



TUGAS AKHIR TF 141581

**ANALISIS *SAFETY INTEGRITY LEVEL* (SIL)
DENGAN METODE *LAYER OF PROTECTION
ANALYSIS* (LOPA) PADA UNIT *BOILER* (B-6203)
DI PABRIK III PT. PETROKIMIA GRESIK**

**AGUSTINUS PRIYOKO PRATYAKSA
NRP 2414 106 032**

**Dosen Pembimbing:
Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.
Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017**



FINAL PROJECT TF 141581

**ANALYSIS OF SAFETY INTEGRITY LEVEL (SIL)
USING LAYER OF PROTECTION ANALYSIS
(LOPA) METHOD AT BOILER (B-6203) IN
PLANT III PT. PETROKIMIA GRESIK**

**AGUSTINUS PRIYOKO PRATYAKSA
NRP 2414 106 032**

**Advisor Lecturer:
Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.
Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.**

**DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS *SAFETY INTEGRITY LEVEL* (SIL) DENGAN METODE *LAYER OF PROTECTION ANALYSIS* (LOPA) PADA UNIT *BOILER* (B-6203) DI PABRIK III PT. PETROKIMIA GRESIK

TUGAS AKHIR

Oleh:

Agustinus Priyoko Pratyaksa
NRP 2414 106 032

Surabaya, Januari 2017
Mengetahui

Pembimbing I

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

Pembimbing II

Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.
NIP. 19600901 198701 1 001

Ketua Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS



Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
NIP. 19780902 200312 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

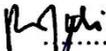
ANALISIS SAFETY INTEGRITY LEVEL (SIL) DENGAN METODE *LAYER OF PROTECTION ANALYSIS* (LOPA) PADA UNIT *BOILER* (B-6203) DI PABRIK III PT. PETROKIMIA GRESIK

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memeroleh Gelar
Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Instrumentasi
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
Agustinus Priyoko Pratyaksa
NRP 2414 106 032

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.  (Pembimbing I)
2. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.  (Pembimbing II)
3. Ir. Ya'umar, M.T.  (Ketua Penguji)
4. Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.  (Penguji I)

SURABAYA
JANUARI, 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan

**ANALISIS SAFETY INTEGRITY LEVEL (SIL)
DENGAN METODE LAYER OF PROTECTION ANALYSIS
(LOPA) PADA UNIT BOILER (B-6203) DI PABRIK III PT.
PETROKIMIA GRESIK**

Nama Mahasiswa : Agustinus Priyoko Pratyaksa
NRP : 2414 106 032
Departemen : Teknik Fisika, FTI-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.
2. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.

Abstrak

Jaminan keselamatan bagi aset, manusia dan lingkungan menjadi suatu hal yang penting dalam proses di industri. Pengenalan bahaya dalam lingkup industri perlu diterapkan. *Boiler* merupakan suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan uap dan kemudian menggerakkan turbin yang dihubungkan dengan generator. Proses ini akan menghasilkan listrik bagi kelangsungan produksi di pabrik III PT. Petrokimia Gresik. Proses pembangkitan listrik ini belum sepenuhnya aman. Risiko paling berbahaya adalah ledakan. Dalam menangani kemungkinan bahaya tersebut harus diimbangi dengan adanya sistem kontrol dan pengamanan yang baik. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis lapisan pelindung. Perhitungan LOPA menggunakan tiap lapisan pelindung dari tiap titik studi yang dipilih. Perhitungan dengan metode LOPA didapatkan nilai NR sebanyak satu *impact event*, nilai SIL 0 sebanyak enam *impact event* dan SIL 1 sebanyak satu *impact event*. SIL 1 memiliki arti bahwa lapisan pelindung dari *impact event* belum sepenuhnya dapat mengurangi risiko. Pada kasus ini tidak terdapat alarm sebagai *protection layer*. Untuk dapat mengurangi risiko dapat ditambahkan alarm pada *loop* tersebut.

Kata kunci: bahaya, boiler, LOPA, SIL

Halaman ini sengaja dikosongkan

***ANALYSIS OF SAFETY INTEGRITY LEVEL (SIL) USING
LAYER OF PROTECTION ANALYSIS (LOPA) METHOD AT
BOILER (B-6203) IN PLANT III PT. PETROKIMIA GRESIK***

Name : ***Agustinus Priyoko Pratyaksa***
NRP : ***2414 106 032***
Department : ***Engineering Physics, Faculty of
Industrial Technologi, ITS***
Advisor Lecturer : ***Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes
Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc***

Abstract

Safety guarantee for assets, people and environment around the industry become an important things. Therefore, the hazard identification in within the scope of industries should be implemented. A boiler is a vessel-shaped tool used to produce steam and generate the turbin which coupled with generator. This process will generate electricity for the continuation of production at the plant III PT. Petrokimia Gresik. Electricity generation process is not entirely safe. The most dangerous risk is explosion of boiler. In dealing with possible dangers, it must be balanced with the control system and good protection. Therefore, it is necessary to analyze the protective layer. LOPA calculations using each of the protective layer of each node of the selected studies. Calculation using LOPA method obtained NR value for one impact event, the SIL 0 value for six impact event and SIL 1 value for one impact event. SIL 1 means that the protective layer of the impact event can not fully mitigate the risk. In this case there is no alarm as a protection layer. In order to reduce the risk may be added to the alarm in the loop.

Keyword: boiler, hazard, LOPA, SIL

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus atas segala berkat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu melaksanakan dan menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul **“Analisis Safety Integrity Level (SIL) dengan Metode Layer of Protection Analysis (LOPA) pada Boiler (B-6203) di Pabrik III PT Petrokimia Gresik”**

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini penulis mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D. selaku ketua departemen Teknik Fisika ITS.
2. Ibu Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes. selaku pembimbing pertama tugas akhir atas segala bimbingan dan motivasi yang diberikan
3. Bapak Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc., selaku pembimbing kedua atas teori dan pengalaman yang diberikan.
4. Bapak Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D. selaku kepala laboratorium Rekayasa Instrumentasi atas dorongan dan bimbingan kepada penulis.
5. Orang tua dan adik yang telah memberikan doa dan dukungan sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Seluruh karyawan PT Petrokimia Gresik yang telah membantu penulis selama tugas akhir.

Penulis memohon maaf apabila masih terdapat kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini. Penulis berharap laporan tugas akhir ini bisa bermanfaat bagi orang lain sebagai referensi pengerjaan tugas akhir.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR SINGKATAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
BAB II TEORI PENUNJANG	5
2.1 Utilitas Unit Produksi III.....	5
2.2 <i>Boiler</i> (B-6203)	7
2.3 <i>Safety Integrity Level</i> (SIL)	10
2.4 <i>Layer of Protection Analysis</i> (LOPA).....	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Studi literatur.....	19
3.2 Pengumpulan Data	19
3.3 Pemilihan dan Penjelasan Titik Studi (<i>Node</i>).....	19
3.4 Penentuan Komponen Instrumentasi.....	19
3.5 Estimasi <i>Causes</i> dan <i>Consequences</i>	21
3.6 Penentuan <i>Risk Ranking</i>	21
3.7 Identifikasi <i>Safeguard</i>	23
3.8 Perhitungan SIL dengan Metode LOPA.....	25
3.9 Rekomendasi penurunan risiko	30
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Hasil Pengumpulan Data	31
4.2 Pemilihan dan Penjelasan Titik Studi (<i>Node</i>).....	31
4.3 <i>Steam Drum</i>	31
4.4 <i>Gas Burner</i>	34
4.5 Perhitungan <i>Layer of Protection Analysis</i> (LOPA).....	37

4.6	Rekomendasi Penurunan Resiko	45
BAB V PENUTUP	49
5.1	Kesimpulan.....	49
5.2	Saran.....	49

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A

LAMPIRAN B

LAMPIRAN C

LAMPIRAN D

LAMPIRAN E

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram alir utilitas pabrik III	5
Gambar 2.2	Tampak samping <i>boiler</i> B-6203	8
Gambar 2.3	Tampak depan <i>boiler</i> B-6203	8
Gambar 2.4	<i>Flow diagram generation unit</i>	9
Gambar 2.5	<i>Final element</i> 1001	11
Gambar 2.6	<i>Final element</i> 1002	11
Gambar 2.7	<i>Final element</i> 1003	12
Gambar 2.8	<i>Final element</i> 2002	12
Gambar 2.9	LOPA <i>onion</i>	16
Gambar 3.1	<i>Flow chart</i> penelitian	20
Gambar 3.3	Informasi HAZOP dan LOPA.....	25
Gambar 4.1	P&ID <i>steam drum</i>	32
Gambar 4.2	P&ID <i>gas burner</i>	35
Gambar 4.3	P&ID rekomendasi dengan penambahan alarm.....	47

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi <i>Boiler</i> B-6203.....	9
Tabel 2.2 <i>Safety Integrity Level</i>	14
Tabel 3.1 Kriteria <i>Consequence</i> PT. Petrokimia Gresik.....	21
Tabel 3.2 Kriteria <i>Likelihood</i> PT. Petrokimia Gresik.....	22
Tabel 3.3 Risk Ranking PT. Petrokimia Gresik.....	23
Tabel 3.4 Nilai PFDs untuk IPLs pada proses secara umum.....	27
Tabel 3.5 <i>Target Mitigated Event Likelihood</i> (TMEL)	29
Tabel 3.6 Kategori <i>Safety Integrity Level</i> (SIL)	30

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR SINGKATAN

BPCS	= Basic Process Control System
HAZOP	= Hazard and Operability
ICL	= Initiation Cause Likelihood
IPL	= Independent Protection Layer
IEL	= Intermediate Event Likelihood
LOPA	= Layer of Protection Analysis
MCR	= Maximum Continuous Rating
MTTF	= Mean Time To Failure
NCR	= Normal Continuous Rating
PFD*	= Probability of Failure on Demand
PFD**	= Process Flow Diagram
P&ID	= Piping and Instrumentation Diagram
RRF	= Risk Reduction Factor
SIF	= Safety Instrumented Function
SIL	= Safety Integrity Level
SIS	= Safety Instrumented System
TMEL	= Target Mitigated Event Likelihood

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jaminan keselamatan bagi aset, manusia dan lingkungan di sekitar industri menjadi suatu hal yang penting dalam proses di industri. Pengenalan bahaya dalam lingkup industri perlu diterapkan. Pada dasarnya bahaya merupakan sumber potensi kerusakan dan efek kesehatan yang merugikan pada sesuatu atau seseorang dalam kondisi tertentu di tempat kerja. (CCOHS, 2016).

Industri yang memiliki potensi bahaya tinggi adalah pabrik pupuk. Sebagai contoh peristiwa bencana yang terjadi di pabrik pupuk Union Carbide, Bhopal, India pada 3 Desember 1984. Insiden paling memalukan dalam sejarah kecelakaan industri. Dilaporkan setidaknya 3.787 orang tewas dan sekitar 558.125 lainnya terluka karena gas beracun. Penyebabnya adalah air masuk ke tangki yang terisi dengan gas *metil isosianat* (MIC), suatu gas yang digunakan dalam produksi pestisida. Air memicu reaksi kimia yang menyebabkan peningkatan tekanan di dalam tangki, memaksa pekerja membuka tangki agar tidak meledak. Namun, pembukaan tangki mengakibatkan sejumlah besar gas mematikan terlepas ke udara. Pada April 2013, ledakan di kota West, negara bagian Texas telah menewaskan sedikitnya 14 orang, melukai lebih dari 200 orang, dan beberapa rumah rata dengan tanah. Indikasi penyebab ledakan adalah terkait bocornya tangki *ammonium nitrat* karena banyaknya volume yang ditampung pada tangki, sehingga cairan kimia itu menguap dan mengakibatkan ledakan. Ledakan diperparah oleh penyemprotan air ke tangki-tangki tersebut. Pada tahun 2013 pula, saat simulasi tanggap darurat yang dilakukan di PT Pupuk Kaltim yang menyebabkan 1 orang meninggal dan 4 lainnya dirawat karena terpapar amonia. Penyebab kecelakaan ini adalah pompa transfer amonia mengalami kebocoran. Tidak menutup kemungkinan hal tersebut dapat terjadi di PT. Petrokimia Gresik.

PT. Petrokimia Gresik merupakan perusahaan yang bergerak dibidang produksi pupuk yang berlokasi di Gresik, Jawa Timur. PT Petrokimia Gresik memproduksi berbagai macam pupuk seperti Urea, ZA, SP-36, ZK, NPK Phonska, NPK Kebomas, dan pupuk organik petrokanik. Petrokimia Gresik juga memproduksi bahan kimia seperti amonia, asam sulfat (98% H_2SO_4), asam fosfat (100% P_2O_5), *Aluminium Fluoride*, *Cement Retarder* dan sebagainya.

Pabrik III PT. Petrokimia Gresik terdiri dari unit produksi asam sulfat dan unit utilitas. Unit produksi didukung oleh unit utilitas. Unit utilitas adalah unit yang menunjang operasi pabrik dengan memasok penyediaan uap, penyediaan air dan *cooling water*, penyediaan bahan bakar dan penyediaan tenaga listrik.

Salah satu penyediaan uap dihasilkan oleh *boiler*. *Boiler* adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk uap panas atau *steam*. Salah satu *boiler* di pabrik III PT. Petrokimia Gresik adalah B-6203 dengan kapasitas 70 ton *steam/hour*. *Boiler* (B-6203) menjadi pemasok *steam* utama pada *steam generator unit* ataupun proses produksi pupuk/non-pupuk. Adanya potensi bahaya pada *boiler* diantaranya meledak, tekanan yang berlebihan, kebocoran, jumlah air tidak terkontrol, dan kegagalan dari instrumen. Selain bahaya intrinsik, faktor sumber daya manusia juga berpengaruh terhadap pengoperasian *boiler*. Perlu dilakukan Analisis *Safety Integrity Level* (SIL) dengan Metode *Layer of Protection Analysis* (LOPA) pada Unit *Boiler* (B-6203) di Pabrik III PT. Petrokimia Gresik.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka permasalahan dalam tugas akhir ini, yaitu:

1. Bagaimana cara melakukan perhitungan menggunakan metode *Layer of Protection Analysis* (LOPA) untuk menentukan nilai SIL dan mengidentifikasi *Independent Protection Layer* (IPL) yang digunakan pada sistem *boiler* (B-6203) di Pabrik III PT Petrokimia Gresik?

