

TUGAS AKHIR - TF 181801

**EVALUASI *SAFETY INTEGRITY LEVEL* PADA
*REACTOR UNIT 101 RESIDUAL FLUID CATALYTIC
CRACKING* BERBASIS *FUZZY-LAYER OF
PROTECTION ANALYSIS (FLOPA)***

DIMAS RIZKI M RAMADHAN

NRP 02311840000119

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Ali Musyafa M. Sc

NIP 196009011987011001

Program Studi Sarjana

Departemen Teknik Fisika

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF 181801

***EVALUATION OF SAFETY INTEGRITY LEVEL REACTOR UNIT ON 101
RESIDUAL FLUID CATALYTIC CRACKING BASED ON FUZZY-LAYER
OF PROTECTION ANALYSIS (FLOPA)***

**DIMAS RIZKI M RAMADHAN
NRP. 02311840000119**

Supervisors:

Prof. Dr.Ir. Ali Musyafa M. Sc

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS

Faculty of Industrial Technology and System Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2022

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama : Dimas Rizki M Ramadhan
NRP : 02311840000119
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FTIRS)
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "*EVALUASI SAFETY INTEGRITY LEVEL PADA REACTOR UNIT 101 RESIDUAL FLUID CATALYTIC CRACKING BERBASIS FUZZY-LAYER OF PROTECTION ANALYSIS (FLOPA)*." adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya-benarnya.

Surabaya, 14 Juli 2022

Yang membuat pernyataan,



Dimas Rizki M Ramadhan
NRP. 02311840000119

Halaman ini sengaja dikosongkan

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

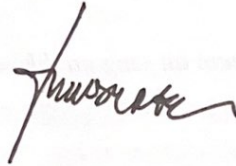
**EVALUASI SAFETY INTEGRITY LEVEL PADA REACTOR UNIT 101
RESIDUAL FLUID CATALYTIC CRACKING BERBASIS FUZZY-LAYER OF
PROTECTION ANALYSIS (FLOPA):**

Oleh:

Dimas Rizki M Ramadhan
NRP. 02311840000119

Surabaya,

Menyetujui,
Pembimbing



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

Mengetahui,

Kepala Departemen

Teknik Fisika FT-IRS, ITS



NIP. 19711113 199512 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

EVALUASI SAFETY INTEGRITY LEVEL PADA REACTOR UNIT 101 RESIDUAL FLUID CATALYTIC CRACKING BERBASIS FUZZY-LAYER OF PROTECTION ANALYSIS (FLOPA).

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FTIRS)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

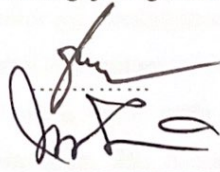
Oleh:

Dimas Rizki M Ramadhan

NRP. 02311840000119

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Ir. Ali Musyafa M. Sc.



(Pembimbing I)

2. Ir. Harsono Hadi, M.Sc., Ph.D.



(Ketua Penguji)

3. Muhammad Khamim Asy'ari S. T, M. T.



(Penguji I)

4. Dr. Dhany Arifianto, S.T., M.Eng.



(Penguji II)

SURABAYA

2022

Halaman ini sengaja dikosongkan

EVALUASI SAFETY INTEGRITY LEVEL PADA REACTOR UNIT 101 RESIDUAL FLUID CATALYTIC CRACKING BERBASIS FUZZY-LAYER OF PROTECTION ANALYSIS (FLOPA).

Nama : Dimas Rizki M Ramadhan
NRP : 02311840000119
Departemen : Teknik Fisika FTIRS - ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr.Ir. Ali Musyafa M. Sc.

ABSTRAK

Minyak menjadi sektor penting dalam perekonomian karena sektor ini memberi kontribusi yang masih cukup signifikan terhadap PDB, hingga pendapatan pemerintah. Salah satu perusahaan BUMN yang mengolah perminyakan yakni pada PT. X RU IV Cilacap. Salah satu kilang yang terdapat disana adalah Residual Fluid Catalytic Cracking (RFCC). Bahaya yang terdapat pada RFCC, dapat menyebabkan kecelakaan yang fatal terjadi, Untuk dapat mencegah resiko kecelakaan kerja yang mungkin terjadi kapan saja, diperlukan pengamanan yang baik agar para pekerja terlindungi dari bahaya. SIL merupakan ukuran kinerja sistem keselamatan, dalam hal probabilitas kegagalan sesuai permintaan, dan sistem fuzzy pada LOPA diadopsi untuk menangani ketidakpastian data yang ada sehingga efektif dalam sebuah evaluasi. Telah dilakukan evaluasi nilai SIL menggunakan metode FLOPA dan hasil yang didapat adalah terdapat perbedaan nilai SIL antara perhitungan LOPA konvensional dengan FLOPA. Untuk skenario lima hingga tujuh pada FLOPA didapatkan SIL 1, sedangkan pada LOPA konvensional didapatkan SIL 0. Dari hasil FLOPA untuk risk decision, Untuk skenario dua dan empat berada pada kategori *Medium* dan untuk skenario satu, tiga, lima, enam dan tujuh berada pada kategori *High*.

Kata Kunci: RFCC, SIL, LOPA, FLOPA

Halaman ini sengaja dikosongkan

***EVALUATION OF SAFETY INTEGRITY LEVEL REACTOR UNIT ON
101 RESIDUAL FLUID CATALYTIC CRACKING BASED ON FUZZY-
LAYER OF PROTECTION ANALYSIS (FLOPA)***

Name : Dimas Rizki M Ramadhan
NRP : 02311840000119
Department : *Engineering Physics FTIRS - ITS*
Supervisors : Prof. Dr. Ir. Ali Musyafa M. Sc

ABSTRACT

Oil is an important sector in the economy because this sector contributes significantly to GDP, and government revenues. One of the state-owned companies that process oil, namely PT. X RU IV Cilacap. One of the refineries there is Residual Fluid Catalytic Cracking (RFCC). Contained in the RFCC, can cause fatal accidents to occur. To prevent the risk of work accidents that may occur at any time, good protection is needed so that workers are protected from harm. SIL is a measure of safety system performance, in the probability of failure on demand, and the fuzzy system adopted by LOPA to determine the uncertainty of the existing data so that it is effective in evaluation. An evaluation of the SIL value has been carried out using the FLOPA method and the results obtained are the difference in the SIL value between conventional LOPA and FLOPA calculations. For scenarios five to seven in FLOPA, SIL 1 is obtained, while conventional LOPA is SIL 0. From FLOPA results for risk decisions, scenarios two and four are in the medium category and for scenarios one, three, five, six and seven are in the category high.

Keywords: RFCC, SIL, LOPA, FLOPA

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah S.W.T. karena rahmat dan hikmat-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan, dan kelancaran dalam menyusun laporan tugas akhir ini. Tidak lupa juga penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada keluarga dan para sahabat. Oleh karena dukungan mereka, penulis mampu menyusun laporan tugas akhir yang berjudul:

“EVALUASI SAFETY INTEGRITY LEVEL PADA REACTOR UNIT 101 RESIDUAL FLUID CATALYTIC CRACKING BERBASIS FUZZY-LAYER OF PROTECTION ANALYSIS (FLOPA).”

Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik yang harus dipenuhi dalam Program Studi S-1 Teknik Fisika FTIRS-ITS. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah S.W.T atas anugerah dan karunia-Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik.
2. Kedua orang tua, kedua adik, serta kakek dan nenek penulis yang selalu mendukung dan mendoakan yang terbaik demi kelancaran dan kelulusan penulis.
3. Dr. Suyanto, S.T., M.T. selaku ketua departemen Teknik Fisika ITS. Serta segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di departemen Teknik Fisika - ITS.
4. Prof. Dr. Ali Musyafa M. Sc selaku dosen pembimbing tugas akhir ini yang selalu memberikan nasihat, dukungan serta tempat untuk bercerita bagi penulis selama pengerjaan tugas akhir ini.
5. Bapak Dr. Bambang L Widjiantoro, S. T, M. T. selaku dosen wali yang sabar dalam membimbing dan melakukan perwalian.
6. Mas Muhammad Khamim Asy'ari S. T, M. T. yang telah memberi masukan serta bimbingan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Teman-teman satu bimbingan yaitu, Rayhan Win Hafiz, Alwan Hilmi Sabiq, Faris Akramzy, David Keyvin H.S.P., dan juga Dafa Bayu Putranto, yang telah membantu dalam memberikan ilmu dan masukan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

8. Andrew Juan Willyando dan Risanti Anne Aprillia yang telah menemani penulis dalam masa perkuliahan dan memberikan semangat serta dukungan pada pengerjaan tugas akhir ini.
9. Teman-teman Angkatan 2018, Trident Firmus yang telah mendukung dalam penyelaian Tugas Akhir.

Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu. Semoga laporan tugas akhir ini dapat dipergunakan dengan sebaik-baiknya. Lalu Penulis menyadari bahwa mungkin masih ada kekurangan dalam laporan ini, sehingga kritik dan saran penulis terima. Semoga laporan ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis dan pihak yang membacanya.

Surabaya, 14 Juli 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
<i>COVER PAGE</i>	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
LEMBAR PENGESAHAN	ix
ABSTRAK.....	xi
<i>ABSTRACT</i>	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Laporan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.2 <i>Hazard and Operability Study (HAZOP)</i>	7
2.3 <i>Layers of Protection Analysis (LOPA)</i>	10
2.4 <i>Safety Integrity Level (SIL)</i>	13
2.5 Logika Fuzzy	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.2 Pengumpulan Data.....	18
3.3 Perhitungan SIL dengan LOPA	18
3.4 Penentuan Variabel FLOPA	21
3.5 Validasi FLOPA	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Hasil Perhitungan <i>Layers of Protection Analysis (LOPA)</i>	37
4.2 Fuzzy Layer of Protection Analysis.....	38

4.3	Analisis Hasil Simulasi FLOPA	45
4.4	Validasi FLOPA dengan LOPA.....	48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		51
5.1	Kesimpulan	51
5.2	Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA		53
LAMPIRAN.....		lv
BIODATA PENULIS		lxxv

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Process Flow Diagram RFCC unit Reactor PT. X RU IV Cilacap	6
Gambar 2. 2 Konsep <i>Layers of Protection</i> (Zhu et al., 2020)	11
Gambar 2. 3 Tahapan Fuzzy	14
Gambar 3. 1 Diagram Alir Metode Penelitian.....	17
Gambar 3. 2 Arsitektur <i>Fuzzy Inference System</i>	22
Gambar 3. 3 Perancangan FIS untuk <i>Severity Risk Impact</i>	22
Gambar 3. 4 Fungsi Keanggotaan IEL-LOPA	23
Gambar 3. 5 Fungsi Keanggotaan Severity-Rate	23
Gambar 3. 6 Variabel Keluaran Severity Risk Impact.....	24
Gambar 3. 7 Perancangan FIS untuk SIL Rating	25
Gambar 3. 8 Fungsi Keanggotaan <i>Frequency</i>	25
Gambar 3. 9 Fungsi Keanggotaan Severity Risk	26
Gambar 3. 10 Variabel Keluaran SIL Rating.....	26
Gambar 3. 11 Perancangan FIS untuk <i>Economical Impact</i>	27
Gambar 3. 12 Fungsi Keanggotaan Masukan <i>Injury</i>	28
Gambar 3. 13 Fungsi Keanggotaan Masukan <i>Environment</i>	29
Gambar 3. 14 Fungsi Keanggotaan Masukan <i>Asset</i>	30
Gambar 3. 15 Fungsi Keanggotaan Masukan <i>Reputation</i>	31
Gambar 3. 16 Variabel Keluaran <i>Economical Impact</i>	32
Gambar 3. 17 Perancangan FIS untuk <i>Risk Decision</i>	33
Gambar 3. 18 Fungsi Keanggotaan Masukan Sistem SIL Rating.....	33
Gambar 3. 19 Fungsi Keanggotaan Masukan Sistem <i>Economical Impact</i>	34
Gambar 3. 20 Variabel Keluaran <i>Risk Decision</i>	34
Gambar 4. 1 <i>Surface Viewer</i> untuk <i>Fuzzy Inference System Severity Risk Impact</i>	38
Gambar 4. 2 <i>Rule Viewer Fuzzy Inference System</i> untuk <i>Severity Risk Impact</i>	39
Gambar 4. 3 <i>Surface Viewer</i> untuk <i>Fuzzy Inference System</i> untuk SIL Rating	39
Gambar 4. 4 <i>Rule Viewer Fuzzy Inference System</i> untuk SIL Rating	40
Gambar 4. 5 <i>Surface view</i> untuk <i>Environment-Injury</i>	41
Gambar 4. 6 <i>Surface view</i> untuk <i>Injury</i>	41
Gambar 4. 7 <i>Surface view</i> untuk <i>Environment</i>	41
Gambar 4. 8 <i>Surface view</i> untuk <i>Asset-Injury</i>	42
Gambar 4. 9 <i>Surface view</i> untuk <i>Injury</i>	42

Gambar 4. 10	<i>Surface view</i> untuk <i>Asset</i>	42
Gambar 4. 11	<i>Surface view</i> untuk <i>Reputation-Injury</i>	43
Gambar 4. 12	<i>Surface view</i> untuk <i>Injury</i>	43
Gambar 4. 13	<i>Surface view</i> untuk <i>Reputation</i>	43
Gambar 4. 14	<i>Rule Viewer</i> untuk <i>Fuzzy Inference System Economical Impact</i>	44
Gambar 4. 15	<i>Surface Viewer Fuzzy Inference System</i> untuk <i>Risk Decision</i>	44
Gambar 4. 16	<i>Rule Viewer FLOPA</i> untuk <i>Risk Decision</i>	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Guidewords HAZOP (Mohd. Yunus & Ali, 2012).....	9
Tabel 2. 2 RAM-Risk Assesment Matrix PT. X (Norwegian Risk Assessment Standard NS 5814, 2008)	10
Tabel 2. 3 Kategori <i>Safety Integrity Level</i> (Lassen, 2008 diacu dalam Nordhagen, 2007)	13
Tabel 3. 1 Nilai PFD untuk IPL (CCPS, 2001).....	19
Tabel 3. 2 Parameter Fungsi Keanggotaan IEL-LOPA	23
Tabel 3. 3 Parameter Fungsi Keanggotaan <i>Severity-Rate</i>	24
Tabel 3. 4 Parameter Hasil Keluaran <i>Severity Risk Impact</i>	24
Tabel 3. 5 <i>Rulebase</i> dari <i>Risk Impact</i>	24
Tabel 3. 6 Parameter Fungsi Keanggotaan <i>Frequency</i>	26
Tabel 3. 7 Parameter Fungsi Keanggotaan <i>Severity Risk</i>	26
Tabel 3. 8 Parameter Hasil Keluaran SIL Rating.....	27
Tabel 3. 9 <i>Rulebase</i> dari SIL Rating	27
Tabel 3. 10 Kategori Fungsi Keanggotaan Dampak <i>Injury</i> (Cedera)	28
Tabel 3. 11 Parameter Fungsi Keanggotaan <i>Injury</i>	28
Tabel 3. 12 Kategori Fungsi Keanggotaan Dampak <i>Environment</i> (Lingkungan)	28
Tabel 3. 13 Parameter Fungsi Keanggotaan <i>Environment</i>	29
Tabel 3. 14 Kategori Fungsi Keanggotaan Dampak <i>Asset</i> (Aset).....	30
Tabel 3. 15 Parameter Fungsi Keanggotaan <i>Asset</i>	30
Tabel 3. 16 Kategori Fungsi Keanggotaan Dampak <i>Reputation</i> (Reputasi).....	31
Tabel 3. 17 Parameter Fungsi Keanggotaan <i>Reputation</i>	31
Tabel 3. 18 Parameter Hasil Keluaran <i>Economical Impact</i>	32
Tabel 3. 19 Parameter Fungsi Keanggotaan SIL Rating.....	33
Tabel 3. 20 Parameter Fungsi Keanggotaan <i>Economical Impact</i>	34
Tabel 3. 21 Parameter Hasil Keluaran <i>Risk Decision</i>	35
Tabel 3. 22 <i>Rule Base</i> untuk Keluaran <i>Risk Decision</i>	35
Tabel 4. 1 Worksheet LOPA.....	37
Tabel 4. 2 Hasil Simulasi FLOPA untuk <i>Severity Risk Impact</i>	45
Tabel 4. 3 Hasil Simulasi FLOPA untuk SIL Rating.....	46
Tabel 4. 4 Hasil Simulasi FLOPA untuk <i>Economical Impact</i>	47
Tabel 4. 5 Hasil Simulasi FLOPA <i>Risk Decision</i>	48
Tabel 4. 6 Perbandingan Nilai SIL LOPA dengan FLOPA.....	49

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Minyak menjadi sektor penting dalam perekonomian karena sektor ini memberi kontribusi yang masih cukup signifikan terhadap PDB, ekspor maupun pendapatan pemerintah. Selain itu, struktur energi primer Indonesia juga masih didominasi oleh minyak bumi (Halimatussadiyah & Resosudarmo, 2004). Meskipun saat ini peranan tersebut semakin menurun namun komoditas migas tetap merupakan andalan dalam pengembangan perekonomian Indonesia.

Salah satu perusahaan Badan Usaha Milik Negara yang mengolah dan juga bergerak dalam industri perminyakan yakni adalah PT. X RU IV Cilacap. PT. X RU IV Cilacap adalah salah satu dari tujuh unit pengolahan minyak dan gas terbesar tanah air yang terletak di Kota Cilacap, Provinsi Jawa Tengah. PT. X RU IV Cilacap dapat beroperasi dengan kapasitas produksi sebesar 348.000 barrel/hari, yang merupakan produksi terbesar. Kilang RU IV Cilacap juga memiliki andil yang besar dalam menyediakan kebutuhan energi di Pulau Jawa karena dapat menyediakan 60% kebutuhan bahan bakar minyak di Pulau Jawa, atau 34% kebutuhan bahan bakar minyak berskala nasional. Salah satu kilang yang terdapat di PT. X Refinery Unit VI Cilacap adalah *Residual Fluid Catalytic Cracking* (RFCC). RFCC merupakan suatu teknik perubahan sekunder utama pada kilang minyak sejak tahun 1942. Prosesnya menyediakan sekitar 50 persen dari semuanya bahan bakar transportasi dan 35 persen total bensin (Ghosh, 2002). Kegiatan yang dilakukan pada kilang Residual Fluid Catalytic Cracking ini, termasuk kegiatan dengan kategori tingkat potensi bahaya dan resiko yang sangat tinggi.

Bahaya yang terdapat pada industri minyak dan gas, termasuk yang dapat terjadi pada PT. X RU IV Cilacap, dapat menyebabkan kecelakaan yang fatal terjadi, seperti kebakaran, peledakan, pencemaran lingkungan, dan lainnya. Untuk dapat mencegah resiko kecelakaan kerja yang mungkin terjadi kapan saja, diperlukan pengamanan yang baik agar para pekerja terlindungi dari bahaya. Tidak hanya pekerja saja yang dapat terlindungi, aset, lingkungan, bahkan reputasi perusahaan dapat terjaga apabila terdapat proteksi serta pengamanan yang baik pada kawasan industri.

Salah satu bentuk tindakan yang dapat dipergunakan untuk mengidentifikasi bahaya adalah dengan metode HAZOP atau *Hazard and Operability Study*. HAZOP sendiri merupakan standar teknik analisis bahaya yang digunakan dalam persiapan penetapan

keamanan dalam sistem baru atau modifikasi untuk suatu keberadaan potensi bahaya atau masalah operabilitasnya. Meskipun HAZOP mampu mengidentifikasi peristiwa kegagalan atau gangguan dengan melibatkan personel pabrik yang berpengetahuan, prosesnya sendiri hanya memberikan informasi kualitatif tentang frekuensi peristiwa dan frekuensi yang dikurangi. Hal tersebut dapat membantu membuat keputusan untuk peningkatan keselamatan, tetapi tidak memberikan informasi rinci yang diperlukan untuk penentuan tingkat integritas keselamatan atau *Safety Integrity Level* (SIL). SIL merupakan ukuran kinerja sistem keselamatan, dalam hal probabilitas kegagalan sesuai permintaan atau *probability of failure on demand* (PFD). Ada empat tingkat integritas diskrit yang terkait dengan SIL yakni NR (*No requirement*), SIL 0, SIL 1, SIL 2, dan SIL 3. Semakin tinggi tingkat SIL, semakin tinggi pula tingkat keamanan yang terkait, dan semakin rendah kemungkinan sistem akan gagal berfungsi dengan benar. Ketika level SIL meningkat, biasanya biaya instalasi dan pemeliharaan serta kompleksitas sistem juga meningkat. Penentuan nilai SIL ini dapat dijalankan menggunakan metode *Layers of Protection Analysis* (LOPA) yang memiliki sasaran untuk menentukan frekuensi kejadian yang tidak diinginkan yang tentunya bisa dicegah oleh lapisan pelindung terpasang.

Layers of Protection Analysis (LOPA) merupakan sarana analisis yang kuat untuk menilai kecukupan lapisan perlindungan yang digunakan untuk mengurangi risiko proses (Summers, 2007). LOPA menggunakan aturan penyederhanaan untuk mengevaluasi frekuensi kejadian awal, lapisan perlindungan independen, dan juga konsekuensi untuk memberikan perkiraan urutan besarnya risiko. LOPA juga telah membuktikan pendekatan yang sangat baik untuk menentukan tingkat integritas keselamatan yang diperlukan untuk sistem keamanan terinstrumentasi.

Meskipun zaman telah beralih ke zaman yang lebih mutakhir, masih banyak industri yang menentukan penilaian risiko masih menggunakan cara sederhana dan tradisional. Sementara itu, terdapat metode yang lebih canggih dan berbasis perangkat lunak yang dapat dipergunakan dalam sebuah penilaian risiko yang mana akan menghasilkan penilaian yang lebih baik dan akurat dibandingkan dengan metode tradisional. Salah satunya adalah penggunaan logika fuzzy yang merupakan metode tepat untuk dimanfaatkan dalam melakukan suatu penilaian estimasi maupun prediksi secara kualitatif dan kuantitatif. Sistem fuzzy pada LOPA diadopsi untuk menangani ketidakpastian data yang ada sehingga efektif dalam sebuah evaluasi. Metode *Fuzzy Layer of Protection Analysis* (LOPA) dilakukan untuk menyesuaikan lapisan proteksi independen (IPL) yang paling dapat diandalkan dengan

memecahkan ketidakpastian objektif, yang meliputi data tingkat kegagalan, kemampuan probabilitas kegagalan sesuai permintaan, dan ketidakpastian subjektif (Dan et al., 2015).

Oleh sebab itu dilakukan Tugas Akhir untuk meningkatkan keakuratan dari penilaian resiko dan identifikasi bahaya pada unit ini, dan perlu dilakukan evaluasi nilai *safety integrity level* pada *Reactor Unit 101* pada kilang *Residual Fluid Catalytic Cracking* PT. X RU IV Cilacap Berbasis *Fuzzy-Layer of Protection Analysis* (FLOPA).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penelitian ini mengambil rumusan masalah sebagai berikut:

- a) Bagaimana perbandingan nilai *Safety Integrity Level* (SIL) menggunakan metode *Layer of Protection Analysis* (LOPA) dan *Fuzzy Layer of Protection Analysis* (FLOPA) untuk analisis resiko pada reactor unit 101?
- b) Bagaimana menentukan *risk decision* untuk perusahaan berbasis Fuzzy Layer of Protection Analysis (FLOPA) pada reactor unit 101?

1.3 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

- a) Untuk membandingkan nilai *Safety Integrity Level* (SIL) menggunakan metode *Layer of Protection Analysis* (LOPA) dan *Fuzzy Layer of Protection Analysis* (FLOPA) pada *Reactor Unit 101*.
- b) Untuk menentukan nilai *risk decision* berbasis FLOPA pada *Reactor Unit 101*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

- a) Analisis plant yang dilakukan adalah pada plant Reactor Unit 101 pada kilang *Residual Fluid Catalytic Cracking* PT. X.
- b) Analisa bahaya pada plant *Reactor Unit 101* pada kilang *Residual Fluid Catalytic Cracking* menggunakan metode *Hazard and Operability Study* (HAZOP).
- c) Analisa *Safety Integrity Level* (SIL) dilakukan dengan metode *Layer of Protection Analysis* (LOPA) dan juga *Fuzzy Layer of Protection Analysis*.
- d) Data yang dikumpulkan berupa P&ID serta PFD dari PT. X, *data maintenance*, dan HAZOP *worksheet*. Data tersebut didapatkan dari dari Tugas Akhir Aqidatul Izzah yang berjudul “STUDI HAZOP BERBASIS LAYER OF PROTECTION ANALYSIS

PADA REACTOR UNIT 101 RESIDUAL FLUID CATALYTIC CRACKING PT. PERTAMINA RU IV CILACAP"

1.5 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

- BAB I Pendahuluan

Pada Bab I ini terdiri dari Latar Belakang, Rumusan Masalah, Tujuan, Batasan Masalah dan Sistematika Laporan.

- BAB II Tinjauan pustaka dan dasar teori

Lalu pada Bab II dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan, yaitu terkait *Residual Fluid Catalytic Cracking* (RFCC), lalu HAZOP (*Hazard and Operability Studies*), kemudian terdapat LOPA atau Layers of Protection Analysis, setelah itu dibahas juga mengenai Safety Integrity Level (SIL), serta, yang terakhir dibahas juga mengenai Logika Fuzzy.

- BAB III Metodologi

Kemudian pada Bab III ini berisi mengenai rancangan dari penelitian yang dilakukan, metode, dan langkah-langkah dalam penelitian.

- BAB IV Hasil dan Pembahasan

Bab IV ini berisi tentang data hasil penelitian dari perhitungan dari LOPA konvensional. Lalu, dibahas juga mengenai hasil perhitungan menggunakan logika fuzzy atau FLOPA dan dibahas juga terkait perbandingan perhitungan untuk SIL dengan menggunakan metode LOPA dan juga FLOPA, serta yang terakhir dibahas terkait hasil dari risk decision yang didapatkan dari perhitungan pada FLOPA.

