dari skenario berdasarkan *severity of consequence* dan frekuensi skenario kegagalan. Pada Matrik Resiko dapat dicari nilai risk *Air Compressor 101-J/JT* dengan mengetahui terlebih dahulu nilai *safety level* dan *likelihood*. Berikut adalah matrik resiko menurut *Standard AS/NZS 4360 : 2004*

Tabel 3.1 Risk Matrix (*Standard AS/NZS 4360 : 2004*)

		<i>Likelihood</i>				
		1	2	3	4	5
<i>Consequence</i>	A	H	H	E	E	E
	B	M	H	H	E	E
	C	L	M	H	E	E
	D	L	L	M	H	E
	E	L	L	M	H	H

Pada tabel risk matrix diatas memiliki perbedaan warna dan huruf pada setiap kolom. Perbedaan tersebut memiliki arti dalam menunjukkan nilai risk dari setiap node kegagalan atau skenario. Berikut penjelasan warna dari risk matrix diatas :

L	Resiko rendah
M	Resiko sedang
H	Resiko tinggi
E	Resiko sangat tinggi

Rentang yang digunakan pada saferity adalah data standart tingkat *Consequence* dari petrokimia gresik. *Consequence* dapat dikategorikan pada tabel berikut ini :

Tabel 3.2 *Severity (Standard AS/NZS 4360 : 2004)*

tingkat	descriptive	definition
A	parah	kebanyakan tujuan tidak dapat dicapai diabaikan
B	mayor	beberapa objek penting tidak dapat dicapai
C	menengah	beberapa objek yang terkena
D	minor	efek kecil yang mudah diperbaiki
E	dapat diabaikan	Dampak dapat diabaikan

Tabel diatas merupakan klasifikasi nilai dari *saverity* pada setiap skenario kejadian. Terdiri dari lima tingkat keparahan yang terjadi pada skenario. Cara mengklasifikasikan tingkat keparahan yang terjadi pada setiap skenario adalah dengan cara melakukan wawancara dengan koresponden di lapangan.

Sedangkan untuk penentuan nilai frekuensi pada *Layer Of Protection Analysis (LOPA)* adalah dengan cara mencari nilai

Intermediate Event Likelihood untuk mengetahui seberapa sering kegagalan tersebut terjadi dengan kurun waktu tertentu. Untuk menghitung *Intermediate Event Likelihood* adalah dengan cara mengalikan nilai PFD *Independent Protection Layer* (IPL) menurut *Layer Of Protection Analysis-CCPS*. Berikut adalah penentuan frekuensi *Intermediate Event Likelihood* :

$$f_i^c = f_i^l \times \prod_{j=1}^j PFD_{ij} \quad (3.1)$$

Dimana :

PFD_{ij} = PFD dari setiap IPL

f_i = Frekuensi Initiating Event

Hasil dari persamaan 3.1 dapat diolah dengan kategori *likelihood* berdasarkan *Standard AS/NZS 4360 : 2004*. Berikut adalah klasifikasi kategori menurut standard :

Tabel 3.3 *likelihood* berdasarkan *Standard AS/NZS 4360 : 2004*

Tingkat	Kriteria	Rincian	Kejadian
1	hampir tidak mungkin	Secara teoritis mungkin tapi tidak diharapkan terjadi	sekali dalam 10.000 tahun
2	sangat langka	Belum pernah mendengar hal ini terjadi	sekali dalam 1000 tahun
3	Langka	Seharusnya terjadi dan mungkin telah terjadi di tempat lain	sekali dalam 100 tahun
4	kemungkinan kecil terjadi	kejadian ini tidak belum terjadi di suatu tempat dari waktu ke waktu	sekali dalam 30 tahun
5	mungkin terjadi	kejadian ini mungkin terjadi sekali	sekali dalam 10 tahun

Setelah pemilihan *likelihood* dan *consequence* maka selanjutnya dilakukan perhitungan dengan menggunakan tabel

risk matrix seperti pada tabel 3.1. Berikut adalah persamaan yang menunjukkan nilai *risk level*.

$$Risk = C \times L \quad (3.2)$$

Dimana :

C = *Consequence*

L = *Likelihood*

3.4.3 Identifikasi *Initiating Event* dan frekuensi *Event Likelihood*

Pemilihan *Initiating Event* dan *frekuensi Event Likelihood* dilakukan dengan cara identifikasi Skenario. Dari node-node skenario tersebut dicari nilai frekuensi kegagalan awal yang akan dijadikan *Initiating Event Likelihood* dari plan *Air Compressor 101J/JT*. Menurut CCPS (2001) indikasi penyebab dari *Initiating Event Likelihood* dikategorikan menjadi tiga jenis yaitu *External Event*, *Equipment Failure*, dan *Human Failure*.

External Event adalah kejadian kegagalan atau skenario kegagalan yang disebabkan oleh faktor luar. Bencana alam salah satu hal yang mempengaruhi dari terjadinya kegagalan. Beberapa contoh *External Event* ialah :

- a. *Earthquakes, Tornadoes, Hurricanes, atau floods*
- b. *Airline crashes*
- c. *Major Accidents in Adjacent Facilities*
- d. *Sabotage atau Terrorism*

Equipment Failure adalah kejadian yang diakibatkan oleh kerusakan yang terjadi pada pralatan pabrik. Pada kategori *Equipment Failure* terdapat dua kemungkinan yaitu *Failure Control System* dan *Mechanical System*. Beberapa contoh *Equipment Failure* ialah :

- a. *Software Bugs*
- b. *Component Failures*
- c. *Wear*
- d. *Corroation*
- e. *Vibration*
- f. *Defects*

g. *Use Outside Design Limits*

Sedangkan *Human Failure* adalah kejadian kegagalan atau skenario kegagalan yang disebabkan oleh kesalahan operator, pekerja lapangan, dan petugas maintenance. Beberapa contoh *Human Failure* ialah :

- a. *Operational Error*
- b. *Maintenance Error*
- c. *Critical Response Error*
- d. *Programming Error*

Frekuensi pada *Initiating Event Likelihood* dilakukan dengan cara menghitung nilai dari *Probability Failure on Demand*. Pada CCPS 2001 terdapat nilai *probability failure on demand* (PFD) dari masing-masing bentuk *Initiating Event Likelihood* (IEL) yang dapat dilihat pada Lampiran I.

3.5 Identifikasi *Independent Protection Layer* (IPL)

Pada bagian ini dilakukan identifikasi *safeguard* dari pada plan *Air Compressor 101J/JT*. *Safeguard* meliputi *Basic Process Control System* (BPCS), *Safety Instrumented System* (SIS), *Alarm System*, *Mechanical Safety*. IPL harus diidentifikasi, dan asumsi *independence* harus dievaluasi dengan hati-hati dan secara menyeluruh didokumentasikan.

Jika kriteria IPL sudah tercapai maka PFD ditambahkan dalam *Layer of Protection Analysis* (LOPA). Perkiraan PFD dapat ditemukan dalam tabel di CCPS (2001) dan OREDA. Tetapi data yang terdapat pada pabrik tertentu juga dapat digunakan. Tabel ini menunjukkan beberapa PFD untuk IPL berbeda. Jika perlindungan Lapisan tidak dapat diberikan kredit sebagai IPL nilai *probability failure on demand* (PFD) dimasukkan ke dalam *Layer of Protection Analysis* (LOPA) adalah Proses desain yang melekat dan faktor reduksi ini memberikan harus dievaluasi dengan hati-hati. Lapisan Perlindungan ini sulit untuk menilai, dan dalam kebanyakan kasus tidak ada pengurangan pengaruh risiko diberikan.

Dari penentuan dari pada *Independent Protection Layer* (IPL) plan *Air Compressor 101J/JT* didapatkan nilai *probability*

failure on demand (PFD) masing-masing *Independent Protection Layer* (IPL).

Adapun penentuan nilai *probability failure on demand* (PFD) dari masing-masing *Independent Protection Layer* (IPL) dapat dicari melalui data *failure rate* komponen yang ada pada Air Compressor 101 J/JT. Penentuan *probability failure on demand* (PFD) dari sistem adalah dengan cara menjumlahkan nilai *probability failure on demand* (PFD) dari masing-masing komponen. Pada CCPS 2001 terdapat nilai *probability failure on demand* (PFD) dari masing-masing bentuk IPL yang dapat dilihat pada Lampiran J.

3.5.1 Penentuan Distribusi

Tahap ini adalah penentuan distribusi waktu antara data kegagalan yang bertujuan untuk mendapatkan nilai kemungkinan terjadinya kerusakan pada komponen plan *Air Compressor 101J/JT*. Data yang dimasukkan kedalam distribusi adalah data *time to failure* dari komponen plan *Air Compressor 101J/JT*. Penentuan distribusi ini dapat dilakukan dengan cara menggunakan *software ReliaSoft Weibull++ Version 6*. Berikut adalah cara untuk penentuan distribusi dengan *software ReliaSoft Weibull ++* :

- a. Setelah dihitung dari data kegagalan dengan menentukan TTF(*time to failure*) maka untuk menentukan distribusi kegagalan ialah dengan cara memasukkan data kedalam *software ReliaSoft Weibull++ Version 6*. Sebelum mendapatkan data kegagalan atau TTF(*time to failure*), dilakukan perhitungan dengan menghitung berapa lama peralatan atau komponen diperbaiki hingga komponen mengalami kerusakan berikutnya. Berikut adalah gambar pemasukkan data *time to failure* pada *software* :

Didapatkan parameter uji *average goodness of fit* (AVGOF) yang menunjukkan bahwa semakin besar nilai pada kolom ini menunjukkan hasil distribusi mengenai ketidak sesuaian hasil distribusi. Parameter lain yaitu *average of plot fit* (AVPLOT) yang ditunjukkan adalah untuk men plot nilai hasil uji ditribusi, dan untuk kolom ketiga yaitu parameter *likelihood function* yang menunjukkan bahwa nilai terkecil adalah nilai yang terbaik untuk hasil ditribusi. Berikut adalah gambar dari uji distribusi :

- c. Langkah selanjutnya adalah penentuan jenis distribusi dari pada *software ReliaSoft Weibull++ Version 6*. Nilai ranking 1-6 yang diberikan *software* adalah petunjuk untuk menentukan distribusi yang akan dipakai. Pada ranking 1 adalah ranking tertinggi dalam rekomendasi pemilihan distribusi. Berikut adalah gambar yang menunjukkan ranking pada *software* :



Gambar 3.4 ranking distribusi pada *ReliaSoft Weibull++*.

Pada tabel menunjukkan bahwa distribusi yang memiliki ranking 1 adalah distribusi weibull 2 dan distribusi lainnya memiliki ranking yang lebih rendah dari distribusi ini. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi yang

tepat untuk data TTF (*time to failure*) adalah distribusi weibull 2.

- d. Setelah melakukan serangkaian tahap penentuan distribusi, maka didapatkan pemilihan distribusi dengan parameter-parameter yang ditunjukkan dalam tahap ini. Berikut adalah parameter-parameter yang dimaksud :



Gambar 3.4 Parameter dari distribusi yang dipilih *software*.

Setelah dilakukan pemilihan distribusi dan mengetahui parameter pada distribusi tersebut yang dilakukan selanjutnya adalah melakukan perhitungan sesuai dengan persamaan 2.1 sampai dengan 2.14.

3.5.2 Menghitung *Probability Failure of Demand*

Laju kegagalan di tiap komponen diperoleh dari *Work Orde* yang berasal dari data perbaikan komponen atau data *failure rate* dari OREDA, CCPS, Data Sheet komponen, dan lain sebagainya. Dari *Work Orde* dan perhitungan distribusi diperoleh data yaitu *failure rate* yang selanjutnya diolah menjadi data *Probability Failure on Demand* (PFD). Berikut adalah perhitungan beberapa komponen yang menjadi *Initiating Event Likelihood* dan *Independent Protection Layer*:

a. *Probability Failure on Demand (PFD) FT-1003*

Pada data *Work Orde* dan perhitungan distribusi diperoleh data yaitu *failure rate* FT-1003 sebesar $5,77865E-05$ maka dapat dihitung :

$$\begin{aligned} PFD_{FT1003} &= \frac{\lambda \cdot Ti}{2} & (3.3) \\ &= \frac{5,7785E-05 \times 8760}{2} \\ &= 0,101241952 \end{aligned}$$

b. *Probability Failure on Demand (PFD) FV-1003*

Pada data *Work Orde* dan perhitungan distribusi diperoleh data yaitu *failure rate* FV-1003 sebesar $1,10745E-05$ maka dapat dihitung :

$$\begin{aligned} PFD_{FT1003} &= \frac{\lambda \cdot Ti}{2} & (3.4) \\ &= \frac{1,10745E-05 \times 8760}{2} \\ &= 0,048506421 \end{aligned}$$

c. *Probability Failure on Demand (PFD) FT-1004*

Pada data *Work Orde* dan perhitungan distribusi diperoleh data yaitu *failure rate* FT-1004 sebesar $0,000154459$ maka dapat dihitung :

$$\begin{aligned} PFD_{FT1004} &= \frac{\lambda \cdot Ti}{2} & (3.5) \\ &= \frac{0,000154459 \times 8760}{2} \\ &= 0,270612523 \end{aligned}$$

d. *Probability Failure on Demand (PFD) FV-1004*

Pada data *Work Orde* dan perhitungan distribusi diperoleh data yaitu *failure rate* FV-1004 sebesar $2,80224E-07$ maka dapat dihitung :

$$\text{PFD}_{\text{FV1004}} = \frac{\lambda \cdot T_i}{2} \quad (3.6)$$

$$= \frac{2,80224\text{E}-07 \times 8760}{2}$$

$$= 0,001227382$$

e. *Probability Failure on Demand (PFD) MOV-1006*

Pada data *Work Order* dan perhitungan distribusi diperoleh data yaitu *failure rate* MOV-1006 sebesar 0.0000429 maka dapat dihitung :

$$\text{PFD}_{\text{MOV1006}} = \frac{\lambda \cdot T_i}{2} \quad (3.7)$$

$$= \frac{0,0000429 \times 8760}{2}$$

$$= 0,187902$$

f. *Probability Failure on Demand (PFD) HV-1023*

Pada data *Work Order* dan perhitungan distribusi diperoleh data yaitu *failure rate* MOV-1006 sebesar 0.00002299 maka dapat dihitung :

$$\text{PFD}_{\text{MOV1006}} = \frac{\lambda \cdot T_i}{2} \quad (3.8)$$

$$= \frac{0,00002299 \times 8760}{2}$$

$$= 0,1006962$$

g. *Probability Failure on Demand (PFD) Flow Control*

Pada buku CCPS diperoleh data yaitu *failure rate Flow Control* sebesar 0.0000688 maka dapat dihitung :

$$\text{PFD}_{\text{FLOW CONTROL}} = \frac{\lambda \cdot T_i}{2} \quad (3.9)$$

$$= \frac{0,0000688 \times 8760}{2}$$

$$= 0,301344$$

- h. *Probability Failure on Demand (PFD) Interlock 101-J*
 Pada Exida diperoleh data yaitu *failure rate Interlock 101-J* yang memakai data *fail save control* memiliki nilai sebesar $7,4 \times 10^{-9}$ maka dapat dihitung :

$$\text{PFD}_{\text{FLOW CONTROL}} = \frac{\lambda \cdot T_i}{2} \quad (3.10)$$

$$= \frac{7,4E-09 \times 8760}{2}$$

$$= 0,000032412$$

- i. *Probability Failure on Demand (PFD) SSHH-1001*
 Pada Exida diperoleh data yaitu *failure rate) SSHH-1001* yang memakai data *fail save control* memiliki nilai sebesar $7,4 \times 10^{-9}$ maka dapat dihitung :

$$\text{PFD}_{\text{FLOW CONTROL}} = \frac{\lambda \cdot T_i}{2} \quad (3.11)$$

$$= \frac{4,8E-07 \times 8760}{2}$$

$$= 0,0021024$$

3.5.3. Menghitung *Intermediate Event Likelihood (IEL)*

Nilai dari *safeguard plan Air Compressor 101J/JT* yang dibagi menjadi beberapa *Independent Protection Layer (IPL)* dijumlahkan menjadi satu bagian yaitu berupa nilai *Safety Integrity Level*. Nilai *probability failure on demand (PFD)* masing-masing *Independent Protection Layer (IPL)* diolah dengan mengalikan dengan nilai *probability failure on demand (PFD)* kejadian awal dari plan *Air Compressor 101J/JT*. Perhitungan ini dilakukan dengan acuan Node pada *Hazard*

