



TUGAS AKHIR - TF 181801

***HAZARD AND OPERABILITY STUDY (HAZOP)  
DAN EVALUASI SAFETY INSTRUMENTED  
SYSTEM BERDASARKAN PERHITUNGAN RAMS+C  
PADA GAS PROCESSING FACILITIES (H<sub>2</sub>S  
REMOVAL)***

HERDIYANTI TJOKROWISASTRO  
NRP. 0231154000063

Dosen Pembimbing

1. Ir. Harsono, M.T., Ph.D
2. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc

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





TUGAS AKHIR - TF 181801

***HAZARD AND OPERABILITY STUDY (HAZOP)  
DAN EVALUASI SAFETY INSTRUMENTED  
SYSTEM BERDASARKAN PERHITUNGAN RAMS+C  
PADA GAS PROCESSING FACILITIES (H<sub>2</sub>S  
REMOVAL)***

HERDIYANTI TJOKROWISASTRO  
NRP. 0231154000063

Dosen Pembimbing

1. Ir. Harsono, M.T., Ph.D
2. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc

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

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



TUGAS AKHIR - TF 181801

***HAZARD AND OPERABILITY STUDY (HAZOP)  
AND SAFETY INSTRUMENTED SYSTEM  
EVALUATION BASED ON RAMS+C  
MEASUREMENT ON GAS PROCESSING  
FACILITIES (H<sub>2</sub>S REMOVAL)***

*HERDIYANTI TJOKROWISASTRO  
NRP. 0231154000063*

*Supervisor*

- 1. Ir. Harsono, M.T., Ph.D*
- 2. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc*

***DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019***

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Herdiyanti Tjokrowisastro  
NRP : 0231154000063  
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 “*Hazard and Operability Study (HAZOP) dan Evaluasi Safety Instrumented System Berdasarkan Perhitungan RAMS+C Pada Gas Processing Facilities (H<sub>2</sub>S Removal)*” 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, 28 Juli 2019  
Yang membuat pernyataan,

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR

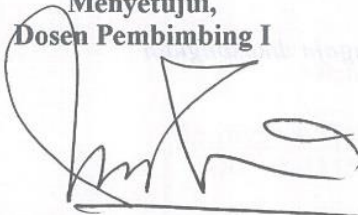
**HAZARD AND OPERABILITY STUDY (HAZOP) DAN  
EVALUASI SAFETY INSTRUMENTED SYSTEM  
BERDASARKAN PERHITUNGAN RAMS+C PADA GAS  
PROCESSING FACILITIES (H<sub>2</sub>S REMOVAL)**

Oleh:

Herdivanti Tjokrowisastro  
NRP 0231154000063

Surabaya, 28 Juli 2019

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing I



Ir. Harsono, M.T., Ph.D  
NIPN. 19600119 198611 1 001

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing II



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



Mengetahui,  
Kepala Departemen  
Teknik Fisika FTI-ITS

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

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

***HAZARD AND OPERABILITY STUDY (HAZOP) DAN  
EVALUASI SAFETY INSTRUMENTED SYSTEM  
BERDASARKAN PERHITUNGAN RAMS+C PADA GAS  
PROCESSING FACILITIES (H<sub>2</sub>S REMOVAL)***

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:

**Herdiyanti Tjokrowisastro  
NRP. 0231154000063**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- |                                      |                      |
|--------------------------------------|----------------------|
| 1. Ir. Harsono Hadi, M.T., Ph.D      | .....(Pembimbing I)  |
| 2. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc        | .....(Pembimbing II) |
| 3. Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.        | .....(Ketua Penguji) |
| 4. Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes | .....(Penguji 1)     |

**SURABAYA  
JULI, 2019**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**HAZARD AND OPERABILITY STUDY (HAZOP) DAN  
EVALUASI SAFETY INSTRUMENTED SYSTEM  
BERDASARKAN PERHITUNGAN RAMS+C PADA GAS  
PROCESSING FACILITIES ( $H_2S$  REMOVAL)**

**Nama** : Herdiyanti Tjokrowisastro  
**NRP** : 0231154000063  
**Departemen** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing I** : Ir. Harsono Hadi, M.T., Ph.D  
**Dosen Pembimbing II** : Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc

**ABSTRAK**

Salah satu perusahaan memproduksi minyak dan gas di Indonesia adalah PT. SIPL dimana terdapat *H<sub>2</sub>S Removal plant* merupakan serangkaian proses pengolahan gas yang mengolah gas alam menjadi *sweet gas* dalam memenuhi spesifikasi *sales gas*. Untuk menjaga stabilitas produksi gas dibutuhkan tingkat pengamanan yang baik dan analisis potensi bahaya yang dilakukan dengan metode HAZOP untuk menghindari adanya kecelakaan ataupun kegagalan beroperasi. Dalam proses industri terdapat SIS untuk menjaga selama proses ke keadaan aman yang menerapkan satu atau lebih fungsi keselamatan instrumentasi. Dilakukan perhitungan sebelum dan setelah optimisasi untuk sebagai pembandingan pada nilai SIL dan LCC. Didapatkan bahwa potensi bahaya pada *plant* adalah *high risk* dan *moderate risk*. Terdapat perbedaan hasil yaitu sebelum optimisasi didapatkan nilai SIL dan LCC adalah SIL 0 dan USD 16965318 sedangkan setelah dilakukan optimisasi sebesar nilai SIL dan LCC adalah SIL 1 dan USD 570222. Evaluasi SIS yang dapat dilakukan adalah mengurangi jumlah instrumen *transmitter* dan *final element* pada beberapa *loop* pengendalian, mengurangi nilai *failure rate*, serta jumlah generasi dalam rancangan yang dapat meningkatnya nilai SIL dan berkurangnya nilai LCC sebesar USD 16908296.

**Kata Kunci** : HAZOP, LCC, *H<sub>2</sub>S Removal Plant*, SIL, SIS

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**HAZARD AND OPERABILITY STUDY (HAZOP) DAN  
EVALUASI SAFETY INSTRUMENTED SYSTEM  
BERDASARKAN PERHITUNGAN RAMS+C PADA GAS  
PROCESSING FACILITIES (H<sub>2</sub>S REMOVAL)**

**Name** : Herdiyanti Tjokrowisastro  
**NRP** : 0231154000063  
**Department** : Engineering Physics FTI-ITS  
**Supervisor I** : Ir. Harsono Hadi, M.T., Ph.D  
**Supervisor II** : Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc

**ABSTRACT**

*One of the oil and gas production companies is PT. SIPL. where there is H<sub>2</sub>S Removal plant is a series of gas processing processes that process of natural gas into sweet gas to match the specifications of sales gas. To maintain the stabilization of gas production, the plant must have a good level safety and accurate potential hazard analysis is done by HAZOP method to avoid accidents or operational failure. In industrial processes there is a SIS to maintain during the process to a safe state that apply one or more safety instrumentation functions. The calculation before and after optimization is done by comparing the values of SIL and LCC. The results that the potential hazards in the plant is high risk and moderate risk.. There is difference in the results before optimization the SIL and LCC values are SIL 0 and USD 16965318 while after optimization the SIL and LCC values are SIL 1 and USD 570222 . The evaluation of SIS is to reduce the number of transmitter and final element instruments in some control loop, reduce of the value of the failure rate, and the number of generations in the design that can increase SIL value and decrease the LCC value are USD 16908296.*

**Keywords** : HAZOP, LCC, H<sub>2</sub>S Removal Plant, SIL, SIS

***Halaman ini sengaja dikosongkan***



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbilalamin. Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul ***HAZARD AND OPERABILITY STUDY (HAZOP) DAN EVALUASI SAFETY INSTRUMENTED SYSTEM BERDASARKAN PERHITUNGAN RAMS+C PADA GAS PROCESSING FACILITIES (H<sub>2</sub>S REMOVAL)***

Pada kesempatan kali ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Ucapan terimakasih ini, khususnya diberikan kepada :

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmu, bimbingan, serta fasilitas selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika.
2. Bapak Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc dan Bapak Ir. Harsono Hadi, M.T., Ph.D selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan ilmu, petunjuk, nasihat, serta inspirasi yang dapat menjadi bekal dalam perjalanan hidup kedepannya.
3. Bapak Dr. Imam Abadi, S.T., M.T. dan Ibu Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes selaku Dosen Penguji yang telah memberikan ilmu dan petunjuk yang dapat menjadi bekal untuk kedepannya.
4. Ibu Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes selaku Kepala Laboratorium Pengukuran Fisis yang telah memberikan ilmu, bimbingan yang menjadi bekal untuk ke depannya.
5. Bapak Totok Ruki Biyanto, Ph.D selaku dosen wali penulis yang telah membimbing dengan sabar dan perhatian selama perkuliahan.
6. Kedua orang tua serta keluarga atas segala kasih sayang dan doa serta dukungan moril dan materiil yang telah diberikan.

7. Seluruh teman-teman satu angkatan, F50- *Transcendent Frontier* yang telah menemani dan memberikan kesan dan kenangan selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika.
8. Pembimbing tugas akhir saya di PT. SIPL bernama Ibu Ifani serta Bapak Kusnadi telah membantu selama pengambilan data berlangsung dan Bapak Risma telah membantu selama proses administrasi untuk tugas akhir.
9. Teman dekat SMA saya bernama Fatrin yang banyak membantu, memberikan semangat dan motivasi, menemani saya di kala senang ataupun berduka.
10. Teman *partner* mengerjakan Tugas Akhir saya bernama Bella telah membantu selama pengerjaan Tugas Akhir.
11. Seluruh teman Perekonomian BEM ITS 2016/2017 dan seluruh teman kepengurusan Perekonomian BEM ITS 2018/2019 memberikan semangat, serta memberikan kesan dan kenangan selama berorganisasi.
12. Teman-teman seperjuangan tugas akhir di PT. SIPL yang telah membantu selama proses pengambilan data .
13. Seluruh dosen, karyawan dan civitas akademik Teknik Fisika FTI-ITS, terimakasih atas segala bantuan dan kerjasamanya.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan tugas akhir ini tidaklah sempurna, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan permintaan maaf atas kekeliruan apabila ditemukan dikemudian hari. Namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika khususnya, dan civitas akademik ITS pada umumnya. Selain itu juga semoga dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan tugas akhir bagi mahasiswa yang lain.

Surabaya, 28 Juli 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>COVER PAGE</b> .....	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIASME</b> .....	<b>v</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xxi</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	<b>xxiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Manfaat .....	3
1.6 Sistematika Laporan.....	4
<b>BAB II DASAR TEORI</b> .....	<b>5</b>
2.1 <i>Gas Processing Facilities (H<sub>2</sub>S Removal)</i> .....	5
2.2 HAZOP .....	10
2.3. <i>Control chart x-s</i> .....	13
2.4 <i>Safety Instrumented System</i> .....	14
2.5 RAMS+C .....	17
2.6 Teknik Optimisasi.....	19
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>21</b>
3.1. Pengumpulan Data .....	22
3.2. Pengolahan data dan Analisis Bahaya menggunakan Metode HAZOP .....	23
3.2.1. Penentuan <i>Node</i> dan <i>Loop</i> Pengendalian .....	23
3.2.2. Penentuan <i>Guideword</i> .....	27
3.2.3. Penentuan Nilai <i>Likelihood</i> dan Nilai <i>Severity</i> ....	39
3.2.4. Penentuan <i>Risk Ranking</i> .....	43
3.3. Perhitungan SIL dan LCC Sebelum Optimisasi .....	45

3.4.	Optimisasi SIS.....	46
3.4.1.	Data Optimisasi SIS.....	46
3.4.2.	Optimisasi Perancangan SIS.....	49
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>51</b>
4.1.	HAZOP H <sub>2</sub> S Removal Plant .....	51
4.1.1.	Node Amine Contactor Inlet KO Drum.....	51
4.1.2.	Node Amine Contactor .....	52
4.1.3.	Node Amine Overhead Gas KO Drum.....	54
4.1.4.	Node Amine Flash Drum.....	55
4.1.5.	Node Amine Regenerator .....	56
4.1.6.	Node Amine Regenerator Reboiler .....	58
4.1.7.	Node Amine Reflux Drum .....	58
4.1.8.	Node Amine Surge Vessel.....	60
4.2.	Nilai SIL dan LCC Sebelum Optimisasi.....	61
4.3.	Analisis Hasil Optimasi SIL dan LCC .....	68
4.4.	Pembahasan.....	71
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>75</b>
5.1	Kesimpulan .....	75
5.2	Saran .....	75
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>.....</b>	<b>77</b>
<b>LAMPIRAN A</b>	<b>PFD DAN P&amp;ID H<sub>2</sub>S REMOVAL PLANT..</b>	<b>81</b>
<b>LAMPIRAN B</b>	<b>HASIL P&amp;ID H<sub>2</sub>S REMOVAL PLANT .....</b>	<b>92</b>
<b>LAMPIRAN C</b>	<b>CONTROL CHART S .....</b>	<b>93</b>
<b>LAMPIRAN D</b>	<b>DATA MAINTENANCE .....</b>	<b>101</b>
<b>LAMPIRAN E</b>	<b>DATA MAINTENANCE SIS.....</b>	<b>113</b>
<b>LAMPIRAN F</b>	<b>HAZOP WORKSHEET .....</b>	<b>127</b>
<b>LAMPIRAN G</b>	<b>TABEL CAUSE AND EFFECT.....</b>	<b>131</b>
<b>LAMPIRAN H</b>	<b>VALIDASI DATA TUGAS AKHIR.....</b>	<b>132</b>
<b>LAMPIRAN I</b>	<b>PERCOBAAN OPTIMISASI LCC .....</b>	<b>133</b>
<b>LAMPIRAN J</b>	<b>SKRIP KODINGAN MATLAB .....</b>	<b>135</b>
<b>BIODATA PENULIS</b>	<b>.....</b>	<b>157</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Flowchart</i> HAZOP .....	12
Gambar 2. 2 Bentuk dasar <i>control chart</i> .....	13
Gambar 2. 3 Arsitektur SIF 1001 .....	15
Gambar 2. 4 Arsitektur SIF 1002 .....	16
Gambar 2. 5 Arsitektur SIF 1003 .....	16
Gambar 2. 6 Arsitektur SIF 2002 .....	16
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> metodologi penelitian.....	22
Gambar 3. 2 <i>PFD H2S Removal Plant</i> .....	24
Gambar 3. 3 <i>Control chart</i> x bar LIC 165.....	28
Gambar 3. 4 <i>Control chart</i> x bar LIC 352.....	29
Gambar 3. 5 <i>Control chart</i> x bar LIC 167.....	29
Gambar 3. 6 <i>Control chart</i> x bar FIC 100.....	30
Gambar 3. 7 <i>Control chart</i> x bar LIC 168.....	31
Gambar 3. 8 <i>Control chart</i> x bar LIC 170.....	31
Gambar 3. 9 <i>Control chart</i> x bar PIC 110.....	32
Gambar 3. 10 <i>Control chart</i> x bar LIC 172.....	33
Gambar 3. 11 <i>Control chart</i> x bar FIC 312.....	33
Gambar 3. 12 <i>Control chart</i> x bar FIC 303.....	34
Gambar 3. 13 <i>Control chart</i> x bar PIC 111.....	35
Gambar 3. 14 <i>Control chart</i> x bar LIC 173.....	35
Gambar 3. 15 <i>Control chart</i> x bar FIC 137.....	36
Gambar 3. 16 <i>Control chart</i> x bar LIC 175.....	37
Gambar 3. 17 <i>Control chart</i> x bar FIC 107.....	37
Gambar 4. 1 Optimisasi Fungsi Objektif.....	68
Gambar 4. 2 Optimisasi PFDavg.....	70

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	HAZOP <i>worksheet</i> .....	13
Tabel 2. 2	<i>Safety Integrity Level</i> keadaan <i>low demand mode</i> .....	14
Tabel 3. 1	<i>Node H2S removal system plant</i> .....	24
Tabel 3. 2	<i>Loop pengendalian H2S removal system plant</i> .....	25
Tabel 3. 3	<i>Standard guideword</i> .....	27
Tabel 3. 4	Korelasi antara parameter dengan <i>guidewords</i> .....	27
Tabel 3. 5	<i>Guideword loop pengendalian</i> .....	38
Tabel 3. 6	Nilai <i>Likelihood</i> .....	39
Tabel 3. 7	Nilai <i>Severity</i> .....	40
Tabel 3. 8	Hasil perhitungan <i>likelihood</i> .....	41
Tabel 3. 9	Estimasi nilai <i>likelihood</i> .....	42
Tabel 3. 10	Estimasi nilai <i>severity</i> .....	43
Tabel 3. 11	Kriteria <i>risk matrix</i> .....	44
Tabel 3. 12	Penentuan <i>risk ranking</i> .....	44
Tabel 3. 13	Data fraksi kegagalan <i>vote</i> .....	46
Tabel 3. 14	Data <i>level transmitter</i> .....	46
Tabel 3. 15	Data <i>pressure transmitter</i> .....	47
Tabel 3. 16	Data <i>flow transmitter</i> .....	48
Tabel 3. 17	Data <i>final element</i> .....	48
Tabel 3. 18	Data <i>logic solver</i> .....	49
Tabel 3. 19	Data pendukung <i>life cycle cost</i> .....	49
Tabel 4. 1	HAZOP <i>Worksheet Amine Contactor Inlet KO Drum</i> .....	52
Tabel 4. 2	HAZOP <i>Worksheet amine contactor</i> .....	53
Tabel 4. 3	HAZOP <i>Worksheet amine overhead gas ko drum</i> .....	55
Tabel 4. 4	HAZOP <i>Worksheet amine flash drum</i> .....	56
Tabel 4. 5	HAZOP <i>Worksheet amine regenerator</i> .....	57
Tabel 4. 6	HAZOP <i>Worksheet amine regenerator reboiler</i> .....	58
Tabel 4. 7	HAZOP <i>Worksheet amine reflux drum</i> .....	59
Tabel 4. 8	HAZOP <i>Worksheet node amine surge vessel</i> .....	61

Tabel 4. 9 Perhitungan PFD SIS Amine Contactor Inlet KO Drum 135-LSHH-101 .....	61
Tabel 4. 10 Perhitungan PFD SIS <i>Amine Contactor Inlet KO</i> <i>Drum</i> 135-LSHH-166.....	62
Tabel 4. 11 Perhitungan PFD SIS <i>Amine Contactor Inlet KO</i> <i>Drum</i> 135-LSHH-344.....	62
Tabel 4. 12 Perhitungan PFD SIS <i>Amine Contactor Inlet KO</i> <i>Drum</i> 135-LSHH-345.....	62
Tabel 4. 13 Perhitungan PFD SIS <i>Amine Contactor</i> 135-LSLL178 .....	63
Tabel 4. 14 Perhitungan PFD SIS <i>Amine Overhead Gas KO Drum</i> 135-LSLL-169 .....	63
Tabel 4. 15 Perhitungan PFD SIS <i>Amine Flash Drum</i> 135-LSLL- 102 .....	64
Tabel 4. 16 Perhitungan PFD SIS <i>Amine Flash Drum</i> 135-LSLL- 171 .....	64
Tabel 4. 17 Perhitungan PFD SIS <i>Amine Regenerator</i> 135-LSLL- 203 .....	64
Tabel 4. 18 Perhitungan PFD SIS <i>Amine Reflux Drum</i> 135-LSHH 174 .....	65
Tabel 4. 19 Perhitungan PFD SIS <i>Amine Reflux Drum</i> 135-LSLL- 185 .....	65
Tabel 4. 20 Perhitungan PFD SIS <i>Amine Reflux Drum</i> 135-LSLL- 355 .....	66
Tabel 4. 21 Perhitungan LCC pada <i>plant</i> .....	66
Tabel 4. 22 Hasil macam-macam arsitektur dan teknologi .....	69
Tabel 4. 23 Hasil optimisasi PFDavg dan LCC.....	70
Tabel 4. 24 <i>Risk ranking</i> hasil rancangan.....	70



