



TUGAS AKHIR - TF 181801

**OPTIMISASI *SAFETY INSTRUMENTED SYSTEM*
BERDASARKAN DEPENDABILITY DAN
LIFECYCLE COST PADA *LPG FRACTIONATION*
*TRAIN***

BELLA WIDYA GUNAWAN
NRP. 0231154000050

Dosen Pembimbing:
Dr.Ir. Ali Musyafa', MSc

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF 181801

**OPTIMIZATION OF SAFETY INSTRUMENTED
SYSTEM BASED ON DEPENDABILITY AND
LIFECYCLE COST AT LPG FRACTIONATION
TRAIN**

BELLA WIDYA GUNAWAN
NRP. 0231154000050

Supervisor:
Dr.Ir. Ali Musyafa', MSc

ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Bella Widya Gunawan
NRP : 0231154000050
Departemen/Prodi : Teknik Fisika/S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Optimisasi *Safety Instrumented System* Berdasarkan *Dependability* Dan *Lifecycle Cost* Pada *LPG Fractionation Train*” 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 sebenar-benarnya.

Surabaya, 15 Juli 2019

membuat pernyataan,



Bella Widya Gunawan
NRP. 0231154000050

Halaman ini sengaja dikosongkan

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**OPTIMISASI *SAFETY INSTRUMENTED SYSTEM*
BERDASARKAN *DEPENDABILITY* DAN *LIFECYCLE*
COST PADA *LPG FRACTIONATION TRAIN***

Oleh:

Bella Widya Gunawan
NRP. 0231154000050

Surabaya, 15 Juli 2019

Menyetujui,
Dosen Pembimbing

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

Mengetahui,
Kepala Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS

Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
NIPN. 19780902 200312 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

**OPTIMISASI SAFETY INSTRUMENTED SYSTEM
BERDASARKAN DEPENDABILITY DAN LIFECYCLE
COST PADA LPG FRACTIONATION TRAIN**

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

BELLA WIDYA GUNAWAN
NRP. 0231154000050

1. Dr.Ir. Ali Musyafa', M.Sc (Pembimbing)
2. Dr. Imam Abadi, ST., MT. (Ketua Penguji)
3. Dr.Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes (Penguji 1)
4. Iwan Cony Setiadi, ST., MT. (Penguji 2)

SURABAYA
Juli, 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

**OPTIMISASI SAFETY INSTRUMENTED SYSTEM
BERDASARKAN DEPENDABILITY DAN LIFECYCLE
COST PADA LPG FRACTIONATION TRAIN**

Nama : Bella Widya Gunawan
NRP : 0231154000050
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr.Ir. Ali Musyafa', MSc

ABSTRAK

LPG *Fractionation Train* merupakan salah satu fasilitas pengolahan gas untuk menghasilkan LPG. Di dalam masa produksi LPG, kegagalan pengoperasian sistem rawan terjadi. *Safety Instrumented System* (SIS) merupakan salah satu tahapan pada LOPA yang diimplementasikan sebagai *Emergency Shutdown System* (ESD) yang berfungsi untuk melindungi *plant* ketika terjadi kegagalan proses pengoperasian. Dalam tugas akhir ini membahas mengenai efek redundansi dengan optimisasi SIS berdasarkan *dependability* dan LCC pada *LPG fractionation train*. Optimisasi dilakukan dengan menggunakan *Genetic Algorithm* dengan variabel meliputi PFDavg, STR, dan LCC dengan variasi arsitektur dan jenis teknologi. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai LCC aktual sebesar USD 7.423.294 dengan nilai SIL aktual adalah SIL 0. Sedangkan, untuk hasil optimisasi mendapatkan peningkatan nilai SIL yang semula SIL 0 menjadi SIL 2 dengan peningkatan nilai PFD menjadi 0,004723, STR sebesar $3,283 \times 10^{-5}$ dan LCC *minimum* sebesar USD 5.328.461. Sedangkan untuk *vote* arsitektur yang optimal dalam perancangan SIS ialah 1oo1 dengan teknologi *smart transmitter* untuk *sensing element* dan *air operated* untuk *final element*.

Kata kunci : *dependability*, LCC, *LPG fractionation train*, PFDavg, *safety instrumented system*, STR.

Halaman ini sengaja dikosongkan

**OPTIMIZATION OF SAFETY INSTRUMENTED SYSTEM
BASED ON DEPENDABILITY AND LIFECYCLE COST
AT LPG FRACTIONATION TRAIN**

Name : *Bella Widya Gunawan*
NRP : *0231154000050*
Department : *Teknik Fisika FTI-ITS*
Supervisors : *Dr.Ir. Ali Musyafa',MSc*

ABSTRACT

LPG Fractionation Train is one of the gas processing facilities to produce LPG. In the production of LPG, failure to operate the vulnerable system occurred. Safety Instrumented System (SIS) is one of the stages of LOPA which is implemented as Emergency Shutdown System (ESD) which serves to protect the plant in case of failure of operation process. In this final task discusses the effects of redundancy with SIS optimization based on dependability and LCC in LPG fractionation train. Optimization is done using Genetic Algorithm with variables including PFDavg, STR, and LCC with variations in architecture and technology types. From the calculation result obtained the actual LCC value of USD 7,423,294 with the actual SIL value is SIL 0. Meanwhile, for the optimization results get an increase in the value of SIL, that was originally SIL 0 to SIL 2 with increased PFD value to 0.004723, STR of 3.283 X10⁻⁵ and minimum LCC of USD 5.328.461. As for the optimal architecture vote in the design of SIS is 1001 with smart transmitter technology for sensing elements and air operated for final elements.

Keywords: *dependability, LCC, LPG fractionation train, PFDavg, safety instrumented system, STR.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW sehingga dapat terselesaikannya tugas akhir beserta laporan tugas akhir yang berjudul “**Optimisasi Safety Instrumented System Berdasarkan Dependability Dan Lifecycle Cost Pada LPG Fractionation Train**”.

Penulis telah banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam penyelesaian tugas akhir dan laporan tugas akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika ITS yang telah memberikan ilmu, bimbingan serta sarana dan prasarana selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika ITS.
2. Bapak Dr. Ir. Ali Musyafa’, MSc, selaku dosen pembimbing yang telah membimbing penulis dengan sabar memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Imam Abadi, ST., MT., Ibu Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M. Kes, dan Bapak Iwan Cony Setiadi, ST., MT., selaku penguji yang telah memberikan ilmu dan saran-saran perbaikan tugas akhir.
4. Ibu Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes selaku Kepala Laboratorium Pengukuran Fisis yang telah memberikan ilmu, petunjuk, dan kemudahan perizinan.
5. Bapak Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, ST. MT, selaku dosen wali yang telah membimbing penulis selama perkuliahan.
6. Kedua orang tua (Bapak Mochammad Ilyas dan Ibu Lestyaningsih). Terima kasih atas segala cinta, kasih sayang, doa, perhatian, serta dukungan moral dan materiil yang telah diberikan.
7. Bapak Kusnadi, Bapak Risma, Mbak Lusi, Mas Guson, Mbak Haqi, dan seluruh pihak PT.SIPL yang telah membimbing dan membantu dalam pengambilan data Tugas Akhir.

8. Seluruh dosen Teknik Fisika ITS atas segala ilmu, bimbingan, petunjuk, dan nasihat yang sangat bermanfaat.
9. Himpunan mahasiswa Teknik Fisika yang telah memfasilitasi dalam urusan administrasi tugas akhir ini.
10. Teman-teman Laboratorium Pengukuran Fisis yang telah membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
11. Seluruh teman-teman Departemen Teknik Fisika ITS angkatan 2015 (*Transcendent Frontier*), terima kasih untuk dukungan dan waktunya selama 4 tahun berjuang bersama-sama.
12. Seluruh karyawan dan civitas akademika Teknik Fisika ITS, terima kasih atas segala bantuan dan kerjasamanya.
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuannya.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan. Namun, semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika ITS khususnya, dan civitas akademika ITS pada umumnya. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan tugas akhir bagi mahasiswa lainnya.

Surabaya, 15 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER PAGE.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME.....	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
DAFTAR NOTASI.....	xxiii
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.....	7
2.1 LPG Fractionation Train.....	7
2.2 Safety Instrumented System.....	10
2.3 Dependability.....	13
2.4 Lifecycle Cost (LCC).....	14
2.5 Genetic Algorithm.....	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1 Pengumpulan Data.....	20
3.2 Penentuan SIS yang akan didesain.....	21
3.3 Perancangan SIS.....	22
3.4 Optimisasi Perancangan SIS.....	28
3.5 Perhitungan PFD dan STR.....	29
3.6 Perhitungan LCC.....	29
3.7 Analisa hasil optimisasi.....	30
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	31

4.1	Analisis SIL	31
4.2	Perhitungan LCC	36
4.3	Optimisasi <i>Dependability</i> dan LCC	38
4.4	Perancangan SIS LPG <i>Fractionation Train</i>	43
4.5	Pembahasan	44
BAB V PENUTUP.....		49
5.1	Kesimpulan	49
5.2	Saran	49
DAFTAR PUSTAKA		51
LAMPIRAN.....		55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses <i>Depropanizer</i>	7
Gambar 2.2	Proses <i>Debutanizer</i>	9
Gambar 2.3	Definisi SIS	11
Gambar 2.4	Mekanisme <i>Crossover</i>	18
Gambar 2.5	Mekanisme Mutasi	18
Gambar 2.6	Standar Prosedur GA	18
Gambar 3.1	Diagram Alir Tugas Akhir.....	19
Gambar 3.1	Diagram Alir Tugas Akhir (Lanjutan)	20
Gambar 4.1	Hasil Optimisasi LCC	41
Gambar 4.2	Hasil Optimisasi PFDavg	41
Gambar 4.3	Hasil Optimisasi STR.....	42
Gambar 4.4	Perancangan SIS LPG <i>Fractionation Train</i>	43

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Konversi PFDavg Menjadi SIL untuk <i>Low Demand Mode</i>	13
Tabel 3.1	Nilai Fraksi Kegagalan <i>Vote</i> Arsitektur	24
Tabel 3.2	Data <i>Transmitter</i>	25
Tabel 3.3	Data <i>Final Element</i>	26
Tabel 3.4	Data <i>Logic Solver</i>	27
Tabel 3.5	Data LCC <i>Instrument</i>	27
Tabel 3.6	Data LCC PLC	28
Tabel 3.7	Data Penunjang	28
Tabel 4.1	Komponen SIS <i>Depropanizer</i> dan <i>Debutanizer</i>	31
Tabel 4.2	Perhitungan Nilai <i>Failure Rate</i> <i>LPG Fractionation Train</i>	32
Tabel 4.3	Perhitungan PFD SIS <i>Depropanizer Column and Reboiler</i> 482-PTZ-111	34
Tabel 4.4	Perhitungan PFD SIS <i>Depropanizer Column and Reboiler</i> 482-LSLL-182	34
Tabel 4.5	Perhitungan PFD SIS <i>Depropanizer Reflux Drum</i> 482-LSLL-152	34
Tabel 4.6	Perhitungan PFD SIS <i>Debutanizer Column and Reboiler</i> 482-PTZ-212	35
Tabel 4.7	Perhitungan PFD SIS <i>Debutanizer Column and Reboiler</i> 482-LSLL-217	35
Tabel 4.8	Perhitungan PFD SIS <i>Debutanizer Reflux Drum</i> 482-LSLL-252	35
Tabel 4.9	Perhitungan PFD SIS <i>Debutanizer Reflux Drum</i> 482-LSHH-252	36
Tabel 4.10	Perhitungan Nilai LCC	37
Tabel 4.11	Hasil Optimisasi <i>Minimum</i>	38
Tabel 4.12	Hasil Variasi Redundansi dan Teknologi FT 188 dan PT 164	38
Tabel 4.13	Hasil Variasi Redundansi dan Teknologi FT 105 dan PT 166	39
Tabel 4.14	Hasil Variasi Redundansi dan Teknologi LT 216 dan PT 264	39

Tabel 4.15 Hasil Variasi Redundansi dan Teknologi FT 257 dan FT 205	39
Tabel 4.16 Hasil Variasi Redundansi dan Teknologi PT 266 dan FE	40

DAFTAR NOTASI

PFD	=	<i>Probability Failure Demand</i>
STR	=	<i>Spurious Trip Rate</i>
C_{Moon}	=	Fraksi Kegagalan Moon architecture
β_{DD}	=	Beta faktor <i>dangerous detected failures</i>
β_{DU}	=	Beta faktor <i>dangerous undetected failures</i>
β_{SD}	=	Beta faktor <i>safe detected failures</i>
β_{SU}	=	Beta faktor <i>safe undetected failures</i>
λ_{DD}	=	Laju kegagalan <i>dangerous detected failures</i>
λ_{DU}	=	Laju kegagalan <i>dangerous undetected failures</i>
λ_{SD}	=	Laju kegagalan <i>safe detected failures</i>
λ_{SU}	=	Laju kegagalan <i>safe undetected failures</i>
T_r	=	<i>Repair Time</i>
TI	=	<i>Time Interval</i>
LCC	=	<i>Life Cycle Cost</i>
C_{pro}	=	<i>Procurement cost</i>
C_{risk}	=	<i>Risk cost</i>
PVF	=	<i>Factor by Present Value</i>
C_{OP}	=	<i>Operational cost</i>
C_{design}	=	<i>Design cost</i>
$C_{purchase}$	=	<i>Purchase cost</i>
$C_{\frac{inst}{comm}}$	=	<i>Installation cost</i>
N	=	Jumlah instrument
C_{PM}	=	<i>Predictive maintenance cost</i>
C_T	=	<i>Test cost</i>
C_{CM}	=	<i>Corrective maintenance cost</i>
λ_T	=	<i>Total failure rate</i>
C_{STR}	=	<i>Spurious Trip Rate Cost</i>
C_{hazard}	=	<i>Cost of Hazard</i>
STR_{avg}	=	<i>Average Spurious Trip Rate</i>
C_{SD}	=	<i>Shut down cost</i>
SD_{time}	=	<i>Shut down time</i>
SD_{loss}	=	<i>Shut down loss</i>

C_{ACC}	=	<i>Catatastrophic loss</i>
$F(ACC \mid PFD_{avg})$	=	<i>Plant risk without SIS</i>
PFD_{avg}	=	<i>Average Probablity Failure on Demand</i>
R	=	<i>Discount rate</i>
T	=	<i>Years life</i>
PFD_{sys}	=	<i>PFD rata-rata SIS</i>
PFD_s	=	<i>PFD dari sensor</i>
PFD_l	=	<i>PFD dari logic solver</i>
PFD_{fe}	=	<i>PFD dari final control element</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konsumsi gas alam semakin lama semakin meningkat seiring dengan semakin luasnya penggunaan gas alam sebagai sumber energi baik untuk bahan baku industri maupun untuk kebutuhan energi rumah tangga (Kementerian Energi & Sumber Daya Mineral, 2015). Gas alam atau biasa disebut dengan gas bumi merupakan bahan bakar yang terbentuk dari fosil-fosil yang sebagian besar komponen gas alam terdiri dari metana dan gas karbon propana, butana, etana, serta gas-gas yang mengandung sulfur maupun bahan lainnya. Kondisi gas alam yang dimiliki oleh Indonesia berpotensi untuk dikelola lebih lagi untuk memenuhi kebutuhan energi, salah satunya LPG (*Liquied Petroleum Gas*) (Setiawan, 2016). LPG *Fractionation Train* merupakan salah satu fasilitas pengolahan gas untuk menghasilkan LPG. Di dalam LPG *Fractionation Train* terdapat beberapa sistem yang merupakan unit-unit utama dari LPG *Fractionation Train* yang berfungsi menghasilkan *product* dengan cara distilasi berdasarkan perbedaan titik didih dari masing-masing komponen gas umpan antara lain, *depropanizer* dan *debutanizer* (Biyanto, 2016). Untuk komponen LPG lebih didominasi oleh propana dan butana. Di dalam masa produksi LPG, kegagalan pengoperasian sistem rawan terjadi, padahal peran dari ketiga proses tersebut sangat krusial. Apabila terjadi kegagalan pada aktivitas proses, maka secara tidak langsung operasional pada *plant* akan mengalami *downtime*, alhasil terjadi *loss production cost* (Vileiniskis, 2016).

Dalam melakukan analisa pengamanan LPG *Fractionation Train*, langkah awal yaitu dengan memahami alur dan komponen-komponen penyusun proses fraksinasi agar dapat mengendalikan variabel-variabel proses. Di dalam sistem LPG *Fractionation Train* terdapat parameter yang dapat menyebabkan kegagalan yang merugikan perusahaan. Oleh karena itu dibutuhkan lapisan pengamanan SIS (*Safety Instrumented System*) untuk melindungi *plant* apabila fungsi kerja komponen mengalami kegagalan. SIS

merupakan salah satu tahapan pada LOPA (*Layer of Protection*) yang diimplementasikan sebagai ESD (*Emergency Shutdown System*) atau pendeteksi gas dan api. SIS (*Safety Instrumented System*) diaplikasikan apabila lapisan pengamanan sebelumnya yaitu BPCS (*Basic Process Control System*) dan alarm sudah tidak dapat mengatasi pelanggaran operasional yang terjadi. SIS akan beroperasi mematikan seluruh kinerja sistem agar proses produksi terhenti ketika suatu tempat terjadi kegagalan. SIS memiliki klasifikasi komponen yang terdiri dari *sensing element*, *logic solver*, dan *final element*. Dalam mendesain SIS harus mengacu pada standar keselamatan berbasis internasional, salah satunya yaitu IEC 61508 yang dipublikasikan oleh *International Electrotechnical Commission* yang membahas terkait fungsi proteksi dari sistem-sistem yang terkait dengan *Electrical/ Electronic/ Programmable Electronic Safety (E/E/PES)* (IEC 61508, 2010).

Pada Tugas Akhir ini dilakukan optimisasi SIS pada LPG *Fractionation train* berdasarkan *dependability* dan mempertimbangkan *cost* yang diwakilkan oleh *Lifecycle Cost (LCC)*. *Dependability* merupakan suatu properti sistem yang mengintegrasikan *reliability*, *availability*, *safety*, *security*, *survivability*, dan *maintainability* (Algirdas, 2000). Dengan kata lain *dependability* menurut KBBI adalah tingkat kepercayaan. Tingkat kepercayaan pengguna terhadap suatu komponen. Pengguna bisa menolak komponen tersebut apabila dianggap tidak *dependable* karena dapat menyebabkan kegagalan dan kerugian terhadap perusahaan, sehingga diperlukan optimisasi untuk mendapatkan perancangan sistem yang terbaik. Dalam hal ini variabel yang dioptimisasi ialah LCC yang merupakan penambahan *cost* akibat PFDavg dan STR (*Spurious Trip Rate*) (Torres-Echeverria, 2009). Teknik optimisasi yang digunakan menggunakan *Genetic Algorithm (GA)* yang merupakan salah satu teknik multi objektif yang digunakan untuk memecahkan masalah berbasis proses seleksi alam yang memungkinkan untuk mendapatkan nilai keseimbangan antara *dependability* dan LCC (Torres-Echeverria, 2012). Pada penelitian sebelumnya, untuk meningkatkan *reliability* suatu sistem maka ditambahkan beberapa

bentuk redundansi (Painton, 1995). Terdapat pula penelitian yang membahas mengenai penggunaan optimisasi *Genetic Algorithm* untuk mendapatkan solusi dari masalah redundansi untuk sistem *series-parallel* (Coit and Smith, 1996) dan juga optimisasi desain-desain sistem keamanan dengan *single objective Genetic Algorithm* (Pattison RL, 1999). Dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan, belum ada yang membahas terkait dampak dari keragaman redundansi terhadap *multi objectives optimization* untuk meningkatkan sistem keamanan.

Dari permasalahan tersebut, maka perlunya diadakan Tugas Akhir ini adalah melakukan optimisasi terhadap SIS LPG *Fractionation Train* dengan tinjauan *dependability* dan LCC untuk mendapatkan hasil terbaik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang maka permasalahan yang diangkat dalam pengerjaan tugas akhir ini, yaitu:

- Bagaimana merancang SIS berdasarkan *dependability* dan *Lifecycle Cost* pada LPG *Fractionation Train*?
- Bagaimana mengevaluasi SIS dengan optimisasi menggunakan *Genetic Algorithm* pada LPG *Fractionation Train*?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam pengerjaan tugas akhir ini antara lain.

- Merancang SIS berdasarkan *dependability* dan *Lifecycle Cost* pada LPG *Fractionation Train*.
- Mengevaluasi SIS dengan optimisasi menggunakan *Genetic Algorithm* pada LPG *Fractionation Train*

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- PFD, P&ID, dan datasheet LPG *Fractionation Train* terdiri dari *depropanizer* dan *debutanizer*,

- Metode optimisasi dilakukan dengan algoritma GA yang menggunakan *software* MATLAB R2016a,
- Menggunakan standar IEC 61508 tahun 2010,
- *Vote* arsitektur 1001 hingga 6006, dan
- SIS beroperasi pada kondisi *low demand* dan *time interval* sebesar 1 tahun.

1.5 Sistematika Laporan

Dalam penyusunan tugas akhir ini, sistematika laporan disusun secara sistematis dan terbagi dalam beberapa bab, yaitu dengan perincian sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi tentang penjelasan latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat tugas akhir dan sistematika laporan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini berisi tentang teori-teori penunjang tugas akhir, antara lain teori tentang *LPG Fractionation Train*, *Safety Instrumented System*, *dependability*, *Lifecycle Cost*, dan *Genetic Algorithm*.

BAB III Metodologi Penelitian

Dalam bab ini akan dijelaskan secara detail mengenai langkah-langkah yang harus di lalui untuk mencapai tujuan dan kesimpulan akhir dari penelitian. Produk akhir dari tahap ini adalah perancangan SIS.

BAB IV Analisa Data dan Pembahasan

Pada bab ini merupakan tindak lanjut dari Bab III, dimana pengujian yang telah dilakukan dan akan didapatkan data, baik data berupa grafik maupun tabulasi, kemudian akan dilakukan analisa dan pembahasan.

BAB V**Kesimpulan dan Saran**

Dalam bab ini adalah berisi mengenai kesimpulan pokok dari keseluruhan rangkaian penelitian yang telah dilakukan serta saran yang dapat dijadikan rekomendasi sebagai pengembangan penelitian selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

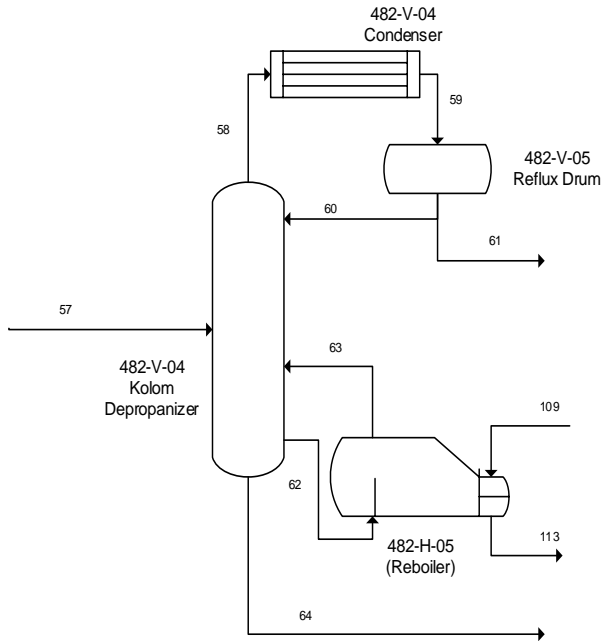
2.1 *LPG Fractionation Train*

LPGF (*Liquied Petroleum Gas Facilities*) merupakan salah satu *plant* yang dirancang untuk *me-recover* lebih dari 98% *inlet propane*, 100% *butane* dan komponen-komponen berat lainnya dalam gas. Proses pengolahan yang dipilih tidak memproduksi langsung LPG dimana *propane* dan *butane* tercampur sesuai standar Indonesia, namun akan memproduksi *propane* dan *butane* secara terpisah, kemudian keduanya dicampur dalam tangki penyimpanan LPG. Salah satu *process system* yang terdapat pada LPGF *plant* adalah *fractionation system*. Siklus sistem LPG *fractionation train* yang terdiri dari dua buah kolom, yang merupakan unit-unit utama dari LPGF *plant* yang berfungsi menghasilkan *product* dengan cara distilasi berdasarkan perbedaan titik didih dari masing-masing komponen gas umpan, yaitu: *depropanizer* dan *debutanizer*. Dalam hal optimisasi ini, variabel proses yang akan dioptimisasi adalah *temperature*, *pressure*, dan *flow*.

- ***Depropanizer***

Column depropanizer memisahkan komponen C_3 (*propane*) dari C_4^+ yang kaya kandungan LPG dan *condensate* dengan cara distilasi berdasarkan perbedaan titik didihnya. *Column depropanizer* dibagi menjadi tiga bagian atau *section*, yang paling atas disebut *rectification section*, yang bagian bawah disebut *stripping section*, sedangkan dasar kolom disebut *heating dan product withdrawal section*. Umpan yang kaya kandungan C_3^+ masuk di bagian atas *stripping section* sebagai campuran dua *phase*. Umpan yang berbentuk cairan akan mengalir ke bawah kolom melewati serangkaian *tray* menuju dasar kolom dimana sebagian dari cairan ini masuk ke dalam *reboiler* untuk diuapkan dengan menggunakan *hot oil* yang mengalir di *shell-side reboiler*-nya. Uap panas ini kemudian dimasukkan kembali ke dalam kolom dan mengalir ke atas melalui serangkaian *tray* untuk memanasi

cairan yang turun melalui *tray* yang sama. C_4^+ yang sudah bebas dari fraksi ringan (C_3) selanjutnya mengalir melewati *weir* ke dalam *product withdrawal section*, dan keluar dari kolom diatur oleh *control valve* menuju *debutanizer column*.