Operability Study (HAZOP) Air Compressor 101J/JT. Hasil dari perhitungan akan menjadi nilai *probability failure on demand (PFD)*.

$$f_{IEL,i} = f_i \cdot \prod_{j=1}^J PFD_{ij} \quad (3.12)$$

$$IEL = PFD_{DESIGN} \times PFD_{BPCS} \times PFD_{ALR} \times PFD_{SIS} \times PFD_{MECH} \times PFD_{SAFETY}$$

Mitigated Event Likelihood dihitung dengan mengalikan Kolom *Intermediate Event Likelihood* dan *SIF Integrity Level* dan memasukkan hasilnya di Kolom *Mitigated Event Likelihood*. Langkah terakhir adalah untuk menjumlahkan semua acara berikut adalah nilai standard untuk menentukan *Target Mitigated Event Likelihood* :

Tabel 3.4 *Target Mitigated Event Likelihood (TMEL) Of The Consequence Nordhagen (2007)*

severity level	safety consequence	target mitigated event likelihood / year
CA	single first aid injury	3,E-02
CB	multiple first aid injuries	3,E-03
CC	single disabling injury or multiple serious injuries	3,E-04
CD	single on-site fatality	3,E-05
CE	more than one and up to three on-site fatalities	1,E-05

Kemungkinan dikurangi untuk Serius dan ekstensif Acara Dampak yang menghadirkan bahaya yang sama. Misalnya, Kemungkinan dimitigasi untuk semua serius dan Peristiwa yang luas yang menyebabkan kebakaran akan ditambahkan dan digunakan dalam persamaan seperti berikut.

$$PFD_{AVG} = \frac{TMEL}{IEL} \quad (3.12)$$

Hasil dari perhitungan adalah merupakan nilai *probability failure on demand* (PFD) terakhir. Setelah itu dapat diketahui dari pada nilai *Safety Integrity Level* (SIL) final.





BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa *Layer of Protection Analysis (LOPA)*

Pada plan *Air Compressor 101J/JT* dilakukan analisa dengan metode *Layer of Protection Analysis (LOPA)*. Metode ini memanfaatkan peristiwa berbahaya, keparahan kejadian, memulai penyebab yang didapatkan dari *Hazard and Operability analysis (HAZOP)* yang menjadi skenario awal analisa. Metode Lopa memungkinkan pengguna untuk menentukan risiko yang terkait dengan berbagai peristiwa berbahaya dengan memanfaatkan tingkat keparahan dan kemungkinan peristiwa di inisiasi. Menggunakan standar risiko perusahaan, pengguna dapat menentukan jumlah total pengurangan risiko yang diperlukan dan menganalisis pengurangan risiko yang dapat dicapai dari berbagai lapisan perlindungan. Jika pengurangan risiko tambahan diperlukan setelah pengurangan yang disediakan oleh desain proses, *Basic process control system (BPCS)*, alarm dan tindakan operator yang terkait, katup pelepas tekanan, dan lain – lain.

4.2 Penentuan *TargetMitigated Event Likelihood*

TargetMitigated Event Likelihood adalah sebuah data linguistik dari perusahaan. Penentuan *TargetMitigated Event Likelihood* dilakukan untuk bertujuan mengetahui seberapa parah kejadian kegagalan yang timbul pada setiap skenario. Dampak skenario dapat dikategorikan menjadi 5 kategori dimana nilai 5 adalah dampak terburuk pada setiap node kegagalan HAZOP dan skenario. Huruf C dinotasikan sebagai tingkat konsekuensi keparahan dibagi menjadi lima kategori. Jika suatu kejadian dampak diklasifikasikan dengan tingkat konsekuensi keparahan CE CC (CD atau CE), nilai dari *TargetMitigated Event Likelihood* dapat dilihat pada tabel 3.7. Hal Ini berarti bahwa dampak peristiwa konsekuensi dinilai sebagai CA, CB, tidak dievaluasi dengan *Layer of Protection Analysis (LOPA)*. Dalam memilih tingkat keparahan dari sebuah kegagalan dilakukan

dengan cara mewawancarai koresponden atau yang disebut data linguistik daripada plan yang diidentifikasi. Berikut adalah pemilihan dari tingkat resiko :

Tabel 4.1 Penentuan nilai Tingkat Keparahanpada Skenario Awal

PROSES AIR COMPRESSOR 101J/JT						
No.	Node		Causes	Consequence	Skenario	TMEL
1	40	3	MOV-1006 closed (D-11-1225-203)	compressor surge and damage	No flow of process air	CD
2	40	9	101-JL1 is plugged	higher pressure drop, potential compressor surge and damage	Less flow of process air	CD
3	40	10	101-J trip	reverse rotation, potential damage to compressor seal and drum	Reverse flow of process air	CD
4	40	11	HV-1023 wide open (D-11-1225-203)	less flow to 101-J 3rd stage suction lead to compressor surge and damage	Other than flow	CD
5	40	12	HV-1023 doesn't open when required (D-11-1225-203)	compressor surge and damage	Other than flow	CD
6	40	13	tube failure in 101-JCA	Air leaks to CW side, causing over pressure	Missdirected flow	CC
7	40	14	tube failure in 101-JCB	Air leaks to CW side, causing over pressure	Missdirected flow	CC
8	40	15	tube failure in 101-JCC	Air leaks to CW side, causing over pressure	Missdirected flow	CC

PROSES AIR COMPRESSOR 101J/JT						
No.	Node		Causes	Consequence	Skenario	TMEL
9	40	16	loss of CW to101-JCA	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	Higher temperature	CC
10	40	17	loss of CW to101-JCB	Higher temperature to 101-J 3rd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	Higher temperature	CD
11	40	18	loss of CW to101-JCC	Higher temperature to 101-J 4th suction leads to discharge temperature, causing potential damage	Higher temperature	CC

4.3 Perhitungan *Initiating Event Likelihood (IEL)*

Pada analisa *Layer of Protection Analysis (LOPA)* perlu dilakukan perhitungan *Initiating Event Likelihood (IEL)* untuk mengetahui frekuensi kejadian awal yang terjadi pada plan *Air Compressor 101J/JT*. Berikut adalah nilai dari perhitungan likelihood.

Tabel 4.2 Nilai *Initiating Event Likelihood*

Skenario	Deskripsi	IEL
1	No flow of process air	0,187798167
2	Less flow of procees air	0,43208262
3	Reverse flow of procees air	0,43208262
4	Othet than flow	0,100678192
5	Othet than flow	0,100678192
6	Missdirected flow	0,227029216
7	Missdirected flow	0,154863559
8	Missdirected flow	0,047419968
9	Higher temperature	0,227029216
10	Higher temperature	0,154863559
11	Higher temperature	0,047419968

4.4 Perhitungan *Independent Protection Layer (IPL)*

Perhitungan *Independent Protection Layer (IPL)* dilakukan dengan cara mencari nilai *Probability Failure Demand (PFD)* dari tiap komponen layer proteksi pada plan *Air Compressor 101J/JT*. Nilai PFD lapisan pertama pada *Independent Protection Layer (IPL)* didapatkan dari standart yang ada pada *Layer Of Protection Analysis-CCPS*. Sedangkan lapisan kedua IPL didapatkan dari PFD komponen BPCS yang ada pada plan. Berikut hasil perhitungan PFD dari masing-masing komponen :

Tabel 4.3 Nilai *Probability failure of Demand (PFD)* dari *Basic Proccess Control System (BPCS)*

Skenario	Diskripsi	BPCS	PFD
1	No flow of process air	Flow Control 1004	0,802588688
2	Missdirected flow	Flow Control 1003	0,4264413
3	Missdirected	Flow Control	0,4264413

	flow	1003	
--	------	------	--

Skenario	Diskripsi	BPCS	PFD
4	Missdirected flow	No Control	1
5	Higher temperature	Flow Control 1003	0,4264413
6	Higher temperature	No Control	1
7	Higher temperature	No Control	1
8	Less flow of procees air	No Control	1
9	Reverse flow of procees air	No Control	1
10	Othet than flow	No Control	1
11	Othet than flow	No Control	1

Berdasarkan tabel 4.1 dapat diketahui nilai *Pobability Failure on Demand* (PFD) BPCS. Tidak semua skenario pada Unit Compressor 101-J/JT memiliki BPCS, skenario yang memiliki BPCS adalah skenario 1, 2, 3, dan 5 dan yang tidak memiliki BPCS adalah skenario 4, 6, 7, 8, 9, 10, dan 11. Skenario yang tidak mempunyai IPL berupa BPCS sehingga nilai *Probability Failure Demand* (PFD) bernilai 1.

Tabel 4.4 Nilai *Probability failure of Demand* (PFD) dari *Alarm Response*

Skenario	Diskripsi	Alarm	PFD
1	No flow of process air	-FALL1003	0,1

Skenario	Diskripsi	Alarm	PFD
2	Less flow of procees air	-PDAH1101	0,1
3	Reverse flow of procees air	No Alarm	1
4	Othet than flow	Axial Alarm HH	0,1
5	Othet than flow	Axial Alarm HH	0,1
6	Missdirected flow	No Alarm	1
7	Missdirected flow	No Alarm	1
8	Missdirected flow	No Alarm	1
9	Higher temperature	Axial Alarm HH	0,1
10	Higher temperature	Axial Alarm HH	0,1
11	Higher temperature	Axial Alarm HH TAH1300	0,1

Pada tabel 4.4 dapat diketahui nilai *Pobability Failure on Demand* (PFD) Alarm Response yang berfungsi sebagai lapisan ketiga *Independent Protection Layer* (IPL) pada Unit Compressor 101-J/JT. Selain itu pada tabel tersebut terdapat beberapa skenario yang tidak mempunyai IPL sehingga PFD bernilai 1. Pada skenario pertama, kedua, keempat, kelima, kesembilan dan kesepuluh memiliki nilai PFD 0,1 yang diambil dari *Layer Of Protection Analysis-CCPS* dikarenakan tidak terdapat data kegagalan pada *instrument* tersebut

Tabel 4.5 Nilai *Probability failure of Demand* (PFD) dari *Additional Mitigated Restricted*

Skenario	Deskripsi	Safety	PFD
1	No additional	No flow of process air	1
2	No additional	Less flow of process air	1
3	Interlock MOV 1006	Reverse flow of process air	0,187863
4	No additional	Othet than flow	1
5	No additional	Othet than flow	1
6	No additional	Missdirected flow	1
7	No additional	Missdirected flow	1
8	No additional	Missdirected flow	1
9	No additional	Higher temperature	1
10	No additional	Higher temperature	1
11	No additional	Higher temperature	1

Pada tabel diatas dapat diketahui nilai *Pobability Failure on Demand* (PFD) *Additional Mitigated Restricted* yang berfungsi sebagai *Independent Protection Layer* (IPL) pada *Unit Compressor 101-J/JT*. Pada skenario pertama dan kedua memiliki nilai PFD 1 dikarenakan tidak adanya *safety* untuk *layer additional mitigation*. Sedangkan pada skenario ketiga memiliki nilai PFD sebesar 0,125005 dikarenakan terdapat *layer additional mitigation* berupa *Interlock* yang menggerakkan MOV 1006. Nilai PFD skenario ketiga didapatkan dari perhitungan data kegagalan sistem *Interlock*.

Tabel 4.6 Nilai *Probability failure of Demand* (PFD) dari *Additional Mitigated Dike*

Skenario	Diskripsi	PFD
1	No flow of process air	1
2	Less flow of procees air	1
3	Reverse flow of procees air	1
4	Othet than flow	0,1
5	Othet than flow	0,1
6	Missdirected flow	1
7	Missdirected flow	1
8	Missdirected flow	1
9	Higher temperature	1
10	Higher temperature	1
11	Higher temperature	1

Berdasarkan tabel diatas dapat tidak terdapat Mechanical Safety yang berfungsi sebagai *Independent Protection Layer* (IPL) pada Unit *Air Compressor 101-J/JT*. Selain itu pada tabel 4.6 hampir semua skenario tidak memiliki IPL *Additional Mitigated Dike* sehingga PFD bernilai 1. Pada skenario keempat dan kelima memiliki nilai PFD 0,1 yang diambil dari *Layer Of Protection Analysis-CCPS*

4.5 Perhitungan dengan menggunakan metode LOPA

Pada dasarnya metode *Layer of Protection Analysis* (LOPA) adalah suatu metode yang digunakan untuk menganalisa

keamanan yang dihasilkan oleh lapisan pelindung pada suatu *equipment* atau plan pada Industri. Pada plan *Air Compressor 101-J/JT* memiliki beberapa lapisan pelindung yang ditunjukkan pada tabel 4.3 sampai dengan 4.6. Cara perhitungan pada *Layer of Protection Analysis* (LOPA) dilakukan dengan cara mengalikan beberapa *Independent Protection Layer* (IPL) yang berfungsi sebagai cover pengaman pada plan dengan kejadian awal dari pada skenario. Pada skenario dicari nilai dari *Likelihood* yang kemudian dijadikan frekuensi kegagalan awal plan *Air Compressor 101-J/JT*. Pada setiap *Independent Protection Layer* (IPL) akan dicari nilai *Probability failure of Demand* (PFD).

Nilai dari *safeguardplan Air Compressor 101J/JT* yang dibagi menjadi beberapa *Independent Protection Layer* (IPL) dijumlahkan menjadi satu bagian yaitu berupa nilai *Safety Integrity Level*. Nilai *probability failure on demand* (PFD) masing-masing *Independent Protection Layer* (IPL) diolah dengan mengalikan dengan nilai *probability failure on demand* (PFD) kejadian awal dari plan *Air Compressor 101J/JT* seperti pada persamaan 3.3. Perhitungan ini dilakukan dengan acuan Node pada *Hazard Operability Study* (HAZOP) *Air Compressor 101J/JT*.