## DAFTAR NOTASI

$UCL_{\bar{x}}$	= <i>Upper control limit <math>\bar{x}</math> bar</i>
$CL_{\bar{x}}$	= <i>Control limit <math>\bar{x}</math> bar</i>
$LCL_{\bar{x}}$	= <i>Lower control limit <math>\bar{x}</math> bar</i>
$UCL_s$	= <i>Upper control limit <math>s</math></i>
$CL_s$	= <i>Control limit <math>s</math></i>
$LCL_s$	= <i>Lower control limit <math>s</math></i>
$\bar{\bar{x}}$	= <i>Rata-rata dari mean (<math>\bar{x}</math>)</i>
$\bar{s}$	= <i>Rata-rata dari standar deviasi (<math>s</math>)</i>
$A_3, B_3, B_4$	= <i>Konstanta mengacu <i>tables of constant for control chart</i></i>
PFD	= <i>Probability Failure On Demand</i>
$\lambda$	= <i>Failure rate (/day)</i>
$T_i$	= <i>Test Interval (/day)</i>
$C_{\text{Moon}}$	= <i>Fraksi kegagalan vote Moon</i>
$\lambda_{dd}$	= <i>Laju kegagalan <i>dangerous detected failures</i> (/hour)</i>
$\lambda_{du}$	= <i>Laju kegagalan <i>dangerous undetected failures</i> (/hour)</i>
$\beta_{dd}$	= <i>Fraksi kegagalan <i>dangerous detected failures</i> (/hour)</i>
$\beta_{du}$	= <i>Fraksi kegagalan <i>dangerous undetected failures</i> (/hour)</i>
$T_r$	= <i>Repair Time (/hour)</i>
LCC	= <i>Life Cycle Cost</i>
$C_{\text{proctot}}$	= <i>Biaya <i>procurement</i> per tahun (\$)</i>
$C_{\text{risktot}}$	= <i>Biaya resiko per tahun (\$)</i>
$C_{\text{optot}}$	= <i>Biaya pengoperasian per tahun (\$)</i>
$C_{\text{designSIS}}$	= <i>Biaya desain SIS (\$)</i>
$C_{\text{purchase}}$	= <i>Biaya pembelian (\$)</i>
$C_{\text{inst/comm}}$	= <i>Biaya instalasi dan pelaksanaan (\$)</i>
$N$	= <i>Jumlah komponen</i>
$C_{\text{pm}}$	= <i>Biaya <i>preventive maintenance</i> (\$)</i>
$C_t$	= <i>Biaya <i>functional test</i> (\$)</i>
$C_{\text{cm}}$	= <i>Biaya <i>corrective maintenance</i> (perbaikan) (\$)</i>
$M$	= <i>Frekuensi <i>maintenance</i> komponen</i>
$\lambda_t$	= <i>Laju kegagalan total komponen (/hour)</i>
$C_{\text{SD}}$	= <i>Biaya akibat <i>spurious shutdown</i> (\$)</i>
$SD_{\text{time}}$	= <i>Waktu <i>shutdown plant</i> (/day)</i>

$SD_{\text{loss}}$	= Biaya kerugian akibat <i>shutdown plant</i> (/day)
$\lambda_{sd}$	= Laju kegagalan <i>safe detected failures</i> (/hour)
$\lambda_{su}$	= Laju kegagalan <i>safe undetected failures</i> (/hour)
$\beta_{sd}$	= Fraksi kegagalan <i>safe detected failures</i> (/hour)
$\beta_{su}$	= Fraksi kegagalan <i>safe undetected failures</i> (/hour)
$C_{\text{ACC}}$	= Biaya akibat kecelakaan (hilangnya aset) (\$)
$F(\text{ACC} \text{PFD}_{\text{avg}})$	= Frekuensi kecelakaan tanpa SIS (/year)
$\text{PFD}_{\text{avg}}$	= <i>Probability failure on demand</i> rata-rata

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam proses industri dibutuhkan upaya perlindungan keselamatan terhadap potensi yang dapat menimbulkan bahaya. Potensi-potensi yang menimbulkan bahaya dapat berasal dari mesin, proses produksi, lingkungan kerja maupun manusia. Dilakukan upaya keselamatan agar terhindar dari peristiwa kecelakaan kerja sehingga tidak menimbulkan kerugian oleh perusahaan tersebut. Kecelakaan kerja terjadi akibat kurang dipenuhinya persyaratan dalam pelaksanaan keselamatan kerja. Pada sektor minyak dan gas bumi diisyaratkan untuk melakukan identifikasi bahaya pada setiap proses yang kemudian dilakukan analisa serta evaluasi dari bahaya tersebut. Produksi gas bumi di Indonesia relatif meningkat sejak tahun 1970 meskipun akhir-akhir ini produksi cenderung stagnan berkisar 8.000 mmscf/d dan pada tahun 2014 produksi gas bumi sebesar 8.177 mmscf/d. [1] Dengan cadangan gas bumi pada tahun 2012-2016 terbukti menurun dalam jumlahnya, pada tahun 2016 mengalami jumlah cadangan yang sedikit naik sebesar 101,22 TSCF. [2] Serta, untuk jumlah kecelakaan kerja pada sektor minyak dan gas di Indonesia bagian hulu yang tertera pada tahun 2012 – 2016 mengalami peningkatan setiap tahunnya dimana tahun 2015 terdapat kecelakaan sebanyak 273 kejadian namun pada tahun 2016 dengan jumlah kejadian kecelakaan mengalami penurunan sebanyak 138 kejadian. [1]

PT. PGN Saka Energi Indonesia (Saka) memiliki peran untuk mencari dan memproduksi gas untuk dipasok ke induk usaha. Lingkup operasi mencakup fasilitas pengolahan darat dan anjungan lepas pantai. Pada *gas processing facilities* terdapat proses utamanya *H<sub>2</sub>S Removal* yang merupakan serangkaian proses untuk mengolah gas alam yang mengandung *hidrogen sulfide* (H<sub>2</sub>S) dan *carbon dioxide* (CO<sub>2</sub>) dapat disebut *sour gas* mengubah menjadi *sweet gas*. Fasilitas yang terdapat pada proses *H<sub>2</sub>S Removal* adalah *amine contactor inlet ko drum*, *amine contactor*, *amine overhead gas ko drum*, *amine flash drum*, *amine regenerator*, *amine regenerator reboiler*, *amine reflux drum*, dan *amine surge vessel*.

Proses tersebut memiliki beberapa kondisi bahaya yang berpotensi menimbulkan kecelakaan di lingkungan, para pekerja maupun hilangnya *asset* perusahaan. Gas yang mengandung kandungan tersebut dapat mengakibatkan kondisi fatal yang termasuk kondisi tidak aman disebabkan oleh penggumpalan dan penyumbatan pada pipa. Kegagalan proses berpotensi bahan mudah terbakar ke lingkungan. Hal ini menjadi kerugian bagi perusahaan dan juga mengakibatkan *downtime* sehingga produksi hilang dari proses tersebut. [3] Faktor-faktor bahaya dapat diketahui dengan analisis bahaya menggunakan metode *HAZOP* untuk mencapai keselamatan kerja di industri proses serta mengidentifikasi dan penyebab dalam proses sehingga semua tingkat bahaya dan masalah utama pada sistem operasional dapat ditentukan. Analisa *HAZOP* terdapat beberapa parameter pada standar untuk menentukan nilai dan tingkat bahaya di setiap komponen. [4] Untuk mencegah bahaya diperlukan komponen pengendali dalam menjaga setiap variabel proses di titik operasi. Apabila mengalami gangguan atau kegagalan beroperasi diperlukan *safety instrumented system* (SIS) untuk melapisi dari fungsi komponen pengendali. *Safety Instrumented System* (SIS) merupakan suatu *safety instrument* untuk mendeteksi dan mencegah bahaya yang menerapkan satu atau lebih fungsi keselamatan. [6] SIS terdiri dari *sensor*, *logic solver*, dan *final element (valves)*. [5] Arsitektur SIF dan keandalan terbukti menjadi metode memperoleh desain yang baik. [6] Arsitektur SIF mengacu pada standar ISA-TR84.00.02-2002. *RAMS+C* merupakan faktor yang mempengaruhi desain dari SIS. Perhitungan RAMS diwakilkan oleh perhitungan *probability failure on demand* rata-rata (PFD<sub>avg</sub>) dan STR. Untuk *cost* atau total biaya diwakilkan oleh perhitungan LCC. [6] Untuk mendapatkan hasil perancangan terbaik dilakukan optimisasi pada variabel objektif diantaranya PFD<sub>avg</sub> dan LCC Dilakukan teknik optimisasi dengan 3 variabel tersebut yaitu dengan menggunakan *genetic algorithm* untuk mencapai hasil yang terbaik di setiap variabel. [6] Oleh karena itu, perlunya dalam Tugas Akhir ini adalah mengidentifikasi bahaya di setiap komponen dan melakukan optimisasi SIS pada *H<sub>2</sub>S Removal plant* dan LCC untuk mendapatkan hasil terbaik.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka permasalahan yang didapatkan sebagai berikut.

- Bagaimana menganalisis bahaya yang terjadi pada *Gas Processing Facilities (H<sub>2</sub>S Removal)* menggunakan metode *HAZOP*?
- Bagaimana evaluasi *safety instrumented system* pada *Gas Processing Facilities (H<sub>2</sub>S Removal)*?
- Bagaimana merancang *safety instrumented system* berdasarkan perhitungan *RAMS+C* pada *Gas Processing Facilities (H<sub>2</sub>S Removal)*?

## 1.3 Tujuan

Berdasarkan permasalahan yang ada didapatkan tujuan yang ingin dicapai sebagai berikut.

- Menganalisis potensi bahaya yang terjadi pada *Gas Processing Facilities (H<sub>2</sub>S Removal)* menggunakan metode *HAZOP*.
- Mengevaluasi *safety instrumented system* pada *Gas Processing Facilities (H<sub>2</sub>S Removal)*.
- Merancang *safety instrumented system* berdasarkan perhitungan *RAMS+C* pada *Gas Processing Facilities (H<sub>2</sub>S Removal)*.

## 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang didapatkan sebagai berikut.

- *Plant* yang digunakan adalah *Gas Processing Facilities (H<sub>2</sub>S Removal)*.
- Analisis bahaya pada *Gas Processing Facilities (H<sub>2</sub>S Removal)* dengan menggunakan metode *HAZOP*.
- Metode teknik optimisasi yang digunakan adalah *genetic algorithm* dengan menggunakan *software* Matlab.

## 1.5 Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini adalah PT. Saka Indonesia Pangkah Limited dapat mempertimbangkan untuk menjalankan sistem dengan *safety* yang lebih baik serta memberikan

rekomendasi sehingga kemungkinan adanya bahaya pada *Gas Processing Facilities (H<sub>2</sub>S Removal)* dapat dikurangi dengan mempertimbangkan faktor keandalan, keamanan, dan biaya pada *instrument* yang digunakan serta ilmu yang diterapkan dapat digunakan sebagai pembelajaran yang sangat berguna untuk ke depannya.

## **1.6 Sistematika Laporan**

Sistematika penulisan laporan tugas akhir adalah sebagai berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab I ini menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika laporan.

### **BAB II DASAR TEORI**

Bab II ini menjelaskan mengenai landasan teori yang berkaitan dengan topik tugas akhir yang terdiri dari *Gas Processing Facilities (H<sub>2</sub>S Removal)*, HAZOP, *control chart  $\bar{x}$ -s*, *safety instrumented system*, RAMS+C, dan teknik optimisasi.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab III ini menjelaskan mengenai langkah pelaksanaan pengerjaan tugas akhir dari awal hingga selesai.

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab IV ini menjelaskan mengenai hasil pengolahan data tugas akhir berupa analisis bahaya menggunakan metode HAZOP, perhitungan SIL dan LCC aktual, serta perancangan SIS berdasarkan perhitungan RAMS+C.

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab V ini menjelaskan tentang kesimpulan dan saran dalam tugas akhir ini sebagai pengembangan penelitian selanjutnya.

## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 *Gas Processing Facilities (H<sub>2</sub>S Removal)*

Pada PT. Saka Indonesia Pangkah Limited (PT. SIPL) merupakan salah satu unit perusahaan dari Perusahaan Gas Negara (PGN) sebagai yang bergerak di bidang hulu minyak dan gas bumi di blok pangkah, berlokasi di ujung pangkah, Gresik, Jawa Timur. Kegiatan eksploitasi minyak dan gas berlangsung sejak Mei 2007 oleh Amerada HESS (Indonesia-Pangkah) Ltd., yang dilanjutkan oleh HESS (Indonesia-Pangkah) Ltd., dan sejak tahun 2014 diambil alih oleh Saka Indonesia Pangkah Limited. Saat ini Blok Pangkah menghasilkan produksi minyak dan kondensat sebesar  $\pm 5.000$  BOPD, gas sebesar  $\pm 34$  MMSCFD, dan LPG sebesar  $\pm 1.800$  BBl/day namun sementara kapasitas produksi terpasang untuk minyak adalah 20.000 BOPD dan gas sebesar 115 MMSCFD. Untuk lingkup operasi Saka Energi Pangkah Limited mencakup fasilitas pengolahan darat (*Onshore Processing Facilities*) dan Anjungan Lepas Pantai WHP A, WHP B, CPP (*Compression Processing Platform*) dan AUP (*Accommodation Utility Platform*). Fasilitas pengolahan darat terdiri dari fasilitas pengolahan minyak, gas, LPG, jetty, dan perpipaan yang berlokasi di kawasan industri maspion dengan luas lahan 30 hektar.

Ketika gas yang akan diekspor terdapat pemrosesan gas lebih lanjut untuk menghilangkan komponen yang tidak diinginkan yang terbawa dari gas alam diantaranya *hydrogen sulfide* (H<sub>2</sub>S), *carbon dioxide* (CO<sub>2</sub>), serta komponen lainnya agar tidak menyebabkan penggumpalan dan penyumbatan dalam pipa. Kondisi ini dapat menimbulkan dampak bahaya besar karena dalam kondisi yang tidak aman. Untuk dapat menghentikan atau terhindari hal buruk yang terjadi dari proses produksi gas alam, maka diperlukan suatu *plant* dalam memproses pengolahan gas dikenal dengan *Gas Processing Facilities*.

Dalam *Gas Processing Facilities* terdapat salah satu *plant* untuk pengolahan gas utama yaitu *H<sub>2</sub>S Removal*. Dalam proses tersebut, dilakukan pemurnian gas yang nantinya digunakan untuk menghilangkan kandungan H<sub>2</sub>S dan CO<sub>2</sub> pada gas alam serta untuk

mengolah *sour gas* mengubah menjadi *sweet gas*. Ini adalah suatu unit proses yang digunakan pada kilang, pabrik pengolahan gas alam dan industri lainnya. Pada penelitian Borhani menyebutkan pada fasilitas pengolahan gas guna memisahkan  $H_2S$  dan  $CO_2$  menggunakan MDEA. [7] Cara yang dilakukan dalam *H<sub>2</sub>S Removal* dengan menggunakan metode absorpsi yang merupakan metode tersebut menggunakan *liquid*.

Fasilitas pengolahan gas pada *H<sub>2</sub>S Removal* akan melalui serangkaian proses untuk memenuhi spesifikasi sales gas. Pada gas asam mengandung *carbon dioxide* ( $CO_2$ ) dan *hydrogen sulfide* ( $H_2S$ ) bila bereaksi dengan air harus dihilangkan untuk mencegah kerusakan korosif peralatan dan saluran pipa. *Hydrogen sulfide* ( $H_2S$ ) juga bersifat beracun dan kandungan sulfur yang diatur. [8]

Instrumen proses yang digunakan dalam pengolahan gas diantaranya :

a. *Amine Contactor Inlet KO Drum*

Unit ini sebagai *feed gas pretreatment* yang didesain untuk menangkap *hydrocarbon liquid* dari aliran gas yang berasal dari *production separator*. *Amine Contactor Inlet knockout drum* didesain beroperasi pada tekanan 40 barg dan suhu  $37^\circ C$ . Tujuan *feed gas pretreatment* adalah untuk mencegah terbawanya kandungan *hydrocarbon liquid* ke proses selanjutnya yang dapat mengakibatkan *foaming* dan *corrosion*.

b. *Amine Contactor*

Unit operasi ini berfungsi untuk melakukan penyerapan atau absorpsi. Pada penyerapan ini terdapat pemisahan komponen dari kandungan gas beracun dalam prosesnya. Dalam instrument ini terdapat beberapa *tray* di dalamnya dan juga terdapat penambahan larutan *amine* sehingga komponen yang tidak diinginkan dapat mengikat yang akan dibawa keluar. Gas masuk melalui *inlet* bagian bawah sedangkan cairan atau dikenal dengan *solvent* melalui *inlet* bagian atas. Komponen yang ingin dipisahkan dari gas beracun akan mengalir bersama *solvent* melalui *outlet*



bagian bawah. Larutan tersebut yang masih terkandung kandungan gas beracun disebut sebagai *rich amine*. Sedangkan, gas yang sudah bersih dari kandungan akan mengalir melalui *outlet* bagian atas. Larutan yang bersih dari kandungan yang tidak diinginkan setelah dilakukan proses didalamnya disebut sebagai *lean amine*. *Amine Contactor* didesain beroperasi pada tekanan 40 barg dan suhu 45°C.

c. *Amine Overhead Gas KO Drum*

Keluaran proses yang dihasilkan dari *amine contactor* berupa *lean amine* yang bersih dari kandungan gas beracun dialirkan dalam *equipment* tersebut. Dalam proses didalamnya terjadi pemisahan *amine* yang *carry over* ke proses selanjutnya dan *amine* tersebut akan dikembalikan ke *amine flash drum*. Gas yang terbebas dari kandungan yang beracun setelah dilakukan pemisahan didalamnya disebut sebagai *sweet gas* untuk diteruskan ke proses *TEG Dehydration System* dengan pengoperasian tekanan 40 barg dan suhu 45°C.

d. *Amine Flash Drum*

Unit ini berfungsi untuk menghilangkan kandungan hidrokarbon dalam *amine*. *Rich amine* masuk ke dalam bagian tengah *flash drum* untuk melepaskan gas beracun. Dalam unit ini terdapat serangkaian *baffle* dalam *flash drum* membantu memisahkan hidrokarbon dan *amine*. Karena hidrokarbon lebih ringan dari *amine*, akan teralirkan pada *baffle* bagian minyak sedangkan *amine* mengalir di *baffle* lain untuk bagian *amine* sendiri. Larutan *amine* yang terpisah tersebut akan melalui proses selanjutnya yaitu *rich amine filter*. *Amine Flash Drum* didesain beroperasi pada tekanan 4,6 barg dan suhu 40°C.

e. *Rich Amine Filter*

Unit ini berfungsi untuk melakukan penyaringan dari aliran gas yang terbawa dari *amine flash drum* bersifat *rich amine*. Filtrasi tersebut lebih efektif untuk menghilangkan kontaminan seperti *solids*, *liquid hydrocarbon*, dan lainnya. Pembersihan kontaminan digunakan untuk mengurangi

masalah korosi, mengurangi *fouling* dalam proses, serta menjaga efisiensi *amine* dan *plant*.

f. *Lean/Rich Amine Exchanger*

Dalam unit ini terjadi pertukaran panas yaitu *rich amine* yang akan dipanaskan keluaran dari *amine contactor* yang akan dialirkan ke *amine regenerator*. Media pemanasnya adalah *lean amine* yang keluar dari *amine regenerator* untuk dialirkan kembali ke *amine contactor* sebagai penyerapan H<sub>2</sub>S. *Rich amine* membutuhkan panas untuk meregenerasi *amine* di *amine regenerator*. Sedangkan, *lean amine* melepaskan panas agar penyerapan H<sub>2</sub>S dalam *amine contactor* lebih optimal. *Lean/Rich Amine Exchanger* didesain beroperasi pada tekanan 8,5 barg dan suhu 110°C (*Lean inlet*), serta suhu 35°C (*Rich inlet*).

g. *Amine Regenerator*

Unit ini digunakan untuk pemisahan dan pemurnian cairan. Pada unit ini memiliki beberapa *tray* di dalamnya, komponen yang diproses dalam unit ini untuk mendapatkan kemurnian suatu komponen tertentu. Sehingga, dihasilkan aliran *sweetening gas* yaitu gas yang terbebas dari H<sub>2</sub>S dan CO<sub>2</sub> sebagai *top product* sedangkan komponen yang masih terkandung sebagai *bottom product* yang nantinya akan diproses pada *amine regenerator reboiler*. *Amine Regenerator* didesain beroperasi pada tekanan 0,5 barg dan suhu 116°C (di *bottom*) serta suhu 96°C (di *top*).

h. *Amine Regenerator Reboiler*

Unit ini berfungsi sebagai pemanas di bagian bawah kolom serta memproduksi ulang *rich amine* yang berasal dari *amine regenerator* untuk digunakan kembali dalam proses absorpsi.

i. *Amine Regenerator Overhead Cooler*

Unit ini digunakan untuk melakukan kondensasi cairan hasil dari *top product amine regenerator*. Suhu dalam unit ini berkisar 130°F - 145°F. Kondensasi tersebut akan dialirkan ke *amine reflux drum*.