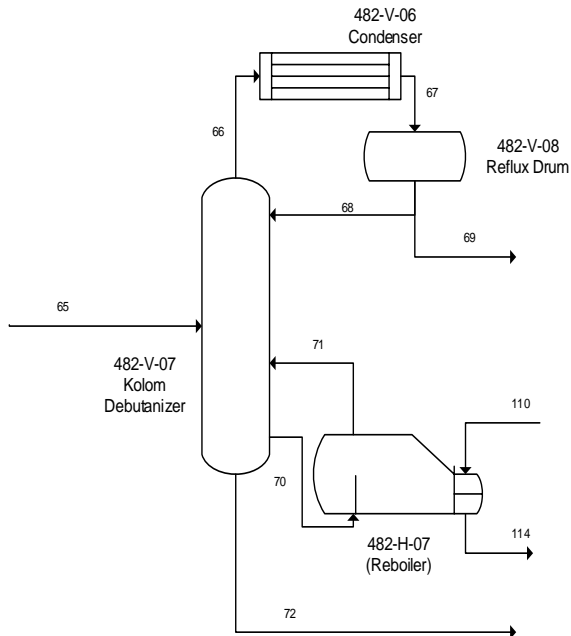
Gambar 2.1 Proses *Depropanizer* (Biyanto, 2016)

Sementara itu umpan yang berbentuk uap yang kaya akan komponen C_3 dan pada saat masuk ke *column* akan tercampur dengan uap panas yang berasal dari *reboiler*, dan mengalir ke atas kolom melalui *rectification section*, selanjutnya menuju *propane condenser*. Komponen berat yang terdapat di dalam uap akan di kondensasi atau diembunkan di dalam *condenser*, dan selanjutnya dipisahkan di dalam *reflux drum* sebelum di pompa kembali ke dalam puncak *column* sebagai cairan *reflux*. Cairan *reflux* ini selanjutnya akan mengalir ke bawah dan akan terpanasi oleh uap yang mengalir di dalam *rectification section*. Sementara itu

sebagian dari cairan ini dialirkan ke dalam tangki penyimpanan sebagai *product propane*.

- **Debutanizer**

Column Debutanizer akan memisahkan komponen C_3 dan C_4 dalam jumlah tertentu dari *condensate* umpan yang yang didapat dari *bottom product depropanizer column*. LPG dalam bentuk uap selanjutnya didistilasi di dalam kolom untuk mengambil cairan C_5^+ yang mana juga teruapkan dalam jumlah kecil. *LPG column* terdiri dari tiga bagian, bagian atas disebut *rectification section*, bagian bawah disebut *stripping section*, dan bagian dasar *column* disebut *heating* dan *product withdrawal section*.



Gambar 2.2 Proses *Debutanizer* (Biyanto, 2016)

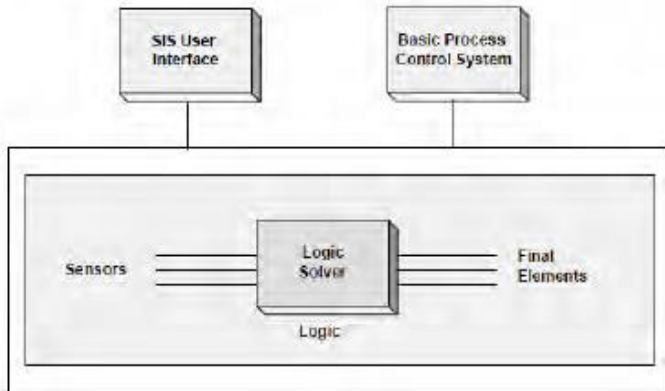
Umpan dari *depropanizer column* yang kaya kandungan C_3 dan C_4 masuk ke dalam LPG *debutanizer column* sebagai campuran dua *phase* melalui bagian atas *stripping section*. Umpan yang berbentuk cairan selanjutnya mengalir ke bawah melalui sejumlah *tray* ke *heating section*, dimana selanjutnya cairan ini dipanaskan di dalam *reboiler* untuk diuapkan dengan menggunakan *hot oil*. Uap yang kaya akan kandungan LPG hasil pemanasan dari *reboiler* selanjutnya dimasukkan kembali ke dalam *column* dan mengalir ke atas melalui sejumlah *tray*, yang akan memanasi cairan yang turun lewat *tray-tray* tersebut. *Condensate* yang telah stabil banyak mengandung komponen C_5 dan C_6 .

Selanjutnya mengalir melewati *weir* ke dalam *product withdrawal section*, dan keluar lewat *level control* menuju *condensate cooler* untuk didinginkan sebelum dialirkan ke dalam tangki-tangki *condensate*. Sementara itu, umpan yang berbentuk uap yang kaya akan komponen C_3 dan C_4 pada saat masuk ke LPG *column* akan tercampur dengan uap panas yang berasal dari *reboiler*, dan mengalir ke atas kolom melalui *rectification section*, selanjutnya menuju LPG *condenser* atau *fin-fan cooler*. LPG yang terkondensasi, yang mengandung komponen sekitar 60% mol C_3 dan 38% mol C_4 dipisahkan dari komponen ringan yang tidak terkondensasi di dalam LPG *reflux drum* dan dipompa ke LPG *storage tank*, sementara fraksi ringan yang tersisa dibuang ke *flare system*. LPG dalam jumlah tertentu akan dipisahkan dalam LPG *reflux drum* untuk dipompakan kembali sebagai *reflux* ke dalam kolom. Cairan *reflux* ini selanjutnya mengalir ke bawah sambil dipanasi oleh uap yang mengalir di dalam *rectification section* melalui serangkaian *tray column*.

2.2 Safety Instrumented System

Sistem keamanan erat kaitannya dengan *Layer of Protection* (LOPA) yang terdiri dari desain *plant*, *Basic Process Control System* (BPCS), sistem *alarm*, *mechanical safety*, dan *Safety Instrumented System* (SIS). SIS merupakan suatu tahap pada LOPA yang berfungsi untuk mengurangi resiko pada suatu sistem yang berpotensi menimbulkan keadaan berbahaya. SIS

diimplementasikan sebagai *Emergency Shutdown System* (ESD), *Safety Shutdown System* (SSD), dan *Safety Interlock System*. SIS terdiri dari *sensor*, *logic solver*, dan *final control element* (Gruhn, 2006). SIS akan berfungsi apabila lapisan pengamanan sebelumnya yaitu BPCS (*Basic Process Control System*) dan *alarm*, sudah tidak dapat menangani pelanggaran operasional yang terjadi



Gambar 2.3 Definisi SIS (Gruhn, 2006)

SIS terdiri dari tiga komponen seperti terlihat pada Gambar 2.3 dengan komponen penyusun utama yaitu *sensor*, *logic solver*, dan *final element*.

- *Sensor*

Sensor merupakan komponen untuk mengukur suatu besaran seperti, *temperature*, *level*, *flow*, maupun *pressure*. Dalam SIS, sensor sebagai *sensing element* yang akan memberikan sinyal pada *logic solver* ketika dikenai suatu fluida. Contohnya, *thermocouple*, *level switch*, *pressure switch*, dan lain sebagainya.

- *Logic solver*

Logic solver merupakan pengendali yang di dalamnya terdapat logika-logika yang digunakan dalam pemrosesan data sehingga proses yang berjalan sesuai logika yang dibuat. Dalam

SIS, *logic solver* akan menerima sinyal dari *sensor*, kemudian diproses sesuai dengan logika yang sudah dibuat dan mengirimkan sinyal ke *final element* untuk dieksekusi. *Controller* yang digunakan seperti PLC, DCS, dan lain sebagainya.

- *Final element*

Final element sering disebut dengan aktuator yang mempunyai fungsi untuk mengeksekusi perintah dari *logic solver*. *Final element* merupakan komponen terakhir penyusun SIS yang nantinya akan memberikan tindakan pengamanan pada prosesnya.

SIS dipasang pada sistem yang memiliki komponen elektrik yang berhubungan langsung dengan orang maupun sistem pneumatik dan hidraulik sesuai dengan standar internasional IEC 61508. IEC 61508 yang dipublikasikan oleh *International Electrochnical Commission* yang membahas terkait fungsi proteksi dari sistem-sistem yang terkait dengan *Electrical/ Electronic/ Programmable Electronic Safety (E/E/PES)* (IEC 61508, 2010). Dalam standar ini dijelaskan terkait metode-metode untuk membangun spesifikasi keamanan untuk mencapai suatu target yaitu *Safety Instrumented Level (SIL)*. SIL terbagi menjadi dua mode permintaan dalam setiap penentuan targetnya, yaitu

- *Low demand mode operation*

Sistem beroperasi kurang atau sama dengan sekali dalam setahun, secara umum untuk sistem proteksi.

- *High demand mode operation*

Sistem beroperasi lebih dari sekali dalam setahun, secara umum untuk sistem pengendalian.

Kegagalan yang terjadi pada suatu proses industri akan berdampak besar bagi suatu perusahaan dan menyebabkan kerugian yang berarti untuk setiap proses produksinya. Kinerja SIS yang baik dicapai dengan ketersediaan keamanan yang tinggi. Oleh karena itu, penting bagi suatu perusahaan untuk memperhatikan maupun standar yang ditetapkan.

2.3 *Dependability*

Dependability merupakan suatu properti sistem yang mengintegrasikan *reliability*, *availability*, *safety*, *security*, dan *maintainability* (Algirdas, 2000). Dengan kata lain *dependability* adalah suatu hal yang dapat dipercaya atau diandalkan yang menjadi parameter untuk menentukan komponen tersebut layak digunakan atau akan menimbulkan suatu kegagalan sistem dan kerugian terhadap perusahaan.

Dependability ditentukan berdasarkan nilai rata-rata dari PFDavg dan STR (*Spurious Trip Rate*) (Torres-Echeverria, 2009). PFDavg merupakan probabilitas kegagalan dan perhitungan dasar untuk menentukan nilai SIL dari suatu komponen. Sedangkan, STR merupakan kerugian produksi akibat terjadinya kegagalan pada SIF. Berikut persamaan (2.1) yang digunakan untuk menghitung nilai PFDavg untuk *dangerous independent failure basic event*:

$$PFD_{avg} = (1 - C_{Moon} \times \beta_{DD}) \times \lambda_{DD} \times T_r + (1 - C_{Moon} \times \beta_{DU}) \times \lambda_{DU} \times \left(\frac{T_I}{2} + T_r\right) \quad (2.1)$$

Sedangkan persamaan untuk perhitungan STR untuk *dangerous independent failure basic event* terdapat pada persamaan 2.2.

$$STR = (1 - C_{Moon} \times \beta_{SD}) \times \lambda_{SD} + (1 - C_{Moon} \times \beta_{SU}) \times \lambda_{SU} \quad (2.2)$$

Dari persamaan (2.1) dan (2.2) dapat dilihat bahwa nilai PFDavg dan STR dipengaruhi oleh fraksi kegagalan Moon *architecture*, dan fraksi kegagalan. Nilai STR dipengaruhi oleh *safe failure rate* dan fraksi kegagalan bahaya baik *detected* maupun *undetected*. Sedangkan, untuk nilai PFDavg dipengaruhi oleh *danger failure rate*, fraksi kegagalan bahaya baik *detected* maupun *undetected*, *time interval*, dan *repair time*. Hasil dari perhitungan PFDavg ini menjadi dasar untuk menentukan nilai SIL.

Tabel 2.1 Konversi PFDavg menjadi SIL untuk *Low Demand*

Mode (ANSI/ISA-TR84.02, 2002)

SIL	PFDavg
4	$\geq 10^{-5} \text{ to } < 10^{-4}$
3	$\geq 10^{-4} \text{ to } < 10^{-3}$
2	$\geq 10^{-3} \text{ to } < 10^{-2}$
1	$\geq 10^{-2} \text{ to } < 10^{-1}$

Pada Tabel 2.1 dapat diartikan sebagai semakin tinggi tingkatan SIL, maka keamanan dari SIS lebih baik. Untuk kategori SIL 1 apabila nilai PFDavg lebih besar sama dengan 0,01 dan lebih kecil dari 0,1, dan untuk kategori SIL lainnya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Selain dari arsitekturnya, SIL juga dapat ditentukan melalui nilai kombinasi tipe untuk masing-masing teknologi dari suatu sistem. Misal tipe A yaitu *relay*, *solenoida*, *valve*, dan *transmitter* konvensional, sedangkan untuk tipe B contohnya ialah komponen elektronik yang menggunakan *microprocessor* seperti *smart transmitter*.

2.4 *Lifecycle Cost (LCC)*

Lifecycle Cost (LCC) merupakan perhitungan biaya total keseluruhan sistem untuk mencapai kondisi sistem keamanan yang baik (Torres-Echeverri'a, 2009). Perhitungan LCC perlu diperhatikan agar biaya yang dikeluarkan perusahaan untuk memasang sistem keamanan dapat ditoleransi, sehingga perusahaan tidak mengambil risiko dengan tidak memasang sistem keamanan karena biaya yang mahal. LCC dipengaruhi oleh biaya operasi, *procurement*, *risk*, dan PVF. Berikut merupakan persamaan (2.3) untuk perhitungan LCC:

$$LCC = C_{pro} + (C_{op} + C_{risk}) \times PVF \quad (2.3)$$

Biaya *procurement* diperoleh dari jumlah SIF pada sistem.

$$C_{pro} = C_{design} + \left(\left(C_{purchase} + C \frac{inst}{comm} \right) \times N_{valve} + \left(C_{purchase} + C \frac{inst}{comm} \right) \times N_{transmitter} \right) \times \text{jumlah SIF} + \left(C_{purchase} + C \frac{inst}{comm} \right) PLC, SIS \quad (2.4)$$

Biaya operasional merupakan jumlah dari *maintenance cost*. *Maintenance cost* dipengaruhi oleh tiap-tiap *maintenance task*. Adapun persamaan dari *maintenance cost* dapat diartikan pula sebagai *cost of operational* yang terdiri dari *predictive maintenance cost*, *test cost*, dan *corretive maintenance cost*. Adapun persamaan (2.5) untuk perhitungan *operational cost* (Torres-Echeverri 'a, 2009)

$$C_{OP} = C_{PM} + C_T + C_{CM} \quad (2.5)$$

$$C_{PM} = \frac{1}{M} \times C_{pm} \times N \quad (2.6)$$

$$C_T = \frac{1}{T_i} \times C_t \times N \quad (2.7)$$

$$C_{CM} = \lambda_T \times C_{cm} \times N \quad (2.8)$$

Berikut persamaan (2.9) untuk perhitungan biaya risiko per tahun:

$$C_{risk} = C_{STR} + C_{hazard} \quad (2.9)$$

$$C_{STR} = STR_{avg} \times C_{SD} \quad (2.10)$$

$$STR_{avg} = \sum STR_{SE} + \sum STR_{LS} + \sum STR_{FE} \quad (2.11)$$

$$C_{SD} = SD_{time} \times SD_{loss} \quad (2.12)$$

$$C_{hazard} = C_{ACC} \times F(ACC | PFD_{avg}) \times PFD_{avg} \quad (2.13)$$

$$PFD_{avg} = \sum PFD_{SE} + \sum PFD_{LS} + \sum PFD_{FE} \quad (2.14)$$

$$PVF = \frac{1-(1+R)^{-T}}{R} \quad (2.15)$$

2.5 Genetic Algorithm

Genetic Algorithm (GA) merupakan salah satu metode multi objektif untuk memecahkan masalah melalui proses seleksi alam (Torres-Echeverria, 2012). Multi objektif memiliki arti melibatkan lebih dari satu fungsi tujuan untuk dioptimalkan secara bersamaan (Kaisa, 1999). *Genetic Algorithm* (GA) dikembangkan dengan tujuan utama meniru proses yang ada di alam. Dimana berbagai kegiatan genetik seperti persilangan dan mutasi merupakan salah satu operasi pada GA ini. Di bidang optimisasi, algoritma ini digunakan untuk mengoptimalkan fungsi, proses gambar, memecahkan masalah, sistem identifikasi serta kontrol, dan sebagainya (Kristiadi, 2019). Di dalam GA juga digunakan untuk melaksanakan aturan "IF-THEN" (Y. J. Cao, 1999).

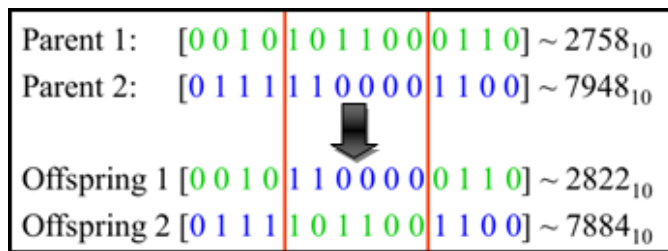
GA memanfaatkan teknik randomisasi dan persilangan serta mutasi. Beberapa kelebihan yang dimiliki algoritma genetik ini antara lain:

- GA menjadi satu teknik *heuristic* yang dapat menemukan suatu solusi dengan cukup cepat dan waktu eksekusinya yang cukup singkat sehingga sangat membantu (Arief, 2007).
- Memiliki tingkat performansi lebih baik dan mampu menemukan solusi terbaik lebih cepat dalam proses komputasi (Ashari, 2016),
- Beberapa tahun terakhir, ilmuwan telah banyak melakukan penelitian tentang GA untuk memecahkan masalah optimisasi yang melibatkan *multi-objective* (Singh, 2012), dan
- *Genetic Algorithm* menyelesaikan masalah dengan mengodekan permasalahan menjadi kromosom, dan memulai prosesnya dengan sekumpulan *initial solutions*. Hal inilah yang membedakan dengan algoritma *metahuristic* lainnya yang

memulai proses dengan sebuah solusi tunggal dan berlanjut ke solusi lainnya (Berlianty & Arifin, 2010).

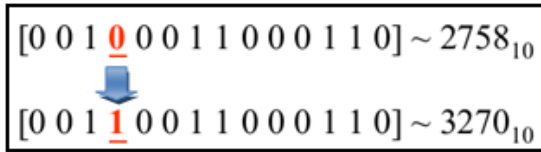
Untuk dapat menyelesaikan permasalahan optimisasi, secara garis besar proses GA dapat dijelaskan sebagai berikut, yaitu:

- Inisialisasi populasi
Populasi awal berupa pengodean kromosom dengan bilangan biner yaitu 0 dan 1. Kromosom GA merupakan solusi dari satu *variable*.
- Proses evaluasi
Populasi yang telah diinisiasi untuk membentuk populasi keturunan, nilai *fitness* atau nilai dari kemampuan solusi untuk bertahan dari masing-masing individu dievaluasi.
- Proses seleksi
Mengalokasikan lebih banyak salinan dari solusi nilai *fitness* yang lebih tinggi dan memberlakukan mekanisme *survival* dari tiap nilai *fitness* pada tiap kandidat solusi untuk mendapatkan solusi terbaik dari generasi terburuk.
- Proses rekombinasi
Menggabungkan dua atau lebih bagian solusi induk untuk membentuk individu baru dengan kemungkinan menjadi solusi yang lebih baik dengan mekanisme *crossover*. Mekanisme *crossover* merupakan mekanisme pada kromosom induk yang dipotong oleh *crossover point* sehingga *gen-gen* pada tiap kromosom bertukar silang dan menghasilkan anak.



Gambar 2.4 Mekanisme *crossover* (Lowen and Verschoren, 2008)

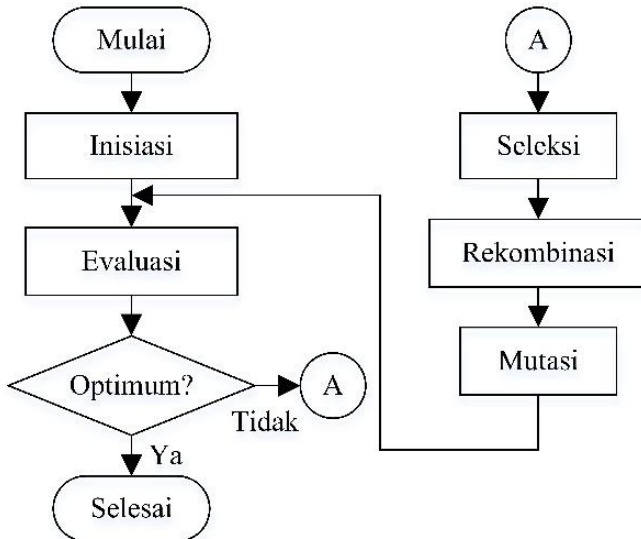
- Proses mutasi
Memodifikasi sebuah solusi dari proses rekombinasi yang melibatkan satu atau lebih perubahan sifat individu.



Gambar 2.5 Mekanisme mutasi (Lowen and Verschoren, 2008)

- Pergantian populasi
Keturunan dari hasil seleksi, rekombinasi, dan mutasi akan menggantikan populasi induk.

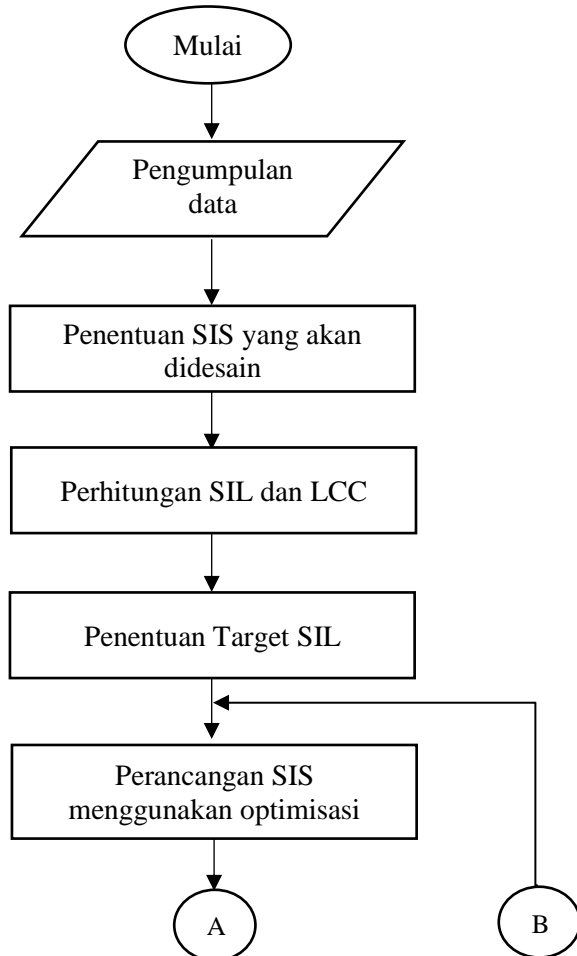
Gambar 2.6 menunjukkan pola khas algoritma genetik (A. J. Chipperfield, 1994).



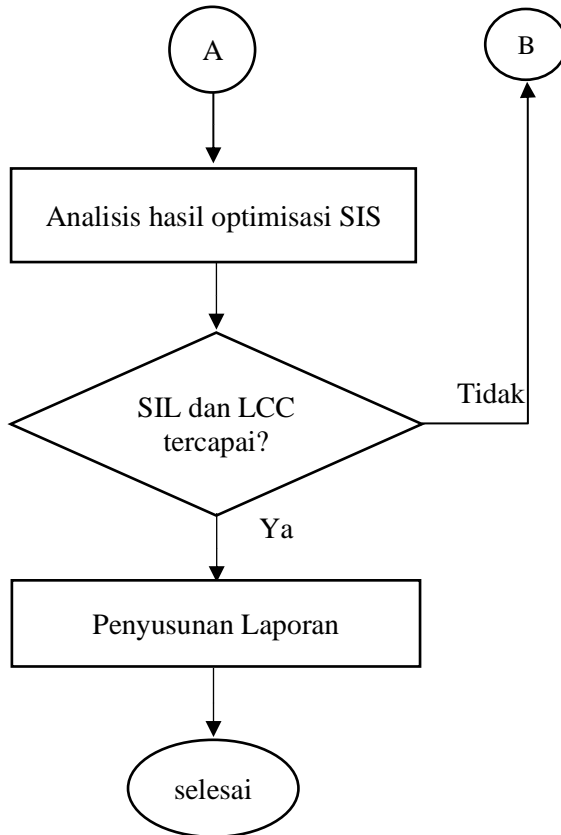
Gambar 2.6 Standar Prosedur GA (A. J. Chipperfield, 1994)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan yang akan dilakukan pada tugas akhir ini ditampilkan dengan sebuah diagram alir pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Tugas Akhir



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)

3.1 Pengumpulan Data

Data-data yang diperlukan untuk desain SIS antara lain HAZOP *worksheet*, P&ID, PFD, data *maintenance*, dan data spesifikasi komponen. HAZOP *worksheet* dari LPG Fractionation Train yang akan digunakan menentukan dan menganalisa bahaya, risiko, dan tindakan apa yang diperlukan pada *plant*. P&ID dan PFD akan digunakan untuk melihat proses kontrol pada *plant* dan eksekusi dari hasil desain.

Data yang digunakan untuk menghitung nilai PFDavg, STR, dan LCC aktual adalah data kegagalan dan total biaya kerugian. Dalam melakukan perhitungan rancangan PFD dibutuhkan beberapa data antara lain data laju kegagalan (λ) yaitu λ_{dd} , λ_{du} , λ_{sd} , λ_{su} , dan λ_t , serta data fraksi kegagalan (β) yaitu β_{dd} , β_{du} , β_{sd} , dan β_{su} . Sedangkan, dalam melakukan perhitungan LCC rancangan dibutuhkan beberapa data pula antara lain, biaya pembelian, biaya desain, biaya instalasi, biaya perawatan dan perbaikan, biaya percobaan, dan total biaya akibat terjadi kegagalan. Karena ketidaksediaan data dari pabrik maka untuk data nilai PFD dan LCC yang digunakan sebagai rancangan berasal dari data sekunder baik dari buku maupun jurnal.