Mitigated Event Likelihood dihitung dengan mengalikan Kolom *Intermediate Event Likelihood* dan *SIF Integrity Level* dan memasukkan hasilnya di Kolom *Mitigated Event Likelihood*. Langkah terakhir adalah untuk menjumlahkan semua acara Kemungkinan dikurangi untuk Serious dan ekstensif sesuai pada persamaan 3.4.

Setelah diketahui nilai dari initiating event dan setiap IPL *Independent Protection Layer* (IPL) maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai dari *Intermediate Event Likelihood*. perhitungan dilakukan pada setiap skenario atau node kegagalan plan *Air Compressor 101-J/JT*. Berikut adalah hasil perhitungan antara PFD dari *Target Mitigated Event Likelihood* dan *Intermediate Event Likelihood* :

Tabel 4.7 perhitungan dengan metode *Layer of Protection Analysis*

SCENARIO	INITIATING CAUSE	TMEL KATEGORI	INTERMEDIATE EVENT LIKELIHOOD (IEL)	TARGET MITIGATED EVENT LIKELIHOOD (TMEL)	PFD (TMEL/IEL)	SIL
1	MOV-1006 closed (D-11-1225-203)	CD	2,E-03	3,E-05	1,99E-02	SIL ₁
2	101-JL1 is plugged	CD	2,E-03	3,E-05	1,63E-02	SIL ₁
3	101-J trip	CD	3,E-03	3,E-05	1,30E-02	SIL ₂
4	HV-1023 wide open (D-11-1225-203)	CD	1,E-04	3,E-05	2,98E-01	SIL ₁
5	HV-1023 doesn't open when required (D-11-1225-203)	CD	4,E-05	3,E-05	6,99E-01	SIL ₁
6	tube failure in 101-JCA	CC	2,E-02	3,E-04	1,32E-02	SIL ₁
7	tube failure in 101-JCB	CC	2,E-02	3,E-04	1,94E-02	SIL ₁
8	tube failure in 101-JCC	CC	5,E-03	3,E-04	6,33E-02	SIL ₁
9	loss of CW to 101-JCA	Cc	2,E-03	3,E-05	1,32E-02	SIL ₁
10	loss of CW to 101-JCB	Cc	2,E-03	3,E-04	1,94E-01	SIL ₁
11	loss of CW to 101-JCC	Cc	5,E-04	3,E-04	6,33E-01	SIL ₁

Pada tabel 4.8 dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan antara *Target Mitigated Event Likelihood* yang didapatkan dari koresponden perusahaan dengan *likelihood* hasil perhitungan. Perbedaan nilai *likelihood* tersebut digunakan untuk menentukan nilai *Probability Failure on Demand* (PFD) total sehingga didapatkan nilai *Safety Integrity Level* (SIL) dari setiap skenario kejadian. Setelah dilakukan perhitungan pada nilai SIL necessary risk menunjukkan pada skenario 3 memiliki nilai SIL₂ tetapi pada

skenario lain memiliki nilai SIL 1, hal ini sesuai dengan kriteria minimum SIL yang diterangkan oleh *Layer of Protection Analysis-CCPS*. Nilai PFD necessary risk reduction dari setiap skenario memiliki nilai yang berbeda-beda. Mulai dari $1,32E-02$ sampai dengan $6,99E-01$. Sehingga tidak ada skenario yang memerlukan rekomendasi peningkatan SIL necessary risk reduction.

Dalam melakukan perhitungan resiko pada metode *Layer of Protection Analysis (LOPA)* terdapat beberapa langkah yaitu mengidentifikasi *consequence* menjadi beberapa tingkatan seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.2. Data yang diperoleh adalah dengan melakukan wawancara terhadap koresponden yang ada pada lapangan untuk mengetahui kategori *consequence*. Sedangkan data *likelihood* didapatkan dari perhitungan *Initiating Event Likelihood* dikalikan dengan *Independent Protection Layer (IPL)*.

4.6 Penentuan Tingkat Resiko

Pada penentuan *saverity* dan *likelihood* kategori adalah salah satu cara untuk mencari nilai tingkat resiko. Untuk menentukan kategori *saverity* dilakukan wawancara dengan pihak terkait atau biasanya disebut para ahli. Wawancara dilakukan dengan cara identifikasi skenario awal kejadian yang menjadi skenario. Pada saat dilakukan wawancara pada pihak terkait, hal yang harus dilakukan adalah memasukkan hasil wawancara kedalam standard dengan cara mencocokkan kejadian awal dan akibat dengan tingkat *saverity* pada standard. Standard yang dipakai pada pengembangan tingkat *saverity* adalah *Australian Standard / New Zealand Standard (AS/NZS 4360 : 2004)*. Berikut adalah hasil dari wawancara :

Tabel 4.8 Hasil penentuan tingkat *saverity*

Scenario	Initiating Cause	TMEL Kategori	Impact Event Description	Level	Definisi Dari Standard	Saverity Score
----------	------------------	---------------	--------------------------	-------	------------------------	----------------

1	MOV-1006 closed (D-11-1225-203)	CD	compressor surge and damage	C	beberapa objek yang terkena	3
---	---------------------------------	----	-----------------------------	---	-----------------------------	---

Scenario	Initiating Cause	TMEL Kategori	Impact Event Description	Level	Definisi Dari Standard	Saverity Score
2	101-JL1 is plugged	CD	higher pressure drop, potential compressor surge and damage	C	beberapa objek yang terkena	3
3	101-J trip	CD	reverse rotation, potential damage to compressor seal and drum	C	beberapa objek yang terkena	3
4	HV-1023 wide open (D-11-1225-203)	CD	less flow to 101-J 3rd stage suction lead to compressor surge and damage	C	beberapa objek yang terkena	3
5	HV-1023 doesn't open when required (D-11-1225-203)	CD	compressor surge and damage	C	beberapa objek yang terkena	3
6	tube failure in 101-JCA	CC	Air leaks to CW side, causing over pressure	B	efek kecil yang mudah diperbaiki	2
7	tube failure in 101-JCB	CC	Air leaks to CW side, causing over pressure	B	efek kecil yang mudah diperbaiki	2
8	tube failure in 101-JCC	CC	Air leaks to CW side, causing over pressure	B	efek kecil yang mudah diperbaiki	2
9	loss of CW to101-JCA	Cc	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	B	efek kecil yang mudah diperbaiki	2
10	loss of CW to101-JCB	Cc	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	B	efek kecil yang mudah diperbaiki	2

11	loss of CW to 101-JCC	Cc	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	B	efek kecil yang mudah diperbaiki	2
----	-----------------------	----	--	---	----------------------------------	---

Sedangkan untuk menentukan nilai dari *likelihood* dengan cara mencari nilai *Intermediate Event Likelihood* (IEL) dari perhitungan menggunakan metode *Layer of Protection Analysis*. Didapatkan dari nilai hasil perhitungan *Intermediate Event Likelihood* (IEL). Setelah diketahui nilai dari IEL maka dapat diketahui klasifikasi kategori *likelihood* menurut standard *Australian Standard / New Zealand Standard (AS/NZS 4360 : 2004)*. Analisa nilai klasifikasi *Likelihood* berdasarkan skenario yang diambil dari Node kegagalan *Hazard Operability Study* (HAZOP). Berikut adalah hasil dari klasifikasi skenario berdasarkan nilai dari *Intermediate Event Likelihood* (IEL) :

Tabel 4.9 Hasil penentuan tingkat *Likelihood*

Skenario	Initiating Cause	TMEL Kategori	Impact Event Description	IEL	Definisi Dari Standard	Likelihood Kategori
1	MOV-1006 closed (D-11-1225-203)	CD	compressor surge and damage	0,001507	beberapa objek yang terkena	2
2	101-JL1 is plugged	CD	higher pressure drop, potential compressor surge and damage	0,001843	beberapa objek yang terkena	2
3	101-J trip	CD	reverse rotation, potential damage to compressor seal and drum	0,0035	beberapa objek yang terkena	2
4	HV-1023 wide open (D-11-1225-203)	CD	less flow to 101-J 3rd stage suction lead to compressor surge and damage	0,000101	beberapa objek yang terkena	1
5	HV-1023 doesn't open when required (D-11-1225-203)	CD	compressor surge and damage	4,29E-05	beberapa objek yang terkena	1

6	tube failure in 101-JCA	CC	Air leaks to CW side, causing over pressure	0,022703	efek kecil yang mudah diperbaiki	3
7	tube failure in 101-JCB	CC	Air leaks to CW side, causing over pressure	0,015486	efek kecil yang mudah diperbaiki	3
8	tube failure in 101-JCC	CC	Air leaks to CW side, causing over pressure	0,004742	efek kecil yang mudah diperbaiki	2

Skenario	Initiating Cause	TMEL Kategori	Impact Event Description	IEL	Definisi Dari Standard	Likelihood Kategori
9	loss of CW to101-JCA	Cc	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	0,00227	efek kecil yang mudah diperbaiki	2
10	loss of CW to101-JCB	Cc	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	0,001549	efek kecil yang mudah diperbaiki	2
11	loss of CW to101-JCC	Cc	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	0,000474	efek kecil yang mudah diperbaiki	1

Dari hasil perhitungan kategori *Saverity* didapatkan dari wawancara pada pihak terkait atau para ahli dan *Likelihood* didapatkan nilai dari nilai *Intermediate Event Likelihood* (IEL), maka perhitungan nilai *Risk Score*. Nilai *Risk Score* dihitung berdasarkan persamaan 3.2 dimana nilai risk didapatkan dari hasil perkalian nilai kategori *Saverity* / *Consequence* dan *Likelihood*. Berikut adalah hasil nilai *Risk* berdasarkan skenario kejadian awal:

Tabel 4.10 Nilai *Risk* pada Skenario

SCENARIO	INITIATING CAUSE	SAVERITY KATEGORI	LIKELIHOOD KATEGORI	RISK
1	MOV-1006 closed (D-11-1225-203)	3	2	6
2	101-JL1 is plugged	3	2	6
3	101-J trip	3	2	6
4	HV-1023 wide open (D-11-1225-203)	2	1	2

SCENARIO	INITIATING CAUSE	SAVERITY KATEGORI	LIKELIHOOD KATEGORI	RISK
5	HV-1023 doesn't open when required (D-11-1225-203)	2	1	2
6	tube failure in 101-JCA	2	3	6
7	tube failure in 101-JCB	2	3	6
8	tube failure in 101-JCC	2	2	4
9	loss of CW to101-JCA	2	2	4
10	loss of CW to101-JCB	2	2	4
11	loss of CW to101-JCC	2	1	2

Dari hasil tabel 4.10 menunjukkan bahwa nilai kategori *Safety* dan nilai kategori *likelihood* didapatkan nilai risk yang rendah. Dapat dilihat pada setiap skenario memiliki nilai risk paling kecil adalah 2 dan nilai risk paling besar adalah 6. Mengacu pada tabel *Risk Matix* warna yang ditunjukkan masing-masing skenario menunjukkan warna hijau dan kuning. Maka dari itu tidak ada rekomendasi pada resiko pada plan.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun hasil perhitungan dan hasil analisa yang telah dilakukan didapatkan parameter yang dapat disimpulkan antara lain sebagai berikut :

1. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan diketahui bahwa nilai SIL Pada skenario satu sampai dengan skenario sepuluh memiliki nilai SIL necessary risk reduction yang sama yaitu SIL1 tetapi pada skenario3 memiliki nilai SIL2. Sedangkan PFD hasil perhitungan memiliki nilai 5,21E-03 sampai dengan 6,99E-01. Maka nilai SIL tersebut sesuai dengan standard industri yaitu minimum SIL2
2. Berdasarkan perhitungan *risk matrix* dapat disimpulkan nilai *Risk* dari perhitungan menunjukkan bahwa nilai masih pada nilai *low*. Hal ini ditunjukkan pada nilai *Risk* dari perkalian *Consequence* dan *Likelihood* mulai dari 2 sampai dengan 6. Hasil tersebut meunjukkan bahwa pada *risk score* nilai yang dihasilkan masih dalam batas resiko yang diperbolehkan, dan tidak ada rekomendasi penambahan IPL untuk mengurangi nilai *Likelihood* pada *Air Compressor 101J/JT*.

5.2 Saran

Adapun saran pada penelitian ini untuk penelitian selanjutnya bisa dilakukan perhitungan *Controller* dan *Logix Solver* dengan menggunakan data aktual dari kerusakan alat.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

Australia Standard/New Zealand Standard:4360 (AS/NZS), 2004. **Risk Management Guidelines Companion**. Australia : Carmen Green Zevallos.

Center for Chemical Process Safety (CCPS), 2001. **Layer of Protection Analysis** . America : A John Wiley & Sons, Inc

Ebeling, Charles E.,1997. **An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering**. Singapore : The McGraw-Hill Companies, Inc.

British Standard., 2003., International Electrotechnical Commission (IEC) 61511-3. England. British Standart Institution

Lassen, Christopher A., 2008. **Layer of Protection Analysis (LOPA) Determination of Safety Integrity Level (SIL)**.

Norwegian University of Science and Technology

M.Marszal, Edward dan W.Scharpf, Eric.,2002. **Safety Integrity Level Selection**. United State of A merica : Research Triangle Park, NC: ISA.