- j. *Amine Reflux Drum*  
Unit *amine reflux drum* merupakan tempat untuk menampung hasil kondensasi serta disebut sebagai *two-phase separator* yang digunakan untuk memisahkan kandungan gas asam dari hasil kondensasi. Gas asam tersebut menuju ke bagian atas kolom kemudian dialirkan ke *thermal oxidizer* dan *drain header* sebagai hasil pembuangan. *Amine Reflux Drum* didesain beroperasi pada tekanan 0,5 barg dan suhu 116°C (di *bottom*) serta suhu 96°C (di *top*).
- k. *Amine Drain Vessel*  
Unit ini sebagai tempat penyimpanan sementara dari hasil pemisahan di *amine reflux drum* sebelum dialirkan pada *amine regenerator* untuk diolah kembali di proses selanjutnya.
- l. *Amine Surge Vessel*  
Unit ini sebagai penyimpanan saluran tertutup dalam menyerap adanya kenaikan tekanan jika terjadi secara tiba-tiba dan memerlukan *steam coil* agar viskositas larutan tidak meningkat terlalu tajam saat kondisi cuaca dingin. *Level* pada *amine surge vessel* tersebut dijaga antara 20% - 80%.
- m. *Lean Amine Air Cooler*  
Unit ini digunakan untuk mendinginkan *amine* dalam *air cooler* setelah melalui proses dalam *lean/rich amine exchanger* dimana untuk memberikan kinerja lebih baik. *Lean Amine Air Cooler* beroperasi dengan design suhu 150°C.
- n. *Amine Mechanical Filter*  
Unit ini berfungsi untuk menyaring dan mencegah adanya penempelan *rich amine*. Pada unit ini memungkinkan dengan aliran penuh dan dapat membebaskan 95% partikel dari ukuran *microns* atau lebih. *Amine mechanical filter* beroperasi pada tekanan 5,5 barg dan suhu 45°C.
- o. *Amine Carbon Filter*  
Unit ini memiliki fungsi untuk menyerap serta menghilangkan hidrokarbon dari larutan *amine* yang masuk,

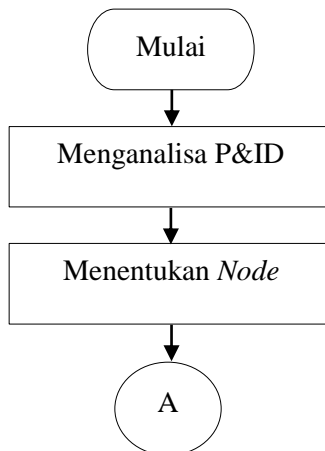
dengan segera aliran dalam *filter* tersebut agar tidak mengalami penumpukan dengan partikel.

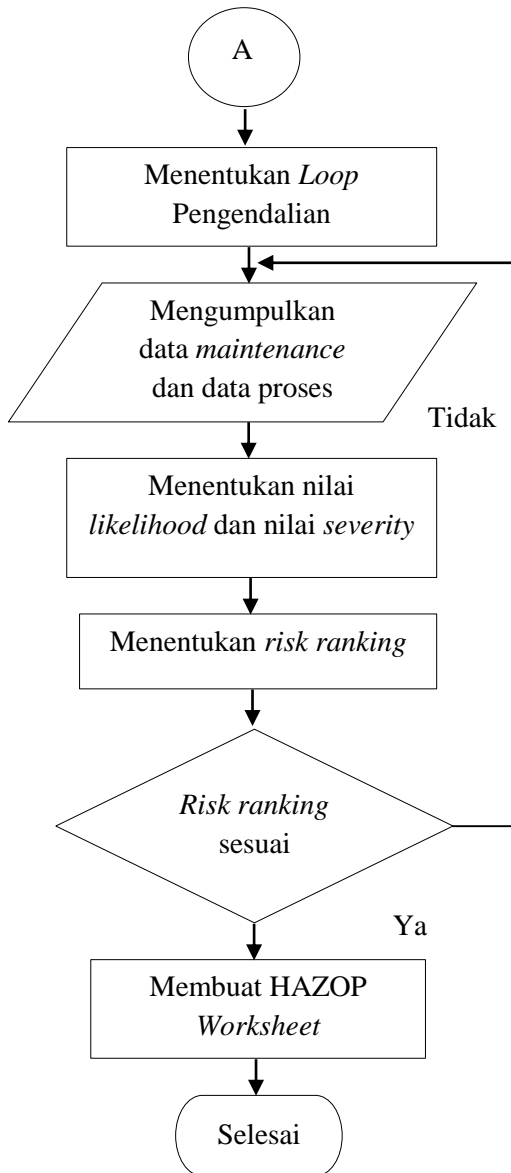
p. *Solvent Filter*

Unit ini digunakan sebagai tempat penyaringan larutan *amine* yang masih berkontaminan dan pengurangan oksidatif *amine* yang tergradasi yang disebabkan oleh adanya oksigen.

## 2.2 HAZOP

*Hazard and Operability Study* atau disebut dengan HAZOP merupakan sebuah metode untuk menganalisa bahaya dan masalah dari suatu proses pada sistem. Salah satu tujuan dari HAZOP adalah untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi bahaya dalam proses. [3] Dalam pengidentifikasian bahaya menggunakan *guideword* sebagai titik studi potensi bahaya. Studi HAZOP bermanfaat untuk mengetahui potensi bahaya dalam proses pada sistem bahwa resiko yang disebabkan oleh penyimpangan dari setiap bagian proses. [4] Secara garis besar, prosedur dalam melakukan HAZOP sebagai berikut.





### Gambar 2.1 *Flowchart* HAZOP

*Flowchart* HAZOP di atas merupakan langkah-langkah dalam menganalisis bahaya. Urutan langkah-langkah yang harus dilakukan sebagai berikut :

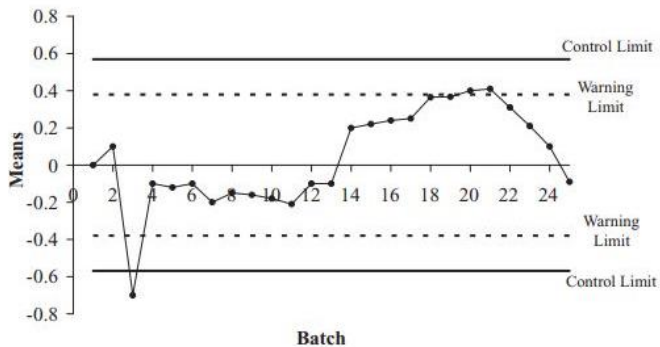
- a. Menganalisis P&ID  
Pada analisis P&ID untuk mengetahui alur dari sistem proses yang meliputi jalur pipa, *instrument*, *transmitter*, *valve*, dan sebagainya.
- b. Menentukan *node*  
Penentuan *node* berdasarkan dari bagian-bagian proses yang memiliki peluang bahaya.
- c. Menentukan *loop* pengendalian  
*Loop* pengendalian dapat ditentukan dari masing-masing *node* tersebut.
- d. Mengumpulkan data *maintenance* dan data proses  
Pada data *maintenance* digunakan untuk menentukan dari kriteria nilai *likelihood*. Sedangkan, pada data proses digunakan untuk diolah menjadi *control chart  $\bar{x}$ -s*. Pada *control chart  $\bar{x}$ -s* untuk mengetahui penyimpangan dengan itu dapat menentukan *guideword* serta deviasi terhadap parameter.
- e. Menentukan nilai *likelihood* dan nilai *severity*  
Nilai *likelihood* ditentukan seberapa besar komponen mengalami kegagalan beroperasi dalam kurun waktu tertentu. Sedangkan, nilai *severity* dapat diketahui tingkat keparahan dari kegagalan atau bahaya di beberapa aspek.
- f. Menentukan *risk ranking*  
Kriteria *risk ranking* diperoleh dari hasil perkalian nilai *likelihood* dan nilai *severity*.
- g. Membuat HAZOP *worksheet*  
HAZOP *worksheet* sebagai rangkuman hasil analisis bahaya yang dilakukan. Sebagaimana contoh HAZOP *worksheet* sebagai berikut.

**Tabel 2.1** HAZOP *worksheet*

Node	GW	Dev	Causes	Consequence	Safe guards	L	S	R	Rec

### 2.3. Control chart $\bar{x}$ -s

*Control chart* merupakan grafik statistik yang menggambarkan batas kendali dari suatu proses. *Control chart* terdiri dari batas atas (UCL), batas bawah (LCL), dan batas pusat (CL). Berikut merupakan salah satu contoh dari *control chart* :



**Gambar 2. 2** Bentuk dasar *control chart* [17]

*Control chart*  $\bar{x}$  digunakan untuk menganalisis nilai rata-rata (mean) dari parameter dalam suatu proses. Dalam menentukan batas kendali pada *control chart*  $\bar{x}$  digunakan dari persamaan :

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_3\bar{s} \quad (2.1)$$

$$CL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} \quad (2.2)$$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_3\bar{s} \quad (2.3)$$

Untuk *control chart s* digunakan untuk mengukur keakurasian data dalam suatu proses. Dalam menentukan batas kendali pada *control chart s* digunakan dari persamaan :

$$UCL_s = B_4 \bar{s} \quad (2.4)$$

$$CL_s = \bar{s} \quad (2.5)$$

$$LCL_s = B_3 \bar{s} \quad (2.6)$$

*Control chart* yang berkaitan dengan HAZOP digunakan untuk menentukan deviasi yang sesuai. Metode ini dapat menentukan *guidewords* yang tepat untuk dianalisis. Metode ini dapat juga mempersingkat waktu analisis. [9]

## 2.4 Safety Instrumented System

*Safety Instrumented System* (SIS) merupakan sistem instrumentasi yang menerapkan satu atau lebih fungsi keselamatan oleh instrumentasi (SIF). SIS terdiri dari kombinasi sensor, *logic solver*, dan *final element*. [5] SIS terdiri dari beberapa SIF yang dapat disebut sebagai *safety barrier* atau lapisan pelindung. [10] *Safety Integrity Level* (SIL) merupakan tingkat keamanan dari suatu komponen dan dinyatakan sebagai ukuran besaran PFD. Sementara, PFD atau probabilitas kegagalan adalah kegagalan yang terjadi di komponen atau sistem. Pada penentuannya, SIL terbagi menjadi dua mode permintaan yaitu *low demand operation* dan *high demand operation*. *Low demand operation* adalah sistem yang beroperasi atau kurang atau sama dengan sekali dalam setahun, lebih pada sistem proteksi sedangkan untuk *high demand operation* adalah sistem yang beroperasi lebih dari sekali dalam setahun, lebih pada sistem pengendalian. Berikut merupakan Tabel 2.2 SIL dalam keadaan *low demand operation*. [11]

**Tabel 2.2** *Safety Integrity Level* keadaan *low demand mode*

<i>Safety Integrity Level</i> (SIL)	<i>Probability Failure on Demand</i> (PFD)
4	$\geq 10^{-5}$ to $< 10^{-4}$
3	$\geq 10^{-4}$ to $< 10^{-3}$



**Tabel 2.2** *Safety Integrity Level* keadaan *low demand mode* (Lanjutan)

<i>Safety Integrity Level</i> (SIL)	<i>Probability Failure on Demand</i> (PFD)
2	$\geq 10^{-3}$ to $< 10^{-2}$
1	$\geq 10^{-2}$ to $< 10^{-1}$

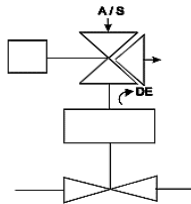
Dalam menentukan nilai SIL dalam suatu komponen dapat dihitung dengan menggunakan nilai *Probability Failure on Demand* (PFD). Nilai SIL dihitung dengan menggunakan *data maintenance* di tiap *instrument*. Dari data *maintenance* yang didapat digunakan untuk menentukan nilai MTTF dan laju kegagalan ( $\lambda$ ). Untuk nilai MTTF didapatkan dari rata-rata *time to failure* (TTF). Sedangkan, untuk nilai kegagalan didapatkan dari persamaan :

$$\lambda = 1/\text{MTTF} \quad (2.7)$$

Setelah mendapatkan laju kegagalan, dihitung nilai PFD berdasarkan arsitektur SIF. Berikut merupakan arsitektur SIF diantaranya. [12]

1. 1oo1 artinya *one out of one*, seperti pada Gambar 2.3 dimana terdapat 1 keluaran dari 1 SIF.

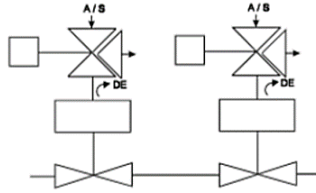
$$PFD_{1oo1} = (\lambda \times Ti)/2 \quad (2.8)$$



**Gambar 2.3** Arsitektur SIF 1oo1[12]

2. 1oo2 artinya *one out of two*, seperti pada Gambar 2.4 dimana terdapat 1 keluaran dari 2 SIF.

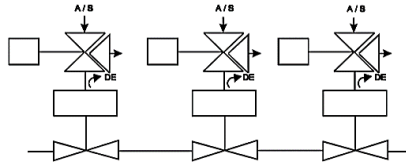
$$PFD_{1oo2} = (\lambda^2 \times Ti^2)/4 \quad (2.9)$$



**Gambar 2. 4** Arsitektur SIF 1oo2[12]

3. 1oo3 artinya *one out of three*, seperti pada Gambar 2.5 dimana terdapat 1 keluaran dari 3 SIF.

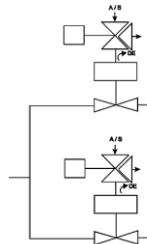
$$PFD_{1oo3} = (\lambda^3 \times Ti^3)/8 \tag{2.10}$$



**Gambar 2. 5** Arsitektur SIF 1oo3[12]

4. 2oo2 artinya *two out of two*, seperti pada Gambar 2.6 dimana terdapat 2 keluaran dari 2 SIF.

$$PFD_{2oo2} = \lambda \times Ti \tag{2.11}$$



**Gambar 2. 6** Arsitektur SIF 2oo2[12]

5. 2oo3 artinya *two out of three*, dimana terdapat 2 keluaran dari 3 SIF.

$$PFD_{2oo3} = \lambda^2 \times Ti^2 \tag{2.12}$$

6. 2oo4 artinya *two out of four*, dimana terdapat 2 keluaran dari 4 SIF.

$$PFD_{2004} = \lambda^3 x Ti^3 \quad (2.13)$$

Nilai PFD dihitung berdasarkan masing-masing komponen. Nilai PFD akan dijumlah dengan persamaan :

$$PFD_{avg} = \sum PFD_{sensor} + \sum PFD_{LS} + \sum PFD_{valve} \quad (2.14)$$

Selain penentuan dari arsitektur, nilai SIL juga ditentukan dari kombinasi tipe subsistem. Terdapat 2 subsistem yaitu tipe A dan tipe B. Untuk contoh subsistem pada tipe A diantaranya *relay*, *solenoid*, dan *transmitter konvensional*. Sedangkan, untuk contoh subsistem pada tipe B diantaranya komponen yang menggunakan mikroprosesor seperti *smart transmitter*, dan sebagainya.

## 2.5 RAMS+C

RAMS merupakan singkatan dari *reliability*, *availability*, *maintainability*, dan *safety*. *Reliability* adalah kemampuan suatu sistem atau komponen dalam menjalankan fungsi kerja dalam periode waktu tertentu. *Availability* adalah probabilitas suatu sistem atau komponen untuk dijaga dalam keadaan berfungsi. *Maintainability* adalah probabilitas kegagalan suatu sistem atau komponen yang akan diperbaiki dalam periode waktu tertentu. *Safety* atau keselamatan adalah persyaratan untuk tidak membahayakan orang, lingkungan, atau aset selama siklus hidup sistem. [13] Pengukuran ini bertujuan sebagai integritas keselamatan pada suatu sistem. [14] Jika *instrument* kurang diterima, maka *user* dapat menolak penggunaan *instrument* tersebut.