3.2 Penentuan SIS yang akan didesain

Penentuan SIS dilakukan berdasarkan data HAZOP dan P&ID yang terdapat pada PT. SIPL. HAZOP digunakan untuk mengetahui potensi bahaya yang diperoleh karena adanya deviasi atau penyimpangan data proses. Pada kolom distilasi, pemasangan *Basic Process Control System* (BPCS) dilakukan untuk melindungi perubahan kesetimbangan massa yang terjadi akibat perubahan nilai *feed* dan fraksi *feed*. Alur pemasangan BPCS dimulai dari pengendalian *level bottom*, pengendalian *pressure* kolom, pengendalian *level* pada *reflux*, serta pengendalian *temperature*. Pengendalian *pressure* dilakukan untuk menjaga kestabilan kondisi material agar tetap stabil dalam kolom. Bila *pressure* kolom berubah-ubah maka proses pemisahan menjadi tidak sempurna. Pengendalian *temperature* dilakukan untuk mengendalikan *temperature* pada proses distilasi agar sesuai dengan *temperature* yang sudah ditetapkan untuk memperoleh distilat murni. Jika *temperature* berlebih atau kurang maka sangat berpengaruh pada hasil distilasi. Pengendalian *level* dilakukan pada *bottom* kolom bertujuan untuk menjaga agar *flow* pada *bottom* kolom dapat stabil sehingga *reboiler* dapat beroperasi. Pengendalian *level* juga dilakukan pada *accumulator* untuk menjaga *flow* dari *reflux* agar tetap stabil. Pengendalian *level* pada *bottom* kolom, pengendalian *pressure* kolom, pengendalian *level*

accumulator serta pengendalian *temperature*, merupakan *inventory control* pada kolom distilasi. Jika terjadi gangguan pada *inventory control* maka diperlukan pemasangan SIF untuk melindungi kegagalan yang mungkin terjadi pada BPCS. Sehingga, pemasangan SIF dilakukan pada *inventory control* yang ada pada kolom distilasi yaitu *pressure transmitter* pada kolom, *temperature transmitter* pada *bottom*, *level transmitter* pada *bottom*, dan *level transmitter* pada *reflux accumulator*. Jumlah SIF yang dipasang sebanyak 7 SIF.

3.3 Perhitungan SIL dan LCC

Sebelum melakukan perancangan SIS maka diperlukan perhitungan dan analisa SIL untuk setiap *instrument* SIS. Perhitungan SIL digunakan untuk mengevaluasi *safety* pada *plant*. Untuk melakukan perhitungan SIL maka perlu dilakukan pengelompokan *instrument* SIS yang ada berdasarkan SIF yang dijalankannya. SIF dapat diketahui melalui hubungan masing-masing *instrument* SIS yang dapat dilihat melalui dokumen *cause and effect* (lampiran B). Untuk dapat melakukan perhitungan SIL maka terlebih dahulu dilakukan perhitungan *failure rate* untuk *instrument* SIS yang digunakan pada setiap *loop* yang terdata pada HAZOP. Nilai *failure rate*-nya dapat ditentukan dengan perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) terlebih dahulu melalui data waktu kegagalan untuk masing-masing *instrument* yang terdapat di lapangan. Setelah diperoleh nilai MTTF selanjutnya dilakukan perhitungan *failure rate*.

Untuk melakukan perhitungan LCC maka perlu dilakukan perhitungan *cost procurement*, *cost operational*, dan *cost risk*. Setelah didapatkan ketiga nilai tersebut pada masing-masing *instrument*, maka LCC dapat diperoleh dengan menggunakan rumus yang terdapat pada persamaan (2.3).

3.4 Penentuan Target SIL

Setiap perusahaan memiliki target untuk keamanan dari *plant*. Sebagai tindak lanjut dari perhitungan SIL *plant*, muncul rekomendasi untuk meminimalisir kegagalan yang terjadi melalui

peningkatan nilai SIL yang telah disepakati perusahaan (Lampiran E).

3.5 Perancangan SIS

Setelah diketahui nilai SIL yang dibutuhkan, maka perlu disusun *instrument-instrument* yang akan menyusun SIF, sesuai dengan nilai *failure rate* dan LCC. Salah satu upaya dalam memperbaiki tingkat keamanan adalah dengan mempertimbangkan biaya. Peningkatan SIL dapat dilakukan dengan cara mengubah struktur arsitektur SIS, pergantian komponen SIS, atau dengan menambah waktu *maintenance*. Melalui pendekatan sistem *voting* MooN akan memberikan pengaruh signifikan pada tingkat keamanan serta risiko yang terjadi pada *node depropanizer* dan *debutanizer*.

3.5.1 Data Perancangan SIS

Dalam perancangan SIS karena ketidaksediaan pabrik akan data-data yang dibutuhkan maka perancangan SIS dilakukan menggunakan data sekunder yang terdapat dibuku maupun jurnal. Data yang dibutuhkan meliputi data λ_{DD} , λ_{DU} , λ_{SD} , λ_{SU} , λ_T , β_{DD} , β_{DU} , β_{SD} , β_{SU} , *purchase cost*, *design cost*, *installation cost*, *maintenance cost*, *test cost*, *repair cost*, *start up cost*, *catastrophic cost*, *SIS life*, *discount rate*, dan *repair time*, untuk masing-masing *sensing element*, *logic solver*, serta *final element*. Data yang digunakan untuk melakukan perhitungan biaya untuk pemasangan hingga perawatan *instrument* yaitu harga pembelian *instrument*, harga desain dan *commisioning instrument*, harga *start up*, biaya kerugian produksi saat terjadi *shutdown*, biaya kecelakaan, hingga waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki *instrument*, umur SIS, dan *time interval* pada *plant*. Konfigurasi yang digunakan untuk rancangan SIS mengacu pada ISA-TR84.00.02-2002. Dalam Tabel 3.1 menunjukkan nilai fraksi kegagalan *vote* arsitektur, MooN merupakan variasi arsitektur, dimana M menunjukkan jumlah *output*-an yang dipilih, sedangkan N menunjukkan jumlah komponen SIF-nya. Data-data perancangan SIS terdapat dalam Tabel 3.1 hingga 3.7.

Tabel 3.1 Nilai Fraksi Kegagalan *Vote* Arsitektur (Torres-Echeverria, 2009).

MooN	Fraksi Kegagalan (C_{MooN})
1oo1	0
1oo2	1
1oo3	0.3
1oo4	0.15
1oo5	0.08
1oo6	0.04
2oo2	0
2oo3	2.4
2oo4	0.75
2oo5	0.45
2oo6	0.26
3oo3	0
3oo4	4
3oo5	1.2
3oo6	0.8
4oo4	0
4oo5	6
4oo6	1.6
5oo5	0
5oo6	8.1
6oo6	0

Redundansi yang digunakan adalah *MooN voting* dengan variasi 1oo1 – 6oo6. Setiap kombinasi *MooN* memiliki nilai fraksi kegagalannya masing-masing.

Tabel 3.2 Data *Transmitter* (Torres-Echeverria, 2009)

<i>Transmitter</i>			
Data	A	B	C
	<i>Smart Transmitter</i>	<i>Conventional Electronic Transmitter</i>	<i>switch</i>
$\lambda_{dd}(x10^{-6}/hr)$	0,048	0,97	0,41
$\lambda_{du}(x10^{-6}/hr)$	0,103	0,93	3,7
$\lambda_{sd}(x10^{-6}/hr)$	0,265	1,21	0,68
$\lambda_{su}(x10^{-6}/hr)$	0,118	0,95	6,13
$\lambda_t(x10^{-6}/hr)$	0,534	4,06	10,92
$\beta_{dd}(\%)$	10	10	10
$\beta_{du}(\%)$	10	10	10
$\beta_{sd}(\%)$	10	10	10
$\beta_{su}(\%)$	10	10	10
SFF(%)	80,7	77,09	66,12
TYPE	B	A	A
$C_{purchase} (\$)$	4844	3206	500

Dalam Tabel 3.2 menunjukkan data *transmitter* dengan tiga tipe yaitu *smart transmitter*, *conventional electronic transmitter*, dan *switch*. Nilai *transmitter* pada Tabel 3.2 berlaku untuk *pressure*, *level*, dan *flow transmitter* (Torres-Echeverria, 2009). *Smart transmitter* merupakan *transmitter* berbasis *microprocessor* yang memiliki beberapa fitur di dalamnya antara lain, *self-calibration*, *self-diagnosis and fault detetction*, dapat mengubah *input non-linear* menjadi *linear*, terdapat beberapa *sensor* yang memiliki *range* berbeda-beda, serta mampu memilih *range* yang sesuai secara otomatis. *Conventional electronic transmitter* merupakan *transmitter* yang memiliki fitur *multiple point test* yang mampu membaca *input* dan mengeluarkan *output* yang cukup untuk tingkat akurasi pada *transmitter*. Sedangkan, *switch*

merupakan sebuah *instrument* yang mampu membaca secara otomatis perubahan baik *pressure*, *flow*, maupun *level*, dan secara langsung akan membuka atau menutup *switch* ketika *setpoint* tercapai (Torres-Echeverria, 2009)

Tabel 3.3 Data *Final Element* (Torres-Echeverria, 2009)

<i>Final Element</i>			
Data	A	B	C
	<i>Air Operated</i>	<i>Hydraulic Operated</i>	<i>Motor Operated</i>
$\lambda_{dd}(x10^{-6}/hr)$	0,84	1,09	0,79
$\lambda_{du}(x10^{-6}/hr)$	2,51	4,35	7,11
$\lambda_{sd}(x10^{-6}/hr)$	0	0	0
$\lambda_{su}(x10^{-6}/hr)$	3,94	3,17	9,17
$\lambda_{t}(x10^{-6}/hr)$	7,29	8,61	17,07
$\beta_{dd}(\%)$	10	10	10
$\beta_{du}(\%)$	10	10	10
$\beta_{sd}(\%)$	10	10	10
$\beta_{su}(\%)$	10	10	10
SFF(%)	65,57	49,48	58,35
TYPE	A	A	A
<i>Cpurchase</i> (\$)	6940	6400	6200

Dalam Tabel 3.3 menunjukkan data *final element* dengan tiga tipe yaitu *air operated*, *hydraulic operated*, dan *motor operated valve*. *Air operated valve* merupakan tipe *valve* yang menggunakan *pressure* berupa udara pada piston atau diafragma untuk mengoperasikan *valve*. *Hydraulic operated valve* merupakan tipe *valve* yang menggunakan fluida untuk mengoperasikan *valve*. *Motor operated valve* merupakan tipe *valve* yang penggerakannya adalah motor yang dikombinasikan dengan elektronik untuk memutar *gear-gear* yang ada pada unit *valve* tersebut (Engineering, 2015).

Tabel 3.4 Data *Logic Solver* (Torres-Echeverria, 2009)

Logic Solver	
λ_{dd} ($10^{-6}/h$)	0,026
λ_{du} ($10^{-6}/h$)	0,006
λ_{sd} ($10^{-6}/h$)	1,73
λ_{su} ($10^{-6}/h$)	1,73
β_{dd} (%)	10
β_{du} (%)	10
β_{sd} (%)	10
β_{su} (%)	10
$C_{purchase}$ (\$)	40000

Dalam Tabel 3.4 menunjukkan data *logic solver* dengan tipe PLC sesuai dengan yang digunakan perusahaan.

Tabel 3.5 Data LCC *Instrument* (Torres-Echeverria, 2009)

Data LCC	Unit	Harga
<i>design overall instrumentation</i>	\$	3060
<i>installation/commissioning per instrument</i>	\$	600
<i>maintenance per instrument</i>	\$/event	240
<i>test per instrument</i>	\$/event	60
<i>repair cost per instrument</i>	\$/event	480
<i>start up cost</i>	\$	1800
<i>catastrophic cost</i>	\$	150×10^6
<i>SIS Life</i>	years	15
<i>discount rate</i>	%	5

Dalam Tabel 3.5 merupakan data untuk menghitung nilai LCC untuk *pressure, level, flow, dan final element*.

Tabel 3.6 Data LCC PLC (Torres-Echeverria, 2009)

Data LCC	Unit	Harga
<i>Design/install/commisioning</i>	\$	10320
<i>Repair</i>	\$/event	8000
<i>Maintenance</i>	\$/event	960
<i>Test</i>	\$/event	240

Dalam Tabel 3.6 merupakan data untuk menghitung nilai LCC untuk *logic solver*.

Tabel 3.7 Data Penunjang (Torres-Echeverria, 2009)

Data plant	Unit	Nilai
<i>Repair time</i>	H	8
<i>Time interval</i>	Year	1
<i>SIS Life</i>	Year	15
<i>Plant risk without SIS</i>	/Year	8.55×10^{-3}

Dalam Tabel 3.7 merupakan data-data penunjang untuk menghitung nilai LCC.

3.6 Optimisasi Perancangan SIS

Dalam melakukan perancangan SIS hal yang perlu diperhatikan adalah komposisi komponen yang dipengaruhi oleh konfigurasi SIS dan jenis teknologi yang digunakan serta cara untuk mendapatkan hasil rancangan yang paling optimum. Menurut penelitian yang telah dilakukan, teknik optimisasi terbaik untuk mengoptimisasi LCC adalah metode GA. Parameter-parameter yang digunakan untuk mengoptimisasi SIS dengan menggunakan GA adalah sebagai berikut: (Goldberg, 1989)

- Jumlah populasi
Populasi menentukan jumlah kromosom yang terlibat dalam proses optimisasi.

- Jumlah variabel yang dioptimisasi
Variabel yang memengaruhi fungsi tujuan yaitu untuk mendapatkan nilai LCC yang minimal. Variabel yang dioptimisasi meliputi PFDavg, STR, jenis teknologi, dan *vote* arsitektur.
- Batas atas dan bawah optimisasi
Batas digunakan sebagai jangkauan untuk mengacak nilai variabel optimisasi agar memenuhi fungsi tujuan.
- Iterasi
Menentukan jumlah perputaran proses optimisasi

Optimisasi SIS akan dimulai dengan pembacaan data *dependability* dan LCC yang akan dilanjutkan dengan penentuan variabel optimisasi. Variabel yang memengaruhi LCC antara lain jumlah komponen yang digunakan (N_x), *vote* arsitektur (C_x), dan teknologi. Penentuan nilai N_x dan C_x didapatkan dari Tabel 3.1.

3.7 Perhitungan PFD dan STR

Dalam perhitungan PFD dilakukan perhitungan dengan persamaan yang terdapat pada persamaan (2.1). Pada perhitungan PFD ini menggunakan parameter-parameter seperti fraksi kegagalan (CM_{ooN}), fraksi kegagalan *danger detected*, dan *danger undetected*, *failure rate danger detected*, dan *danger undetected*, *time interval*, dan *repair time*. Sedangkan, perhitungan STR, dilakukan dengan persamaan (2.2), yang menggunakan parameter-parameter seperti fraksi kegagalan (CM_{ooN}), fraksi kegagalan *safe detected* dan *safe undetected*, *failure rate safe detected*, dan *safe undetected*.

3.8 Perhitungan LCC

Perhitungan LCC dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.3) hingga (2.12). Parameter yang digunakan adalah biaya pembelian, biaya operasional, biaya risiko, serta nilai *presented value by factor*.

3.9 Analisa hasil optimisasi

Terdapat tiga variabel yang akan diamati dalam optimisasi ini, yaitu:

- *Probability Failure on Demand* (PFDavg)
Perhitungan PFDavg merepresentasikan probabilitas kegagalan dari sistem keamanan serta dasar perhitungan dalam menentukan SIL.
- *Spurious Trip Rate* (STR)
Perhitungan STR merepresentasikan dampak dari kerugian produksi dan kepercayaan pengguna yang ditempatkan pada sistem.
- *Life Cycle Cost* (LCC)
Perhitungan LCC merepresentasikan perhitungan biaya yang dibutuhkan dalam mendesain hingga mengoperasikan SIS.

Optimisasi terfokus pada variasi teknologi pada subsistem *sensor* dan *final element*. Tujuan optimisasi yaitu untuk mendapatkan hasil *minimum* untuk ketiga variabel optimisasi. Dimana fungsi objektif yang digunakan pada optimisasi adalah LCC. Dari penjelasan sebelumnya, dapat diketahui bahwa hasil optimisasi yang diinginkan adalah terdapat penurunan terhadap tiga nilai tersebut yaitu PFDavg, STR, dan LCC. Semakin kecil nilai PFDavg menunjukkan bahwa probabilitas terjadinya kecelakaan di dalam *plant* tersebut lebih kecil. Nilai STR yang lebih kecil akan mengurangi kerugian produksi yang terjadi akibat kegagalan SIF.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis SIL

Ada beberapa tahapan dalam melakukan analisis SIL (*Safety Integrity Level*) diantaranya pengelompokan komponen SIS, perhitungan *failure rate*, perhitungan *Probability Failure on Demand* (PFD), dan penentuan SIL.

4.1.1 Pengelompokan SIS

Pada perhitungan SIL dilakukan pengelompokan komponen SIS terlebih dahulu. Berdasarkan dokumen *cause and effect* seperti Lampiran B diketahui bahwa dari P&ID LPG *Fractionation Train* terdapat tujuh buah *loop* SIS yang dijelaskan dalam Tabel 4.1 hingga 4.4.

Tabel 4.1 Komponen SIS *Depropanizer* dan *Debutanizer*

No	Sensor	Logic Solver	Final Element
1	482-PTZ-111	358-JP-01	482-SDV-124
2	482-LSLL-182		482-SDV-123
3	482-LSLL-152		482-SDV-153
4	482-PTZ-212		482-SDV-224
5	482-LSLL-217		482-SDV-223
6	482-LSLL-252		482-SDV-253
7	482-LSHH-251		482-SDV-297

Dalam Tabel 4.1 menunjukkan pengelompokan SIS pada kolom *depropanizer* dan *debutanizer*. Pada Tabel 4.1 nomor satu dan dua merupakan pengelompokan SIS pada *depropanizer column and reboiler*. Pada nomor tiga merupakan pengelompokan SIS *depropanizer reflux drum*. Untuk *debutanizer column and reboiler* terdapat pada Tabel 4.1 nomor empat dan lima, serta untuk *debutanizer reflux drum* mempunyai dua SIS yang terdapat pada Tabel 4.1 nomor enam dan tujuh.

4.1.2 Perhitungan *Failure Rate*

Setelah melakukan pengelompokan SIS pada setiap *node* langkah selanjutnya yaitu melakukan perhitungan *failure rate* setiap *instrument* untuk menentukan nilai *failure rate*-nya dengan perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) terlebih dahulu. Tabel 4.2 merupakan perhitungan nilai *failure rate* untuk masing-masing komponen.

Tabel 4.2 Perhitungan Nilai *Failure Rate* LPG Fractionation Train

No.	<i>Instrument</i>	MooN	MTTF	λ_{du} (hours)
1	PTZ-111	1001	4372	0,000228728
2	JP-01	1001	0	0,000000624
3	SDV-124	1001	4390,666667	0,000227756
4	LSLL-182	1001	4372	0,000228728
5	JP-01	1001	0	0,000000624
6	SDV-123	1002	4181,052632	0,000239174
7	LSLL-152	1001	4404	0,000227066
8	JP-01	1001	0	0,000000624
9	SDV-153	1001	4312	0,000231911
10	PTZ-212	1001	4356	0,000229568
11	JP-01	1001	0	0,000000624
12	SDV-224	1001	4339,764706	0,000230427
13	LSLL-217	1001	4130,526316	0,0002421
14	JP-01	1001	0	0,000000624
15	SDV-223	1001	4342,588235	0,000230277
16	LSLL-252	1001	4504,941176	0,000221978
17	JP-01	1001	0	0,000000624
18	SDV-253	1001	4213,333333	0,000237342
19	LSHH-251	1001	4504,941176	0,000221978
20	JP-01	1001	0	0,000000624
21	SDV-297	1001	4213,333333	0,000237342

Berdasarkan Tabel 4.2 diperoleh nilai *failure rate* dari hasil perhitungan MTTF berdasarkan pengelompokan SIS yang terdiri dari dua *loop depropanizer column and reboiler* pada nomor satu hingga enam, satu *loop depropanizer reflux drum* pada nomor tujuh hingga sembilan, dua *loop debutanizer column and reboiler* pada nomor 10 hingga 15, serta dua *loop debutanizer reflux drum* pada nomor 16 hingga 21.

4.1.3 Perhitungan *Probability Failure on Demand* dan Penentuan *Safety Integrity Level (SIL)*

Probability Failure on Demand (PFD) merupakan probabilitas atau kemungkinan bahwa kegagalan dapat terjadi. Semakin kecil nilai PFD, maka probabilitas suatu *instrument* mengalami kegagalan juga semakin kecil. Nilai PFD nantinya akan digunakan untuk menentukan SIL melalui Tabel 2.1. Berdasarkan nilai *failure rate* pada Tabel 4.2 diperoleh nilai PFD untuk masing-masing SIS melalui persamaan (4.1) hingga (4.3).

$$PFD_{1001} = \lambda_{DU} \times \frac{T_i}{2} \quad (4.1)$$

$$PFD_{1002} = \frac{(\lambda_{DU})^2 \times T_i^2}{3} \quad (4.2)$$

Setelah ditentukan nilai PFD, dihitung PFD *average* dengan cara menjumlahkan PFD untuk *sensor*, *logic solver*, dan *final element*.

$$PFD_{sys} = PFD_s + PFD_l + PFD_{fe} \quad (4.3)$$

Penggunaan persamaan dalam perhitungan PFD didasarkan pada *voting configuration* untuk masing-masing komponen. *Interval time (Ti)* untuk masing-masing SIS sebesar satu tahun (8760 jam). Berikut merupakan perhitungan PFD untuk masing-masing SIS.

Tabel 4.3 Perhitungan PFD SIS *Depropanizer Column and Reboiler* 482-PTZ-111

<i>Instrument</i>	λ (hours)	MooN	PFDavg	PFD total	SIL
PTZ-111	0,000228728	1001	1,00182983	2,00213355	0
JP-01	0,000000624	1001	0,00273312		
SDV-124	0,000227756	1001	0,9975706		

Berdasarkan nilai PFD total dari SIS pada Tabel 4.3 diketahui nilai SIL untuk *loop* 482-PTZ-111 adalah SIL nol.

Tabel 4.4 Perhitungan PFD SIS *Depropanizer Column and Reboiler* 482-LSLL-182

<i>Instrument</i>	λ (hours)	MooN	PFDavg	PFD total	SIL
LSLL-182	0,000228728	1001	1,00182983	2,467803363	0
JP-01	0,000000624	1001	0,00273312		
SDV-123	0,000239174	1002	1,46324042		

Berdasarkan nilai PFD total dari SIS pada Tabel 4.4 diketahui nilai SIL untuk *loop* 482-LSLL-182 adalah SIL nol.

Tabel 4.5 Perhitungan PFD SIS *Depropanizer Reflux Drum* 482-LSLL-152

<i>Instrument</i>	λ (hours)	MooN	PFDavg	PFD total	SIL
LSLL-152	0,000221978	1001	0,97226575	1,970986026	0
JP-01	0,000000624	1001	0,00273312		
SDV-153	0,000227394	1001	0,99598716		

Berdasarkan nilai PFD total dari SIS pada Tabel 4.5 diketahui nilai SIL untuk *loop* 482-LSLL-152 adalah SIL nol.

Tabel 4.6 Perhitungan PFD SIS *Debutanizer Column and Reboiler* 482-PTZ-212

<i>Instrument</i>	λ (hours)	MooN	PFDavg	PFD total	SIL
PTZ-212	0,000229568	1001	1,00550964	2,01751407	0
JP-01	0,000000624	1001	0,00273312		
SDV-224	0,000230427	1001	1,00927131		

Berdasarkan nilai PFD total dari SIS pada Tabel 4.6 diketahui nilai SIL untuk *loop* 482-PTZ-212 adalah SIL nol.

Tabel 4.7 Perhitungan PFD SIS *Debutanizer Column and Reboiler* 482-LSLL-217

<i>Instrument</i>	λ (hours)	MooN	PFDavg	PFD total	SIL
LSLL-217	0,0002421	1001	1,06039755	2,071745758	0
JP-01	0,000000624	1001	0,00273312		
SDV-223	0,000230277	1001	1,00861508		

Berdasarkan nilai PFD total dari SIS pada Tabel 4.7 diketahui nilai SIL untuk *loop* 482-LSLL-217 adalah SIL nol.

Tabel 4.8 Perhitungan PFD SIS *Debutanizer Reflux Drum* 482-LSLL-252

<i>Instrument</i>	λ (hours)	MooN	PFDavg	PFD total	SIL
LSLL-252	0,000221978	1001	0,97226575	2,014555829	0
JP-01	0,000000624	1001	0,00273312		
SDV-253	0,000237342	1001	1,03955696		

Berdasarkan nilai PFD total dari SIS pada Tabel 4.8 diketahui nilai SIL untuk *loop* 482-LSLL-252 adalah SIL nol.

Tabel 4.9 Perhitungan PFD SIS *Debutanizer Reflux Drum* 482-LSHH-251

<i>Instrument</i>	λ (<i>hours</i>)	MooN	PFDavg	PFD total	SIL
LSHH-251	0,000221973	1001	0,97224036	2,014489319	0
JP-01	0,000000624	1001	0,00273312		
SDV-297	0,000237332	1001	1,03951584		

Berdasarkan nilai PFD total dari SIS pada Tabel 4.9 diketahui nilai SIL untuk *loop* 482-LSLL-251 adalah SIL nol.

4.2 Perhitungan LCC

Langkah selanjutnya adalah perhitungan nilai *Lifecycle Cost* (LCC) yang didapatkan dari pejumlahan *cost procurement*, *operation*, dan *cost risk*. *Cost procurement* didapatkan dari data sekunder seperti pada Tabel 3.2 hingga 3.4 disesuaikan dengan jenis teknologi yang digunakan. *Cost operation* didapatkan dari data *cost maintenance* yang diperoleh dari data lapangan. *Cost risk* didapatkan dari perhitungan *cost STR* pada persamaan (2.10) dan *cost hazard* pada persamaan (2.13).