- BAB V Kesimpulan dan Saran

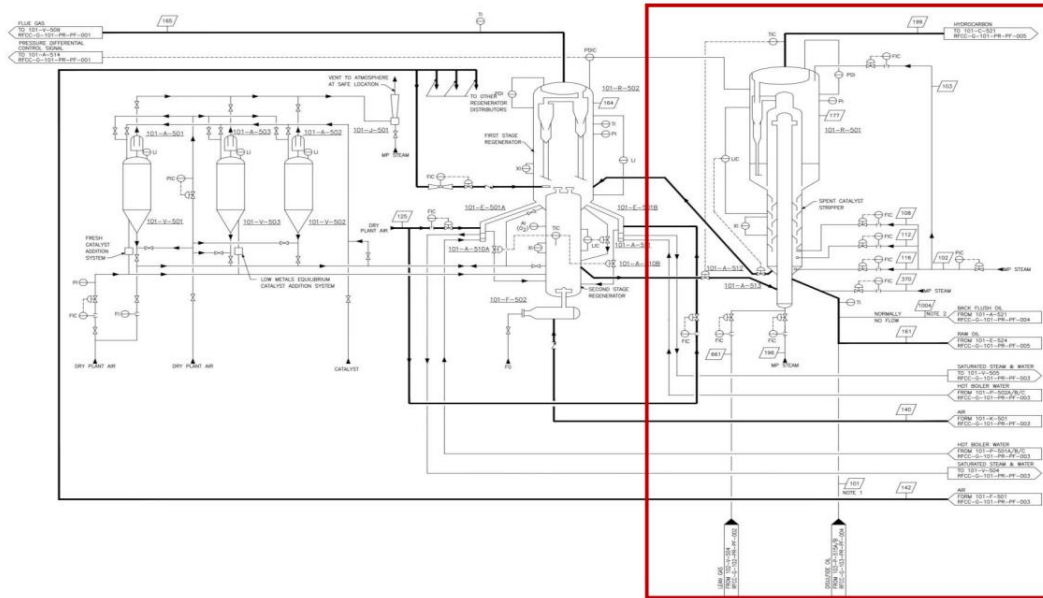
Pada Bab terakhir ini yaitu Bab V, telah diberikan kesimpulan tentang tugas akhir ini dan saran sebagai penunjang maupun pengembangan tugas akhir selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Residue Fluid Catalytic Cracking

Reactor Unit 101 ada pada kilang *Residue Fluid Catalytic Cracking* atau RFCC. *Residue Fluid Catalytic Cracking* adalah salah satu unit pemurnian hilir utama, yang digunakan untuk mengubah minyak berat dari menara distilasi vakum atau atmosfer menjadi produk yang lebih ringan dan lebih berharga seperti bensin dan fraksi minyak siklus ringan (LCO) (Amini et al., 2019). *Regenerator Residue Fluid Catalytic Cracking* (RFCC) biasanya terdiri dari dua bubbling bed berurutan yang membakar kokas pada katalis yang dinonaktifkan di bawah kondisi pembakaran parsial (di bawah stoikiometrik). Regenerator RFCC merupakan peralatan terbesar di kilang, sehingga dapat meningkatkan efisiensi pembakaran kokas kapal tersebut dapat membuatnya lebih kecil dan lebih pendek, mengurangi investasi modal di unit RFCC baru. Peran RFCCU adalah mengubah *Medium Vacuum Gas Oil* (MVGO), *Heavy Vacuum Gas Oil* (HVGO) dan *Long Residual Oil* dari HVU menjadi produk *light oil* dengan bantuan katalis. Faktor penting dalam proses ini adalah keandalan operasional reaktor dan regenerator, yang merupakan sumber kehidupan RFCCU dan menentukan unit proses selanjutnya. Produk yang keluar atau yang di hasilkan dari RFCCU ada banyak yakni *Dry Gas* sebagai *Refinery Fuel Gas*, *Liquified Petroleum Gas* atau yang kerap kita kenal sebagai LPG untuk keperluan memasak, *Raw Polypropylene* sebagai bahan baku industri petrokimia untuk membuat polypropylene, *Catalytic Naphta* untuk digunakan sebagai bahan bakar kendaraan, *Light Cycle Gas Oil* (LCGO) atau solar adalah bahan bakar motor diesel, *Hight Component Gas Oil* (HCGO) dan *Slurry* merupakan produk yang akan diekspor ke luar negeri untuk diproses kembali dan sebagai sumber panas untuk alat *Heat Exchanger*.



Gambar 2. 1 *Process Flow Diagram RFCC unit Reactor PT. X RU IV Cilacap*

Feed reaktor berasal dari *hot* LSWR ex-CDU II dan *cold* LSWR ex-37T-103/104. *Feed* dipompa melalui serangkaian sistem pemanas hingga temperatur mencapai 235 °C saat akan masuk *riser*. *Feed* diinjeksikan ke dalam reaktor *riser* melalui 8 (delapan) buah distributor dan mempergunakan *MP steam* sebagai *atomizer* yang diatur oleh 101-FIC-051. *Regenerated catalyst* panas dari *lower* regenerator (101-R-502) dialirkan menuju *riser* dengan bantuan *lift steam* (via 101-FIC028) dan *lift gas ex-lift gas knock out* drum di unit *Gas Concentration*. *Catalyst* panas naik dari *wye piece* bertemu dengan *feed* dalam *riser* dan terjadi pertukaran panas dari *catalyst* ke kabut minyak *feed*, terjadi penguapan dan hidrokarbon terengkah. Campuran uap – *catalyst* naik melalui *riser* dengan *minimum back mixing*. Aliran *catalyst* menuju *riser* diatur oleh *regenerated catalyst slide valve* (101-A-512) untuk mengendalikan temperatur *reactor* 101-TIC-039 yang di *cascade* dengan 101-PDIC-18.

Pada *top riser* reaksi perengkahan akan sempurna dan uap hidrokarbon terpisah dari katalis oleh *Vortex Separation System* dan katalis jatuh ke seksi *stripping*, guna meminimalisir reaksi perengkahan sekunder yang tidak dikehendaki. Uap hidrokarbon yang masih bercampur katalis masuk kedalam 10 buah *single stage cyclone* untuk pemisahan akhir (99,999% katalis dapat terpisahkan). Katalis yang terambil oleh *cyclone* jatuh ke bawah *cyclone diplegs* menuju ke seksi *stripping* yang mempunyai 7 grid dan dilakukan pelucutan sisa hidrokarbon dengan mempergunakan tiga *Stripping steam* melalui 071/072/073. Uap hidrokarbon naik ke *plenum chamber* bergabung dengan uap hidrokarbon dari *cyclone* yang lain dan keluar melalui puncak reaktor menuju ke *main column*, sedangkan *Spent catalyst*

mengalir dari reaktor *stripper* menuju ke *upper* regenerator (101-R-502) melalui spent *catalyst standpipe* yang selanjutnya akan dilakukan proses regenerasi katalis agar katalis dapat digunakan kembali dalam proses *cracking* selanjutnya.

2.2 Hazard and Operability Study (HAZOP)

HAZOP merupakan sebuah sistem penting yang banyak digunakan untuk analisis risiko (Kang & Guo, 2016). Ini adalah prosedur terstruktur, sistematis, dan sangat disiplin untuk memantau fasilitas proses yang mengelola bahan berbahaya. HAZOP pertama kali dikembangkan untuk mendeteksi penyimpangan dan cacat yang dapat menyebabkan kecelakaan besar seperti pelepasan racun, ledakan, dan kebakaran, dan kemudian dimodifikasi untuk meningkatkan kemampuan identifikasi bahayanya (Solukloei et al., 2022). HAZOP merupakan metode paling sering diterapkan pada sistem yang mentransfer atau memproses zat atau bahkan aktivitas berbahaya, di mana operasi yang terlibat dapat berbahaya dan konsekuensi dari kegagalan untuk mengendalikan bahaya sangat tinggi dalam hal kerusakan pada kehidupan, lingkungan atau properti. Tujuan dari HAZOP yakni untuk mengidentifikasi bahaya dan masalah pengoperasian yang terkait dengan desain dan penyimpangan dari maksud desain, penyebab penyimpangan, konsekuensi, serta perlindungan. Tinjauan HAZOP memastikan keselamatan kritis dan karakteristik operasi ditujukan untuk keamanan dan fungsi yang tepat dari fasilitas yang telah selesai.

Istilah terminologi yang biasa dipakai untuk mempermudah pelaksanaan HAZOP antara lain sebagai berikut:

- a. *Study Nodes* (Titik Studi) - Lokasi (pada gambar dan prosedur perpipaan dan instrumentasi) di mana proses parameter diselidiki untuk penyimpangan.
- b. *Intention* (Tujuan) – Tujuan ini adalah untuk menentukan bagaimana pabrik diharapkan beroperasi tanpa adanya penyimpangan pada penelitian node. Hal ini dapat mengambil beberapa bentuk dan dapat berupa deskriptif atau diagram misalnya, flowsheets, diagram garis, P&ID.
- c. *Deviation* (Penyimpangan) - Ini adalah penyimpangan dari tujuan yang ditemukan dari guidewords.
- d. *Cause* (penyebab) - Ini adalah alasan mengapa penyimpangan mungkin terjadi. Setelah penyimpangan terbukti memiliki kredibel penyebabnya, hal tersebut dapat diperlakukan sebagai penyimpangan yang berarti. Penyebab ini dapat berupa

kegagalan perangkat keras, kesalahan manusia, dan keadaan proses yang tidak terduga (misalnya, perubahan komposisi), gangguan eksternal (misalnya, kehilangan daya), dll.

- e. *Consequence* (Konsekuensi) - adalah hasil penyimpangan apabila terjadi (misalnya, pelepasan bahan beracun). Dalam penentuan consequence, tidak disarankan untuk melakukan batasan, karena hal tersebut dapat merugikan pelaksanaan penelitian.
- f. *Likelihood* - merupakan tingkat keseringan suatu risiko atau bahaya terjadi dalam rentang waktu tertentu sesuai persamaan 2.1 berikut ini:

$$\text{Likelihood} = \frac{\text{Time Interval}}{\text{MTTF}} \quad (2.1)$$

Nilai likelihood didapatkan dengan membagi lama waktu operasi dengan MTTF pada masing-masing komponen. Time interval diperoleh berdasarkan waktu antara kegagalan pertama dan kegagalan terakhir. Data MTTF (Mean Time To Failure) diperoleh dari hasil rata-rata waktu kegagalan,

- g. *Risk* (resiko) - merupakan kombinasi kemungkinan likelihood dan consequences yang terjadi sesuai persamaan 2.2 berikut ini:

$$\text{Risk Ranking} = L \times S \quad (2.2)$$

Keterangan:

L = Probabilitas kejadian (*Likelihood*)

S = Tingkat keparahan (*Severity*)

- h. *Guidewords* (Kata Panduan) - kata-kata sederhana yang digunakan untuk memenuhi syarat atau mengukur tujuan untuk membimbing dan merangsang proses brainstorming dan menemukan penyimpangan. Kata-kata panduan yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 berikut adalah yang paling sering digunakan dalam HAZOP; beberapa organisasi telah membuat daftar ini khusus untuk operasi mereka, untuk memandu tim lebih cepat ke area di mana mereka sebelumnya menemukan masalah. Setiap kata panduan diterapkan pada proses variabel pada titik di pabrik (studi node) yang sedang diperiksa

Tabel 2. 1 Guidewords HAZOP (Mohd. Yunus & Ali, 2012)

<i>Guidewords</i>	<i>Meaning</i>
<i>No</i>	<i>Negation of the design intention</i>
<i>Less (Less of, lower)</i>	<i>Quantitative decrease</i>
<i>More (More of, higher)</i>	<i>Quantitative increase</i>
<i>Part of</i>	<i>Qualitative decrease</i>
<i>As well as (More than)</i>	<i>Qualitative increase</i>
<i>Reverse</i>	<i>Logical opposite of the intention</i>
<i>Other than</i>	<i>Complete substitution</i>

Dalam mengidentifikasi bahaya menggunakan metode HAZOP, langkah-langkah yang dapat dikerjakan yakni yang pertama, diperlukan menentukan titik studi atau *study nodes* berdasarkan data P&ID yang telah didapatkan. Lalu pada setiap titik tersebut, ditentukan komponen-komponen yang mengatur semua proses serta komponen *safety* yang turut membantu proses. Penentuan komponen tersebut didasarkan juga pada komponen-komponen yang terdapat pada P&ID reactor. Selanjutnya, menentukan *guide word* dengan menggunakan diagram kontrol berdasarkan data proses, kemudian dilihat grafik data yang terbentuk pada diagram kontrol tersebut untuk mengetahui deviasi atau penyimpangan. Lalu, dibutuhkan kegiatan berupa analisis penyebab terjadinya penyimpangan dan akibat yang ditimbulkannya, serta safeguard yang dimiliki oleh sistem dalam titik studi tersebut, dan selanjutnya, menganalisis kriteria *likelihood*, *severity*, dan *risk matrix*.

Tabel 2. 2 RAM-Risk Assesment Matrix PT. X (Norwegian Risk Assessment Standard NS 5814, 2008)

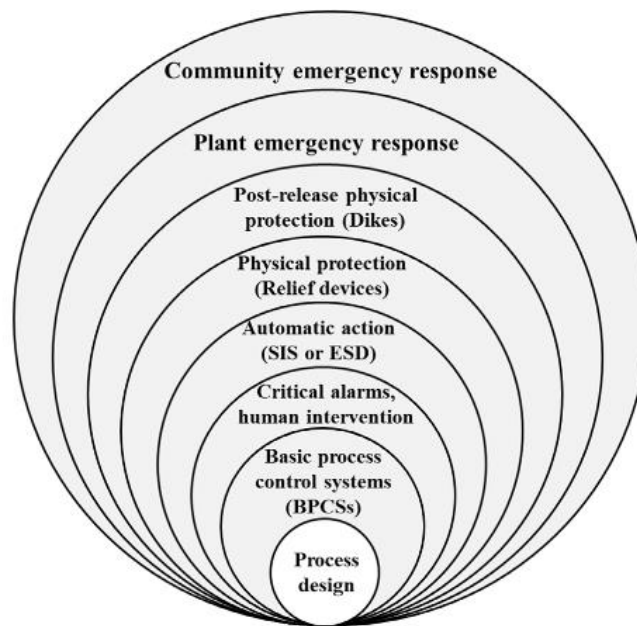
Keparahan	Konsekuensi - Konsekuensi				Kemungkinan yang semakin naik				
	Orang	Asset	Lingkungan	Reputasi	A	B	C	D	E
	P	A	E	R	Tidak pernah terdengar terjadi di industri ini	Pernah terdengar terjadi di industri ini	Pernah terjadi di unit pengolahan atau lebih dari sekali per tahun di industri ini	Pernah terjadi RU IV atau lebih dari satu kali per tahun di unit pengolahan	Pernah terjadi lebih dari satu kali per tahun di RU IV
0	Tidak terjadi cedera atau pengaruh terhadap kesehatan	Tidak terjadi kerusakan	Tidak berpengaruh	Tidak berdampak					
1	Pengaruh terhadap kesehatan atau cedera minor	Kerusakan kecil	Pengaruhnya kecil	Dampaknya kecil					
2	Pengaruh terhadap kesehatan atau cedera moderat	Kerusakan minor	Pengaruhnya minor	Dampaknya minor					
3	Pengaruh terhadap kesehatan atau cedera major	Kerusakan moderat	Pengaruhnya moderat	Dampaknya moderat					
4	PTD ATAU KEJADIAN FATAL <3	Kerusakan major	Pengaruhnya major	Pengaruhnya major					
5	PTD ATAU KEJADIAN FATAL >3	Kerusakan masif	Pengaruhnya masif	Dampaknya masif					

Berdasarkan Tabel 2.2 mengenai *Risk Matrix Assessment* terdapat beberapa kategori *risk ranking* diantaranya yaitu biru menunjukkan resiko rendah yang menandakan area yang dapat diterima secara umum, kuning menunjukkan risiko menengah yang menandakan area yang dapat ditoleransi, dan merah menunjukkan risiko sangat tinggi yang menandakan area yang tidak dapat diterima.

2.3 Layers of Protection Analysis (LOPA)

Layers of Protection Analysis atau LOPA merupakan teknik yang digunakan untuk melakukan penilaian risiko terukur yang disederhanakan dari skenario berbahaya yang ditentukan. Metode LOPA terdiri dari mengidentifikasi (semi-kuantitatif) perkiraan kemungkinan dan (kualitatif) tingkat keparahan dari suatu peristiwa awal, dan menghitung kemungkinan modifikasi dari peristiwa berbahaya dikurangi dengan kemungkinan kegagalan independent protection layers (IPL) yang ada (Torres-Echeverria, 2016). IPL sendiri merupakan sebuah sistem, atau sebuah tindakan yang mampu mencegah skenario dari konsekuensi yang tidak diinginkan tanpa terpengaruh secara merugikan oleh peristiwa

awal atau tindakan lapisan perlindungan lain yang terkait dengan skenario. LOPA memberikan dasar yang konsisten untuk menilai apakah ada IPL yang cukup untuk mengendalikan risiko kecelakaan untuk skenario tertentu. Apabila perkiraan risiko skenario tidak dapat mencukupi, IPL tambahan akan ditambahkan. Tujuan dari teknik LOPA adalah untuk memberikan gambaran mengenai lapisan-lapisan proteksi yang dibutuhkan untuk menurunkan atau mengendalikan tingkat kemungkinan terjadinya suatu peristiwa risiko dan tingkat konsekuensi yang dapat diterima maupun ditanggung oleh perusahaan. Teknik LOPA juga dapat membantu perusahaan untuk menemukan kelemahan serta kekuatan dari suatu sistem penanganan risiko.



Gambar 2. 2 Konsep *Layers of Protection* (Zhu et al., 2020)

Mengenai karakteristik lapisan perlindungan untuk masing-masing lapisan IPLs dalam metode LOPA, dapat diuraikan seperti dibawah ini:

a. Process Design

Berbagai perusahaan memiliki asumsi bahwa sejumlah skenario tidak dapat terjadi, yang disebabkan oleh desain peralatan serta proses yang secara esensial lebih aman, seperti peralatan yang dikhususkan agar dapat menahan tekanan maksimum pada skenario 'spesial'. Skenario tersebut bisa saja tidak terjadi dengan desain yang secara esensial lebih aman, namun process design harus dianggap IPL sebagai metodenya.

b. Basic Process Control System

BPCS mencakup kendali manual, yang mana merupakan tingkat perlindungan pertama saat pengoperasian telah berjalan dengan normal. BPCS dibuat agar dapat mempertahankan

proses berjalan dengan kondisi yang aman. Operasi normal pada BPCS dapat ditetapkan sebagai IPL apabila telah memenuhi parameter yang tepat. Pada saat memanfaatkan BPCS sebagai IPL, analisa wajib dilaksanakan untuk mengevaluasi efektivitas akses kontrol serta sistem keamanan saat human error dapat menurunkan kinerja BPCS.

c. Critical Alarms and Human Intervention

Skema ini adalah tahap perlindungan kedua selama operasi normal bekerja, dan harus dijalankan oleh BPCS. Respons operator diawali dengan alarm maupun observasi dan dapat ditentukan sebagai IPL pada saat bermacam kriteria sudah terpenuhi agar dapat memastikan efektivitas respons.

d. Automatic System (SIF/SIS)

SIF adalah gabungan dari sensor, logic solver, serta *final element*, dengan tingkat integritas keselamatan spesifik yang dapat mengetahui keadaan diluar batas yang seharusnya dan akan dijalankan menuju ke proses yang aman. SIF adalah fungsi yang *independent* dari BPCS. SIF normalnya ditetapkan sebagai IPL dan desain dari sebuah sistem. Jumlah serta tipe pengujian akan menentukan nilai PFD dari SIF yang telah didapatkan oleh LOPA.

e. Physical Protection (Relief Valves, Rupture Discs, etc.)

Perangkat ini apabila ukuran, desain, serta mendapat perawatan yang baik, merupakan IPL yang mampu mempersiapkan perlindungan tingkat tinggi untuk mencegah tekanan yang berlebih.

f. Postrelease Protection (Dikes, Blast Walls, etc.)

Pada IPLs ini, merupakan alat pasif yang mampu mempersiapkan perlindungan tingkat tinggi apabila desain serta perawatannya dilakukan dengan baik dan benar. Layer ini hendak bekerja pada saat kecelakaan sudah terjadi, namun dapat berfungsi untuk mencegah risiko yang lebih besar merambat. Proteksi ini dapat berbentuk seperti dike atau galian, dan juga blast wall atau tembok yang tahan terhadap api.

g. Plant Emergency Response

Pada proteksi layer ini mencakup pemadam kebakaran, sistem pemadaman manual, fasilitas evakuasi, dan lain sebagainya. Layer ini tidak dianggap sebagai IPL dikarenakan skema ini dijalankan setelah inisial awal, dan terlalu banyak variabel yang dapat mengubah efektivitas dalam mengurangi risiko.

h. Community Emergency Response

Perhitungan ini mencakup evakuasi masyarakat serta tempat penampungan yang biasanya tidak dijadikan sebagai IPL, sebab dijalankan setelah melakukan inisial awal dan

terlalu banyak variabel yang dapat mengubah efektivitas dalam mengurangi risiko. Perlu diketahui bahwa skema ini tidak memberikan perlindungan bagi personel pabrik.

2.4 Safety Integrity Level (SIL)

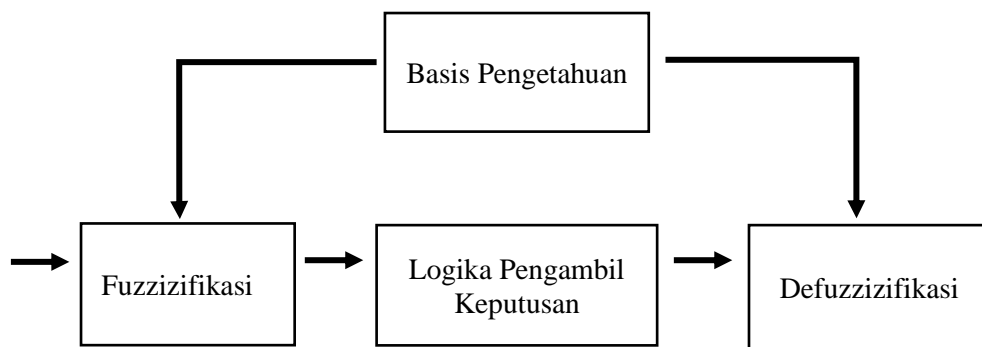
Safety Integrity Level (SIL) adalah metode analisis keselamatan vital untuk keamanan fungsional proses kimia. Salah satu tujuan utama dari analisis keselamatan fungsional adalah penentuan SIL untuk fungsi terkait keselamatan yang dibutuhkan oleh sistem terkait keselamatan (Cui et al., 2019). Hal tersebut mengidentifikasi semua bahaya dari suatu proses dan memperkirakan risiko secara inheren terlibat dan menentukan apakah risiko tersebut dapat diterima atau tidak. Prosedur keamanan tersebut harus memverifikasi bahwa setiap instrumen yang digunakan dalam sistem, serta setiap bagian instrumen seperti sensor, logic solvers, dan komponen integral akan bekerja dengan aman untuk mencapai *Safety Instrumented Functions* (SIF) sesuai dengan batasan yang disyaratkan oleh SIL. Untuk setiap instrumen yang digunakan, tim analisis harus memusatkan evaluasi desain dan kinerja *Safety Failure Fraction* (SFF) dan *Probability of Failure on Demand* (PFD). Pada setiap perangkat SIF harus memenuhi atau bahkan melampaui standar keselamatan di kedua kategori yang disyaratkan oleh SIL untuk dicapai pengakuan SIL.