2. Bagaimana cara merekomendasi penurunan risiko pada setiap skenario yang nilai SILnya tidak memenuhi standar pada *boiler* (B-6203) di Pabrik III PT Petrokimia Gresik?

1.3 Batasan Masalah

Dalam proses analisis *safety integrity level* (SIL) dengan metode *Layer of Protection Analysis* (LOPA) pada unit *boiler* di perlu adanya batasan masalah agar permasalahan yang dijelaskan pada sub-bab tidak meluas, antara lain:

1. Unit yang dilakukan analisis *Layer of Protection Analysis* (LOPA) pada sistem penyediaan uap dari *boiler* (B-6203) di Pabrik III PT. Petrokimia Gresik.
2. Data penunjang yang digunakan dalam tahap evaluasi yaitu *Piping and Instrumentation Diagram* (P&ID), *Process Flow Diagram* (PFD), *work order*, *Hazard and Operability* (HAZOP), wawancara dan *standard operation procedure* (SOP).
3. Keseluruhan data yang diperoleh dari PT. Petrokimia Gresik dianggap telah mencukupi dan akurat.
4. Analisis *safety integrity level* (SIL) menggunakan metode *Layer of Protection Analysis* (LOPA)

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini yaitu:

1. Melakukan perhitungan nilai *safety integrity level* (SIL) dengan menggunakan metode *Layer of Protection Analysis* (LOPA) dan mengidentifikasi *Independent Protection Layer* (IPL) yang digunakan pada sistem *boiler* (B-6203) di Pabrik III PT Petrokimia Gresik
2. Merekomendasikan penurunan risiko pada setiap skenario yang memiliki nilai SIL yang tidak memenuhi standar pada *boiler* (B-6203) di Pabrik III PT Petrokimia Gresik.

Halaman ini sengaja dikosongkan

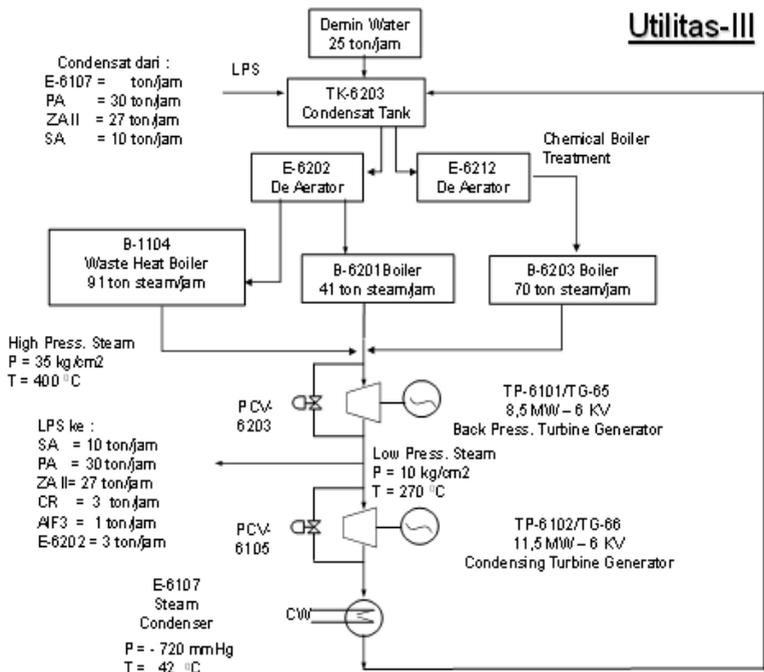
BAB II TEORI PENUNJANG

2.1 Utilitas Unit Produksi III

Sistem utilitas pada produksi III terdiri dari unit-unit sebagai berikut:

- *Power Generation*
- *Steam Generation Unit*
- *Instrument/Service Air Unit*
- *Water Treatment Unit*
- *Cooling Water Unit*

Utilitas unit produksi III ditampilkan pada Gambar 2.1 berikut ini.



Gambar 2.1 Diagram alir utilitas pabrik III

2.1.1 Power Generation

Pada *power generation* unit terdiri atas dua buah turbin uap. *Back Pressure Turbin Generator* dan *Condensing Turbin Generator*. Untuk keperluan *Start Up* dan *Emergency Power* digunakan dua buah diesel generator dengan kapasitas masing-masing 2.000 KW. *Back Pressure Turbin* mempunyai kapasitas 8.500 KW yang digerakkan oleh *steam* bertekanan 35 Kg/cm² dan temperatur 400°C.

Outlet steam dari *Back Pressure Turbine* bertekanan 10 Kg/cm² dan temperatur 270°C digunakan untuk menggerakkan *Condensing Turbine* yang mempunyai kapasitas 11.500 KW.

2.1.2 Steam Generation Unit

Dalam keadaan normal operasi kebutuhan uap dipasok dari *Auxiliary Boiler* dan *Waste Heat Boiler* di *sulfuric acid plant* yang bekerja secara paralel. *Auxiliary Boiler* mempunyai kapasitas maksimum 52 ton/jam, *steam* dengan tekanan 35 Kg/cm² dan temperatur 405°C. Kebutuhan *steam* pada 100% *plant capacity* sebesar 128.285 ton/jam. 91 ton/jam dipasok dari *sulfuric acid plant* sisanya dari *auxiliary boiler*. Pada saat *start up* kebutuhan uap untuk *heater fuel oil* dan *melting* belerang disediakan 1 unit *back up boiler* dengan kapasitas 5 ton/jam, tekanan 5 Kg/cm² dan temperatur 158°C, bahan bakar yang digunakan boiler B-6201 dan B-6203 adalah gas dan *marine fuel oil* (MFO).

Boiler Feed Water yang berupa *demin water* dan kondensat dimasukkan ke dalam *deaerator* untuk dinaikkan temperaturnya sampai dengan 105°C dan sebagian uap dibuang ke atmosfer untuk mengeluarkan kandungan O₂ dan CO₂. Oksigen merupakan salah satu penyebab korosi di dalam boiler. Selanjutnya dengan *Boiler Feed Pump* didistribusikan ke:

1. B-6201 *Boiler* yang mempunyai kapasitas NCR 41 ton *steam/jam*
2. B-6203 *Boiler* yang mempunyai kapasitas NCR 70 ton *steam/jam*
3. B-1104 *Back Up Boiler* yang mempunyai kapasitas 91 ton *steam/jam*. Boiler ini dioperasikan hanya untuk *steam*

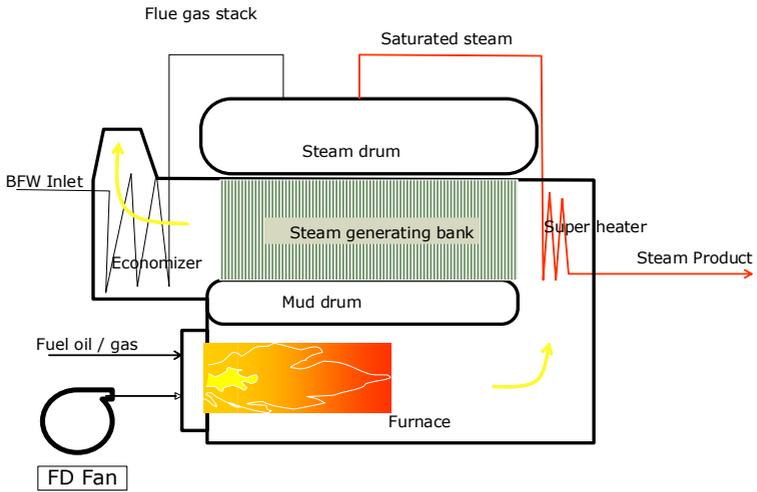
heater belerang cair di *melter/SA plant* dan apabila B-6201 dan B-6203 dalam kondisi *shut down*.

Produk yang dihasilkan oleh boiler B-6201 dan Boiler B-6203, yaitu:

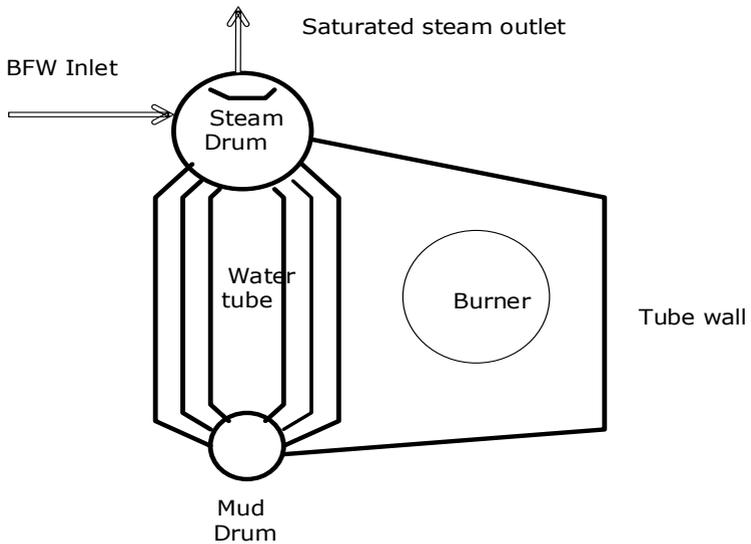
1. *High Pressure Steam*, dengan tekanan 35 kg/cm² dan temperature 400°C.
2. *Low Pressure Steam*, dengan tekanan 10 kg/cm² dan temperature 270°C. *Steam* ini digunakan untuk keperluan berbagai unit, antara lain:
 - a. Unit asam sulfat untuk *steam heater* pencairan belerang dan *steam jacket*.
 - b. Unit asam fosfat untuk *steam heater*, *steam ejector* dan evaporator.
 - c. Unit *gypsum* untuk membantu proses *filter purified gypsum* dan *granulator CR*.
 - d. Unit AlF₃ untuk *crystallizer* dan *washing cloth centrifuge SiO₂/ AlF₃*.
 - e. Unit ZA II untuk *steam heater*, *steam ejector* dan evaporator.

2.2 Boiler (B-6203)

Boiler atau ketel uap adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan uap. Uap diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar. *Boiler* dirancang untuk melakukan atau memindahkan kalor dari suatu sumber pembakaran, yang biasanya berupa pembakaran bahan bakar. *Boiler* berfungsi sebagai konverter yang mengkonversikan energi kimia (potensial) dari bahan bakar menjadi energi panas. Pada *boiler* (B-6023) terdapat 2 *node* yaitu, *steam drum* dan *burner*. Penampang dari *boiler* digambarkan pada Gambar 2.2 dan 2.3 berikut ini.



Gambar 2.2 Tampak samping boiler B-6203



Gambar 2.3 Tampak depan boiler B-6203

Spesifikasi dari *boiler* B-6203 ditampilkan pada Tabel 2.1 berikut:

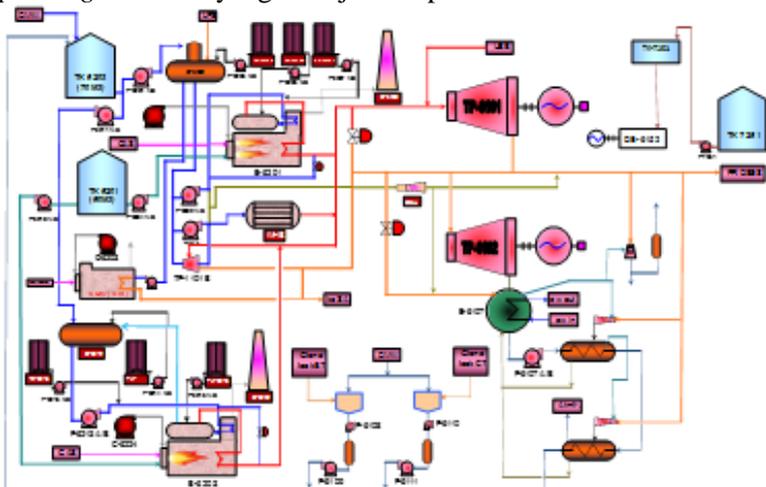
Tabel 2.1 Spesifikasi *Boiler* B-6203

Tag Number	Specification
B-6203	• Capacity NCR : 70 t/h
	• MCR : 77 t/h
	• Pressure Steam : 35 Kg/cm ²
	• Temperature Steam : 400°C
	• Type of boiler : Water Tube
	• Fuel : Natural Gas, MFO
	• Atomizing : Steam
	• Drum : ASTM SA 515 Gr60*
	• Tube : ASTM SA 192**
	• Superheater : ASTM SA 192
• Economizer : ASTM SA 192	

* ASTM SA 515 Grade 60 Steel Plates For Pressure Vessels

** ASTM SA 192 Seamless Carbon Steel Boiler Tubes

Berikut ini adalah *process flow diagram* (PFD) dari unit *power generation* yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 *Process flow diagram* generation unit

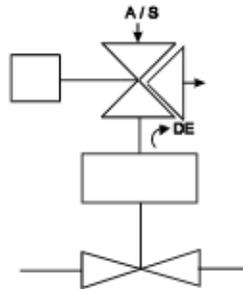
Pada gambar diatas *input* bagi sistem pembangkitan listrik adalah air demineralisasi. Air demineralisasi dengan kapasitas 25 ton/jam masuk ke *condensate tank* (TK-6203) kemudian dipompa (P-6211 A/B) ke *deaerator* (E-6212). Di dalam *deaerator*, air demin tersebut dipanaskan awal sekitar 105°C dan dihilangkan oksigen terlarutnya. Kemudian dipompa kembali oleh pompa (P-6213 A/B) menuju *economizer*. Di dalam *economizer* ini, air yang mendidih tersebut dipanaskan kembali menggunakan gas sisa pembakaran dari *burner* sampai pada suhu antara 178-185°C. Pada suhu tersebut air sudah berubah fase menjadi uap basah. Uap basah tersebut masuk kedalam *steam drum*, kemudian dipanaskan kembali. Energi panas tersebut didapatkan dari *burner* yang memanaskan pipa-pipa pada *steam drum*. Di dalam *steam drum*, secara *gravity* uap air jenuh akan naik ke proses selanjutnya, dan air yang suhunya lebih dingin akan dialirkan ke *water drum*. Kemudian uap air jenuh yang lebih panas dipanaskan kembali di *superheater* pada suhu berkisar 400°C. Uap air tersebut sudah menjadi kering (*superheat steam*) dan digunakan untuk menggerakkan turbin generator (TP-6101) dengan tekanan 35 kg/cm₂ dan uap air kering tersebut juga menggerakkan turbin generator (TP-6102) dengan tekanan 10 Kg/cm². Uap yang telah diproses di turbin generator masuk ke *condenser* dan didinginkan kemudian kembali lagi ke *condensate tank*.