Nilai LCC dipengaruhi oleh nilai PFDavg dan STR, hal ini dapat dilihat melalui persamaan (2.10) dan (2.13). Semakin rendah nilai PFDavg dan STR, maka akan didapatkan nilai LCC yang semakin rendah, begitu pula sebaliknya. Pada solusi *minimum*, nilai PFDavg yang didapatkan merupakan nilai PFDavg *minimum*, namun nilai STR yang didapatkan bukan nilai STR *minimum*. Hal ini dikarenakan terdapat faktor lain selain PFDavg dan STR yang dapat memengaruhi nilai LCC. Dilihat dari persamaan 2.3, nilai LCC dipengaruhi oleh nilai C_{risk} . Nilai C_{risk} dipengaruhi oleh nilai C_{hazard} dan C_{STR} . Nilai C_{hazard} didapatkan dengan mengalikan nilai PFDavg dengan *catastrophic loss* dan nilai resiko *plant* tanpa pemasangan SIS.

Tabel 4.10 Perhitungan Nilai LCC

<i>Instrument</i>	<i>Cost</i>		
	<i>Procurement</i> (\$)	<i>Operation</i> (\$)	<i>Asset</i> (\$)
FT 188	5444	494,5	1000000
FV 188	7540	1096,5	
PT 164	5444	516	400000
PV 164	7540	946	
FT 105	5444	569,75	20000
FV 105	7540	978,25	
PT 166	5444	387	400000
PV 166	7540	946	
LT 216	5444	835,38	10000000
LV 216	7540	1120,27	
PT 264	5444	451,5	20000
PV 264	7540	870,75	400000
FT 257	5444	451,5	1000000
FV 257	7540	1139,5	
FT 205	5444	408,5	20000
FV 205	7540	1139,5	
PT 266	5444	483,75	1000000
PV 266	7540	989	
9 unit PLC	452880	0	0
total cost (\$)	569736	13824	14260000
cost risk (\$)	0	0	132710
LCC(\$)	7423294		

Dari Tabel 4.10 total biaya pembelian sebesar USD 569.736, total biaya operasi sebesar USD 12.731, dan total biaya *asset* sebesar USD 14.260.000. Sedangkan, untuk nilai *cost risk* didapatkan sebesar USD 132.710. Sehingga, nilai LCC yang didapatkan dari penjumlahan *cost procurement*, *cost operation*, dan *cost risk* sebesar USD 7.423.294.

4.3 Optimisasi *Dependability* dan LCC

Optimisasi *dependability* dan LCC direpresentasikan melalui perhitungan PFDavg, STR, dan LCC yang bertujuan untuk meningkatkan nilai SIL dan mendapatkan nilai LCC *minimum*. Terdapat 21 variasi redundansi yang digunakan yaitu Moon *voting architecture* dari 1001 hingga 6006. Penentuan SIS terdiri dari *sensing element* berupa *flow, level, dan pressure control, logic solver* berupa *safety PLC*, dan *final element* berupa aktuator dan *valve*. Perhitungan untuk masing-masing *vote* dengan variasi kombinasi teknologi dan *test interval* sebesar 1 tahun (8760 jam). Tabel 4.11 menunjukkan hasil optimisasi terbaik.

Tabel 4.11 Hasil Optimisasi *Minimum*

Hasil Optimisasi	PFDavg	STR (/hour)	SIL PFDavg	LCC (\$)
<i>Minimum</i>	0,004	$3,2 \times 10^{-5}$	2	5.328.461

Pada Tabel 4.11 dapat dilihat nilai *minimum* dari LCC dan nilai PFDavg, STR, saat nilai LCC *minimum*. Dari hasil tersebut kemudian akan didapatkan nilai SIL PFDavg berdasarkan IEC 61508 tahun 2010.

Tabel 4.12 Hasil Variasi Redundansi dan Teknologi FT-188 dan PT-164

Hasil Optimisasi	Moon		Subsistem					
	FT 188	PT 164	FT 188			PT 164		
			A	B	C	A	B	C
Max	1004	5005	2	2	0	4	1	0
Min	1001	1001	1	0	0	1	0	0

Berdasarkan hasil variasi redundansi dan teknologi pada Tabel 4.12 didapatkan hasil bahwa variasi teknologi terbaik untuk FT-188 dan PT-164 adalah 1001.

Tabel 4.13 Hasil Variasi Redundansi dan Teknologi FT-105 dan PT-166

Hasil Optimisasi	Moon		Subsistem					
	FT 105	PT 166	FT 105			PT 166		
			A	B	C	A	B	C
Max	1003	3005	3	0	0	4	1	0
Min	1001	1001	1	0	0	1	0	0

Berdasarkan hasil variasi redundansi dan teknologi pada Tabel 4.13 didapatkan hasil bahwa variasi teknologi terbaik untuk FT-105 dan PT-166 adalah 1001.

Tabel 4.14 Hasil Variasi Redundansi dan Teknologi LT-216 dan PT-264

Hasil Optimisasi	Moon		Subsistem					
	LT 216	PT 264	LT 216			PT 264		
			A	B	C	A	B	C
Max	2006	5006	5	1	0	4	2	0
Min	1001	1001	1	0	0	1	0	0

Berdasarkan hasil variasi redundansi dan teknologi pada Tabel 4.14 didapatkan hasil bahwa variasi teknologi terbaik untuk LT-188 dan PT-264 adalah 1001.

Tabel 4.15 Hasil Variasi Redundansi dan Teknologi FT-257 dan FT -205

Hasil Optimisasi	Moon		Subsistem					
	FT 257	FT 205	FT 257			FT 205		
			A	B	C	A	B	C
Max	1005	5005	2	3	0	2	3	0
Min	1001	1001	1	0	0	1	0	0

Berdasarkan hasil variasi redundansi dan teknologi pada Tabel 4.15 didapatkan hasil bahwa variasi teknologi terbaik untuk FT-257 dan PT-205 adalah 1001.

Tabel 4.16 Hasil Variasi Redundansi dan Teknologi PT 266 dan FE

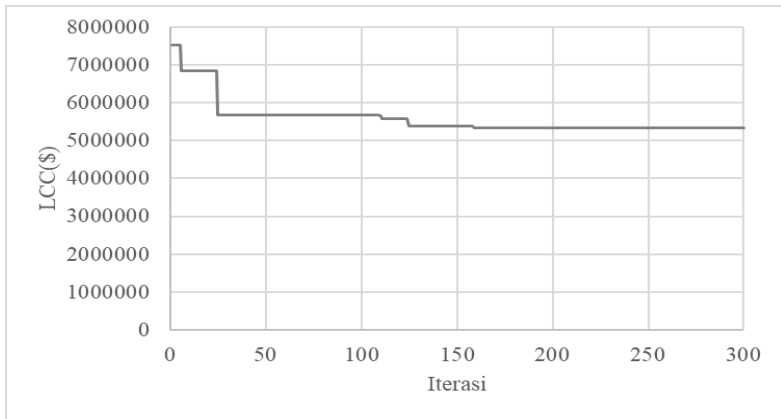
Hasil Optimisasi	Moon		Subsistem					
	PT 266	FE	PT 266			FE		
			A	B	C	A	B	C
Max	1003	5006	2	1	0	4	2	0
Min	1001	1001	1	0	0	1	0	0

Berdasarkan hasil variasi redundansi dan teknologi pada Tabel 4.16 didapatkan hasil bahwa variasi teknologi terbaik untuk PT-266 dan FE adalah 1001.

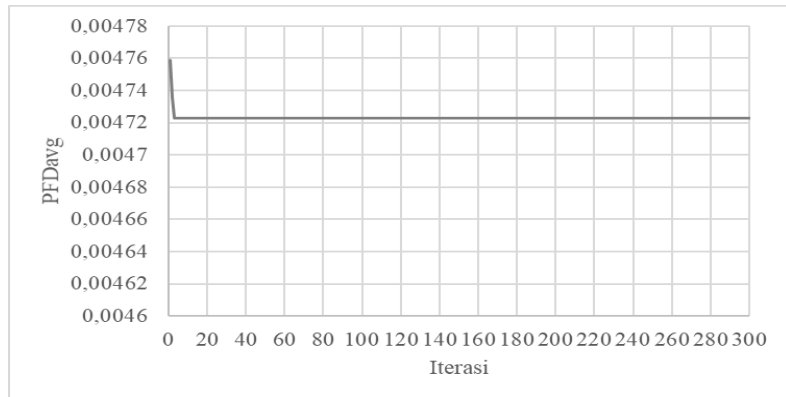
Perhitungan optimisasi yang telah dilakukan sesuai dengan Tabel 4.11 diperoleh nilai PFD_{avg} *minimum* sebesar 0,004723 dan STR sebesar $3,2 \times 10^{-5}/hour$, sehingga didapatkan nilai LCC *minimum* sebesar USD 5.328.461. Dari Tabel 4.12 hingga 4.16 dapat diketahui mengenai kombinasi redundansi untuk setiap subsistem komponen adalah 1001, dengan teknologi *smart transmitter* yang digunakan pada *flow transmitter*, *pressure transmitter*, dan *level transmitter*, dan untuk *final element* menggunakan teknologi *air operated*. Dari Tabel 4.12 hingga 4.16 dapat diketahui mengenai kombinasi redundansi untuk setiap subsistem komponen adalah 5005, 3005, 5006 untuk *pressure transmitter*, 1003, 1004, 1005, 5005 untuk *flow transmitter*, dan 2006 untuk *level transmitter* dengan teknologi yang digunakan untuk masing-masing subsistem sebanyak dua teknologi yaitu *smart transmitter* dan *conventional electronic transmitter*. Sedangkan, untuk *final element* menggunakan teknologi *air* dan *hydraulic operated*. Nilai PFD_{avg} dan STR merupakan nilai yang mewakili tingkat keamanan *plant* serta kerugian produksi akibat *shutdown plant* secara mendadak tanpa adanya kerusakan. Pada Tabel 4.12, nilai PFD_{avg} dan STR berbanding lurus dengan nilai LCC dimana nilai PFD_{avg} dan STR memiliki nilai yang rendah

pada saat nilai LCC rendah, dan sebaliknya. Alokasi redundansi diwakili oleh fraksi kegagalan *vote* (CMooN). Jika diperhatikan dari persamaan 2.1 & 2.2, semakin kecil nilai CMooN, maka semakin kecil nilai PFDavg dan STR yang didapatkan. Hal inilah yang membuat *optimizer* memilih *vote* 1001 untuk solusi nilai LCC terendah.

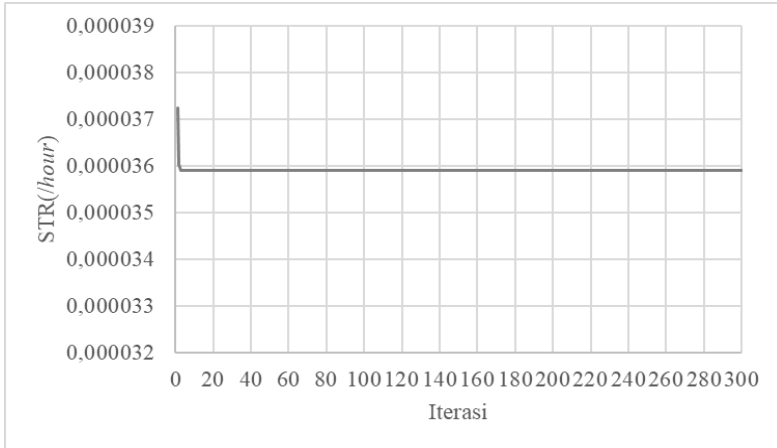
Berdasarkan hasil optimisasi yang dilakukan, maka didapatkan grafik seperti yang ditunjukkan Gambar 4.1 hingga 4.3



Gambar 4.1 Hasil Optimisasi LCC



Gambar 4.2 Hasil Optimisasi PFDavg

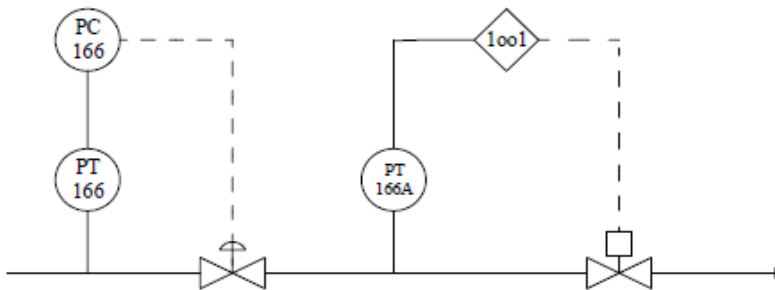


Gambar 4.3 Hasil Optimisasi STR

Gambar 4.1, 4.2, dan 4.3 menunjukkan grafik hasil optimisasi LCC, PFDavg, dan STR saat LCC *minimum*. Dari ketiga Gambar tersebut dapat dilihat bahwa terdapat penurunan nilai yang kemudian mulai konvergen. Nilai LCC pada iterasi pertama sebesar USD 7.517.314, kemudian terjadi penurunan, sehingga pada iterasi ke-41 nilai LCC sebesar USD 5.685.763 Nilai LCC kembali turun pada iterasi ke-159 menjadi USD 5.328.461 yang kemudian nilai tersebut tetap hingga iterasi berakhir. Sehingga didapatkan nilai LCC terbaik sebesar USD 5.328.461. Nilai PFDavg pada iterasi pertama sebesar 0,0538 yang kemudian mengalami penurunan, sehingga pada iterasi ke-36 nilai PFDavg menjadi 0,0483. Kemudian, pada iterasi ke-100 nilai PFDavg mengalami penurunan sebesar 0,004723. Nilai tersebut tetap hingga iterasi berakhir. Sehingga didapatkan nilai PFDavg terbaik sebesar 0,004723. Nilai STR pada iterasi pertama sebesar $3,625 \times 10^{-5}/hour$, kemudian terjadi penurunan, sehingga pada iterasi ke-40 nilai STR menjadi $3,424 \times 10^{-5}/hour$. Pada iterasi ke-114, nilai STR mengalami penurunan menjadi $3,283 \times 10^{-5}/hour$. nilai tersebut tetap hingga iterasi berakhir. Sehingga didapatkan nilai STR sebesar $3,283 \times 10^{-5}/hour$.

4.4 Perancangan SIS LPG Fractionation Train

Berdasarkan P&ID dan HAZOP, akan dilakukan perancangan SIS. Perancangan SIS bertujuan sebagai sistem pengaman ketika adanya gangguan dan mencegah adanya kegagalan fungsi pada BPCS. Perancangan dilakukan setelah perhitungan PFDavg dan STR. Terdapat 9 BPCS yang digunakan dalam perancangan SIS untuk LPG Fractionation Train tersebut yang terdiri dari empat *flow control*, empat *pressure control*, dan satu *level control*.



Gambar 4.4 Perancangan SIS LPG Fractionation Train

Dari Gambar 4.4 dapat diketahui bahwa terdapat satu SIF yang terdiri dari *sensing element* berupa *pressure transmitter*, *logic solver* berupa *safety PLC*, dan *final element* yang terdiri dari aktuatur dan *valve*. Selain itu, dari Gambar 4.4 dapat dilihat BPCS yang terdiri dari *pressure transmitter* dan *pressure control*. *Pressure control* pada SIS bertujuan untuk menjaga *pressure* agar tetap sesuai dengan *set point*. Kekurangan *pressure* dapat disebabkan karena adanya *valve* yang bukaanannya tidak sesuai dengan *set point*, sehingga mengakibatkan gangguan operasi dan penurunan *pressure*. *Pressure transmitter* (PT-166) akan mendeteksi apabila terjadi kegagalan seperti penurunan *pressure*, yang kemudian akan diteruskan ke *pressure control* (PC-166) sehingga *pressure valve* (PV-166) membuka lebih besar untuk menambah *pressure* agar sesuai dengan *set point*. Apabila PV-166 tidak mampu menangani hal tersebut, maka PV-166A akan

menjalankan tugasnya untuk menambah *pressure* pada kolom. Melalui Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa hasil optimisasi SIS dengan *vote* arsitektur 1oo1 untuk *sensing element* maupun *final element*, dengan jenis teknologi *smart transmitter* untuk *sensing element* dan *air operated* untuk *final element*.

4.6 Pembahasan

Tujuan dalam Tugas Akhir ini ialah mengevaluasi dan mengoptimisasi *Safety Instrumented System* (SIS). SIS terdiri dari tiga komponen utama yaitu *sensor*, *logic solver*, dan *final element*. Untuk dapat mengetahui kondisi dan performansi dari setiap SIS maka diperlukan perhitungan tingkat keamanan atau SIL. Instrumen SIS untuk setiap proses dan lokasi memiliki tingkat bahaya yang berbeda-beda. Semakin tinggi nilai SIL maka semakin tinggi pula performansi dari SIS.

Pada *LPG Fractionation Train* terdapat enam buah SIS, yaitu dua buah *loop* pada kolom *depropanizer*, satu buah *loop* pada *depropanizer reflux drum*, dua buah *loop* kolom *debutanizer*, dan satu buah *loop* pada *debutanizer reflux drum*. Penentuan nilai SIL dilakukan dengan melihat nilai PFD untuk masing-masing SIS. Nilai PFD bergantung terhadap nilai *failure rate* masing-masing komponen SIS dan *interval time* dari *maintenance* yang dilakukan. Nilai *failure rate* dapat dihitung secara aktual dari MTTF yang didapat dari data lapangan dengan *time interval* satu tahun yang ditentukan berdasarkan dokumen *SIL verification report*. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh SIL untuk kolom *depropanizer* dan *debutanizer*, *loop* satu adalah SIL 0 dengan nilai PFD sebesar 2,002, dan *loop* dua untuk *depropanizer column* adalah SIL 0 dengan nilai PFD sebesar 2,468, sedangkan untuk *debutanizer column* pun SIL 0 dengan nilai PFD sebesar 2,017. Untuk *depropanizer reflux drum* pada *depropanizer* dan *debutanizer* termasuk dalam SIL 0 dengan nilai PFD sebesar 1,971. Melalui *SIL Verification Report* didapatkan bahwa target SIL untuk kedua SIS adalah SIL 2, sehingga perlu adanya peningkatan nilai SIL. Sedangkan perhitungan LCC diperoleh dari total biaya pembelian, biaya operasi, dan biaya kecelakaan. Dari hasil

perhitungan aktual didapatkan bahwa nilai LCC sebesar USD 7.423.294.

Setelah diketahui nilai SIL dan LCC, selanjutnya melakukan perancangan SIS agar nilai SIL sesuai dengan standar perusahaan. Untuk mendapatkan hasil terbaik, maka perancangan dilakukan dengan cara optimisasi. Optimisasi dilakukan dengan menggunakan *Genetic Algorithm* dengan tujuan untuk mendapatkan biaya *minimum* untuk pemasangan SIS dengan mempertimbangkan *dependability*. Fungsi objektif dari optimisasi adalah LCC. Dari persamaan (2.9) dapat dilihat bahwa nilai LCC dipengaruhi oleh PFD_{avg} dan STR, hal ini menunjukkan hubungan *dependability* dan *cost*. Dari hasil optimisasi yang terdapat pada Tabel 4.12 hingga 4.16 dapat diketahui kombinasi terbaik untuk desain SIS pada LPG *fractionation train* adalah dengan menggunakan arsitektur 1001 untuk masing-masing *sensing element* dan *final element*. Hal ini dikarenakan jumlah komponen yang dibutuhkan hanya sedikit dan biaya pemasangan komponen yang lebih murah. Jika dipilih redundansi yang lebih tinggi akan menyebabkan adanya peningkatan biaya. Hal ini ditunjukkan pada Tabel 4.12 hingga 4.16 untuk nilai LCC tertinggi, dibutuhkan lima buah komponen untuk *pressure* dan *flow*, serta enam buah komponen untuk *level*. Terlihat perbedaan yang sangat signifikan, sehingga biaya perawatan dan pembelian untuk LCC sangat tinggi.

Pemilihan jenis teknologi dan kombinasi redundansi berpengaruh terhadap PFD_{avg} dan STR. Nilai PFD_{avg} merepresentasikan tingkat keamanan *plant* sedangkan STR merepresentasikan kerugian produksi yang diakibatkan *shutdown plant* mendadak. Nilai PFD_{avg} dipengaruhi oleh nilai *danger failure rate* (λ_D), fraksi kegagalan *danger* (β_D), dan fraksi kegagalan *vote* (C_{MOON}). λ_D dan β_D terbagi menjadi dua kategori yaitu *detected* dan *undetected*. Sedangkan, Nilai STR dipengaruhi oleh nilai *safe failure rate* (λ_S), fraksi kegagalan *safe* (β_S), dan fraksi kegagalan *vote* (C_{MOON}). λ_S dan β_S terbagi menjadi dua kategori yaitu *detected* dan *undetected*. Dari persamaan (2.1) dan (2.2) dapat diketahui bahwa nilai PFD_{avg} dan STR akan semakin besar apabila semakin banyak komponen yang digunakan dan

variasi teknologi yang digunakan semakin banyak. Semakin kecil nilai PFD_{avg} dan STR , maka semakin kecil pula nilai fraksi C_{Moon} yang dimiliki. Oleh karena itu, 1001 merupakan solusi optimal karena fraksi kegagalannya sebesar 0 dan dari Tabel 3.2 hingga 3.5 teknologi *smart transmitter* untuk *sensing element* dan *air operated* untuk *final element* memiliki nilai *failure rate* yang paling kecil.

Nilai LCC dipengaruhi oleh nilai PFD_{avg} dan STR , hal ini dapat dilihat melalui persamaan (2.10) dan (2.13). Semakin rendah nilai PFD_{avg} dan STR , maka akan didapatkan nilai LCC yang semakin rendah, begitu pula sebaliknya. Pada solusi *minimum*, nilai PFD_{avg} yang didapatkan merupakan nilai PFD_{avg} *minimum*, namun nilai STR yang didapatkan bukan nilai STR *minimum*. Hal ini dikarenakan terdapat faktor lain selain PFD_{avg} dan STR yang dapat memengaruhi nilai LCC. Dilihat dari persamaan (2.3), nilai LCC dipengaruhi oleh nilai C_{risk} . Nilai C_{risk} dipengaruhi oleh nilai C_{hazard} dan C_{STR} . Nilai C_{hazard} didapatkan dengan mengalikan nilai PFD_{avg} dengan *catastrophic loss* dan nilai resiko *plant* tanpa pemasangan SIS. Jika dilihat pada Tabel 3.5, *catastrophic loss* adalah sebesar 150×10^6 USD. Sehingga dari persamaan (2.13) didapatkan *cost* untuk PFD_{avg} sebesar USD 132.710 untuk solusi *minimum*. Nilai C_{STR} didapatkan dengan mengalikan nilai STR dengan C_{SD} . Nilai C_{SD} dipengaruhi oleh harga *shutdown loss*. Jika dilihat pada Tabel 3.5, nilai *shutdown loss* adalah sebesar 5.161 USD. Dari persamaan (2.10) didapatkan *cost* untuk STR sebesar USD 99 untuk solusi *minimum*. Jika dibandingkan harga *shutdown loss* dan *catastrophic loss*, maka dapat dilihat bahwa harga *catastrophic loss* jauh lebih tinggi. Hal ini mengakibatkan nilai C_{STR} tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai LCC tidak seperti nilai C_{hazard} yang memiliki pengaruh besar terhadap nilai LCC. Sehingga dalam kasus ini dapat diketahui bahwa nilai STR tidak terlalu berpengaruh terhadap LCC jika dibandingkan dengan nilai PFD_{avg} . Oleh karena itu, LCC *minimum* tetap bisa didapatkan walaupun nilai STR bukanlah nilai terendah namun dibutuhkan nilai PFD_{avg} *minimum* untuk mendapatkan nilai LCC *minimum*.