LAMPIRAN

Initiating event

SCENARIO	INITIATING CAUSE	TMEL KATEGORI	IMPACT EVENT DESCRIPTION	IPL						INTERMEDIATE EVENT LIKELIHOOD (IEL)	TARGET MITIGATED EVENT LIKELIHOOD (TMEL)	PFD (TMEL/IEL)	SIL	SAVERIT Y KATEGORI	LIKELIHOOD KATEGORI	RISK
				INITIATING LIKELIHOOD	GENERAL DESIGN	BPCS	ALARM RESPONSE	ADDITIONAL MITIGATION RESTRICTED ACCESS	ADDITIONAL MITIGATED DIKE							
1	MOV-1006 closed (D-11-1225-203)	CD	compressor surge and damage	0,187798167	0,1	0,802589	0,1	1	1	2,E-03	3,E-05	1,99E-02	SIL ₁	3	2	6
2	101-JL1 is plugged	CD	higher pressure drop, potential compressor surge and damage	0,43208262	0,1	0,42644	0,1	1	1	2,E-03	3,E-05	1,63E-02	SIL ₁	3	2	6
3	101-J trip	CD	reverse rotation, potential damage to compressor seal and drum	0,43208262	0,1	0,42644	1	0,187862991	1	3,E-03	3,E-05	8,67E-03	SIL ₂	3	2	6
4	HV-1023 wide open (D-11-1225-203)	CD	less flow to 101-J 3rd stage suction lead to compressor surge and damage	0,100678192	0,1	1	0,1	1	0,1	1,E-04	3,E-05	2,98E-01	SIL ₁	2	1	2
5	HV-1023 doesn't open when required (D-11-1225-203)	CD	compressor surge and damage	0,100678192	0,1	0,42644	0,1	1	0,1	4,E-05	3,E-05	6,99E-01	SIL ₁	2	1	2
6	tube failure in 101-JCA	CC	Air leaks to CW side, causing over pressure	0,227029216	0,1	1	1	1	1	2,E-02	3,E-04	1,32E-02	SIL ₁	2	3	6
7	tube failure in 101-JCB	CC	Air leaks to CW side, causing over pressure	0,154863559	0,1	1	1	1	1	2,E-02	3,E-04	1,94E-02	SIL ₁	2	3	6
8	tube failure in 101-JCC	CC	Air leaks to CW side, causing over pressure	0,047419968	0,1	1	1	1	1	5,E-03	3,E-04	6,33E-02	SIL ₁	2	2	4
9	loss of CW to101-JCA	Cc	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	0,227029216	0,1	1	0,1	1	1	2,E-03	3,E-04	1,32E-01	SIL ₁	2	2	4
10	loss of CW to101-JCB	Cc	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	0,154863559	0,1	1	0,1	1	1	2,E-03	3,E-04	1,94E-01	SIL ₁	2	2	4
11	loss of CW to101-JCC	Cc	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	0,047419968	0,1	1	0,1	1	1	5,E-04	3,E-04	6,33E-01	SIL ₁	2	1	2

ANALISA TINGKAT BAHAYA DAN LAPISAN PELINDUNG DENGAN MENGGUNAKAN LAYER OF PROTECTION ANALYSIS (LOPA) PADA SISTEM AIR COMPRESSOR 101J/JT DI PABRIK AMMONIA PT. PETROKIMIA GRESIK

Ahmad Sholeh Huddin, Ir. Ronny Dwi Noryati, M.Kes
Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
E-mail: sholeh.huddin76@gmail.com

Abstrak — Telah dilakukan analisis mengenai tingkat bahaya dan lapisan pelindung menggunakan metode LOPA. Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi nilai Safety Integrity Level (SIL) serta jenis Independent Protection Layer (IPL) yang ada pada Air Compressor 101J/JT. Analisis tingkat bahaya dilakukan dengan mengetahui *severity level* dan *likelihood* setiap skenario kejadian berdasarkan Hazard and Operability (HazOp) PT.Petrokimia Gresik. Sedangkan analisa lapisan pelindung (IPL) dilakukan dengan mengidentifikasi nilai *Initiating Event Likelihood* (IEL) pada setiap layer. Lapisan pelindung yang ada pada Air Compressor 101J/JT terdiri dari *Basic ProcessControl System* (BPCS), *Safety Instrumented System* (SIS), *Alarm System*, dan *Mechanical Safety*. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan diketahui bahwa nilai SIL Pada skenario satu sampai dengan skenario sepuluh memiliki nilai SIL necessary risk reduction yang sama yaitu SIL1 tetapi pada skenario3 memiliki nilai SIL2. Sedangkan PFD hasil perhitungan memiliki nilai 5,21E-03 sampai dengan 6,99E-01. Sedangkan nilai Risk dari perhitungan menunjukkan bahwa nilai masih pada nilai low. Hal ini ditunjukkan pada nilai Risk dari perkalian *Consequence* dan *Likelihood* mulai dari 2 sampai dengan 6.

Kata kunci: *Safety Integrity Level, Independent Protection Layer, Layer Of Protection Analysis*

I. PENDAHULUAN

PT Petrokimia Gresik adalah salah satu pabrik yang bergerak dibidang produksi pupuk yang berlokasi di Gresik Jawa Timur. Produk pupuk yang dihasilkan antara lain adalah Pupuk Urea, Pupuk Fosfat, Phonska I-II-III-IV, NPK I-II-III-IV, Pupuk ZK, dan Pupuk Petroganik. Selain memproduksi pupuk PT. Petrokimia Gresik juga memproduksi bahan kimia seperti Amoniak, Asam Sulfat (98% H₂SO₄), Asam Fosfat (100% P₂O₅), Aluminium Fluoride, dan *Cement Retarder*. Proses pembuatan pupuk, khususnya pupuk urea, memerlukan bahan baku utama yaitu ammonia dan gas karbondioksida (CO₂). Kedua bahan baku ini dihasilkan oleh Pabrik Ammonia. Pada pembentukan ammonia, terdapat tahap pensuplaian udara dari luar. Udara

instrumen disuplai oleh *air compressor 101J*. Sebagian kecil aliran keluaran compressor tersebut di alirkan ke *dryer* untuk dihilangkan molekul H₂O hingga < 100 ppm. Selanjutnya udara instrumen tersebut didistribusikan ke tahap pembentukan produksi ammonia. Selain itu udara dari kompresor juga disalurkan pada instrumen-instrumen *pneumatic* seperti *control valve pneumatic*.

Instrument air compressor 101J adalah plan yang penting dan berbahaya jika mengalami kerusakan, maka dari itu peneliti merasa tertarik dalam melakukan Analisa Tingkat Bahaya dan Lapisan Pelindung dengan menggunakan *Layer Of Protection Analysis (LOPA)* pada *air compressor 101J*. Dengan analisa tersebut diharapkan *compressor* dapat bekerja stabil dan dapat memenuhi penyediaan ammonia sebagai bahan pembuatan pupuk urea di PT.Petrokimia Gresik. Analisa *Layer Of Protection Analysis (LOPA)* pada *air compressor 101J* dilakukan dengan cara mengidentifikasi dari pada node-node *Hazard Operability Study* (HAZOP) dari perusahaan. Dari *Hazard Operability Study* (HAZOP) dapat dicari skenario awal kegagalan plan *air compressor 101J/JT*. Skenario yang mewakili node sebagai awal pencarian nilai *severity level*. Selain itu analisa dilakukan dengan mencari Lapisan Pelindung pada *air compressor 101J/JT*. Sehingga dapat dicari nilai dari SIL hasil perhitungan Lapisan Pelindung dengan Target Mitigasi dari perusahaan / standard.

II. METODOLOGI PENELITIAN

1. Deskripsi Proses *Air Compressor 101J/JT*

Pada gambar diatas menunjukkan *Process Flow Diagram Air Compressor 101-J/JT*. Input dari *Air Compressor 101-J/JT* berasal dari udara bebas yang selanjutnya masuk ke dalam *Air Filter 101-JL1* kemudian udara dihisap menuju ke *Low Pressure Compressor* dan disimpan sementara pada *101-JCA storage*. Tidak cukup pada *Low Pressure Compressor* sistem kompresinya tetapi masih ada dua tahapan kompresi yaitu pada *High Pressure 1st stage Compressor* kemudian disimpan sementara pada *101-JCB* dan menuju *High Pressure 2nd stage Compressor* disimpan sementara pada *101-JCB* agar sistem pengompresian udara bisa maksimal. *Air Compressor 101-J/JT* sendiri digerakkan oleh *Steam Turbin 101-JT* yang berasal dari *Waste Heat Boiler* pada pabrik Amoniak. Output dari *Air Compressor 101-J/JT* menuju ke *Air Heater 101-BCA* untuk dipanaskan.

2. Identifikasi *Hazard Operability Study* (HAZOP)

Terdapat enam kejadian yang tidak diinginkan pada plan *Air Compressor 101J/JT* yang tercatat pada data *Hazard*

Operability Study (HAZOP). Berikut adalah kejadian yang tidak diinginkan tercatat sebagai node kegagalan plan:

- Node 40-1 s/d Node 40-7 adalah node yang menjelaskan tentang kegagalan *Air Compressor 101J/JT* pada bentuk tidak ada aliran pada proses. Penyebab dari kejadian ini adalah 101J trip sehingga proses tidak berjalan, menutupnya MOV-1006 sehingga udara tidak dapat mengalir ke proses selanjutnya, FV-1004 menutup aliran ke exhaust sehingga udara tidak dapat terkompresi.
- Node 40-9 adalah node yang menjelaskan tentang kekurangan aliran pada plan *Air Compressor 101J/JT*. Hal ini disebabkan oleh 101-JL1 mengalami penyumbatan sehingga aliran fluida tidak dapat menyalurkan udara yang terkompresi secara lancar.
- Node 40-10 adalah node yang menjelaskan tentang pembalikan aliran fluida yang di kompresi pada plan *Air Compressor 101J/JT*.
- Node 40-11 dan Node 40-12 menjelaskan node kegagalan kelebihan laju aliran pada plan *Air Compressor 101J/JT*. Pada node ini menyebabkan aliran balik pada kompresor.
- Node 40-13 sampai dengan 40-15 menjelaskan tentang kegagalan menyalurkan aliran pada proses selanjutnya *Air Compressor 101J/JT*. Hal ini disebabkan kerusakan pipa yang menyalurkan fluida udara pada *Air Compressor 101J/JT*.
- 40-16 sampai dengan 40-18 menjelaskan tentang node kegagalan kelebihan temperatur pada kompresor *Air Compressor 101J/JT*.

3. Risk Matrix

Matrik resiko digunakan untuk menunjukkan frekuensi yang dapat ditolerir dari skenario berdasarkan *severity of consequence* dan frekuensi skenario kegagalan. Pada Matrik Resiko dapat dicari nilai risk *Air Compressor 101-J/JT* dengan mengetahui terlebih dahulu nilai *safety level* dan *likelihood*. Berikut adalah matrik resiko menurut *Standard AS/NZS 4360 : 2004*

Tabel 1 *Risk Matrix (Standard AS/NZS 4360 : 2004)*

		Likelihood				
		1	2	3	4	5
Consequence	A	H	H	E	E	E
	B	M	H	H	E	E
	C	L	M	H	E	E
	D	L	L	M	H	E
	E	L	L	M	H	H

Pada tabel risk matrix diatas memiliki perbedaan warna dan huruf pada setiap kolom. Perbedaan tersebut memiliki arti dalam menunjukkan nilai risk dari setiap node kegagalan atau skenario. Berikut penjelasan warna dari risk matrix diatas :

L	Resiko rendah
M	Resiko sedang
H	Resiko tinggi
E	Resiko sangat tinggi

Rentang yang digunakan pada safety adalah data standart tingkat *Consequence* dari petrokimia gresik. *Consequence* dapat dikategorikan pada tabel berikut ini :

Tabel 2 *Severity (Standard AS/NZS 4360 : 2004)*

tingkat	descriptive	definition
A	parah	kebanyakan tujuan tidak dapat dicapai diabaikan
B	mayor	beberapa objek penting tidak dapat dicapai
C	menengah	beberapa objek yang terkena
D	minor	efek kecil yang mudah diperbaiki
E	dapat diabaikan	Dampak dapat diabaikan

Tabel diatas merupakan klasifikasi nilai dari *safety* pada setiap skenario kejadian. Terdiri dari lima tingkat keparahan yang terjadi pada skenario. Cara mengklasifikasikan tingkat keparahan yang terjadi pada setiap skenario adalah dengan cara melakukan wawancara dengan koresponden di lapangan.

Hasil dari persamaan 3.1 dapat diolah dengan kategori *likelihood* berdasarkan *Standard AS/NZS 4360 : 2004*. Berikut adalah klasifikasi kategori menurut standard :

Tabel 3. *likelihood* berdasarkan *Standard AS/NZS 4360 : 2004*

Tingkat	Kriteria	Rincian	Kejadian
1	hampir tidak mungkin	Secara teoritis mungkin tapi tidak diharapkan terjadi	sekali dalam 10.000 tahun
2	sangat langka	Belum pernah mendengar hal ini terjadi	sekali dalam 1000 tahun
3	langka	Seharusnya terjadi dan mungkin telah terjadi di tempat lain	sekali dalam 100 tahun
4	kemungkinan kecil terjadi	kejadian ini tidak belum terjadi di suatu tempat dari waktu ke waktu	sekali dalam 30 tahun
5	mungkin terjadi	kejadian ini mungkin terjadi sekali	sekali dalam 10 tahun

Setelah pemilihan *likelihood* dan *consequence* maka selanjutnya dilakukan perhitungan dengan menggunakan

tabel risk matrix seperti pada tabel 3.1. Berikut adalah persamaan yang menunjukkan nilai *risk level*.

$$Risk = C \times L$$

Dimana :

$C = Consequence$

$L = Likelihood$

Sedangkan untuk penentuan nilai frekuensi pada *Layer Of Protection Analysis* (LOPA) adalah dengan cara mencari nilai *Intermediate Event Likelihood* untuk mengetahui seberapa sering kegagalan tersebut terjadi dengan kurun waktu tertentu. Untuk mengitung *Intermediate Event Likelihood* adalah dengan cara mengalikan nilai PFD *Independent Protection Layer* (IPL) menurut *Layer Of Protection Analysis-CCPS*. Berikut adalah penentuan frekuensi *Intermediate Event Likelihood* :

$$f_i^c = f_i^l \times \prod_{j=1}^j PFD_{Ij}$$

Dimana :

PFD_{ij} = PFD dari setiap IPL

f_i = Frekuensi Initiating Event

4. Identifikasi *Independent Protection Layer* (IPL)

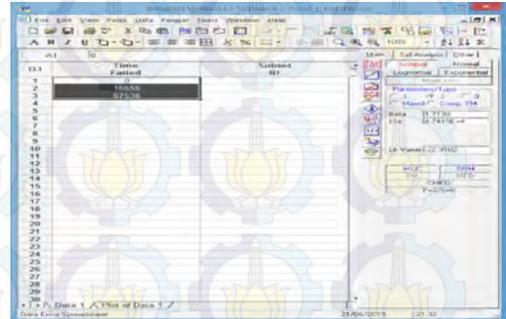
Pada bagian ini dilakukan identifikasi *safeguard* dari pada plan *Air Compressor 101J/JT*. *Safeguard* meliputi *Basic Process Control System* (BPCS), *Safety Instrumented System* (SIS), *Alarm System*, *Mechanical Safety*. IPL harus diidentifikasi, dan asumsi *independence* harus dievaluasi dengan hati-hati dan secara menyeluruh didokumentasikan.

Jika kriteria IPL sudah tercapai maka PFD ditambahkan dalam *Layer of Protection Analysis* (LOPA). Perkiraan PFD dapat ditemukan dalam tabel di CCPS (2001) dan OREDA. Tetapi data yang terdapat pada pabrik tertentu juga dapat digunakan. Tabel ini menunjukkan beberapa PFD untuk IPL berbeda. Jika perlindungan Lapisan tidak dapat diberikan kredit sebagai IPL nilai *probability failure on demand* (PFD) dimasukkan ke dalam *Layer of Protection Analysis* (LOPA) adalah Proses desain yang melekat dan faktor reduksi ini memberikan harus dievaluasi dengan hati-hati. Lapisan Perlindungan ini sulit untuk menilai, dan dalam kebanyakan kasus tidak ada pengurangan pengaruh risiko diberikan. Dari penentuan dari pada *Independent Protection Layer* (IPL) plan *Air Compressor 101J/JT* didapatkan nilai *probability failure on demand* (PFD) masing-masing *Independent Protection Layer* (IPL).