2.3 Safety Integrity Level (SIL)

Safety Integrity Level (SIL) didefinisikan sebagai kategori tingkat keamanan dari suatu konfigurasi sistem instrumentasi yang disebut *Safety Instrumented System* (SIS). SIS akan bekerja ketika ada indikasi bahaya dari suatu jalannya proses seperti *over pressure*, *over flow* dan bahaya lainnya. Dalam istilah sederhana, SIL adalah pengukuran kinerja yang diperlukan untuk keselamatan fungsi instrumentasi (SIF). SIF berfungsi untuk melindungi terhadap bahaya, melakukan fungsi keselamatan, dan SIF bersifat independen dibanding proteksi atau sistem mitigasi lainnya.

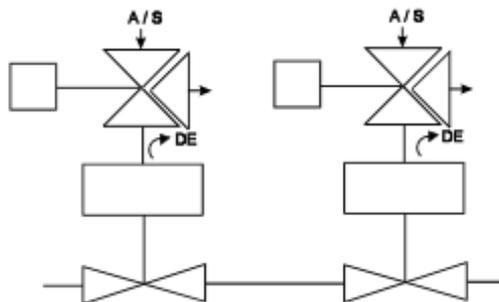
Setiap SIF mempunyai arsitektur yang berbeda, terdapat enam macam arsitektur SIF yaitu:

1. 1oo1 artinya *one out of one*, terdapat 1 keluaran dari 1 SIF. Atau dapat diartikan memiliki satu sensor dan satu aktuator. Arsitektur dari 1oo1 ditampilkan pada Gambar 2.5.



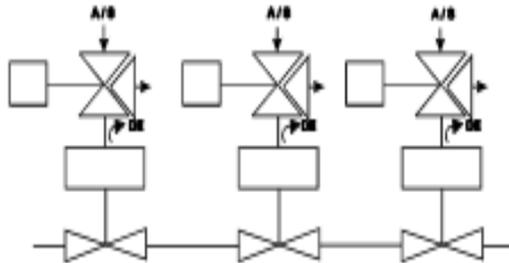
Gambar 2.5 Final element 1oo1 (ISA, 2002)

2. 1oo2 artinya *one out of two*, terdapat 1 keluaran dari 2 SIF. Atau dapat diartikan memiliki satu sensor dan dua aktuator. Arsitektur dari 1oo2 ditampilkan pada Gambar 2.6.



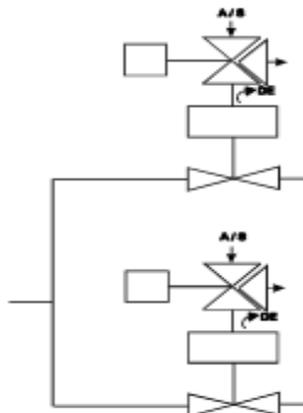
Gambar 2.6 Final element 1oo2 (ISA, 2002)

3. 1oo3 artinya *one out of three*, terdapat 1 keluaran dari 3 SIF. Atau dapat diartikan memiliki satu sensor dan tiga aktuator. Arsitektur dari 1oo3 ditampilkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Final element 1oo3 (ISA, 2002)

4. 2oo2 artinya *two out of two*, terdapat 2 keluaran dari 2 SIF. Atau dapat diartikan memiliki dua sensor dan dua aktuatur. Arsitektur dari 2oo2 ditampilkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Final element 2oo2 (ISA, 2002)

5. 2oo3 artinya *two out of three*, terdapat 2 keluaran dari 3 SIF.
6. 2oo4 artinya *two out of four*, terdapat 2 keluaran dari 4 SIF.

SIL sendiri berhubungan dengan *Probability of Failure on Demand* (PFD) dari suatu SIF. PFD adalah probabilitas perangkat akan gagal melakukan fungsinya ketika dibutuhkan. Nilai rata-rata PFD (PFDavg- dari semua elemen SIF) digunakan untuk evaluasi

SIL (ISA, 2002). PFD biasanya dinyatakan sebagai PFD_{avg} , yang merupakan nilai rata-rata selama *functional test interval*. Semakin tinggi nilai SIL maka PFD dari *Safety Instrumented System* (SIS) semakin kecil. Tingkat SIL dari suatu SIS ditentukan oleh nilai PFD dari tiap-tiap SIF penyusun SIS itu sendiri, yaitu sensor, *logic solver* dan *final element* serta arsitektur/konfigurasi elemen – elemen tersebut dalam membangun SIS.

Sensor adalah sistem pengukuran di lapangan yang mampu mendeteksi kondisi dari sebuah proses, misalnya suhu, tekanan, aliran, dan densitas. *Sensor* memiliki *analog transmitter* yang dapat mengirimkan variabel *output* dari parameter proses. *Sensor* yang digunakan pada SIS bisa berupa *switch*, *transmitter*, atau *smart transmitter*.

Logic solver adalah bagian dari BPCS atau SIS yang melakukan kontrol terhadap keadaan, misalnya menjalankan fungsi logika. *Logic solver* di dalam SIS biasanya berupa PLC (*programmable logic controllers*), unit pengolah pusat di BPCS yang melakukan kontrol proses yang bersifat kontinu dan fungsi kontrol keadaan.

Final control element adalah peralatan yang menggunakan variabel proses untuk mendapatkan kontrol yang sesuai. *Final element control* biasanya berupa *control valve*, *emergency block valve (EBV)*, atau *motor starter of a pump*.

Berdasarkan IEC 61508 terdapat empat level SIL, yaitu SIL 1, SIL 2, SIL 3 dan SIL 4 yang mempunyai nilai PFD berbeda tiap tingkatan.

Menentukan SIL secara kuantitatif dapat dilakukan dengan melakukan perhitungan terhadap PFD untuk tiap-tiap SIF penyusun SIS kemudian menghitung PFD_{avg} SIF. Berikut ini adalah persamaan yang digunakan untuk mencari PFD (ISA, 2002):

a. 1001

$$PFD_{avg} = \lambda x \frac{T_i}{2} \quad (2.1)$$

b. 1002

$$PFD_{avg} = \frac{\lambda^2 x T_i^2}{3} \quad (2.2)$$

c. 1003

$$PFDAvg = \frac{\lambda^3 \times Ti^3}{4} \quad (2.3)$$

d. 2002

$$PFDAvg = \lambda \times Ti \quad (2.4)$$

e. 2003

$$PFDAvg = \lambda^2 \times Ti^2 \quad (2.5)$$

f. 2004

$$PFDAvg = \lambda^3 \times Ti^3 \quad (2.6)$$

Persyaratan untuk SIL yang diberikan tidak tetap di antara semua standar fungsional keselamatan. Dalam standar fungsional keselamatan Eropa berdasarkan IEC 61508 standar SIL ditetapkan sebanyak empat, dengan SIL 4 paling diandalkan dan SIL 1 sebagai standar. Sebuah SIL ditentukan berdasarkan sejumlah faktor kuantitatif dalam kombinasi dengan faktor-faktor kualitatif seperti proses pengembangan dan manajemen siklus keselamatan.

Nilai SIL diperoleh dari nilai *Probability Failure on Demand* (PFD) dan *Risk Reduction Factor* (RRF). Nilai SIL bukanlah hasil perhitungan matematis, melainkan hanya berupa nilai konversi dari nilai PFD dan RRF yang telah didapatkan. Untuk mengkonversikan nilai tersebut digunakan standar IEC 61508, yang dapat dilihat dalam Tabel 2.2 dibawah ini:

Tabel 2.2 *Safety Integrity Level* (IEC 61508)

SIL	PFD	RRF
4	0.00001 s/d 0.0001	> 100000 s/d ≤ 10000
3	0.0001 s/d 0.001	> 10000 s/d ≤ 1000
2	0.001 s/d 0.01	> 1000 s/d ≤ 100
1	0.01 s/d 0.1	> 100 s/d ≤ 10

Untuk mengetahui rata-rata PFD, digunakan persamaan berikut:

$$PFD_{avg_element} = \frac{\lambda \text{ element} \times Ti \text{ element}}{2} \quad (2.7)$$

Dari PFD total dapat diketahui nilai RRF (*Risk Reduction Factor*) sebagai berikut:

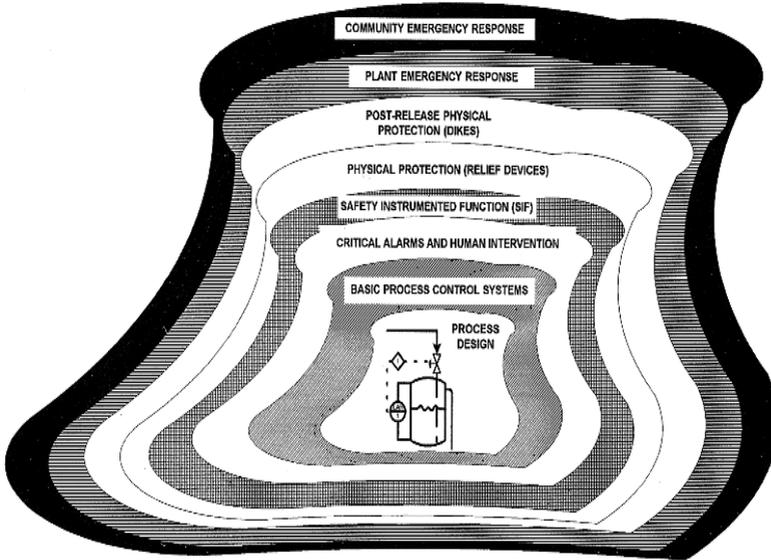
$$RRF = \frac{1}{PFD} \quad (2.8)$$

$$PFD_{Avg\ SIF} = PFD_{Avg\ Sensor} + PFD_{AVG\ Logic\ Solver} + PFD_{AVG\ Final\ Element} \quad (2.9)$$

2.4 *Layer of Protection Analysis (LOPA)*

Layer of Protection Analysis (LOPA) merupakan metode semi-kuantitatif yang menggunakan tingkatan kategori sebagai pendekatan parameter untuk menganalisis dan menilai risiko (CCPS, 2001). Pendekatan dilakukan dengan mengevaluasi skenario yang diperoleh dan diidentifikasi potensi bahaya. Frekuensi dari konsekuensi yang tidak diinginkan dapat diketahui dengan mengalikan *Probability of Failure on Demand (PFD)* lapisan pelindung dengan frekuensi kejadian awal. Lapisan pelindung pada LOPA berupa *general process design, basic process control system (BPCS), alarm and human intervention, emergency shutdown system (ESD), dan active and passive protection*. Dengan membandingkan frekuensi dari konsekuensi yang tidak diinginkan dengan frekuensi risiko yang dapat ditoleransi maka pengurangan risiko dan nilai SIL dapat ditentukan (Marszal and Scharpf, 2002; CCPS, 2001).

Tujuan utama dari metode LOPA adalah memastikan bahwa telah ada lapisan perlindungan yang sesuai untuk mengurangi skenario kecelakaan dan menghitung tingkat keamanan dari lapisan tersebut. Skenario bahaya mungkin saja membutuhkan satu atau lebih lapisan pelindung tergantung pada kompleksitas proses industri dan tingkat keparahan dari bahaya tersebut. Bentuk dari LOPA mirip dengan struktur bawang, yang ditampilkan pada Gambar 2.9 berikut ini.



Gambar 2.9 LOPA onion (CCPS, 2001)

Sistem proteksi pada LOPA terdiri dari beberapa lapisan pelindung diantaranya:

- *Basic Process Control System*
- *Critical Alarms and Human Intervention*
- *Safety Instrumented System (SIF)*
- *Physical Protection (Relief Devices)*
- *Post-release Physical Protection*
- *Plant Emergency Response*
- *Community Emergency Response*

Independent Protection Layer (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*. Efektivitas 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 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 yang *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 industri.

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 aman. Operasi normal dari BPCS *control loop* dapat dimasukkan sebagai IPL jika sesuai kriteria. Ketika memutuskan menggunakan BPCS sebagai IPL, analis harus mengevaluasi efektivitas akses kendali 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 alat ini 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 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 diaktifkan setelah pelepasan awal dan terlalu banyak variabel mempengaruhi keseluruhan efektivitas dalam mengurangi skenario.

8. *Community Emergency Response*

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

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Studi literatur

Studi literatur merujuk pada penelitian sebelumnya, berupa tugas akhir mahasiswa, buku mengenai *Layer of Protection Analysis* (LOPA) dan standar yang menunjang untuk menyelesaikan penelitian tugas akhir ini. Selain studi pustaka, juga dilakukan studi lapangan untuk mengetahui kondisi aktual unit *boiler* yang dijadikan penelitian tugas akhir.

3.2 Pengumpulan Data

Data-data yang diperlukan dalam penelitian tugas akhir tentang *Layer of Protection Analysis* ini diantaranya *Piping and Instrumentation Diagram* (P&ID), data *Process Flow Diagram* (PFD), *maintenance data*, data *Hazard and Operability* (HAZOP) dan wawancara secara langsung, baik dengan operator, bagian pemeliharaan maupun pembimbing lapangan.