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan perbedaan nilai

LCC dan SIL. Perhitungan hasil rancangan memiliki nilai SIL yang lebih tinggi dan nilai LCC yang lebih rendah. Hal ini dipengaruhi oleh arsitektur SIS yang berbeda-beda yang memengaruhi biaya pembelian, dan estimasi biaya kegagalan yang kurang akurat karena belum mempertimbangkan kondisi *plant* apabila *shutdown* secara tiba-tiba. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi guna memperbaiki tingkat keamanan dengan mempertimbangkan biaya. Langkah yang dilakukan untuk peningkatan SIL dapat dilakukan dengan mengubah struktur arsitektur SIS, pergantian komponen SIS, atau dengan menambah perlakuan *maintenance*. Dengan melakukan perawatan yang rutin diperoleh SIL 2 dengan peningkatan nilai PFD menjadi 0,004723 dan upaya untuk meminimalisir biaya adalah dengan mengurangi jumlah *instrument final element* pada *loop* pengendalian *level tag* 182 sehingga menyebabkan perubahan *vote* arsitektur yang semula 1oo2 menjadi 1oo1, sehingga berdampak pada sistem yaitu penurunan nilai LCC dari USD 7.423.294 menjadi USD 5.328.461.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan dari tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Perancangan SIS dilakukan dengan perhitungan secara aktual dan perancangan melalui optimisasi. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai LCC aktual sebesar USD 7.423.294 dengan nilai SIL aktual adalah SIL 0. Sedangkan untuk hasil optimisasi terbaik pada rancangan SIS, didapatkan nilai PFDavg sebesar 0,004723, nilai STR sebesar $3,283 \times 10^{-5}/hour$, dan LCC sebesar USD 5.328.461. Untuk *vote* arsitektur yang optimal dalam perancangan SIS ialah 1001 dengan teknologi *smart transmitter* untuk *sensing element* dan *air operated* untuk *final element*.
2. Evaluasi SIS yang dilakukan pada LPG *fractionation train* dengan mengubah struktur arsitektur SIS, pergantian komponen SIS, atau dengan menambah perlakuan *maintenance*. Dengan melakukan perawatan yang rutin diperoleh SIL 2 dengan peningkatan nilai PFD menjadi 0,004723 dan upaya untuk meminimalisir biaya adalah dengan mengurangi jumlah instrumen *final element* pada *loop* pengendalian *level tag* 182 sehingga menyebabkan perubahan *vote* arsitektur yang semula 1002 menjadi 1001, sehingga berdampak pada sistem yaitu penurunan nilai LCC dari USD 7.423.294 menjadi USD 5.328.461.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Perancangan SIS dilakukan pada saat kondisi *high demand mode*, agar tingkat pengamanan lebih tinggi.
2. Perhitungan nilai PFD dan LCC rancangan lebih baik menggunakan nilai laju kegagalan, fraksi kegagalan, serta biaya yang ditetapkan perusahaan agar menghasilkan nilai

- yang sesuai dengan kondisi lapangan.
3. Evaluasi dilakukan dari semua aspek baik *reliability*, *availability*, dan *maintainability* untuk merekomendasikan terkait jadwal perawatan komponen yang berpengaruh terhadap biaya *maintenance*-nya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Biro Perencanaan dan Kerja Sama Kementrian ESDM, “Renstra KESDM 2015-2019,” Jakarta: KESDM, (2015).
- [2] Setiawan, Junaidi A, “Mencari Landasan Hukum Pembentukan Agregator Gas Alam,” *Jurnal Hukum Novelty*, Vol.7(2) (2016, August) 237-250, ISSN:1412-6834.
- [3] Biyanto, Totok R, “Energy Efficiency Audit Report,” PGN SAKA Pangkah Limited, Gresik, (2016).
- [4] Vileiniskis, M, R. Remenyte-PreScott, D. Rama, and J. Andrews, “Fault Detection and Diagnostics of A Three-Phase Separator,” *Journal of Loss Prevention in The Process Industries*, Vol.41 (2016, May) 215-230, <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2016.03.021>.
- [5] I. E. C. IEC 61508, “Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety related systems,” *Reliability Engineering and System Safety*, 2nd ed, Geneva: International Electrotechnical Commision, (2010), 1-7.
- [6] Avizienis, A, Jean-Claude Laprie, and Brian Randell, “Fundamental Concepts of Dependability,” Toulouse, France: LAAS-CNRS, (2000).
- [7] Torres-Echeverria, AC, S. Martorell, and H. A. Thompson, “Modelling and Optimization of Safety Instrumented Systems Based on Dependability and Cost Measures,” *Department of Automatic Control and Systems Engineering*, (2009), <http://dx.doi.org/10.1016/j.res.2009.01.010>.
- [8] Torres-Echeverria, AC, S. Martorell, and H. A. Thompson, “Multi-Objective Optimization of Design and Testing of Safety Instrumented Systems with Moon Voting Architectures Using a Genetic Algorithm,” *Elsevier*:

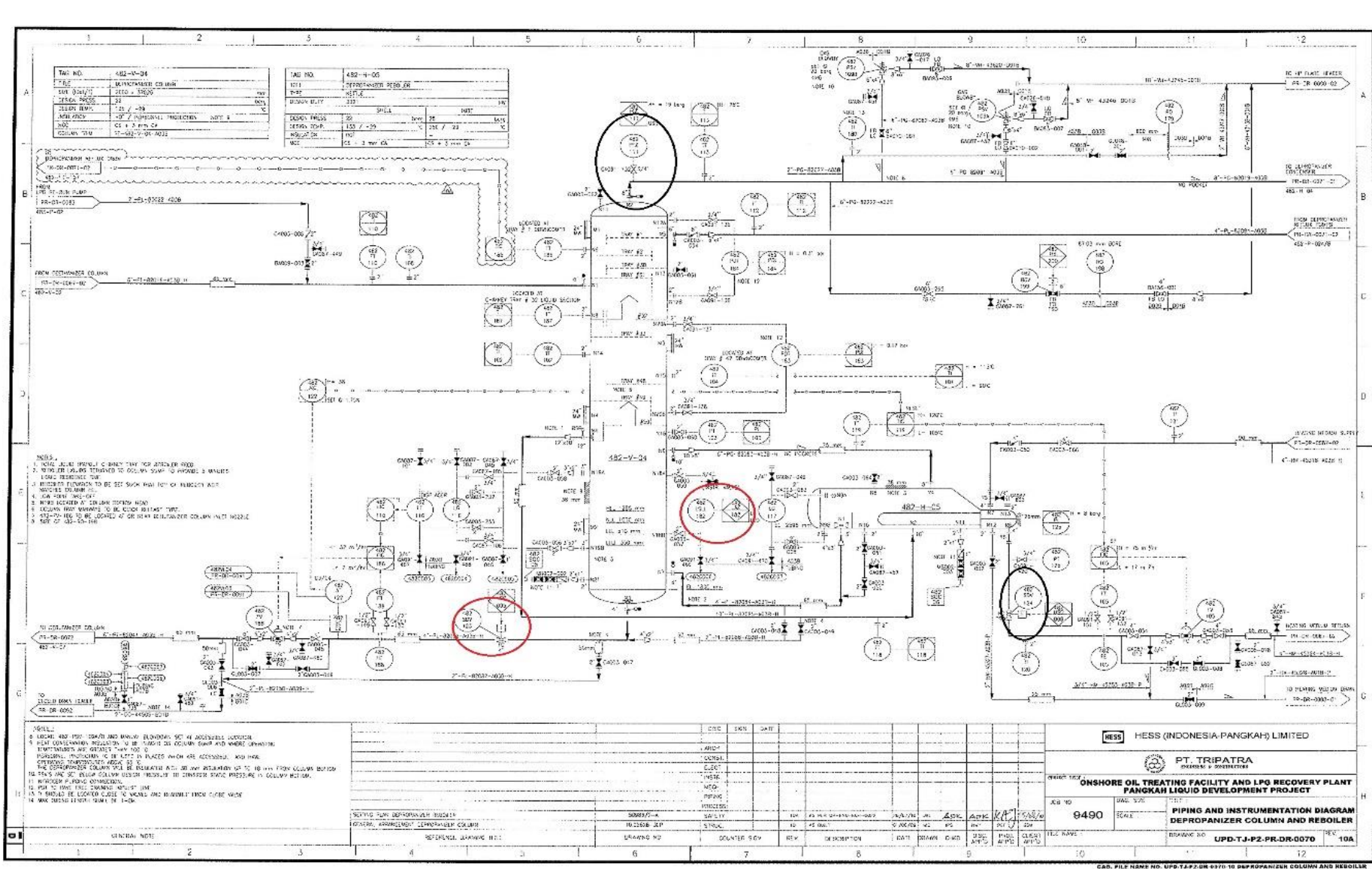
- Reliability Engineering and System Safety*, Vol.106 (2012) 45-60, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2012.03.010>.
- [9] Painton, L, and J. Campbell, "Genetic Algorithms in Optimization of System Reliability," *IEEE: Transactions on Reliability*, Vol.44 No.2 (1995, June) 172-178, <http://dx.doi.org/10.1109/24.387368>.
- [10] Coit, DW, and A.E. Smith, "Reliability Optimization of Series-Parallel System Using Genetic Algorithm," *IEEE: Transactions on Reliability*, Vol.45 (1996, March) 254-260, <http://dx.doi.org/10.1109/24.510811>.
- [11] Andrews, J, and Rachel Pattison, "Genetic Algorithms in Optimal Safety System Design," *Proc Mech Eng*, Vol. 213 (1999, August) 87-97, <http://dx.doi.org/10.1243/0954408991529924>.
- [12] PT. Tripatra, "Process Flow Diagram," PGN SAKA Pangkah Limited, Gresik, (2009).
- [13] Gruhn, Paul, "Safety Instrumented Systems: Design, Analysis, and Justification," 2nd edition, United States of America: *Research Triangle Park*, (2006), ISBN: 13 978-1-55617-956-3.
- [14] ANSI/ISA-TR84.02-Part1, "Safety Instrumented Functions (SIF) - Safety Integrity Level (SIL) Evaluation Techniques Part 1: Introduction," *Research Triangle Park, NC*, (2002), ISBN: 1-55617-802-6.
- [15] Torres-Echeverria, AC, S. Martorell, and H. A. Thompson, "Design optimization of a safety-instrumented system based on RAMS+C addressing IEC 61508 requirements and diverse redundancy," *Elsevier: Reliability Engineering and System Safety*, Vol.94 (2009) 162-179, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2008.02.010>

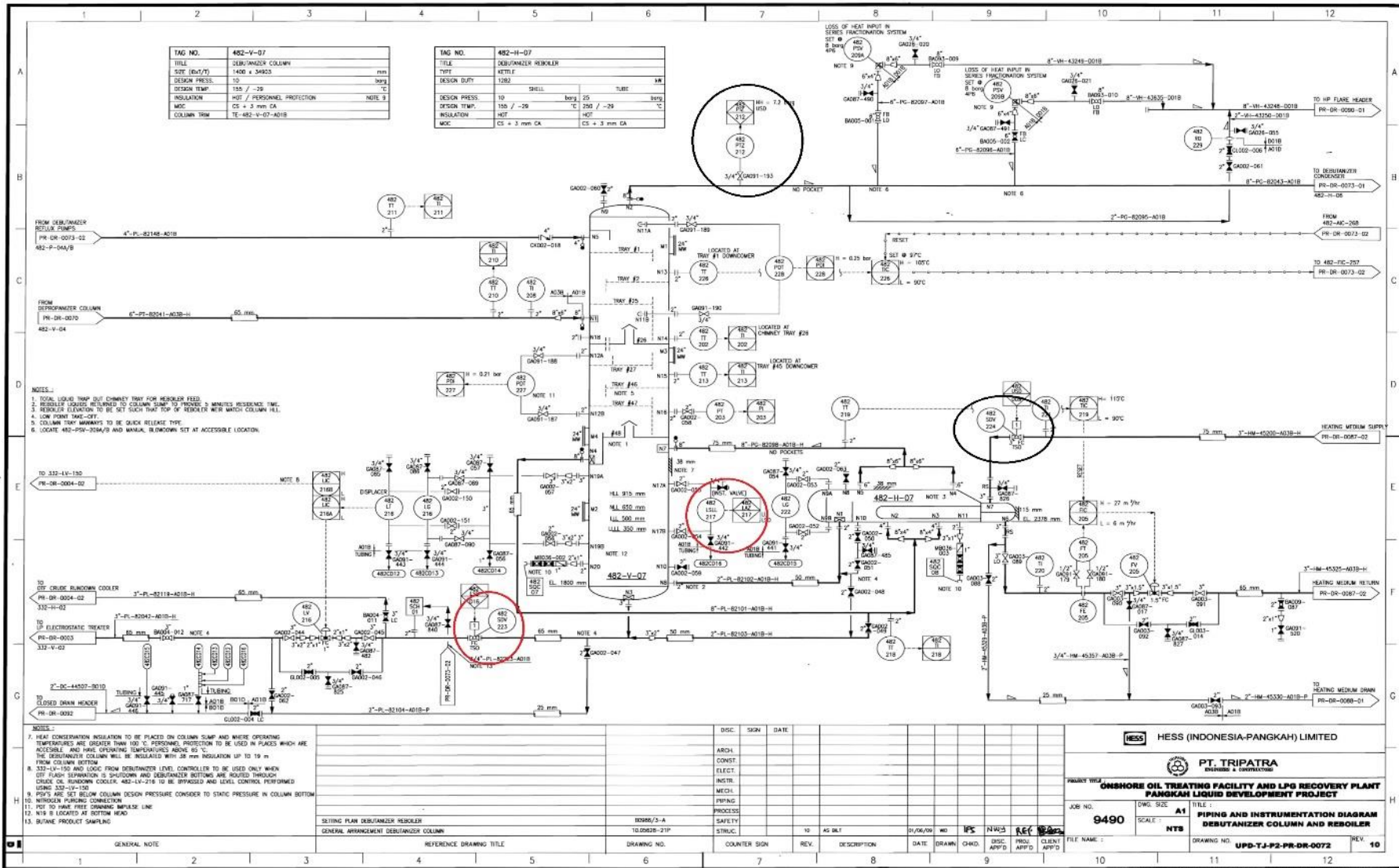
- [16] Kristiadi, D, dan Rudy Hartanto, “Genetic Algorithm for Lecturing Schedule Optimization”, *IJCCS (Indonesian Journal of Computing and Cybernetics Systems)*, Vol.13 No.1 (2019, January) 83-94, <https://doi.org/10.22146/ijccs.43038>.
- [17] Miettinen, Kaisa, “Nonlinear Multiobjective Optimization,” *Springer*, (1999, May), ISBN 978-0-7923-8278-2.
- [18] Cao, YJ, and Q.H. Wu, “Teaching Genetic Algorithm using Matlab,” *International Journal of Electrical Engineering*, Vol.36 (1999, April) 139-153, <https://doi.org/10.7227/IJEEE.36.2.4>
- [19] Chipperfield, Andrew J, Peter Fleming, and Hartmut Pohlheim, “Genetic algorithm toolbox for use with Matlab,” *Tenth International Conference on System Engineering*, (1994, April) 200-207, <https://www.researchgate.net/publication/284295236>
- [20] *Engineering Information*, “Valve,” (2015, February 25) 455-456.
- [21] Goldberg, D, “Genetic Algorithm in Search,” *Optimization & Machine Learning*,(1989).
- [22] Widhiyasa, Arief, “Kajian Genetic Algorithm,” *Institut Teknologi Bandung*,(2007).
- [23] Ashari, Imam A, “Perbandingan Performansi Algoritma Genetika dan ACO,” *Fakultas MIPA, UNNES*, (2016).
- [24] Singh, S., Dubey, G. C., & Shrivastava, R. Ant Colony Optimization Using Genetic Algorithms. *International Journal of Theoretical and Applied Science*,(2012), 4(1): 48-51.

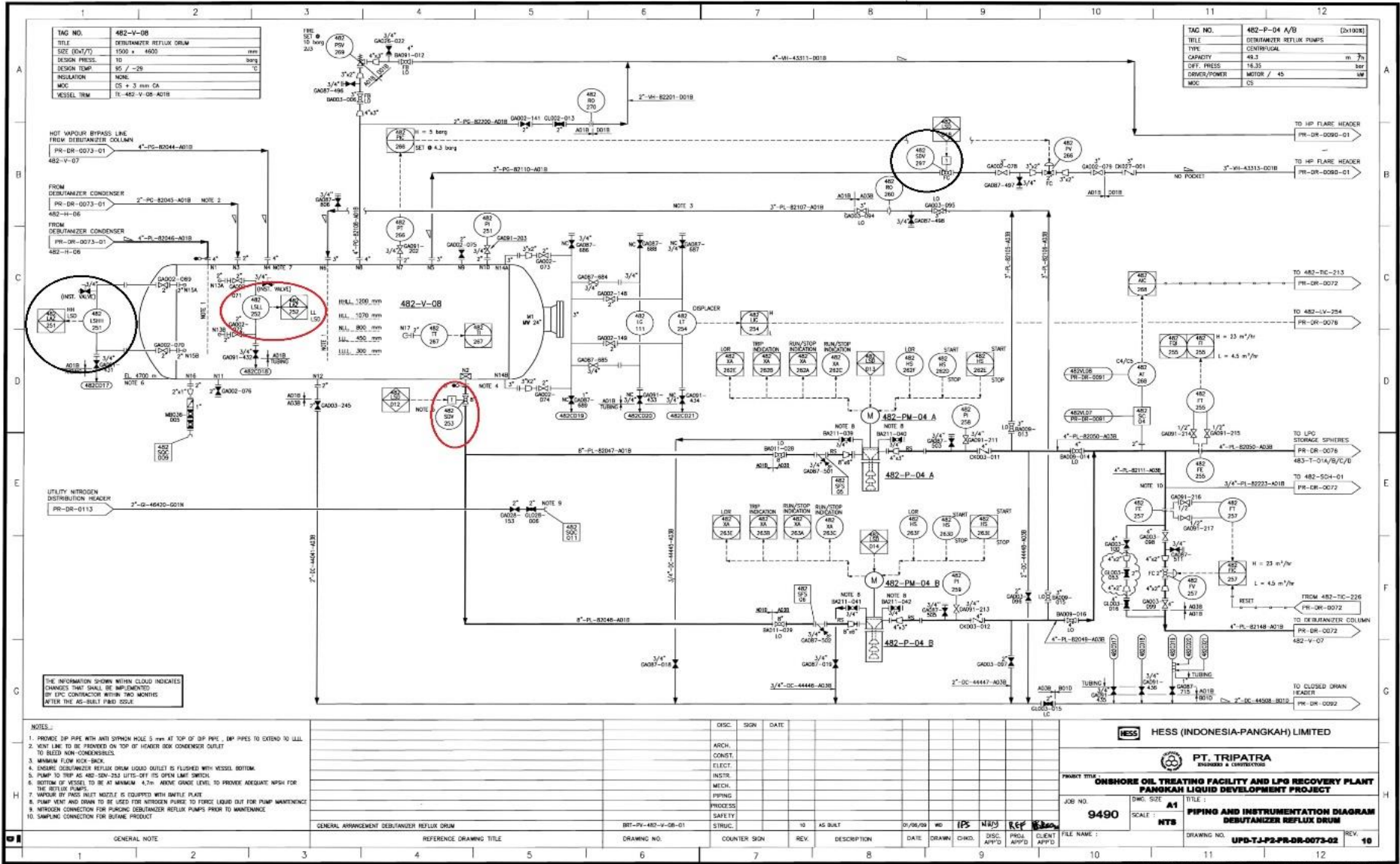
- [25] Berlianty, I., & Miftahol, A, “Teknik-Teknik Optimasi Heuristik,” Graha Ilmu, Yogyakarta, (2010).

LAMPIRAN

LAMPIRAN A. P&ID







LAMPIRAN B. CAUSE & EFFECT MATRIX

Pangkah Liquid Development Project					CAUSE AND EFFECT MATRIX EMERGENCY SHUTDOWN SYSTEM		System 482 - LPG PROCESS	
DOC No: UPD-TJ-P2-JN-CE-1037-20					Level	Tag No.	Description	Level
Col. No.	Tag No.	Level	Description	Row No.	Notes	Level	Description	Level
1	482-TALL-315	3	Inlet Gas Exchange Residue Gas Column Temp Low	1		3	Manual and Available Minimum PSD System	3
2	482-LAHH-321	3	Cold Separator Level High High	2		3	482-SDVA-336 Class Separator Liquid Outlet SDV	3
3	482-PAHH-342	3	Expeller Outlet I Dec2 Column Pressure High High	3		3	482-SDVA-334 Class Separator Liquid Outlet SDV	3
4	482-PAHH-351	3	Recompressor Outlet Pressure High High	4		3	Expeller Compressor (LPG) Tri	3
5	482-TAHH-368	3	Recompressor Cooler Temperature High High	5		3	483-LSD-301 Stop Recompressor Cooler Motor A	3
6	482-VAHH-346	4	Recompressor Cooler Motor A Vibration High High	6		3	483-LSD-111 Stop Recompressor Cooler Motor B	3
7	482-VAHH-446	4	Recompressor Cooler Motor B Vibration High High	7		3	483-SDV-337 Class De-Ethanolizer Liquid Outlet SDV	3
8	482-LALL-302	4	De-Ethanolizer Column Level Low Low	8		3	483-SDV-338 Class De-Ethanolizer Reflux Drum Heating Minimum Drain SDV	3
9	482-TALL-385	4	De-Ethanolizer Column Outlet Temperature Low Low	9		3	483-SDV-339 Class De-Ethanolizer Reflux Drum Heating Minimum Drain SDV	3
10	482-TALL-351	3	De-Ethanolizer Reflux Accumulator Level Low Low	10		3	483-SDV-340 Class De-Ethanolizer Reflux Drum Heating Minimum Drain SDV	3
11	482-LALL-403	4	De-Ethanolizer Reflux Accumulator Level Low Low	11		3	483-SDV-341 Class De-Ethanolizer Reflux Drum Heating Minimum Drain SDV	3
12	482-ZIO-430	4	De-Ethanolizer Reflux Accumulator Liq Outlet SDV NOT OPEN	12		3	483-SDV-342 Class De-Ethanolizer Reflux Drum Heating Minimum Drain SDV	3
13	482-PAHH-111	3	Depressanizer Column Outlet Pressure High High	13		3	483-SDV-343 Class De-Ethanolizer Reflux Drum Heating Minimum Drain SDV	3
14	482-LALL-182	4	Depressanizer Column Level Low Low	14		3	483-SDV-344 Class De-Ethanolizer Reflux Drum Heating Minimum Drain SDV	3
15	482-VAHH-180	4	Depressanizer Condenser Motor A Vibration High High	15		3	483-SDV-345 Class De-Ethanolizer Reflux Drum Heating Minimum Drain SDV	3
16	482-VAHH-200	4	Depressanizer Condenser Motor B Vibration High High	16		3	483-SDV-346 Class De-Ethanolizer Reflux Drum Heating Minimum Drain SDV	3
17	482-VAHH-360	4	Depressanizer Condenser Motor C Vibration High High	17		3	483-SDV-347 Class De-Ethanolizer Reflux Drum Heating Minimum Drain SDV	3
18	482-VAHH-480	4	Depressanizer Condenser Motor D Vibration High High	18		3	483-SDV-348 Class De-Ethanolizer Reflux Drum Heating Minimum Drain SDV	3
19	482-LALL-153	4	Depressanizer Reflux Drum Level Low Low	19		3	483-SDV-349 Class De-Ethanolizer Reflux Drum Heating Minimum Drain SDV	3
20	482-ZIO-153	4	Depressanizer Reflux Drum Liquid Outlet SDV NOT OPEN	20		3	483-SDV-350 Class De-Ethanolizer Reflux Drum Heating Minimum Drain SDV	3
21	482-PAHH-212	3	Distillizer Column Outlet Pressure High High	21		3	483-SDV-351 Class De-Ethanolizer Reflux Drum Heating Minimum Drain SDV	3
22	482-LALL-217	4	Distillizer Column Level Low Low	22		3	483-SDV-352 Class De-Ethanolizer Reflux Drum Heating Minimum Drain SDV	3
23	482-VAHH-250	4	Distillizer Condenser Motor A Vibration High High	23		3	483-SDV-353 Class De-Ethanolizer Reflux Drum Heating Minimum Drain SDV	3
24	482-VAHH-666	4	Distillizer Condenser Motor B Vibration High High	24		3	483-SDV-354 Class De-Ethanolizer Reflux Drum Heating Minimum Drain SDV	3
25	482-VAHH-788	4	Distillizer Condenser Motor C Vibration High High	25		3	483-SDV-355 Class De-Ethanolizer Reflux Drum Heating Minimum Drain SDV	3
26	482-VAHH-866	4	Distillizer Condenser Motor D Vibration High High	26		3	483-SDV-356 Class De-Ethanolizer Reflux Drum Heating Minimum Drain SDV	3
27	482-LALL-252	4	Distillizer Reflux Drum Level Low Low	27		3	483-SDV-357 Class De-Ethanolizer Reflux Drum Heating Minimum Drain SDV	3
28	482-ZIO-252	4	Distillizer Reflux Drum Liquid Outlet SDV NOT OPEN	28		3	483-SDV-358 Class De-Ethanolizer Reflux Drum Heating Minimum Drain SDV	3
29	482-LAHH-251	4	Distillizer Reflux Drum Level High High	29		3	483-SDV-359 Class De-Ethanolizer Reflux Drum Heating Minimum Drain SDV	3
30	482-HS-333	4	Manual Bypass of Cold Process	30		3	483-SDV-360 Class De-Ethanolizer Reflux Drum Heating Minimum Drain SDV	3
31	482-HS-200	4	Manual Bypass of Depressanizer	31		3	483-SDV-361 Class De-Ethanolizer Reflux Drum Heating Minimum Drain SDV	3

MASTER COPY

10A

10A

10A

10A

10A

LAMPIRAN C. DATA MAINTENANCE

Node Depropanizer Column and Reboiler

Tabel 1. *Data Maintenance FT-188*

no	<i>start</i>	<i>completion</i>	TTF	MTTF	<i>cost</i>
1	07/07/2011	07/07/2011	0	569,2	129
2	12/09/2013	12/09/2013	798		96,75
3	28/11/2014	28/11/2014	442		96,75
4	03/03/2017	03/03/2017	826		86
5	22/04/2019	22/04/2019	780		86

Tabel 2. *Data Maintenance FV-188*

no	<i>start</i>	<i>completion</i>	TTF	MTTF	<i>Cost</i>
1	12/05/2014	12/05/2014	0	180,6	118,25
2	28/11/2014	28/11/2014	200		118,25
3	28/05/2015	28/05/2015	181		107,5
4	13/01/2016	13/01/2016	230		107,5
5	30/06/2016	30/06/2016	169		107,5
6	03/03/2017	03/03/2017	246		107,5
7	29/08/2017	29/08/2017	179		107,5
8	14/02/2018	14/02/2018	169		107,5
9	18/09/2018	18/09/2018	216		107,5
10	22/04/2019	22/04/2019	216		107,5

Tabel 3. *Data Maintenance PT-164*

no	<i>start</i>	<i>completion</i>	TTF	MTTF	<i>Cost</i>
1	21/06/2011	21/06/2011	0	554,6	129
2	31/07/2013	31/07/2013	771		96,75
3	25/08/2015	25/08/2015	755		96,75
4	27/12/2017	27/12/2017	855		96,75
5	23/01/2019	23/01/2019	392		96,75