Tabel 2. 3 Kategori *Safety Integrity Level* (Lassen, 2008 diacu dalam Nordhagen, 2007)

Safety Integrity Level (SIL)	$\frac{f_{TMEL}}{f_{IEL}}$	Keterangan
NR	$\frac{f_{TMEL}}{f_{IEL}} > 1$	Dilakukan evaluasi terhadap SIF untuk dihilangkan atau tidak
SIL 0	1–0,1	Tidak dilakukan evaluasi lebih lanjut, dibutuhkan beberapa reduksi risiko
SIL 1	0,1–0,01	Tidak dilakukan evaluasi lebih lanjut, diperlukan SIL 1
SIL 2	0,01–0,001	Tidak dilakukan evaluasi lebih lanjut, diperlukan SIL 2
SIL 3	0,001–0,0001	Dibutuhkan evaluasi lebih lanjut melalui metode Qualitative Risk Analysis (QRA)

2.5 Logika Fuzzy

Logika fuzzy merupakan perluasan dari logika Boolean oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965 berdasarkan teori matematika himpunan fuzzy, yang merupakan generalisasi dari teori himpunan klasik. Dengan memperkenalkan gagasan derajat dalam verifikasi suatu kondisi, sehingga memungkinkan suatu kondisi berada dalam keadaan selain benar atau salah, logika fuzzy memberikan fleksibilitas yang sangat berharga untuk penalaran, yang memungkinkan untuk memperhitungkan ketidakakuratan dan ketidakpastian (Dernoncourt, n.d.). Untuk merancang sebuah sistem kontrol logika fuzzy terdapat tiga proses yaitu fuzzifikasi (*fuzzification*), evaluasi rule (*rule evaluation*) dan defuzzifikasi (*defuzzification*). Dari masing-masing proses tersebut akan mempengaruhi respon sistem yang dikendalikan (Passino & Yurkovich, 1998). Adapun tahapan dasar sebuah sistem logika fuzzy dapat tergambar dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Tahapan Fuzzy

a. Fuzzyfikasi

Fuzzifikasi merupakan proses mengubah nilai input crisp menjadi nilai fuzzy yang dilakukan dengan menggunakan informasi dalam basis pengetahuan. Fungsi dari fuzzifikasi sendiri adalah untuk mengubah data yang tepat menjadi data yang tidak tepat.

b. Fuzzy Inference System

Inferensi fuzzy atau *fuzzy inference system* merupakan proses merumuskan pemetaan dari input yang diberikan ke output menggunakan logika fuzzy. Pemetaan tersebut kemudian memberikan dasar dari mana keputusan dapat dibuat atau pola-pola dibedakan. Proses inferensi fuzzy melibatkan semua bagian yaitu, fungsi keanggotaan, operator logika fuzzy, dan juga aturan if-then.

c. Defuzzyfikasi

Defuzzifikasi merupakan sebuah proses untuk mendapatkan satu bilangan dari keluaran himpunan fuzzy teragregasi. Defuzzifikasi digunakan untuk mentransfer hasil inferensi fuzzy menjadi output crisp. Metode defuzzifikasi yang paling umum digunakan adalah

metode *center of area* (COA), yang biasa disebut dengan metode centroid. Metode centroid ini menentukan pusat area himpunan fuzzy dan mengembalikan nilai *crisp* yang sesuai.

d. Fuzzy Rulebase

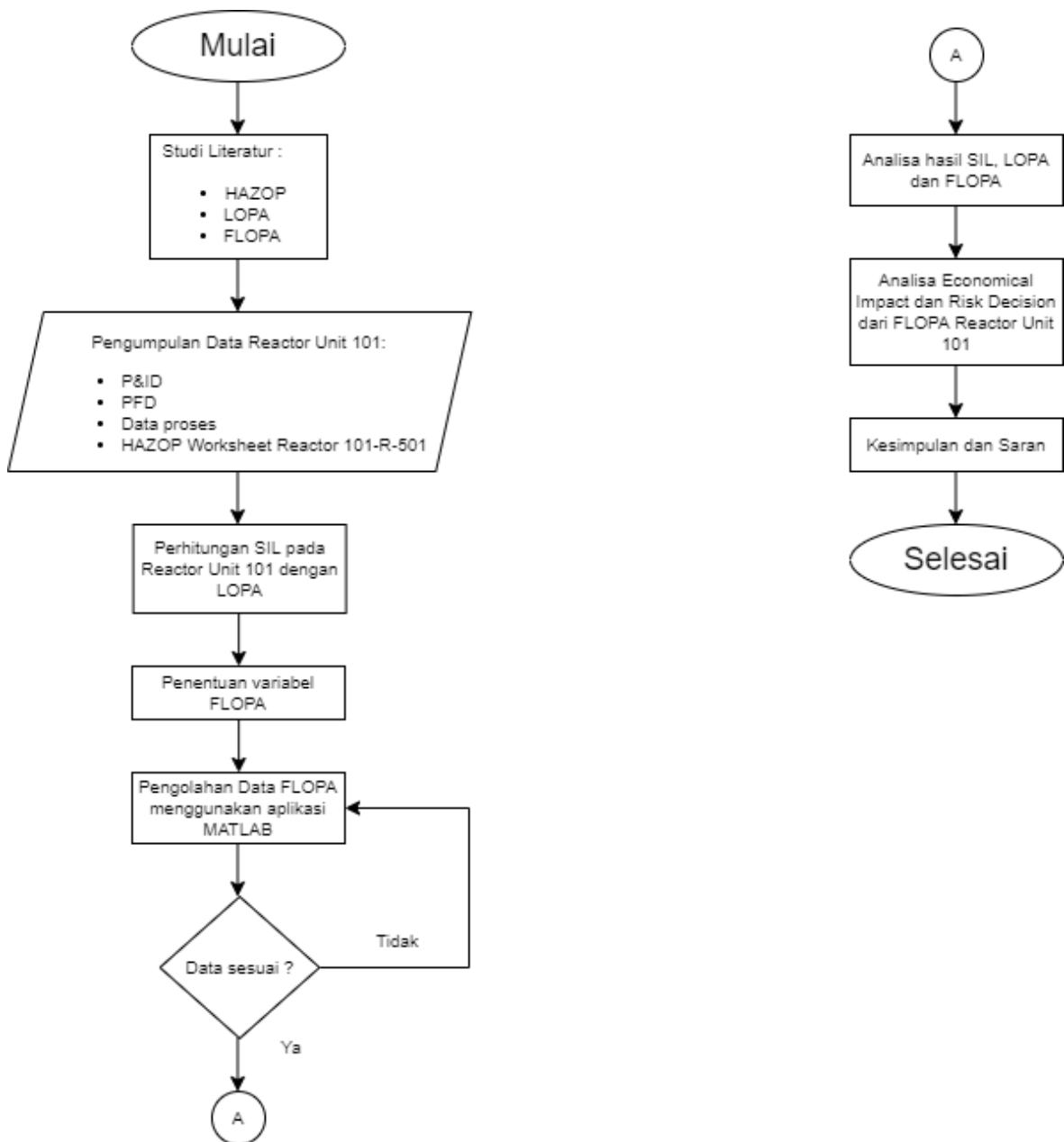
Fuzzy rulebase atau basis pengetahuan fuzzy adalah satu set pernyataan IF-THEN yang menyimpan pengetahuan praktis dari operator mengenai proses

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Adapun metode penelitian yang akan digunakan pada penelitian kali ini adalah ditampilkan dengan sebuah diagram alir. Diagram alir dari penelitian ini merupakan teknik yang dikerjakan selama melakukan penelitian. Penjelasan teknik diagram alir penelitian dapat ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Metode Penelitian

3.1 Studi literatur

Pada tahap Studi Literatur ini dilakukan dengan mengumpulkan berbagai teori yang dapat menunjang agar dapat menyelesaikan pengerjaan tugas akhir. Literatur yang digunakan berasal dari berbagai jurnal-jurnal Internasional, Tugas Akhir yang telah dilakukan sebelumnya oleh mahasiswa lain, manual instruction book dari tempat pengambilan data, dan berbagai referensi lainnya Pustaka yang ditinjau pada penelitian ini antara lain adalah RFCC, HAZOP, LOPA, SIL, dan Logika Fuzzy.

3.2 Pengumpulan Data

Pada tahapan pengumpulan data, dilakukan pengumpulan berbagai macam data sesuai dengan kebutuhan untuk membentuk variable Fuzzy Layer of Protection Analysis (FLOPA). Data yang dikumpulkan berupa P&ID serta PFD dari PT. X, data maintenance, dan juga tampilan DCS. Data tersebut didapatkan dari dari Tugas Akhir Aqidatul Izzah yang berjudul "STUDI HAZOP BERBASIS LAYER OF PROTECTION ANALYSIS PADA REACTOR UNIT 101 RESIDUAL FLUID CATALYTIC CRACKING PT. PERTAMINA RU IV CILACAP". Data dari Layer of Protection Analysis (LOPA) yang didapatkan dari Tugas Akhir tersebut digunakan untuk menyusun variabel masukan sistem fuzzy.

3.3 Perhitungan SIL dengan LOPA

Pada Langkah perhitungan SIL dengan LOPA, ada beberapa langkah yang perlu dikerjakan, seperti sebagai berikut:

3.3.1 Perhitungan *Initiation Cause Likelihood*

Initiation cause likelihood atau ICL adalah sebuah probabilitas dari pemicu awal sebuah hal dapat terjadi dalam rentang waktu tertentu. Langkah awal untuk mendapatkan ICL yakni melalui perhitungan MTTF dari sebuah komponen tersebut. MTTF sendiri adalah nilai rata-rata dari jumlah waktu kegagalan dibagi dengan jumlah kegagalan yang terjadi. MTTF dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$MTTF = \frac{\Sigma TTF}{nTTF} \quad (3.1)$$

Setelah perhitungan MTTF dilakukan, langkah selanjutnya adalah perhitungan untuk mendapat *failure rate*. *Failure rate* dapat dihitung tiap jam maupun tiap tahun. *Failure rate* tiap jam dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{\lambda}{jam} = \frac{1}{MTTF} \quad (3.2)$$

Untuk *failure rate* tiap tahun, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{\lambda}{\text{tahun}} = \frac{\lambda}{\text{jam}} \times 24 \text{ jam} \times 365 \text{ hari} \quad (3.3)$$

Langkah selanjutnya nilai reliability atau keandalan dihitung melalui distribusi eksponensial, dan juga perlu dilakukan penentuan nilai *Initiation Cause Likelihood (ICL)* melalui kedua persamaan berikut:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (3.4)$$

$$ICL = 1 - R(t) \quad (3.5)$$

3.3.2 Identifikasi *Independent Protection Layer*

Aspek penting dari setiap evaluasi LOPA adalah untuk menentukan perlindungan mana yang memenuhi syarat sebagai IPL, atau yang dengan modifikasi dapat dibuat menjadi IPL (Myers, 2013). Identifikasi *independent protection layer* dilakukan guna memahami skenario proses untuk mencegah terjadinya konsekuensi yang tidak diinginkan menjadi initiating events. Dalam analisis LOPA, IPL yang digunakan adalah IPL aktif dan pasif. IPL aktif diberikan dengan perlindungan berupa sistem maupun tindakan yang langsung diambil oleh operator dimana selalu bergerak dari satu posisi ke posisi lainnya sebagai respon terhadap perubahan seperti proses yang terukur maupun sinyal dari sumber lainnya. Hal tersebut berbeda dengan IPL pasif yang hanya memberi perlindungan tinggi namun tidak terdapat tindakan yang dapat mengurangi resiko, contohnya tembok tinggi, parit, dan lain sebagainya.

Untuk setiap *layer* yang tidak ditemukan lapisan pelindungnya, nilai dari PFD adalah akan bernilai 1. Namun, jika ditemukan lapisan pelindung, maka nilai PFD dapat dicari dengan menggunakan referensi yang ada, seperti yang dapat ditemukan dalam tabel di CCPS (2001) atau bahkan perhitungan berdasarkan *data maintenance*. Nilai PFD untuk masing-masing IPL ditunjukkan pada tabel di CCPS (2001) dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut:

Tabel 3. 1 Nilai PFD untuk IPL (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}

Tabel 3.1 Lanjutan...

5.	<i>Flame/detonation arrestors</i>	1.10^{-2}
6.	Tanggul (<i>bund/dike</i>)	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>bkas-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	$1.10^{-1} - 1.10^{-2}$
13.	Kejadian Lain	Berdasarkan pengalaman personil
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 independent 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}

Menurut pedoman yang diberikan oleh IEC, nilai PFD mencakup *conditional modifier* seperti *probability of fatal Injury* (P_{tr}), *probability of personal in affected area* (P_p), dan *probability of ignition* (P_i). Nilai *probability of fatal Injury* (P_{tr}) dari proses operasi kontinu bernilai 1. Untuk sistem yang tidak selalu dijalankan seperti bongkar muat, batch process dan lain sebagainya, akan disesuaikan dengan waktu saat proses dalam mode operasi bahaya dengan waktu total. Untuk rumus dari *probability of fatal injury* (P_{tr}) adalah sebagai berikut:

$$P_{tr} = \frac{\text{time at risk}}{\text{total time}} \quad (3.6)$$

Untuk nilai *probability of personal in affected area* (P_p) yang berhubungan dengan adanya waktu pekerja untuk terpapar terhadap bahaya yang terjadi dengan waktu total, dapat dirumuskan dalam persamaan berikut:

$$P_p = \frac{\text{time present to hazards}}{\text{total time}} \quad (3.7)$$

Untuk nilai *probability of ignition* (P_i) adalah nilai kemungkinan terjadinya pelepasan zat, seperti minyak atau gas berbahaya yang dapat memicu adanya ledakan.

3.3.3 Menghitung *Intermediate Event Likelihood*

Nilai *Intermediate Event Likelihood* atau IEL adalah nilai probabilitas kejadian menengah. Frekuensi yang dihitung adalah frekuensi peristiwa berbahaya yang hendak terjadi dengan semua IPLnya. Untuk mendapatkan nilai *Intermediate Event Likelihood* atau IEL, dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$IEL = ICL \times PFD_1 \times PFD_2 \times PFD_3 \times \dots \times PFD_n \times P_{tr} \times P_i \quad (3.8)$$

3.3.4 Menghitung *Target Mitigated Event Likelihood*

Pada penentuan nilai *Target Mitigated Event Likelihood* atau TMEL dilandaskan pada *safety consequences* serta *severity level*. Menentukan maupun mengubah kriteria dari TMEL merupakan langkah yang krusial, dikarenakan memiliki tujuan guna membandingkan nilai SIL yang telah dihitung apakah sudah memenuhi target perusahaan atau tidak.

3.3.5 Penentuan *Safety Integrity Level*

Nilai *Safety Integrity Level* atau SIL mengindikasikan kategori kemungkinan kegagalan dari lapisan perlindungan guna memastikan bahwa nilai dari *Intermediate Event Likelihood* (IEL) tidak melebihi dari nilai *Target Mitigated Event Likelihood* (TMEL) dengan sejumlah syarat seperti berikut:

- a. Apabila hasil dari $IEL_t \leq TMEL$, maka akan menghasilkan pengurangan resiko yang tidak dibutuhkan, sebab tidak melebihi nilai rasio LOPA ≥ 1 dengan rumus sebagai berikut:

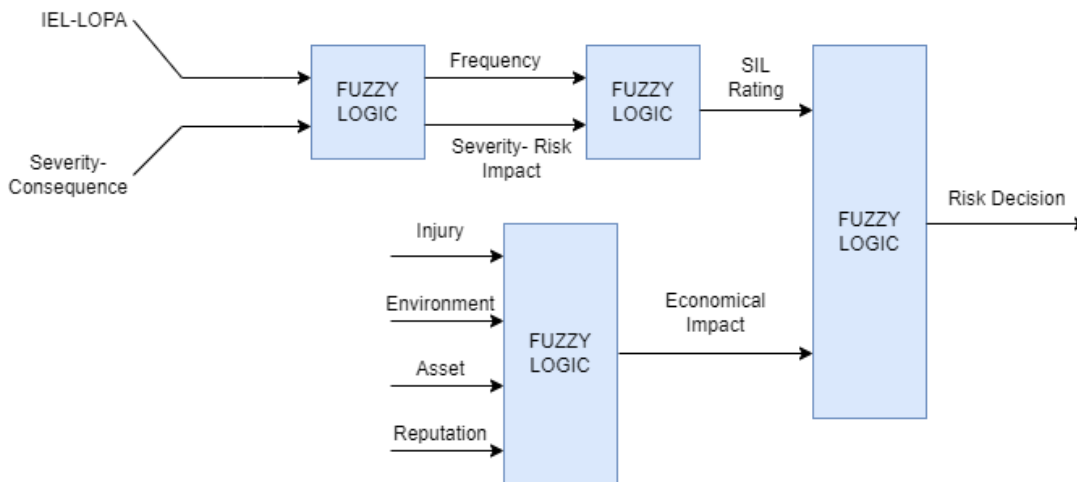
$$Rasio\ LOPA = \frac{TMEL}{IEL_t} \quad (3.9)$$

- b. Apabila hasil dari $IEL_t > TMEL$ serta ditemukan SIF, maka PFD SIF wajib dihitung guna menentukan SIL dari SIF
- c. Apabila hasil $IEL_t > TMEL$ serta tidak ditemukan SIF, maka lapisan perlindungan dianggap tidak berfungsi guna mengurangi resiko sehingga dibutuhkan rekomendasi strategi *inherently safer design* atau desain ulang sistem, atau bisa juga menambahkan lapisan pelindung maupun SIF.

3.4 Penentuan Variabel FLOPA

Pada tahap pengerjaan *Fuzzy Layer of Protection Analysis* terdapat dua tahap pengerjaan. Tahap awal yang perlu dilaksanakan, yakni membuat sebuah sistem FLOPA

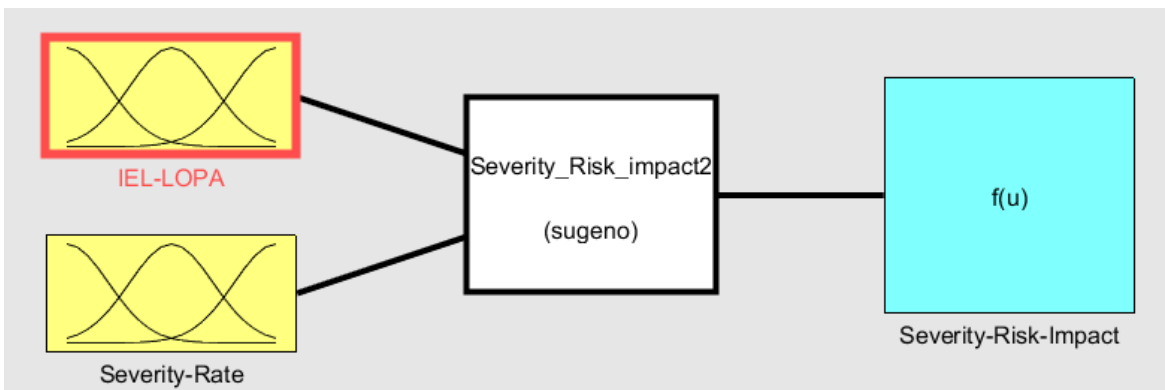
untuk mengetahui tingkat keparahan atau *severity rate* dari bahaya yang ada. Tahap selanjutnya yakni membuat sebuah sistem FLOPA yang hendak dipakai guna mendapatkan besar resiko yang mungkin terjadi dari potensi bahaya yang ada dan nilai *Safety Integrity Level*. Logika Fuzzy yang digunakan berupa masukan numerik serta keluaran yang diinginkan berupa numerik sehingga dapat menggunakan logika *fuzzy* Mamdani dan Takagi Sugeno, sehingga keluaran akhir dapat digunakan sebagai rekomendasi dalam pengambilan keputusan. Berikut merupakan arsitektur fuzzy yang digunakan untuk pengerjaan FLOPA ini:



Gambar 3. 2 Arsitektur *Fuzzy Inference System*

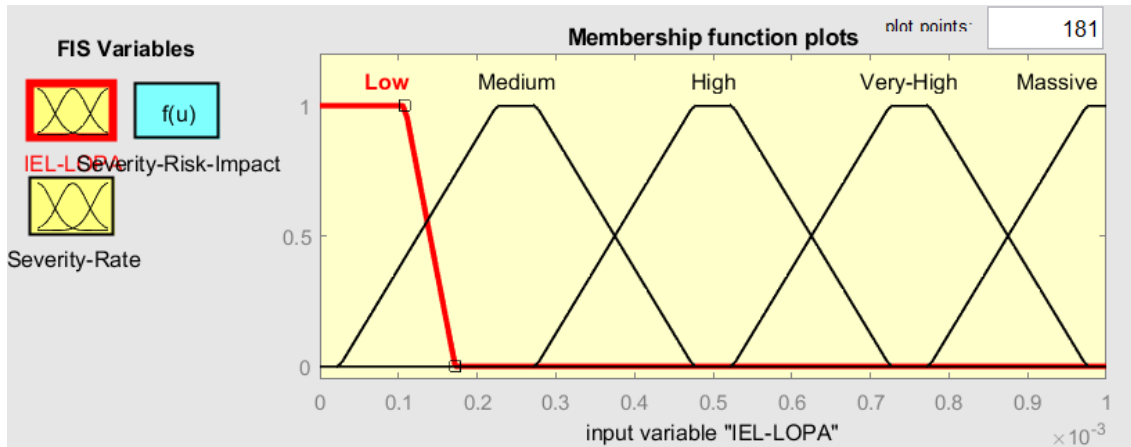
3.4.1 Perancangan Fuzzy Interface System (FIS) untuk Severity Risk Impact

Pada tahap ini dibuat dengan dua masukan yaitu *Initial Event Likelihood* (IEL) serta *severity rate* dari LOPA yang memiliki frekuensi tertentu. Metode yang digunakan adalah Takagi Sugeno dimana keluaran *Severity Risk Impact* memiliki empat kategori yaitu *low*, *medium*, *high*, dan *massive*. Untuk Perancangan Fuzzy Interference System (FIS) untuk Risk Impact, dapat dilihat seperti gambar berikut:



Gambar 3. 3 Perancangan FIS untuk *Severity Risk Impact*

Untuk fungsi keanggotaan IEL-LOPA dan *Severity-Rate* dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5. Untuk keduanya digunakan bentuk trapesium sebagai fungsi keanggotaannya agar dapat menjangkau *range* yang lebih luas. Hasil keluaran dari *Severity Risk Impact* dapat dilihat pada Gambar 3.6. Untuk *rulebase* dari *Risk Impact*, dapat dilihat pada Tabel. 3.5.

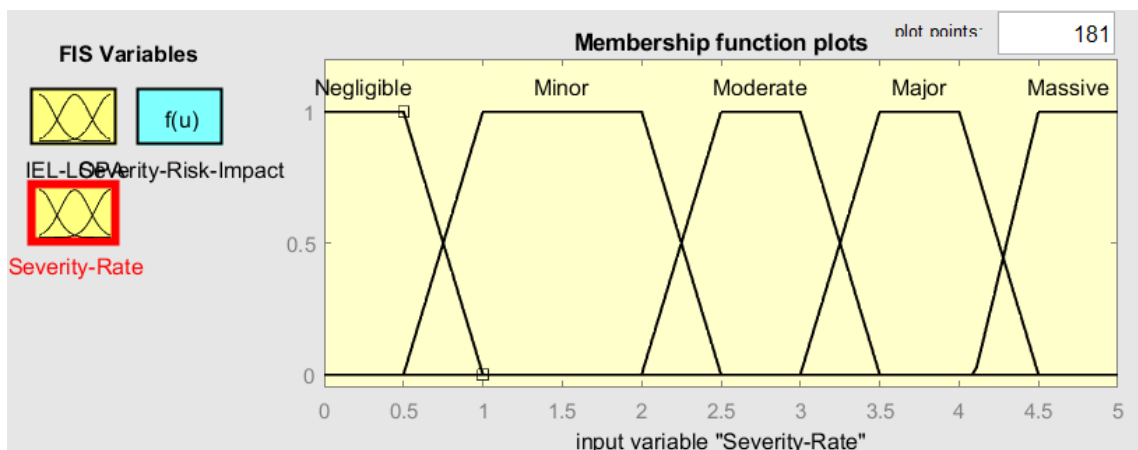


Gambar 3. 4 Fungsi Keanggotaan IEL-LOPA

Berikut merupakan Tabel 3.2 yang menunjukkan jangkauan parameter untuk fungsi keanggotaan IEL-LOPA yang digunakan, dimana *range* atau jangkauan yang digunakan adalah 0 hingga 0.001:

Tabel 3. 2 Parameter Fungsi Keanggotaan IEL-LOPA

Kategori	Parameter
<i>Low</i>	[-0.00899 -0.00091 0.000108 0.000172]
<i>Medium</i>	[2.5e-05 0.000225 0.000275 0.000475]
<i>High</i>	[0.000275 0.000475 0.000525 0.000725]
<i>Very High</i>	[0.000525 0.000725 0.000775 0.000975]
<i>Catastrophic</i>	[0.000775 0.000975 0.001025 0.001225]

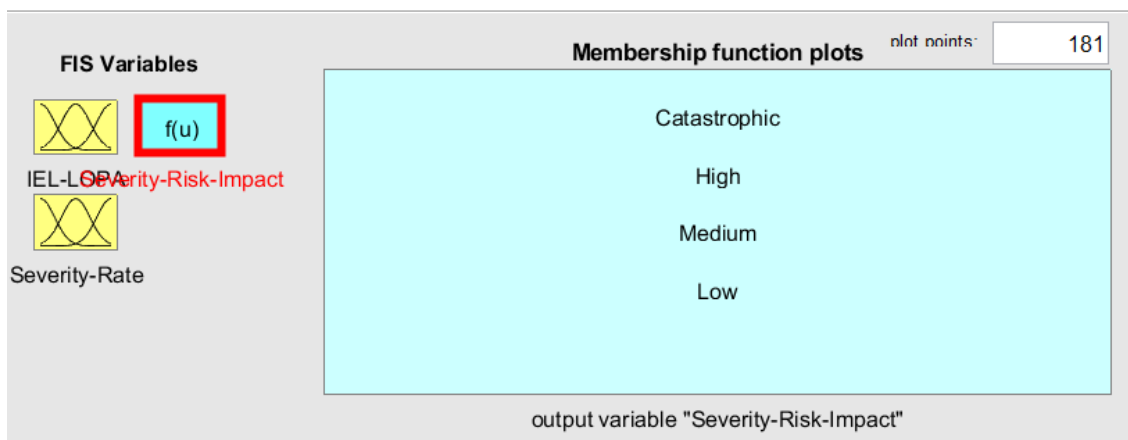


Gambar 3. 5 Fungsi Keanggotaan *Severity-Rate*

Berikut merupakan Tabel 3.3 yang menunjukkan jangkauan parameter untuk fungsi keanggotaan Severity-Rate yang digunakan, dimana *range* atau jangkauan yang digunakan adalah 0 hingga 5:

Tabel 3. 3 Parameter Fungsi Keanggotaan *Severity-Rate*

Kategori	Parameter
<i>Negligible</i>	[-1 -0.5 0.5 1]
<i>Minor</i>	[0.5 1 2 2.5]
<i>Moderate</i>	[2 2.5 3 3.5]
<i>Major</i>	[3 3.5 4 4.5]
<i>Massive</i>	[4.1 4.5 5.1 5.9]



Gambar 3. 6 Variabel Keluaran *Severity Risk Impact*

Berikut merupakan Tabel 3.4 yang menunjukkan jangkauan parameter untuk hasil keluaran dari *severity risk impact* yang digunakan, dimana *range* atau jangkauan yang digunakan adalah 0 hingga 1:

Tabel 3. 4 Parameter Hasil Keluaran *Severity Risk Impact*

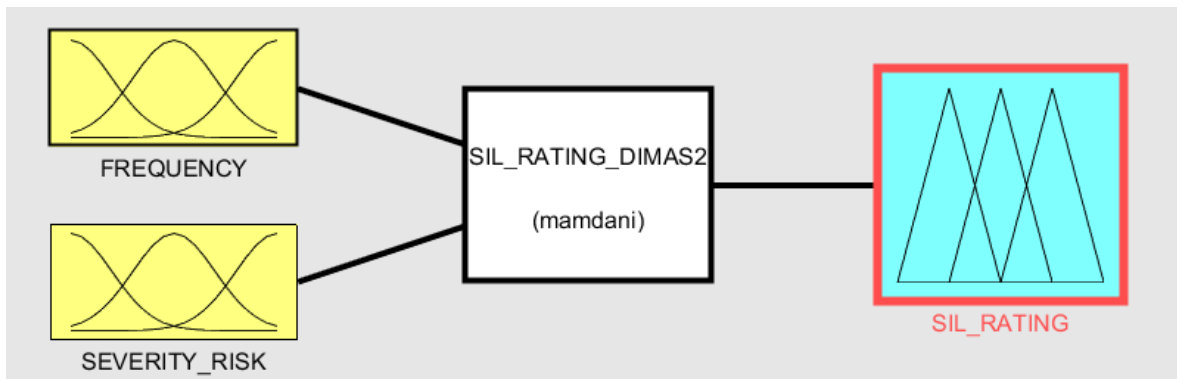
Kategori	Parameter
<i>Low</i>	[0]
<i>Medium</i>	[0.333]
<i>High</i>	[0.667]
<i>Massive</i>	[1]

Tabel 3. 5 Rulebase dari *Risk Impact*

IEL-LOPA	Consequence-Severity				
	Negligible	Minor	Moderate	Major	Massive
Low	Low	Low	Low	Medium	Medium
Medium	Low	Low	Medium	Medium	High
High	Low	Medium	Medium	High	High
Very High	Medium	Medium	High	High	Massive
Massive	Medium	High	High	Massive	Massive

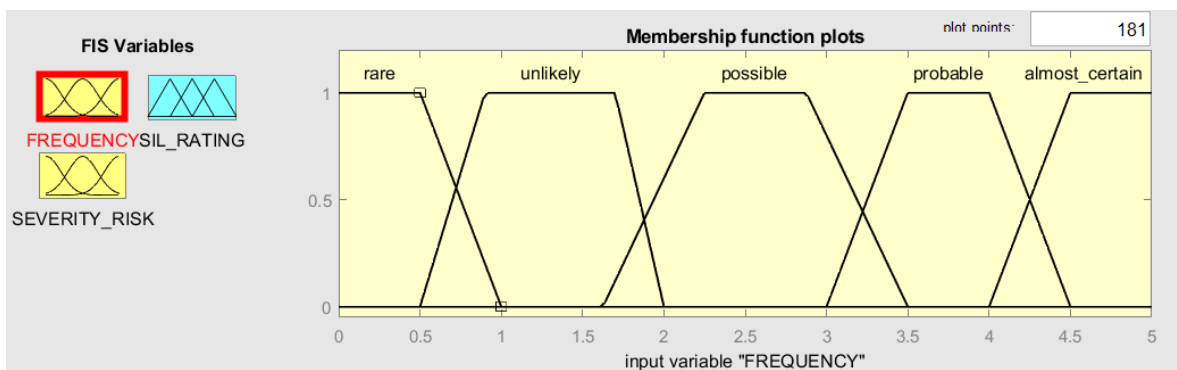
3.4.2 Perancangan Fuzzy Interface System (FIS) untuk SIL Rating

Pada tahap ini perancangan FIS untuk keluaran SIL Rating dirancang dengan dua masukan berupa *Risk Impact* frekuensi kejadian dan severity yang diawasi dari keluaran sistem fuzzy pada output risk impact. Sistem ini dibangun guna memvalidasi SIL yang telah dirancang menggunakan LOPA. Keluaran dari sistem ini berupa SIL Rating dengan fungsi keanggotaan yaitu NR, 0, 1, 2, dan 3.