3.3 Pemilihan dan Penjelasan Titik Studi (Node)

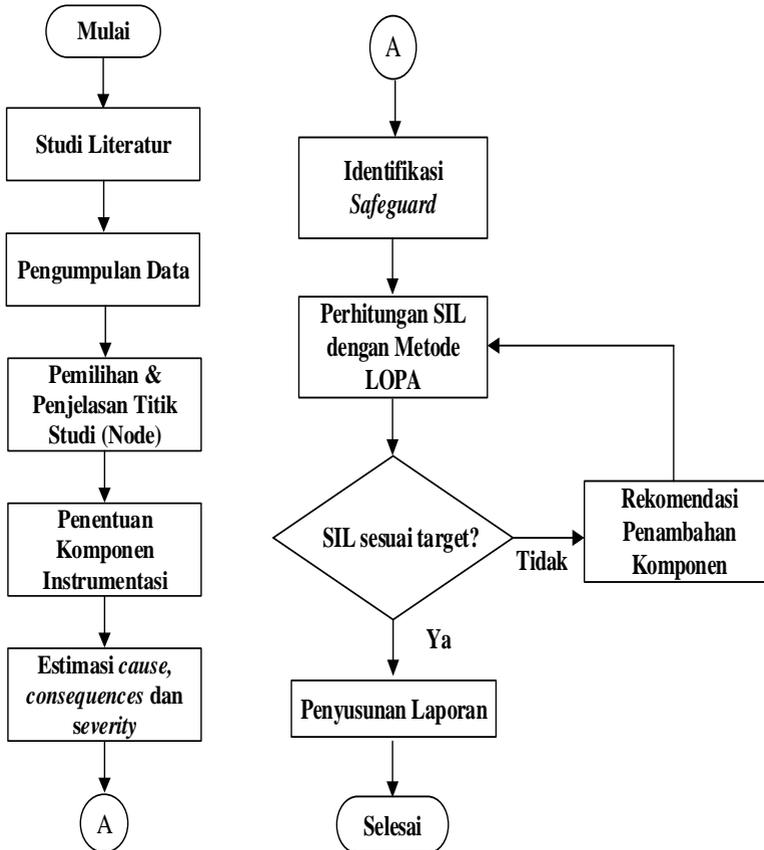
Node adalah pemisahan suatu unit proses menjadi beberapa bagian agar studi dapat dilakukan lebih terorganisir. Bertujuan untuk membantu dalam menguraikan dan mempelajari suatu bagian proses. Memilih titik studi berdasarkan pada komponen-komponen yang menjadi titik penting dan memengaruhi proses pada *boiler*. Penjelasan proses pada titik studi digunakan untuk mengetahui karakteristik dari proses utama yang terjadi, berupa *input*, proses, dan juga *output*. Pemilihan dan penjelasan proses diketahui dengan melihat P&ID dan PFD.

3.4 Penentuan Komponen Instrumentasi

Dari tiap titik studi yang ada, ditentukan komponen mana yang harus dalam keadaan baik guna mengatur proses di unit tersebut, dari mulai *input* yang menjadi bahan untuk proses, kemudian bagaimana proses pengolahan bahan baku yang terjadi, dan bagaimana *output* yang dihasilkan. Komponen tersebut terdiri

dari *transmitter*, *indicator*, *controller* maupun *actuator* yang disertakan dalam *tag number* yang ada di P&ID.

Berikut ini merupakan tata laksana penelitian yang meliputi rangkaian logis penyelesaian masalah. Tata laksana tersebut digambarkan pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 *Flow chart* penelitian

3.5 Estimasi *Causes* dan *Consequences*

Tiap komponen dalam sebuah proses tentunya memiliki risiko. Salah satu komponen risiko dari skenario kecelakaan adalah *cause* dan *consequences*. Dalam LOPA, *cause* dan *consequences* diperkirakan berdasarkan tingkat keparahan. *Cause* adalah penyebab dari suatu kejadian yang mengalami penyimpangan. *Consequences* adalah akibat yang tidak diinginkan. Salah satu keputusan yang harus dibuat ketika memilih untuk mengimplementasikan LOPA adalah menentukan titik akhir dari *consequences*. Metode yang digunakan untuk mengkategorikan *consequences* harus konsisten dengan kriteria risiko yang dapat ditolerir perusahaan.

3.6 Penentuan *Risk Ranking*

Parameter *consequence* menunjukkan tingkat dampak bahaya yang diakibatkan karena adanya risiko penyimpangan dari keadaan yang diinginkan atau operasi yang diluar kendali. Tinjauan yang dilakukan berdasarkan dampak serta pengaruhnya terhadap aktivitas pabrik dan produksi. Standar dalam menentukan *consequence* dan *likelihood* mengikuti standar kriteria profil konsekuensi pabrik III PT. Petrokimia Gresik pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kriteria *Consequence* PT. Petrokimia Gresik

Ranking		Deskripsi
1	<i>Insignificant</i>	Sumber risiko (unsur/komponen/objek dalam beraktivitas) tidak berdampak sama sekali, akibatnya tidak signifikan terhadap kelangsungan aktivitas, sehingga aktivitas tetap terlaksana
2	<i>Minor</i>	Sumber risiko (unsur/komponen/objek dalam beraktivitas) berdampak kecil, akibatnya kecil terhadap kelangsungan aktivitas, sehingga aktivitas tetap masih terlaksana

Tabel 3.1 Kriteria Consequence PT. Petrokimia Gresik (lanjutan)

Ranking		Deskripsi
3	<i>Moderate</i>	Sumber risiko (unsur/komponen/objek dalam beraktivitas) berdampak sedang, akibatnya sedang terhadap kelangsungan aktivitas, sehingga aktivitas tetap masih terlaksana
4	<i>Major</i>	Sumber risiko (unsur/komponen/objek dalam beraktivitas) berdampak besar, akibatnya cukup signifikan terhadap kelangsungan aktivitas, namun aktivitas masih dapat terlaksana walaupun tidak optimal
5	<i>Catastrophic</i>	Sumber risiko (unsur/komponen/objek dalam beraktivitas) berdampak sangat besar, akibatnya sangat signifikan terhadap kelangsungan aktivitas, sehingga aktivitas tidak dapat terlaksana

Likelihood merupakan peluang risiko terjadinya bahaya pada komponen. Parameter *likelihood* yang digunakan mengikuti standar kriteria *likelihood* dari Departemen Produksi III PT. Petrokimia Gresik yang dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Kriteria *Likelihood* PT. Petrokimia Gresik

Ranking		Deskripsi
1	<i>Brand New Excellent</i>	Risiko jarang sekali muncul frekuensi kejadian kurang dari 4 kali dalam 10 tahun
2	<i>Very Good / Good Serviceable</i>	Risiko terjadi antara 4-6 kali dalam 10 tahun
3	<i>Acceptable</i>	Risiko terjadi antara 6-8 kali dalam 10 tahun
4	<i>Below Standart / Poor</i>	Risiko terjadi antara 8-10 kali dalam 10 tahun
5	<i>Bad / Unacceptable</i>	Risiko terjadi lebih dari 10 kali dalam 10 tahun

Parameter *risk ranking* merupakan perkalian antara *likelihood* dengan *consequence*.

$$\text{Risk} = \text{Consequence (C)} \times \text{Likelihood (L)} \quad (3.1)$$

Risk ranking yang dihimpun dari PT. Petrokimia Gresik ditampilkan pada Tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3 Risk Ranking PT. Petrokimia Gresik

<i>Likelihood</i>	Consequence				
	1 <i>Insignificant</i>	2 <i>Minor</i>	3 <i>Moderate</i>	4 <i>Major</i>	5 <i>Catastrophic</i>
1 <i>Brand New Excellent</i>	L1	L2	L3	L4	M5
2 <i>Good</i>	L2	L4	M6	M8	M10
3 <i>Acceptable</i>	L3	M6	M9	M12	H15
4 <i>Poor</i>	L4	M8	M12	H16	H20
5 <i>Unacceptable</i>	M5	M10	H15	H20	H25

Keterangan:

L = *low risk*

M = *moderate risk*

H = *high risk*

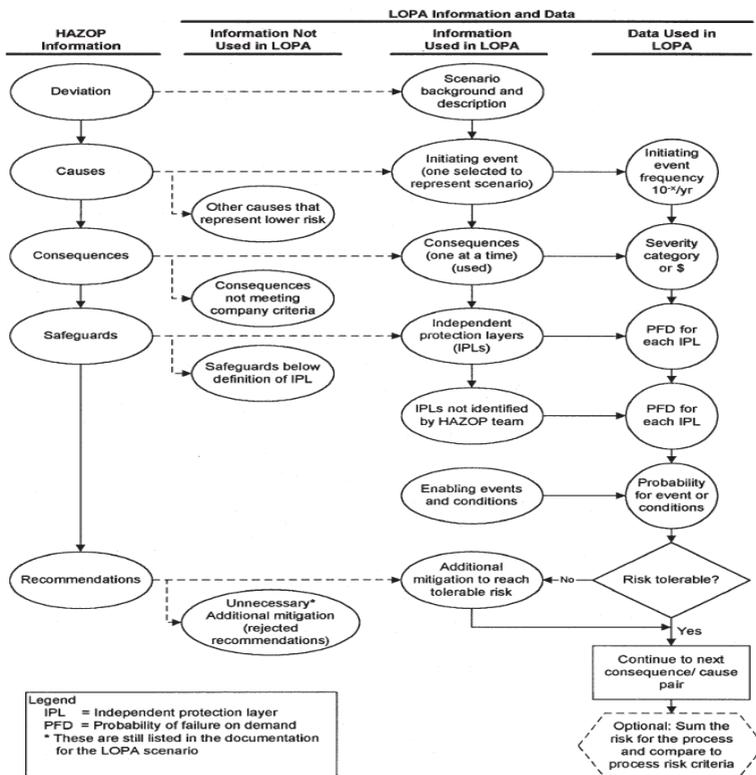
3.7 Identifikasi *Safeguard*

Setelah skenario diidentifikasi, skenario harus dikembangkan. Langkah berikutnya dalam mengembangkan skenario adalah untuk mengidentifikasi *safeguard* yang ada pada

tempatya, jika beroperasi sebagaimana yang diharapkan, mungkin mencegah skenario berlanjut pada *consequence*. *Safeguard* merupakan fasilitas yang membantu untuk mengurangi frekuensi terjadinya penyimpangan atau untuk mengurangi konsekuensinya. Pada prinsipnya, terdapat lima jenis *safeguard* yaitu:

- *safeguard* untuk mengidentifikasi penyimpangan (misalnya detektor dan alarm, dan deteksi operator manusia).
- *safeguard* untuk mengimbangi deviasi (misalnya, sistem kontrol otomatis yang dapat mengurangi umpan (*feed*) ke kapal dalam kasus *overflowing*. *Safeguard* jenis ini biasanya merupakan bagian terpadu dari proses kontrol).
- *safeguard* untuk mencegah penyimpangan terjadi (misalnya, sebuah *inert gas blanket* pada tangki penyimpanan zat yang mudah terbakar).
- *safeguard* untuk mencegah eskalasi (kenaikan) lebih lanjut dari penyimpangan (misalnya, akumulasi *trip* dari proses. Fasilitas ini sering saling berhubungan dengan beberapa unit dalam proses, biasanya dikontrol oleh komputer).
- *safeguard* untuk meringankan proses dari deviasi berbahaya (misalnya, katup pengaman tekanan berupa PSV dan sistem pembuangan)

Estimasi *cause*, *consequences*, *risk ranking* dan *safeguard* terdapat dalam HAZOP (*Hazard and Operability*). Pengisian kolom-kolom pada tabel LOPA, sebagian merupakan transformasi dari kolom-kolom pada tabel HAZOP yang terisi. Data pada HAZOP yang dipakai diantaranya *deviation*, *cause*, *consequences*, *safeguard* dan *recommendation*. Berikut merupakan gambar transformasi kolom dari tabel HAZOP menjadi kolom tabel LOPA disajikan dalam Gambar 3.3.



Gambar 3.2 Informasi HAZOP dan LOPA (CCPS, 2001)

3.8 Perhitungan SIL dengan Metode LOPA

3.8.1 Perhitungan *initiation cause likelihood*

Initiation cause likelihood merupakan kemungkinan penyebab awal itu terjadi dalam rentang waktu satu tahun. Pada tahap ini diidentifikasi penyebab awal dari skenario dan menentukan berapa frekuensi kejadian per tahun yang dialami oleh suatu komponen tersebut. Dengan menggunakan persamaan pada buku *Chemical Process Safety*, Daniel A, Crawl dan Josep F.Louvar, 2002. Langkah pertama adalah menentukan MTTF dari suatu komponen tersebut. MTTF adalah nilai rata-rata dari jumlah

waktu kejadian kegagalan dibagi dengan jumlah kegagalan itu sendiri. MTTF dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$MTTF = \frac{\sum TTF}{n TTF} \quad (3.2)$$

Selanjutnya menghitung *failure rate* tiap jam dan *failure rate* tiap tahun melalui persamaan berikut:

$$\lambda/\text{jam} = \frac{1}{MTTF} \quad (3.3)$$

$$\lambda/\text{tahun} = \frac{\lambda}{\text{jam}} \times 24 (\text{jam}) \times 365 (\text{hari}) \quad (3.4)$$

Langkah ketiga, dihitung nilai *reliability* menggunakan distribusi eksponensial dan serta penentuan nilai *initiation cause likelihood* (ICL) melalui persamaan berikut

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (3.5)$$

$$ICL = 1 - R(t) \quad (3.6)$$

3.8.2 Identifikasi *Independent Protection Layer* (IPL)

Pada tahap ini melakukan identifikasi terhadap tiap-tiap lapisan pelindung dari *boiler* B-6203 dan menghitung PFD dari tiap lapisan pelindung. Lapisan pelindung yang digunakan dalam LOPA meliputi IPL aktif dan pasif. Pada umumnya IPL aktif disediakan dengan perlindungan tingkat tinggi dapat berupa sistem atau tindakan yang langsung diambil oleh operator yang selalu bergerak dari satu posisi ke posisi lain sebagai respon terhadap perubahan seperti proses yang terukur atau sinyal dari sumber lainnya. Hal ini berbeda halnya dengan IPL pasif yang hanya memberi perlindungan tinggi namun tidak terdapat tindakan yang dapat mengurangi risiko, contohnya parit, tanggul, tembok tinggi, dan lainnya.