Perhitungan RAMS dilakukan dengan perhitungan *probability failure on demand* rata-rata (PFDavg). [14] PFDavg merupakan perhitungan untuk menentukan SIL dari suatu sistem. Persamaan perhitungan untuk digunakan PFD *dangerous independent failure basic event* sebagai berikut.

$$PFD_{avg} = (1 - C_{MOON} x \beta_{dd}) x \lambda_{dd} x T_r + (1 - C_{MOON} x \beta_{du}) x \lambda_{du} x \left(\frac{T_i}{2} + T_r\right) \quad (2.15)$$

Pada sistem keamanan yang digunakan di industri harus memiliki biaya yang tidak terlalu besar atau efektif. *Life cycle cost* merupakan perhitungan biaya total dari keseluruhan sistem meliputi biaya *design, procurement, operation, dan risk*. Untuk perhitungan *life cycle cost* sebagai berikut.

$$LCC = C_{proctot} + C_{optot} + C_{risktot} \quad (2.16)$$

Biaya *procurement* per tahun didapat dari persamaan berikut

$$C_{proctot} = C_{designSIS} + C_{startup,SE} + C_{startup,LS} + C_{startup,FE} \quad (2.17)$$

Dimana :

$$C_{startup} = (C_{purchase} + C_{inst/com}) \times N \quad (2.18)$$

Biaya operasional per tahun didapat dari persamaan berikut :

$$C_{optot} = C_{opSE} + C_{opLS} + C_{opFE} \quad (2.19)$$

$$C_{op(SE/LS/FE)} = C_{pmtot} + C_{testtot} + C_{cmtot} \quad (2.20)$$

Dimana :

$$C_{pmtot} = 1/M \times C_{pm} \times N \quad (2.21)$$

$$C_{testtot} = 1/Ti \times C_t \times N \quad (2.22)$$

$$C_{cmtot} = \lambda_{tot} \times C_{cm} \times N \quad (2.23)$$

Biaya resiko per tahun didapat dari persamaan berikut :

$$C_{risktot} = C_{STR} + C_{hazard} \quad (2.24)$$

Pada biaya *spurious trip rate* didapatkan dari biaya produksi yang hilang akibat *spurious shutdown* dengan persamaan berikut :

$$C_{STR} = STR_{avg} \times C_{SD} \quad (2.25)$$

Dimana :

$$C_{SD} = SD_{time} \times SD_{toss} \quad (2.26)$$

$$STR_{avg} = \sum STR_{SE} + \sum STR_{LS} + \sum STR_{FE} \quad (2.27)$$

$$STR = (1 - C_{MOON} \times \beta_{sd}) \times \lambda_{sd} \times T_r + (1 - C_{MOON} \times \beta_{su}) \times \lambda_{su} \quad (2.28)$$

Untuk biaya bahaya meliputi biaya akibat kecelakaan, didapatkan dari persamaan berikut :

$$C_{hazard} = C_{acc} \times F(ACC|PFD_{avg}) \times PFD_{avg} \quad (2.29)$$

Dalam menentukan  $PFD_{avg}$ , terlebih dahulu menghitung dengan persamaan berikut :

$$PFD_{avg} = \sum PFD_{SE} + \sum PFD_{LS} + \sum PFD_{SE} \quad (2.30)$$

## 2.6 Teknik Optimisasi

Dalam melakukan desain diharapkan mencapai hasil desain yang terbaik, salah satunya dengan pengoptimalan desain. Dengan mengetahui hasil pengoptimalan pada desain dalam sistem maka digunakan optimisasi yang bertujuan untuk memaksimalkan atau meminimalkan variabel. [14] Teknik optimisasi yang digunakan dalam kasus SIS adalah *genetic algorithm*. [15] *Genetic algorithm* didasarkan pada proses genetika yang digunakan untuk menemukan solusi optimal. Dalam metode *genetic algorithm* prosedur pencariannya didasarkan pada nilai fungsi tujuan. [16] *Genetic algorithm* dituliskan menggunakan *software* Matlab.

Dalam menyelesaikan optimisasi, tahapan-tahapan pada *genetic algorithm* adalah sebagai berikut :

### i. Inisiasi

Populasi awal dari kandidat solusi dicari secara acak pada seluruh ruang pencarian. Populasi awal ini dengan pengkodean kromosom. Kromosom diwakili oleh beberapa gen. Jenis kode yang digunakan adalah biner, yaitu 0 dan 1.

## ii. Evaluasi

Ketika populasi telah diinisiasi, nilai *fitness* dari tiap individu dievaluasi. Nilai *fitness* merupakan nilai dari kemampuan solusi untuk bertahan.

## iii. Seleksi

Pada seleksi lebih banyak salinan dari solusi dengan nilai *fitness* yang lebih tinggi dan memberlakukan mekanisme *survival* dari tiap *fitness* di tiap kandidat solusi. Tahap seleksi adalah untuk mendapatkan solusi terbaik dari generasi terburuk.

## iv. Rekombinasi

Pada rekombinasi mengkombinasikan dua atau lebih bagian untuk membentuk individu baru yang terjadi terbentuknya solusi lebih baik. Tahap rekombinasi menggunakan mekanisme *crossover* dimana mekanisme ini terdapat kromosom induk dipotong oleh *crossover point* sehingga gen tiap kromosom bertukar silang dan menghasilkan anak.

## v. Mutasi

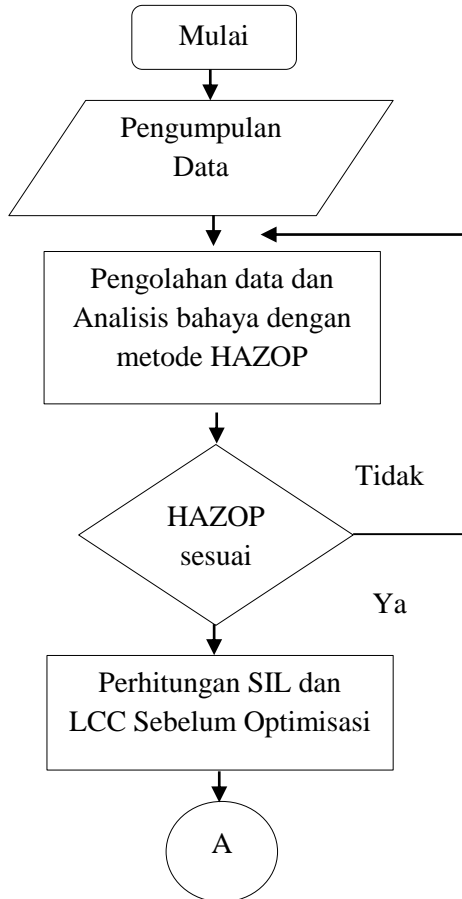
Ketika rekombinasi beroperasi terhadap dua atau lebih kromosom, mutasi memodifikasi sebuah solusi. Mutasi melibatkan satu atau lebih perubahan sifat individu.

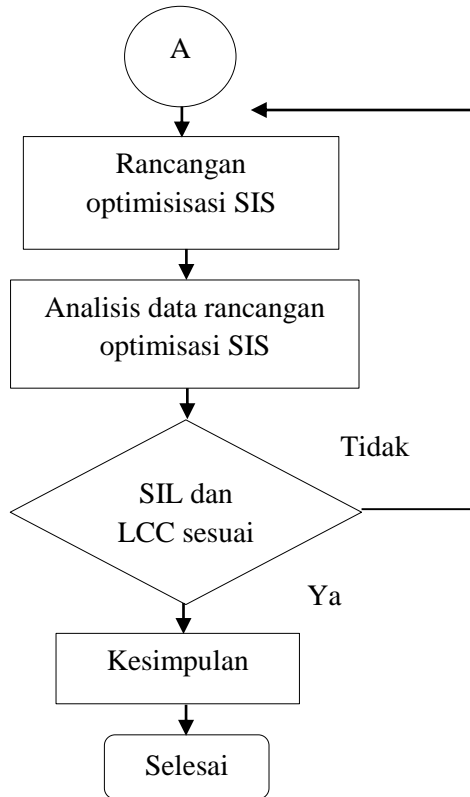
## vi. Penggantian

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

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian dalam tugas akhir ini terdapat beberapa tahapan yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut :





**Gambar 3. 1** *Flowchart* metodologi penelitian

### 3.1. Pengumpulan Data

Dalam membuat HAZOP *worksheet* data yang digunakan adalah Data P&ID, data proses, dan data kegagalan untuk menentukan *node* dan deviasi serta menentukan nilai *likelihood* dan nilai *severity*.

Data yang digunakan dalam menghitung nilai  $PF_{D_{avg}}$  dan LCC aktual merupakan data kegagalan instrumen, total biaya digunakan untuk *maintenance* instrumen, dan total perkiraan biaya kerugian apabila instrumen mengalami kegagalan beroperasi.



Data nilai  $PF_{D_{avg}}$  rancangan adalah data sekunder yang berupa data laju kegagalan ( $\lambda$ ) yaitu  $\lambda_{dd}$ ,  $\lambda_{du}$ ,  $\lambda_{sd}$ ,  $\lambda_{su}$ , dan  $\lambda_t$ , serta fraksi kegagalan ( $\beta$ ) yaitu  $\beta_{dd}$ ,  $\beta_{du}$ ,  $\beta_{sd}$ , dan  $\beta_{su}$  yang terdapat pada *sensing element*, *logic solver*, dan *final element* pada tiap *element* di tiap teknologi. Sedangkan, data untuk nilai LCC rancangan adalah data sekunder yang berupa biaya pembelian instrumen, biaya desain dan instalasi/*commissioning instrument*, biaya *maintenance* instrumen, biaya perbaikan instrumen, biaya *testing* instrumen, dan total biaya akibat terjadinya kegagalan.

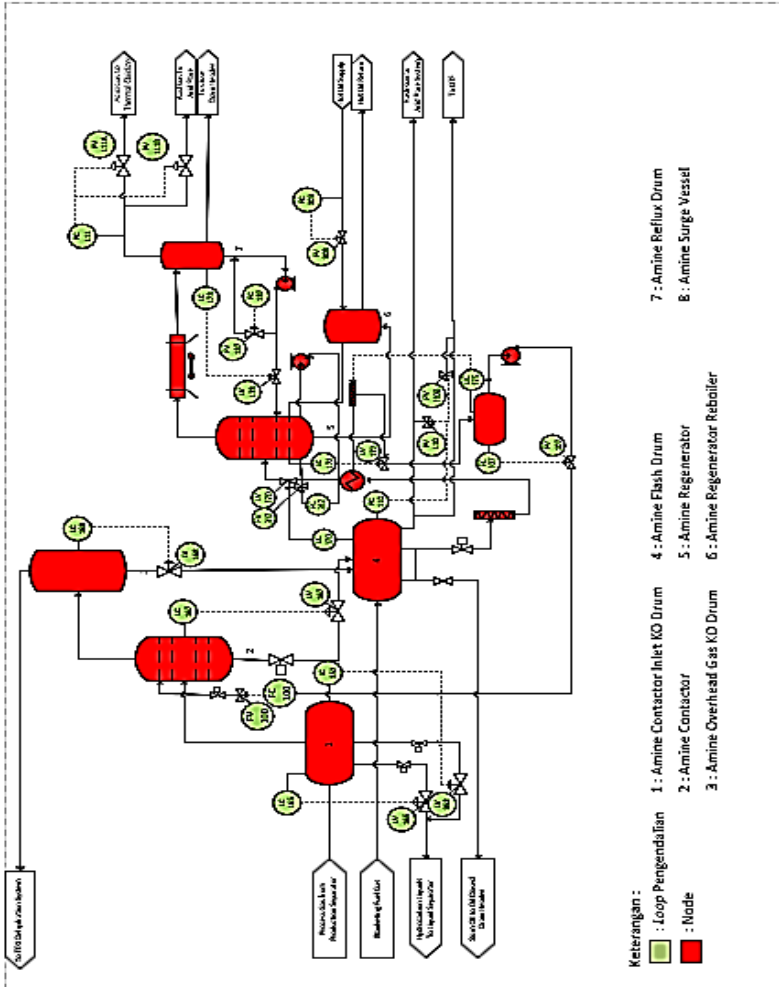
### **3.2. Pengolahan data dan Analisis Bahaya menggunakan Metode HAZOP**

Potensi bahaya diperoleh dari adanya penyimpangan pada data proses. Potensi bahaya dapat diketahui dan dijelaskan dalam menggunakan metode HAZOP. Langkah-langkah yang digunakan dalam metode HAZOP sebagai berikut :

#### **3.2.1. Penentuan *Node* dan *Loop* Pengendalian**

Dalam penentuan *node* dan *loop* pengendalian perlu dilakukan dengan menganalisis PFD dan P&ID *H<sub>2</sub>S Removal System Plant*. Penentuan *node* dan *loop* pengendalian ditunjukkan pada Gambar 3.2.

Pada penentuan *node* didapatkan 8 *node* yang menjadi proses utama pada *H<sub>2</sub>S removal system plant*. Pilihan *node* berdasarkan adanya pengendalian proses pada *plant* serta adanya *safety instrumented system* pada *plant* tersebut yang akan dijelaskan pada Tabel 3.1



**Gambar 3. 2 PFD H<sub>2</sub>S Removal Plant**

Berdasarkan pada Gambar 3.2 yang termasuk ke dalam *node* adalah semua proses didalamnya yaitu *amine contactor inlet ko drum*, *amine contactor*, *amine overhead gas ko drum*, *amine flash drum*, *amine regenerator*, *amine regenerator reboiler*, *amine reflux drum*, dan *amine surge vessel*.

**Tabel 3.1** *Node H<sub>2</sub>S removal system plant*

<i>Node</i>	<b>Deskripsi</b>	<i>Tag</i>
1	<i>Amine Contactor Inlet KO Drum</i>	135-V-01
2	<i>Amine Contactor</i>	135-V-06
3	<i>Amine Overhead Gas KO Drum</i>	135-V-09
4	<i>Amine Flash Drum</i>	135-V-10
5	<i>Amine Regenerator</i>	135-V-07
6	<i>Amine Regenerator Reboiler</i>	135-H-03
7	<i>Amine Reflux Drum</i>	135-V-11
8	<i>Amine Surge Vessel</i>	135-V-02

Langkah selanjutnya adalah menentukan *loop* pengendalian. *Loop* pengendalian ditentukan menggunakan P&ID pada masing-masing *node*. Penentuan *loop* pengendalian berguna untuk mengetahui jenis pengendalian dan SIS yang terpasang di *plant*.

Berdasarkan Gambar 3.2 terdapat *loop* pengendalian di dalamnya dijelaskan pada Tabel 3.2 sebagai berikut.

**Tabel 3.2** *Loop pengendalian H<sub>2</sub>S removal system plant*

<i>Node</i>	<i>Loop</i>	<b>Loop Pengendalian</b>	<i>Instrument</i>
<i>Amine Contactor Inlet KO Drum</i>	1	<i>Level 165</i>	LT 165
			LIC 165
			LV 165
	2	<i>Level 352</i>	LT 352
			LIC 352
			LV 352
<i>Amine Contactor</i>	3	<i>Level 167</i>	LT 167
			LIC 167
			LV 167
	4	<i>Flow 100</i>	FT 100
			FIC 100
			FV 100

**Tabel 3.2** Loop pengendalian  $H_2S$  removal system plant (Lanjutan)

<i>Node</i>	<i>Loop</i>	<i>Loop Pengendalian</i>	<i>Instrument</i>
<i>Amine Overhead Gas KO Drum</i>	5	<i>Level 168</i>	LT 168
			LIC 168
			LV 168
<i>Amine Flash Drum</i>	6	<i>Level 170</i>	LT 170
			LIC 170
			LV 170
	7	<i>Pressure 110</i>	PT 110
			PIC 110
			PV 110 A/B
<i>Amine Regenerator</i>	8	<i>Level 172</i>	LT 172
			LIC 172
			LV 172
	9	<i>Flow 312</i>	FT 312
			FIC 312
			FV 312
<i>Amine Regenerator Reboiler</i>	10	<i>Flow 303</i>	FT 303
			FIC 303
			FV 303
<i>Amine Reflux Drum</i>	11	<i>Pressure 111</i>	PT 111
			PIC 111
			PV 111
	12	<i>Level 173</i>	LT 173
			LIC 173
			LV 171
	13	<i>Flow 137</i>	FT 137
			FIC 137
			FV 137
<i>Amine Surge Vessel</i>	14	<i>Level 175</i>	LT 175
			LIC 175
			LV 172
	15	<i>Flow 107</i>	FT 107
			FIC 107
			FV 107

### 3.2.2. Penentuan *Guideword*

Setelah mendapatkan *node* dan *loop* pengendalian, langkah selanjutnya adalah menentukan deviasi yang terjadi pada masing-masing *loop* pengendalian menggunakan analisis data proses dimana diplot pada grafik *control chart*. Pada deviasi digambarkan dengan parameter dan *guideword*. Parameter digunakan untuk menentukan jenis variabel proses. Sedangkan, *guideword* digunakan untuk menentukan jenis penyimpangan yang terjadi pada parameter tersebut. Parameter dan *guideword* ini sesuai referensi HAZOP PT. SIPL. *Standard guideword* yang digunakan oleh perusahaan pada Tabel 3.3 sebagai berikut.

**Tabel 3.3** *Standard guideword*

<b><i>Guidewords</i></b>	<b><i>Meaning</i></b>
<i>None, empty</i>	Tidak ada tujuan yang tercapai
<i>High</i>	Kenaikan kuantitatif pada parameter
<i>Low</i>	Penurunan kuantitatif pada parameter
<i>Reverse</i>	Terjadi kebalikan dari tujuan parameter
<i>Change in Concentration</i>	Adanya perubahan aktivitas pada parameter

**Tabel 3.4** Korelasi antara parameter dengan *guidewords*

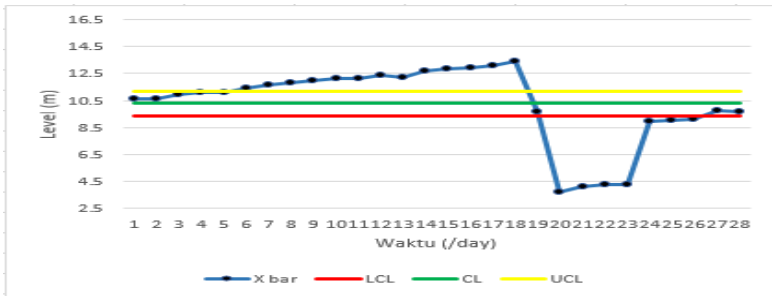
<b><i>Parameter</i></b>	<b><i>Guidewords</i></b>
<i>Flow</i>	<i>High ; Low ; None ; Reverse</i>
<i>Level</i>	<i>High ; Low ; Empty</i>
<i>Pressure</i>	<i>High ; Low</i>
<i>Temperature</i>	<i>High ; Low</i>
<i>Composition</i>	<i>Change in Concentration</i>

Berdasarkan Tabel 3.3 dapat diketahui bahwa terdapat 5 macam *guideword* yang digunakan. *Guideword* tersebut menunjukkan adanya perubahan yang terjadi pada parameter. Sedangkan, pada Tabel 3.4 diketahui bahwa terdapat 5 variabel proses yang menjadi parameter.

Deviasi ditentukan dengan mengamati adanya poin yang melampaui *upper control limit* ataupun *lower control limit*. Pada

*loop level*, *loop flow*, dan *loop pressure* apabila terlihat melampaui *upper limit* maka *guideword* yang digunakan adalah *high*, apabila terlihat melampaui *lower limit* maka *guideword* yang digunakan adalah *low*. Namun, pada *loop level*, *loop flow*, dan *loop pressure* apabila terlihat tidak terjadi deviasi maka *guideword* yang digunakan adalah *None* dan *Empty*. Nilai CL, LCL, UCL ditentukan berdasarkan persamaan 2.1-2.3. Hasil plot grafik pada *control chart x* di masing-masing *loop* sebagai berikut.