5. Penentuan Distribusi

Tahap ini adalah penentuan distribusi waktu antara data kegagalan yang bertujuan untuk mendapatkan nilai kemungkinan terjadinya kerusakan pada komponen plan *Air Compressor 101J/JT*. Data yang dimasukkan kedalam distribusi adalah data *time to failure* dari komponen plan *Air Compressor 101J/JT*. Penentuan distribui ini dapat dilakukan dengan cara menggunakan *software ReliaSoft Weibull++ Version 6*. Berikut adalah cara untuk penentuan distribusi dengan *software ReliaSoft Weibull ++* :

- a. Setelah dihitung dari data kegagalan dengan menentukan TTF(*time to failure*) maka untuk menentukan distribusi kegagalan ialah dengan cara memasukkan data kedalam *software ReliaSoft Weibull++ Version 6*. Berikut adalah gambar memasukkan data *time to failure* pada *software* :



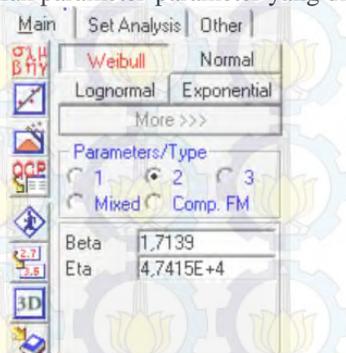
Gambar 1. Penggunaan *Software* untuk menentukan distribusi.

- b. Langkah selanjutnya adalah penentuan jenis distribusi dari pada *software ReliaSoft Weibull++ Version 6*. Nilai ranking 1-6 yang diberikan *software* adalah petunjuk untuk menentukan distribusi yang akan dipakai. Pada ranking 1 adalah ranking tertinggi dalam rekomendasi pemilihan distribusi. Berikut adalah gambar yang menunjukkan ranking pada *software* :



Gambar 2. Pengujian Distribusi dari data *Time to Failure*.

- c. Setelah melakukan serangkaian tahap penentuan distribusi, maka didapatkan pemilihan distribusi dengan parameter-parameter yang ditunjukkan dalam tahap ini. Berikut adalah parameter-parameter yang dimaksud :



Gambar 3. Parameter dari distribusi yang dipilih *software*.

6. Menghitung *Probability Failure of Demand*

Laju kegagalan ditiap komponen diperoleh dari *Work Orde* yang berasal dari data perbaikan komponen atau data *failure rate* dari OREDA, CCPS, Data Sheet komponen, dan lain sebagainya. Dari *Work Orde* dan perhitungan distribusi diperoleh data yaitu *failure rate* yang selanjutnya diolah menjadi data *Probability Failure on Demand* (PFD). Berikut adalah perhitungan beberapa komponen yang menjadi *Initiating Event Likelihood* dan *Independent Protection Layer*:

a. *Probability Failure on Demand* (PFD) FT-1003

Pada data *Work Orde* dan perhitungan distribusi diperoleh data yaitu *failure rate* FT-1003 sebesar 5,77865E-05 maka dapat dihitung :

$$\begin{aligned} PFD_{FT1003} &= \frac{\lambda.Ti}{2} \\ &= \frac{5,77865E-05 \times 8760}{2} \\ &= 0,101241952 \end{aligned}$$

b. *Probability Failure on Demand* (PFD) FV-1003

Pada data *Work Orde* dan perhitungan distribusi diperoleh data yaitu *failure rate* FV-1003 sebesar 1,10745E-05 maka dapat dihitung :

$$\begin{aligned} PFD_{FV1003} &= \frac{\lambda.Ti}{2} \\ &= \frac{1,10745E-05 \times 8760}{2} \\ &= 0,048506421 \end{aligned}$$

c. *Probability Failure on Demand* (PFD) FT-1004

Pada data *Work Orde* dan perhitungan distribusi diperoleh data yaitu *failure rate* FT-1004 sebesar 0,000154459 maka dapat dihitung :

$$\begin{aligned} PFD_{FT1004} &= \frac{\lambda.Ti}{2} \\ &= \frac{0,000154459 \times 8760}{2} \\ &= 0,270612523 \end{aligned}$$

d. *Probability Failure on Demand* (PFD) FV-1004

Pada data *Work Orde* dan perhitungan distribusi diperoleh data yaitu *failure rate* FV-1004 sebesar 2,80224E-07 maka dapat dihitung :

$$\begin{aligned} PFD_{FV1004} &= \frac{\lambda.Ti}{2} \\ &= \frac{2,80224E-07 \times 8760}{2} \\ &= 0,001227382 \end{aligned}$$

e. *Probability Failure on Demand* (PFD) MOV-1006

Pada data *Work Orde* dan perhitungan distribusi diperoleh data yaitu *failure rate* MOV-1006 sebesar 0.0000429 maka dapat dihitung :

$$\begin{aligned} PFD_{MOV1006} &= \frac{\lambda.Ti}{2} \\ &= \frac{0.0000429 \times 8760}{2} \\ &= 0,187902 \end{aligned}$$

f. *Probability Failure on Demand* (PFD) HV-1023

Pada data *Work Orde* dan perhitungan distribusi diperoleh data yaitu *failure rate* MOV-1006 sebesar 0.00002299 maka dapat dihitung :

$$\begin{aligned} PFD_{MOV1006} &= \frac{\lambda.Ti}{2} \\ &= \frac{0.00002299 \times 8760}{2} \\ &= 0,1006962 \end{aligned}$$

g. *Probability Failure on Demand* (PFD) Flow Control

Pada buku CCPS diperoleh data yaitu *failure rate Flow Control* sebesar 0.0000688 maka dapat dihitung :

$$\begin{aligned} PFD_{FLOW CONTROL} &= \frac{\lambda.Ti}{2} \\ &= \frac{0.0000688 \times 8760}{2} \\ &= 0,301344 \end{aligned}$$

h. *Probability Failure on Demand* (PFD) Interlock 101-J

Pada Exida diperoleh data yaitu *failure rate Interlock 101-J* yang memakai data *fail save control* memiliki nilai sebesar $7,4 \times 10^{-9}$ maka dapat dihitung :

$$\begin{aligned} PFD_{FLOW CONTROL} &= \frac{\lambda.Ti}{2} \\ &= \frac{7,4E-09 \times 8760}{2} \\ &= 0,000032412 \end{aligned}$$

i. *Probability Failure on Demand* (PFD) SSHH-1001

Pada Exida diperoleh data yaitu *failure rate SSHH-1001* yang memakai data *fail save control* memiliki nilai sebesar $7,4 \times 10^{-9}$ maka dapat dihitung :

$$\begin{aligned} PFD_{FLOW CONTROL} &= \frac{\lambda.Ti}{2} \\ &= \frac{4,8E-07 \times 8760}{2} \\ &= 0,0021024 \end{aligned}$$

III. ANALISA DATA

Pada plan *Air Compressor 101J/JT* dilakukan analisa dengan metode *Layer of Protection Analysis* (LOPA). Metode ini memanfaatkan peristiwa berbahaya, keparahan kejadian, memulai penyebab yang didapatkan dari *Hazard*

and Operability analysis (HAZOP) yang menjadi □cenario awal analisa. Metode Lopa memungkinkan pengguna untuk menentukan risiko yang terkait dengan berbagai peristiwa berbahaya dengan memanfaatkan tingkat keparahan dan kemungkinan peristiwa di inisiasi. Menggunakan standar risiko perusahaan, pengguna dapat menentukan jumlah total pengurangan risiko yang diperlukan dan menganalisis pengurangan risiko yang dapat dicapai dari berbagai lapisan perlindungan. Jika pengurangan risiko tambahan diperlukan setelah pengurangan yang disediakan oleh desain proses, *Basic process control system* (BPCS), alarm dan tindakan operator yang terkait, katup pelepas tekanan, dan lain – lain.

1. Perhitungan dengan menggunakan metode LOPA

Pada dasarnya metode *Layer of Protection Analysis* (LOPA) adalah suatu metode yang digunakan untuk menganalisa keamanan yang dihasilkan oleh lapisan pelindung pada suatu *equipment* atau plan pada Industri. Pada plan *Air Compressor 101-J/JT* memiliki beberapa lapisan pelindung yang ditunjukkan pada □cena 4.3 sampai dengan 4.6. Cara perhitungan pada *Layer of Protection Analysis* (LOPA) dilakukan dengan cara mengalikan beberapa *Independent Protection Layer* (IPL) yang berfungsi sebagai cover pengaman pada plan dengan kejadian awal dari pada □cenario. Pada □cenario dicari nilai dari *Likelihood* yang kemudian dijadikan frekuensi kegagalan awal plan *Air Compressor 101-J/JT*. Pada setiap *Independent Protection Layer* (IPL) akan dicari nilai *Probability failure of Demand* (PFD).

Nilai dari *safeguard plan Air Compressor 101J/JT* yang dibagi menjadi beberapa *Independent Protection Layer* (IPL) dijumlahkan menjadi satu bagian yaitu berupa nilai *Safety Integrity Level*. Nilai *probability failure on demand* (PFD) masing-masing *Independent Protection Layer* (IPL) diolah dengan mengalikan dengan nilai *probability failure on demand* (PFD) kejadian awal dari plan *Air Compressor 101J/JT* seperti pada persamaan 3.3. Perhitungan ini dilakukan dengan acuan Node pada *Hazard Operability Study* (HAZOP) *Air Compressor 101J/JT*.

Tabel 4 penggabungan *Initiating Event* dan IPL

SCENARIO	INITIATING CAUSE	TIME CATEGORY	IMPACT EVENT DESCRIPTION	IPL					
				INITIATING LIKELIHOOD	GENERAL DESIGN	BPCS	ALARM RESPONSE	ADDITIONAL MITIGATION RESTRICTED ACCESS	ADDITIONAL MITIGATED DIKE
1	MOV-1006 closed (D-11-1225-203)	CD	compressor surge and damage	0,187798167	0,1	0,80259	0,1	1	1
2	101-JL1 is plugged	CD	higher pressure drop, potential compressor surge and damage	0,43208262	0,1	0,42644	0,1	1	1
3	101-J trip	CD	reverse rotation, potential damage to compressor seal and drum	0,43208	0,1	0,42644	1	0,187863	1

SCENARIO	INITIATING CAUSE	TIME CATEGORY	IMPACT EVENT DESCRIPTION	INITIATING LIKELIHOOD	GENERAL DESIGN	BPCS	IPL		
							ALARM RESPONSE	ADDITIONAL MITIGATION RESTRICTED ACCESS	ADDITIONAL MITIGATED DIKE
4	HV-1023 wide open (D-11-1225-203)	CD	less flow to 101-J 3 rd stage suction lead to compressor surge and damage	0,10068	0,1	1	0,1	1	0,1
5	HV-1023 doesn't open when required (D-11-1225-203)	CD	compressor surge and damage	0,10068	0,1	0,43	0,1	1	0,1
6	tube failure in 101-JCA	CC	Air leaks to CW side, causing over pressure	0,22703	0,1	1	1	1	1
7	tube failure in 101-JCB	CC	Air leaks to CW side, causing over pressure	0,15486	0,1	1	1	1	1
8	tube failure in 101-JCC	CC	Air leaks to CW side, causing over pressure	0,04742	0,1	1	1	1	1
9	loss of CW to 101-JCA	CD	Higher temperature to 101-J 2 nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	0,22703	0,1	1	0,1	1	1
10	loss of CW to 101-JCB	Cc	Higher temperature to 101-J 2 nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	0,15486	0,1	1	0,1	1	1
11	loss of CW to 101-JCC	Cc	Higher temperature to 101-J 2 nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	0,04742	0,1	1	0,1	1	1

Setelah diketahui nilai dari initiating event dan setiap IPL *Independent Protection Layer* (IPL) maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai dari *Intermediate Event Likelihood*. Perhitungan dilakukan pada setiap □cenario atau node kegagalan plan *Air Compressor 101-J/JT*. Berikut adalah hasil perhitungan antara PFD dari *Target Mitigated Event Likelihood* dan *Intermediate Event Likelihood* :

Tabel 5 perhitungan dengan metode *Layer of Protection Analysis*

SCENARIO	INITIATING CAUSE	TMEL KATEGORI	INTERMEDIATE EVENT LIKELIHOOD (IEL)	TARGET MITIGATED EVENT LIKELIHOOD (TMEL)	PFD (TMEL/IEL)	SIL
1	MOV-1006 closed (D-11-1225-203)	CD	2,E-03	3,E-05	1,99E-02	SIL1
2	101-JL1 is plugged	CD	2,E-03	3,E-05	1,63E-02	SIL1
3	101-J trip	CD	3,E-03	3,E-05	1,30E-02	SIL2
4	HV-1023 wide open (D-11-1225-203)	CD	1,E-04	3,E-05	2,98E-01	SIL1
5	HV-1023 doesn't open when required (D-11-1225-203)	CD	4,E-05	3,E-05	6,99E-01	SIL1
6	tube failure in 101-JCA	CC	2,E-02	3,E-04	1,32E-02	SIL1
7	tube failure in 101-JCB	CC	2,E-02	3,E-04	1,94E-02	SIL1
8	tube failure in 101-JCC	CC	5,E-03	3,E-04	6,33E-02	SIL1
9	loss of CW to101-JCA	Cc	2,E-03	3,E-05	1,32E-02	SIL1
10	loss of CW to101-JCB	Cc	2,E-03	3,E-04	1,94E-01	SIL1
11	loss of CW to101-JCC	Cc	5,E-04	3,E-04	6,33E-01	SIL1

Pada tabel 4.8 dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan antara *Target Mitigated Event Likelihood* yang didapatkan dari koresponden perusahaan dengan *likelihood* hasil perhitungan. Perbedaan nilai *likelihood* tersebut digunakan untuk menentukan nilai *Probability Failure on Demand* (PFD) total sehingga didapatkan nilai *Safety Integrity Level* (SIL) dari setiap skenario kejadian. Setelah dilakukan perhitungan pada nilai SIL necessary risk menunjukkan pada skenario 3 memiliki nilai SIL2 tetapi pada skenario lain memiliki nilai SIL 1, hal ini sesuai dengan kriteria minimum SIL yang diterangkan oleh *Layer of Protection Analysis-CCPS*. Nilai PFD necessary risk reduction dari setiap skenario memiliki nilai yang berbeda-beda. Mulai dari 1,32E-02 sampai dengan 6,99E-01. Sehingga tidak ada skenario yang memerlukan rekomendasi peningkatan SIL necessary risk reduction.