Tabel 4. *Data Maintenance PV-164*

no	<i>start</i>	<i>completion</i>	TTF	MTTF	<i>cost</i>
1	08/12/2014	08/12/2014	0	188,375	118,25
2	25/08/2015	25/08/2015	260		118,25
3	18/03/2016	18/03/2016	206		118,25
4	24/10/2016	24/10/2016	220		118,25
5	26/05/2017	26/05/2017	214		118,25
6	27/12/2017	27/12/2017	215		118,25
7	06/07/2018	06/07/2018	191		118,25
8	23/01/2019	23/01/2019	201		118,25

Tabel 5. *Data Maintenance FT-105*

no	<i>start</i>	<i>completion</i>	TTF	MTTF	<i>Cost</i>
1	06/07/2011	06/07/2011	0	706,75	129
2	07/08/2013	07/08/2013	763		118,25
3	09/11/2015	09/11/2015	824		107,5
4	13/02/2018	13/02/2018	827		107,5
4	02/04/2019	02/04/2019	413		107,5

Tabel 6. *Data Maintenance FV-105*

no	<i>start</i>	<i>completion</i>	TTF	MTTF	<i>cost</i>
1	03/10/2014	03/10/2014	0	205,25	118,25
2	16/04/2015	16/04/2015	195		107,5
3	27/11/2015	27/11/2015	225		107,5
4	27/05/2016	27/05/2016	182		107,5
5	14/12/2016	14/12/2016	201		107,5
6	14/07/2017	14/07/2017	212		107,5
7	13/02/2018	13/02/2018	214		107,5
8	03/09/2018	03/09/2018	202		107,5
9	02/04/2019	02/04/2019	211		107,5

Tabel 7. *Data Maintenance PTZ-111*

no	<i>start</i>	<i>completion</i>	TTF (<i>day</i>)	TTF (<i>hour</i>)	MTTF
1	30/04/2010	30/04/2010	0	0	4372
2	20/10/2010	20/10/2010	173	4152	
3	22/06/2011	22/06/2011	245	5880	
4	20/10/2011	20/10/2011	120	2880	
5	14/05/2012	14/05/2012	207	4968	
6	18/10/2012	18/10/2012	157	3768	
7	22/05/2013	22/05/2013	216	5184	
8	12/12/2013	12/12/2013	204	4896	
9	20/05/2014	20/05/2014	159	3816	
10	26/11/2014	26/11/2014	190	4560	
11	28/05/2015	28/05/2015	183	4392	
12	28/12/2015	28/12/2015	214	5136	
13	24/06/2016	24/06/2016	179	4296	
14	22/02/2017	22/02/2017	243	5832	
15	23/08/2017	23/08/2017	182	4368	
16	14/02/2018	14/02/2018	175	4200	
17	05/09/2018	05/09/2018	203	4872	
18	22/04/2019	22/04/2019	229	5496	

Tabel 8. *Data Maintenance LSSL-182*

no	start	completion	TTF (day)	TTF (hour)	MTTF
1	30/04/2010	30/04/2010	0	0	4372
2	20/10/2010	20/10/2010	173	4152	
3	05/05/2011	05/05/2011	197	4728	
4	20/10/2011	20/10/2011	168	4032	
5	14/05/2012	14/05/2012	207	4968	
6	18/10/2012	18/10/2012	157	3768	
7	22/05/2013	22/05/2013	216	5184	
8	12/12/2013	12/12/2013	204	4896	
9	20/05/2014	20/05/2014	159	3816	
10	26/11/2014	26/11/2014	190	4560	
11	28/05/2015	28/05/2015	183	4392	
12	28/12/2015	28/12/2015	214	5136	
13	24/06/2016	24/06/2016	179	4296	
14	22/02/2017	22/02/2017	243	5832	
15	23/08/2017	23/08/2017	182	4368	
16	14/02/2018	14/02/2018	175	4200	
17	05/09/2018	05/09/2018	203	4872	
18	22/04/2019	22/04/2019	229	5496	

Tabel 9. *Data Maintenance SDV-123*

no	start	completion	TTF (day)	TTF (hour)	MTTF
1	30/03/2010	30/03/2010	0	0	4181,052632
2	10/06/2010	10/06/2010	72	1728	
3	05/11/2010	05/11/2010	148	3552	
4	21/04/2011	21/04/2011	167	4008	
5	28/09/2011	28/09/2011	160	3840	
6	02/04/2012	02/04/2012	187	4488	
7	04/09/2012	04/09/2012	155	3720	
8	03/05/2013	03/05/2013	241	5784	
9	01/11/2013	01/11/2013	182	4368	
10	20/05/2014	20/05/2014	200	4800	
11	18/12/2014	18/12/2014	212	5088	
12	05/06/2015	05/06/2015	169	4056	
13	28/12/2015	28/12/2015	206	4944	
14	24/06/2016	24/06/2016	179	4296	
15	24/02/2017	24/02/2017	245	5880	
16	23/08/2017	23/08/2017	180	4320	
17	14/02/2018	14/02/2018	175	4200	
18	12/09/2018	12/09/2018	210	5040	
19	22/04/2019	22/04/2019	222	5328	

Tabel 10. *Data Maintenance SDV-124*

no	start	completion	TTF (day)	TTF (hour)	MTTF
1	23/03/2010	23/03/2010	0	0	4390,666667
2	05/11/2010	05/11/2010	227	5448	
3	21/04/2011	21/04/2011	167	4008	
4	23/09/2011	23/09/2011	155	3720	
5	14/03/2012	14/03/2012	173	4152	
6	31/07/2012	31/07/2012	139	3336	
7	29/04/2013	29/04/2013	272	6528	
8	10/10/2013	10/10/2013	164	3936	
9	12/02/2014	12/02/2014	125	3000	
10	29/09/2014	29/09/2014	229	5496	
11	07/04/2015	07/04/2015	190	4560	
12	27/11/2015	27/11/2015	234	5616	
13	27/05/2016	27/05/2016	182	4368	
14	14/12/2016	14/12/2016	201	4824	
15	12/07/2017	12/07/2017	210	5040	
16	02/02/2018	02/02/2018	205	4920	
17	31/08/2018	31/08/2018	210	5040	
18	29/03/2019	29/03/2019	210	5040	

Node Depropanizer Reflux drum**Tabel 11.** *Data Maintenance PT-166*

no	start	completion	TTF	MTTF	cost
1	15/04/2011	15/04/2011	0	566,8	86
2	22/05/2013	22/05/2013	768		75,25
3	15/12/2014	15/12/2014	572		75,25
4	09/05/2017	09/05/2017	876		75,25
5	17/01/2019	17/01/2019	618		75,25

Tabel 12. *Data Maintenance PV-166*

no	<i>start</i>	<i>Completion</i>	TTF	MTTF	<i>Cost</i>
1	08/12/2014	08/12/2014	0	187,625	118,25
2	25/08/2015	25/08/2015	260		118,25
3	18/03/2016	18/03/2016	206		118,25
4	24/10/2016	24/10/2016	220		118,25
5	09/05/2017	09/05/2017	197		118,25
6	27/12/2017	27/12/2017	232		118,25
7	06/07/2018	06/07/2018	191		118,25
8	17/01/2019	17/01/2019	195		118,25

Tabel 13. *Data Maintenance LSSL-152*

no	<i>start</i>	<i>completion</i>	TTF (<i>day</i>)	TTF (<i>hour</i>)	MTTF
1	06/04/2010	06/04/2010	0	0	4404
2	08/10/2010	08/10/2010	185	4440	
3	15/04/2011	15/04/2011	189	4536	
4	05/10/2011	05/10/2011	173	4152	
5	03/04/2012	03/04/2012	181	4344	
6	02/10/2012	02/10/2012	182	4368	
7	08/04/2013	08/04/2013	188	4512	
8	02/12/2013	02/12/2013	238	5712	
9	16/06/2014	16/06/2014	196	4704	
10	15/12/2014	15/12/2014	182	4368	
11	19/06/2015	19/06/2015	186	4464	
12	22/01/2016	22/01/2016	217	5208	
13	11/08/2016	11/08/2016	202	4848	
14	09/05/2017	09/05/2017	271	6504	
15	30/11/2017	30/11/2017	205	4920	
16	22/06/2018	22/06/2018	204	4896	
17	31/12/2018	31/12/2018	192	4608	
18	22/04/2019	22/04/2019	112	2688	

Tabel 14. *Data Maintenance SDV-153*

no	start	completion	TTF (day)	TTF (hour)	MTTF
1	14/06/2010	14/06/2010	0	0	4312
2	05/11/2010	05/11/2010	144	3456	
3	15/04/2011	15/04/2011	161	3864	
4	06/10/2011	06/10/2011	174	4176	
5	02/04/2012	02/04/2012	179	4296	
6	28/09/2012	28/09/2012	179	4296	
7	15/05/2013	15/05/2013	229	5496	
8	28/11/2013	28/11/2013	197	4728	
9	04/06/2014	04/06/2014	188	4512	
10	18/12/2014	18/12/2014	197	4728	
11	19/06/2015	19/06/2015	183	4392	
12	14/01/2016	14/01/2016	209	5016	
13	26/07/2016	26/07/2016	194	4656	
14	09/05/2017	09/05/2017	287	6888	
15	24/11/2017	24/11/2017	199	4776	
16	31/05/2018	31/05/2018	188	4512	
17	24/12/2018	24/12/2018	207	4968	
18	22/04/2019	22/04/2019	119	2856	

Node Debutanizer Column and Reboiler

Tabel 15. *Data Maintenance LT-216*

no	start	Completion	TTF	MTTF	cost
1	11/06/2010	11/06/2010	0	392	18,38
2	11/01/2011	11/01/2011	214		129
3	21/06/2011	21/06/2011	161		129
4	21/01/2013	21/01/2013	580		118,25
5	31/07/2013	31/07/2013	191		118,25
6	24/12/2014	24/12/2014	511		107,5
7	04/05/2017	04/05/2017	862		107,5
8	11/01/2019	11/01/2019	617		107,5

Tabel 16. *Data Maintenance LV-216*

no	<i>Start</i>	<i>completion</i>	TTF	MTTF	<i>cost</i>
1	22/05/2014	22/05/2014	0	211,875	118,25
2	16/12/2014	16/12/2014	208		118,25
3	26/06/2015	26/06/2015	192		174,27
4	02/02/2016	02/02/2016	221		118,25
5	19/08/2016	19/08/2016	199		118,25
6	06/04/2017	06/04/2017	230		118,25
7	23/11/2017	23/11/2017	231		118,25
8	22/06/2018	22/06/2018	211		118,25
9	11/01/2019	11/01/2019	203		118,25

Tabel 17. *Data Maintenance PT-264*

no	<i>Start</i>	<i>completion</i>	TTF	MTTF	<i>cost</i>
1	19/07/2011	19/07/2011	0	565,4	96,75
2	27/08/2013	27/08/2013	770		96,75
3	25/09/2015	25/09/2015	759		86
4	06/02/2018	06/02/2018	865		86
5	15/04/2019	15/04/2019	433		86

Tabel 18. *Data Maintenance FT-257*

no	<i>Start</i>	<i>completion</i>	TTF	MTTF	<i>cost</i>
1	19/07/2011	19/07/2011	0	573,8	96,75
2	27/08/2013	27/08/2013	770		96,75
3	25/09/2015	25/09/2015	759		86
4	06/02/2018	06/02/2018	865		86
5	27/05/2019	27/05/2019	475		86

Tabel 19. *Data Maintenance PV-264*

no	<i>start</i>	<i>Completion</i>	TTF	MTTF	<i>cost</i>
1	06/05/2014	06/05/2014	0	225,625	118,25
2	05/01/2015	05/01/2015	244		0
3	25/09/2015	25/09/2015	263		107,5
4	22/04/2016	22/04/2016	210		107,5
5	15/11/2016	15/11/2016	207		107,5
6	14/07/2017	14/07/2017	241		107,5
7	06/02/2018	06/02/2018	207		107,5
8	12/09/2018	12/09/2018	218		107,5
9	15/04/2019	15/04/2019	215		107,5

Tabel 20. *Data Maintenance FV-257*

no	<i>start</i>	<i>Completion</i>	TTF	MTTF	<i>cost</i>
1	03/06/2014	03/06/2014	0	199,444	118,25
2	24/12/2014	24/12/2014	204		118,25
3	13/08/2015	13/08/2015	232		150,5
4	26/02/2016	26/02/2016	197		107,5
5	15/09/2016	15/09/2016	202		107,5
6	27/03/2017	27/03/2017	193		107,5
7	06/11/2017	06/11/2017	224		107,5
8	29/03/2018	29/03/2018	143		107,5
9	29/10/2018	29/10/2018	214		107,5
10	03/05/2019	03/05/2019	186		107,5

Tabel 21. Data Maintenance PTZ-212

no	start	completion	TTF (day)	TTF (hour)	MTTF
1	06/01/2010	06/01/2010	0	0	4356
2	07/07/2010	07/07/2010	182	4368	
3	05/01/2011	05/01/2011	182	4368	
4	14/07/2011	14/07/2011	190	4560	
5	30/12/2011	30/12/2011	169	4056	
6	11/06/2012	11/06/2012	164	3936	
7	26/12/2012	26/12/2012	198	4752	
8	02/08/2013	02/08/2013	219	5256	
9	10/02/2014	10/02/2014	192	4608	
10	12/06/2014	12/06/2014	122	2928	
11	19/12/2014	19/12/2014	190	4560	
12	29/06/2015	29/06/2015	192	4608	
13	28/01/2016	28/01/2016	213	5112	
14	03/08/2016	03/08/2016	188	4512	
15	06/04/2017	06/04/2017	246	5904	
16	17/11/2017	17/11/2017	225	5400	
17	28/05/2018	28/05/2018	192	4608	
18	17/12/2018	17/12/2018	203	4872	
19	28/04/2019	28/04/2019	132	3168	

Tabel 22. Data Maintenance LSSL-217

no	start	completion	TTF (day)	TTF (hour)	MTTF
1	06/01/2010	06/01/2010	0	0	4130,526316
2	14/06/2010	14/06/2010	159	3816	
3	07/07/2010	07/07/2010	23	552	
4	05/01/2011	05/01/2011	182	4368	
5	14/07/2011	14/07/2011	190	4560	
6	29/12/2011	29/12/2011	168	4032	
7	12/06/2012	12/06/2012	166	3984	
8	26/12/2012	26/12/2012	197	4728	
9	05/08/2013	05/08/2013	222	5328	
10	10/02/2014	10/02/2014	189	4536	
11	13/06/2014	13/06/2014	123	2952	
12	19/12/2014	19/12/2014	189	4536	
13	29/06/2015	29/06/2015	192	4608	
14	28/01/2016	28/01/2016	213	5112	
15	11/08/2016	11/08/2016	196	4704	
16	06/04/2017	06/04/2017	238	5712	
17	17/11/2017	17/11/2017	225	5400	
18	28/05/2018	28/05/2018	192	4608	
19	20/12/2018	20/12/2018	206	4944	
20	28/04/2019	28/04/2019	129	3096	

Tabel 23. Data Maintenance SDV-224

no	start	completion	TTF (day)	TTF (hour)	MTTF
1	24/06/2010	24/06/2010	0	0	4339,764706
2	05/11/2010	05/11/2010	134	3216	
3	21/04/2011	21/04/2011	167	4008	
4	23/09/2011	23/09/2011	155	3720	
5	29/03/2012	29/03/2012	188	4512	
6	18/09/2012	18/09/2012	173	4152	
7	01/05/2013	01/05/2013	225	5400	
8	31/10/2013	31/10/2013	183	4392	
9	09/05/2014	09/05/2014	190	4560	
10	18/11/2014	18/11/2014	193	4632	
11	25/06/2015	25/06/2015	219	5256	
12	29/01/2016	29/01/2016	218	5232	
13	03/08/2016	03/08/2016	187	4488	
14	06/03/2017	06/03/2017	215	5160	
15	03/11/2017	03/11/2017	242	5808	
16	09/05/2018	09/05/2018	187	4488	
17	23/11/2018	23/11/2018	198	4752	
18	15/04/2019	15/04/2019	143	3432	

Tabel 24. Data Maintenance SDV-223

SDV-223					
no	start	completion	TTF (day)	TTF (hour)	MTTF
1	16/07/2010	16/07/2010	0	0	4342,588235
2	05/11/2010	05/11/2010	112	2688	
3	15/04/2011	15/04/2011	161	3864	
4	05/10/2011	05/10/2011	173	4152	
5	02/04/2012	02/04/2012	180	4320	
6	28/09/2012	28/09/2012	179	4296	
7	15/05/2013	15/05/2013	229	5496	
8	28/11/2013	28/11/2013	197	4728	
9	05/06/2014	05/06/2014	189	4536	
10	19/12/2014	19/12/2014	197	4728	
11	23/06/2015	23/06/2015	186	4464	
12	29/01/2016	29/01/2016	220	5280	
13	03/08/2016	03/08/2016	187	4488	
14	04/04/2017	04/04/2017	244	5856	
15	17/11/2017	17/11/2017	227	5448	
16	04/06/2018	04/06/2018	199	4776	
17	17/12/2018	17/12/2018	196	4704	
18	02/05/2019	02/05/2019	136	3264	

Tabel 25. *Data Maintenance FT-205*

no	<i>start</i>	<i>completion</i>	TTF	MTTF	<i>cost</i>
1	29/03/2011	29/03/2011	0	803,6667	86
2	01/04/2013	01/04/2013	734		43
3	25/06/2015	25/06/2015	815		107,5
4	03/11/2017	03/11/2017	862		86
5	22/04/2019	22/04/2019	535		86

Tabel 26. *Data Maintenance FV-205*

no	<i>start</i>	<i>Completion</i>	TTF	MTTF	<i>cost</i>
1	26/05/2014	26/05/2014	0	205,25	118,25
2	14/11/2014	14/11/2014	172		118,25
3	25/06/2015	25/06/2015	223		150,5
4	02/02/2016	02/02/2016	222		107,5
5	19/08/2016	19/08/2016	199		107,5
6	20/03/2017	20/03/2017	213		107,5
7	03/11/2017	03/11/2017	228		107,5
8	21/05/2018	21/05/2018	199		107,5
9	23/11/2018	23/11/2018	186		107,5
10	02/04/2019	02/04/2019	130		107,5

Node Debutanizer Reflux Drum

Tabel 27. *Data Maintenance PT-266*

no	<i>start</i>	<i>completion</i>	TTF	MTTF	<i>cost</i>
1	20/07/2011	20/07/2011	0	733,333	129
2	30/08/2013	30/08/2013	772		96,75
3	16/04/2015	16/04/2015	594		86
4	28/07/2017	28/07/2017	834		86
5	08/02/2019	08/02/2019	560		86

Tabel 28. Data Maintenance PV-266

no	<i>start</i>	<i>completion</i>	TTF	MTTF	<i>cost</i>
1	06/05/2014	06/05/2014	0	200,556	118,25
2	05/01/2015	05/01/2015	244		118,25
3	25/09/2015	25/09/2015	263		107,5
4	22/04/2016	22/04/2016	210		107,5
5	15/11/2016	15/11/2016	207		107,5
6	14/07/2017	14/07/2017	241		107,5
7	06/02/2018	06/02/2018	207		107,5
8	12/09/2018	12/09/2018	218		107,5
9	15/04/2019	15/04/2019	215		107,5

Tabel 29. Data Maintenance LSSL-252

no	<i>start</i>	<i>completion</i>	TTF (day)	TTF (hour)	MTTF
1	06/04/2010	06/04/2010	0	0	4504,941176
2	08/10/2010	08/10/2010	185	4440	
3	15/04/2011	15/04/2011	189	4536	
4	05/10/2011	05/10/2011	173	4152	
5	03/04/2012	03/04/2012	181	4344	
6	02/10/2012	02/10/2012	182	4368	
7	08/04/2013	08/04/2013	188	4512	
8	02/12/2013	02/12/2013	238	5712	
9	16/06/2014	16/06/2014	196	4704	
10	15/12/2014	15/12/2014	182	4368	
11	19/06/2015	19/06/2015	186	4464	
12	22/01/2016	22/01/2016	217	5208	
13	11/08/2016	11/08/2016	202	4848	
14	09/05/2017	09/05/2017	271	6504	
15	30/11/2017	30/11/2017	205	4920	
16	22/06/2018	22/06/2018	204	4896	
17	31/12/2018	31/12/2018	192	4608	
18	24/04/2019	24/04/2019	114	2736	

Tabel 30. Data Maintenance SDV-253

no	start	completion	TTF (day)	TTF (hour)	MTTF
1	11/06/2010	11/06/2010	0	0	4213,333333
2	05/11/2010	05/11/2010	147	3528	
3	15/04/2011	15/04/2011	161	3864	
4	07/10/2011	07/10/2011	175	4200	
5	02/04/2012	02/04/2012	178	4272	
6	28/09/2012	28/09/2012	179	4296	
7	16/05/2013	16/05/2013	230	5520	
8	28/11/2013	28/11/2013	196	4704	
9	17/03/2014	17/03/2014	109	2616	
10	10/10/2014	10/10/2014	207	4968	
11	08/04/2015	08/04/2015	180	4320	
12	03/11/2015	03/11/2015	209	5016	
13	17/05/2016	17/05/2016	196	4704	
14	13/12/2016	13/12/2016	210	5040	
15	28/07/2017	28/07/2017	227	5448	
16	15/01/2018	15/01/2018	171	4104	
17	25/07/2018	25/07/2018	191	4584	
18	04/02/2019	04/02/2019	194	4656	

Tabel 31. Data Maintenance LSHH-251

no	start	completion	TTF (day)	TTF (hour)	MTTF
1	06/04/2010	06/04/2010	0	0	4504,941176
2	08/10/2010	08/10/2010	185	4440	
3	15/04/2011	15/04/2011	189	4536	
4	05/10/2011	05/10/2011	173	4152	
5	03/04/2012	03/04/2012	181	4344	
6	02/10/2012	02/10/2012	182	4368	
7	08/04/2013	08/04/2013	188	4512	
8	02/12/2013	02/12/2013	238	5712	
9	16/06/2014	16/06/2014	196	4704	
10	15/12/2014	15/12/2014	182	4368	
11	19/06/2015	19/06/2015	186	4464	
12	22/01/2016	22/01/2016	217	5208	
13	11/08/2016	11/08/2016	202	4848	
14	09/05/2017	09/05/2017	271	6504	
15	30/11/2017	30/11/2017	205	4920	
16	22/06/2018	22/06/2018	204	4896	
17	31/12/2018	31/12/2018	192	4608	

Tabel 30. Data *Maintenance SDV-297*

no	start	completion	TTF (day)	TTF (hour)	MTTF
1	11/06/2010	11/06/2010	0	0	4213,333333
2	05/11/2010	05/11/2010	147	3528	
3	15/04/2011	15/04/2011	161	3864	
4	07/10/2011	07/10/2011	175	4200	
5	02/04/2012	02/04/2012	178	4272	
6	28/09/2012	28/09/2012	179	4296	
7	16/05/2013	16/05/2013	230	5520	
8	28/11/2013	28/11/2013	196	4704	
9	17/03/2014	17/03/2014	109	2616	
10	10/10/2014	10/10/2014	207	4968	
11	08/04/2015	08/04/2015	180	4320	
12	03/11/2015	03/11/2015	209	5016	
13	17/05/2016	17/05/2016	196	4704	
14	13/12/2016	13/12/2016	210	5040	
15	28/07/2017	28/07/2017	227	5448	
16	15/01/2018	15/01/2018	171	4104	
17	25/07/2018	25/07/2018	191	4584	
18	04/02/2019	04/02/2019	194	4656	

LAMPIRAN D. HAZOP *WORKSHEET*

No	Node	Instrument	Guideword	Deviation	Causes	Consequences	Safeguards	L	S	RR	Recommendation
1	Depropanizer Column And Reboiler	482 FT 188	More	More Flow	Increase Feed From Depropanizer Reboiler	Jet Flood Of The Lower Section Of Column.	482 FV 188	C	4	C4	Using FIC 188 High Alarm.
			Less	Less Flow	SDV 123 Fail Close	Increase Level In The Depropanizer Column .				C4	Using FIC 188 Low Alarm.
		482 PT 164	High	High Pressure	Level Control Valve (LV 154) Driven Open	Potential For Gas Blowby.	482 PV 164	B	5	B5	Using PAH 164 Set At 17 Barg.
			Low	Low Pressure	HIC 165 And SDV 197 Fails Closed	Loss Of Overhead Condensing And Overpressure Of Column.				B5	Using PIC 164 High Alarm In CCR And Alert To Investigate The Problem And Take Further Action Accordingly.
		482 FT 105	More	More Flow	PV 166 Fails Open	Decreasing Pressure In Column.	482 FV 105	B	2	B2	Flow Alarm High FIC 105.
			Less	Less Flow	PV 164A Fail Closed When It Should Be Open	Potential For Low Pressure In Depropanizer Column Resulting In Potential For Inefficiency Of Distillation Process In Depropanizer Column Leading To				B2	Flow Alarm Low FIC 105 And Set 110 Degc For TIC 119 Will Control Temperatur On Depropanizer Column.