Nilai PFD akan bernilai 1 apabila tidak terdapat lapisan pelindung tersebut. Apabila terdapat lapisan pelindung tersebut, maka dapat dicari PFD lapisan tersebut menggunakan referensi yang ada. Jika kriteria IPL sudah tercapai maka PFD dikalikan dalam tabel *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. Nilai PFD dari masing-masing IPL ditunjukkan pada Tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.4 Nilai PFDs untuk IPLs pada proses secara umum (CCPS, 2001)

No	IPL	PFD
1	Sistem pengendalian proses dasar, jika tidak terkait dengan penyebab awal yang dipertimbangkan	1.10^{-1}
2	Alarm operator dengan waktu yang cukup untuk merespon	1.10^{-1}
3	<i>Relief valve</i>	1.10^{-2}
4	<i>Rupture disk</i>	1.10^{-2}
5	Flame / detonation arrestors	1.10^{-2}
6	Tanggul (bund/dike)	1.10^{-2}
7	Sistem drainase bawah tanah	1.10^{-2}
8	Saluran udara terbuka (<i>open vent</i>)	1.10^{-2}
9	Anti api (<i>fireproofing</i>)	1.10^{-2}
10	Dinding penahan ledakan/lubang perlindungan (<i>Blast-wall/bunker</i>)	1.10^{-3}
11	Alat cadangan yang identik (<i>redundant</i>)	1.10^{-1} (<i>maximum credit</i>)
12	Alat cadangan yang berbeda	$1.10^{-1} - 1.10^{-2}$

Tabel 3.4 Nilai PFDs untuk IPLs pada proses secara umum
(lanjutan)

No	IPL	PFD
13	Kejadian lain	Berdasarkan pengalaman personal
14	SIS dengan SIL 1	1.10^{-1} - 1.10^{-2}
15	SIS dengan SIL 2	1.10^{-2} - 1.10^{-3}
16	SIS dengan SIL 3	1.10^{-3} - 1.10^{-4}
17	Trip pengaman mekanikal internal yang independen terhadap SIS	1.10^{-1} - 1.10^{-2}
18	Katup satu arah (NRV) atau <i>check valve</i>	1.10^{-1}
19	“ <i>Inherently Safe</i> ” Design	1.10^{-2}

3.8.3 Menghitung *Intermediate Event Likelihood* (IEL)

Tahap selanjutnya adalah menghitung nilai IEL. IEL merupakan kemungkinan kejadian menengah yang sesuai dengan *severity level*. Nilai dari *safeguard plant boiler* (B-6203) 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 *plant boiler* (B-6203). Perhitungan ini dilakukan dengan acuan *node* pada *Hazard Operability* (HAZOP) *boiler* (B-6203). Hasil dari perhitungan akan menjadi nilai *probability failure on demand* (PFD).

$$IEL = ICL \times PFD_{GPD} \times PFD_{BPCS} \times PFD_{AR} \times PFD_{AMR} \times PFD_{AMD} \quad (3.7)$$

Dimana:

ICL	= <i>initiating causes likelihood</i>
PFD _{GPD}	= Nilai PFD <i>general process design</i>
PFD _{BPCS}	= Nilai PFD <i>basic process control system</i>
PFD _{AR}	= Nilai PFD alarms dan respon dari operator
PFD _{AMR}	= Nilai PFD <i>additional restricted access</i>
PFD _{AMD}	= Nilai PFD <i>additional mitigation dike</i>

3.8.4 Penentuan *Target Mitigated Event Likelihood* (TMEL)

Untuk menentukan PFD dengan metode LOPA, yaitu dengan cara membagi nilai *Target Mitigated Event Likelihood* (TMEL). Target pengurangan kemungkinan kejadian merupakan nilai yang ditentukan oleh manajemen perusahaan mengenai target pencegahan kemungkinan bahaya yang terjadi dari suatu konsekuensi. Apabila nilai dari $IEL \leq TMEL$ tidak diperlukan pengurangan risiko. Nilai TMEL ditampilkan pada Tabel 3.5 berikut ini.

Tabel 3.5 *Target Mitigated Event Likelihood* (TMEL) (Lassen, 2008 mengacu pada Nordhagen (2007))

Severity Level	Safety Consequences	Target Mitigated Event Likelihood/year
C _A	Satu orang mengalami cedera (<i>single first aid injury</i>)	3,E-02
C _B	Banyak orang mengalami cedera (<i>multiple first aid injuries</i>)	3,E-03
C _C	Satu orang mengalami cacat fisik atau banyak orang mengalami cedera serius (<i>single disabling injury or multiple serious injuries</i>)	3,E-04

Tabel 3.5 *Target Mitigated Event Likelihood (TMEL) (lanjutan)*

C_D	Kematian tunggal di lokasi kejadian (<i>single on-site fatality</i>)	3,E-05
C_E	Kematian lebih dari satu sampai tiga di lokasi kejadian (<i>more than one and up to three on-site fatalities</i>)	1,E-05

Setelah menentukan TMEL dan IEL dari hasil perkalian dari masing-masing lapisan pelindung, maka akan didapatkan PFD_{AVG} .

$$PFD_{AVG} = \frac{TMEL}{IEL} \quad (3.8)$$

Nilai PFD_{AVG} ini adalah nilai PFD yang disesuaikan dengan nilai SIL berdasarkan ketentuan IEC 61511. Nilai SIL ditampilkan pada Tabel 3.5 berikut ini.

Tabel 3.6 Kategori *Safety Integrity Level (SIL) (IEC 61511)*

SIL	PFD	RRF
4	$\geq 10^{-5}$ s/d 10^{-4}	> 100000 s/d ≤ 10000
3	$\geq 10^{-4}$ s/d 10^{-3}	> 10000 s/d ≤ 1000
2	$\geq 10^{-3}$ s/d 10^{-2}	> 1000 s/d ≤ 100
1	$\geq 10^{-2}$ s/d 10^{-1}	> 100 s/d ≤ 10

3.9 Rekomendasi penurunan risiko

Pada tahap ini dipaparkan hasil evaluasi dan memberikan rekomendasi jika diperlukan untuk menurunkan risiko dan meningkatkan SIL dari unit *boiler*. Rekomendasi dipengaruhi hasil perhitungan PFD dari masing-masing SIS atau dengan menambahkan komponen pada *protection layer* yang belum mampu mereduksi risiko.

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan berupa data *Piping and Instrumentation Diagram* (P&ID), data *Process Flow Diagram* (PFD), data *historical maintenance*, data HAZOP (*Hazard and Operability*) dan data proses dari *boiler*.

4.2 Pemilihan dan Penjelasan Titik Studi (Node)

Unit yang dipilih untuk dilakukan analisis bahaya pada tugas akhir ini adalah *boiler* (B-6203). Unit *boiler* berfungsi untuk menghasilkan uap panas yang sudah kering untuk menggerakkan turbin yang dihubungkan dengan generator. Dari generator ini dapat membangkitkan listrik yang akan dipasok untuk pabrik III PT. Petrokimia Gresik.

Di dalam unit *boiler*, terdapat dua *node* yang masing-masing memiliki peran penting dalam menghasilkan *steam* guna membangkitkan tenaga listrik. *Node* adalah pemisahan suatu unit proses menjadi beberapa bagian agar studi dapat dilakukan lebih terorganisir. Bertujuan untuk membantu dalam menguraikan dan mempelajari suatu bagian proses. *Node* yang diambil pada *boiler* (B-6203) ini adalah *steam drum* dan *gas burner*.

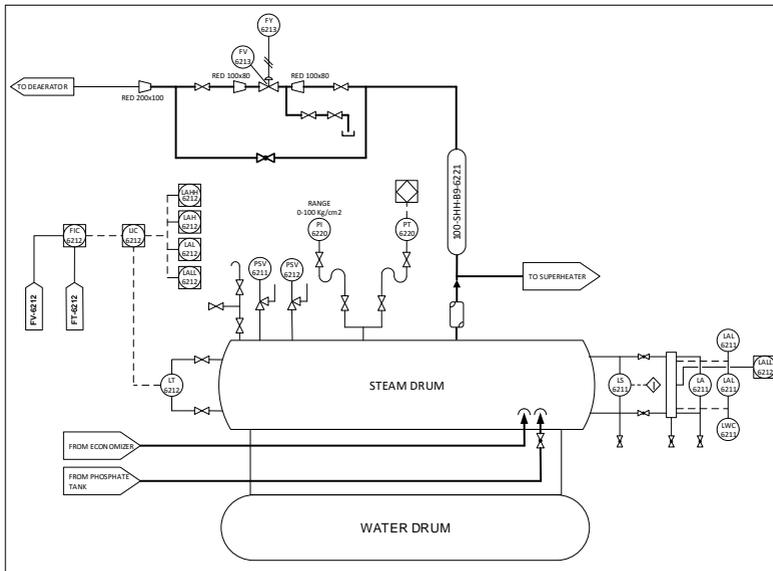
4.3 Steam Drum

Steam drum merupakan salah satu komponen pada *boiler* pipa air yang berfungsi sebagai reservoir campuran air dan uap air, dan juga berfungsi untuk memisahkan uap air dengan air pada proses pembentukan uap *superheater*.

4.3.1 Proses pada Steam Drum

Fluida yang telah melalui proses di *economizer* masuk ke dalam *steam drum*. Di dalam *steam drum*, uap air ini mendapatkan panas dari sisa *gas burner*. Pada *steam drum* level dari fase yang terbentuk yaitu 55% *saturated steam* dan 45% air yang mendidih. Pada fase air akan menempati tempat di bagian bawah *steam drum*

yang nantinya akan didistribusikan ke *drum* yang lebih rendah (*water drum*) dan *header* dengan pipa yang disebut *downcomers*. *Steam* basah yang dihasilkan akan menempati posisi diatas karena perbedaan densitas (massa jenis) dimana air memiliki massa jenis yang lebih tinggi daripada gas. *Saturated steam* yang mengalami fase *saturated* tersebut selanjutnya akan menuju ke *superheater* untuk diproses kembali sampai menghasilkan uap kering (*superheated steam*) dan digunakan untuk menggerakkan turbin yang disambungkan dengan generator. P&ID dari *steam drum* ditunjukkan pada Gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4.1 P&ID *steam drum*

4.3.2 Komponen Instrumentasi

Terdapat beberapa komponen instrumentasi utama dalam *steam drum* yang membantu proses didalamnya, yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 Komponen Instrumen pada *Steam Drum*

<i>Node</i>	Jenis Komponen Instrumen	Tag Number Komponen
<i>Steam Drum</i>	Sensor	<ul style="list-style-type: none"> • LT 6212 • PT 6220
	<i>Controller</i>	<ul style="list-style-type: none"> • FIC 6212 (<i>cascade</i>) • LIC 6212 (<i>cascade</i>)
	<i>Actuator</i>	<ul style="list-style-type: none"> • FV 6212 (<i>cascade</i>)
	<i>Safety System</i>	<ul style="list-style-type: none"> • PSV 6211 • PSV 6212 • LALL 6212 • LAL 6212 • LAH 62212 • LAHH 6212
	<i>Interlock Switch</i>	<ul style="list-style-type: none"> • LS 6211

4.3.3 Estimasi *Causes and Consequences*

Estimasi *Cause and Consequences* dari *Node Steam Drum* ditampilkan pada Tabel 4.2 berikut ini:

Tabel 4.2 Analisis *Cause and Consequences Node Steam Drum*

<i>Instrument</i>	<i>Guide Word</i>	<i>Deviation</i>	<i>Causes</i>	<i>Consequence</i>
LT 6212	<i>Less</i>	<i>Less Level</i>	<i>Less boiling water from P-6213 A/B so that drum level is -10 cm/ 30%</i>	<i>Overheating in tube wall and drum</i>

Tabel 4.2 Analisis *Cause and Consequences* Node Steam Drum (lanjutan)

<i>Instrument</i>	<i>Guide Word</i>	<i>Deviation</i>	<i>Causes</i>	<i>Consequence</i>
LT 6212	<i>More</i>	<i>More Level</i>	<i>More boiling water from P-6213 A/B so that drum level is 10 cm/ 75%</i>	<i>Steam temperature can not be reached</i>
		<i>Less Pressure</i>	<i>If pressure of boiling water in drum less than 35 Kg/cm²</i>	<i>Leads to low generation.</i>
PT 6220	<i>More</i>	<i>More Pressure</i>	<i>If pressure of boiling water in drum more than 39,8 Kg/cm²</i>	<i>Carrying over of wet steam to turbine and lead turbine corrosion</i>

4.4 Gas Burner

Gas Burner adalah peralatan konversi energi bahan bakar gas menjadi panas dengan cara oksidasi atau pembakaran. Dengan bahasa yang lebih sederhana, *burner* adalah kompor yang berfungsi untuk memberikan pemanasan dengan temperatur yang tinggi pada *furnace* (tungku pembakaran).

Tabel 4.3 Komponen Instrumen pada *Gas Burner*

<i>Node</i>	Jenis Komponen Instrumen	Tag Number Komponen	
<i>Gas Burner</i>	Sensor	<ul style="list-style-type: none"> • TT 6217 • FT 6217 • PT 6217 	
	<i>Controller</i>	<ul style="list-style-type: none"> • FIC 6217 	
	<i>Actuator</i>		<ul style="list-style-type: none"> • PV 6217 • FV 6217
			<ul style="list-style-type: none"> • SV 6214 • SV 6215 • SV 6230
		<i>Safety System</i>	<ul style="list-style-type: none"> • PSH 6213 • PAH 6213

4.4.3 Estimasi Causes and Consequences

Estimasi *Cause and Consequences* dari *Node Gas Burner* ditampilkan pada Tabel 4.4 berikut ini.