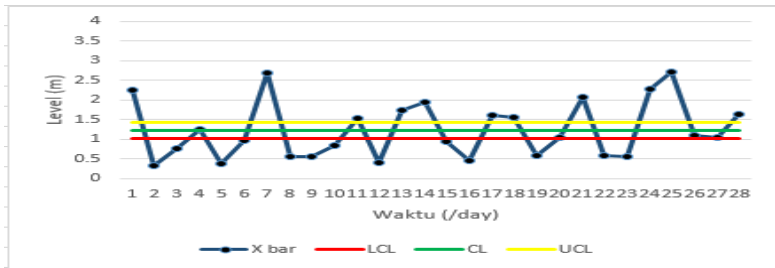
a. *Loop* pengendalian *level 165*, *Amine Contactor Inlet KO Drum*



**Gambar 3.3** *Control chart x bar* LIC 165

Berdasarkan Gambar 3.3 *plot* data yang diketahui bahwa terdapat memiliki 4 *line* yaitu *line* batas atas berwarna kuning sebagai UCL, *line* batas pusat berwarna hijau sebagai CL, *line* batas bawah berwarna merah sebagai LCL, dan *line* berwarna biru sebagai data proses yang diambil selama 1 bulan. Didapatkan  $\bar{x}$  sebesar 10,2669 sebagaimana sesuai dengan perhitungan pada persamaan (2.1-2.3) kemudian dilakukan *plot* data untuk nilai CL adalah 10,2669, sedangkan untuk nilai UCL dan LCL adalah 11,1544 dan 9,3795. Pada grafik didapatkan beberapa poin dari data proses melampaui nilai *upper* dan *lower*, sehingga disimpulkan pada *loop level 165* terdapat deviasi **Low** dan **High**.

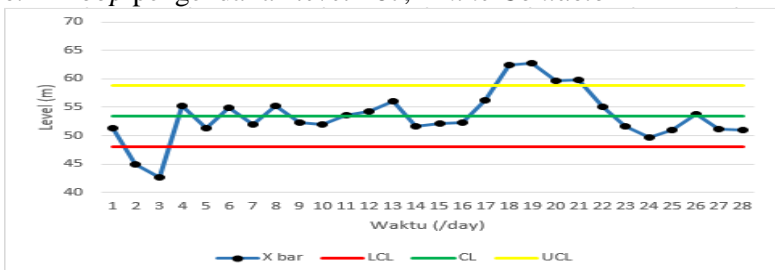
b. *Loop pengendalian level 352, Amine Contactor Inlet KO Drum*



**Gambar 3.4** *Control chart x bar LIC 352*

Berdasarkan Gambar 3.4 *plot* data yang diketahui bahwa terdapat memiliki 4 *line* yaitu *line* batas atas berwarna kuning sebagai UCL, *line* batas pusat berwarna hijau sebagai CL, *line* batas bawah berwarna merah sebagai LCL, dan *line* berwarna biru sebagai data proses yang diambil selama 1 bulan. Didapatkan  $\bar{x}$  sebesar 1,2255 sebagaimana sesuai dengan perhitungan pada persamaan (2.1-2.3) kemudian dilakukan *plot* data untuk nilai CL adalah 1,2255, sedangkan untuk nilai UCL dan LCL masing-masing adalah 1,42851 dan 1,02249. Pada grafik didapatkan beberapa poin dari data proses melampaui nilai *upper* dan *lower*, sehingga disimpulkan pada *loop level 352* terdapat deviasi **Low** dan **High**.

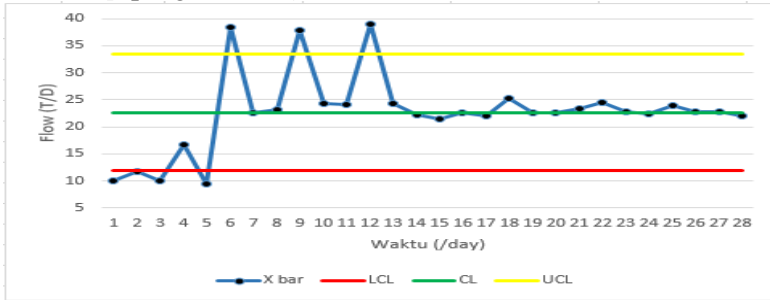
c. *Loop pengendalian level 167, Amine Contactor*



**Gambar 3.5** *Control chart x bar LIC 167*

Berdasarkan Gambar 3.5 *plot* data yang diketahui bahwa terdapat memiliki 4 *line* yaitu *line* batas atas berwarna kuning sebagai UCL, *line* batas pusat berwarna hijau sebagai CL, *line* batas bawah berwarna merah sebagai LCL, dan *line* berwarna biru sebagai data proses yang diambil selama 1 bulan. Didapatkan  $\bar{x}$  sebesar 53,40479 sebagaimana sesuai dengan perhitungan pada persamaan (2.1-2.3) kemudian dilakukan plot data untuk nilai CL adalah 53,40479, sedangkan untuk nilai UCL dan LCL masing-masing adalah 58,79593 dan 48,01365. Pada grafik didapatkan beberapa poin dari data proses melampaui nilai *upper* dan *lower*, sehingga disimpulkan pada *loop level* 167 terdapat deviasi **Low** dan **High**.

d. *Loop* pengendalian *flow* 100, *Amine Contactor*

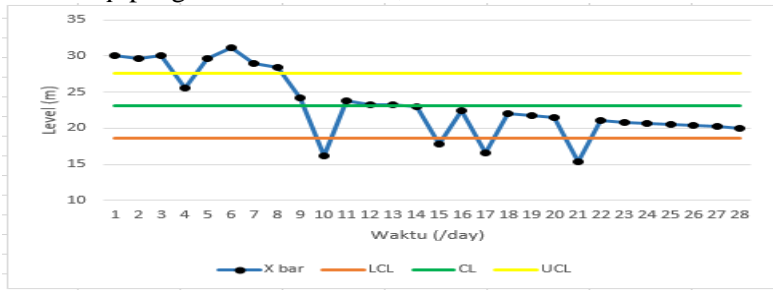


**Gambar 3. 6** *Control chart* x bar FIC 100

Berdasarkan Gambar 3.6 *plot* data yang diketahui bahwa terdapat memiliki 4 *line* yaitu *line* batas atas berwarna kuning sebagai UCL, *line* batas pusat berwarna hijau sebagai CL, *line* batas bawah berwarna merah sebagai LCL, dan *line* berwarna biru sebagai data proses yang diambil selama 1 bulan. Didapatkan  $\bar{x}$  sebesar 22,665285 sebagaimana sesuai dengan perhitungan pada persamaan (2.1-2.3) kemudian dilakukan plot data untuk nilai CL adalah 22,665285, sedangkan untuk nilai UCL dan LCL masing-masing adalah 33,389499 dan 11,941073. Pada grafik didapatkan beberapa poin dari data proses melampaui nilai *upper* dan *lower*, sehingga disimpulkan pada *loop flow* 100 terdapat deviasi **Low** dan **High**.



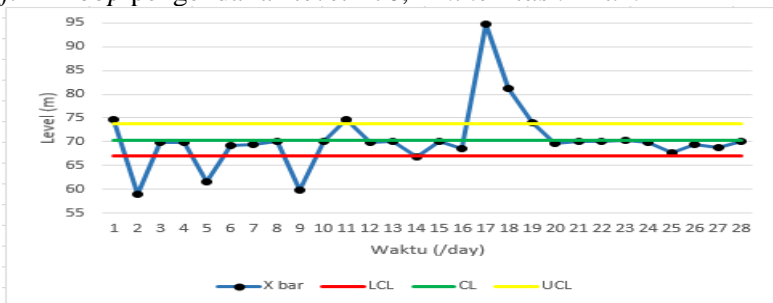
e. *Loop pengendalian level 168, Amine Overhead Gas KO Drum*



**Gambar 3.7** Control chart x bar LIC 168

Berdasarkan Gambar 3.7 *plot* data yang diketahui bahwa terdapat memiliki 4 *line* yaitu *line* batas atas berwarna kuning sebagai UCL, *line* batas pusat berwarna hijau sebagai CL, *line* batas bawah berwarna merah sebagai LCL, dan *line* berwarna biru sebagai data proses yang diambil selama 1 bulan. Didapatkan  $\bar{x}$  sebesar 22,91573 sebagaimana sesuai dengan perhitungan pada persamaan (2.1-2.3) kemudian dilakukan *plot* data untuk nilai CL adalah 22,91573, sedangkan untuk nilai UCL dan LCL masing-masing adalah 22,98035 dan 22,84841. Pada grafik didapatkan beberapa poin dari data proses melampaui nilai *upper* dan *lower*, sehingga disimpulkan pada *loop level* 168 terdapat deviasi **Low** dan **High**.

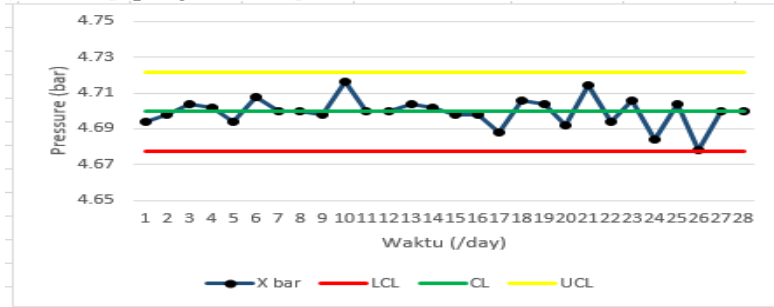
f. *Loop pengendalian level 170, Amine Flash Drum*



**Gambar 3.8** Control chart x bar LIC 170

Berdasarkan Gambar 3.8 *plot* data yang diketahui bahwa terdapat memiliki 4 *line* yaitu *line* batas atas berwarna kuning sebagai UCL, *line* batas pusat berwarna hijau sebagai CL, *line* batas bawah berwarna merah sebagai LCL, dan *line* berwarna biru sebagai data proses yang diambil selama 1 bulan. Didapatkan  $\bar{x}$  sebesar 70,36277 sebagaimana sesuai dengan perhitungan pada persamaan (2.1-2.3) kemudian dilakukan plot data untuk nilai CL adalah 70,36277, sedangkan untuk nilai UCL dan LCL adalah 73,78195 dan 66,94258. Pada grafik didapatkan beberapa poin dari data proses melampaui nilai *upper* dan *lower*, sehingga disimpulkan pada *loop level* 170 terdapat deviasi **Low** dan **High**.

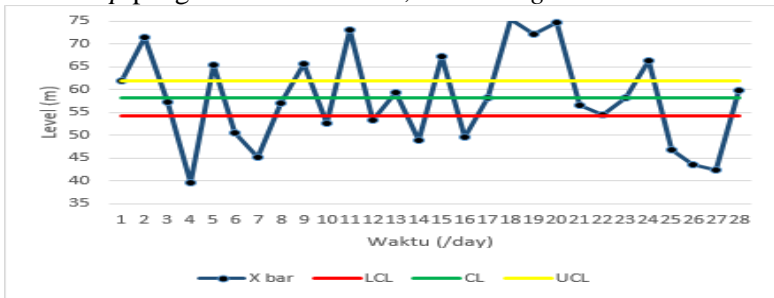
g. *Loop* pengendalian *pressure* 110, Amine Flash Drum



**Gambar 3. 9** *Control chart* x bar PIC 110

Berdasarkan Gambar 3.9 *plot* data yang diketahui bahwa terdapat memiliki 4 *line* yaitu *line* batas atas berwarna kuning sebagai UCL, *line* batas pusat berwarna hijau sebagai CL, *line* batas bawah berwarna merah sebagai LCL, dan *line* berwarna biru sebagai data proses yang diambil selama 1 bulan. Didapatkan  $\bar{x}$  sebesar 4,6995 sebagaimana sesuai dengan perhitungan pada persamaan (2.1-2.3) kemudian dilakukan plot data untuk nilai CL adalah 4,6995, sedangkan untuk nilai UCL dan LCL adalah 4,721529 dan 4,677471. Pada grafik didapatkan tidak terdapat yang melampaui nilai *upper* dan *lower* sehingga disimpulkan pada *loop pressure* 110 adalah **None** .

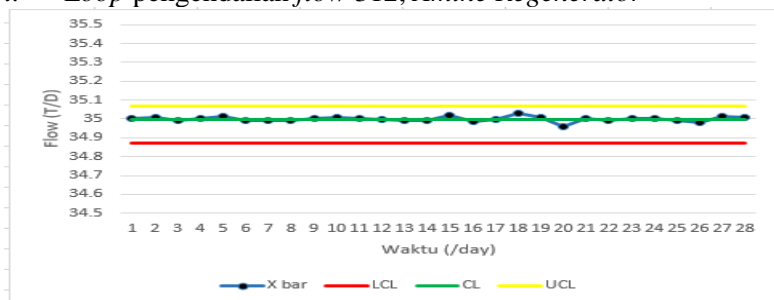
h. *Loop pengendalian level 172, Amine Regenerator*



**Gambar 3.10** *Control chart x bar LIC 172*

Berdasarkan Gambar 3.10 *plot* data yang diketahui bahwa terdapat memiliki 4 *line* yaitu *line* batas atas berwarna kuning sebagai UCL, *line* batas pusat berwarna hijau sebagai CL, *line* batas bawah berwarna merah sebagai UCL, dan *line* berwarna biru sebagai data proses yang diambil selama 1 bulan. Didapatkan  $\bar{x}$  sebesar 58,08729 sebagaimana sesuai dengan perhitungan pada persamaan (2.1-2.3) kemudian dilakukan *plot* data untuk nilai CL adalah 58,08729, sedangkan untuk nilai UCL dan LCL adalah 61,9809 dan 54,19367. Pada grafik didapatkan beberapa poin dari data proses melampaui nilai *upper* dan *lower*, sehingga disimpulkan pada *loop level 172* terdapat deviasi **Low** dan **High**.

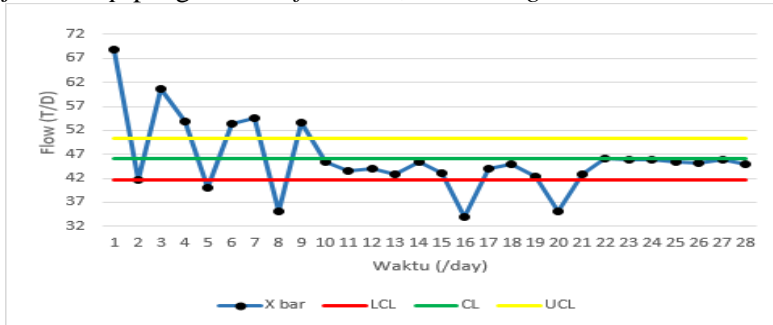
i. *Loop pengendalian flow 312, Amine Regenerator*



**Gambar 3.11** *Control chart x bar FIC 312*

Berdasarkan Gambar 3.11 *plot* data yang diketahui bahwa terdapat memiliki 4 *line* yaitu *line* batas atas berwarna kuning sebagai UCL, *line* batas pusat berwarna hijau sebagai CL, *line* batas bawah berwarna merah sebagai LCL, dan *line* berwarna biru sebagai data proses yang diambil selama 1 bulan. Didapatkan  $\bar{x}$  sebesar 34,99925 sebagaimana sesuai dengan perhitungan pada persamaan (2.1-2.3) kemudian dilakukan plot data untuk nilai CL adalah 34,99925, sedangkan untuk nilai UCL dan LCL adalah 35,06625 dan 34,87266. Pada grafik didapatkan tidak terdapat yang melampaui nilai *upper* dan *lower* sehingga disimpulkan pada *loop flow* 312 *None*.

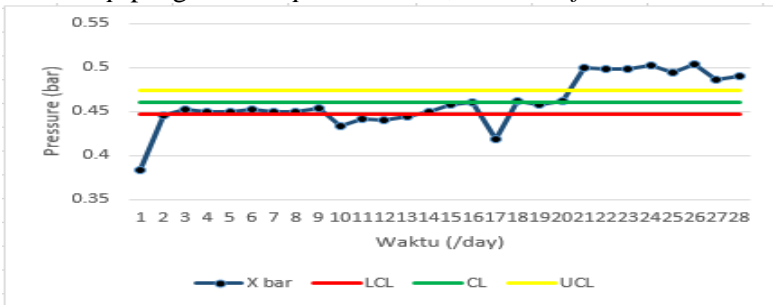
j. *Loop* pengendalian *flow* 303, *Amine Regenerator Reboiler*



**Gambar 3. 12** *Control chart* x bar FIC 303

Berdasarkan Gambar 3.12 *plot* data yang diketahui bahwa terdapat memiliki 4 *line* yaitu *line* batas atas berwarna kuning sebagai UCL, *line* batas pusat berwarna hijau sebagai CL, *line* batas bawah berwarna merah sebagai LCL, dan *line* berwarna biru sebagai data proses yang diambil selama 1 bulan. Didapatkan  $\bar{x}$  sebesar 46,01779 sebagaimana sesuai dengan perhitungan pada persamaan (2.1-2.3) kemudian dilakukan plot data untuk nilai CL adalah 46,01779, sedangkan untuk nilai UCL dan LCL adalah 41,65376 dan 50,38181. Pada grafik didapatkan beberapa poin dari data proses melampaui nilai *upper* dan *lower*, sehingga disimpulkan pada *loop flow* 303 terdapat deviasi **Low** dan **High**.

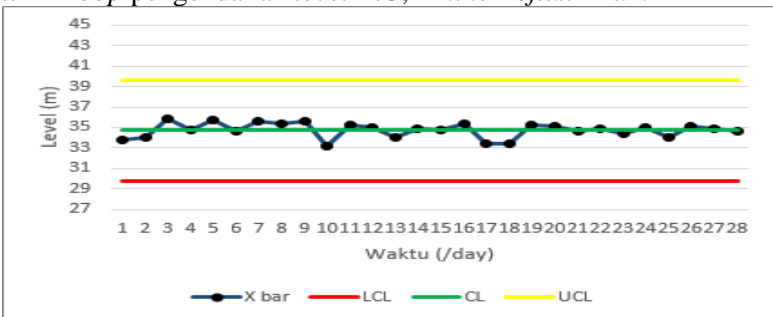
k. Loop pengendalian *pressure* 111, *Amine Reflux Drum*



**Gambar 3.13** Control chart x bar PIC 111

Berdasarkan Gambar 3.13 *plot* data yang diketahui bahwa terdapat memiliki 4 *line* yaitu *line* batas atas berwarna kuning sebagai UCL, *line* batas pusat berwarna hijau sebagai CL, *line* batas bawah berwarna merah sebagai LCL, dan *line* berwarna biru sebagai data proses yang diambil selama 1 bulan. Didapatkan  $\bar{x}$  sebesar 0,460286 sebagaimana sesuai dengan perhitungan pada persamaan (2.1-2.3) kemudian dilakukan *plot* data untuk nilai CL adalah 0,460286, sedangkan untuk nilai UCL dan LCL adalah 0,47431 dan 0,446262. Pada grafik didapatkan beberapa poin dari data proses melampaui nilai *upper* dan *lower*, sehingga disimpulkan pada *loop pressure* 111 terdapat deviasi **Low** dan **High**.