						<i>Potential For Loss Of Production Opportunity.</i>					
2	<i>Depropanizer Reflux Drum</i>	<i>482 PT 166</i>	<i>High</i>	<i>High Pressure</i>	<i>Increase Feed From Deethanizer Due To Loss Of Heating In The Deethanizer Reboiler.</i>	<i>Overpressure In Column Due To Non Condensable.</i>	<i>482 PV 166</i>	<i>B</i>	<i>5</i>	<i>B5</i>	<i>High Pressure Alarm, High Pressure Trip, And Overpressure May Not Exceed The Design Pressure Of The HP Flash Separator Psvs.</i>
			<i>Low</i>	<i>Low Pressure</i>	<i>SDV 153 And LV 154 Fail Closed</i>					<i>Increased Treater Pressure In The Propane Treaters And Overpressure In Depropanizer Column.</i>	<i>B5</i>
3	<i>Debutanizer Column</i>	<i>482 LT 216</i>	<i>High</i>	<i>High Level</i>	<i>LV 216 Stuck Close</i>	<i>Increase Level In The Debutanizer Column Causing Flooding Of Reboiler Resulting In</i>	<i>482 LV 216</i>	<i>D</i>	<i>4</i>	<i>D4</i>	<i>Using LIC 216 High Alarm And Slow Buildup Of Level.</i>

					<i>Column Process Upset.</i>						
			<i>Low</i>	<i>Low Level</i>	<i>SDV 223 Fails Closed</i>	<i>High Level In Debutanizer Column Resulting In Potential For Liquid Carryover To Debutanizer Condenser Followed By Potential For Further Liquid Carryover To HP Flare KO Drum Leading To Potential For Burning Rain In HP Flare Stack Which Can Cause Potential For Personel Exposure / Environmental Impact / Asset Loss / Reputation Damage.</i>				<i>D4</i>	<i>Using LAL 216A/B Will Alarm In CCR And Alert Operator To Investigate The Problem And Take Further Action Accordingly.</i>

	482 PT 264	High	High Pressure	HV 265 Is Inadvertently Open	Decreasing Pressure In Column.	482 PV 264	B	2	B2	PIC 264 Will Decrease Speed Of Debutanizer Condenser Fan And Open PV 264 To Prevent Further Low Pressure.
		Low	Low Pressure	HV 265 Is Inadvertently Closed, Loss Off Overhead Condenser	Overpressure Of Column.			5	B5	Using PIC 264 High Alarm Set At 5,2 Barg.
	482 FT 257	More	More Flow	LV 254 And FV 257 Is Driven Open	Low Level In Debutanizer Reflux Drum, Process Upset, Troubleshooting On The Debutanizer Column Andpotential For Cavitation On Debutanizer Reflux Pump.	482 FV 257	C	4	C4	High Flow Alarm FAH 257 Set At 23 M3/Hr.

			<i>Less</i>	<i>Less Flow</i>	<i>SFS-05/06 Strainer Upstream Debutanizer Reflux Pump Is Plugging</i>	<i>High Level In Debutanizer Reflux Drum Resulting In Potential For Liquid Carryover To Debutanizer Condenser Followed By Potential For Further Liquid Carryover To HP Flare KO Drum Leading To Potential For Burning Rain In HP Flare Stack Which Can Cause Potential For Personel Exposure / Environmental Impact / Asset Loss / Reputation Damage.</i>				<i>C4</i>	<i>Operator Surveillance To Monitor FIC 257, Take Further Action Accordingly, And Using FAL 257 Will Alarm In CCR.</i>
<i>4</i>	<i>Debutanizer Reboiler</i>	<i>482 FT 205</i>	<i>More</i>	<i>More Flow</i>	<i>HV 265 Is Inadvertently Open</i>	<i>Decreasing Pressure In Column.</i>	<i>482 FV 205</i>	<i>B</i>	<i>2</i>	<i>B2</i>	<i>Flow Alarm High FIC 205.</i>



			<i>Less</i>	<i>Less Flow</i>	<i>PV-264A Fails Closed When It Should Be Open</i>	<i>Low Pressure In Debutanizer Column Resulting In Potential For Inefficiency Of Distillation Process In Debutanizer Column Leading To Potential For Loss Of Production Opportunity.</i>				<i>B2</i>	<i>Flow Alarm Low FIC 205 And TIC 219 Will Control Temperatur On Debutanizer Column At 102 Degc.</i>
<i>5</i>	<i>Debutanizer Reflux Drum</i>	<i>482 PT 266</i>	<i>High</i>	<i>High Pressure</i>	<i>FV 205 Is Driven Open</i>	<i>Heating Medium Ingress To Debutanizer Column With Subsequent Potential For Overpressure.</i>	<i>482 PV 266</i>	<i>C</i>	<i>4</i>	<i>C4</i>	<i>Using PIC 266 Will Control Pressure On Debutanizer Reflux Drum Set At 4,3 Barg</i>
			<i>Low</i>	<i>Low Pressure</i>	<i>Reflux Pump Shut Down.</i>	<i>Overpressure In Debutanizer Column.</i>				<i>C4</i>	<i>Using PIC 266 High Alarm</i>

LAMPIRAN E. DATASHEET SIL VERIFICATION REPORT

GENERAL	1	Tag Number	482-PTZ -111		
	2	Service	Diapropanizer Column		
	3	Line No.	P&ID	8"-PG-82019-A03B	
	4	Equipment No.	482-Y-04		
	5	Mounting	2" Pipe Stanchion		
	6	Hazardous Area Classification	Zone 2, Gr I/A & IIB, T3		
	7	Electrical Protection	ATEX EEx'd		
	8	Washbar Protection	IP65		
	9	NACE Requirement	No		
	10				
PROCESS CONDITIONS	11	Fluid	Hydrocarbon Gas		
	12	Pressure	Min.	Norm.	Max.
	13	Temperature	Min.	Norm.	Max.
	14	Design Pressure	Design Temperature		
TRANSMITTER	15	Element Range	Min.	Max.	
	16	Calibration Range	Min.	Max.	
	17	Scale Range	Min.	Max.	
	18	Element Type	Element Material	Diaphragm	
	19	Body Material	Rating	SS 316	
	20	Process Flanges Material	SS 316L		
	21	Wetted O-Rings Material	LFR STD		
	22	Fill Fluid	Yes		
	23	Bolts and Nuts	N/A		
	24	Housing	Low-odpor aluminum		
DIAPHRAGM SEAL	25	Accuracy	±/- 0.05% of span		
	26	Process Connection	Electrical Connection	1/2" NPT(F) M20, ISO	
	27	Output	4 - 20 mA, two wire system		
	28	Power Supply	24 VDC loop power		
	29	Communication Protocol	SMART HART superimposed over 4 - 20 mA		
	30	Process Connection & Rating	-		
	31	Diaphragm Material	-		
	32	Housing Material	-		
	33	Fill Fluid	-		
	34	Capillary Material	-		
OPTIONS	35	Capillary Type	Capillary Length	-	
	36	Flushing Connection	-		
	37	Indicator	Yes (Note 1)		
	38	Hydrostatic Testing	Yes		
	39	Cleaning	-		
	40	Mounting Brackets	Yes, SS 316		
	41	Transient Protection	Yes		
	42	Name Plate	SS 316 (Note 2)		
	43	Valve Manifold type / Model	2 way valve (assembly to tv) / 0306RT22RA11		
	44	Valve manifold Manufacture	Rosemount		
PURCHASE	45	Valve Manifold Material	SS 316		
	46	Calibration	Yes		
	47	Certification	ATEX, SIL 2 (Note 3)		
	48	Manufacturer	Rosemount		
	49	Model	3051SSTGSA2A11A1B1E1MSP1Q4		
	50	Purchase Order Number	9400-IN-418		
51	Price	Item Number			
52	Serial Number	01842053			

SIL 2
VERIFIED

Notes: 1. Indicator shall be LCD type (Digital) integral output meter with engineering units.
 2. Nameplate shall be permanent attached with screws or rivets. Adhesives shall not be used.
 3. Transmitter which is applicable for safety instrumented system (SIS) shall be certified to IEC 61508 by TÜV.
 4. Vendor shall provide 2 positive seals as minimum to prevent fluid entering in electrical housing.
 5. Vendor shall provide DD File support command for Honeywell Asset Management System.



INSTRUMENT DATASHEET PRESSURE TRANSMITTER				
 PT. TRIPATRA Engineers & Constructors		 HESS (Honeywell Engineering Limited)		
10	4/7/2009	As Built	P&ID	Sheet 40 of 89
Rev.	Date	Description	Prep. Check App.	Code: 129 Doc. No.: LPPD-TJ-IN-DS-0687 Rev.: 1.0

Gambar 1. SIL Verification Report PTZ-111

GENERAL	1	Tag Number	482-PTZ -212		
	2	Service	Debutanizer Column		
	3	Line No.	P&ID	8"-PG-82043-A01B	UPD-TJ-P2-PR-DR-0072
	4	Equipment No.	482-V-07		
	5	Mounting	2" Pipe Stanchion		
	6	Hazardous Area Classification	Zone 2, Gr IIA & IIB, T3		
	7	Electrical Protection	ATEX EEx'd		
	8	Weather Protection	IP65		
	9	NACE Requirement	No		
	10				
PROCESS CONDITIONS	11	Fluid	Hydrocarbon Gas		
	12	Pressure	Min.	Norm.	Max.
	13	Temperature	Min.	Norm.	Max.
	14	Design Pressure	Design Temperature		
TRANSMITTER	15	Element Range	Min.	Max.	
	16	Calibration Range	Min.	Max.	
	17	Scale Range	Min.	Max.	
	18	Element Type	Element Material		
	19	Body Material	Rating		
	20	Process Flanges Material			
	21	Wetted O-Rings Material			
	22	Fill Fluid			
	23	Bolts and Nuts			
	24	Housing			
	25	Accuracy			
	26	Process Connection	Electrical Connection		
	27	Output			
	28	Power Supply			
DIAPHRAGM SEAL	29	Communication Protocol			
	30	Process Connection & Rating			
	31	Diaphragm Material			
	32	Housing Material			
	33	Fill Fluid			
	34	Capillary Material			
	35	Capillary Type	Capillary Length		
	36	Flushing Connection			
OPTIONS	37	Indicator	Yes (Note 1)		
	38	Hydrostatic Testing	Yes		
	39	Cleaning	-		
	40	Mounting Brackets	Yes, SS 316		
	41	Transient Protection	Yes		
	42	Name Plate	SS 316 (Note 2)		
	43	Valve Manifold type / Model	2 way valve (assembly to tx) / 0306RT22BA11		
	44	Valve manifold Manufacture	Rosemount		
	45	Valve Manifold Material	SS 316		
	46	Calibration	Yes		
PURCHASE	47	Certification	ATEX, SIL 2 (Note 3)		
	48	Manufacturer	Rosemount		
	49	Model	3051-1020-1001-1A1BD1E1M5P1		
	50	Purchase Order Number	9490-IN-413		
	51	Price	Item Number		
	52	Serial Number	01842107		

**SIL 2
VERIFIED**

Notes: 1. Indicator shall be LCD type (Digital) integral output meter with engineering units.
 2. Nameplate shall be permanent attached stainless screw or rivets. Adhesives shall not be used.
 3. Transmitter which are applicable for safety instrumented system (SIS) shall be certified to IEC 61508 by TUV.
 4. Vendor shall provide 2 positive seals as minimum to prevent fluid entering in electrical housing.
 5. Vendor shall provide DD File support command for Honeywell Asset Management System.

	 PT. TRIPATRA Engineers & Constructors	 HESS (Indonesian Pangkat) Limited
--	---	---

Gambar 2. SIL Verification Report PTZ-212

System	Row & Column (in C&E)	SIF	Classified SIL	Calculated PFD	Verified SIL	Upgrade Action Required	Mitigation (Refer to Section)
482	SIF Loop: Expander Outlet Pressure High High (482-PAHH-342)						
	0313	482-SDV-326	SIL 3	8.34×10^{-3}	SIL 2	Y	5.3.1
	0315&0316	482-SDV-350A/B	SIL 3	2.08×10^{-3}	SIL 2	Y	5.3.1
	0319	482-SDV-354	SIL 3	8.56×10^{-3}	SIL 2	Y	5.3.1
		Synergistic Function of 482-PAHH-342	SIL 3	1.53×10^{-3}	SIL 2	Y	5.3.1
482	SIF Loop: Depropanizer Column Outlet Pressure High High (482-PAHH-111)						
	1526	482-SDV-377	SIL 3	8.34×10^{-3}	SIL 2	Y	5.3.1
	1534	482-SDV-124	SIL 2	8.34×10^{-3}	SIL 2	N	-
		Synergistic Function of 482-PAHH-111	SIL 3	1.53×10^{-3}	SIL 2	Y	5.3.1
482	SIF Loop: Debutanizer Column Outlet Pressure High High (482-PAHH-212)						
	2133	482-SDV-123	SIL 2	8.34×10^{-3}	SIL 2	Y	5.3.1
	2142	482-SDV-224	SIL 2	8.34×10^{-3}	SIL 2	N	-
		Synergistic Function of 482-PAHH-212	SIL 3	1.53×10^{-3}	SIL 2	Y	5.3.1
482	SIF Loop: Deethanizer Column Level Low Low (482-LALL-382)						
	1026	482-SDV-377	SIL 3	7.81×10^{-3}	SIL 2	Y	5.3.1
		Synergistic Function of 482-LALL-382	SIL 3	1.01×10^{-3}	SIL 2	Y	5.3.1

**SIL 2
VERIFIED**

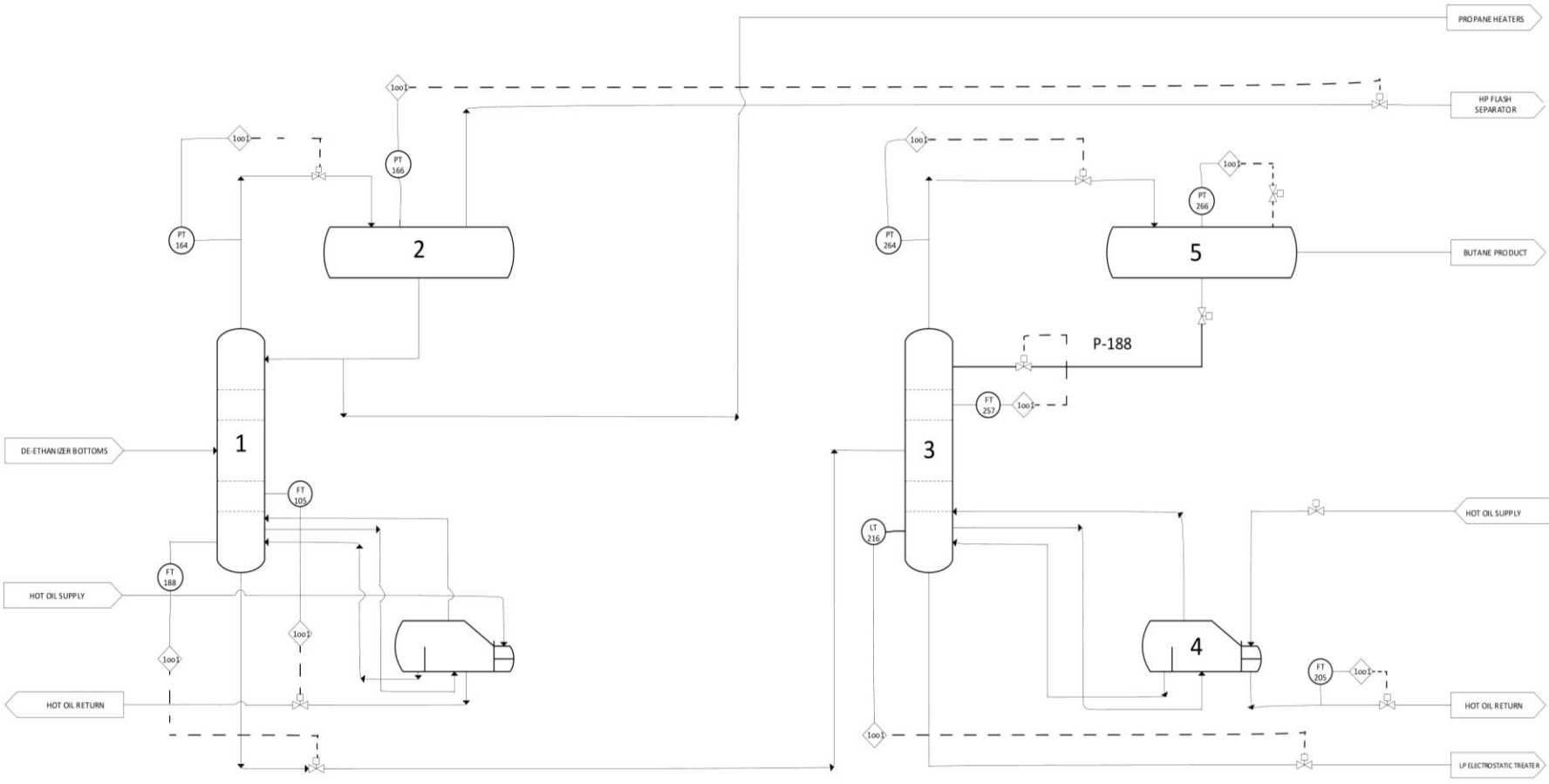
Gambar 3. SIL Verification Report Depropanizer Column

System	Row & Column (in C&E)	SIF	Classified SIL	Calculated PFD	Verified SIL	Upgrade Action Required	Mitigation (Refer to Section)
482	SIF Loop: Depropanizer Column Level Low Low (482-LALL-182)						
	1626	482-SDV-123	SIL 3	7.81×10^{-3}	SIL 2	Y	5.3.1
		Synergistic Function of 482-LALL-182	SIL 3	1.01×10^{-3}	SIL 2	Y	5.3.1
482	SIF Loop: Debutanizer Column Level Low Low (482-LALL-217)						
	2241	482-SDV-223	SIL 2	7.81×10^{-3}	SIL 2	N	-
		Synergistic Function of 482-LALL-182	SIL 2	1.01×10^{-3}	SIL 2	N	-
482	SIF Loop: Cold Separator Level High High (482-LAHH-327)						
	0215&0216	482-SDV-350A/B	SIL 2	1.55×10^{-3}	SIL 2	N	-
		Synergistic Function of 482-LAHH-327	SIL 2	1.01×10^{-3}	SIL 2	N	-

**SIL 2
VERIFIED**

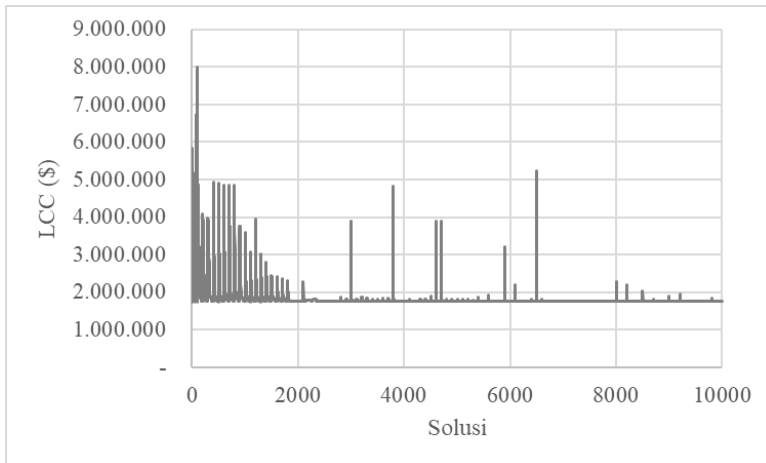
Gambar 4. SIL Verification Report Debutanizer Column

LAMPIRAN G. P&ID RANCANGAN

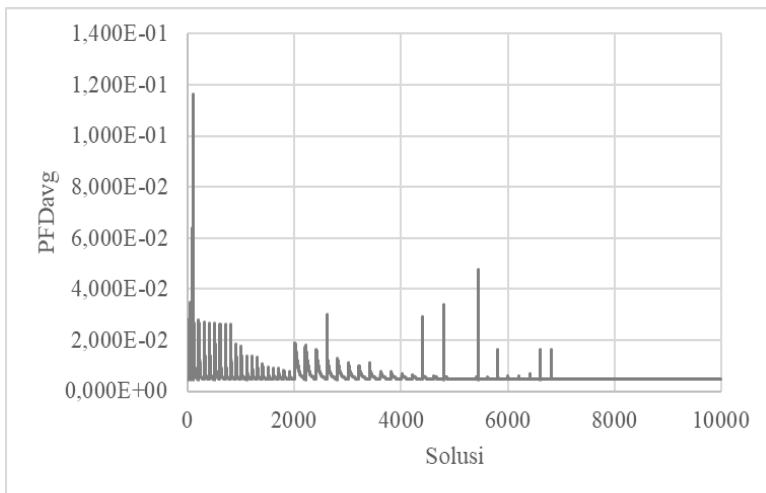


LAMPIRAN H. HASIL OPTIMISASI

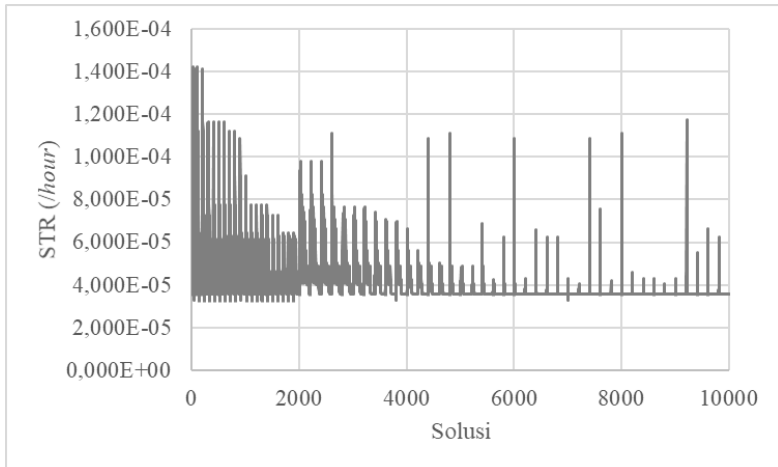
Dari hasil optimisasi dilakukan dengan 100 kali iterasi, maka didapatkan grafik seperti Gambar 1,2, dan 3.



Gambar 1. Hasil Optimisasi LCC



Gambar 2. Hasil Optimisasi PFDavg

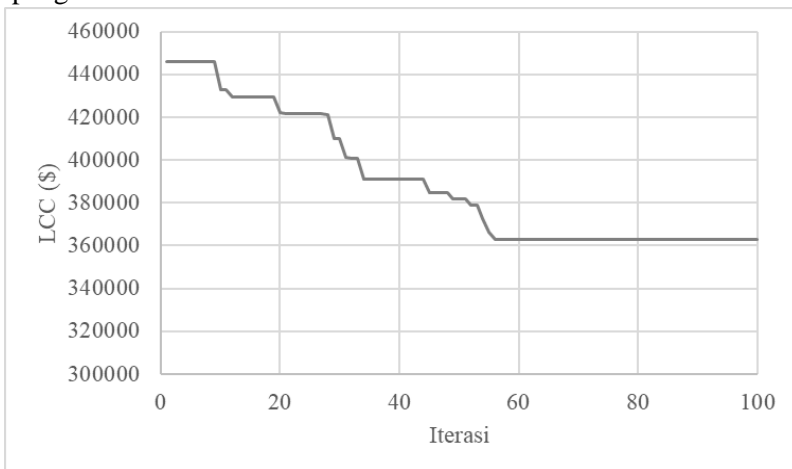


Gambar 3. Hasil Optimisasi STR

Dari Gambar 1,2, dan 3, dapat dilihat bahwa masing-masing nilai LCC, PFDavg, dan STR mengalami penurunan. Namun, terdapat beberapa kali kenaikan nilai. Kenaikan nilai diakibatkan karena iterasi yang ditentukan belum selesai. Walaupun sudah diperoleh nilai *minimum*, *optimizer* tetap akan mencari nilai yang lain karena bekerja secara random.

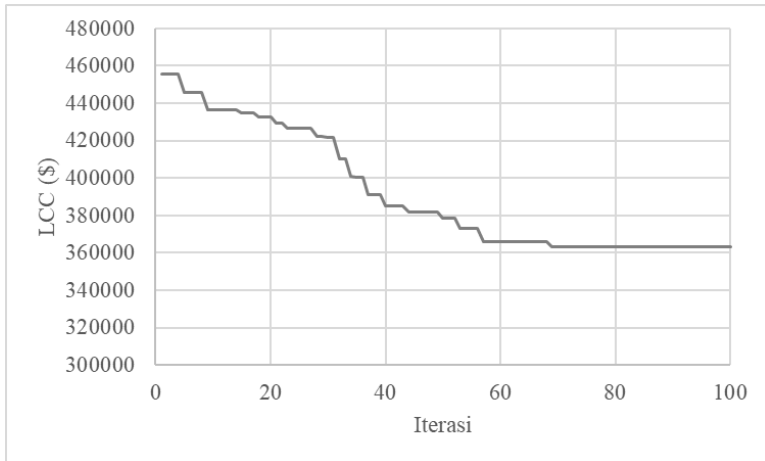
Validasi Hasil Optimisasi

Validasi dilakukan dengan mengomparasikan hasil optimisasi yang dilakukan pada tugas akhir ini dengan penelitian sebelumnya. Komparasi dilakukan dengan menyuplik salah satu *loop* pengendalian *level*.



Gambar 4. Hasil Optimisasi *Loop* Pengendalian *Level* Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian sebelumnya diperoleh nilai LCC sebesar USD 362.995 pada iterasi ke-100.



Gambar 5. Hasil Optimisasi *Loop* Pengendalian *Level* LPG *Fractionation Train*

Hasil optimisasi menunjukkan bahwa optimisasi yang digunakan pada penelitian sebelumnya dan pada pengendalian *level* LPG *Fractionation Train* memiliki nilai LCC yang sama pada iterasi ke-100 sebesar USD 362.995.