Tabel 4.4 Analisis *Causes and Consequences Node Gas Burner*

<i>Instrument</i>	<i>Guide Word</i>	<i>Deviation</i>	<i>Causes</i>	<i>Consequence</i>
FT 6217	<i>Less</i>	<i>Less Flow</i>	(i) <i>Malfunctioning of natural gas shut valve</i>	<i>Causes incomplete combustion in the furnace</i>
			(ii) <i>Low pipeline flow rate</i>	
	<i>More</i>	<i>More Flow</i>	(i) <i>Malfunctioning of natural gas shut valve</i>	<i>(i) Causes incomplete combustion in the furnace</i>

Tabel 4.4 Analisis *Causes and Consequences Node Gas Burner* (lanjutan)

<i>Instrument</i>	<i>Guide Word</i>	<i>Deviation</i>	<i>Causes</i>	<i>Consequence</i>
FT 6217	<i>More</i>	<i>More Flow</i>	(ii) <i>High pipeline flow rate</i>	(ii) <i>Unit loss due to excess gas flow at fire</i>
PT 6217	<i>More</i>	<i>More Pressure</i>	(i) <i>High pipeline pressure more than 2,8 Kg/cm²</i> (ii) <i>Malfunctioning of natural gas shut valve.</i>	<i>Boiler trip</i>
	<i>Less</i>	<i>Less Pressure</i>	<i>Low pipeline pressure less than 1,15 Kg/cm²</i>	<i>Trip burner at that level thereby tripping the unit</i>

4.5 Perhitungan *Layer of Protection Analysis (LOPA)*

Protection layer pada LOPA terdiri atas banyak IPL, diantaranya *general process design, basic process control system (BPCS), alarm, additional mitigation (restricted access)* dan *additional mitigation dikes/pressure relief*. *General process design* untuk beberapa perusahaan, diasumsikan bahwa beberapa skenario tidak dapat terjadi karena desain yang aman pada peralatan dan proses. Pada perusahaan lainnya, beberapa fitur pada desain proses yang *aman* dianggap *nonzero* PFD masih terjadi, artinya masih mungkin mengalami kegagalan. BPCS merupakan salah satu *protection layer* yang berfungsi agar sistem sesuai *set point*, meliputi kendali manual, level perlindungan pertama selama operasi normal. *Alarm* 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. *Additional mitigation (restricted access)* dan *additional mitigation dikes/pressure relief* merupakan *protection layer* yang bersifat mekanikal, struktural atau sesuai prosedur yang bertujuan mencegah atau menjaga terjadinya bahaya awal.

Dalam menghitung *Intermediate Event Likelihood (IEL)* terlebih dahulu dihitung *Initiation Cause Likelihood (ICL)*. Nilai ICL dihitung melalui bagian 3.8.3. Nilai ICL untuk setiap dampak di boiler (B-6203) ditampilkan dalam tabel 4.5. berikut.

Tabel 4.5 Perhitungan ICL

No	Impact Event Description	Severity Level	Initiating Cause	Initiation Likelihood
1	Overheating in tube wall and drum	CE	Less boiling water from P6213 A/B so that drum level is -10 cm/30%	0.708
2	Steam temperature can not be reached	CE	More boiling water from P6213 A/B so that drum level is 10 cm/ 75%	0.708
3	Leads to low generation.	CE	If pressure of boiling water in drum less than 35 Kg/cm ²	0.426
4	Carrying over of wet steam to turbine and lead turbine corrosion	CE	If pressure of boiling water in drum more than 39,8 Kg/cm ²	0.426

Tabel 4.5 Perhitungan ICL (lanjutan)

5	<i>Causes incomplete combustion in the furnace</i>	CE	<i>(i) Malfunctioning of natural gas shut valve (ii) Low pipeline flow rate</i>	0.678
6	<i>(i) Causes incomplete combustion in the furnace (ii) Unit loss due to excess gas flow at fire</i>	CE	<i>(i) Malfunctioning of natural gas shut valve (ii) High pipeline flow rate</i>	0.678
7	<i>Boiler trip</i>	CE	<i>(i) High pipeline pressure more than 2,8 Kg/cm² (ii) Malfunctioning of natural gas shut valve.</i>	0.579
8	<i>Trip burner at that level thereby tripping the unit</i>	CE	<i>Low pipeline pressure less than 1,15 Kg/cm²</i>	0.579

Selanjutnya, dilakukan perhitungan IEL dan penentuan nilai SIL. Perhitungan IEL berdasarkan persamaan 3.7, perhitungan nilai SIL berdasarkan persamaan 3.8.

Terdapat 8 skenario kejadian yang terjadi pada *boiler* (B-6203) ini. Masing-masing memiliki 4 skenario untuk *node* pada *steam drum* dan *gas burner*. Nilai PFD dari IPL pada tiap skenario berbeda-beda nilainya, bergantung pada ada atau tidaknya komponen pendukung tersebut pada *Piping and Instrumentation Diagram* (P&ID).

Tabel LOPA dibawah ini merepresentasikan nilai IEL yang merupakan perkalian antara *initiation cause likelihood* dan masing-masing *protection layers*. Protection layer yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya *general process design, basic process control system, alarm, additional mitigation restricted access*, dan *additional mitigation dikes, pressure relief*.

Keterangan pada Tabel 4.6:

IED ¹	= <i>Impact Event Description</i>
SL ²	= <i>Severity Level</i>
IC ³	= <i>Initiating Cause</i>
ICL ⁴	= <i>Initiation Cause Likelihood</i>
GPD ⁵	= <i>General Process Design</i>
AI ⁶	= <i>Alarm</i>
AMR ⁷	= <i>Additional Mitigation Restricted Access</i>
AMD ⁸	= <i>Additional Mitigation Dikes, Pressure Relief</i>
IEL ⁹	= <i>Intermediate Event Likelihood</i>
TMEL ¹⁰	= <i>Target Mitigated Event Likelihood</i>
PFD ¹¹	= <i>Probability Failure on Demand</i>

Table 4.6 Worksheet Layer of Protection Analysis

IED ¹	SL ²	IC ³	ICL ⁴	Protection Layers (PLs)					IEL ⁹	TMEL ¹⁰	PFD ¹¹	Note
				GPD ⁵	BPCS	AI ⁶	AMR ⁷	AMD ⁸				
Overheating in tube wall and drum	CE	Less boiling water from P-6213 A/B (-10 cm) / 30%	0.708	0.01	0.1	0.1	1	1	7.1E-05	1E-05	0.14129	SIL0
Steam temperature can not be reached	CE	More boiling water from P-6213 A/B (10 cm) / 75%	0.708	0.01	0.1	0.1	1	1	7.1E-05	1E-05	0.14129	SIL0
Leads to low generation.	CE	If pressure of boiling water in drum less than 35 Kg/cm ²	0.426	0.01	0.1	1	1	1	4.3E-04	1E-05	0.02349	SIL1
Carrying over of wet steam to turbine and lead turbine corrosion	CE	If pressure of boiling water in drum more than 39,8 Kg/cm ²	0.426	0.01	0.1	1	1	0.001	4.3E-07	1E-05	23.4924	NR

Tabel 4.6 Worksheet Layer of Protection Analysis (lanjutan)

IED ¹	SL ²	IC ³	ICL ⁴	Protection Layers (PLs)					IEL ⁹	TMEL ¹⁰	PFD ¹¹	Note
				GPD ⁵	BPCS	AI ⁶	AMR ⁷	AMD ⁸				
Causes incomplete combustion in the furnace	CE	(i) Malfunctioning of natural gas shut valve	0.678	0.01	0.1	0.1	1	1	6.8E-05	1E-05	0.14755	SIL0
		(ii) Low pipeline flow rate										
(i) Causes incomplete combustion in the furnace	CE	(i) Malfunctioning of natural gas shut valve	0.678	0.01	0.1	0.1	1	1	6.8E-05	1E-05	0.14755	SIL0
		(ii) High pipeline flow rate										

Tabel 4.6 Worksheet Layer of Protection Analysis (lanjutan)

IED ¹	SL ²	IC ³	ICL ⁴	Protection Layers (PLs)					IEL ⁹	TMEL ¹⁰	PFD ¹¹	Note
				GPD ⁵	BPCS	AI ⁶	AMR ⁷	AMD ⁸				
Boiler trip	CE	(i) High pipeline pressure more than 2,8 Kg/cm ²	0.579	0.01	0.1	0.1	1	1	5.8E-05	1E-05	0.17280	SILO
		(ii) Malfunctioning of natural gas										
Trip burner at that level thereby tripping the unit	CE	Low pipeline pressure less than 1,15 Kg/cm ²	0.579	0.01	0.1	0.1	1	1	5.79E-05	1E-05	0.17280	SILO

General Process Design adalah salah satu *protection layer* dimana desain P&ID perusahaan bernilai 0.01. Nilai 0.01 berarti *protection layers* ini dirancang memiliki kegagalan satu kali dalam jangka waktu seratus tahun.

Basic Process Control System (BPCS) adalah *protection layer* dimana pada umumnya terbuat dari kontrol PID yang berfungsi menjaga kondisi proses pada lingkup yang aman (sesuai *set point*).

Alarm adalah pesan peringatan ketika terjadi penurunan/kenaikan dan kegagalan dari suatu proses. Jika tidak terdapat BPCS atau alarm diberi nilai 1, jika ada maka dicari nilai *probability failure on demand* dari BPCS dan alarm tersebut.

Additional Restricted Access dapat berupa tanda larangan masuk daerah terbatas, namun pada *plant* tidak dapat diterapkan karena di daerah tersebut terdapat banyak manusia yang bekerja. Oleh karena itu diberikan nilai 1.

Additional Restricted Dikes/Bunds atau dapat berupa *relief valve*. *Relief valve* adalah katup yang bekerja untuk membatasi tekanan dan mengatur apabila ada tekanan berlebih dengan membuka katup dimana selanjutnya fluida tersebut dapat dibuang atau dikembalikan ke *reservoir*. Terdapat dua buah *relief valve* pada *steam drum* yang bekerja pada tekanan 39,8 Kg/cm² untuk PSV-6211 dan 42,3 Kg/cm² untuk PSV-6212. Oleh karena itu nilai PFD ini menjadi 0,001 (CCPS, 2015)

Hasil dari analisis LOPA pada Tabel 4.6 diatas di peroleh PFD target yang masuk kedalam golongan No SIL berjumlah satu *impact event*, sedangkan SIL 0 berjumlah enam *impact event* dan SIL 1 berjumlah satu *impact event*.

4.6 Rekomendasi Penurunan Resiko

Perlu adanya pengembangan SIL pada *impact event* yang memiliki nilai SIL 1, karena pada *impact event* tersebut belum memiliki alarm. *Impact event* tersebut terdapat pada skenario ketiga dengan instrumen PT-6220 yang terletak di *steam drum*.

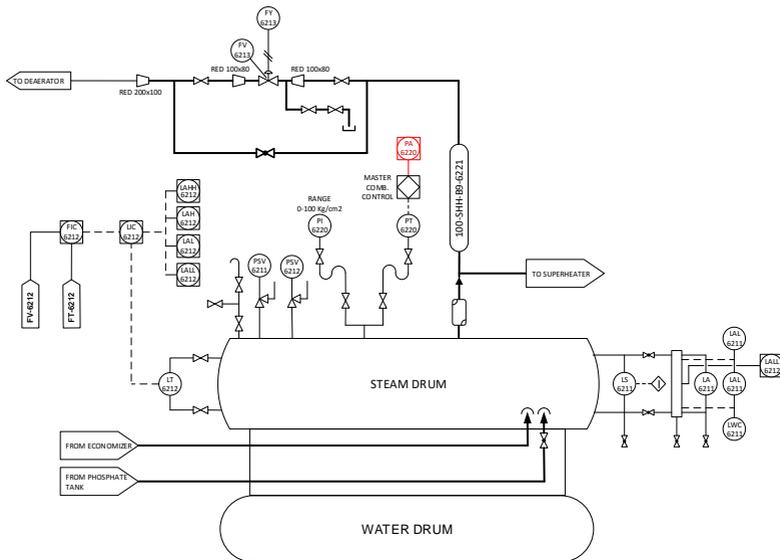
Pada instrumen *pressure transmitter* PT-6220, penambahan alarm *low pressure* maupun *high pressure* pada *steam drum*, dimana nilai PFD dari alarm (CCPS, 2001) adalah 0,1 sehingga nilai SIL yang didapatkan SIL 0. Dengan SIL 0 ini berarti bahwa tiap lapisan pelindung ini mampu mereduksi resiko yang berbahaya dari *steam drum*. Penambahan instrumen yang akan dipasang adalah *pressure alarm low* (PAL) dan *pressure alarm high* (PAH) dengan terhubung dengan *master combustion control* dan juga terhubung dengan *pressure transmitter*. Fungsi utama dari *pressure transmitter* sendiri adalah *check and balance* pada suatu proses dalam dunia industri. Dengan adanya *pressure transmitter* ini, tentu saja kita dapat memeriksa seberapa besar tekanan yang sedang berlangsung dalam suatu proses, apakah tekanan yang ada ini telah melampaui ketentuan ataukah kekurangan sehingga dapat membahayakan suatu proses dalam industri.

Perhitungan dengan penambahan IPL berupa alarm akan menghasilkan nilai SIL 0 seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.7 berikut ini.

Tabel 4.7 *Worksheet Layer of Protection* dengan penambahan alarm

IED ¹	SL ²	IC ³	ICL ⁴	Protection Layers (PLs)					IEL ⁹	TMEL ¹⁰	PFD ¹¹	Note
				GPD ⁵	BPCS	AI ⁶	AMR ⁷	AMD ⁸				
<i>Leads to low generation.</i>	CE	<i>If pressure of boiling water in drum less than 35 Kg/cm²</i>	0.426	0.01	0.1	0.1	1	1	4.256E-05	1E-05	0.23492	SIL0

Penambahan alarm pada P&ID *steam drum* ditampilkan pada Gambar 4.3 berikut ini.