Gambar 3. 7 Perancangan FIS untuk SIL Rating

Untuk fungsi keanggotaan *frequency* dan *severity-risk* dapat dilihat pada Gambar 3.8 dan Gambar 3.9. Untuk keduanya digunakan bentuk trapesium sebagai fungsi keanggotaannya agar dapat menjangkau *range* yang lebih luas. Hasil keluaran dari *SIL rating* dapat dilihat pada Gambar 3.10. Untuk hasil keluaran dari SIL Rating digunakan bentuk segitiga sebagai fungsi keanggotaannya agar memiliki satu titik puncak dan hasil lebih pasti. Untuk *rulebase* dari SIL rating, dapat dilihat pada Tabel. 3.9.

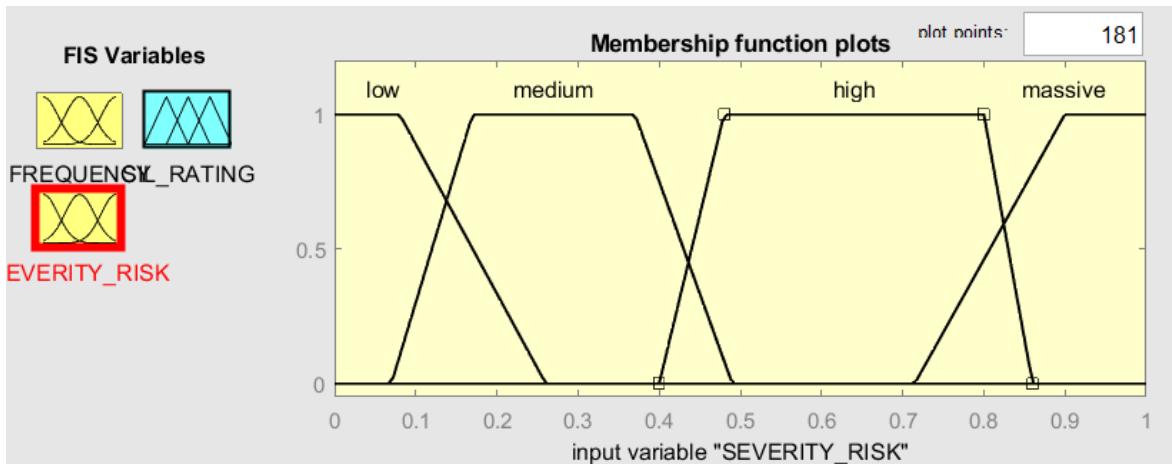


Gambar 3. 8 Fungsi Keanggotaan *Frequency*

Berikut merupakan Tabel 3.6 yang menunjukkan jangkauan parameter untuk fungsi keanggotaan dari *frequency* yang digunakan, dimana *range* atau jangkauan yang digunakan adalah 0 hingga 5:

Tabel 3. 6 Parameter Fungsi Keanggotaan *Frequency*

Kategori	Parameter
<i>Rare</i>	[-1.125 -0.225 0.5 1]
<i>Unlikely</i>	[0.5 0.9 1.7 2]
<i>Possible</i>	[1.625 2.25 2.875 3.5]
<i>Probable</i>	[3 3.5 4 4.5]
<i>Almost Certain</i>	[4 4.5 5 5.5]

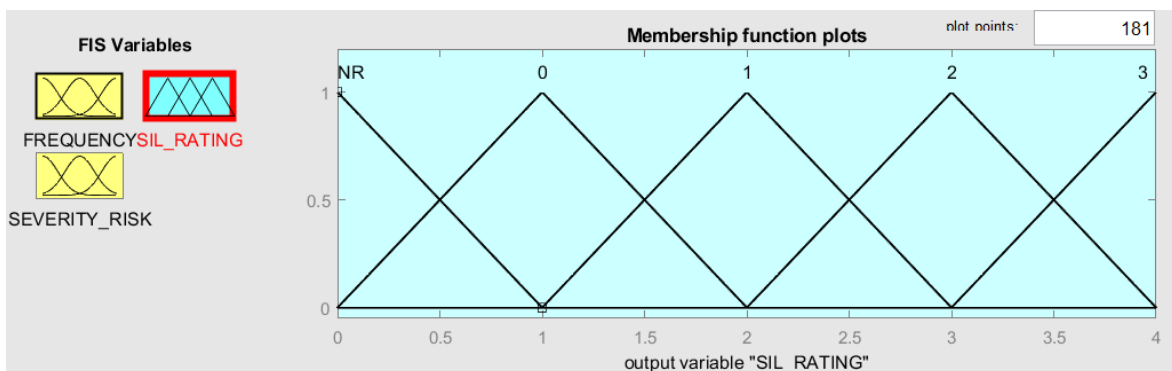


Gambar 3. 9 Fungsi Keanggotaan Severity Risk

Berikut merupakan Tabel 3.6 yang menunjukkan jangkauan parameter untuk fungsi keanggotaan dari *severity risk* yang digunakan, dimana *range* atau jangkauan yang digunakan adalah 0 hingga 5:

Tabel 3. 7 Parameter Fungsi Keanggotaan *Severity Risk*

Kategori	Parameter
<i>Low</i>	[-0.3 -0.03333 0.08 0.26]
<i>Medium</i>	[0.07 0.275 0.4 0.6]
<i>High</i>	[0.4 0.6 0.7 0.92]
<i>Massive</i>	[0.715 0.9 1.033 1.3]



Gambar 3. 10 Variabel Keluaran SIL Rating

Berikut merupakan Tabel 3.8 yang menunjukkan jangkauan parameter untuk hasil keluaran dari SIL rating yang digunakan, dimana *range* atau jangkauan yang digunakan adalah 0 hingga 4:

Tabel 3. 8 Parameter Hasil Keluaran SIL Rating

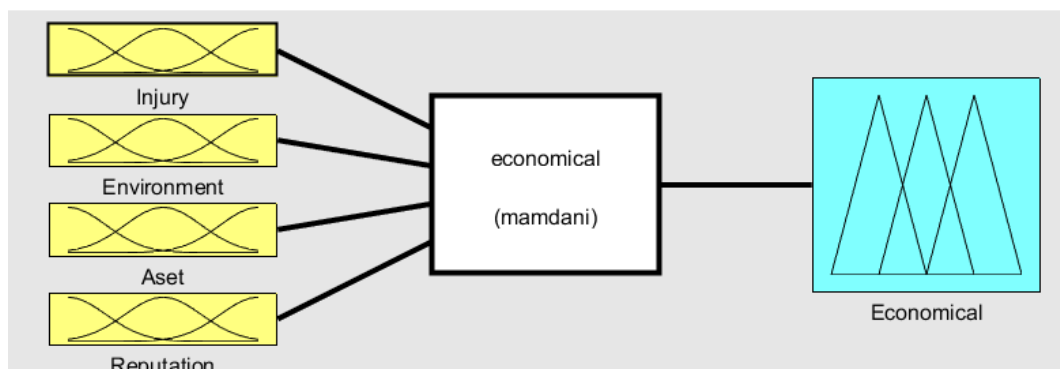
Kategori	Parameter
NR	[-1 0 1]
SIL 0	[0 1 2]
SIL 1	[1 2 3]
SIL 2	[2 3 4]
SIL 3	[3 4 5]

Tabel 3. 9 Rulebase dari SIL Rating

Severity Risk Impact	Frequency				
	Rare	Unlikely	Possible	Probable	Almost Certain
Low	NR	NR	0	1	2
Medium	NR	0	1	2	3
High	0	0	1	2	3
Massive	1	1	2	2	3

3.4.3 Perancangan Fuzzy Interface System (FIS) untuk *Economical Impact*

Pada tahap ini perancangan FIS untuk keluaran *economical impact*, dibangun dengan empat masukan yang meliputi dampak *injury* (cedera), *environment* (lingkungan), *aset* (aset), dan juga *reputation* (reputasi), seperti pada Gambar 3.11 dibawah ini.



Gambar 3. 11 Perancangan FIS untuk *Economical Impact*

Terdapat lima kategori untuk masukan *injury*, *environment*, *aset*, dan juga *reputation*. Lima kategori tersebut adalah *very low*, *minor*, *moderate*, *major* dan *massive*. Fungsi keanggotaan dari masing masing masukan dijelaskan sebagai berikut:

a. Fungsi Keanggotaan Dampak *Injury* (Cedera)

Fungsi keanggotaan untuk dampak terhadap *injury* atau cedera dibagi kedalam lima kategori yakni *very low*, *low*, *moderate*, *major* dan *massive* dengan keterangan

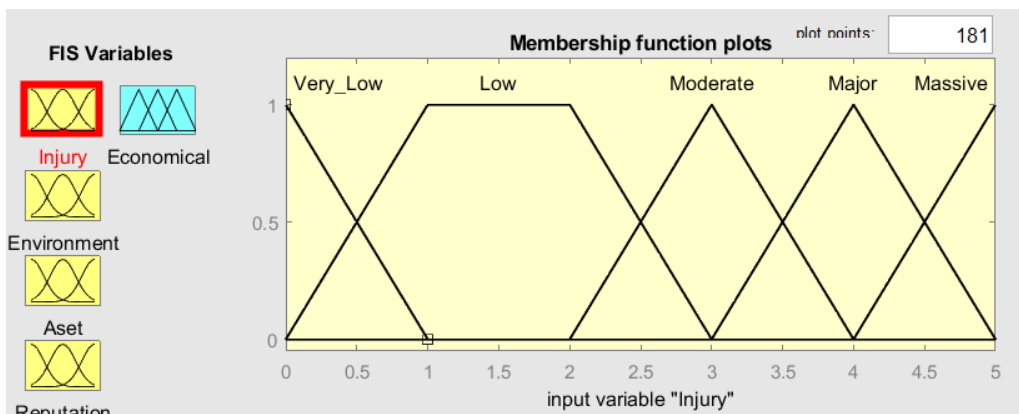
seperti pada Tabel 3.10, dan *range* 0 hingga 5, yang bisa dilihat pada Tabel 3.11 dan juga Gambar 3.12.

Tabel 3. 10 Kategori Fungsi Keanggotaan Dampak *Injury* (Cedera)

Kategori	Keterangan
<i>Very Low</i>	Pengaruh terhadap kesehatan atau cedera kecil
<i>Low</i>	Pengaruh terhadap kesehatan atau cedera minor
<i>Moderate</i>	Pengaruh terhadap kesehatan atau cedera major
<i>Major</i>	Permanent Total Dissability (PTD)
<i>Massive</i>	Kejadian fatal

Tabel 3. 11 Parameter Fungsi Keanggotaan *Injury*

Kategori	Parameter
<i>Very Low</i>	[-1 0 1]
<i>Low</i>	[0 1 2 3]
<i>Moderate</i>	[2 3 4]
<i>Major</i>	[3 4 5]
<i>Massive</i>	[4 5 6]



Gambar 3. 12 Fungsi Keanggotaan Masukan *Injury*

b. Fungsi Keanggotaan Dampak *Environment* (Lingkungan)

Fungsi keanggotaan untuk dampak terhadap *environment* atau lingkungan dibagi kedalam lima kategori yakni *very low*, *low*, *moderate*, *major* dan *massive* dengan kategori seperti pada Tabel 3.12, dan *range* 0 hingga 5, yang bisa dilihat pada Tabel 3.13 dan juga Gambar 3.13.

Tabel 3. 12 Kategori Fungsi Keanggotaan Dampak *Environment* (Lingkungan)

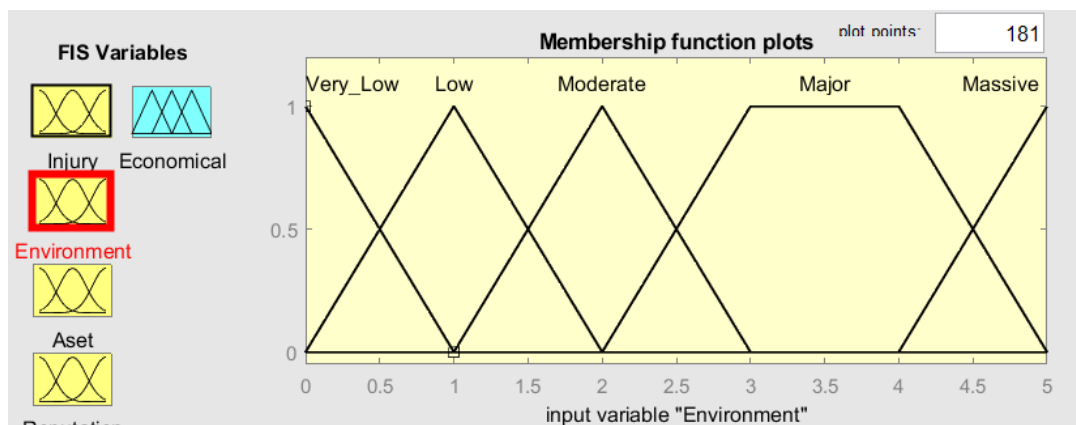
Kategori	Keterangan
<i>Very Low</i>	Pengaruhnya kecil – Kerusakan terhadap lingkungan kecil, di dalam pagar dan di dalam sistem. Konsekuensi terhadap finansial dapat diabaikan. Dibutuhkan pelaporan internal

Tabel 3.12 Lanjutan...

<i>Low</i>	Pengaruhnya Minor – Kontaminasi atau pembuangan yang cukup besar untuk menimbulkan kerusakan terhadap lingkungan, tetapi dampaknya tidak terlalu lama. Satu kali pelanggaran terhadap undang-undang atau batasan-batasan, atau satu tuntutan (komplain). Dibutuhkan laporan eksternal
<i>Moderate</i>	Pengaruhnya Minor – Kontaminasi atau pembuangan yang cukup besar untuk menimbulkan kerusakan terhadap lingkungan, tetapi dampaknya tidak terlalu lama. Satu kali pelanggaran terhadap undang-undang atau batasan-batasan, atau satu tuntutan (komplain). Dibutuhkan laporan eksternal
<i>Major</i>	Pengaruhnya Minor – Kontaminasi atau pembuangan yang cukup besar untuk menimbulkan kerusakan terhadap lingkungan, tetapi dampaknya tidak terlalu lama. Satu kali pelanggaran terhadap undang-undang atau batasan-batasan, atau satu tuntutan (komplain). Dibutuhkan laporan eksternal
<i>Massive</i>	Pengaruhnya Masif – Kerusakan yang parah terhadap lingkungan dan menetap atau gangguan parah yang menyebar ke arah yang luas. Kehilangan komersial, penggunaan untuk rekreasi atau konservasi alam yang menimbulkan konsekwensikonsekwensi finansial besar bagi perusahaan. Pelanggaran-pelanggaran terhadap undang-undang atau batasan-batasan yang terus menerus

Tabel 3. 13 Parameter Fungsi Keanggotaan *Environment*

Kategori	Parameter
<i>Very Low</i>	[-1.238 0 1]
<i>Low</i>	[0 1 2]
<i>Moderate</i>	[1 2 3]
<i>Major</i>	[2 3 4 5]
<i>Massive</i>	[4 5 6]



Gambar 3. 13 Fungsi Keanggotaan Masukan *Environment*

c. Fungsi Keanggotaan Dampak *Asset* (Aset)

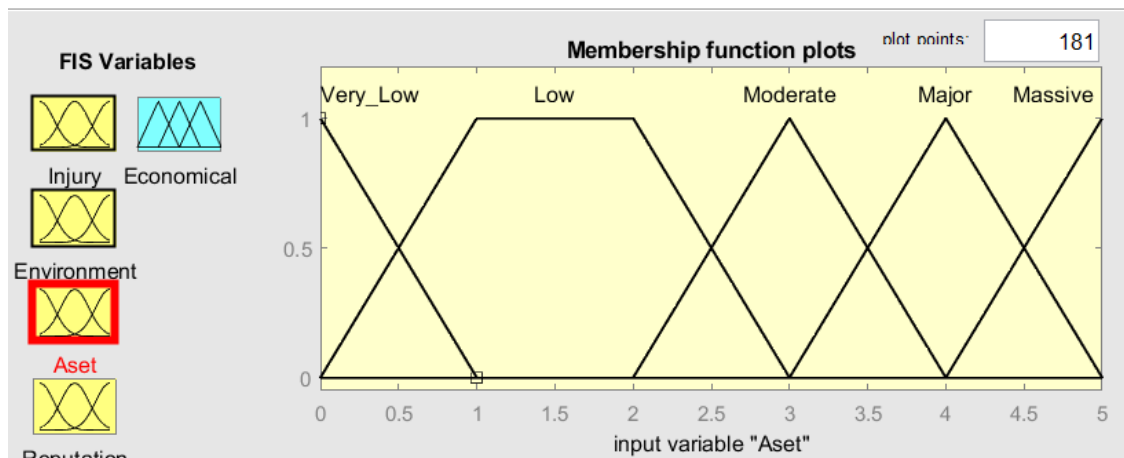
Fungsi keanggotaan untuk dampak terhadap *asset* atau aset dibagi kedalam lima kategori yakni *very low*, *low*, *moderate*, *major* dan *massive* dengan keterangan seperti pada Tabel 3.14, dan *range* 0 hingga 5, yang bisa dilihat pada Tabel 3.15 dan juga Gambar 3.14.

Tabel 3. 14 Kategori Fungsi Keanggotaan Dampak *Asset* (Aset)

Kategori	Keterangan
<i>Very Low</i>	Tidak terjadi gangguan terhadap operasi (biaya kurang dari US\$ 10,000)
<i>Low</i>	Gangguan sebentar (biaya kurang dari US\$ 10,000)
<i>Moderate</i>	Partial Shutdown (dapat dioperasikan kembali tetapi biaya US\$ 1 juta)
<i>Major</i>	Kehilangan operasi parsial (Shutdown 2 minggu, biaya hingga US\$10 juta)
<i>Massive</i>	Kehilangan operasi total atau besar, biaya diatas US\$ 10 juta

Tabel 3. 15 Parameter Fungsi Keanggotaan *Asset*

Kategori	Parameter
<i>Very Low</i>	[-1 0 1]
<i>Low</i>	[0 1 2 3]
<i>Moderate</i>	[2 3 4]
<i>Major</i>	[3 4 5]
<i>Massive</i>	[4 5 6]



Gambar 3. 14 Fungsi Keanggotaan Masukan *Asset*

d. Fungsi Keanggotaan Dampak *Reputation* (Reputasi)

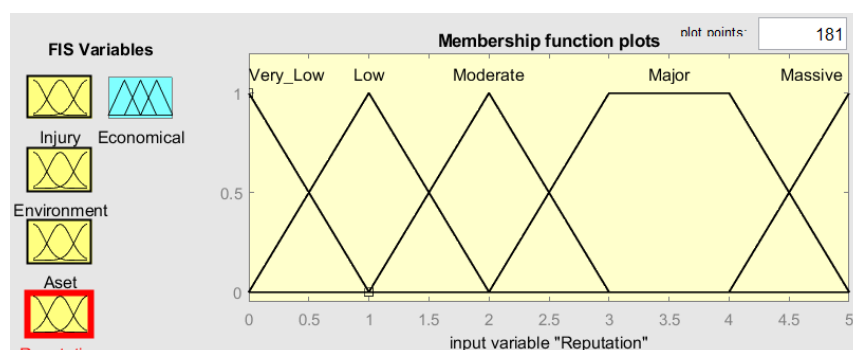
Fungsi keanggotaan untuk dampak terhadap *reputation* atau reputasi perusahaan dibagi kedalam lima kategori yakni *very low*, *low*, *moderate*, *major* dan *massive* dengan keterangan seperti pada Tabel 3.16, dan *range* 0 hingga 5, yang bisa dilihat pada Tabel 3.17 dan juga Gambar 3.15.

Tabel 3. 16 Kategori Fungsi Keanggotaan Dampak *Reputation* (Reputasi)

Kategori	Keterangan
<i>Very Low</i>	Dampaknya kecil – Masyarakat menyadari tetapi memeberikan perhatian
<i>Low</i>	Dampaknya Minor – ada beberapa masyarakat lokal yang memberi perhatian. Ada beberapa media lokal dan/ataupolitisi lokal yang memperhatikan dengan potensi merugikan perusahaan.
<i>Moderate</i>	Dampaknya Moderat – menjadi perhatian secara nasional. Pemberitaan merugikan secara luas dari media nasional. Berpengaruh terhadap kebijakan nasional/regional dengan potensi membatasi langkah-langkah dan/atau berdampak terhadap izin-izin. Mobilisasi kelompok-kelompok pelaksana.
<i>Major</i>	Dampaknya Major – menjadi perhatian diperbatasan antar negara. Menjadi berita media yang merugikan beberapa negara tetangga dan pelaksana regional
<i>Massive</i>	Pengaruhnya Masif (dampak internasional) – menjadi perhatian internasional. Menjadi berita media yang merugikan di tingkat internasional. Kebijakan-kebijakan nasional/Internasional dengan potensi dampak yang parah terhadap akses ke area baru

Tabel 3. 17 Parameter Fungsi Keanggotaan *Reputation*

Kategori	Parameter
<i>Very Low</i>	[-1.25 0 1]
<i>Low</i>	[0 1 2]
<i>Moderate</i>	[1 2 3]
<i>Major</i>	[2 3 4 5]
<i>Massive</i>	[4 5 6]

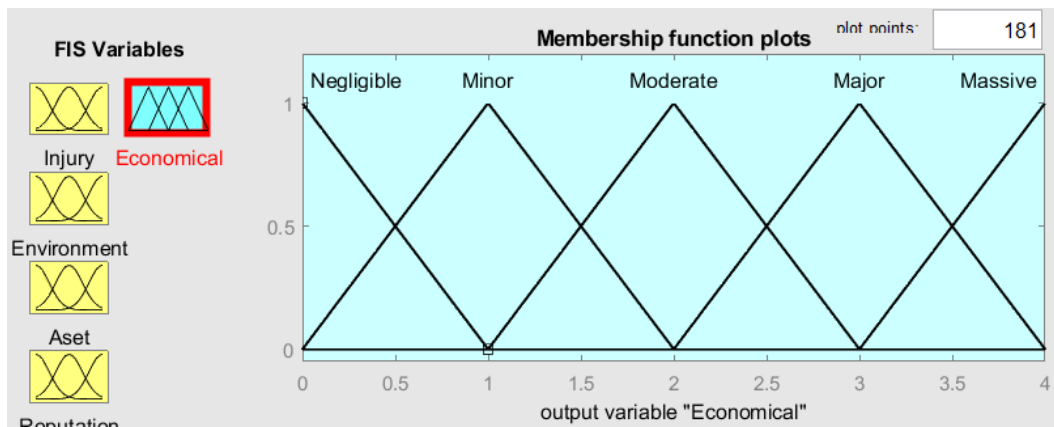


Gambar 3. 15 Fungsi Keanggotaan Masukan *Reputation*

Berikut merupakan Tabel 3.18 yang menunjukkan jangkauan parameter untuk hasil keluaran dari SIL rating yang digunakan, dimana *range* atau jangkauan yang digunakan adalah 0 hingga 4, dan variabel keluaran dari *economical impact* dapat dilihat pada Gambar 3.16. Variabel yang digunakan terdapat lima, yaitu *negligible*, *minor*, *moderate*, *major* dan *massive*.