LAMPIRAN I. *SCRIPT* MATLAB


```

function
[FT188a,FT188b,FT188c,FT188d,FT188e
,FT188f,PT164a,PT164b,PT164c,PT164d
,PT164e,PT164f,FV188a,FV188b,FV188c
,FV188d,FV188e,i1,i2,i3,i4
,PFDAvg,STRavg,LCC,Cx,Nx]=objfun_b
1(x)
%variabel optimisasi
FT188a=x(1);
FT188b=x(2);
FT188c=x(3);
FT188d=x(4);
FT188e=x(5);
FT188f=x(6);
PT164a=x(7);
PT164b=x(8);
PT164c=x(9);
PT164d=x(10);
PT164e=x(11);
PT164f=x(12);
FV188a=x(55);
FV188b=x(56);
FV188c=x(57);
FV188d=x(58);
FV188e=x(59);
FV188f=x(60);
PV164a=x(61);
PV164b=x(62);
PV164c=x(63);
PV164d=x(64);
PV164e=x(65);
PV164f=x(66);
i1=x(109);
i2=x(110);
i3=x(111);
i4=x(112);
%inisiasi variabel
Ti=8760;
Tr=8;
Cacc=150000000;
Facc=8.55*10^-3;
Csd=10^6;
Cinscomm=600;
Cpm=240;
Ct=60;

%inisiasi Cmoon
if i1==1
    Cx=0;
    Nx=1;
    Cttest1=Ct*Nx;
    Cpml=Cpm*Nx;
elseif i1==2
    Cx=1;
    Nx=2;
    Cttest1=Ct*Nx;
    Cpml=Cpm*Nx;
elseif i1==3
    Cx=0.3;
    Nx=3;
    Cttest1=Ct*Nx;
    Cpml=Cpm*Nx;
elseif i1==4
    Cx=0.15;
    Nx=4;
    Cttest1=Ct*Nx;
    Cpml=Cpm*Nx;
elseif i1==5
    Cx=0.08;
    Nx=5;
    Cttest1=Ct*Nx;
    Cpml=Cpm*Nx;
elseif i1==6
    Cx=0.04;
    Nx=6;
    Cttest1=Ct*Nx;
    Cpml=Cpm*Nx;
elseif i1==7
    Cx=0;
    Nx=2;
    Cttest1=Ct*Nx;
    Cpml=Cpm*Nx;
elseif i1==8
    Cx=2.4;
    Nx=3;
    Cttest1=Ct*Nx;
    Cpml=Cpm*Nx;
elseif i1==9
    Cx=0.75;
    Nx=4;
    Cttest1=Ct*Nx;
    Cpml=Cpm*Nx;
elseif i1==10
    Cx=0.45;
    Nx=5;
    Cttest1=Ct*Nx;
    Cpml=Cpm*Nx;
elseif i1==11
    Cx=0.26;
    Nx=6;
    Cttest1=Ct*Nx;
    Cpml=Cpm*Nx;
elseif i1==12
    Cx=0;
    Nx=3;
    Cttest1=Ct*Nx;
    Cpml=Cpm*Nx;
elseif i1==13
    Cx=4;
    Nx=4;
    Cttest1=Ct*Nx;
    Cpml=Cpm*Nx;
elseif i1==14
    Cx=1.2;
    Nx=5;
    Cttest1=Ct*Nx;
    Cpml=Cpm*Nx;
elseif i1==15
    Cx=0.8;
    Nx=6;
    Cttest1=Ct*Nx;
    Cpml=Cpm*Nx;
elseif i1==16
    Cx=0;
    Nx=4;
    Cttest1=Ct*Nx;
    Cpml=Cpm*Nx;
elseif i1==17
    Cx=6;
    Nx=5;
    Cttest1=Ct*Nx;
    Cpml=Cpm*Nx;
elseif i1==18
    Cx=1.6;
    Nx=6;
    Cttest1=Ct*Nx;

```

```

    Cpm1=Cpm*Nx;
elseif i1==19
    Cx=0;
    Nx=5;
    Ctest1=Ct*Nx;
    Cpm1=Cpm*Nx;
elseif i1==20
    Cx=8.1;
    Nx=6;
    Ctest1=Ct*Nx;
    Cpm1=Cpm*Nx;
elseif i1==21
    Cx=0;
    Nx=6;
    Ctest1=Ct*Nx;
    Cpm1=Cpm*Nx;
end

%teknologi flow transmitter jenis A
(Smart Transmitter)
Xdd1a = 0.048*10^-6;
Xdula = 0.103*10^-6;
Xsd1a = 0.265*10^-6;
Xsula = 0.118*10^-6;
Xt1a = 0.534*10^-6;

Bdd1a = 0.1;
Bdula = 0.1;
Bsd1a = 0.1;
Bsula = 0.1;

PFD1a = ((1-
(Cx*Bdd1a))*Xdd1a*Tr)+((1-
(Cx*Bdula))*Xdula*((Ti/2)+Tr));
STR1a = ((1-
(Cx*Bsd1a))*Xsd1a*Tr)+((1-
(Cx*Bsula))*Xsula);

Cpurchasela = 4844;
Ccm1a = Xt1a*480;
Cpro1a = (Cpurchasela+Cinscomm);

%teknologi flow transmitter jenis B
(Conventional Electronic
Transmitter)
Xdd1b = 0.97*10^-6;
Xdulb = 0.93*10^-6;
Xsdlb = 1.21*10^-6;
Xsulb = 0.95*10^-6;
Xt1b = 4.06*10^-6;

Bdd1b = 0.1;
Bdulb = 0.1;
Bsd1b = 0.1;
Bsulb = 0.1;

PFD1b = ((1-
(Cx*Bdd1b))*Xdd1b*Tr)+((1-
(Cx*Bdulb))*Xdulb*((Ti/2)+Tr));
STR1b = ((1-
(Cx*Bsd1b))*Xsdlb*Tr)+((1-
(Cx*Bsulb))*Xsulb);

Cpurchasela = 3206;
Ccm1b = Xt1b*480;
Cpro1b = (Cpurchasela+Cinscomm);

%teknologi flow transmitter jenis C
(Switch)
Xdd1c = 0.41*10^-6;
Xdulc = 3.70*10^-6;
Xsd1c = 0.68*10^-6;
Xsulc = 6.13*10^-6;
Xt1c = 10.92*10^-6;

Bdd1c = 0.1;
Bdulc = 0.1;
Bsd1c = 0.1;
Bsulc = 0.1;

PFD1c = ((1-
(Cx*Bdd1c))*Xdd1c*Tr)+((1-
(Cx*Bdulc))*Xdulc*((Ti/2)+Tr));
STR1c = ((1-
(Cx*Bsd1c))*Xsd1c*Tr)+((1-
(Cx*Bsulc))*Xsulc);

Cpurchas1c = 500;
Ccm1c = Xt1c*480;
Cpro1c = (Cpurchas1c+Cinscomm);

%teknologi pressure transmitter
jenis A (Smart Transmitter)
Xdd2a = 0.048*10^-6;
Xdu2a = 0.103*10^-6;
Xsd2a = 0.265*10^-6;
Xsu2a = 0.118*10^-6;
Xt2a = 0.534*10^-6;

Bdd2a = 0.1;
Bdu2a = 0.1;
Bsd2a = 0.1;
Bsu2a = 0.1;

PFD2a = ((1-
(Cx*Bdd2a))*Xdd2a*Tr)+((1-
(Cx*Bdu2a))*Xdu2a*((Ti/2)+Tr));
STR2a = ((1-
(Cx*Bsd2a))*Xsd2a*Tr)+((1-
(Cx*Bsu2a))*Xsu2a);

Cpurchas2a = 4844;
Ccm2a = Xt2a*480;
Cpro2a = (Cpurchas2a+Cinscomm);

%teknologi pressure transmitter
jenis B (Conventional Electronic
Transmitter)
Xdd2b = 0.97*10^-6;
Xdu2b = 0.93*10^-6;
Xsd2b = 1.21*10^-6;
Xsu2b = 0.95*10^-6;
Xt2b = 4.06*10^-6;

Bdd2b = 0.1;
Bdu2b = 0.1;
Bsd2b = 0.1;
Bsu2b = 0.1;

PFD2b = ((1-
(Cx*Bdd2b))*Xdd2b*Tr)+((1-
(Cx*Bdu2b))*Xdu2b*((Ti/2)+Tr));
STR2b = ((1-
(Cx*Bsd2b))*Xsd2b*Tr)+((1-
(Cx*Bsu2b))*Xsu2b);

```



```

Cpurchase2b = 3206;
Ccm2b = Xt2b*480;
Cpro2b = (Cpurchase2b+Cinscomm);

%teknologi pressure transmitter
jenis C (Switch)
Xdd2c = 0.41*10^-6;
Xdu2c = 3.70*10^-6;
Xsd2c = 0.68*10^-6;
Xsu2c = 6.13*10^-6;
Xt2c = 10.92*10^-6;

Bdd2c = 0.1;
Bdu2c = 0.1;
Bsd2c = 0.1;
Bsu2c = 0.1;

PFD2c = ((1-
(Cx*Bdd2c))*Xdd2c*Tr)+((1-
(Cx*Bdu2c))*Xdu2c*((Ti/2)+Tr));
STR2c = ((1-
(Cx*Bsd2c))*Xsd2c*Tr)+((1-
(Cx*Bsu2c))*Xsu2c);

Cpurchase2c = 500;
Ccm2c = Xt2c*480;
Cpro2c = (Cpurchase2c+Cinscomm);

%teknologi valve jenis A (Air
Operated)
Xdd4a = 0.084*10^-6;
Xdu4a = 2.51*10^-6;
Xsd4a = 0;
Xsu4a = 3.94*10^-6;
Xt4a = 7.29*10^-6;

Bdd4a = 0.1;
Bdu4a = 0.1;
Bsu4a = 0.1;
Bsd4a = 0.1;
PFD4a = ((1-
(Cx*Bdd4a))*Xdd4a*Tr)+((1-
(Cx*Bdu4a))*Xdu4a*((Ti/2)+Tr));
STR4a = ((1-
(Cx*Bsd4a))*Xsd4a*Tr)+((1-
(Cx*Bsu4a))*Xsu4a);

Cpurchase4a = 6940;
Ccm4a = Xt4a*480;
Cpro4a = (Cpurchase4a+Cinscomm);

%teknologi valve jenis B (Hydraulic
Operated)
Xdd4b = 1.09*10^-6;
Xdu4b = 4.35*10^-6;
Xsd4b = 0;
Xsu4b = 3.17*10^-6;
Xt4b = 8.61*10^-6;

Bdd4b = 0.1;
Bdu4b = 0.1;
Bsu4b = 0.1;
Bsd4b = 0.1;
PFD4b = ((1-
(Cx*Bdd4b))*Xdd4b*Tr)+((1-
(Cx*Bdu4b))*Xdu4b*((Ti/2)+Tr));
STR4b = ((1-
(Cx*Bsd4b))*Xsd4b*Tr)+((1-
(Cx*Bsu4b))*Xsu4b);

Cpurchase4b = 6400;
Ccm4b = Xt4b*480;
Cpro4b = (Cpurchase4b+Cinscomm);

%teknologi valve jenis C (motor
operated)
Xdd4c = 0.79*10^-6;
Xdu4c = 7.11*10^-6;
Xsd4c = 0;
Xsu4c = 9.17*10^-6;
Xt4c = 17.07*10^-6;

Bdd4c = 0.1;
Bdu4c = 0.1;
Bdu4c = 0.1;
Bsu4c = 0.1;
PFD4c = ((1-
(Cx*Bdd4c))*Xdd4c*Tr)+((1-
(Cx*Bdu4c))*Xdu4c*((Ti/2)+Tr));
STR4c = ((1-
(Cx*Bsd4c))*Xsd4c*Tr)+((1-
(Cx*Bsu4c))*Xsu4c);

Cpurchase4c = 6200;
Ccm4c = Xt4c*480;
Cpro4c = (Cpurchase4c+Cinscomm);

%properti PLC
Xddplc = 0.026*10^-6;
Xduplc = 0.006*10^-6;
Xsdplc = 1.73*10^-6;
Xsuplc = 1.73*10^-6;
Xtplc = 3.492*10^-6;

Bddplc = 0.1;
Bduplc = 0.1;
Bsuplc = 0.1;
Bsdplc = 0.1;

%pemilihan jenis teknologi FT188
if FT188a==1
    PFDFT188a=PFD1a;
    STRFT188a=STR1a;
    CproFT188a=Cpro1a;
    CcmFT188a=Ccm1a;
elseif FT188a==2
    PFDFT188a=PFD1b;
    STRFT188a=STR1b;
    CproFT188a=Cpro1b;
    CcmFT188a=Ccm1b;
elseif FT188a==3
    PFDFT188a=PFD1c;
    STRFT188a=STR1c;
    CproFT188a=Cpro1c;
    CcmFT188a=Ccm1c;
end

if FT188b==1
    PFDFT188b=PFD1a;
    STRFT188b=STR1a;
    CproFT188b=Cpro1a;
    CcmFT188b=Ccm1a;
elseif FT188b==2
    PFDFT188b=PFD1b;
    STRFT188b=STR1b;
    CproFT188b=Cpro1b;
    CcmFT188b=Ccm1b;
end

```

```

    CcmFT188b=Ccm1b;
elseif FT188b==3
    PFDF188b=PF1d1c;
    STRFT188b=STR1c;
    CproFT188b=Cpro1c;
    CcmFT188b=Ccm1c;
end

if FT188c==1
    PFDF188c=PF1d1a;
    STRFT188c=STR1a;
    CproFT188c=Cpro1a;
    CcmFT188c=Ccm1a;
elseif FT188c==2
    PFDF188c=PF1d1b;
    STRFT188c=STR1b;
    CproFT188c=Cpro1b;
    CcmFT188c=Ccm1b;
elseif FT188c==3
    PFDF188c=PF1d1c;
    STRFT188c=STR1c;
    CproFT188c=Cpro1c;
    CcmFT188c=Ccm1c;
end

if FT188d==1
    PFDF188d=PF1d1a;
    STRFT188d=STR1a;
    CproFT188d=Cpro1a;
    CcmFT188d=Ccm1a;
elseif FT188d==2
    PFDF188d=PF1d1b;
    STRFT188d=STR1b;
    CproFT188d=Cpro1b;
    CcmFT188d=Ccm1b;
elseif FT188d==3
    PFDF188d=PF1d1c;
    STRFT188d=STR1c;
    CproFT188d=Cpro1c;
    CcmFT188d=Ccm1c;
end

if FT188e==1
    PFDF188e=PF1d1a;
    STRFT188e=STR1a;
    CproFT188e=Cpro1a;
    CcmFT188e=Ccm1a;
elseif FT188e==2
    PFDF188e=PF1d1b;
    STRFT188e=STR1b;
    CproFT188e=Cpro1b;
    CcmFT188e=Ccm1b;
elseif FT188e==3
    PFDF188e=PF1d1c;
    STRFT188e=STR1c;
    CproFT188e=Cpro1c;
    CcmFT188e=Ccm1c;
end

if FT188f==1
    PFDF188f=PF1d1a;
    STRFT188f=STR1a;
    CproFT188f=Cpro1a;
    CcmFT188f=Ccm1a;
elseif FT188f==2
    PFDF188f=PF1d1b;
    STRFT188f=STR1b;
    CproFT188f=Cpro1b;

```

```

    CcmFT188f=Ccm1b;
elseif FT188f==3
    PFDF188f=PF1d1c;
    STRFT188f=STR1c;
    CproFT188f=Cpro1c;
    CcmFT188f=Ccm1c;
end

%pemilihan jenis teknologi PV164
if PV164a==1
    PFDPV164a=PF1d4a;
    STRPV164a=STR4a;
    CproPV164a=Cpro4a;
    CcmPV164a=Ccm4a;
elseif PV164a==2
    PFDPV164a=PF1d4b;
    STRPV164a=STR4b;
    CproPV164a=Cpro4b;
    CcmPV164a=Ccm4b;
elseif PV164a==3
    PFDPV164a=PF1d4c;
    STRPV164a=STR4c;
    CproPV164a=Cpro4c;
    CcmPV164a=Ccm4c;
end

if PV164b==1
    PFDPV164b=PF1d4a;
    STRPV164b=STR4a;
    CproPV164b=Cpro4a;
    CcmPV164b=Ccm4a;
elseif PV164b==2
    PFDPV164b=PF1d4b;
    STRPV164b=STR4b;
    CproPV164b=Cpro4b;
    CcmPV164b=Ccm4b;
elseif PV164b==3
    PFDPV164b=PF1d4c;
    STRPV164b=STR4c;
    CproPV164b=Cpro4c;
    CcmPV164b=Ccm4c;
end

if PV164c==1
    PFDPV164c=PF1d4a;
    STRPV164c=STR4a;
    CproPV164c=Cpro4a;
    CcmPV164c=Ccm4a;
elseif PV164c==2
    PFDPV164c=PF1d4b;
    STRPV164c=STR4b;
    CproPV164c=Cpro4b;
    CcmPV164c=Ccm4b;
elseif PV164c==3
    PFDPV164c=PF1d4c;
    STRPV164c=STR4c;
    CproPV164c=Cpro4c;
    CcmPV164c=Ccm4c;
end

if PV164d==1
    PFDPV164d=PF1d4a;
    STRPV164d=STR4a;
    CproPV164d=Cpro4a;
    CcmPV164d=Ccm4a;
elseif PV164d==2
    PFDPV164d=PF1d4b;
    STRPV164d=STR4b;

```

```

CproPV164d=Cpro4b;
CcmPV164d=Ccm4b;
elseif PV164d==3
PFDPV164d=PFDP4c;
STRPV164d=STR4c;
CproPV164d=Cpro4c;
CcmPV164d=Ccm4c;
end

if PV164e==1
PFDPV164e=PFDP4a;
STRPV164e=STR4a;
CproPV164e=Cpro4a;
CcmPV164e=Ccm4a;
elseif PV164e==2
PFDPV164e=PFDP4b;
STRPV164e=STR4b;
CproPV164e=Cpro4b;
CcmPV164e=Ccm4b;
elseif PV164e==3
PFDPV164e=PFDP4c;
STRPV164e=STR4c;
CproPV164e=Cpro4c;
CcmPV164e=Ccm4c;
end

if PV164f==1
PFDPV164f=PFDP4a;
STRPV164f=STR4a;
CproPV164f=Cpro4a;
CcmPV164f=Ccm4a;
elseif PV164f==2
PFDPV164f=PFDP4b;
STRPV164f=STR4b;
CproPV164f=Cpro4b;
CcmPV164f=Ccm4b;
elseif PV164f==3
PFDPV164f=PFDP4c;
STRPV164f=STR4c;
CproPV164f=Cpro4c;
CcmPV164f=Ccm4c;
end

%inisiasi PFD dan STR
if il==1
PFDF188=PFDF188a;
STRFT188=STRFT188a;
CproFT188=CproFT188a;
CcmFT188=CcmFT188a;
elseif il==2
PFDF188=PFDF188a+PFDF188b;
STRFT188=STRFT188a+STRFT188b;
CproFT188=CproFT188a+CproFT188b;
CcmFT188=CcmFT188a+CcmFT188b;
elseif il==3
PFDF188=PFDF188a+PFDF188b+PFDF188c;
STRFT188=STRFT188a+STRFT188b+STRFT188c;
CproFT188=CproFT188a+CproFT188b+CproFT188c;
CcmFT188=CcmFT188a+CcmFT188b+CcmFT188c;
elseif il==4
PFDF188=PFDF188a+PFDF188b+PFDF188c+PFDF188d;
STRFT188=STRFT188a+STRFT188b+STRFT188c+STRFT188d;
CproFT188=CproFT188a+CproFT188b+CproFT188c+CproFT188d;
CcmFT188=CcmFT188a+CcmFT188b+CcmFT188c+CcmFT188d;
elseif il==5
PFDF188=PFDF188a+PFDF188b+PFDF188c+PFDF188d+PFDF188e;
STRFT188=STRFT188a+STRFT188b+STRFT188c+STRFT188d+STRFT188e;
CproFT188=CproFT188a+CproFT188b+CproFT188c+CproFT188d+CproFT188e;
CcmFT188=CcmFT188a+CcmFT188b+CcmFT188c+CcmFT188d+CcmFT188e;
elseif il==6
PFDF188=PFDF188a+PFDF188b+PFDF188c+PFDF188d+PFDF188e+PFDF188f;
STRFT188=STRFT188a+STRFT188b+STRFT188c+STRFT188d+STRFT188e+STRFT188f;
CproFT188=CproFT188a+CproFT188b+CproFT188c+CproFT188d+CproFT188e+CproFT188f;
CcmFT188=CcmFT188a+CcmFT188b+CcmFT188c+CcmFT188d+CcmFT188e+CcmFT188f;
elseif il==7
PFDF188=PFDF188a+PFDF188b+PFDF188c+PFDF188d+PFDF188e+PFDF188f+PFDF188g;
STRFT188=STRFT188a+STRFT188b+STRFT188c+STRFT188d+STRFT188e+STRFT188f+STRFT188g;
CproFT188=CproFT188a+CproFT188b+CproFT188c+CproFT188d+CproFT188e+CproFT188f+CproFT188g;
CcmFT188=CcmFT188a+CcmFT188b+CcmFT188c+CcmFT188d+CcmFT188e+CcmFT188f+CcmFT188g;
elseif il==8
PFDF188=PFDF188a+PFDF188b+PFDF188c+PFDF188d+PFDF188e+PFDF188f+PFDF188g+PFDF188h;
STRFT188=STRFT188a+STRFT188b+STRFT188c+STRFT188d+STRFT188e+STRFT188f+STRFT188g+STRFT188h;
CproFT188=CproFT188a+CproFT188b+CproFT188c+CproFT188d+CproFT188e+CproFT188f+CproFT188g+CproFT188h;
CcmFT188=CcmFT188a+CcmFT188b+CcmFT188c+CcmFT188d+CcmFT188e+CcmFT188f+CcmFT188g+CcmFT188h;
elseif il==9
PFDF188=PFDF188a+PFDF188b+PFDF188c+PFDF188d+PFDF188e+PFDF188f+PFDF188g+PFDF188h+PFDF188i;
STRFT188=STRFT188a+STRFT188b+STRFT188c+STRFT188d+STRFT188e+STRFT188f+STRFT188g+STRFT188h+STRFT188i;
CproFT188=CproFT188a+CproFT188b+CproFT188c+CproFT188d+CproFT188e+CproFT188f+CproFT188g+CproFT188h+CproFT188i;
CcmFT188=CcmFT188a+CcmFT188b+CcmFT188c+CcmFT188d+CcmFT188e+CcmFT188f+CcmFT188g+CcmFT188h+CcmFT188i;

```



```

88c+CcmFT188d+CcmFT188e;
elseif i1==20
PFDF188=PFDF188a+PFDF188b+PFDF188c+PFDF188d+PFDF188e+PFDF188f;
STRFT188=STRFT188a+STRFT188b+STRFT188c+STRFT188d+STRFT188e+STRFT188f;
CproFT188=CproFT188a+CproFT188b+CproFT188c+CproFT188d+CproFT188e+CproFT188f;
CcmFT188=CcmFT188a+CcmFT188b+CcmFT188c+CcmFT188d+CcmFT188e+CcmFT188f;
elseif i1==21
PFDF188=PFDF188a+PFDF188b+PFDF188c+PFDF188d+PFDF188e+PFDF188f;
STRFT188=STRFT188a+STRFT188b+STRFT188c+STRFT188d+STRFT188e+STRFT188f;
CproFT188=CproFT188a+CproFT188b+CproFT188c+CproFT188d+CproFT188e+CproFT188f;
CcmFT188=CcmFT188a+CcmFT188b+CcmFT188c+CcmFT188d+CcmFT188e+CcmFT188f;
end

%PFDF PLC
PFDFplc = ((1-
(Cx*Bddplc))*Xddplc*Tr)+((1-
(Cx*Bduplc))*Xduplc*(Ti/2)+Tr))*8;

%STR PLC
STRplc = ((1-
(Cx*Bsdplc))*Xsdplc*Tr)+((1-
(Cx*Bsuplc))*Xsuplc)*8;

%Cpro PLC
Cpurchaseplc = 40000;
Cproplc =
(Cpurchaseplc+Cinscomm)*8;

%Cpm PLC
Cmpplc = 960*8;

%Ctest PLC
Ctestplc = 240*8;

%Ccm PLC
Ccmplc = Xtplc*8000*8;

PFDavg=PFDF188+PFDF164+PFDF105+PFDF166+PFDF216+PFDF264+PFDF257+PFDF205+PFDF266+PFDFV188+PFDFV164+PFDFV105+PFDFV166+PFDFV216+PFDFV264+PFDFV257+PFDFV205+PFDFV266+PFDFplc;
STRavg=STRFT188+STRFT164+STRFT105+STRFT166+STRFT216+STRFT264+STRFT257+STRFT205+STRFT266+STRFTV188+STRFTV164+STRFTV105+STRFTV166+STRFTV216+STRFTV264+STRFTV257+STRFTV205+STRFTV266+STRFTplc;
Cpro=CproFT188+CproFT164+CproFT105+

```




Nama penulis Bella Widya Gunawan, kelahiran Surabaya, 14 Mei 1997. Putri pertama dari Bapak Wawan Gunawan dan Ibu Lestyaningsih. Saat ini penulis tinggal di Ngoro, Jombang. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di SDN Blimbing pada tahun 2009, SMPN 1 Jombang pada tahun 2012, SMAN 3 Jombang pada tahun 2015, dan pendidikan sarjana ditempuh di Departemen Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh

Nopember, Surabaya melalui jalur SNMPTN atau jalur undangan pada tahun 2015. Selama menjalani perkuliahan, penulis aktif berorganisasi dengan menjadi staff Sosial Masyarakat di Departemen Teknik Fisika pada kepengurusan 2016-2017. Pada kepengurusan selanjutnya, penulis menjadi Wakil Kepala Departemen Sosial Masyarakat HMTF ITS. Selain itu, penulis juga merupakan asisten Laboratorium Pengukuran Fisis dan memiliki ketertarikan di dunia perkuliahan dengan mengikuti kegiatan lomba KTI Nasional dan berhasil menjadi juara. Penulis pernah melakukan *internship* di PLTGU PT. Indonesia Power UP Semarang selama satu bulan. Penulis memiliki ketertarikan pada bidang instrumen. Pada bulan Juni 2019, penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Optimisasi *Safety Instrumented System* Berdasarkan *Dependability* dan *Lifecycle Cost* pada *LPG Fractionation Train*. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran, atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, maka dapat menghubungi penulis melalui *email* : bellawidyagunawan@gmail.com