Gambar 4.3 P&ID rekomendasi dengan penambahan alarm

Pada gambar diatas, penambahan alarm ditampilkan dengan warna merah. Alarm terhubung dengan PLC (*logic solver*) dan PLC tersebut terhubung ke *transmitter*. Penambahan alarm ini dapat diatur untuk *low* maupun untuk *high*, namun pada kasus ini lebih diutamakan pada skenario *low pressure* pada *steam drum*.

Pada *protection layer* alarm, penambahan alarm ini juga harus mempertimbangkan tindakan dari operator itu sendiri. Alarm berguna untuk memberi sinyal. Sinyal alarm dapat berupa *audible* (suara) atau *visible* (cahaya), sehingga apabila terjadi bahaya dan kerusakan ataupun kejadian yang tidak diharapkan pada suatu proses dapat memberikan peringatan secara jelas agar diantisipasi. Apabila alarm hanya berbunyi atau memancarkan cahaya tanpa adanya peran operator maka alarm akan menjadi tidak berguna. Oleh karena itu, dalam penambahan alarm ini diperlukan juga

operator terlatih yang bekerja harus sesuai dengan *Standard Operation Procedure (SOP)*.

Kelebihan alarm adalah dapat memberikan peringatan dini terhadap bahaya yang akan terjadi sehingga manusia dapat mengantisipasi dan meminimalisir korban jiwa maupun kerugian. Kekurangan alarm adalah alarm merupakan alat yang mampu menyebabkan reaksi positif dan negatif pada manusia. Orang yang mendengar bunyi alarm dengan intensitas bunyi yang tinggi dapat mengeluarkan reaksi panik dan menyelamatkan diri secara tidak rasional yang dapat membahayakan dirinya. SOP penanganan pada *steam drum* terdapat pada lampiran.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Nilai *Safety Integrity Level (SIL)* pada *boiler* B6203 di pabrik III PT. Petrokimia Gresik menunjukkan bernilai SIL 0 untuk enam *impact event*, NR untuk satu *impact event* dan SIL 1 berjumlah satu *impact event*, 1 *impact event* pada instrumen PT-6220 yang terdapat pada *steam drum*.
- b. Rekomendasi yang diberikan kepada perusahaan terkait dengan kondisi sistem *safety* yang telah dianalisis adalah dilakukan penambahan layer proteksi berupa *alarm* pada *loop* pengendalian *pressure* di *steam drum*.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berkaitan dengan keamanan sistem pada *boiler* yaitu:

- a. *Preventive maintenance* akan bermanfaat untuk memperpanjang umur produktivitas sebuah aset dengan mendeteksi dini bahwa sebuah aset memiliki titik kritis penggunaan (*critical wear point*) dan mungkin akan mengalami kerusakan. Akan lebih baik bahwa peralatan diproteksi, walau dengan biaya awal (*initial cost*) yang mahal namun akan berpengaruh dalam jangka panjang.
- b. Pencatatan *data maintenance* dapat dikelompokkan sesuai dengan *tag number* dari masing-masing instrumen. Sehingga memudahkan pihak PT. Petrokimia sendiri dalam menghitung kegagalan dari tiap komponen.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ISA, Safety Instrumented Functions (SIF) - Safety Integrity Level (SIL) Evaluation Techniques Part 2: Determining the SIL of a SIF via Simplified Equations, North Carolina: ISA The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2002.
- [2] C. Clarin, Application of Layers of Protection Analysis (LOPA) for Subsea Production Systems - A risk based model for determination of integrity levels in a global perspective, Lund: Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University , 2013.
- [3] E. Maiyana, Ya'umar and M. Ilyas Hs, "Evaluasi Safety Integrity Level Pada Element – Element Sistem Pengendalian Level Ammonia Stripper Di Pabrik I PT Petrokimia Gresik," *JURNAL TEKNIK POMITS*, vol. 1, no. 1, pp. 1-6, 2013.
- [4] I. N. Sa'idah, "Penerapan Metode Layer Of Protection Analysis LOPA Pada Keselamatan Proses Triethylene Glycol Regeneration System Studi Kasus Kodeco Energy Co.Ltd.," *Undergraduate Thesis of Occupational Safety and Health Engineering*, pp. 1-20, 2011.
- [5] F. Nurrahmad, "Implementasi Safety Instrumented System (SIS) Dengan Metode Layer Of Protection Analysis (LOPA) Pada Unit Kolom Distilasi Pabrik Bio Ethanol PTPN X Mojokerto," *Digital Library ITS*, pp. 1-5, 2013.
- [6] C. A. Lassen, Layer of protection analysis (LOPA) for determination of safety integrity level (SIL), Trondheim: The Norwegian University of Science and Technology, 2008.
- [7] A. E. Summers, "Introduction To Layer Of Protection Analysis," *Journal of Hazardous Materials* , pp. 1-6, 2002.

- [8] F. Anton A, "The Layer of Protection Analysis (LOPA) method," pp. 1-9, 2002.
- [9] R. Gowland, "Introduction to Layer of Protection Analysis," *EPSC*, 2005.
- [10] A. Shafaghi, "Introduction to Process Safety & Risk Assessment," WorleyParsons, Kingston, 2013.
- [11] S. H. Pradana, "Analisis Hazard And Operability (HAZOP) Untuk Deteksi Bahaya Dan Manajemen Risiko Pada Unit Boiler (B-6203) Di Pabrik III Pt.Petrokimia Gresik," *Jurnal ITS*, pp. 1-6, 2014.
- [12] A. I. o. C. Engineers, *Guideline for Initiating Events and Independent Protection Layers in Layer of Protection Analysis*, New York: Center for Chemical Process Safety, 2015.
- [13] A. I. o. C. Engineers, *Simplified Process Risk Assessment Layer of Protection Analysis*, New York: Center for Chemical Process Safety (CCPS), 2001.
- [14] Foord and Gulland, "Applying the Latest Standard for Functional Safety - IEC 61511," *ICHEME*, vol. 150, pp. 10-18, 2004.
- [15] J. Pujanto, *Evaluasi Safety Integrity Level Pada Recycle Gas First Stage Cycle Compressor 013K101A Di Area 013 Di FOC II PT Pertamina RU IV Cilacap Dengan Menggunakan Metode Layer Of Protection Analysis*, Surabaya, 2015.

LAMPIRAN A

Standard Operation Procedure (SOP)

Steam drum adalah bejana tertutup sehingga volumenya bernilai konstan. Sesuai dengan hukum Gay-Lussac, “Tekanan dari sejumlah tetap gas pada volume yang tetap berbanding lurus dengan temperaturnya dalam Kelvin”. Sehingga dengan tekanan naik maka temperatur akan naik. Hal ini berlaku pada *steam drum*.

Dari hukum ini dapat disimpulkan bahwa apabila tekanan naik, temperatur juga akan naik. Temperatur akan naik apabila level air di dalam *steam drum* berada pada kondisi yang minimal/sedikit.

Penanganan pada *steam drum* apabila terjadi *level high-high* adalah sebagai berikut:

Indikasi

1. Level air di *water level indicator* lebih tinggi dari level normal yang diizinkan.
2. Alarm berbunyi dan lampu level tinggi menyala.
3. *Flow feed water* besar.
4. Temperatur *main steam* turun.
5. Saat *steam drum* penuh dengan air, didalam pipa-pipa *steam* akan mengalami kebocoran karena tekanan berlebih.

Penyebab

1. Pompa *feed water* mengalami kerja berlebih dan alat kontrol (berupa *flow valve*) *feed water* bermasalah.
2. *Level indicator*, *flow steam* dan *feed water flow meter* terindikasi kurang akurat menyebabkan operator salah memutuskan sehingga salah operasi.
3. *Pressure feed water* mendadak/tiba-tiba naik.
4. Beban air dari *demin water* mengalami eskalasi yang cepat, aliran air ke *boiler* juga naik sehingga level air pada *steam drum* ikut naik.
5. Operator lalai kurang memantau level air dan penyesuaian tidak tepat waktu atau salah operasi.

Cara untuk penanganan (ringan)

1. Mengecilkan bukaan atau menutup *valve control* untuk mengurangi *feed water*.
2. Karena *pressure feed water* pada level abnormal menyebabkan *level water* naik, segera dilakukan koordinasi dengan pihak lapangan untuk mengurangi jumlah *feed water*.
3. Jika level terus naik, buka *blowdown valve*.

Cara untuk penanganan (berat)

1. Jika level air pada *steam drum* melebihi level visual di *level indicator*, segera stop boiler dan melaporkan ke *shift leader*, mematikan pompa P-6213 A/B dari *deaerator* dan membuka semua *blowdown valve*.
2. Mengalirkan air ke *water drum*, dimana *water drum* mengalirkan ke *flash tank* dengan ketat memperhatikan perubahan level, sesudah level steam drum kembali pada kondisi semula, kemudian sistem diulang kembali.

Penanganan pada *steam drum* apabila terjadi *level low-low* adalah sebagai berikut:

Indikasi

1. Level air di *water level indicator* lebih rendah dari level normal yang diizinkan.
2. Alarm berbunyi dan lampu level rendah menyala.
3. *Flow feed water* kecil.
4. Temperatur *main steam* naik.

Penyebab

1. Pompa *feed water* mengalami kerja tidak maksimal dan alat kontrol (berupa *flow valve*) *feed water* bermasalah.
2. *Level indicator*, *flow steam* dan *feed water flow meter* terindikasi kurang akurat menyebabkan operator salah memutuskan sehingga salah operasi.
3. *Pressure feed water* mendadak/tiba-tiba turun.

4. Pipa *blowdown* dan *valve* mengalami kebocoran, atau jumlah air yang melewati *blowdown* terlalu besar.
5. Operator lalai kurang memantau level air dan penyesuaian tidak tepat waktu atau salah operasi.

Cara untuk penanganan (ringan)

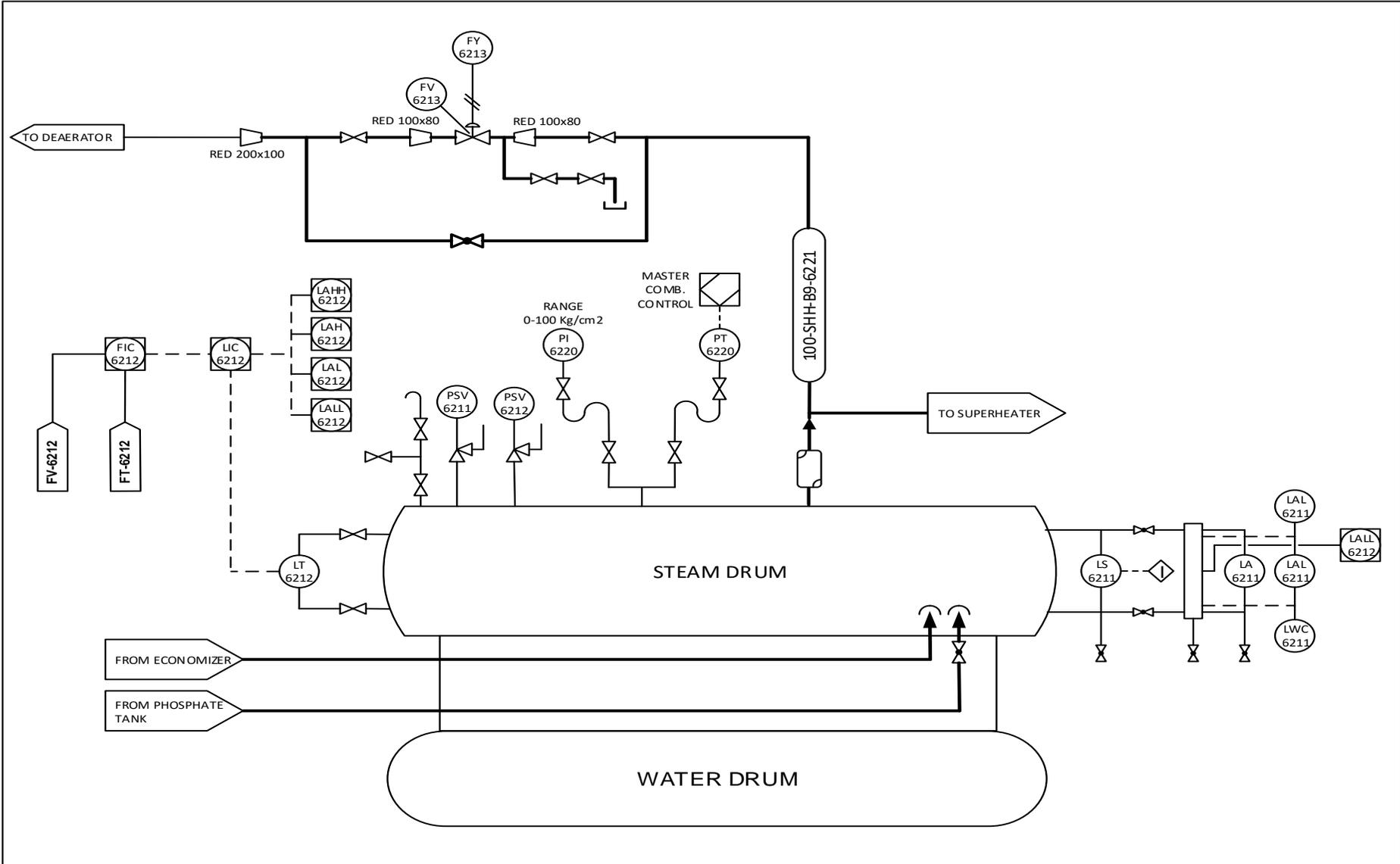
1. Membesarkan bukaan atau membuka *valve control* untuk menambah *feed water*.
2. Cek *blowdown valve* apakah ditutup dengan rapat.
3. Karena *pressure feed water* pada level abnormal menyebabkan *level water* turun, segera dilakukan koordinasi dengan pihak lapangan khususnya pada pihak pengatur *demin water* agar menaikkan *jumlah feed water*.