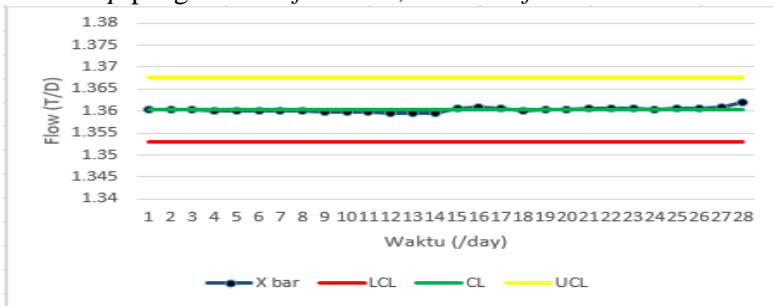
l. Loop pengendalian *level* 173, *Amine Reflux Drum*



**Gambar 3.14** Control chart x bar LIC 173

Berdasarkan Gambar 3.14 *plot* data yang diketahui bahwa terdapat memiliki 4 *line* yaitu *line* batas atas berwarna kuning sebagai UCL, *line* batas pusat berwarna hijau sebagai CL, *line* batas bawah berwarna merah sebagai LCL, dan *line* berwarna biru sebagai data proses yang diambil selama 1 bulan. Didapatkan  $\bar{x}$  sebesar 34,73914 sebagaimana sesuai dengan perhitungan pada persamaan (2.1-2.3) kemudian dilakukan *plot* data untuk nilai CL adalah 34,73914, sedangkan untuk nilai UCL dan LCL adalah 39,65023 dan 29,82805. Pada grafik didapatkan tidak terdapat yang melampaui nilai *upper* dan *lower* sehingga disimpulkan pada *loop level* 173 **Empty**.

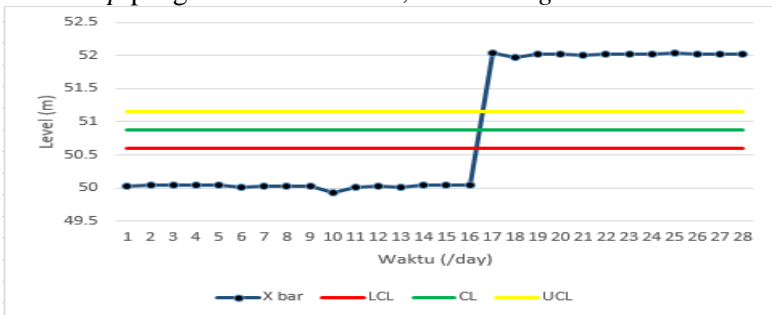
m. *Loop* pengendalian *flow* 137, *Amine Reflux Drum*



**Gambar 3. 15** *Control chart* x bar FIC 137

Berdasarkan Gambar 3.15 *plot* data yang diketahui bahwa terdapat memiliki 4 *line* yaitu *line* batas atas berwarna kuning sebagai UCL, *line* batas pusat berwarna hijau sebagai CL, *line* batas bawah berwarna merah sebagai LCL, dan *line* berwarna biru sebagai data proses yang diambil selama 1 bulan. Didapatkan  $\bar{x}$  sebesar 1,360319 sebagaimana sesuai dengan perhitungan pada persamaan (2.1-2.3) kemudian dilakukan *plot* data untuk nilai CL adalah 1,360319, sedangkan untuk nilai UCL dan LCL adalah 1,36768 dan 1,352957. Pada grafik didapatkan tidak terdapat yang melampaui nilai *upper* dan *lower* sehingga disimpulkan pada *loop flow* 137 **None**.

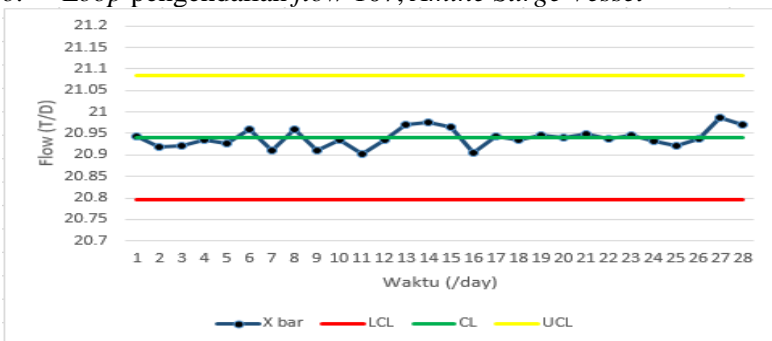
n. *Loop pengendalian level 175, Amine Surge Vessel*



**Gambar 3.16** Control chart x bar LIC 175

Berdasarkan Gambar 3.16 *plot* data yang diketahui bahwa terdapat memiliki 4 *line* yaitu *line* batas atas berwarna kuning sebagai UCL, *line* batas pusat berwarna hijau sebagai CL, *line* batas bawah berwarna merah sebagai LCL, dan *line* berwarna biru sebagai data proses yang diambil selama 1 bulan. Didapatkan  $\bar{x}$  sebesar 50,87937 sebagaimana sesuai dengan perhitungan pada persamaan (2.1-2.3) kemudian dilakukan *plot* data untuk nilai CL adalah 50,87938, sedangkan untuk nilai UCL dan LCL adalah 51,15798 dan 50,60078. Pada grafik didapatkan beberapa poin dari data proses melampaui nilai *upper* dan *lower*, sehingga disimpulkan pada *loop level 175* terdapat deviasi **Low** dan **High**.

o. *Loop pengendalian flow 107, Amine Surge Vessel*



**Gambar 3.17** Control chart x bar FIC 107

Berdasarkan Gambar 3.17 *plot* data yang diketahui bahwa terdapat memiliki 4 *line* yaitu *line* batas atas berwarna kuning sebagai UCL, *line* batas pusat berwarna hijau sebagai CL, *line* batas bawah berwarna merah sebagai LCL, dan *line* berwarna biru sebagai data proses yang diambil selama 1 bulan. Didapatkan  $\bar{x}$  sebesar 20,93992 sebagaimana sesuai dengan perhitungan pada persamaan (2.1-2.3) kemudian dilakukan *plot* data untuk nilai CL adalah 20,93993, sedangkan untuk nilai UCL dan LCL adalah 21,08505 dan 20,79481. Pada grafik didapatkan tidak terdapat yang melampaui nilai *upper* dan *lower* sehingga disimpulkan pada *loop* flow 107 *None*.

Penentuan *guideword* pada masing-masing *loop* pengendalian dijelaskan dalam Tabel 3.5 sebagai berikut.

**Tabel 3.5** *Guideword loop* pengendalian

<i>Node</i>	<i>Loop</i>	<i>Guideword</i>
<i>Amine Contactor Inlet KO Drum</i>	<i>Level 165</i>	<i>High Level</i>
		<i>Low Level</i>
	<i>Level 352</i>	<i>High Level</i>
		<i>Low Level</i>
<i>Amine Contactor</i>	<i>Level 167</i>	<i>High Level</i>
<i>Amine Contactor</i>	<i>Level 167</i>	<i>Low Level</i>
	<i>Flow 100</i>	<i>High Flow</i>
		<i>Low Flow</i>
<i>Amine Overhead Gas KO Drum</i>	<i>Level 168</i>	<i>High Level</i>
		<i>Low Level</i>
<i>Amine Flash Drum</i>	<i>Level 170</i>	<i>High Level</i>
		<i>Low Level</i>
	<i>Pressure 110</i>	<i>High Pressure</i>
		<i>Low Pressure</i>
<i>Amine Regenerator</i>	<i>Level 172</i>	<i>High Level</i>
		<i>Low Level</i>
	<i>Flow 312</i>	<i>None</i>



**Tabel 3.5** *Guideword loop* pengendalian (Lanjutan)

<i>Node</i>	<i>Loop</i>	<i>Guideword</i>
<i>Amine Regenerator Reboiler</i>	<i>Flow 303</i>	<i>High Flow</i>
		<i>Low Flow</i>
<i>Amine Reflux Drum</i>	<i>Pressure 111</i>	<i>High Pressure</i>
		<i>Low Pressure</i>
	<i>Level 173</i>	<i>Empty</i>
<i>Amine Surge Vessel</i>	<i>Level 175</i>	<i>High Level</i>
		<i>Low Level</i>
	<i>Flow 107</i>	<i>None</i>

### 3.2.3. Penentuan Nilai *Likelihood* dan Nilai *Severity*

Dari masing-masing *guideword* memiliki nilai *severity* atau sebagai tingkat keparahan dan nilai *likelihood* atau sebagai peluang terjadinya suatu kegagalan pada *plant* yang berbeda berdasarkan jenis *plant*. Nilai *likelihood* dan nilai *severity* didapatkan berdasarkan estimasi terhadap referensi atau standar milik perusahaan. Berdasar referensi HAZOP PT. SIPL, didapatkan nilai *likelihood* dan nilai *severity* sebagai berikut :

**Tabel 3.6** Nilai *Likelihood*

<i>Level</i>	<i>Descriptor</i>	<i>Description</i>	<i>Financial Consequences</i>
A	<i>Rare</i>	Risiko mungkin terjadi hanya dalam keadaan luar biasa	USD 2
B	<i>Unlikely</i>	Risiko dapat terjadi pada suatu waktu	USD 20
C	<i>Possible</i>	Risiko terjadi pada suatu waktu	USD 100
D	<i>Probable</i>	Risiko berpeluang terjadi dalam sebagian besar keadaan	USD 1000

**Tabel 3.6** Nilai *Likelihood* (Lanjutan)

<i>Level</i>	<i>Descriptor</i>	<i>Description</i>	<i>Financial Consequences</i>
E	<i>Almost Certain</i>	Risiko terjadi dalam sebagian besar keadaan	USD 2000

**Tabel 3.7** Nilai *Severity*

<i>Level</i>	<i>Decision Issues</i>				<i>Financial Consequences</i>
	<i>People</i>	<i>Asset</i>	<i>Environment</i>	<i>Reputation</i>	
5 <i>Catastrophic</i>	Potensi kematian atau cedera permanen	Kerusakan luas; Kerugian pendapatan jangka panjang	Dampak lingkungan berlangsung beberapa dekade	Mendapat perhatian dari nasional dan dunia	USD 20000
4 <i>Major</i>	Cedera parah; Kecacatan	Kerusakan besar; Kerugian pendapatan jangka pendek	Dampak lingkungan berlangsung bertahun-tahun	Mendapat tanggapan dari regional dan industri	USD 10000
3 <i>Severe</i>	Cedera parah; Kehilangan jam kerja	Kerusakan lokal; Sebagian pendapatan hilang	Dampak lingkungan berlangsung berbulan-bulan	Mendapat tanggapan masyarakat sekitar	USD 3000
2 <i>Minor</i>	Cedera ringan, Pertolongan dokter	Kerusakan kecil, Berdampak kecil terhadap operasi	Dampak lingkungan berlangsung berminggu-minggu	Area fasilitas disiagakan, Komplain komunitas terkait	USD 1000
1 <i>Slight</i>	Cedera ringan, Kasus pertolongan pertama	Kerusakan ringan, Tidak ada kerugian pendapatan	Dampak lingkungan berlangsung sehari-hari	Perhatian kecil oleh komunitas terkait	USD 100

Berdasarkan Tabel 3.6 pada *financial consequences* digunakan untuk mengetahui nilai *Cost Asset* yang mempengaruhi nilai dari LCC.

Untuk mengetahui nilai *likelihood* didapatkan dengan mengetahui hasil perhitungan *likelihood* dengan referensi perusahaan. Perhitungan untuk menghitung nilai *likelihood* adalah

$$Likelihood = \frac{Time\ Interval\ (/day)}{MTTF\ (/day)} \quad (3.1)$$

Didapatkan nilai *time interval* dari waktu antara kegagalan pertama dan kegagalan terakhir. Serta, memperoleh data MTTF dari hasil rata-rata TTF atau waktu kegagalan. Masing-masing data dijelaskan secara detail pada lampiran mengenai data *maintenance*. Hasil perhitungan nilai *likelihood* untuk masing-masing *instrument* pengukuran sebagai berikut.

**Tabel 3.8** Hasil perhitungan *likelihood*

<i>Instrument</i>	<i>Time Interval (/day)</i>	<i>MTTF (/day)</i>	<i>Likelihood</i>
LT 165	3772	930,5	4
LT 352	2780	556	5
LT 167	3286	821,5	4
FT 100	3275	1092	3
LT 168	3241	810,25	4
LT 170	3240	810	4
PT 110	3314	828,5	4
LT 172	3164	633	5
FT 303	3230	1077	3
FT 312	4317	1439	3
PT 111	3314	1105	3
LT 173	3249	1083	3
FT 137	3319	1106	3
LT 175	4382	1461	3
FT 107	3319	829,75	4

Salah satu contoh perhitungan pada *instrument tag* LT 165 untuk mendapatkan nilai *likelihood* dengan menggunakan persamaan 3.1, dimana :

$$\begin{aligned}
 \text{Likelihood} &= \frac{\text{Time Interval (/day)}}{\text{MTTF (/day)}} \\
 &= \frac{3772}{930,5} \\
 &= 4 \text{ (/day)}
 \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan nilai *likelihood* selanjutnya dapat dilakukan pada *instrument tag* lainnya yang tertera pada Tabel 3.8 dengan menggunakan perhitungan seperti diatas.

Langkah selanjutnya adalah mengestimasi dari hasil perhitungan nilai *likelihood* terhadap nilai *likelihood* standar perusahaan. Estimasi divalidasi juga dengan wawancara dengan salah satu *engineer* saka indonesia pangkah limited.

**Tabel 3.9** Estimasi Nilai *Likelihood*

<i>Instrument</i>	<i>Likelihood</i> (Hasil Perhitungan)	Estimasi <i>Likelihood</i>
LT 165	4	D
LT 352	5	C
LT 167	4	C
FT 100	3	C
LT 168	4	C
LT 170	4	C
PT 110	4	C
LT 172	5	C
FT 312	3	C
FT 303	3	C
PT 111	3	C
LT 173	3	C
FT 137	3	C
LT 175	3	C
FT 107	4	C

Menentukan estimasi nilai *severity* dilakukan dengan wawancara salah satu *engineer* saka indonesia pangkah limited. Hasil estimasi nilai *severity* pada Tabel 3.10.

**Tabel 3.10** Estimasi Nilai *Severity*

<i>Instrument</i>	<i>Guideword</i>	<b>Estimasi <i>Severity</i></b>
LT 165	<i>High Level</i>	4
	<i>Low Level</i>	4
LT 352	<i>High Level</i>	4
	<i>Low Level</i>	4
LT 167	<i>High Level</i>	3
	<i>Low Level</i>	3
FT 100	<i>High Flow</i>	3
	<i>Low Flow</i>	3
LT 168	<i>High Level</i>	4
	<i>Low Level</i>	4
LT 170	<i>High Level</i>	4
	<i>Low Level</i>	4
PT 110	<i>None</i>	2
LT 172	<i>High Level</i>	4
	<i>Low Level</i>	4
FT 312	<i>None</i>	2
FT 303	<i>High Flow</i>	3
	<i>Low Flow</i>	3
PT 111	<i>High Pressure</i>	3
	<i>Low Pressure</i>	3
LT 173	<i>Empty</i>	2
FT 137	<i>None</i>	2
LT 175	<i>High Level</i>	3
	<i>Low Level</i>	3
FT 107	<i>None</i>	2

### 3.2.4. Penentuan *Risk Ranking*

Langkah terakhir dalam membuat HAZOP *worksheet* adalah menentukan nilai *risk ranking* pada setiap *guideword instrument*. Didapatkan *risk ranking* dengan cara sebagai berikut.

$$\text{Risk ranking} = \text{Likelihood} \times \text{Severity} \quad (3.2)$$

Hasil perkalian tersebut dimasukkan ke dalam kriteria *risk matrix* standar perusahaan yang untuk ditentukan ke dalam kategori tingkat risiko termasuk *high*, *moderate*, atau *low*. Sebagaimana *risk matrix* referensi atau standar milik perusahaan sebagai berikut.

**Tabel 3.11** Kriteria *risk matrix*

<i>Severity</i>	<i>Likelihood</i>				
	<i>A</i> ( <i>Rare</i> )	<i>B</i> ( <i>Unlikely</i> )	<i>C</i> ( <i>Possible</i> )	<i>D</i> ( <i>Probable</i> )	<i>E</i> ( <i>Almost Certain</i> )
<b>5</b> ( <i>Catastrophic</i> )	M	M	H	H	H
<b>4</b> ( <i>Major</i> )	M	M	M	H	H
<b>3</b> ( <i>Severe</i> )	L	M	M	M	H
<b>2</b> ( <i>Minor</i> )	L	L	M	M	M
<b>1</b> ( <i>Slight</i> )	L	L	L	M	M

Keterangan :

H = *High Risk*

M = *Moderate Risk*

L = *Low Risk*

Hasil *risk ranking* untuk masing-masing *guideword* deviasi *instrument* tertera pada Tabel 3.12 sebagai berikut.

**Tabel 3.12** Penentuan *risk ranking*

<i>Instrument</i>	<i>Guideword</i>	<i>Likelihood</i>	<i>Severity</i>	<i>Risk Ranking</i>
LT 165	<i>High Level</i>	D	4	D4
	<i>Low Level</i>	D	4	D4
LT 352	<i>High Level</i>	C	4	C4
	<i>Low Level</i>	C	4	C4
LT 167	<i>High Level</i>	C	3	C4
	<i>Low Level</i>	C	3	C4

**Tabel 3.12** Penentuan *risk ranking* (Lanjutan)

<i>Instrument</i>	<i>Guideword</i>	<i>Likelihood</i>	<i>Severity</i>	<i>Risk Ranking</i>
FT 100	<i>High Flow</i>	C	3	C3
	<i>Low Flow</i>	C	3	C3
LT 168	<i>High Level</i>	C	4	C4
	<i>Low Level</i>	C	4	C4
LT 170	<i>High Level</i>	C	4	C4
	<i>Low Level</i>	C	4	C4
PT 110	<i>None</i>	C	2	C2
LT 172	<i>High Level</i>	C	4	C4
	<i>Low Level</i>	C	4	C4
FT 312	<i>None</i>	C	2	C2
FT 303	<i>High Flow</i>	C	3	C3
	<i>Low Flow</i>	C	3	C3
PT 111	<i>High Pressure</i>	C	3	C3
	<i>Low Pressure</i>	C	3	C3
LT 173	<i>Empty</i>	C	2	C2
FT 137	<i>None</i>	C	2	C2
LT 175	<i>High Level</i>	C	3	C3
	<i>Low Level</i>	C	3	C3
FT 107	<i>None</i>	C	2	C2

### 3.3. Perhitungan SIL dan LCC Sebelum Optimisasi

Perhitungan SIL dan LCC sebelum optimisasi diperoleh dengan menggunakan perhitungan pada persamaan (2.7 – 2.14). Didapatkan nilai SIL dari perhitungan PFDavg. Sedangkan, nilai LCC diperoleh dari total penjumlahan biaya pembelian, biaya operasional, dan biaya perkiraan risiko. Pada perhitungan nilai SIL dan LCC digunakan untuk mengevaluasi sistem pengamanan pada *plant*.

### 3.4. Optimisasi SIS

Dalam optimisasi yang dilakukan perlu diperhatikan terlebih dahulu adalah komposisi komponen dan mendapatkan hasil optimasi yang paling baik. Pada komposisi komponen dipengaruhi oleh konfigurasi SIS dan jenis teknologi.