Tabel 3. 18 Parameter Hasil Keluaran *Economical Impact*

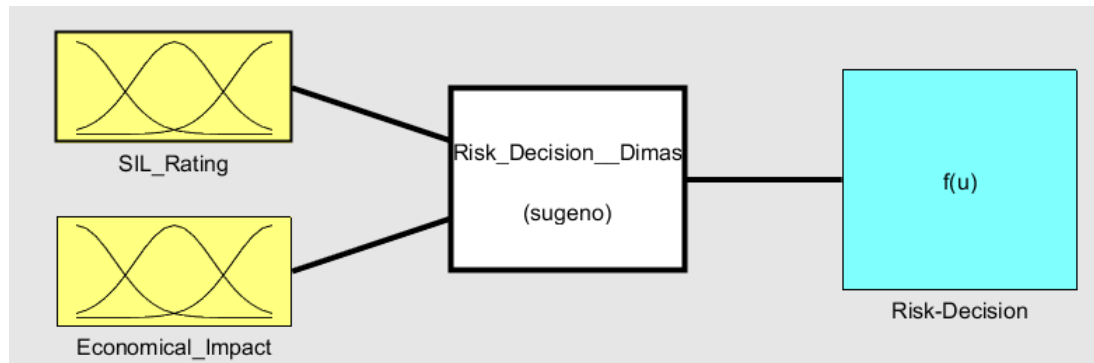
Kategori	Parameter
<i>Negligible</i>	[-1 0 1]
<i>Minor</i>	[0 1 2]
<i>Moderate</i>	[1 2 3]
<i>Major</i>	[2 3 4]
<i>Massive</i>	[3 4 5]



Gambar 3. 16 Variabel Keluaran *Economical Impact*

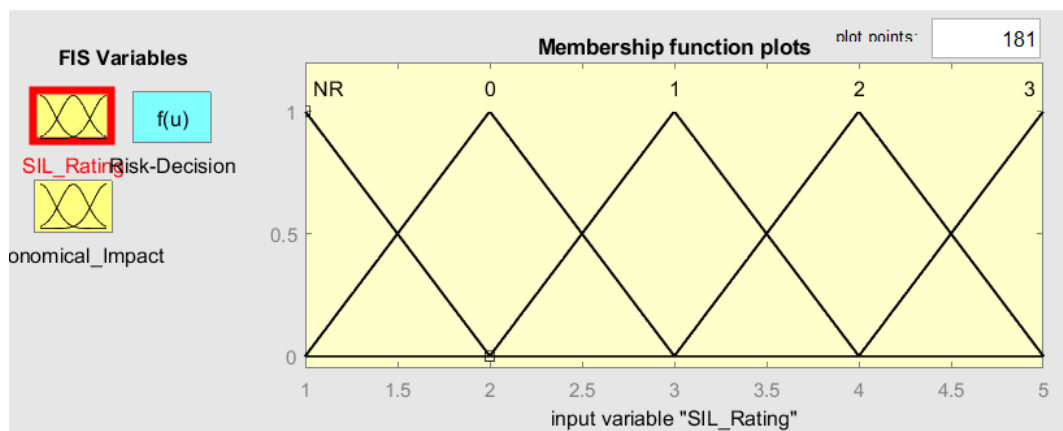
3.4.4 Perancangan Fuzzy Interface System (FIS) untuk *Risk Decision*

Pada tahap ini, *Fuzzy Inference System* dibangun sebagai analisa *safety* yang dikaitkan dengan *economical impact* sehingga didapatkan hasil keluaran berupa *risk decision*, yang mana keputusan dapat diambil oleh pihak perusahaan. Gambar 3.17 akan menunjukkan masukan dari sistem ini yang mana berupa *safety* (SIL rating) dan *economical effect* dengan keluaran *risk decision*. Fungsi keanggotaan dari *safety* dan *economic effect* dibuat dalam empat kategori yakni *low*, *moderate*, *high* dan *massive*. Gambar 3.18 dan Gambar 3.19 menampilkan fungsi keanggotaan dari *safety* serta *economical effect* yang telah disesuaikan dengan data hasil keluaran sistem dari keluaran *safety* berupa SIL dengan keluaran *economical impact*. Gambar 3.20 menampilkan variabel keluaran dari *risk decision*.



Gambar 3. 17 Perancangan FIS untuk *Risk Decision*

Untuk fungsi keanggotaan dari SIL rating dan economical impact dibuat dalam empat kategori, yakni *low*, *medium*, *high* dan juga *massive*.

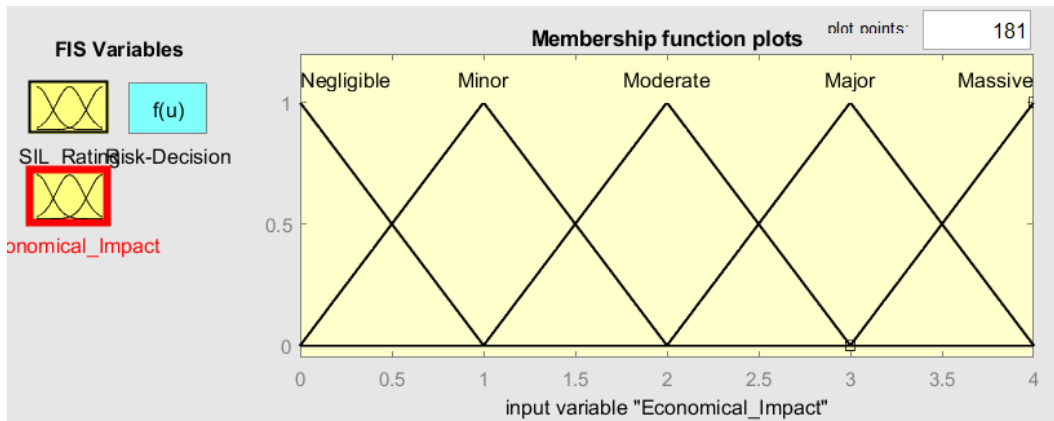


Gambar 3. 18 Fungsi Keanggotaan Masukan Sistem SIL Rating

Berikut merupakan Tabel 3.19 yang menunjukkan jangkauan parameter untuk fungsi keanggotaan dari SIL rating yang digunakan, dimana *range* atau jangkauan yang digunakan adalah 1 hingga 5, dan bentuk fungsi keanggotaannya yang digunakan adalah segitiga agar memiliki satu titik puncak dan hasil lebih pasti.

Tabel 3. 19 Parameter Fungsi Keanggotaan SIL Rating

Kategori	Parameter
NR	[-1 0 1]
SIL 0	[0 1 2]
SIL 1	[1 2 3]
SIL 2	[2 3 4]
SIL 3	[3 4 5]

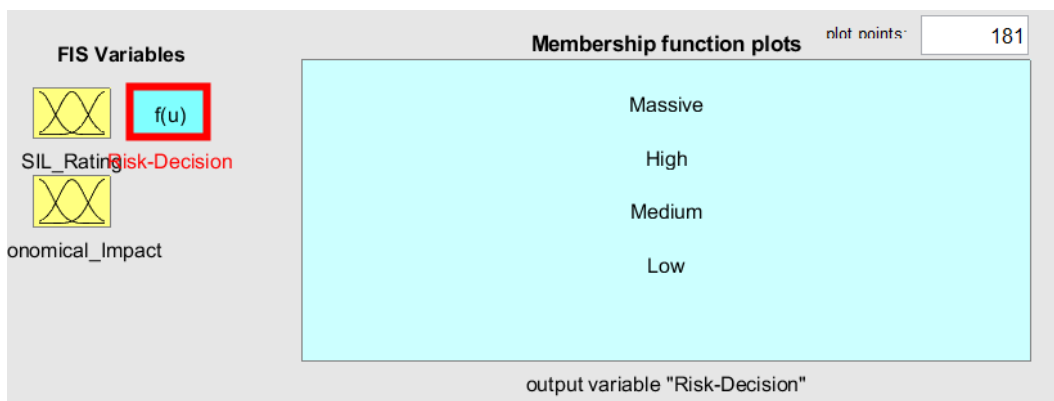


Gambar 3. 19 Fungsi Keanggotaan Masukan Sistem *Economical Impact*

Berikut merupakan Tabel 3.20 yang menunjukkan jangkauan parameter untuk fungsi keanggotaan dari *Economical Impact* yang digunakan, dimana *range* atau jangkauan yang digunakan adalah 0 hingga 4, dan bentuk fungsi keanggotaannya yang digunakan adalah segitiga agar memiliki satu titik puncak dan hasil lebih pasti:

Tabel 3. 20 Parameter Fungsi Keanggotaan *Economical Impact*

Kategori	Parameter
<i>Negligible</i>	[-1 0 1]
<i>Minor</i>	[0 1 2]
<i>Moderate</i>	[1 2 3]
<i>Major</i>	[2 3 4]
<i>Massive</i>	[3 4 5]



Gambar 3. 20 Variabel Keluaran *Risk Decision*

Berikut merupakan Tabel 3.21 yang menunjukkan jangkauan parameter untuk fungsi keanggotaan hasil dari *risk decision* yang digunakan, dimana *range* atau jangkauan yang digunakan adalah 0 hingga 1:

Tabel 3. 21 Parameter Hasil Keluaran *Risk Decision*

Kategori	Parameter
<i>Low</i>	[0]
<i>Medium</i>	[0.333]
<i>High</i>	[0.667]
<i>Massive</i>	[1]

Sistem fuzzy dibangun berbasis *rule base* sesuai kepakaran untuk penentuan sebuah keputusan. *Rule base* dapat digunakan dalam variasi fungsi keanggotaan sesuai dengan data yang terdapat. Berikut merupakan *rule base* yang digunakan seperti pada Tabel 3.22.

Tabel 3. 22 *Rule Base* untuk Keluaran *Risk Decision*

Safety	Economical Impact				
	Neglible	Minor	Moderate	Major	Massive
NR	Low	Low	Low	Low	Medium
SIL 0	Low	Low	Low	Medium	High
SIL 1	Low	Low	Medium	High	High
SIL 2	Low	Medium	High	High	Massive
SIL 3	Medium	High	High	Massive	Massive

3.5 Validasi FLOPA

Pada tahap pengolahan FLOPA menggunakan simulasi aplikasi matlab. Karena bentuk pengolahan data merupakan simulasi maka diperlukan validasi untuk menentukan apakah hasil yang telah dikerjakan sudah benar. Pada penelitian ini, validasi FLOPA dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan SIL dari LOPA konvensional.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perhitungan *Layers of Protection Analysis (LOPA)*

Lapisan perlindungan termasuk desain general process, *Basic Process Control System (BPCS)*, alarm, *additional mitigation restricted access*, serta *additional mitigation dikes*. Desain general process adalah lapisan perlindungan dengan kemungkinan kegagalan yang rendah. Lapisan perlindungan BPCS biasanya terdiri dari kontrol PID, yang berfungsi untuk menjaga kondisi proses dalam kisaran yang aman dan sesuai dengan set point, dengan dampak yang signifikan terhadap kesalahan manusia. Untuk alarm, adalah lapisan perlindungan selepas BPCS yang memperingatkan ketika proses berkurang, bertambah ataupun gagal. Alarm akan diaktifkan oleh BPCS dan bergantung pada operator. Sedangkan untuk lapisan mitigasi tambahan merupakan salah satu lapisan perlindungan mekanis dan struktural sesuai dengan prosedur yang dirancang untuk mencegah atau mempertahankan bahaya awal. Terdapat tujuh skenario kejadian yg terjadi dengan kategori menengah dan tinggi untuk perhitungan LOPA. Nilai PFD dari IPL pada tiap skenario berbeda-beda nilainya, pun ada yang sama bergantung pada ada atau tidaknya komponen pendukung tersebut pada P&ID.

Tabel 4. 1 Worksheet LOPA

IED	Severity	Initiating Cause	ICL	IPL					IEL	TMEL	PFD	SIL Level
				GPD	BPCS	Alarm	AM-RD	AMD				
Kemampuan pengupasan yang memburuk mengakibatkan gangguan proses dan hidrokarbon terbawa ke regenerator	5	FV-070 Failed to open	0,72466	1	0,1	0,1	0,5	1	0,0036	0,00001	0,0028	SIL 2
Katalis terbawa ke kolom utama yang mengakibatkan penyumbatan kolom utama dan berpotensi shutdown untuk pembangkit.	5	FV-070 Fully open	0,72466	1	0,1	0,1	0,5	1	0,0036	0,00001	0,0028	SIL 2
Kemampuan pengupasan yang memburuk mengakibatkan gangguan proses dan hidrokarbon terbawa ke regenerator	5	FV-071 Failed to open	0,72466	1	0,1	0,1	0,5	1	0,0036	0,00001	0,0028	SIL 2
Katalis terbawa ke kolom utama yang mengakibatkan penyumbatan kolom utama dan berpotensi shutdown untuk pembangkit.	5	FV-071 Failed to open	0,72466	1	0,1	0,1	0,5	1	0,0036	0,00001	0,0028	SIL 2
Suhu tinggi dalam reaktor menghasilkan produksi api kecil	5	A-512 fully open	0,72278	1	0,1	0,1	0,5	0,01	4E-05	0,00001	0,2767	SIL 0
Penurunan suhu dalam reaktor yang menyebabkan penurunan hasil, produk yang tidak sesuai spesifikasi, dan potensi kerugian reaksi	5	A-512 failed to open	0,72278	1	0,1	0,1	0,5	0,01	4E-05	0,00001	0,7671	SIL 0
Terjadi arus balik dari reaktor ke regenerator yang menyebabkan potensi kebakaran dan ledakan	5	A-513 failed to open	0,71905	1	0,1	0,1	0,5	0,01	4E-05	0,00001	0,2782	SIL 0

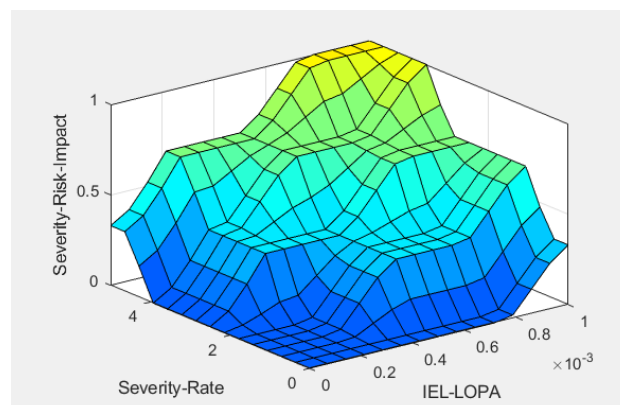
Pada tabel perhitungan *Layers of Protection Analysis* diatas dapat dilihat bahwa terdapat 7 skenario dari analisis HAZOP penelitian sebelumnya dengan kategori risiko menengah dan tinggi. Tabel LOPA tersebut mewakili nilai IEL yang merupakan perkalian antara *initiation cause likelihood* (ICL) dan masing-masing lapisan pelindung. Hasil yang didapatkan dari analisis LOPA dari penelitian ini didapatkan dua kategori nilai SIL yaitu SIL 0 dan juga SIL 2. Berdasarkan LOPA diketahui terdapat empat skenario dengan nilai SIL 2, dan juga ada tiga skenario dengan nilai SIL 0. Semakin tinggi nilai SIL Pada LOPA berarti semakin besar potensi bahaya yang dapat terjadi, sebab lapisan pelindung yang ada kurang mampu mengurangi potensi bahaya. Sebaliknya, apabila nilai SIL pada LOPA semakin rendah, yang terjadi adalah lapisan perlindungan yang sudah ada dianggap mampu untuk mengurangi potensi bahaya yang terjadi.

4.2 Fuzzy Layer of Protection Analysis

Untuk *fuzzy layer of protection analysis* (FLOPA) pada penelitian ini turut mengimplementasikan beberapa sistem fuzzy seperti fuzzy tipe sugeno dan mamdani. Untuk sistem fuzzy yang pertama diberi dua masukan berupa nilai dari IEL LOPA dan juga *severity consequence*. Untuk sistem fuzzy yang kedua, masukan yang diberikan adalah *frequency* serta hasil *severity risk impact* dari sistem fuzzy yang pertama, dan akan menghasilkan keluaran berupa SIL rating. Lalu ada sistem fuzzy yang diberi masukan berupa dari hasil HAZOP pada dampak terhadap *injury, environment, asset* dan juga *reputation* yang akan menghasilkan *economical impact*. Sistem fuzzy yang terakhir akan menghasilkan keluaran berupa *risk decision* yang dimana masukan untuk sistem fuzzy tersebut adalah hasil dari SIL rating dan juga hasil *economical impact*.

4.2.1 Fuzzy Layer of Protection Analysis untuk Severity Risk Impact

Fuzzy Inference System untuk *severity risk impact* dibuat dengan metode fuzzy sugeno. Untuk hasil keluaran dari *severity risk impact* dapat dilihat pada Gambar 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4.1 Surface Viewer untuk Fuzzy Inference System Severity Risk Impact

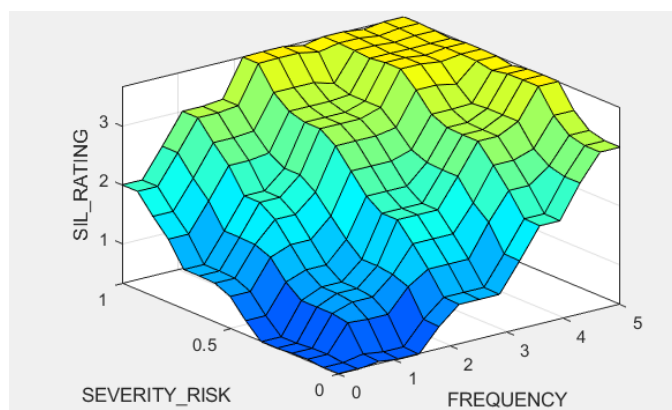
Berdasarkan Gambar 4.1 yang menunjukkan *surface viewer* untuk *severity risk impact*, terdapat empat warna yang menunjukkan tiap level pada *severity risk impact*. Warna biru tua menunjukkan bahwa *rulebase risk impact* ada pada level *low*, lalu warna kedua yakni warna biru muda, menunjukkan bahwa *rulebase risk impact* ada pada level *medium*. Selanjutnya terdapat warna hijau muda yang menunjukkan bahwa *rulebase risk impact* ada pada level *high*, dan terakhir terdapat warna kuning yang menunjukkan bahwa *rulebase risk impact* ada pada level tertinggi yakni level *massive*. Untuk selanjutnya pada Gambar 4.2 menunjukkan *rule viewer* dari *risk impact* pada Reactor unit 101.



Gambar 4. 2 Rule Viewer Fuzzy Inference System untuk Severity Risk Impact

4.2.2 Fuzzy Layer of Protection Analysis untuk SIL Rating

Pada *fuzzy layer of protection analysis* untuk SIL rating atau penilaian, dibuat dengan metode fuzzy mamdani. Penilaian SIL rating ini dikerjakan setelah mendapatkan hasil dari *severity risk impact* yang sebelumnya dikerjakan. Untuk sistem penilaian ini memiliki masukan atau input dari *severity risk impact* serta dari frekuensi, yang mana akan menghasilkan atau mengeluarkan berupa tingkatan dari SIL. Untuk *surface view* dari SIL rating dapat dilihat pada Gambar 4.3 sebagai berikut.



Gambar 4. 3 Surface Viewer untuk Fuzzy Inference System untuk SIL Rating

Berdasarkan Gambar 4.3 yang menunjukkan *surface viewer* untuk *fuzzy inference system* untuk *SIL rating*, terdapat beberapa warna untuk mengindikasikan kategori dari *SIL rating*. Untuk *SIL NR* ditampilkan dengan warna biru tua hingga biru muda, yang menunjukkan bahwa lapisan pelindung telah bekerja dengan sangat baik dan tidak diperlukan lapisan pelindung tambahan. Untuk *SIL 0*, ditampilkan dengan warna biru muda hingga hijau muda, yang menunjukkan bahwa lapisan pelindung telah bekerja dengan baik dan tidak diperlukan lapisan pelindung tambahan. Untuk *SIL 1* ditampilkan dengan warna hijau muda hingga hijau, yang menunjukkan bahwa lapisan pelindung telah bekerja dengan cukup baik dan masih belum memerlukan lapisan pelindung tambahan. Untuk *SIL 2* ditunjukkan dengan warna hijau hingga hijau tua, yang menunjukkan bahwa lapisan pelindung telah bekerja dengan kurang baik dan mungkin diperlukan lapisan pelindung tambahan. Untuk kategori terakhir yakni pada *SIL 3*, ditunjukkan dengan kisaran warna hijau tua hingga kuning, yang menunjukkan bahwa lapisan pelindung telah bekerja dengan tidak baik dan diperlukan lapisan pelindung tambahan.

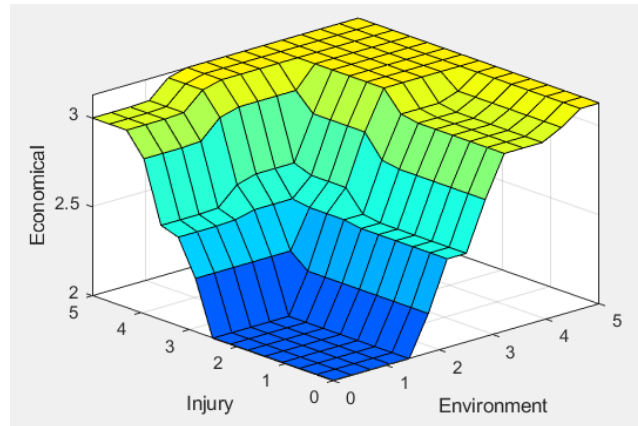


Gambar 4. 4 *Rule Viewer Fuzzy Inference System* untuk *SIL Rating*

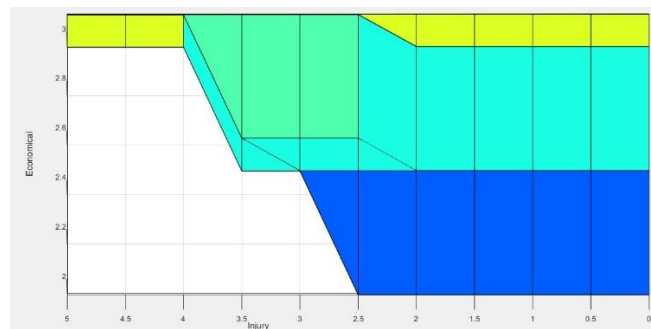
Pada Gambar 4.4 diatas menunjukkan *rule viewer* dari *fuzzy inference system* untuk *SIL rating* yang telah dilakukan pada *software* MATLAB.

4.2.3 Fuzzy Layer of Protection Analysis untuk Economical Impact

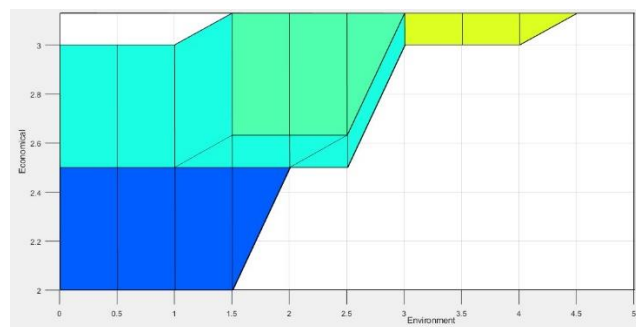
Pada *fuzzy layer of protection analysis* untuk *economical impact*, dibangun dengan sistem fuzzy mamdani dan dibangun berdasarkan 625 *rule base* sehingga mengeluarkan hasil keluaran berupa *economical impact* dengan kategori *negligible*, *minor*, *moderate*, *major* dan juga *massive*. *Surface view* dari FLOPA, untuk pendekatan aspek *injury* dapat dilihat pada beberapa gambar dibawah ini, sedangkan *surface view* untuk pendekatan *environment*, *asset*, dan *reputation* dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 4.5 *Surface view* untuk *Environment-Injury*

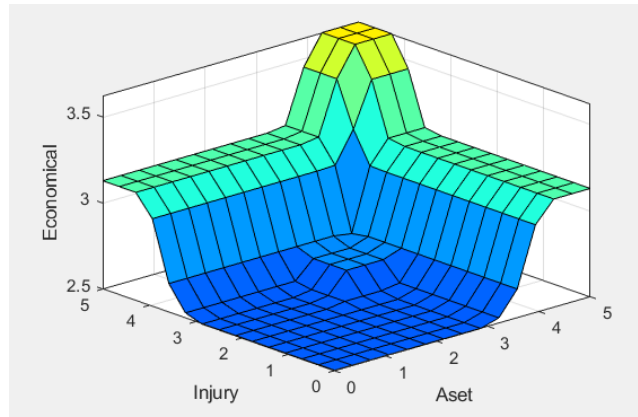


Gambar 4.6 *Surface view* untuk *Injury*

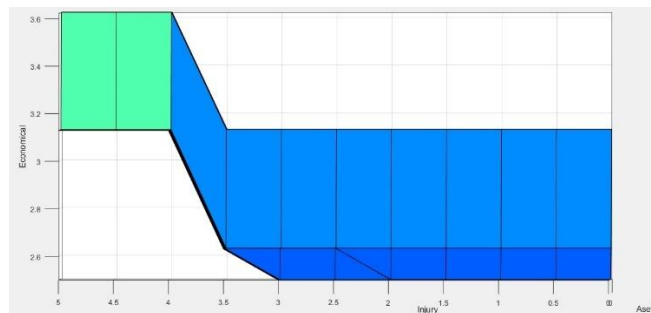


Gambar 4.7 *Surface view* untuk *Environment*

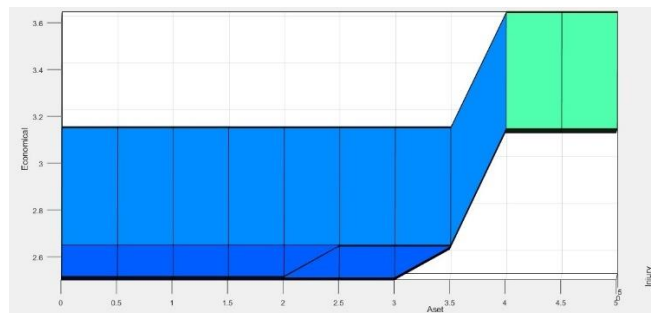
Berdasarkan Gambar 4.5 hingga Gambar 4.7, hasil dari *surface viewer* tersebut menunjukkan bahwa nilai *environment* mengalami kenaikan yang lebih signifikan yaitu pada nilai 1.5 dibandingkan dengan aspek *injury* yang mengalami kenaikan lebih lambat yang mulai naik pada nilai 2.5 dan akan berpengaruh untuk nilai *severity* yang menandakan bahwa suatu bahaya pada perusahaan memiliki pengaruh yang sangat besar kepada *environment* atau lingkungan.