2. Penentuan *saverity* dan *likelihood* kategori

Pada penentuan *saverity* dan *likelihood* kategori adalah salah satu cara untuk mencari nilai tingkat resiko. Untuk menentukan kategori *saverity* dilakukan wawancara dengan pihak terkait atau biasanya disebut para ahli. Wawancara dilakukan dengan cara identifikasi skenario awal kejadian yang menjadi skenario. Pada saat dilakukan wawancara pada pihak terkait, hal yang harus dilakukan adalah memasukkan hasil wawancara kedalam standard dengan cara mencocokkan kejadian awal dan akibat dengan tingkat *saverity* pada standard. Standard yang dipakai pada pengembangan tingkat *saverity* adalah *Australian Standard / New Zealand Standard (AS/NZS 4360 : 2004)*. Berikut adalah hasil dari wawancara :

Tabel 6 Hasil penentuan tingkat *saverity*

Scenario	Initiating Cause	TMEL Kategori	Impact Event Description	Level	Definisi Dari Standard	Saverity Score
1	MOV-1006 closed (D-11-1225-203)	CD	compressor surge and damage	C	beberapa objek yang terkena	3
2	101-JL1 is plugged	CD	higher pressure drop, potential compressor surge and damage	C	beberapa objek yang terkena	3
3	101-J trip	CD	reverse rotation, potential damage to compressor seal and drum	C	beberapa objek yang terkena	3
4	HV-1023 wide open (D-11-1225-203)	CD	less flow to 101-J 3rd stage suction lead to compressor surge and damage	C	beberapa objek yang terkena	3
5	HV-1023 doesn't open when required (D-11-1225-203)	CD	compressor surge and damage	C	beberapa objek yang terkena	3
6	tube failure in 101-JCA	CC	Air leaks to CW side, causing over pressure	B	efek kecil yang mudah diperbaiki	2
7	tube failure in 101-JCB	CC	Air leaks to CW side, causing over pressure	B	efek kecil yang mudah diperbaiki	2
8	tube failure in 101-JCC	CC	Air leaks to CW side, causing over pressure	B	efek kecil yang mudah diperbaiki	2
9	loss of CW to101-JCA	Cc	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	B	efek kecil yang mudah diperbaiki	2
10	loss of CW to101-JCB	Cc	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	B	efek kecil yang mudah diperbaiki	2
11	loss of CW to101-JCC	Cc	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	B	efek kecil yang mudah diperbaiki	2

Sedangkan untuk menentukan nilai dari *likelihood* dengan cara mencari nilai *Intermediate Event Likelihood* (IEL) dari perhitungan menggunakan metode *Layer of Protection Analysis*. Didapatkan dari nilai hasil perhitungan *Intermediate Event Likelihood* (IEL). Setelah diketahui nilai dari IEL maka dapat diketahui klasifikasi kategori *likelihood* menurut standard *Australian Standard / New Zealand Standard (AS/NZS 4360 : 2004)*. Analisa nilai klasifikasi *Likelihood* berdasarkan skenario yang diambil dari Node

kegagalan *Hazard Operability Study* (HAZOP). Berikut adalah hasil dari klasifikasi skenario berdasarkan nilai dari *Intermediate Event Likelihood* (IEL) :

Tabel 7. Hasil penentuan tingkat *Likelihood*

Skenario	Initiating Cause	TME L Kategori	Impact Event Description	IEL	Definisi Dari Standard	Likelihood Kategori
1	MOV-1006 closed (D-11-1225-203)	CD	compressor surge and damage	0,001507	beberapa objek yang terkena	2
2	101-JL1 is plugged	CD	higher pressure drop, potential compressor surge and damage	0,001843	beberapa objek yang terkena	2
3	101-J trip	CD	reverse rotation, potential damage to compressor seal and drum	0,0035	beberapa objek yang terkena	2
4	HV-1023 wide open (D-11-1225-203)	CD	less flow to 101-J 3rd stage suction lead to compressor surge and damage	0,000101	beberapa objek yang terkena	1
5	HV-1023 doesn't open when required (D-11-1225-203)	CD	compressor surge and damage	4,29E-05	beberapa objek yang terkena	1
6	tube failure in 101-JCA	CC	Air leaks to CW side, causing over pressure	0,022703	efek kecil yang mudah diperbaiki	3
7	tube failure in 101-JCB	CC	Air leaks to CW side, causing over pressure	0,015486	efek kecil yang mudah diperbaiki	3
8	tube failure in 101-JCC	CC	Air leaks to CW side, causing over pressure	0,004742	efek kecil yang mudah diperbaiki	2
9	loss of CW to101-JCA	Cc	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	0,00227	efek kecil yang mudah diperbaiki	2
10	loss of CW to101-JCB	Cc	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	0,001549	efek kecil yang mudah diperbaiki	2
11	loss of CW to101-JCC	Cc	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	0,000474	efek kecil yang mudah diperbaiki	1

Dalam melakukan perhitungan resiko pada metode *Layer of Protection Analysis* (LOPA) terdapat beberapa langkah yaitu mengidentifikasi *consequence* menjadi beberapa tingkatan seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.2. Data yang diperoleh adalah dengan melakukan wawancara terhadap koresponden yang ada pada lapangan untuk mengetahui kategori *consequence*. Sedangkan data *likelihood* didapatkan dari perhitungan *Initiating Event Likelihood* dikalikan dengan *Independent Protection Layer* (IPL).

Tabel 8. Nilai *Risk* pada Skenario

SCENARIO	INITIATING CAUSE	SAVERITY KATEGORI	LIKELIHOOD KATEGORI	RISK
1	MOV-1006 closed (D-11-1225-203)	3	2	6
2	101-JL1 is plugged	3	2	6
3	101-J trip	3	2	6
4	HV-1023 wide open (D-11-1225-203)	2	1	2
5	HV-1023 doesn't open when required (D-11-1225-203)	2	1	2
6	tube failure in 101-JCA	2	3	6
7	tube failure in 101-JCB	2	3	6
8	tube failure in 101-JCC	2	2	4
9	loss of CW to101-JCA	2	2	4
10	loss of CW to101-JCB	2	2	4
11	loss of CW to101-JCC	2	1	2

Dari hasil tabel 4.9 menunjukkan bahwa nilai kategori *Safety* dan nilai kategori *likelihood* didapatkan nilai risk yang rendah. Dapat dilihat pada setiap skenario memiliki nilai risk paling kecil adalah 2 dan nilai risk paling besar adalah 6. Mengacu pada tabel *Risk Matrix* warna yang ditunjukkan masing-masing skenario menunjukkan warna hijau dan kuning. Maka dari itu tidak ada rekomendasi pada resiko pada plan.

IV. KESIMPULAN

Adapun hasil perhitungan dan hasil analisa yang telah dilakukan didapatkan parameter yang dapat disimpulkan antara lain sebagai berikut :

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan diketahui bahwa nilai SIL Pada skenario satu sampai dengan skenario sepuluh memiliki nilai SIL necessary risk reduction yang sama yaitu SIL1 tetapi pada skenario3 memiliki nilai SIL2. Sedangkan PFD hasil perhitungan memiliki nilai 5,21E-03 sampai dengan 6,99E-01. Maka nilai SIL tersebut sesuai dengan standard industri yaitu minimum SIL2

Berdasarkan perhitungan *risk matrix* dapat disimpulkan nilai *Risk* dari perhitungan menunjukkan bahwa nilai masih pada nilai *low*. Hal ini ditunjukkan pada nilai *Risk* dari perkalian *Consequence* dan *Likelihood* mulai dari 2 sampai

dengan 6. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada *risk score* nilai yang dihasilkan masih dalam batas resiko yang diperbolehkan, dan tidak ada rekomendasi penambahan IPL untuk mengurangi nilai *Likelihood* pada *Air Compressor* 101J/JT.

X. Daftar Pustaka

- [1]Australia Standard/New Zealand Standard:4360 (AS/NZS)., 2004. **Risk Management Guidelines Companion**. Australia : Carmen Green Zevallos.
- [2]Center for Chemical Process Safety (CCPS)., 2001. **Layer of Protection Analysis** . America : A John Wiley & Sons, Inc
- [3]Ebeling, Charles E.,1997. **An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering**. Singapore : The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [4]British Standard., 2003., International Electrotechnical Commission (IEC) 61511-3. England. British Standart Institution
- [5]Lassen, Christopher A., 2008. **Layer of Protection Analysis (LOPA) Determination of Safety Integrity Level (SIL)**. Norwegian University of Science and Technology
- [6]M.Marszal, Edward dan W.Scharpf, Eric.,2002. **Safety Integrity Level Selection**. United State of America : Research Triangle Park, NC: ISA.

**ANALISA TINGKAT BAHAYA DAN LAPISAN
PELINDUNG DENGAN MENGGUNAKAN *LAYER OF
PROTECTION ANALYSIS (LOPA)* PADA SISTEM AIR
COMPRESSOR 101J/JT DI PABRIK AMMONIA
PT.PETROKIMIA GRESIK**

Disusun oleh:

Ahmad Sholeh Huddin

NRP. 2413.105.033

Pembimbing

Ir.Rony Dwi Noryanti, M.Kes

NIPN. 19571126 198403 2 002



Teknik Fisika ITS

LATAR BELAKANG



Teknik Fisika ITS

PT. Petrokimia Gresik adalah salah satu pabrik yang bergerak dibidang produksi pupuk yang berlokasi di Gresik Jawa Timur. Produk pupuk yang dihasilkan antara lain adalah:

- Pupuk Urea
- Pupuk Fosfat
- Phonska I-II-III-IV, NPK I-II-III-IV
- Pupuk ZK
- Pupuk Petroganik
- Amoniak
- Asam Sulfat (98% H_2SO_4)
- Asam Fosfat (100% P_2O_5), Aluminium Fluoride
- *Cement Retarder*

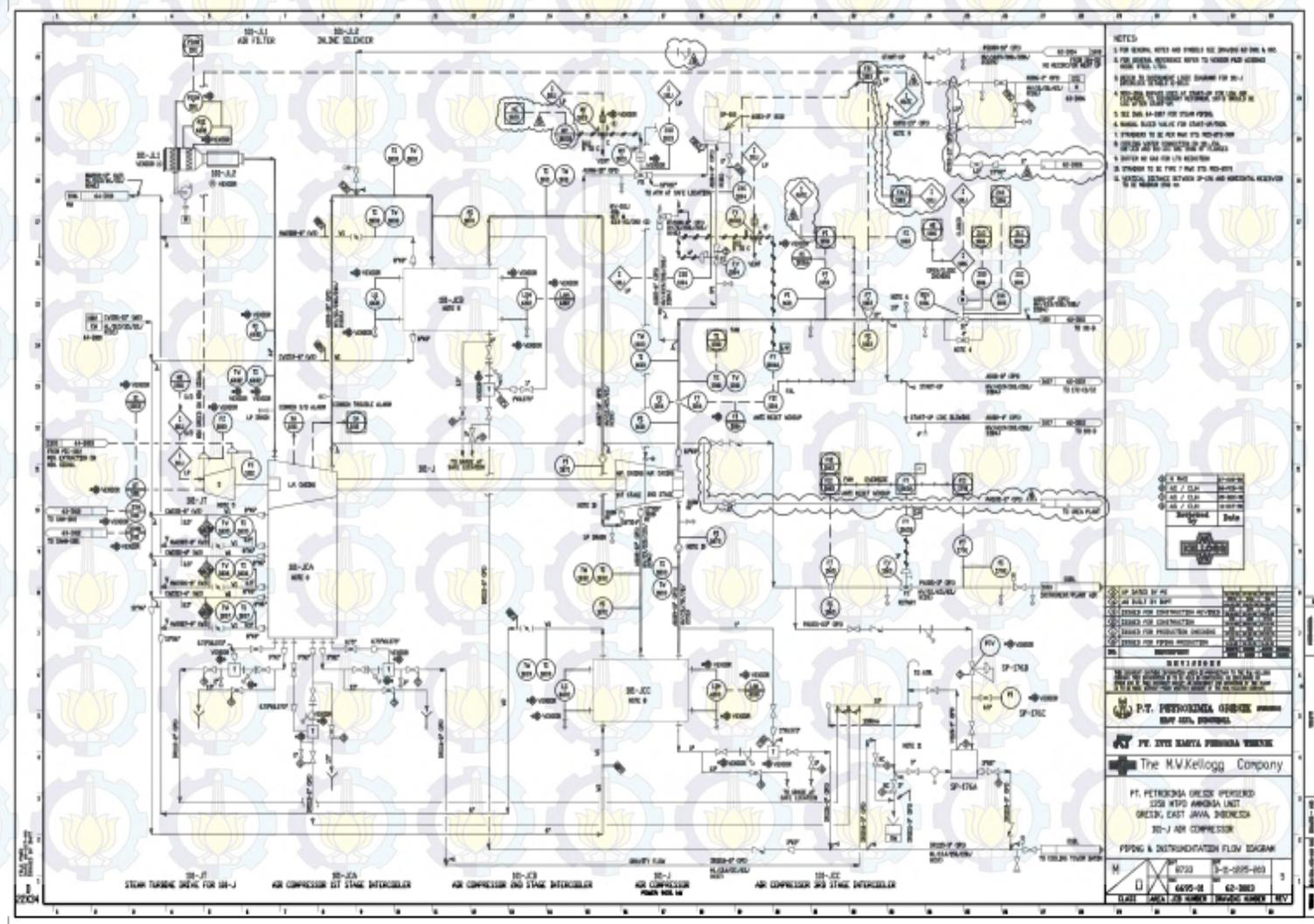
Instrument air compressor 101J adalah plan yang penting dan berbahaya jika mengalami kerusakan, maka dari itu peneliti merasa tertarik dalam melakukan Analisa Tingkat Bahaya dan Lapisan Pelindung dengan menggunakan *Layer Of Protection Analysis (LOPA)* pada *air compressor 101J*. Dengan analisa tersebut diharapkan *compressor* dapat bekerja stabil dan dapat memenuhi penyediaan ammonia sebagai bahan pembuatan pupuk urea di PT.Petrokimia Gresik. Analisa *Layer Of Protection Analysis (LOPA)* pada *air compressor 101J* dilakukan dengan cara mengidentifikasi dari pada node-node *Hazard Operability Study (HAZOP)* dari perusahaan. Dari *Hazard Operability Study (HAZOP)* dapat dicari skenario awal kegagalan plan *air compressor 101J/JT*. Skenario yang mewakili node sebagai awal pencarian nilai *saverity level*. Selain itu analisa dilakukan dengan mencari Lapisan Pelindung pada *air compressor 101J/JT*. Sehingga dapat dicari nilai dari SIL hasil perhitungan Lapisan Pelindung dengan Target Mitigasi dari perusahaan / standard.



COMPRESSOR 101J



Teknik Fisika ITS



- NOTES**
- FOR GENERAL INFO AND SYMBOLS SEE DRAWING OF P&ID & I&C.
 - FOR SPECIAL REQUIREMENTS REFER TO VENDOR'S P&ID DRAWING FROM THIS LINE.
 - FOR ALL INSTRUMENTS REFER DRAWING FOR 30-1.
 - FOR ALL INSTRUMENTS REFER DRAWING FOR 30-2.
 - SEE TAG NO. 30-1 FOR STEAM FLOW.
 - WARNING: BE CAREFUL FOR START-UP PROC.
 - STANDARD TO BE USED FOR THIS DRAWING:
 - 1. INSTRUMENT SYMBOLS: IEC 616
 - 2. PIPING SYMBOLS: IEC 61070
 - 3. SAFETY SYMBOLS: IEC 61513
 - 4. SAFETY OF TAG FOR LTR DESIGN
 - 5. STANDARD TO BE USED FOR TAG NO. 30-1
 - 6. SPECIAL REQUIREMENTS REFER TO P&ID AND GENERAL REQUIREMENTS TO BE OBSERVED.