Cara untuk penanganan (berat)

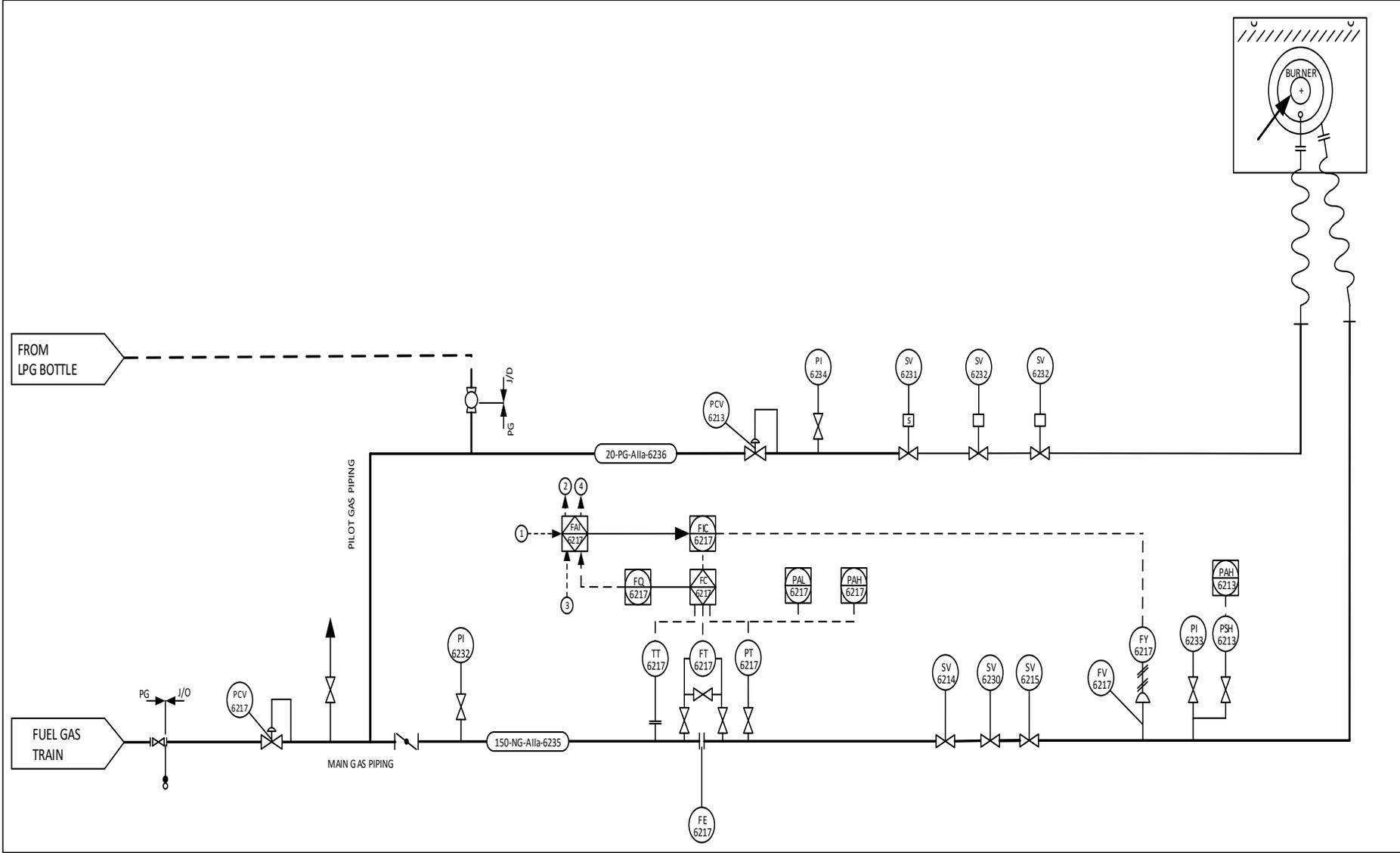
1. Jika level air pada *steam drum* terus turun, dan tidak muncul pada *level indicator*, segera *stop boiler*.
2. Setelah kembali ke kondisi normal, periksa kondisi semua peralatan, kemudian jalankan proses di *boiler* kembali.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN B
P&ID Steam Drum



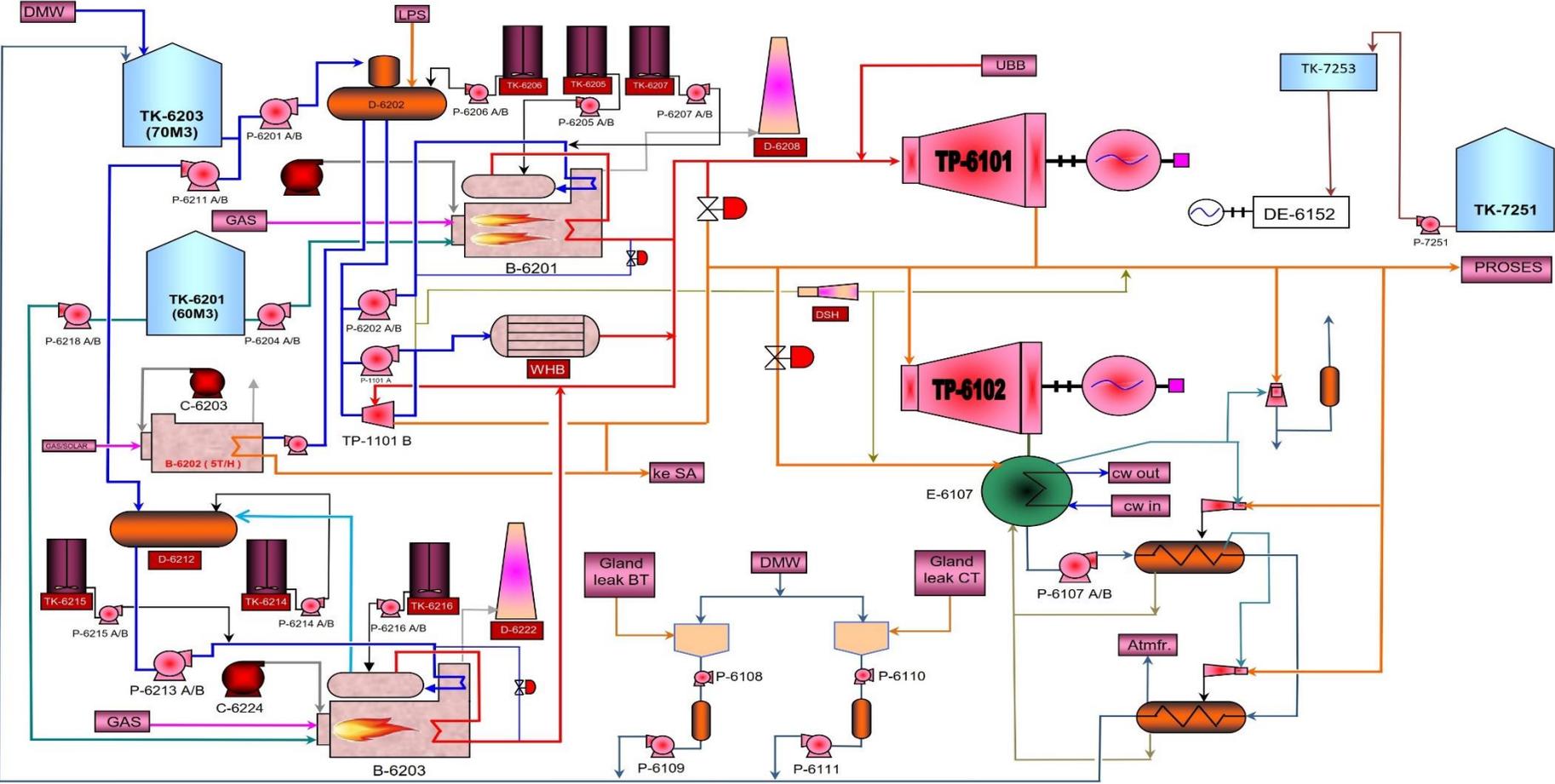
P&ID Gas Burner



LAMPIRAN C

Process Flow Diagram Unit Power Generation

**UNIT
POWER GENERATION**



LAMPIRAN D

HAZOP WORKSHEET STEAM DRUM

Node	Instrument	Guide Word	Deviation	Causes	Consequence	Safeguards	L	C	RR	Recommendations
Steam Drum	LT 6212	Less	Less Level	Less boiling water from P-6213 A/B so that drum level is -10 cm/30%	Overheating in tube wall and drum	1. LAH-6211 2. LAL-6211 3. LAL-6211 4. LALL-6211	4	5	20	Adjusting valve for more feed water
		More	More Level	More boiling water from P-6213 A/B so that drum level is 10 cm/75%	Steam temperature can not be reached	1. LAH-6211 2. LAL-6211 3. LAL-6211 4. LALL-6211	4	5	20	Blow down valve to water drum
	PT 6220	Less	Less Pressure	If pressure of boiling water in drum less than 35 Kg/cm ²	Leads to low generation.	1. PSV-6211 2. PSV-6212 3. Vent	1	5	5	Raise temperature of the steam coming into steam drum
		More	More Pressure	If pressure of boiling water in drum more than 39,8 Kg/cm ²	Carrying over of wet steam to turbine and lead turbine corrosion	1. PSV-6211 2. PSV-6212 3. Vent	1	5	5	Installaation of safety/relief valve to vent off the excess pressure

HAZOP WORKSHEET GAS BURNER

Node	Instrument	Guide Word	Deviation	Causes	Consequence	Safeguards	L	C	RR	Recommendations
Gas Burner	FT 6217	Less	Less Flow	(i) Malfunctioning of natural gas shut valve	Causes incomplete combustion in the furnace	1. PCV-6217 2. Vent	1	5	5	(i) Increase pressure from natural gas
				(ii) Low pipeline flow rate						(ii) Carrying out maintenance on shut valve
		More	More Flow	(i) Malfunctioning of natural gas shut valve	(i) Causes incomplete combustion in the furnace		1	5	5	(i) Add excess air to neutralize the excess gas
				(ii) High pipeline flow rate	(ii) Unit loss due to excess gas flow at fire					(ii) Recalibration of the gas flow control valve
	PT 6217	More	More Pressure	(i) High pipeline pressure more than 2,8 Kg/cm ²	Boiler trip	1. PAL-6217 2. PALL-6217 3. PAH-6217 4. PAHH-6217 5. Vent	3	5	15	(i) Set the bigger aperture of Vent
				(ii) Malfunctioning of natural gas shut valve.						(ii) Shut down plant manually
Less		Less Pressure	Low pipeline pressure less than 1,15 Kg/cm ²	Trip burner at that level thereby tripping the unit	3		5	15	Reduction of load / generation	

LAMPIRAN E

SURAT KETERANGAN PENELITIAN TUGAS AKHIR



**PETROKIMIA
GRESIK**

Kepada : Yth. Ketua Jurusan T. Fisika – FTI – ITS Surabaya
kajur_ffisika@its.ac.id

Dari : Dep. Pengembangan SDM PT. Petrokimia Gresik
prakerin@petrokimia-gresik.com

Nomor : 634 /NK.02.02/03/MKP/2016

Perihal : **Konfirmasi Mahasiswa Penelitian**

Tanggal : 29 Agustus 2016

Jml. Halaman : 1 (satu) berkas

Menanggapi surat Saudara nomor 045077/IT2.2.1.4/PP.05.02/2016 tertanggal 27 Juni 2016 perihal Permohonan Mahasiswa Penelitian atas nama :

1. Tasya Mu'afidah Jurusan : T. Fisika
2. Agsutinus Priyoko Pratyaksa Jurusan : T. Fisika

dengan ini disampaikan bahwa permohonan Penelitian bisa kami terima mulai tanggal **01/09/2016 s.d. 30/09/2016**. Selama melaksanakan kegiatan Penelitian di PT Petrokimia Gresik akan dibimbing oleh sdr. **Emil Martin Tambunan**. Bagian Instrumen III, Departemen Pemeliharaan III.

Calon siswa kerja praktek industri harus hadir pada :

Tanggal : 31 Agustus 2016
Pukul : 07.00 Wib
Tempat : Dep. Pengembangan SDM (Gedung Diklat) PT Petrokimia Gresik
Acara : Sosialisasi
- KIKP (Kartu Identitas Kerja Praktek)
- K3
- Company Profile

Terlampir persyaratan yang harus dipenuhi dan dibawa oleh siswa saat sosialisasi.

Demikian atas perhatian dan kerjasamanya disampaikan terima kasih.

Manager Pengembangan SDM



Dra. Chursiana Luthfa

WSM/sdr

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Agustinus Priyoko Pratyaksa dan akrab disapa dengan panggilan Koko. Penulis lahir di Jakarta pada tanggal 27 Agustus 1993. Jenjang pendidikan yang ditempuh oleh penulis dimulai dari Taman Kanak-kanak (TK) Santo Yoseph pada tahun 1998 hingga 1999. Penulis melanjutkan pada jenjang Sekolah Dasar (SD) Mardi Yuana Depok pada tahun 1999 hingga 2005 dan dilanjutkan pada jenjang Sekolah Menengah Pertama (SMP) Mardi Yuana Depok pada tahun 2005 hingga 2008. Jenjang Sekolah Menengah Atas (SMA) penulis ditempuh di SMAN 4 Depok tahun 2008 hingga 2011. Setelah menyelesaikan jenjang SMA, penulis melanjutkan pendidikan pada Program Diploma 3 Teknik Listrik, Politeknik Negeri Jakarta selama tahun 2011 hingga 2014. Selama bangku perkuliahan penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan KMK (Keluarga Mahasiswa Katolik) dan Pastoral Mahasiswa Keuskupan Agung Jakarta Unit Selatan (PMKAJ-US). Setelah menyelesaikan pendidikan Diploma 3, penulis memutuskan untuk melanjutkan pendidikan pada jenjang sarjana program Lintas Jalur Jurusan Teknik Fisika, FTI, ITS. Kutipan favorit penulis adalah “Berdoalah seolah-oleh semuanya bergantung pada Allah. Bekerjalah seolah-oleh segalanya bergantung kepadamu.” – St. Agustinus. Adapun jika terdapat saran dan kritik untuk penulis dapat dikirimkan melalui email agustinus.priyoko@gmail.com.