Gambar 4. 8 *Surface view* untuk *Asset-Injury*

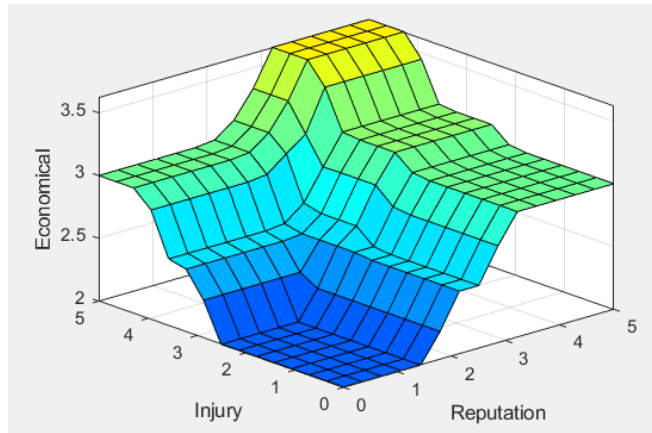


Gambar 4. 9 *Surface view* untuk *Injury*

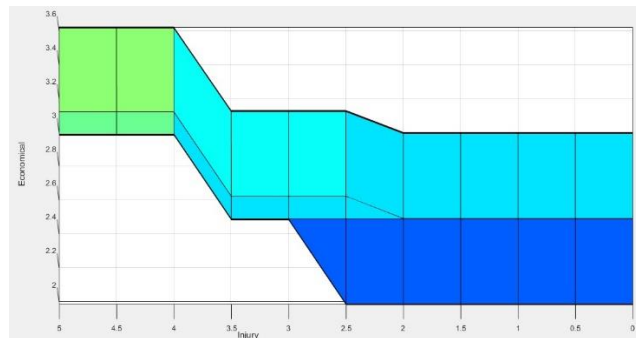


Gambar 4. 10 *Surface view* untuk *Asset*

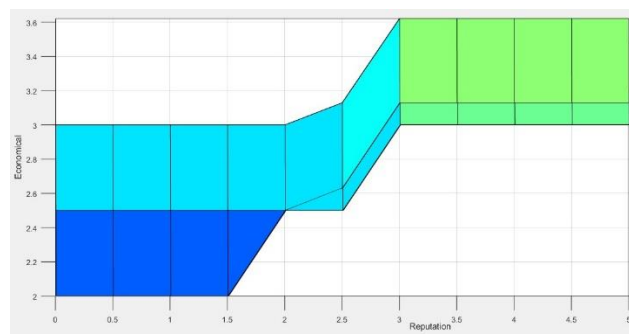
Berdasarkan Gambar 4.8 hingga Gambar 4.10, hasil dari *surface viewer* tersebut menunjukkan bahwa nilai *injury* dan *aset* mengalami kenaikan yang sama dan berbanding lurus terhadap kenaikan nilai *severity*, yaitu pada nilai 3.5 yang berarti aspek *aset* dan *injury* mempunyai dampak yang sama besar terhadap perusahaan. Hasil dari *surface viewer* juga menunjukkan bahwa nilai *injury* dan *aset* didominasi oleh warna biru tua hingga hijau yang mewakili kategori *very low* hingga *medium*.



Gambar 4. 11 *Surface view untuk Reputation-Injury*



Gambar 4. 12 *Surface view untuk Injury*



Gambar 4. 13 *Surface view untuk Reputation*

Berdasarkan Gambar 4.11 hingga Gambar 4.13, *surface viewer* tersebut menunjukkan bahwa nilai *injury* dan *reputation* mengalami kenaikan yang sedikit berbeda terhadap kenaikan nilai *severity*. Untuk nilai *injury* naik pada nilai 2.5 yang berarti aspek *injury*, sedangkan nilai *reputation* sudah naik pada nilai 1.5, yang mana *reputation* menghasilkan dampak yang lebih besar terhadap perusahaan. Hasil *surface viewer* tersebut juga menunjukkan bahwa nilai *injury* dan *reputation* menunjukkan bahwa nilai *injury* dan *reputation* didominasi oleh warna biru tua hingga hijau yang mewakili kategori *very low* hingga *medium*.

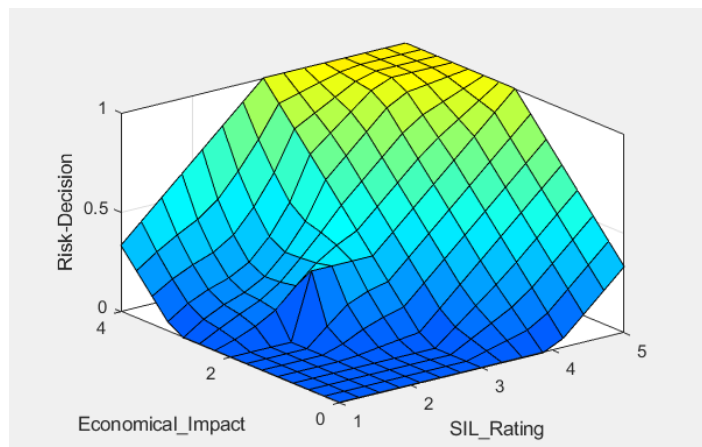
Tampilan Rule Viewer pada FIS untuk *economical impact* adalah sebagai berikut dapat dilihat pada *rule viewer* dari input berupa *injury*, *environment*, *aset*, dan juga *reputation* (IEAR) pada Gambar 4.14 dibawah ini.



Gambar 4. 14 Rule Viewer untuk Fuzzy Inference System Economical Impact

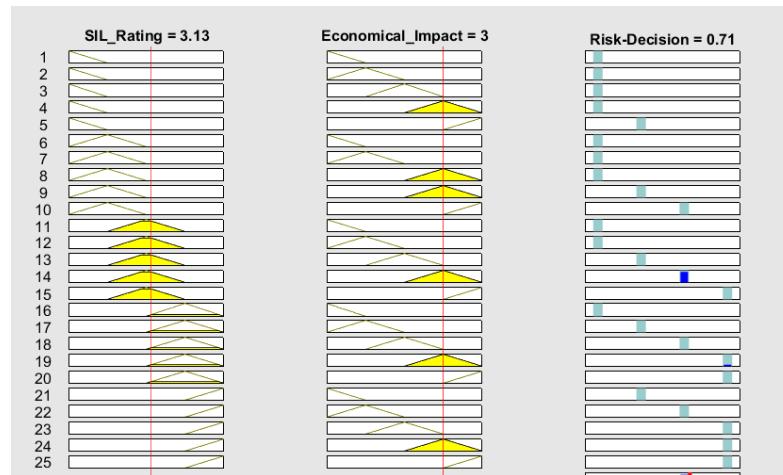
4.2.4 Fuzzy Layer of Protection Analysis untuk Risk Decision

Pada *fuzzy layer of protection analysis* untuk *risk decision*, dibangun dengan sistem fuzzy sugeno dan dipengaruhi oleh aspek ekonomi dan juga safety yang dapat memberikan hasil *decision impact* yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan oleh perusahaan. Hasil dari FIS *risk decision* ditampilkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 15 Surface Viewer Fuzzy Inference System untuk Risk Decision

Pada Gambar 4.9, menunjukkan *surface viewer* terdapat warna biru tua hingga hijau kekuningan menunjukkan kategori resiko *low*, *medium*, dan juga *high*. Sedangkan warna kuning menunjukkan kategori resiko berada pada *massive*. Untuk *rule viewer* FLOPA dengan masukan berupa SIL rating (*safety*) dan juga dari *economical impact*, dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 16 Rule Viewer FLOPA untuk Risk Decision

4.3 Analisis Hasil Simulasi FLOPA

Berikut merupakan pembahasan dan analisis tentang *fuzzy inference system* yang telah dirancang dan ditampilkan hasilnya disubbab sebelumnya.

4.3.1 Hasil Simulasi Severity Risk Impact

Setelah dilakukan simulasi pada MATLAB untuk mendapatkan nilai *severity risk impact* dengan masukan nilai IEL LOPA dan juga *consequence* dari tiap skenario, maka didapatkan hasil seperti berikut:

Tabel 4. 2 Hasil Simulasi FLOPA untuk Severity Risk Impact

No	IED	IEL LOPA	Consequence	Severity Risk Impact	Keterangan
1	Kemampuan pengupasan yang memburuk mengakibatkan gangguan proses dan hidrokarbon terbawa ke regenerator	0,0036233	5	0,5	Medium
2	Katalis terbawa ke kolom utama yang mengakibatkan penyumbatan kolom utama dan berpotensi shutdown untuk pembangkit.	0,0036233	5	0,5	Medium
3	Kemampuan pengupasan yang memburuk mengakibatkan gangguan proses dan hidrokarbon terbawa ke regenerator	0,0036233	5	0,5	Medium
4	Katalis terbawa ke kolom utama yang mengakibatkan penyumbatan kolom utama dan berpotensi shutdown untuk pembangkit.	0,0036233	5	0,5	Medium
5	Suhu tinggi dalam reaktor menghasilkan produksi api kecil	0,000036139	5	0,33	Medium
6	Penurunan suhu dalam reaktor yang menyebabkan penurunan hasil, produk yang tidak sesuai spesifikasi, dan potensi kerugian reaksi	0,000036139	5	0,33	Medium
7	Terjadi arus balik dari reaktor ke regenerator yang menyebabkan potensi kebakaran dan ledakan	3,59525E-05	5	0,33	Medium

Pada Tabel 4.2 yang menunjukkan dampak dari keparahan resiko untuk masing masing skenario bahaya yang telah dianalisa. Dapat dilihat bahwa skenario satu hingga

skenario empat yang memiliki nilai IEL sebesar 0,0036233 memiliki tingkat *severity risk impact* sebesar 0,667 dengan kategori yang sedang atau *medium*, untuk skenario lima hingga tujuh, dimana nilai IEL LOPA untuk skenario lima dan enam sebesar 0,000036139, dan untuk skenario tujuh adalah 0,0000359535 memiliki nilai *severity risk impact* sebesar 0,33 dengan kategori yang sedang atau *medium*.

4.3.2 Hasil Simulasi SIL Rating

Setelah dilakukan simulasi pada MATLAB untuk mendapatkan nilai SIL rating dengan masukan nilai *severity risk impact* yang telah didapat pada langkah sebelumnya dan juga nilai frekuensi atau nilai *likelihood* dari tiap skenario, maka didapatkan hasil seperti berikut:

Tabel 4. 3 Hasil Simulasi FLOPA untuk SIL Rating

Skenario	Severity Risk Impact	Frequency	SIL	Keterangan
Kemampuan pengupasan yang memburuk mengakibatkan proses terganggu dan hidrokarbon terbawa ke regenerator	0,667	3	3	SIL 2
Katalis terbawa ke kolom utama yang mengakibatkan penyumbatan kolom utama dan berpotensi mematikan pembangkit	0,667	3	3	SIL 2
Kemampuan pengupasan yang memburuk mengakibatkan gangguan proses dan hidrokarbon terbawa ke regenerator	0,667	3	3	SIL 2
Katalis terbawa ke kolom utama yang mengakibatkan penyumbatan kolom utama dan berpotensi mematikan pembangkit	0,667	3	3	SIL 2
Suhu tinggi dalam reaktor menghasilkan produksi api kecil	0,33	3	2	SIL 1
Penurunan suhu dalam reaktor yang menyebabkan penurunan hasil, produk yang tidak sesuai spesifikasi, dan potensi kerugian reaksi	0,33	3	2	SIL 1
Terjadi arus balik dari reaktor ke regenerator yang menyebabkan potensi kebakaran dan ledakan	0,33	3	2	SIL 1

Dapat dilihat pada Tabel 4.3 bahwa hasil dari FLOPA untuk SIL rating untuk skenario satu hingga empat dengan nilai *severity* sebesar 0,667 menghasilkan SIL 2 yang berarti sudah sama dengan perhitungan LOPA konvensional dan juga tidak perlu dilakukan evaluasi lebih lanjut. Selanjutnya pada hasil FLOPA untuk SIL rating untuk skenario lima hingga

tujuh dengan nilai *severity risk impact* sebesar 0,33, menghasilkan SIL 1 yang berarti tidak perlu dilakukan evaluasi lebih lanjut.

4.3.3 Hasil Simulasi Economical Impact

Setelah dilakukan simulasi pada MATLAB untuk mendapatkan nilai dari *economical impact* dengan empat masukan atau empat aspek yakni *injury*, *environment*, *asset*, dan juga *reputation* maka didapatkan hasil seperti berikut:

Tabel 4. 4 Hasil Simulasi FLOPA untuk Economical Impact

Skenario	SIL LOPA	Severity	Economical Impact	Keterangan
Kemampuan pengupasan yang memburuk mengakibatkan proses terganggu dan hidrokarbon terbawa ke regenerators	Injury	0	3	Major
	Environment	0		
	Asset	5		
	Reputation	0		
Katalis terbawa ke kolom utama yang mengakibatkan penyumbatan kolom utama dan berpotensi mematikan pembangkit	Injury	1	2	Moderate
	Environment	0		
	Asset	4		
	Reputation	0		
Kemampuan pengupasan yang memburuk mengakibatkan gangguan proses dan hidrokarbon terbawa ke regenerator	Injury	0	3	Major
	Environment	0		
	Asset	5		
	Reputation	0		
Katalis terbawa ke kolom utama yang mengakibatkan penyumbatan kolom utama dan berpotensi mematikan pembangkit	Injury	1	2	Moderate
	Environment	0		
	Asset	4		
	Reputation	0		
Suhu tinggi dalam reaktor menghasilkan produksi api kecil	Injury	2	3	Major
	Environment	2		
	Asset	5		
	Reputation	1		
Penurunan suhu dalam reaktor yang menyebabkan penurunan hasil, produk yang tidak sesuai spesifikasi, dan potensi kerugian reaksi	Injury	2	3	Major
	Environment	2		
	Asset	4		
	Reputation	1		
Terjadi arus balik dari reaktor ke regenerator yang menyebabkan potensi kebakaran dan ledakan	Injury	2	3	Major
	Environment	2		
	Asset	5		
	Reputation	1		

Dari Tabel 4.4 dari hasil FLOPA untuk *Economical Impact* dengan empat masukan atau aspek yakni *injury*, *environment*, *asset* dan *reputation* menghasilkan dua kategori dari tujuh skenario. Untuk skenario dua dan empat berada pada kategori *moderate* atau menengah dengan konsekuensi *partial shutdown* (dapat dioperasikan kembali tetapi biaya US\$ 1 juta). Untuk skenario satu, tiga, lima, enam dan tujuh berada pada kategori *major* dengan konsekuensi kehilangan operasi parsial (*Shutdown* 2 minggu, biaya hingga US\$10 juta).

4.3.4 Hasil Simulasi Risk Decision

Setelah dilakukan simulasi pada MATLAB untuk mendapatkan nilai *risk decision* dengan masukan dari SIL rating dan juga dari *economical impact*, maka didapatkan hasil seperti berikut:

Tabel 4. 5 Hasil Simulasi FLOPA *Risk Decision*

Skenario	SIL Rating	Economical Impact	Risk Decision	Keterangan
Kemampuan pengupasan yang memburuk mengakibatkan proses terganggu dan hidrokarbon terbawa ke regenerator	SIL 2	3	0,667	<i>Medium</i>
Katalis terbawa ke kolom utama yang mengakibatkan penyumbatan kolom utama dan berpotensi mematikan pembangkit	SIL 2	2	0,667	<i>Medium</i>
Kemampuan pengupasan yang memburuk mengakibatkan gangguan proses dan hidrokarbon terbawa ke regenerator	SIL 2	3	0,667	<i>Medium</i>
Katalis terbawa ke kolom utama yang mengakibatkan penyumbatan kolom utama dan berpotensi mematikan pembangkit	SIL 2	2	0,667	<i>Medium</i>
Suhu tinggi dalam reaktor menghasilkan produksi api kecil	SIL 1	3	0,1667	<i>Low</i>
Penurunan suhu dalam reaktor yang menyebabkan penurunan hasil, produk yang tidak sesuai spesifikasi, dan potensi kerugian reaksi	SIL 1	3	0,1667	<i>Low</i>
Terjadi arus balik dari reaktor ke regenerator yang menyebabkan potensi kebakaran dan ledakan	SIL 1	3	0,1667	<i>Low</i>

Dari hasil FLOPA untuk *risk decision*, yang dipengaruhi oleh aspek ekonomi dan juga *safety* yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan oleh perusahaan, menghasilkan dua kategori dari tujuh skenario. Untuk skenario satu hingga empat dengan nilai risk decision sebesar 0,667 berada pada kategori menengah atau *medium*, sedangkan untuk kategori lima hingga tujuh dengan nilai risk decision sebesar 0,1667 berada pada kategori rendah atau *low*.

4.4 Validasi FLOPA dengan LOPA

Fuzzy Layer of Protection Analysis (FLOPA) memerlukan sebuah validasi karena merupakan simulasi dari *software* MATLAB. Validasi FLOPA pada penelitian ini adalah dengan membandingkan nilai SIL pada perhitungan LOPA dengan nilai SIL dengan FLOPA. Setelah perhitungan SIL dilakukan menggunakan metode LOPA konvensional dan

juga FLOPA menggunakan simulasi *software* MATLAB, didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.6. Terdapat tujuh skenario yang telah dilakukan perhitungan SIL. Hasil dari perhitungan LOPA konvensional dan simulasi FLOPA dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 4. 6 Perbandingan Nilai SIL LOPA dengan FLOPA

Skenario	SIL LOPA	SIL FLOPA
Kemampuan pengupasan yang memburuk mengakibatkan gangguan proses dan hidrokarbon terbawa ke regenerator	2	2
Katalis terbawa ke kolom utama yang mengakibatkan penyumbatan kolom utama dan berpotensi shutdown untuk pembangkit.	2	2
Kemampuan pengupasan yang memburuk mengakibatkan gangguan proses dan hidrokarbon terbawa ke regenerator	2	2
Katalis terbawa ke kolom utama yang mengakibatkan penyumbatan kolom utama dan berpotensi shutdown untuk pembangkit.	2	2
Suhu tinggi dalam reaktor menghasilkan produksi api kecil	0	1
Penurunan suhu dalam reaktor yang menyebabkan penurunan hasil, produk yang tidak sesuai spesifikasi, dan potensi kerugian reaksi	0	1
Terjadi arus balik dari reaktor ke regenerator yang menyebabkan potensi kebakaran dan ledakan	0	1

Dapat dilihat pada Tabel 4.6 diatas, dimana untuk perhitungan nilai SIL dengan metode LOPA konvensional yang dilakukan dari skenario satu hingga empat didapatkan SIL 2, sedangkan untuk skenario lima hingga tujuh didapatkan SIL 0. Untuk analisis dengan metode FLOPA, pada skenario satu hingga empat didapatkan nilai SIL yang sama yakni sebesar SIL 2, sedangkan untuk skenario lima hingga tujuh didapatkan nilai SIL 1 yang mana berbeda satu tingkat dengan perhitungan metode LOPA konvensional. Hal tersebut dikarenakan pada pemodelan LOPA konvensional nilai *likelihood* tidak diperhitungkan, tetapi pada FLOPA diperhitungkan sehingga menghasilkan hasil SIL level yang berbeda dan lebih akurat.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan untuk menjawab rumusan masalah pada tugas akhir untuk evaluasi *safety integrity level* pada Reactor unit *101 residual fluid catalytic cracking* berbasis *Fuzzy-Layer of Protection Analysis* (FLOPA), diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Untuk analisis dengan metode LOPA konvensional yang dilakukan dari skenario satu hingga empat didapatkan nilai *Safety Integrity Level* atau SIL 2, sedangkan untuk skenario lima hingga tujuh didapatkan SIL 0. Untuk analisis dengan metode FLOPA, dari skenario satu hingga empat didapatkan SIL 2, sedangkan untuk skenario lima hingga tujuh didapatkan SIL 1. Ada perbedaan nilai SIL pada skenario lima hingga tujuh dikarenakan pada pemodelan *Layers of Protection Analysis* atau LOPA konvensional nilai *likelihood* tidak diperhitungkan, tetapi pada *Fuzzy Layers of Protection Analysis* (FLOPA) diperhitungkan sehingga menghasilkan hasil SIL level yang berbeda dan lebih akurat.
2. Dari hasil FLOPA untuk *risk decision*, yang dipengaruhi oleh aspek ekonomi dan juga *safety* yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan oleh perusahaan, menghasilkan dua kategori dari tujuh skenario. Untuk skenario satu hingga empat dengan nilai *risk decision* sebesar 0,667 berada pada kategori *medium*, sedangkan untuk kategori lima hingga tujuh dengan nilai *risk decision* sebesar 0,1667 berada pada kategori *low*.

5.2 Saran

Dari tugas akhir ini, hal yang dapat penulis sarankan dalam penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Diperlukan *predictive maintenance* pada setiap *equipment* yang terdapat pada unit Reactor 101, sehingga lebih mudah untuk melakukan deteksi terkait adanya potensi bahaya yang mungkin terjadi.
2. Dilakukan dengan menggunakan data primer agar dapat mengetahui lapisan perlindungan pasif dari perusahaan serta dapat menggunakan fuzzy tipe 2 agar mendapatkan nilai ketidakpastian dari perhitungan yang dilakukan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

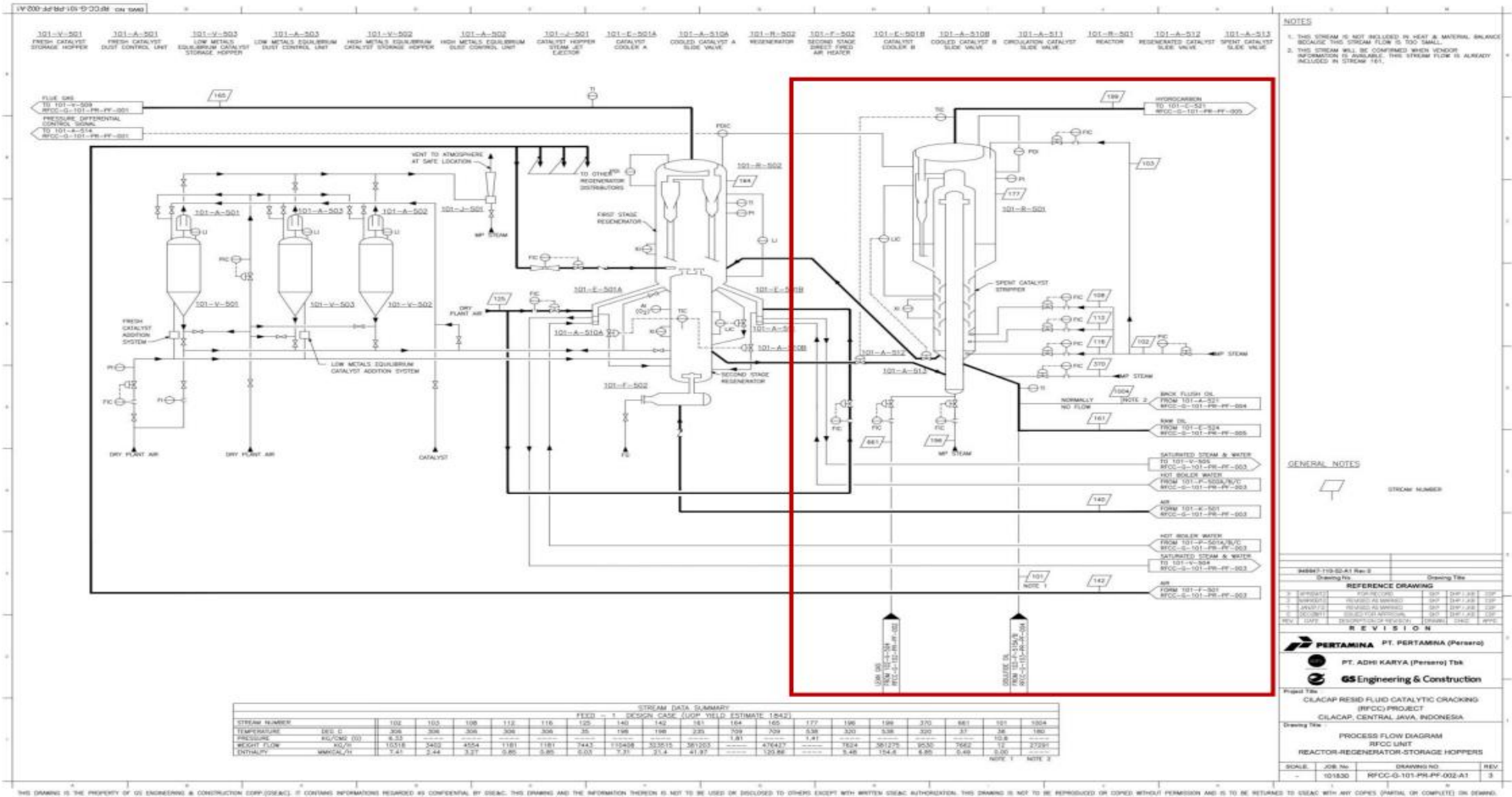
DAFTAR PUSTAKA

- Amini, E., Ahmadi, K., Rashidi, A., Youzbashi, A., & Rezaei, M. (2019). Preparation of nanozeolite-based RFCC catalysts and evaluation of their catalytic performance in RFCC process. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, *100*, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2019.04.027>
- CCPS, 2001. Simplified Process Risk Assessment.. New York: American Institute of Chemical Engineers..
- Cui, Z., Tian, W., Wang, X., Fan, C., Guo, Q., & Xu, H. (2019). Safety integrity level analysis of fluid catalytic cracking fractionating system based on dynamic simulation. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, *104*, 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2019.08.008>
- Dan, S., Kim, J., Kim, I. H., Cho, S., Yoon, E. S., & Shin, D. (2015). Integrated Framework for Determining Safety Integrity Level for Improved Process Safety. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, *48*(9), 742–755. <https://doi.org/10.1252/jcej.14we035>
- Dernoncourt, F. (n.d.). *Introduction to fuzzy logic*. 25.
- Ghosh, S. (2002) “Fluid catalytic cracking: An overview & future scenario”, Indian Chemical
- Halimatussadiyah, A., & Resosudarmo, B. P. (2004). Tingkat Ekstraksi Optimal Minyak Bumi Indonesia: Aplikasi Model Optimasi Dinamik. *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan Indonesia*, *5*(1), 11–34. <https://doi.org/10.21002/jepi.v5i1.98>
- Izzah, A. (2019). *STUDI HAZOP BERBASIS LAYER OF PROTECTION ANALYSIS*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Kang, J., & Guo, L. (2016). HAZOP analysis based on sensitivity evaluation. *Safety Science*, *88*, 26–32. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.04.018>
- Lassen, C. A. (2008). Layer of Protection Analysis (LOPA) for Determination of Safety Integrity Level (SIL). Master Project. Departement of Production and Quality Engineering. The Norwegian University of science of Technology. Snarøya.
- Mohd. Yunus, M. Y., & Ali, M. W. (2012). Application of the Modified HAZOP to an Advisory System Using Rule-Based Approach for Packed Column. *Jurnal Teknologi*. <https://doi.org/10.11113/jt.v40.419>