NO.	REVISION	DATE	DESCRIPTION

NO.	REVISION	DATE	DESCRIPTION

P.T. PETROKIMA GREDE
 PT. PETROKIMA GREDE
 PT. PETROKIMA GREDE
 PT. PETROKIMA GREDE

PT. PETROKIMA GREDE
 30-1 AIR COMPRESSOR
 PIPING & INSTRUMENTATION FLOW DIAGRAM
 NO. 0723
 6495-11 62-3803



PERUMUSAN MASALAH



Teknik Fisika ITS

Bagaimana cara melakukan perhitungan menggunakan LOPA untuk menentukan nilai SIL mengidentifikasi IPL yang digunakan

Bagaimana cara merekomendasikan Penurunan



**PETROKIMIA
GRESIK**

Memupuk Kesuburan, Menebar Kemakmuran



BATASAN MASALAH



Untuk menghindari meluasnya permasalahan yang muncul, maka dalam pengerjaan tugas akhir ini diambil beberapa batasan masalah sebagai berikut :

- Peralatan yang menjadi objek studi pada tugas akhir ini adalah *compressor* pada sistem pensuplaian udara untuk pembentukan ammonia.
- Penelitian yang dilakukan hanya sampai pada analisa SIL necessary risk reduction, analisa resiko dan rekomendasi.
- Penelitian yang dilakukan tidak termasuk perhitungan dalam bentuk rupiah.



TUJUAN TUGAS AKHIR

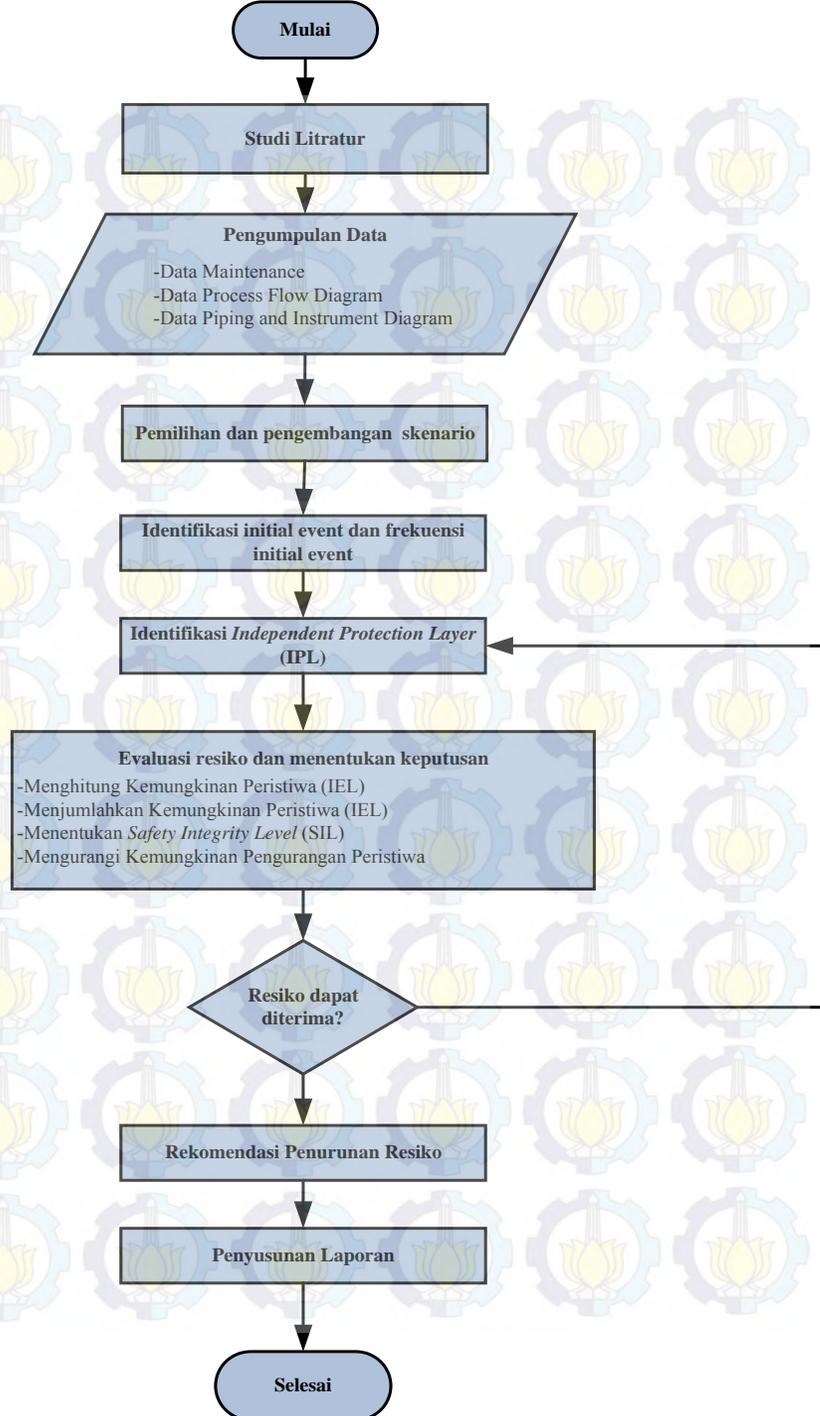


Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah:

- Melakukan perhitungan menggunakan metode *Layer of Protection Analysis* (LOPA) untuk menentukan nilai SIL mengidentifikasi *Independent protection layer* (IPL) yang digunakan pada sistem *air compressor 101J/JT*.
- Merekomendasikan Penurunan Resiko pada setiap skenario yang memiliki nilai SIL tidak memenuhi standard pada Proses *air compressor 101J* di Pabrik *Ammonia* di PT. Petrokimia Gresik.



METODOLOGI PENELITIAN





PENYEBAB AWAL DAN KEMUNGKINAN TERJADINYA KEGAGALAN (CCPS, 2001)



Teknik Fisika ITS

No	Penyebab awal dan kemungkinan terjadinya Kegagalan	Kemungkinan terjadi kegagalan (pertahun)
1	Kegagalan Loop instrumen BPCS (IEC 61511 membatasi kemungkinan terjadinya kegagalan BPCS)	1,00E-01
2	Kegagalan Regulator	1,00E-01
3	Kegagalan peralatan tak bergerak (mis: kebocoran tabung alat penukar panas)	1,00E-02
4	Pompa dan mesin bergerak lainnya	1,00E-01
5	Kegagalan air pendingin (pompa air pendingin cadangan, penggerak berbeda)	1,00E-01
6	Kehilangan daya (suplai daya cadangan)	1,00E-01
7	Kesalahan manusia (pekerjaan rutin, sekali sehari)	1,00E-01
8	Kesalahan manusia (pekerjaan rutin)	1,00E-01

No	Penyebab awal dan kemungkinan terjadinya Kegagalan	Kemungkinan terjadi kegagalan (pertahun)
9	Kesalahan manusia (pekerjaan tidak rutin)	1,00E-01
10	Kesalahan manusia (pekerjaan tidak rutin, ketegangan tinggi)	1,00E+00
11	Kegagalan residual bejana tekan	1,00E-03
12	Kegagalan residual pipa-100 m-Full breach	1,00E-03
13	Kebocoran pipa (10% bagian)-100 m	1,00E-03
14	Kegagalan tangki atmosferik	1,00E-03
15	Ledakan gasket/packing	1,00E-02
16	Overspeed pada turbin/mesin diesel dengan kegagalan terselubung	1,00E-04
17	Intervensi pihak ketiga (dampak eksternal dari backhoe, kendaraan dll)	1,00E-02
18	Beban crane jatuh	0.0001 per pengangkatan
19	sambaran petir	1,00E-03
20	Katup pengaman terbuka secara spurious	1,00E-02
21	kegagalan seal pompa	1,00E-01
22	kegagalan rantai bongkar/muat	1,00E-01
23	Api kecil eksternal (kumpulan berbagai penyebab)	1,00E-01
24	Api besar eksternal	1,00E-02

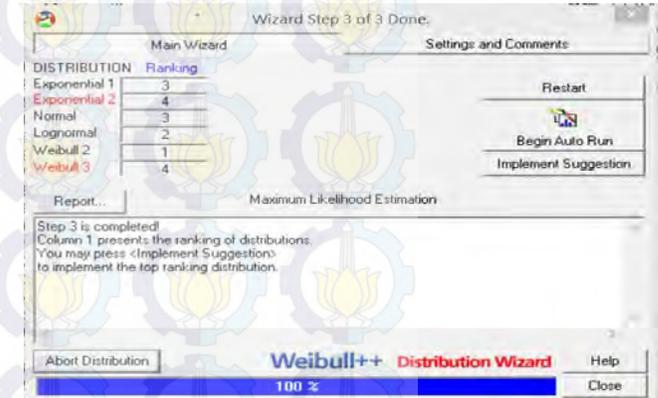
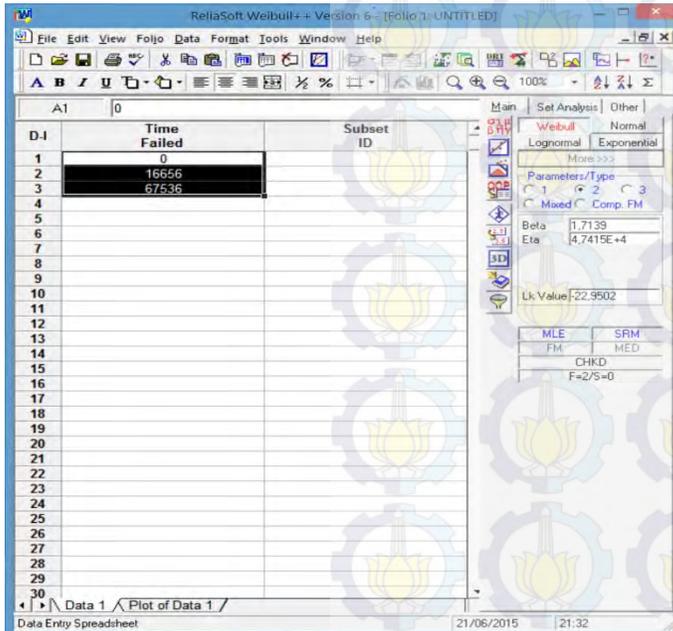
No	Penyebab awal dan kemungkinan terjadinya Kegagalan	Kemungkinan terjadi kegagalan (pertahun)
25	Kegagalan prosedur LOTO (Lock out tag out) kegagalan keseluruhan dari proses dengan multi elemen	0.001 perkesempatan
26	Kegagalan operator (melaksanakan prosedur rutin, asumsi terlatih,tidak tegang dan tidak kelelahan)	0.01 perkesempatan
27	Penyebab awal lainnya	Berdasarkan pengalaman personil



PENENTUAN DISTRIBUSI



Penentuan Distribusi menggunakan software Reliasoft Weibull 6++



- Memasukkan tanggal kegagalan

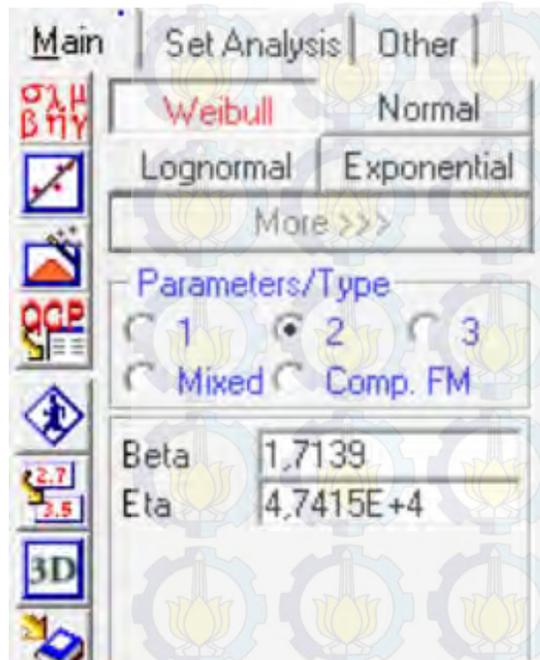
- parameter pengujian distribusi yang dilakukan oleh software

- Kasifikasi ranking distribusi





- Penentuan parameter dari salah satu distribusi



- Hasil dari klasifikasi pada software dan penentuan parameter distribusi



MENGHITUNG *PROBABILITY FAILURE OF DEMAND*

- Laju kegagalan di tiap komponen diperoleh dari *Work Orde* yang berasal dari data perbaikan komponen atau data *failure rate* dari OREDA, CCPS, Data Sheet komponen, dan lain sebagainya. Dari *Work Orde* dan perhitungan distribusi diperoleh data yaitu *failure rate* yang selanjutnya diolah menjadi data *Probability Failure on Demand* (PFD). Berikut adalah perhitungan beberapa komponen yang menjadi *Initiating Event Likelihood* dan *Independent Protection Layer*





- Pada data *Work Orde* dan perhitungan distribusi diperoleh data yaitu *failure rate* FT-1003 sebesar $5,77865E-05$ maka dapat dihitung :

$$PFD_{FT1003} = \frac{\lambda.Ti}{2} = \frac{5,7785E-05 \times 8760}{2} = 0,101241952$$

- Pada data *Work Orde* dan perhitungan distribusi diperoleh data yaitu *failure rate* FV-1003 sebesar $1,10745E-05$ maka dapat dihitung :

$$PFD_{FV1003} = \frac{\lambda.Ti}{2} = \frac{1,10745E-05 \times 8760}{2} = 0,048506421$$

- Pada data *Work Orde* dan perhitungan distribusi diperoleh data yaitu *failure rate* FV-1004 sebesar $2,80224E-07$ maka dapat dihitung :

$$PFD_{FT1004} = \frac{\lambda.Ti}{2} = \frac{2,80224E-07 \times 8760}{2} = 0,001227382$$



MENGHITUNG *INTERMEDIATE EVENT LIKELIHOOD* (IEL)

- Nilai dari *safeguard plan Air Compressor 101J/JT* yang dibagi menjadi beberapa *Independent Protection Layer* (IPL) dijumlahkan menjadi satu bagian yaitu berupa nilai *Safety Integrity Level*. Nilai *probability failure on demand* (PFD)) masing-masing *Independent Protection Layer* (IPL) diolah dengan mengalikan dengan nilai *probability failure on demand* (PFD) kejadian awal dari plan *Air Compressor 101J/JT*. Perhitungan ini dilakukan dengan acuan Node pada *Hazard Operability Study* (HAZOP) *Air Compressor 101J/JT*. Hasil dari perhitungan akan menjadi nilai *probability failure on demand* (PFD).

$$f_{IEL,i} = f_i \cdot \prod_{j=1}^J PFD_{ij}$$

- $IEL = PFD_{DESIGN} \times PFD_{BPCS} \times PFD_{ALR} \times PFD_{SIS} \times PFD_{MECH\ SAFETY}$





MENGHITUNG *MITIGATED EVENT LIKELIHOOD*



- *Mitigated Event Likelihood* dihitung dengan mengalikan Kolom *Intermediate Event Likelihood* dan *SIF Integrity Level* dan memasukkan hasilnya di Kolom *Mitigated Event Likelihood*. Langkah terakhir adalah untuk menjumlahkan semua acara berikut adalah nilai standard untuk menentukan *Target Mitigated Event Likelihood* :

severity level	safety consequence	target mitigated event likelihood / year
CA	single first aid injury	3,E-02
CB	multiple first aid injuries	3,E-03
CC	single disabling injury or multiple serious injuries	3,E-04
CD	single on-site fatality	3,E-05
CE	more than one and up to three on-site fatalities	1,E-05