#### 3.4.1. Data Optimisasi SIS

Pada perancangan SIS menggunakan konfigurasi SIS yang berdasarkan acuan standar ISA-TR84.00.02-2002. Berikut macam konfigurasi SIS beserta fraksi kegagalannya.

**Tabel 3.13** Data fraksi kegagalan *vote*[5]

<b>MoON</b>	<b>Fraksi Kegagalan (<math>C_{\text{MoON}}</math>)</b>
1001	0
1002	1
1003	0.3
2002	0
2003	2.4
2004	0.75

Perancangan SIS menggunakan data sekunder sebagaimana berikut seperti data *sensing element*, *logic solver*, *final element* pada masing-masing jenis teknologinya, serta biaya yang digunakan pada sistem. Berdasarkan jenis teknologi, untuk jenis *sensing element* yang digunakan diantaranya *smart transmitter*, *conventional transmitter*, dan *switch*. Jenis pada *logic solver* yang digunakan adalah *safety PLC*. Jenis *final element* yang digunakan diantaranya *air operated*, *hydraulic operated*, dan *motor operated*. Berikut merupakan data yang digunakan untuk perancangan SIS.

**Tabel 3.14** Data *level transmitter*[5]

<b>Level/Interface Level Transmitter</b>			
Data	1	2	3
	<i>Smart Transmitter</i>	<i>Conventional Electronic Transmitter</i>	<i>Switch</i>
$\lambda_{\text{dd}} (10^{-6}/\text{h})$	0.048	0.97	0.41



**Tabel 3.14** Data *level transmitter*[5] (Lanjutan)

<b><i>Level/Interface Level Transmitter</i></b>			
Data	1	2	3
	<i>Smart Transmitter</i>	<i>Conventional Electronic Transmitter</i>	<i>Switch</i>
$\lambda_{sd}$ ( $10^{-6}/h$ )	0.265	1.21	0.68
$\lambda_{su}$ ( $10^{-6}/h$ )	0.118	0.95	6.13
$\lambda_t$ ( $10^{-6}/h$ )	0.534	4.06	10.92
$\beta_{dd}$ (/h)	0.1	0.1	0.1
$\beta_{du}$ (/h)	0.1	0.1	0.1
$\beta_{sd}$ (/h)	0.05	0.1	0.1
$\beta_{su}$ (/h)	0.1	0.1	0.1
SFF (%)	80.7	77.09	66.12
Type	B	A	A
$C_{purchase}$ (\$)	4844	2306	500

**Tabel 3.15** Data *pressure transmitter*[5]

<b><i>Pressure Transmitter</i></b>			
Data	1	2	3
	<i>Smart Transmitter</i>	<i>Conventional Electronic Transmitter</i>	<i>Switch</i>
$\lambda_{dd}$ ( $10^{-6}/h$ )	0.046	0.97	0.41
$\lambda_{du}$ ( $10^{-6}/h$ )	0.103	0.93	3.70
$\lambda_{sd}$ ( $10^{-6}/h$ )	0.265	1.21	0.68
$\lambda_{su}$ ( $10^{-6}/h$ )	0.118	0.95	6.13
$\lambda_t$ ( $10^{-6}/h$ )	0.534	4.06	10.92
$\beta_{dd}$ (/h)	0.1	0.1	0.1
$\beta_{du}$ (/h)	0.1	0.1	0.1
$\beta_{sd}$ (/h)	0.05	0.1	0.1
$\beta_{su}$ (/h)	0.1	0.1	0.1
SFF (%)	80.7	77.09	66.12
Type	B	A	A
$C_{purchase}$ (\$)	4844	2306	500

**Tabel 3.16** Data *flow transmitter*[5]

<b>Flow Transmitter</b>			
Data	1	2	3
	<i>Smart Transmitter</i>	<i>Conventional Electronic Transmitter</i>	<i>Switch</i>
$\lambda_{dd}$ ( $10^{-6}/h$ )	0.048	0.97	0.41
$\lambda_{du}$ ( $10^{-6}/h$ )	0.103	0.97	3.7
$\lambda_{sd}$ ( $10^{-6}/h$ )	0.265	1.21	0.68
$\lambda_{su}$ ( $10^{-6}/h$ )	0.118	0.95	6.13
$\lambda_t$ ( $10^{-6}/h$ )	0.534	4.06	10.92
$\beta_{dd}$ (/h)	0.1	0.1	0.1
$\beta_{du}$ (/h)	0.1	0.1	0.1
$\beta_{sd}$ (/h)	0.05	0.1	0.1
$\beta_{su}$ (/h)	0.1	0.1	0.1
SFF (%)	80.7	77.09	66.12
Type	B	A	A
$C_{purchase}$ (\$)	4844	2306	500

**Tabel 3.17** Data *final element*[5]

<b>Final Element</b>			
Data	1	2	3
	<i>Air Operated</i>	<i>Hydraulic Operated</i>	<i>Motor Operated</i>
$\lambda_{dd}$ ( $10^{-6}/h$ )	0.84	1.09	0.79
$\lambda_{du}$ ( $10^{-6}/h$ )	2.51	4.35	7.11
$\lambda_{sd}$ ( $10^{-6}/h$ )	0	0	0
$\lambda_{su}$ ( $10^{-6}/h$ )	3.94	3.17	9.17
$\lambda_t$ ( $10^{-6}/h$ )	7.29	8.61	17.07
$\beta_{dd}$ (/h)	0.1	0.1	0.1
$\beta_{du}$ (/h)	0.1	0.1	0.1
$\beta_{sd}$ (/h)	0.1	0.1	0.1
$\beta_{su}$ (/h)	0.1	0.1	0.1
SFF (%)	65.57	49.48	58.35
Type	A	A	A
$C_{purchase}$ (\$)	6940	6400	6200

**Tabel 3.18** Data logic solver[5]

<i>Logic Solver</i>	
$\lambda_{dd}$ ( $10^{-6}/h$ )	0,026
$\lambda_{du}$ ( $10^{-6}/h$ )	0,006
$\lambda_{sd}$ ( $10^{-6}/h$ )	1,73
$\lambda_{su}$ ( $10^{-6}/h$ )	1,73
$\beta_{dd}$ (/h)	0,1
$\beta_{du}$ (/h)	0,1
$\beta_{sd}$ (/h)	0,1
$\beta_{su}$ (/h)	0,1
SFF (%)	99,83
Type	B
$C_{\text{purchase}}$ (\$)	40000

**Tabel 3.19** Data pendukung *life cycle cost* [5]

<b>Data Life Cycle</b>	<b>Unit</b>	<b>Harga</b>
<i>Desain/install/commissioning PLC</i>	\$	10320
<i>Repair PLC</i>	\$/event	8000
<i>Maintenance PLC</i>	\$/event	960
<i>Test PLC</i>	\$/event	240
<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 per instrument</i>	\$/event	480
<i>Start up cost</i>	\$	1800
<i>Catastrophic loss</i>	\$	$150 \times 10^6$
<i>Discount Rate</i>	-	0.05
<i>Cost Shutdown</i>	\$	$1 \times 10^6$

### 3.4.2. Optimisasi Perancangan SIS

Dalam melakukan desain diharapkan untuk mencapai hasil desain yang bagus dan efektif. Salah satunya dengan pengoptimisasi sebuah desain. Optimisasi dilakukan untuk mencapai hasil yang optimal dengan menggunakan beberapa

parameter yang ditentukan untuk tujuan tertentu. Terdapat beberapa tahapan dalam melakukan proses optimisasi diantaranya

- i. Menentukan Fungsi Tujuan  
Fungsi tujuan dalam optimisasi pada tugas akhir ini adalah *life cycle cost* yang minimal.
- ii. Menentukan Variabel Optimisasi  
Variabel yang mempengaruhi *life cycle cost* adalah PFDavg, jenis teknologi, dan *vote* arsitektur.
- iii. Menentukan *Properties* Optimisasi  
Dalam optimisasi dibutuhkan *properties* sebagai berikut.
  - a. Jumlah populasi  
Jumlah kromosom dalam proses optimisasi ditentukan dari populasi. Jumlah populasi yang digunakan adalah 100.
  - b. Jumlah variabel optimisasi  
Variabel yang mempengaruhi dari fungsi tujuan adalah PFDavg, jenis teknologi, dan *vote* arsitektur. Jumlah variabel pengoptimisasian sejumlah 3
  - c. Batas atas dan batas bawah optimisasi  
Batas optimisasi sebagai jangkauan pengacakan nilai variabel optimisasi dalam memenuhi fungsi tujuan. Batas atas dan batas bawah yang digunakan adalah
    - Jenis teknologi : 1 -3 (Tabel 3.14-3.16)
    - *Vote* arsitektur: 1001-1003 dan 2002-2004 (Tabel 3.13)
    - PFDavg : SIL 1 – SIL 4 (Tabel 2.2 )
  - d. Generasi  
Dalam optimisasi terdapat generasi untuk menentukan jumlah perputaran selama proses optimisasi. Pada tugas akhir ini menggunakan variasi generasi antara 100 sampai 300 untuk mengetahui hasil terbaik.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. HAZOP H<sub>2</sub>S Removal Plant

Dalam mengidentifikasi bahaya serta menentukan nilai pada plant dapat menggunakan berbagai cara metode. Pada tugas akhir ini digunakan dengan metode HAZOP. Identifikasi bahaya ditinjau dari penentuan *node*, pendefinisian sebab akibat yang ditimbulkan, *instrument* yang digunakan, penentuan tingkat risiko, dan rekomendasi pengamanan. *H<sub>2</sub>S Removal plant* memiliki 8 titik *node* meliputi *Amine Contactor Inlet KO Drum*, *Amine Contactor*, *Amine Flash Drum*, *Amine Regenerator*, *Amine Regenerator Reboiler*, *Amine Reflux Drum*, dan *Amine Surge Vessel*. Berikut merupakan evaluasi dan pendefinisian bahaya pada masing-masing *instrument* yang terdapat pada *node*.

#### 4.1.1. Node Amine Contactor Inlet KO Drum

Unit ini sebagai *feed gas pretreatment* yang digunakan untuk menangkap hidrokarbon cair yang terbawa dalam aliran gas yang terbawa dari *outlet production separator*. *Amine* dari *separator* diproses oleh *Amine Contactor*. Hidrokarbon cair dialirkan ke *liquid separator*. *Instrument* pengendalian *level tag 165* dan *tag 352* digunakan untuk menjaga kestabilan *level* di dalamnya pada kondisi operasi yang dimana sama-sama untuk mengatur keluaran *level* ke *liquid separator*.

Pada LT 165 terdapat deviasi berupa *high level*, hal ini dapat disebabkan terjadinya banyaknya aliran dari *input* yang menuju ke *knockout drum* sehingga banyak aliran yang mengalir masuk ke dalam *drum* mengakibatkan banyaknya *level* hidrokarbon cair dalam *knockout drum*. Sedangkan LT 165 terdapat deviasi *low level* dapat disebabkan adanya *valve* yang dibiarkan terbuka atau kerusakan sehingga *valve* yang mengatur *input* ke *liquid separator* tidak dapat menutup.

Pada LT 352 terdapat deviasi berupa *high level*, hal ini dapat disebabkan terjadinya banyaknya aliran dari *input* yang menuju ke *drum* sehingga banyak aliran yang mengalir masuk ke dalam *drum* mengakibatkan banyaknya *level* hidrokarbon cair dalam *knockout*

*drum* dan berpotensi hidrokarbon cair terbawa ke *amine contactor*. Sedangkan LT 352 terdapat deviasi *low level* dapat disebabkan oleh *valve* yang dibiarkan terbuka atau kerusakan sehingga *valve* yang mengatur *input* ke *liquid separator* tidak dapat menutup.

Berikut merupakan rangkuman analisis HAZOP pada *node amine contactor inlet ko drum*.

**Tabel 4.1 HAZOP Worksheet Amine Contactor Inlet KO Drum**

<i>Instrument</i>	<i>Deviation</i>	<i>Causes</i>	<i>Consequences</i>	<i>Safeguards</i>	<i>L</i>	<i>S</i>	<i>RR</i>
LT 165	High Level	More level from input to the drum	Blockage of liquid outlet from amine contactor inlet knockout drum	135-LV-165	D	4	D4
	Low Level	Level valve driven open or bypass left open	Low level in the amine contactor inlet knockout drum		D	4	D4
LT 352	High Level	More level from input to the drum	Blockage of liquid outlet from amine contactor inlet knockout drum	135-LV-352	C	4	C4
	Low Level	Level valve driven open or bypass left open	Low level in the amine contactor inlet ko drum		C	4	C4

Berdasarkan Tabel 4.1 diketahui bahwa *instrument* LT 165 memiliki *risk ranking* sebesar D4 atau termasuk dalam kategori *high risk*. Sedangkan *instrument* LT 132 memiliki *risk ranking* sebesar C4 yang termasuk dalam kategori *moderate risk*.

#### 4.1.2. Node Amine Contactor

Unit ini digunakan untuk melakukan penyerapan dimana penyerapan ini terdapat pemisahan komponen dari kandungan gas

beracun. Komponen yang ingin dipisahkan akan terikat dengan *solvent*, larutan tersebut masih bersifat *rich amine* menuju ke *amine flash drum*. Sedangkan, larutan *amine* yang bersih dari kandungan  $H_2S$  dan  $CO_2$  akan mengalir melalui *outlet* bagian atas menuju ke *Amine Overhead Gas KO Drum*. *Instrument* pengendalian *level tag* 167 digunakan untuk mengatur besarnya keluaran *level amine* ke *amine flash drum*. *Instrument* pengendalian *flow tag* 100 digunakan untuk menjaga *flow amine* yang akan menuju berada dalam *amine contactor*.

Pada LT 167 terdapat deviasi berupa *high level* yang disebabkan oleh adanya *valve* yang dibiarkan terbuka sehingga *valve* yang berguna untuk mengatur *input amine flash drum* tidak dapat menutup mengakibatkan terbawanya *liquid* ke *amine overhead gas knockout drum*. Sedangkan LT 167 terdapat deviasi berupa *low level* dapat disebabkan oleh kurangnya *level* dalam *amine contactor*.

Pada FT 100 terdapat deviasi berupa *high level* dapat disebabkan adanya tekanan yang besar oleh pompa yang dapat menyebabkan *level* cairan menjadi terlalu tinggi. Sedangkan FT 100 terdapat deviasi berupa *low level* dapat disebabkan kurangnya tekanan dari *lean amine pumps* yang menyebabkan *level amine* rendah. Berikut merupakan rangkuman analisis HAZOP pada *node amine contactor*.

**Tabel 4.2** HAZOP Worksheet *amine contactor*

<i>Instrument</i>	<i>Deviation</i>	<i>Causes</i>	<i>Consequences</i>	<i>Safeguards</i>	<i>L</i>	<i>S</i>	<i>RR</i>
LT 167	High Level	Level valve driven open	Liquid carry over to amine overhead gas knockout drum	135-LV-167	C	3	C3
	Low Level	Less amine level inside	Low liquid level from amine contactor inlet knockout drum		C	3	C3

**Tabel 4.2 HAZOP Worksheet amine contactor (Lanjutan)**

<i>Instrument</i>	<i>Deviation</i>	<i>Causes</i>	<i>Consequences</i>	<i>Safeguards</i>	<i>L</i>	<i>S</i>	<i>RR</i>
<i>FT 100</i>	<i>High Flow</i>	<i>High flow from the lean amine pumps</i>	<i>More flow of rich amine with potential flooding of coloumn</i>	<i>135-FV-100</i>	<i>C</i>	<i>3</i>	<i>C3</i>
	<i>Low Flow</i>	<i>Less flow from the lean amine pumps</i>	<i>Less flow of lean amine to amine contactor and loss of gas treatment</i>		<i>C</i>	<i>3</i>	<i>C3</i>

Berdasarkan Tabel 4.2 diketahui bahwa *instrument* LT 167 memiliki *risk ranking* sebesar C3 yang termasuk dalam kategori *moderate risk*. Sedangkan *instrument* FT 100 memiliki *risk ranking* sebesar C3 yang termasuk dalam kategori *moderate risk*.

#### 4.1.3. Node Amine Overhead Gas KO Drum

Unit ini sebagai memisahkan larutan *amine* dari aliran gas yang akan terbawa ke *TEG Dehydration System* dan *amine flash drum*. *Instrument* pengendalian *level tag* 168 digunakan untuk mengatur besarnya keluaran *amine* ke *amine flash drum*.

Pada LT 168 terdapat deviasi berupa *high level*, hal ini dapat disebabkan oleh *valve* tertutup untuk dikeluarkan ke *HP Flare* sehingga tekanan yang terlalu tinggi terjadi dalam *drum* tersebut. Hal ini dapat menyebabkan dalam *amine overhead gas knockout drum* memiliki beban *level* berlebih yang mengganggu selama beroperasi yang berpotensi *liquid* terbawa ke prsoses TEG. Sedangkan, LT 168 deviasi *low level* dapat disebabkan jika tekanan yang terjadi dalam *overhead gas knockout drum* kurang sehingga sedikitnya *level amine* yang dibutuhkan untuk mengalir ke *amine flash drum*.

Rangkuman analisis HAZOP pada *node amine overhead gas ko drum* ditunjukkan pada Tabel 4.3.



**Tabel 4.3** HAZOP Worksheet amine overhead gas ko drum

Instrument	Deviation	Causes	Consequences	Safeguards	L	S	RR
LT 168	High Level	Level valve fails closed	Potential for liquid carry over to TEG contactor	135-LV-168	C	4	C4
	Low Level	Less pressure in knockout drum	Low level to amine flash drum with potential of gas blowby		C	4	C4

Berdasarkan Tabel 4.3 diketahui bahwa *instrument* LT 168 memiliki *risk ranking* sebesar C4 atau termasuk dalam kategori *moderate risk*.

#### 4.1.4. Node Amine Flash Drum

Unit ini didesain untuk menghilangkan kandungan hidrokarbon dalam *amine*. Hidrokarbon diubah menjadi fase uap yang akan dihilangkan. Sebagian kecil cairan hidrokarbon terkumpul dalam *amine flash drum*. Dalam *amine flash drum* terdapat serangkaian *baffle* untuk memisahkan *amine*, hidrokarbon cair yang berasal dari *amine contactor*. Lapisan uap dari hidrokarbon akan dialirkan ke *LP Flare Header*. Lapisan cairan hidrokarbon akan dialirkan ke *Close Drain Header*. Lapisan *amine* diproses pada *Rich Amine Filter*. Unit ini beroperasi pada 8 barg dan 65°C. *Instrument* pengendalian *level tag* 170 digunakan untuk mengatur besarnya keluaran *rich amine* ke *lean/rich amine exchanger* yang dialirkan ke *amine regenerator*. *Instrument* pengendalian *pressure tag* 110 digunakan untuk menjaga tekanan agar tetap seimbang dalam *amine flash drum* jika terdapat tekanan berlebih dialirkan ke *acid flare* dan *LP Electrostatic Treater*.

Pada LT 170 terdapat deviasi berupa *high level*, hal ini dapat disebabkan oleh LV 167 yang dibiarkan terbuka sehingga banyak aliran *amine* yang masuk ke dalam unit proses sehingga *level amine* dalam *amine flash drum* yang berpotensi mengganggu operasi dengan terbawanya *liquid* ke aliran selanjutnya. Sedangkan LT 170 deviasi berupa *low level* dapat disebabkan oleh LV 167 yang tertutup sehingga tidak ada aliran yang masuk ke dalam *amine flash drum*.