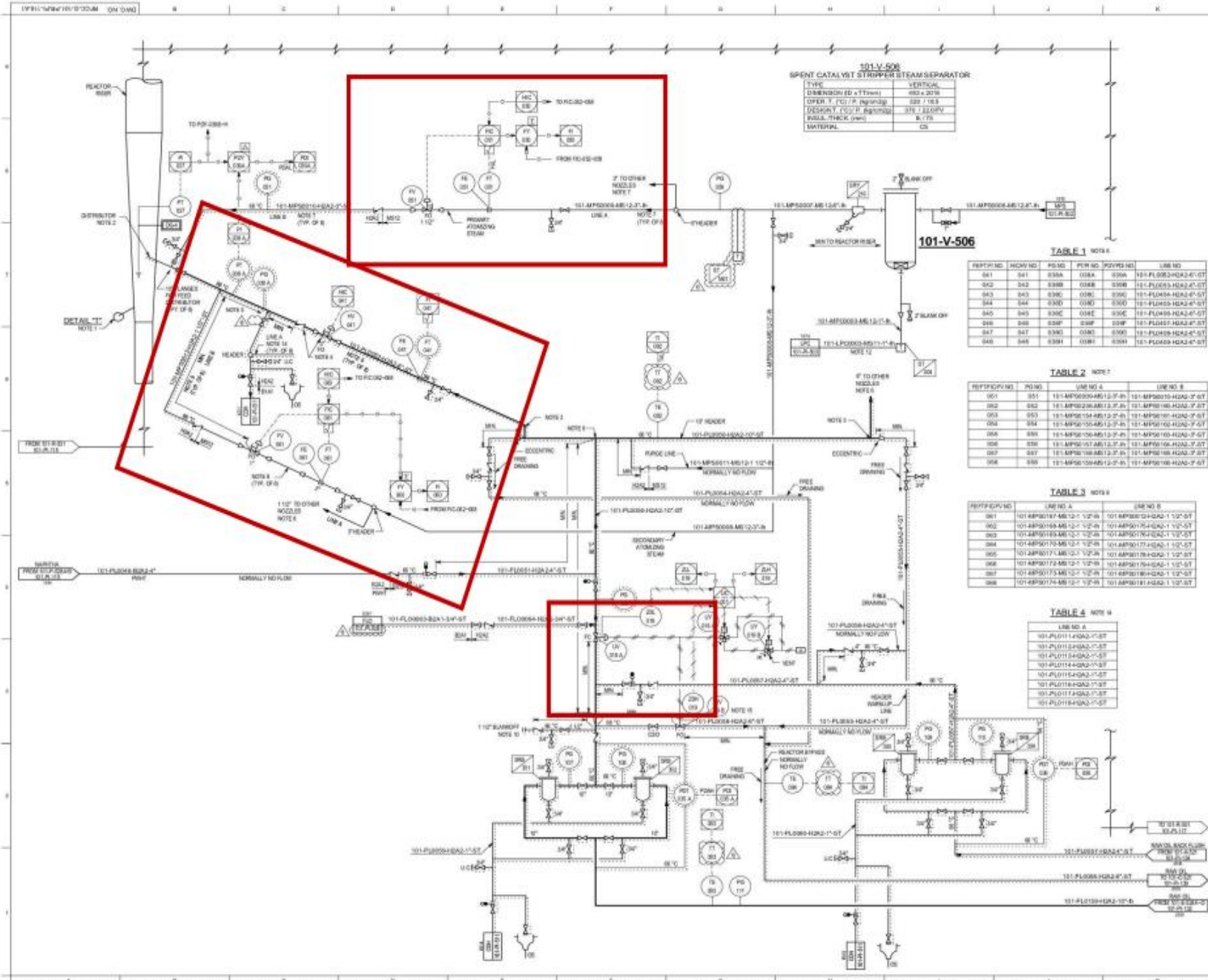
- Myers, P. M. (2013). Layer of Protection Analysis – Quantifying human performance in initiating events and independent protection layers. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26(3), 534–546. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2012.07.003>
- NS (2008). Krav til risikovurderinger. Norsk Standard NS 5814:2008. (In Norwegian). exempt from public disclosure UIC (2022). GSM-R. Last visited 05.07.2022. <http://www.uic.org/gsm-r>.
- Passino, K. M., & Yurkovich, S. (1998). *Fuzzy control*. Addison-Wesley.
- Solukloei, H. R. J., Nematifard, S., Hesami, A., Mohammadi, H., & Kamalinia, M. (2022). A fuzzy-HAZOP/ant colony system methodology to identify combined fire, explosion, and toxic release risk in the process industries. *Expert Systems with Applications*, 192, 116418. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116418>
- Summers, A. E. (2007). *INTRODUCTION TO LAYER OF PROTECTION ANALYSIS*. 6.
- Torres-Echeverria, A. C. (2016). On the use of LOPA and risk graphs for SIL determination. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 41, 333–343. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2015.12.007>
- Zhu, C., Qi, M., & Jiang, J. (2020). Quantifying human error probability in independent protection layers for a batch reactor system using dynamic simulations. *Process Safety and Environmental Protection*, 133, 243–258. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.11.021>

LAMPIRAN

A. Process Flow Diagram Reactor Unit 101 PT.X



THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF GS ENGINEERING & CONSTRUCTION (SEAC). IT CONTAINS INFORMATION RECORDED AS CONFIDENTIAL BY SEAC. THIS DRAWING AND THE INFORMATION THEREIN IS NOT TO BE USED OR DISCLOSED TO OTHERS EXCEPT WITH WRITTEN SEAC AUTHORIZATION. THIS DRAWING IS NOT TO BE REPRODUCED OR COPIED WITHOUT PERMISSION AND IS TO BE RETURNED TO SEAC WITH ANY COPIES (PARTIAL OR COMPLETE) ON DEMAND.



NOTES

- SEE P&ID 101-PL-02 FOR DETAIL 'T'.
- PROVIDE CLEARANCE FOR REMOVAL.
- WAKE DOWN ON TOP OF PIPE.
- CLOSE COUPLED.
- FREE DRAWING TO HEADER.
- SEE TABLE 1.
- SEE TABLE 2.
- SEE TABLE 3.
- WAKE CONNECTION AT CENTER OF HEADER.
- FOR FUTURE PASSIVATION CHEMICAL FUNCTION.
- HS-403 MUST LOCATE NEAR VALVE UN-403.
- TWO PHASE FLOW.
- DELETED.
- SEE TABLE 4.
- SEE P&ID 101-PL-110 FOR VALVE DETAIL OF VOLUME TANK SUPPLIES.

EMERGENCY SHUTDOWN

UPFC EMERGENCY INTERLOCK SYSTEM SHUTDOWN

THREE POSITION SWITCH

UPFC EMERGENCY INTERLOCK SYSTEM FEED TO REACTOR

HOLD LIST

- DELETED.
- DELETED.

GENERAL NOTE

- FOR SYMBOL AND LEGEND, REFER TO P&ID P&ID-0003 P&ID-101-100.
- ALL INSTRUMENTS AND PIPING SPECIAL TEND ARE PRE-FRIGED WITH N₂.
- UNLESS SPECIFIED, VALVE SIZE IS SAME AS LINE SIZE.
- PROVIDE CLEARANCE FOR BUND REMOVAL OR ROOFING AT GLEY SEWER DRAIN POINT.

EQUIPMENT SUMMARY

101-V-506 SPENT CATALYST STRIPPER STEAM SEPARATOR

DATE: 2023.12.21 AT: Rev. 0 Drawing No. _____ Drawing Title: _____

REFERENCE DRAWING

NO.	DATE	DESCRIPTION	DRW.	CHK.	APP.
1	01/2010	DESIGN FOR CONSTRUCTION	DRW.	HEK, JAB	OSP
2	02/2010	DESIGN FOR CONSTRUCTION	DRW.	HEK, JAB	OSP
3	03/2010	DESIGN FOR CONSTRUCTION	DRW.	HEK, JAB	OSP
4	04/2010	DESIGN FOR CONSTRUCTION	DRW.	HEK, JAB	OSP
5	05/2010	DESIGN FOR CONSTRUCTION	DRW.	HEK, JAB	OSP
6	06/2010	DESIGN FOR CONSTRUCTION	DRW.	HEK, JAB	OSP
7	07/2010	DESIGN FOR CONSTRUCTION	DRW.	HEK, JAB	OSP
8	08/2010	DESIGN FOR CONSTRUCTION	DRW.	HEK, JAB	OSP
9	09/2010	DESIGN FOR CONSTRUCTION	DRW.	HEK, JAB	OSP
10	10/2010	DESIGN FOR CONSTRUCTION	DRW.	HEK, JAB	OSP

REVISION

Pertamina PT. PERTAMINA (Persero)

PT. ADI KARYA (Persero) Tbk

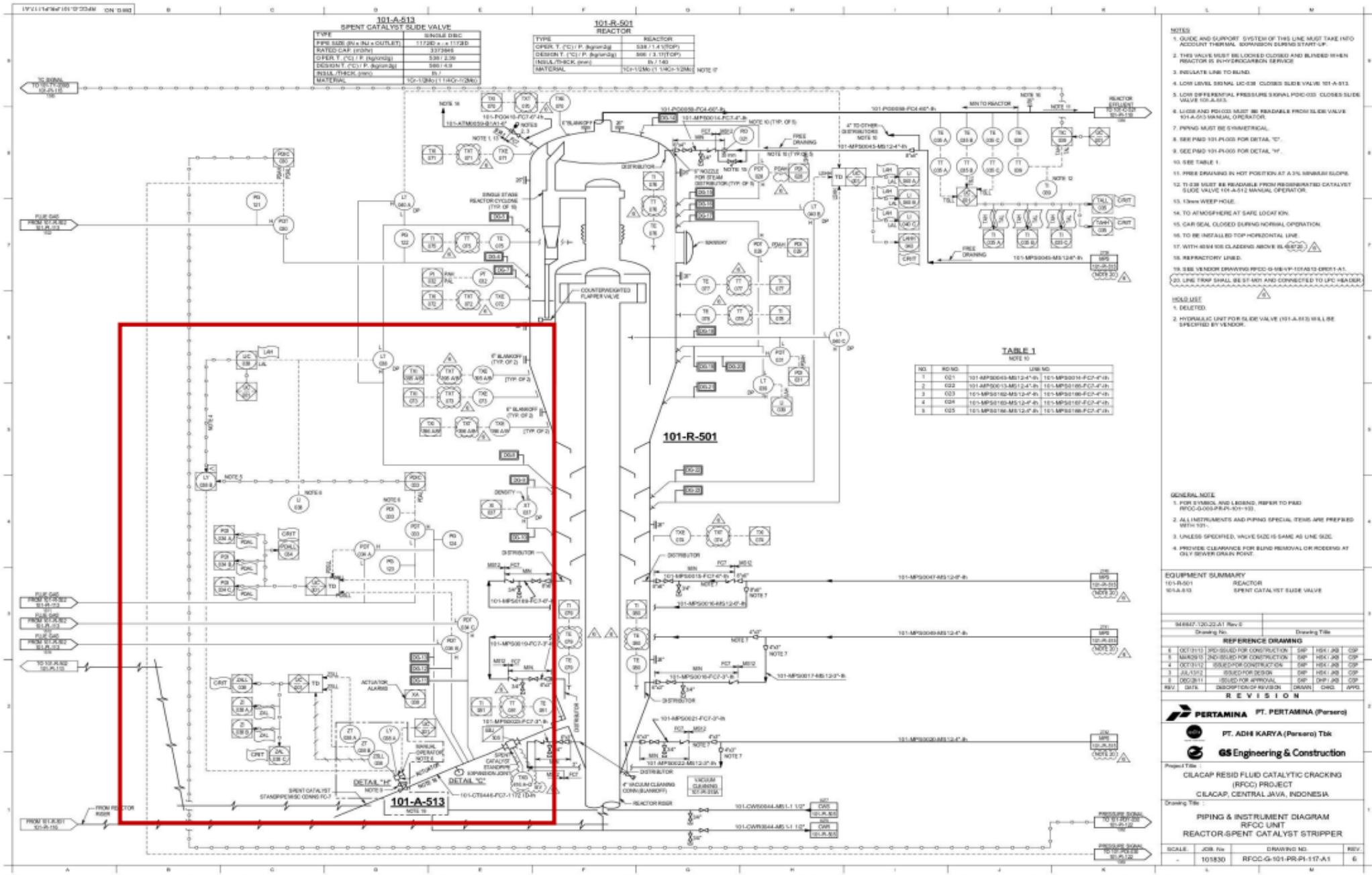
GS Engineering & Construction

Project Title: **CLACAP RESID FLUID CATALYTIC CRACKING (RFCC) PROJECT**
CLACAP, CENTRAL JAWA, INDONESIA

Drawing Title: **PIPING & INSTRUMENT DIAGRAM RFCC UNIT UPPER REACTOR RISER**

SCALE	JOB No.	DRAWING NO.	REV.
1:1	101E30	RFCC-G-101-PR-PL-116-A1	6

THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF GS ENGINEERING & CONSTRUCTION CORP (GS&C). IT CONTAINS INFORMATION REGARDED AS CONFIDENTIAL BY GS&C. THIS DRAWING AND THE INFORMATION THEREON IS NOT TO BE USED OR DISCLOSED TO OTHERS EXCEPT WITH WRITTEN GS&C AUTHORIZATION. THIS DRAWING IS NOT TO BE REPRODUCED OR COPIED WITHOUT PERMISSION AND IS TO BE RETURNED TO GS&C WITH ANY COPIES, PARTIAL OR COMPLETE ON DEMAND.



**101-A-513
SPENT CATALYST SLIDE VALVE**

TYPE	SINGLE DRG
TYPE SIZE (IN x IN) x OUTLET	11/2" x 1" 11/2"
RATED CAP. (TON)	337944
OPER. T. (°C) / P. (MPa/gg)	538 / 2.39
DESIGN T. (°C) / P. (MPa/gg)	588 / 4.9
INSUL. THICK. (MM)	19
MATERIAL	102-1280 (11400-1280)

**101-R-501
REACTOR**

TYPE	REACTOR
OPER. T. (°C) / P. (MPa/gg)	538 / 2.4 (11/2"OP)
DESIGN T. (°C) / P. (MPa/gg)	588 / 4.9
INSUL. THICK. (MM)	19 / 140
MATERIAL	102-1280 (11400-1280) NOTE 9

**TABLE 1
NOTE 10**

NO.	NO. MD	LINE NO.
1	021	101-MP50043-M512-4" (h) 101-MP50011-FC7-4" (h)
2	022	101-MP50013-M512-4" (h) 101-MP50016-FC7-4" (h)
3	023	101-MP50180-M512-4" (h) 101-MP50181-FC7-4" (h)
4	024	101-MP50180-M512-4" (h) 101-MP50182-FC7-4" (h)
5	025	101-MP50181-M512-4" (h) 101-MP50183-FC7-4" (h)

- NOTES**
- GUIDE AND SUPPORT SYSTEM OF THIS LINE MUST TAKE INTO ACCOUNT THERMAL EXPANSION DURING START-UP.
 - THIS VALVE MUST BE LOCKED CLOSED AND BLENDED WHEN REACTOR IS IN HYDROCARBON SERVICE.
 - REGULATE LINE TO BLEND.
 - LOW LEVEL SIGNAL LIC-038 CLOSED SLIDE VALVE 101-A-513.
 - LOW DIFFERENTIAL PRESSURE SIGNAL PDC-033 CLOSED SLIDE VALVE 101-A-513.
 - LIC-038 AND PDC-033 MUST BE READABLE FROM SLIDE VALVE 101-A-513 MANUAL OPERATOR.
 - PIPING MUST BE SYMMETRICAL.
 - SEE P&ID 101-PR-003 FOR DETAIL "1".
 - SEE P&ID 101-PR-003 FOR DETAIL "1".
 - SEE TABLE 1.
 - FREE DRAINING IN HOT POSITION AT A 3% MINIMUM SLOPE.
 - TI-038 MUST BE READABLE FROM REDESIGNED CATALYST SLIDE VALVE 101-A-513 MANUAL OPERATOR.
 - 10mm WEEP HOLE.
 - TO ATMOSPHERE AT SAFE LOCATION.
 - CAR SEAL CLOSED DURING NORMAL OPERATION.
 - TO BE INSTALLED TOP HORIZONTAL LINE.
 - WITH 45MM I.D. CLASSING ABOVE IS 60000.
 - REFRACTORY LINE.
 - SEE VENDOR DRAWING RPCC-D-08-VF-104913-001-I-1.
 - LINE TRAP SHALL BE 5" DIA. AND CONNECTED TO LFC HEADER.

- WELD LIST**
- DELETED
 - HYDRAULIC UNIT FOR SLIDE VALVE 101-A-513 WILL BE SPECIFIED BY VENDOR.

- GENERAL NOTE**
- FOR SYMBOLS, LOG LEGENDS, REFER TO P&ID RPCC-G-000-PR-101-110.
 - ALL INSTRUMENTS AND PIPING SPECIAL ITEMS ARE PREPARED WITH 101.
 - UNLESS SPECIFIED, VALVE SIZE IS SAME AS LINE SIZE.
 - PROVIDE CLEARANCE FOR BLIND REMOVAL OR READING AT OILY SEWER DRAIN POINT.

EQUIPMENT SUMMARY

101-R-501	REACTOR
101-A-513	SPENT CATALYST SLIDE VALVE

REVISION

NO.	DATE	DESCRIPTION OF REVISION	DRAWN	CHEK	APPD.
1	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
2	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
3	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
4	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
5	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
6	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
7	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
8	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
9	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
10	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
11	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
12	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
13	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
14	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
15	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
16	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
17	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
18	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
19	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
20	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
21	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
22	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
23	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
24	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
25	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
26	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
27	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
28	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
29	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
30	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
31	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
32	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
33	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
34	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
35	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
36	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
37	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
38	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
39	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
40	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
41	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
42	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
43	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
44	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
45	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
46	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
47	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
48	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
49	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
50	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
51	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
52	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
53	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
54	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
55	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
56	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
57	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
58	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
59	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
60	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
61	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
62	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
63	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
64	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
65	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
66	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
67	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
68	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
69	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
70	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
71	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
72	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
73	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
74	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
75	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
76	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
77	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
78	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
79	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
80	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
81	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
82	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
83	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
84	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
85	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
86	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
87	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
88	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
89	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
90	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
91	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
92	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
93	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
94	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
95	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
96	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
97	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
98	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
99	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP
100	02/11/10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	OSP	HEK	OSP

Pertamina PT. PERTAMINA (Persero)

PT. ADH KARYA (Persero) Tbk

GS Engineering & Construction

Project Title: CILCAP RESID FLUID CATALYTIC CRACKING (RFCC) PROJECT
CILCAP, CENTRAL JAVA, INDONESIA

Drawing Title: PIPING & INSTRUMENT DIAGRAM
RFCC UNIT
REACTOR-SPENT CATALYST STRIPPER

SCALE	JOB. No.	DRAWING NO.	REV.
-	101830	RFCC-G-101-PR-P1-117-A1	6

B. HAZOP Worksheet

Instrument	Guide Word	Deviation	Cause	Consequences	Classification	S	L	R	Safeguards
FT-051	No/Less	No Flow/Less flow	101-FIC051~058 failure driving 101-FV-051 failed to open	Pengurangan atomisasi mengarah ke pengurangan hasil.	Injury	0	B	R	Bypass System
					Asset	2	B	R	
					Environment	0	B	R	
	More	More flow	101-FIC051~058 failure driving 101-FV-051 fully open	Aliran meningkat dari MP uap untuk pakan atomisasi dan kerusakan kualitas	Reputation	1	B	R	
					Injury	0	B	R	
					Asset	2	B	R	
FT – 061	No / Less	No Flow/Less Flow	101-FIC051~058 failure driving 101-FV-051 failed to open	Pengurangan atomisasi mengarah ke pengurangan hasil.	Environment	2	B	R	Bypass System
					Reputation	1	B	R	
					Injury	0	B	R	
	More	More Flow	101-FIC051~058 failure driving 101-FV-051 fully open	Aliran meningkat dari MP uap untuk pakan atomisasi dan kerusakan kualitas	Asset	2	B	R	
					Environment	2	B	R	
					Reputation	0	B	R	

FT – 028	No / Less	No Flow/Less Flow	101-FIC-028 failure driving 101-FV-028 failed to open	Katalisator berkurang kecepatan dan produksi kapasitas menurun	Injury	0	C	R	Bypass System
					Asset	2	C	R	
					Environment	0	C	R	
					Reputation	0	C	R	
FT – 028	More	More Flow	101-FIC-028 failure driving 101-FV-028 fully open	Tingkat umpan reaktor naik secara dramatis begitu produksi itu penurunan kapasitas	Injury	0	C	R	Bypass System
					Asset	3	C	M	
					Environment	0	C	R	
					Reputation	0	C	R	
UV-019A	No / Less	No Flow/Less Flow	UV-19A failed to open	Gangguan dari memberi makan minyak mentah pasokan dan kerugian dari produksi	Injury	0	C	R	Bypass System
					Asset	2	C	R	
					Environment	0	C	R	
					Reputation	0	C	R	
FT – 037	No / Less	No Flow/Less Flow	101-FIC-037 failure driving 101-FV-037 failed to open	1. Katalisator berkurang kecepatan dan produksi kapasitas menurun. 2. Potensi ganti produk campuran dengan peningkatan H2 konten di gas ringan.	Injury	0	C	R	Bypass System
					Asset	3	C	M	
					Environment	0	C	R	
					Reputation	0	C	R	
	More	More Flow	101-FIC-037 failure driving 101-FV-037 fully open	Gangguan dari memberi makan minyak mentah pasokan dan kerugian dari produksi	Injury	0	C	R	101-UV-019A position indication with discrepancy alarm
					Asset	3	C	M	
					Environment	1	C	R	
					Reputation	0	C	R	

PT-040	Low	Low Pressure	PIC-040 failure driving PV – 040 failed to open	Kehilangan uap untuk <i>stripper</i> mengakibatkan kerugian pengupasan kemampuan dan proses merusak	Injury	0	C	R	101-FIC 071/072/073 with low flow alarm
					Asset	4	C	M	
	Environment	1	C	R					
	Reputation	0	C	R					
High	High Pressure	PV – 040 fully open	Potensi kerugian integritas dalam MP sistem uap dan katalis masuk atas regenerator berkurang	Injury	1	C	R	101-PSV-507A/B	
				Asset	3	C	M		
				Environment	1	C	R		
				Reputation	0	C	R		
FT-070	No / Less	No Flow/ Less Flow	101-FIC-070 failure driving FV – 070 failed to open	Kemampuan pengupasan yang memburuk mengakibatkan gangguan proses dan hidrokarbon terbawa ke regenerator	Injury	0	C	R	101-FIC-070 with low flow alarm and Bypass System
					Asset	5	C	T	
	Environment	0	C	R					
	Reputation	0	C	R					
More	More Flow	FV – 070 fully open	Katalis terbawa ke kolom utama yang mengakibatkan penyumbatan kolom utama dan berpotensi mematikan pembangkit	Injury	1	C	R	Bypass System	
				Asset	4	C	M		
				Environment	0	C	R		
				Reputation	0	C	R		
FT-071	No / Less	No Flow/ Less Flow	101-FIC-071 failure driving FV – 071 failed to open	Kemampuan pengupasan yang memburuk mengakibatkan gangguan proses dan hidrokarbon terbawa ke regenerator	Injury	0	C	R	101-FIC-071 with low flow alarm and Bypass System
					Asset	5	C	T	
	Environment	0	C	R					
	Reputation	0	C	R					
More	More Flow				Injury	1	C	R	Bypass System

			FV – 071 fully open	Katalis terbawa ke kolom utama yang mengakibatkan penyumbatan kolom utama dan berpotensi mematikan pembangkit	Asset	4	C	M	
					Environment	0	C	R	
						0	C	R	
					Reputation				
			101-FIC-072 failure driving FV – 072 failed to open	Proses terganggu karena hilangnya sebagian fluidisasi di bawah baki	Injury	0	C	R	101-FIC-072 with low flow alarm and Bypass System
					Asset	3	C	M	
					Environment	0	C	R	
					Reputation	0	C	R	
FT-072	No / Less	No Flow/ Less Flow							
					Injury	1	C	R	Bypass System
					Asset	4	C	M	
					Environment	0	C	R	
					Reputation	0	C	R	
			FV – 072 fully open	Katalis terbawa ke kolom utama dan Proses terganggu					
	More	No Flow/ Less Flow							
			101-FIC-073 failure driving FV – 073 failed to open	Proses terganggu karena hilangnya sebagian fluidisasi di bawah baki	Injury	0	C	R	101-FIC-073 with low flow alarm and Bypass System
					Asset	3	C	R	
					Environment	0	C	R	
					Reputation	0	C	R	
					Injury	0	C	R	Bypass System
					Asset	3	C	R	
					Environment	0	C	R	
					Reputation	0	C	R	
FT-073	More	More Flow	FV – 073 fully open	Proses terganggu					

TT-039	Low	Low Temperature	101-TIC-039 failure driving A-512 failed to open	Penurunan suhu dalam reaktor yang menyebabkan penurunan hasil, produk yang tidak sesuai spesifikasi dan potensi kerugian reaksi.	Injury	1	C	R	101-TI-035A/B/C with low temperature alarm
					Asset	3	C	M	
	Environment	0	C	R					
	Reputation	0	C	R					
High	High Temperature	101-TIC-039 failure driving A-512 fully open	1. Suhu tinggi dalam reaktor menghasilkan produksi api kecil 2. Over cracking menghasilkan pembentukan kokas di reaktor planum dan saluran uap	Injury	0	C	R	101-UV-019A position indication with discrepancy alarm	
				Asset	3	C	M		
				Environment	1	C	R		
				Reputation	0	C	R		
PDT-018	Low	Low Pressure	A-512 fully open	1. Suhu tinggi dalam reaktor menghasilkan produksi api kecil 2. Over cracking menghasilkan pembentukan kokas di reaktor planum dan saluran uap	Injury	2	C	R	101-TI-035A/B/C with high temperature alarm
					Asset	5	C	T	
	Environment	2	C	R					
	Reputation	1	C	R					
High	High Pressure	A-512 failed to open	Penurunan suhu dalam reaktor yang menyebabkan penurunan hasil, produk yang tidak sesuai spesifikasi dan potensi kerugian reaksi.	Injury	2	C	R	101-TI-035A/B/C with high temperature alarm	
				Asset	4	C	M		
				Environment	2	C	R		
				Reputation	1	C	R		

LT-038	High	High Level	A-513 failed to open	Terjadi arus balik dari reaktor ke regenerator yang menyebabkan potensi kebakaran dan ledakan	Injury	2	C	R	101-LI-040A/B/C with low level alarm
					Asset	5	C	T	
					Environment	2	C	R	
					Reputation	1	C	R	

C. Perhitungan LOPA

1. Tabel perhitungan FV-070

No	Start	Completion	TIF		MTTF	Parameter			
			Day	Hour		λ/jam	λ/tahun	R	f/tahun (P=1-R)
1	01-Okt-15	01-Okt-15	0	0	6792	0,000147	1,28975265	0,27533888	0,72466112
2	26-Okt-18	26-Okt-18	1121	26904					
3	06-Nov-18	06-Nov-18	11	264					
TIME INTERVAL			1132	27168	LIKELIHOOD				
					5,159010601				

Impact Event Description: Kemampuan pengupasan yang memburuk mengakibatkan gangguan proses dan hidrokarbon terbawa ke regenerator.