Teknik Fisika ITS

- Kemungkinan dikurangi untuk Serious dan ekstensif Acara Dampak yang menghadirkan bahaya yang sama. Misalnya, Kemungkinan dimitigasi untuk semua serious dan Peristiwa yang luas yang menyebabkan kebakaran akan ditambahkan dan digunakan dalam persamaan seperti berikut.

$$PFD_{AVG} = \frac{TMEL}{IEL}$$



ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Penentuan Tingkat Severity pada Skenario Awal

PROSES AIR COMPRESSOR 101J/JT					
skenario	Node	Causes	Consequence	Skenario	safety
1	40 3	MOV-1006 closed (D-11-1225-203)	compressor surge and damage	No flow of process air	CD
2	40 9	101-JL1 is plugged	higher pressure drop, potential compressor surge and damage	Less flow of process air	CD
3	40 10	101-J trip	reverse rotation, potential damage to compressor seal and drum	Reverse flow of process air	CD
4	40 11	HV-1023 wide open (D-11-1225-203)	less flow to 101-J 3rd stage suction lead to compressor surge and damage	Other than flow	CD
5	40 12	HV-1023 doesn't open when required (D-11-1225-203)	compressor surge and damage	Other than flow	CD
6	40 13	tube failure in 101-JCA	Air leaks to CW side, causing over pressure	Missdirected flow	CC
7	40 14	tube failure in 101-JCB	Air leaks to CW side, causing over pressure	Missdirected flow	CC
8	40 15	tube failure in 101-JCC	Air leaks to CW side, causing over pressure	Missdirected flow	CC

PROSES AIR COMPRESSOR 101J/JT					
skenario	Node	Causes	Consequence	Skenario	safety
9	40 16	loss of CW to 101-JCA	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	Higher temperature	CC
10	40 17	loss of CW to 101-JCB	Higher temperature to 101-J 3rd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	Higher temperature	CD
11	40 18	loss of CW to 101-JCC	Higher temperature to 101-J 4th suction leads to discharge temperature, causing potential damage	Higher temperature	CC



Teknik Fisika ITS



ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

- **Data Desain plan sebagai IPL**

Skenario	Deskripsi	IEL
3	No flow of process air	0,1
8	Less flow of procees air	0,1
9	Reverse flow of procees air	0,1
10	Othet than flow	0,1
11	Othet than flow	0,1
12	Missdirected flow	0,1
13	Missdirected flow	0,1
14	Missdirected flow	0,1
15	Higher temperature	0,1
16	Higher temperature	0,1
17	Higher temperature	0,1

- **Dikarenakan data desain pada plan tidak ada, maka dapat diganti dengan data sekunder dari buku CCPS : 2001 “Layer of Protection Analysis”**



ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Perhitungan *Independent Protection Layer* (IPL)

Skenario	Diskripsi	BPCS	PFD
1	No flow of process air	Flow Control 1004	0,802588688
2	Missdirected flow	Flow Control 1003	0,4264413
3	Missdirected flow	Flow Control 1003	0,4264413

Skenario	Diskripsi	BPCS	PFD
4	Missdirected flow	No Control	1
5	Higher temperature	Flow Control 1003	0,4264413
6	Higher temperature	No Control	1
7	Higher temperature	No Control	1
8	Less flow of process air	No Control	1
9	Reverse flow of process air	No Control	1
10	Other than flow	No Control	1
11	Other than flow	No Control	1

Skenario	Diskripsi	Alarm	PFD
1	No flow of process air	-FALL1003	0,1
2	Less flow of process air	-PDAH1101	0,1
3	Reverse flow of process air	No Alarm	1
4	Other than flow	Axial Alarm HH	0,1
5	Other than flow	Axial Alarm HH	0,1
6	Missdirected flow	No Alarm	1
7	Missdirected flow	No Alarm	1
8	Missdirected flow	No Alarm	1
9	Higher temperature	Axial Alarm HH	0,1
10	Higher temperature	Axial Alarm HH	0,1
11	Higher temperature	Axial Alarm HH TAH1300	0,1

▪ **BPCS**

▪ **Alarm**



ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Perhitungan *Independent Protection Layer* (IPL)

Additional Mitigated Restricted



Skenario	Deskripsi	Safety	PFD
1	No additional	No flow of process air	1
2	No additional	Less flow of process air	1
3	Interlock MOV 1006	Reverse flow of process air	0,187863
4	No additional	Other than flow	1
5	No additional	Other than flow	1
6	No additional	Missdirected flow	1
7	No additional	Missdirected flow	1
8	No additional	Missdirected flow	1
9	No additional	Higher temperature	1
10	No additional	Higher temperature	1
11	No additional	Higher temperature	1

Additional Mitigated Dike



Skenario	Diskripsi	PFD
1	No flow of process air	1
2	Less flow of process air	1
3	Reverse flow of process air	1
4	Other than flow	0,1
5	Other than flow	0,1
6	Missdirected flow	1
7	Missdirected flow	1
8	Missdirected flow	1
9	Higher temperature	1
10	Higher temperature	1
11	Higher temperature	1



ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Perhitungan dengan Menggunakan *Layer of Protection Analysis (LOPA)*

SCENARIO	INITIATING CAUSE	TMEL KATEGORI	IMPACT EVENT DESCRIPTION	IPL						INTERMEDIATE EVENT LIKELIHOOD (IEL)	TARGET MITIGATED EVENT LIKELIHOOD (TMEL)	PFD (TMEL/IEL)	SIL	SAVERITY KATEGORI	LIKELIHOOD KATEGORI	RISK
				INITIATING LIKELIHOOD	GENERAL DESIGN	BPCS	ALARM RESPONSE	ADDITIONAL MITIGATION RESTRICTED ACCESS	ADDITIONAL MITIGATED DIKE							
1	MOV-1006 closed (D-11-1225-203)	Co	compressor surge and damage	0,187798167	0,1	0,802589	0,1	1	1	2,E-03	3,E-05	1,99E-02	SIL1	3	2	6
2	101-JL1 is plugged	Co	higher pressure drop, potential compressor surge and damage	0,43208262	0,1	0,426441	0,1	1	1	2,E-03	3,E-05	1,63E-02	SIL1	3	2	6
3	101-J trip	Co	reverse rotation, potential damage to compressor seal and drum	0,43208262	0,1	0,426441	1	0,189932979	1	3,E-03	3,E-05	8,57E-03	SIL2	3	2	6
4	HV-1023 wide open (D-11-1225-203)	Co	less flow to 101-J 3rd stage suction lead to compressor surge and damage	0,100678192	0,1	1	0,1	1	0,1	1,E-04	3,E-05	2,98E-01	SIL1	2	1	2
5	HV-1023 doesn't open when required (D-11-1225-203)	Co	compressor surge and damage	0,100678192	0,1	0,426441	0,1	1	0,1	4,E-05	3,E-05	6,99E-01	SIL1	2	1	2
6	tube failure in 101-JCA	Cc	Air leaks to CW side, causing over pressure	0,227029216	0,1	1	1	1	1	2,E-02	3,E-04	1,32E-02	SIL1	2	3	6
7	tube failure in 101-JCB	Cc	Air leaks to CW side, causing over pressure	0,154863559	0,1	1	1	1	1	2,E-02	3,E-04	1,94E-02	SIL1	2	3	6
8	tube failure in 101-JCC	Cc	Air leaks to CW side, causing over pressure	0,047419968	0,1	1	1	1	1	5,E-03	3,E-04	6,33E-02	SIL1	2	2	4
9	loss of CW to101-JCA	Cc	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	0,227029216	0,1	1	0,1	1	1	2,E-03	3,E-04	1,32E-01	SIL1	2	2	4
10	loss of CW to101-JCB	Cc	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	0,154863559	0,1	1	0,1	1	1	2,E-03	3,E-04	1,94E-01	SIL1	2	2	4
11	loss of CW to101-JCC	Cc	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	0,047419968	0,1	1	0,1	1	1	5,E-04	3,E-04	6,33E-01	SIL1	2	1	2



Tabel savery/consequence

Dilakukan wawancara pada setiap skenario kegagalan pada plan *Air Compressor 101/JT* dan selanjutnya dikategorikan menurut standard AS/NZS

SCENARIO	INITIATING CAUSE	TMEL KATEGORI	IMPACT EVENT DESCRIPTION	TINGKAT	DEFINISI DARI STANDARD	SAVERITY SCORE
1	MOV-1006 closed (D-11-1225-203)	C ^D	compressor surge and damage	C	beberapa objek yang terkena	3
2	101-JL1 is plugged	C ^D	higher pressure drop, potential compressor surge and damage	C	beberapa objek yang terkena	3
3	101-J trip	C ^D	reverse rotation, potential damage to compressor seal and drum	C	beberapa objek yang terkena	3
4	HV-1023 wide open (D-11-1225-203)	C ^D	less flow to 101-J 3rd stage suction lead to compressor surge and damage	C	beberapa objek yang terkena	3
5	HV-1023 doesn't open when required (D-11-1225-203)	C ^D	compressor surge and damage	C	beberapa objek yang terkena	3
6	tube failure in 101-JCA	C ^C	Air leaks to CW side, causing over pressure	B	efek kecil yang mudah diperbaiki	2
7	tube failure in 101-JCB	C ^C	Air leaks to CW side, causing over pressure	B	efek kecil yang mudah diperbaiki	2
8	tube failure in 101-JCC	C ^C	Air leaks to CW side, causing over pressure	B	efek kecil yang mudah diperbaiki	2
9	loss of CW to101-JCA	C ^C	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	B	efek kecil yang mudah diperbaiki	2
10	loss of CW to101-JCB	C ^C	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	B	efek kecil yang mudah diperbaiki	2
11	loss of CW to101-JCC	C ^C	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	B	efek kecil yang mudah diperbaiki	2



Tabel Likelihood

Hasil dari Menghitung nilai Intermediate Event Likelihood pada perhitungan LOPA adalah nilai dari Likelihood selanjutnya dikategorikan menurut standard AS/NZS

SCENARIO	INITIATING CAUSE	TMEL KATEGORI	IMPACT EVENT DESCRIPTION	IEL	DEFINISI DARI STANDARD	LIKELIHOOD KATEGORI
1	MOV-1006 closed (D-11-1225-203)	C _D	compressor surge and damage	0,001507	beberapa objek yang terkena	2
2	101-JL1 is plugged	C _D	higher pressure drop, potential compressor surge and damage	0,001843	beberapa objek yang terkena	2
3	101-J trip	C _D	reverse rotation, potential damage to compressor seal and drum	0,0035	beberapa objek yang terkena	2
4	HV-1023 wide open (D-11-1225-203)	C _D	less flow to 101-J 3rd stage suction lead to compressor surge and damage	0,000101	beberapa objek yang terkena	1
5	HV-1023 doesn't open when required (D-11-1225-203)	C _D	compressor surge and damage	4,29E-05	beberapa objek yang terkena	1
6	tube failure in 101-JCA	C _C	Air leaks to CW side, causing over pressure	0,022703	efek kecil yang mudah diperbaiki	3
7	tube failure in 101-JCB	C _C	Air leaks to CW side, causing over pressure	0,015486	efek kecil yang mudah diperbaiki	3
8	tube failure in 101-JCC	C _C	Air leaks to CW side, causing over pressure	0,004742	efek kecil yang mudah diperbaiki	2
9	loss of CW to 101-JCA	C _C	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	0,00227	efek kecil yang mudah diperbaiki	2
10	loss of CW to 101-JCB	C _C	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	0,001549	efek kecil yang mudah diperbaiki	2
11	loss of CW to 101-JCC	C _C	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	0,000474	efek kecil yang mudah diperbaiki	1



Perhitungan Risk Level

Hasil dari kategori menurut standard AS/NZS yang selanjutnya digunakan untuk menghitung Risk Level

$$\text{Risk} = \text{Cosequence} \times \text{Likelihood}$$

SCENARIO	INITIATING CAUSE	TMELO KATEGORI RI	IMPACT EVENT DESCRIPTION	SAVERITY KATEGORI	LIKELIHOOD KATEGORI	RISK
1	MOV-1006 closed (D-11-1225-203)	C _D	compressor surge and damage	3	2	6
2	101-JL1 is plugged	C _D	higher pressure drop, potential compressor surge and damage	3	2	6
3	101-J trip	C _D	reverse rotation, potential damage to compressor seal and drum	3	2	6
4	HV-1023 wide open (D-11-1225-203)	C _D	less flow to 101-J 3rd stage suction lead to compressor surge and damage	2	1	2
5	HV-1023 doesn't open when required (D-11-1225-203)	C _D	compressor surge and damage	2	1	2
6	tube failure in 101-JCA	C _C	Air leaks to CW side, causing over pressure	2	3	6
7	tube failure in 101-JCB	C _C	Air leaks to CW side, causing over pressure	2	3	6
8	tube failure in 101-JCC	C _C	Air leaks to CW side, causing over pressure	2	2	4
9	loss of CW to 101-JCA	C _C	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	2	2	4
10	loss of CW to 101-JCB	C _C	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	2	2	4
11	loss of CW to 101-JCC	C _C	Higher temperature to 101-J 2nd suction leads to discharge temperature, causing potential damage	2	1	2



KE Simpulan dan Saran



kesimpulan

Adapun hasil perhitungan dan hasil analisa yang telah dilakukan didapatkan parameter yang dapat disimpulkan antara lain sebagai berikut :

- Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi nilai Safety Integrity Level (SIL) serta jenis *Independent Protection Layer* (IPL) yang ada pada *Air Compressor 101J/JT*. Analisis tingkat bahaya dilakukan dengan mengetahui *severity level* dan *likelihood* setiap skenario kejadian berdasarkan *Hazard and Operability* (HazOp) PT.Petrokimia Gresik. Sedangkan analisa lapisan pelindung (IPL) dilakukan dengan mengidentifikasi nilai *Initiating Event Likelihood* (IEL) pada setiap *layer*. Lapisan pelindung yang ada pada *Air Compressor 101J/JT* terdiri dari *Basic Process Control System* (BPCS), *Safety Instrumented System* (SIS), *Alarm System*, dan *Mechanical Safety*. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan diketahui bahwa nilai SIL Pada skenario satu sampai dengan skenario sepuluh memiliki nilai SIL necessary risk reduction yang sama yaitu SIL1 tetapi pada skenario3 memiliki nilai SIL2. Sedangkan PFD hasil perhitungan memiliki nilai $5,21E-03$ sampai dengan $6,99E-01$. Maka nilai SIL tersebut sesuai dengan standard industri yaitu minimum SIL2
- Berdasarkan perhitungan *risk matrix* dapat disimpulkan nilai *Risk* dari perhitungan menunjukkan bahwa nilai masih pada nilai *low*. Hal ini ditunjukkan pada nilai *Risk* dari perkalian *Consequence dan Likelihood* mulai dari 2 sampai dengan 6. Hasil tersebut meunjukkan bahwa pada *risk score* nilai yang dihasilkan masih dalam batas resiko yang diperbolehkan, dan tidak ada rekomendasi penambahan IPL untuk mengurangi nilai *Likelihood* pada *Air Compressor 101J/JT*.

Saran

Adapun saran pada penelitian ini adalah masih banyak data yang tidak dicatat pada *Work Orde*. Data itu antara lain adalah data *Controller* dan data *Sistem Safety*.



TERIMA KASIH



Teknik Fisika ITS