Initiating Cause : FV – 070 failed to close

ICL :

- λ/Jam = 0,000147232 (data maintenance)
- λ/Thn = 0,000147232 x 24 x 365 = **1,28975265** /thn
- Reliability (R) = $e^{-\lambda t}$ (t = 1 tahun) sehingga diperoleh **0,27533888**
- ICL = 1 – R = **0,72466112**

Layer Proteksi :

- Desain Proses = 1
- BPCS = 0.1
- Alarm = 0.1
- Additional mitigation restricted access :
 - * Probability of Fatal Injury (Ptr) = 1 (Operasi kontinyu)
 - * Probability of Personnel in Affected Area (Pp)
 - Pp = (time present to hazards)/(total time)
 - = 0,5
 - * Probability of Ignitation = 1 (terjadi pecah/ledakan)
- Additional mitigation Dike (Bunds), PRV = 1

IEL:

$$IEL = ICL \times PFD_1 \times PFD_2 \times PFD_3 \times \dots \times PFD_n \times P_{tr} \times P_i$$

$$= 3,6233 \times 10^{-3}$$

Rasio LOPA

$$Rasio\ LOPA = \frac{TMEL}{IEL_t}$$

berdasarkan persamaan diatas dengan nilai TMEL = 1×10^{-5} didapatkan Rasio LOPA sebesar 0,00276. Berdasarkan hasil rasio LOPA di atas nilai SIL adalah **SIL 2**.

2.

No	Start	Completion	TIF		MTTF	Parameter			
			Day	Hour		λ/jam	λ/tahun	R	f/tahun (P=1-R)
1	01-Okt-15	01-Okt-15	0	0	6792	0,000147	1,28975265	0,27533888	0,72466112
2	26-Okt-18	26-Okt-18	1121	26904					
3	06-Nov-18	06-Nov-18	11	264					
TIME INTERVAL			1132	27168	LIKELIHOOD				
					5,159010601				

Impact Event Description: Katalis terbawa ke kolom utama yang mengakibatkan penyumbatan kolom utama dan berpotensi shutdown untuk pembangkit.

Initiating Cause: FV – 070 fully open

ICL :

- $\lambda/\text{Jam} = 0,000147232$ (data *maintenance*)
- $\lambda/\text{Thn} = 0,000147232 \times 24 \times 365 = \mathbf{1,28975265}$ /thn
- *Reliability* (R) = $e^{-\lambda t}$ (t = 1 tahun) sehingga diperoleh **0,27533888**
- $\text{ICL} = 1 - R = \mathbf{0,72466112}$

Layer Proteksi :

- Desain Proses = 1
- BPCS = 0.1
- Alarm = 0.1
- *Additional mitigation restricted access :*
 - * *Probability of Fatal Injury* (Ptr) = 1 (Operasi kontinyu)
 - * *Probability of Personnel in Affected Area* (Pp)
 - $Pp = (\text{time present to hazards})/(\text{total time})$
= 0,5
 - * *Probability of Ignitation* = 1 (terjadi pecah/ledakan)
- *Additional mitigation Dike (Bunds), PRV* = 1

IEL:

$$\text{IEL} = \text{ICL} \times \text{PFD}_1 \times \text{PFD}_2 \times \text{PFD}_3 \times \dots \times \text{PFD}_n \times P_{tr} \times P_i$$

$$= \mathbf{3,6233 \times 10^{-3}}$$

Rasio LOPA

$$\text{Rasio LOPA} = \frac{\text{TMEL}}{\text{IEL}_t}$$

berdasarkan persamaan diatas dengan nilai TMEL= 1×10^{-5} didapatkan Rasio LOPA sebesar 0,00276. Berdasarkan hasil rasio LOPA di atas nilai SIL adalah **SIL 2**.

3. Tabel perhitungan FV-071

No	Start	Completion	TTF		MTTF	Parameter			
			Day	Hour		λ/jam	λ/tahun	R	t/tahun (P=1-R)
1	01-Okt-15	01-Okt-15	0	0	6792	0,000147	1,28975265	0,27533888	0,72466112
2	26-Okt-18	26-Okt-18	1121	26904					
3	06-Nov-18	06-Nov-18	11	264					
TIME INTERVAL			1132	27168	LIKELIHOOD				
					5,159010601				

Impact Event Description : Kemampuan pengupasan yang memburuk mengakibatkan gangguan proses dan hidrokarbon terbawa ke regenerator.

Initiating Cause: FV – 071 *failed to close*.

ICL:

- $\lambda/\text{Jam} = 0,000147232$ (data *maintenance*)
- $\lambda/\text{Thn} = 0,000147232 \times 24 \times 365 = \mathbf{1,28975265}$ /thn
- *Reliability* (R) = $e^{-\lambda t}$ (t = 1 tahun) sehingga diperoleh **0,27533888**
- $\text{ICL} = 1 - R = \mathbf{0,72466112}$

Layer Proteksi :

- Desain Proses = 1
- BPCS = 0.1
- Alarm = 0.1
- *Additional mitigation restricted access :*
 - * *Probability of Fatal Injury* (Ptr) = 1 (Operasi kontinyu)
 - * *Probability of Personnel in Affected Area* (Pp) =
 - $Pp = (\text{time present to hazards})/(\text{total time})$

$$= 0,5$$

- * Probability of Ignitation = 1 (terjadi pecah/ledakan)
- Additional mitigation Dike (Bunds), $PRV = 1$

IEL:

$$IEL = ICL \times PFD_1 \times PFD_2 \times PFD_3 \times \dots \times PFD_n \times P_{tr} \times P_i$$

$$= 3,6233 \times 10^{-3}$$

Rasio LOPA

$$Rasio\ LOPA = \frac{TMEL}{IEL_t}$$

berdasarkan persamaan diatas dengan nilai $TMEL = 1 \times 10^{-5}$ didapatkan Rasio LOPA sebesar 0,00276. Berdasarkan hasil rasio LOPA di atas nilai SIL adalah **SIL 2**.

4.

No	Start	Completion	TTF		MTTF	Parameter			
			Day	Hour		λ /jam	λ /tahun	R	f/tahun (P=1-R)
1	01-Okt-15	01-Okt-15	0	0	6792	0,000147	1,28975265	0,27533888	0,72466112
2	26-Okt-18	26-Okt-18	1121	26904					
3	06-Nov-18	06-Nov-18	11	264					
TIME INTERVAL			1132	27168	LIKELIHOOD				
					5,159010601				

Impact Event Description: Katalis terbawa ke kolom utama yang mengakibatkan penyumbatan kolom utama dan berpotensi shutdown untuk pembangkit

Initiating Cause: FV – 071 *fully open*

ICL:

- λ /Jam = 0,000147232 (data *maintenance*)
- λ /Thn = 0,000147232 x 24 x 365 = **1,28975265** /thn
- *Reliability* (R) = $e^{-\lambda t}$ (t = 1 tahun) sehingga diperoleh **0,27533888**
- $ICL = 1 - R = 0,72466112$

Layer Proteksi :

- Desain Proses = 1
- BPCS = 0.1
- Alarm = 0.1
- *Additional mitigation restricted access :*
 - * *Probability of Fatal Injury* (Ptr) = 1 (Operasi kontinyu)
 - * *Probability of Personnal in Affected Area* (Pp)
 - * $Pp = (time\ present\ to\ hazards)/(total\ time)$
= 0,5
 - * *Probability of Ignitation* = 1 (terjadi pecah/ledakan)
- *Additional mitigation Dike* (Bunds), $PRV = 1$

IEL:

$$IEL = ICL \times PFD_1 \times PFD_2 \times PFD_3 \times \dots \times PFD_n \times P_{tr} \times P_i$$

$$= 3,6233 \times 10^{-3}$$

Rasio LOPA

$$Rasio\ LOPA = \frac{TMEL}{IEL_t}$$

berdasarkan persamaan diatas dengan nilai $TMEL = 1 \times 10^{-5}$ didapatkan Rasio LOPA sebesar

0,00276. Berdasarkan hasil rasio LOPA di atas nilai SIL adalah **SIL 2**.

5. Tabel Perhitungan A-512

No	Start	Completion	TTF		MTTF	Parameter			
			Day	Hour		λ /jam	λ /tahun	R	f/tahun (P=1-R)
1	01-Okt-15	01-Okt-15	0	0	6828	0,000146	1,28295255	0,27721759	0,72278241
2	28-Mar-16	29-Mar-16	179	4296					
3	01-Feb-17	01-Feb-17	309	7416					
4	10-Jul-17	10-Jul-17	159	3816					
5	10-Feb-18	11-Feb-18	215	5160					
6	19-Apr-18	19-Apr-18	67	1608					
7	23-Mei-18	23-Mei-18	34	816					
8	25-Mei-18	25-Mei-18	2	48					
9	02-Jun-18	02-Jun-18	8	192					
10	14-Nov-18	14-Nov-18	165	3960					
TIME INTERVAL			1138	27312	LIKELIHOOD				
					5,131810193				

Impact Event Description: Suhu tinggi dalam reaktor menghasilkan produksi api kecil

Initiating Cause: A-512 fully open

ICL :

- λ /Jam = 0.000146456 (data maintenance)
- λ /Thn = 0.000146199 x 24 x 365 = **1,282952548**/thn
- Reliability (R) = $e^{-\lambda t}$ (t = 1 tahun) sehingga diperoleh **0,277217593**
- ICL = 1 – R = **0,722782407**

Layer Proteksi :

- Desain Proses = 1
- BPCS = 0.1
- Alarm = 0.1
- Additional mitigation restricted access :
 - * Probability of Fatal Injury (Ptr) = 1 (Operasi kontinyu)
 - * Probability of Personnal in Affected Area (Pp)
 - $Pp = (\text{time present to hazards})/(\text{total time})$
 - = 0,5
 - * Probability of Ignitation = 1 (terjadi pecah/ledakan)
- Additional mitigation Dike (Bunds), PRV = 1

IEL:

$$IEL = ICL \times PFD_1 \times PFD_2 \times PFD_3 \times \dots \times PFD_n \times P_{tr} \times P_i$$

$$= 3,6139 \times 10^{-5}$$

Rasio LOPA

$$\text{Rasio LOPA} = \frac{TMEL}{IEL_t}$$

Rasio LOPA berdasarkan persamaan diatas dengan nilai TMEL= 1×10^{-5} didapatkan Rasio LOPA sebesar 0,27671. Berdasarkan hasil rasio LOPA di atas nilai SIL adalah **SIL 0**.

6.

No	Start	Completion	TTF		MTTF	Parameter			
			Day	Hour		λ/jam	λ/tahun	R	f/tahun (P=1-R)
1	01-Okt-15	01-Okt-15	0	0	6828	0,000146	1,28295255	0,27721759	0,72278241
2	28-Mar-16	29-Mar-16	179	4296					
3	01-Feb-17	01-Feb-17	309	7416					
4	10-Jul-17	10-Jul-17	159	3816					
5	10-Feb-18	11-Feb-18	215	5160					
6	19-Apr-18	19-Apr-18	67	1608					
7	23-Mei-18	23-Mei-18	34	816					
8	25-Mei-18	25-Mei-18	2	48					
9	02-Jun-18	02-Jun-18	8	192					
10	14-Nov-18	14-Nov-18	165	3960					
TIME INTERVAL			1138	27312	LIKELIHOOD				
					5,131810193				

Impact Event Description: Penurunan suhu dalam reaktor yang menyebabkan penurunan hasil, produk yang tidak sesuai spesifikasi, dan potensi kerugian reaksi

Initiating Cause : A-512 failed to open

ICL :

- $\lambda/\text{Jam} = 0.000146456$ (data maintenance)
- $\lambda/\text{Thn} = 0.000146199 \times 24 \times 365 = \mathbf{1,282952548/\text{thn}}$
- Reliability (R) = $e^{-\lambda t}$ (t = 1 tahun) sehingga diperoleh **0,277217593**
- $\text{ICL} = 1 - R = \mathbf{0,722782407}$

Layer Proteksi :

- Desain Proses = 1
- BPCS = 0.1
- Alarm = 0.1
- Additional mitigation restricted access :
 - * Probability of Fatal Injury (Ptr) = 1 (Operasi kontinyu)
 - * Probability of Personnal in Affected Area (Pp)

$$Pp = (\text{time present to hazards}) / (\text{total time})$$

$$= 0,5$$
 - * Probability of Ignitation = 1 (terjadi pecah/ledakan)
- Additional mitigation Dike (Bunds), PRV = 1

IEL:

$$\text{IEL} = \text{ICL} \times \text{PFD}_1 \times \text{PFD}_2 \times \text{PFD}_3 \times \dots \times \text{PFD}_n \times P_{tr} \times P_i$$

$$= \mathbf{3,6139 \times 10^{-5}}$$

Rasio LOPA

$$\text{Rasio LOPA} = \frac{\text{TMEL}}{\text{IEL}_t}$$

Rasio LOPA berdasarkan persamaan diatas dengan nilai TMEL = 1×10^{-5} didapatkan Rasio LOPA sebesar 0,27671. Berdasarkan hasil rasio LOPA di atas nilai SIL adalah **SIL 0**.

7. Tabel Perhitungan A-513

No	Start	Completion	TTF		MTTF	Parameter			
			Day	Hour		λ /jam	λ /tahun	R	f/tahun (P=1-R)
1	01-Okt-15	01-Okt-15	0	0	6900	0,000145	1,26956522	0,28095375	0,71904625
2	10-Agt-16	10-Agt-16	314	7536					
3	01-Feb-17	01-Feb-17	175	4200					
4	10-Jul-17	10-Jul-17	159	3816					
5	18-Agt-17	18-Agt-17	39	936					
6	23-Feb-18	23-Feb-18	189	4536					
7	02-Mar-18	02-Mar-18	7	168					
8	16-Agt-18	16-Agt-18	167	4008					
9	13-Sep-18	13-Sep-18	28	672					
10	24-Nov-18	24-Nov-18	72	1728					
TIME INTERVAL			1150	27600	LIKELIHOOD				
					5,07826087				

Impact Event Description : Terjadi arus balik dari reaktor ke regenerator yang menyebabkan potensi kebakaran dan ledakan

Initiating Cause: A-513 fully open

ICL :

- λ /Jam = 0.000144928 (data maintenance)
- λ /Thn = 0.000144928 x 24 x 365 = **1,269565217**/thn
- Reliability (R) = $e^{-\lambda t}$ (t = 1 tahun) sehingga diperoleh **0,280953749**
- ICL = 1 - R = **0,719046251**

Layer Proteksi :

- Desain Proses = 1
- BPCS = 0.1
- Alarm = 0.1
- Additional mitigation restricted access :
 - * Probability of Fatal Injury (Ptr) = 1 (Operasi kontinyu)
 - * Probability of Personnal in Affected Area (Pp)
 $Pp = (\text{time present to hazards})/(\text{total time})$
 = 0,5
 - * Probability of Ignitation = 1 (terjadi pecah/ledakan)
- Additional mitigation Dike (Bunds), PRV = 1

IEL:

$$IEL = ICL \times PFD_1 \times PFD_2 \times PFD_3 \times \dots \times PFD_n \times P_{tr} \times P_i$$

$$= 3,59525 \times 10^{-5}$$

Rasio LOPA

$$\text{Rasio LOPA} = \frac{TMEL}{IEL_t}$$

Rasio LOPA berdasarkan persamaan diatas dengan nilai TMEL = 1×10^{-5} didapatkan Rasio LOPA sebesar 0,27815. Berdasarkan hasil rasio LOPA di atas nilai SIL adalah **SIL 0**.

D. Rulebase Economical Impact

			Reputation				
Injury	Asset	Environment	Very Low	Minor	Moderate	Major	Massive
Very Low	Very low	Very low	Very Low	Very Low	Very Low	Very Low	Very Low
		Minor	Very Low	Very Low	Very Low	Very Low	Very Low
		Moderate	Very Low	Very Low	Very Low	Very Low	Very Low
		Major	Very Low	Very Low	Very Low	Very Low	Minor
		Massive	Very Low	Very Low	Very Low	Minor	Moderate
	Minor	Very low	Very Low	Very Low	Very Low	Very Low	Very Low
		Minor	Very Low	Very Low	Very Low	Very Low	Very Low
		Moderate	Very Low	Very Low	Very Low	Very Low	Minor
		Major	Very Low	Very Low	Very Low	Minor	Moderate
		Massive	Very Low	Very Low	Minor	Moderate	Major
	Moderate	Very low	Very Low	Very Low	Very Low	Very Low	Very Low
		Minor	Very Low	Very Low	Very Low	Very Low	Minor
		Moderate	Very Low	Very Low	Very Low	Minor	Moderate
		Major	Very Low	Very Low	Minor	Moderate	Major
		Massive	Very Low	Minor	Moderate	Major	Massive
	Major	Very low	Very Low	Very Low	Very Low	Very Low	Minor
		Minor	Very Low	Very Low	Very Low	Minor	Moderate
		Moderate	Very Low	Very Low	Minor	Moderate	Major
		Major	Very Low	Minor	Moderate	Major	Massive
		Massive	Minor	Moderate	Major	Massive	Massive
	Massive	Very low	Very Low	Very Low	Very Low	Minor	Moderate
Minor		Very Low	Very Low	Minor	Moderate	Major	
Moderate		Very Low	Very Low	Moderate	Major	Massive	

		Major	Minor	Very Low	Major	Massive	Massive	
		Massive	Moderate	Major	Massive	Massive	Massive	
Minor	Very low	Very low	Very low	Very low	Very low	Very Low	Very Low	
		Minor	Very low	Very low	Very low	Very Low	Very Low	
		Moderate	Very low	Very low	Very low	Very Low	Minor	
		Major	Very low	Very low	Very low	Minor	Moderate	
		Massive	Very low	Very low	Minor	Moderate	Major	
	Minor	Minor	Very low	Very low	Very low	Very Low	Very Low	Very Low
			Minor	Very low	Very low	Very Low	Very Low	Minor
			Moderate	Very low	Very low	Very Low	Minor	Moderate
			Major	Very low	Very low	Minor	Moderate	Major
			Massive	Very low	Minor	Moderate	Major	Massive
	Moderate	Moderate	Very low	Very low	Very Low	Very Low	Very Low	Minor
			Minor	Very low	Very Low	Very Low	Minor	Moderate
			Moderate	Very low	Very Low	Minor	Moderate	Major
			Major	Very low	Minor	Moderate	Major	Massive
			Massive	Minor	Moderate	Major	Massive	Massive
	Major	Major	Very low	Very low	Very Low	Very Low	Minor	Moderate
			Minor	Very low	Very Low	Minor	Moderate	Major
			Moderate	Very low	Minor	Moderate	Major	Massive
			Major	Minor	Moderate	Major	Massive	Massive
			Massive	Moderate	Major	Massive	Massive	Massive
Massive	Massive	Very low	Very Low	Very Low	Minor	Moderate	Major	
		Minor	Very Low	Very Low	Moderate	Major	Massive	
		Moderate	Minor	Minor	Major	Massive	Massive	
		Major	Moderate	Moderate	Massive	Massive	Massive	
		Massive	Major	Major	Massive	Massive	Massive	
Moderate	Very low	Very low	Very low	Very low	Very Low	Very Low	Very Low	
		Minor	Very low	Very low	Very Low	Very Low	Minor	
		Moderate	Very low	Very low	Very Low	Minor	Moderate	
		Major	Very low	Very low	Minor	Moderate	Major	
		Massive	Very low	Minor	Moderate	Major	Massive	
	Minor	Minor	Very low	Very low	Very Low	Very Low	Very Low	Minor
			Minor	Very low	Very Low	Very Low	Minor	Moderate
			Moderate	Very low	Very Low	Minor	Moderate	Major

		Major	Very low	Minor	Moderate	Major	Massive
		Massive	Minor	Moderate	Major	Massive	Massive
	Moderate	Very low	Very Low	Very Low	Very Low	Minor	Moderate
		Minor	Very Low	Very Low	Minor	Moderate	Major
		Moderate	Very Low	Minor	Moderate	Major	Massive
		Major	Minor	Moderate	Major	Massive	Massive
		Massive	Moderate	Major	Massive	Massive	Massive
		Massive	Massive	Massive	Massive	Massive	Massive
	Major	Very low	Very Low	Very Low	Minor	Moderate	Major
		Minor	Very Low	Minor	Moderate	Major	Massive
		Moderate	Minor	Moderate	Major	Massive	Massive
		Major	Moderate	Major	Massive	Massive	Massive
		Massive	Massive	Massive	Massive	Massive	Massive
		Massive	Massive	Massive	Massive	Massive	Massive
	Massive	Very low	Very Low	Minor	Moderate	Major	Massive
		Minor	Minor	Moderate	Major	Massive	Massive
		Moderate	Moderate	Major	Massive	Massive	Massive
		Major	Major	Massive	Massive	Massive	Massive
		Massive	Massive	Massive	Massive	Massive	Massive
		Massive	Massive	Massive	Massive	Massive	Massive
Major	Very low	Very low	Very low	Very low	Very low	Very Low	Minor
		Minor	Very low	Very low	Very low	Minor	Moderate
		Moderate	Very low	Very low	Minor	Moderate	Major
		Major	Very low	Minor	Moderate	Major	Massive
		Massive	Minor	Moderate	Major	Massive	Massive
	Minor	Very low	Very low	Very Low	Very low	Minor	Moderate
		Minor	Very low	Very Low	Minor	Moderate	Major
		Moderate	Very low	Minor	Moderate	Major	Massive
		Major	Minor	Moderate	Major	Massive	Massive
		Massive	Moderate	Major	Massive	Massive	Massive
	Moderate	Very low	Very low	Very Low	Minor	Moderate	Major
		Minor	Very low	Minor	Moderate	Major	Massive
		Moderate	Minor	Moderate	Major	Massive	Massive
		Major	Moderate	Major	Massive	Massive	Massive
		Massive	Major	Massive	Massive	Massive	Massive
	Major	Very low	Very low	Minor	Moderate	Major	Massive
		Minor	Minor	Moderate	Major	Massive	Massive
		Moderate	Moderate	Major	Massive	Massive	Massive
		Major	Major	Massive	Massive	Massive	Massive
		Massive	Massive	Massive	Massive	Massive	Massive
Massive	Very low	Minor	Moderate	Massive	Massive	Massive	
	Minor	Moderate	Major	Massive	Massive	Massive	
	Moderate	Major	Massive	Massive	Massive	Massive	
	Major	Massive	Massive	Massive	Massive	Massive	
	Massive	Massive	Massive	Massive	Massive	Massive	
Massive	Very low	Very low	Very low	Very Low	Very low	Minor	Moderate
		Minor	Very low	Very Low	Minor	Moderate	Major
		Moderate	Very low	Minor	Moderate	Major	Massive

		Major	Minor	Moderate	Major	Massive	Massive
		Massive	Moderate	Major	Massive	Massive	Massive
	Minor	Very low	Very low	Very Low	Minor	Moderate	Major
		Minor	Very low	Minor	Moderate	Major	Massive
		Moderate	Minor	Moderate	Major	Massive	Massive
		Major	Moderate	Major	Massive	Massive	Massive
		Massive	Major	Massive	Massive	Massive	Massive
	Moderate	Very low	Very low	Minor	Major	Major	Massive
		Minor	Minor	Moderate	Massive	Massive	Massive
		Moderate	Moderate	Major	Massive	Massive	Massive
		Major	Major	Massive	Massive	Massive	Massive
		Massive	Massive	Massive	Massive	Massive	Massive
	Major	Very low	Minor	Moderate	Massive	Massive	Massive
		Minor	Moderate	Major	Massive	Massive	Massive
		Moderate	Major	Massive	Massive	Massive	Massive
		Major	Massive	Massive	Massive	Massive	Massive
		Massive	Massive	Massive	Massive	Massive	Massive
	Massive	Very low	Moderate	Major	Massive	Massive	Massive
		Minor	Major	Massive	Massive	Massive	Massive
		Moderate	Massive	Massive	Massive	Massive	Massive
Major		Massive	Massive	Massive	Massive	Massive	
Massive		Massive	Massive	Massive	Massive	Massive	

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis adalah Dimas Rizki M Ramadhan, lahir di kota Gresik tanggal 28 Desember 1999. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menyelesaikan pendidikan formal, yaitu SD Pertiwi Kota Bogor pada tahun 2012, SMP English Modern School Al Khor, Qatar pada tahun 2015, dan SMAN 3 Bogor pada tahun 2018. Setelah lulus dari SMA, penulis diterima di Departemen Teknik Fisika ITS melalui jalur SKM pada tahun yang sama. Selama kuliah, penulis telah aktif dalam beberapa organisasi dan kepanitiaan, seperti menjadi kepala divisi *internal affair* UKM Fotografi atau UKAFO periode 2019-2020, dan panitia *Engineering Physics Week* periode 2019-2020 sebagai *liaison officer*. Penulis juga memiliki pengalaman *internship* selama tiga bulan di PT Hutama Maju Mandiri, Bekasi. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi mengenai tugas akhir ini, dapat menghubungi penulis melalui email: dimsrzk@gmail.com.