Pada PT 110 terdapat deviasi berupa *none*, hal ini dapat disebabkan tekanan terdapat kondisi stabil sehingga tidak berpotensi mengganggu operasi proses tersebut yang hampir tidak ada gangguan untuk dijaga kestabilannya.

Berikut merupakan rangkuman analisis HAZOP pada *node amine flash drum*.

**Tabel 4.4** HAZOP Worksheet *amine flash drum*

<i>Instrument</i>	<i>Deviation</i>	<i>Causes</i>	<i>Consequences</i>	<i>Safeguards</i>	<i>L</i>	<i>S</i>	<i>RR</i>
<i>LT 170</i>	<i>High Level</i>	<i>135 LV 167 driven open</i>	<i>Potential high level in amine flash drum with liquid carry over</i>	<i>135-LV-170</i>	<i>C</i>	<i>4</i>	<i>C4</i>
	<i>Low Level</i>	<i>135 LV 167 closed</i>	<i>Low liquid level in the amine flash drum with gas blowby from amine contactor</i>		<i>C</i>	<i>4</i>	<i>C4</i>
<i>PT 110</i>	<i>None</i>	<i>Pressure in the flash drum is balanced</i>	<i>There is that process almost nothing disturbance</i>	<i>135-PV-110</i>	<i>C</i>	<i>2</i>	<i>C2</i>

Berdasarkan Tabel 4.4 diketahui bahwa *instrument* LT 170 memiliki *risk ranking* sebesar C4 atau termasuk dalam kategori *moderate risk*. Sedangkan *instrument* PT 110 memiliki *risk ranking* sebesar C2 atau termasuk dalam kategori *moderate risk*.

#### 4.1.5. Node Amine Regenerator

Unit ini berfungsi untuk pemisahan dan pemurnian cairan atau uap, hasil produksi dari unit ini terdapat *top product* yang akan masuk ke *amine regenerator overhead cooler* sedangkan *bottom product* akan dialirkan ke *amine regenerator reboiler* untuk diproses selanjutnya. Terdapat *instrument* pengendalian *level tag* 172 digunakan untuk mengatur besarnya keluarannya *amine* ke *amine surge vessel* yang dialirkan melalui *amine filter system*. *Instrument* pengendalian *flow tag* 312 digunakan untuk mengatur *flow amine* yang berada pada *amine regenerator*.

Pada LT 172 terdapat deviasi berupa *high level*, hal ini dapat disebabkan oleh tekanan yang berlebih dari *amine exchanger* mengakibatkan banyaknya aliran *amine* yang masuk ke dalam unit proses. Hal ini dapat menyebabkan *level amine* menjadi tinggi pada *amine regenerator* yang berpotensi mengganggu operasi. Sedangkan LT 172 deviasi *low level* dapat disebabkan oleh kurangnya tekanan dari *amine exchanger* mengakibatkan tidak ada aliran yang masuk ke dalam *amine regenerator*.

Pada FT 312 deviasi berupa *none*, hal ini dapat disebabkan *flow* terdapat kondisi stabil sehingga tidak berpotensi mengganggu operasi proses tersebut yang hampir tidak ada gangguan yang dijaga kestabilannya.

Berikut merupakan rangkuman analisis HAZOP pada *node amine regenerator*.

**Tabel 4.5** HAZOP Worksheet *amine regenerator*

<i>Instrument</i>	<i>Deviation</i>	<i>Causes</i>	<i>Consequences</i>	<i>Safeguards</i>	<i>L</i>	<i>S</i>	<i>RR</i>
<i>LT 172</i>	<i>High Level</i>	<i>More pressure from amine exchanger</i>	<i>High level in amine regenerator</i>	<i>135-LV-172</i>	<i>C</i>	<i>4</i>	<i>C4</i>
	<i>Low Level</i>	<i>Less pressure from amine exchanger</i>	<i>Low level to carry to the amine surge vessel</i>		<i>C</i>	<i>4</i>	<i>C4</i>
<i>FT 312</i>	<i>None</i>	<i>Flow in the hot lean amine pumps is balanced</i>	<i>There is that process almost nothing disturbance</i>	<i>135-FV-312</i>	<i>C</i>	<i>2</i>	<i>C2</i>

Berdasarkan Tabel 4.5 diketahui bahwa *instrument* LT 172 memiliki *risk ranking* sebesar C4 atau termasuk dalam kategori *moderate risk*. Sedangkan *instrument* FT 312 memiliki *risk ranking* sebesar C2 atau termasuk dalam kategori *moderate risk*.

#### 4.1.6. Node Amine Regenerator Reboiler

Unit ini berada di bagian bawah *amine regenerator* yang digunakan untuk memanaskan *amine* dari *Hot Oil Supply* yang akan masuk ke *Hot Oil Return*. *Instrument* pengendalian *flow tag* 303 digunakan untuk mengatur *flow amine* yang berada pada *amine regenerator reboiler*.

Pada FT 303 terdapat deviasi berupa *high flow*, hal ini disebabkan aliran *flow* yang berlebih sehingga yang menyebabkan berpotensi mengganggu operasi dengan penurunan kualitas *amine*. Sedangkan FT 303 deviasi *low level* dapat disebabkan oleh adanya sedikitnya *supply* dari *heating medium* ke dalam *amine regenerator reboiler*, hal ini dapat menyebabkan hilangnya regenerasi *amine* untuk memenuhi spesifikasi penjualan gas.

Berikut merupakan rangkuman analisis HAZOP pada *node amine regenerator reboiler*.

**Tabel 4.6** HAZOP *Worskheet amine regenerator reboiler*

<i>Instrument</i>	<i>Deviation</i>	<i>Causes</i>	<i>Consequences</i>	<i>Safeguards</i>	<i>L</i>	<i>S</i>	<i>RR</i>
FT 303	<i>High Flow</i>	<i>More flow of heating medium</i>	<i>High flow in amine regenerator reboiler with potential amine degradation</i>	135-FV-303	C	3	C3
	<i>Low Flow</i>	<i>Less supply from heating medium</i>	<i>Low of amine regeneration leading to off spec sales gas</i>		C	3	C3

Berdasarkan Tabel 4.6 diketahui bahwa *instrument* FT 303 memiliki *risk ranking* sebesar C3 atau termasuk dalam kategori *moderate risk*.

#### 4.1.7. Node Amine Reflux Drum

Unit ini didesain untuk menampung hasil kondensasi serta di dalamnya terdapat *separator* yang memisahkan kandungan gas asam dari hasil kondensasi. Gas asam menuju ke bagian atas kolom

yang dialirkan ke *thermal oxidizer* dan *acid flare*. *Instrument* pengendalian *flow tag* 137 digunakan untuk menjaga *flow amine* yang berada pada *amine reflux drum* pada kondisi operasi. *Instrument* pengendalian *pressure tag* FT 137 digunakan untuk menjaga *pressure* yang berada pada *amine reflux pumps* pada kondisi operasi. *Instrument* pengendalian *level tag* LT 173 digunakan untuk menjaga *level amine* yang berada pada *amine reflux pumps*.

Pada PT 111 terdapat deviasi berupa *high pressure*, hal ini dapat disebabkan adanya kehilangan kendali dari *controller* untuk memberikan sinyal kedua *valve* yang digerakkan untuk membuka. Hal ini dapat menyebabkan tekanan yang berlebih di dalam *amine reflux drum* berpotensi mengganggu operasi. Sedangkan PT 111 deviasi *low pressure* dapat disebabkan adanya kurangnya tekanan yang dibutuhkan dalam *amine reflux drum* sehingga tidak ada *pressure* yang keluar ke *thermal oxidizer* dan *acid flare*.

Pada LT 173 terdapat deviasi berupa *empty*, hal ini dikarenakan *level* dalam *amine reflux drum* ini seimbang sehingga tidak berpotensi mengganggu operasi

Pada FT 137 terdapat deviasi berupa *none*, hal ini dapat disebabkan *flow* terdapat kondisi stabil sehingga tidak berpotensi mengganggu operasi proses tersebut yang hampir tidak ada gangguan yang dijaga kestabilannya.

Berikut merupakan rangkuman analisis HAZOP pada *node amine reflux drum*.

**Tabel 4.7** HAZOP Worksheet *amine reflux drum*

<i>Instrument</i>	<i>Deviation</i>	<i>Causes</i>	<i>Consequences</i>	<i>Safeguards</i>	<i>L</i>	<i>S</i>	<i>RR</i>
PT 111	<i>High Pressure</i>	<i>Loss control of controller leading to PV 111 A/B open</i>	<i>Overpressure in the amine reflux drum</i>	<i>135-PV-111A/B</i>	<i>C</i>	<i>3</i>	<i>C3</i>
	<i>Low Pressure</i>	<i>Less pressure inside</i>	<i>Low pressure to carry out</i>	<i>135-PV-111A/B</i>	<i>C</i>	<i>3</i>	<i>C3</i>

**Tabel 4.7** HAZOP Worksheet amine reflux drum

Instrument	Deviation	Causes	Consequences	Safeguards	L	S	RR
LT 173	Empty	Level in the reflux drum is balanced	There is that process almost nothing disturbance	135-LV-173	C	2	C2
FT 137	None	Flow in the reflux pumps is balanced	There is that process almost nothing disturbance	135-FV-137	C	2	C2

Berdasarkan Tabel 4.7 diketahui bahwa *instrument* PT 111 memiliki *risk ranking* sebesar C3 atau dalam termasuk kategori *moderate risk*. Pada *instrument* LT 173 memiliki *risk ranking* sebesar C2 atau dalam kategori *moderate risk*. *Instrument* FT 137 memiliki *risk ranking* sebesar C2 atau termasuk dalam kategori *moderate risk*.

#### 4.1.8. Node Amine Surge Vessel

Unit ini didesain sebagai penyimpanan saluran tertutup dari *amine filter system* dalam menyerap kenaikan tekanan yang terjadi secara tiba-tiba. Dalam *amine surge vessel* terdapat *steam coil* agar viskositas *amine* tidak meningkat terlalu tajam saat kondisi cuaca dingin. Keluaran dari *amine surge vessel* ini akan dialirkan dan diproses kembali ke *amine contactor* melalui *lean amine pump*. *Instrument* pengendalian *level tag* 175 digunakan untuk mengatur ketinggian *amine* pada *amine surge vessel* ini dari *amine filter system*. *Instrument* pengendalian *flow tag* FT 107 digunakan untuk menjaga *flow amine* menuju ke *amine surge vessel* dari *lean amine pump* pada kondisi operasi.

Pada LT 175 terdapat deviasi berupa *high level*, hal ini disebabkan oleh banyaknya aliran dari *input* yang menuju ke *vessel* sehingga banyak *amine* mengalir masuk ke dalam *amine surge vessel*. Sedangkan LT 175 deviasi berupa *low level* dapat disebabkan adanya aliran dari *input* yang *minimum* sehingga sedikitnya *amine* yang masuk ke dalam *amine surge vessel*. Pada FT 107 terdapat deviasi *none*, hal ini dapat disebabkan *flow* terdapat kondisi stabil sehingga tidak berpotensi mengganggu operasi proses tersebut yang hampir tidak ada gangguan yang

dijaga kestabilannya. Berikut merupakan rangkuman analisis HAZOP pada *node amine surge vessel*.

**Tabel 4.8** HAZOP *Worksheet node amine surge vessel*

<i>Instrument</i>	<i>Deviation</i>	<i>Causes</i>	<i>Consequences</i>	<i>Safeguards</i>	<i>L</i>	<i>S</i>	<i>RR</i>
LT 175	High Level	More flow from input to the vessel	High level in amine surge vessel	135-LV-175	C	3	C3
	Low Level	Minimum flow from input to the vessel	Low level in amine surge vessel		C	3	C3
FT 107	None	Flow in the lean amine pumps is balanced	There is that process almost nothing disturbance	135-FV-137	C	2	C2

Berdasarkan Tabel 4.8 diketahui bahwa *instrument* LT 175 memiliki *risk ranking* sebesar C3 atau termasuk dalam kategori *moderate risk*. *Instrument* FT 107 memiliki *risk ranking* sebesar C2 atau dalam termasuk kategori *moderate risk*.

#### 4.2. Nilai SIL dan LCC Sebelum Optimisasi

Untuk mendapatkan perhitungan SIL dari *data maintenance* dimana berdasarkan *voting configuration* untuk masing-masing SIF. Perhitungan nilai SIL diwakili oleh perhitungan PFDavg. Nilai PFD digunakan untuk menentukan SIL. Berikut merupakan perhitungan PFD untuk masing-masing SIS pada *plant*.

**Tabel 4.9** Perhitungan PFD SIS Amine Contactor Inlet KO Drum 135-LSHH-101

<i>Instrument</i>	<i>MooN</i>	<i>MTTF</i>	<i>Lambda (λ)</i>	<i>PFDavg</i>
135-LSHH-101	1oo1	7401,6	0,00013510	0,591764
135-JP-01		-	0,00000624	0,00027312
135-SDV-240		7905	0,00012650	0,55408
PFDavg				0,38203904
SIL				0

Pada Tabel 4.9 di atas perhitungan PFD SIS pada *Amine Contactor Inlet KO Drum* terdapat *sensing element* (135-LSHH-101), *logic solver* (135-JP-01), dan *final element* (135-SDV-240) didapatkan nilai PFDavg sebesar SIL 0.

**Tabel 4.10** Perhitungan PFD SIS *Amine Contactor Inlet KO Drum* 135-LSHH-166

<i>Instrument</i>	<i>MooN</i>	<i>MTTF</i>	<i>Lambda</i> ( $\lambda$ )	<i>PFDavg</i>
135-LSHH-166	1001	7620	0,00013123	0,574803
135-JP-01		-	0,00000624	0,00027312
135-SDV-240		7905	0,00012650	0,55408
PFDavg				0,37638537
SIL				0

Pada Tabel 4.10 di atas perhitungan PFD SIS pada *Amine Contactor Inlet KO Drum* terdapat *sensing element* (135-LSHH-166), *logic solver* (135-JP-01), dan *final element* (135-SDV-240) didapatkan nilai PFDavg sebesar SIL 0.

**Tabel 4.11** Perhitungan PFD SIS *Amine Contactor Inlet KO Drum* 135-LSHH-344

<i>Instrument</i>	<i>MooN</i>	<i>MTTF</i>	<i>Lambda</i> ( $\lambda$ )	<i>PFDavg</i>
135-LSHH-344	1001	7706,6	0,00012975	0,568339
135-JP-01		-	0,00000624	0,00027312
135-SDV-240		7905	0,00012650	0,55408
PFDavg				0,37423076
SIL				0

Pada Tabel 4.11 di atas perhitungan PFD SIS pada *Amine Contactor Inlet KO Drum* terdapat *sensing element* (135-LSHH-344), *logic solver* (135-JP-01), dan *final element* (135-SDV-240) didapatkan nilai PFDavg sebesar SIL 0.

**Tabel 4.12** Perhitungan PFD SIS *Amine Contactor Inlet KO Drum* 135-LSHH-345

<i>Instrument</i>	<i>MooN</i>	<i>MTTF</i>	<i>Lambda</i> ( $\lambda$ )	<i>PFDavg</i>
135-LSHH-345	1001	7908	0,00012645	0,553869
135-JP-01		-	0,00000624	0,00027312



**Tabel 4.12** Perhitungan PFD SIS *Amine Contactor Inlet KO Drum* 135-LSHH-345 (Lanjutan)

<b>Instrument</b>	<b>MooN</b>	<b>MTTF</b>	<b>Lambda (<math>\lambda</math>)</b>	<b>PFDavg</b>
135-SDV-353		8085	0,00012368	0,541744
PFDavg				0,36529537
SIL				0

Pada Tabel 4.12 di atas perhitungan PFD SIS pada *Amine Contactor Inlet KO Drum* terdapat *sensing element* (135-LSHH-345), *logic solver* (135-JP-01), dan *final element* (135-SDV-353) didapatkan nilai PFDavg sebesar SIL 0.

**Tabel 4.13** Perhitungan PFD SIS *Amine Contactor* 135-LSLL178

<b>Instrument</b>	<b>MooN</b>	<b>MTTF</b>	<b>Lambda (<math>\lambda</math>)</b>	<b>PFDavg</b>
135-LSLL-178	1001	8517,3	0,00011740	0,514245
135-JP-01		-	0,00000624	0,00027312
135-SDV-241		8754	0,00011423	0,500343
PFDavg				0,33828704
SIL				0

Pada Tabel 4.13 di atas perhitungan PFD SIS pada *Amine Contactor* terdapat *sensing element* (135-LSHH-178), *logic solver* (135-JP-01), dan *final element* (135-SDV-241) didapatkan nilai PFDavg sebesar SIL 0.

**Tabel 4.14** Perhitungan PFD SIS *Amine Overhead Gas KO Drum* 135-LSLL-169

<b>Instrument</b>	<b>MooN</b>	<b>MTTF</b>	<b>Lambda (<math>\lambda</math>)</b>	<b>PFDavg</b>
135-LSLL-169	1001	8119,2	0,00012316	0,512947
135-JP-01		-	0,00000624	0,00027312
135-SDV-243		4773,2	0,00020950	0,917628
PFDavg				0,47694937
SIL				0

Pada Tabel 4.14 di atas perhitungan PFD SIS pada *Amine Overhead Gas KO Drum* terdapat *sensing element* (135-LSLL-169), *logic solver* (135-JP-01), dan *final element* (135-SDV-243) didapatkan nilai PFDavg sebesar SIL 0.

**Tabel 4.15** Perhitungan PFD SIS *Amine Flash Drum* 135-LSLL-102

<i>Instrument</i>	<i>MooN</i>	<i>MTTF</i>	<i>Lambda (<math>\lambda</math>)</i>	<i>PFDavg</i>
135-LSLL-102	1001	8845,7	0,00011304	0,495155
135-JP-01		-	0,00000624	0,00027312
135-SDV-245		4773,2	0,00020950	0,917628
PFDavg				0,47101870
SIL				0

Pada Tabel 4.15 di atas perhitungan PFD SIS pada *Amine Flash Drum* terdapat *sensing element* (135-LSLL-102), *logic solver* (135-JP-01), dan *final element* (135-SDV-245) didapatkan nilai PFDavg sebesar SIL 0.

**Tabel 4.16** Perhitungan PFD SIS *Amine Flash Drum* 135-LSLL-171

<i>Instrument</i>	<i>MooN</i>	<i>MTTF</i>	<i>Lambda (<math>\lambda</math>)</i>	<i>PFDavg</i>
135-LSLL-171	1001	7200	0,00013888	0,608333
135-JP-01		-	0,00000624	0,00027312
135-SDV-243		4773,2	0,00020950	0,917628
PFDavg				0,50874470
SIL				0

Pada Tabel 4.16 di atas perhitungan PFD SIS pada *Amine Flash Drum* terdapat *sensing element* (135-LSLL-171), *logic solver* (135-JP-01), dan *final element* (135-SDV-243) didapatkan nilai PFDavg sebesar SIL 0.

**Tabel 4.17** Perhitungan PFD SIS *Amine Regenerator* 135-LSLL-203

<i>Instrument</i>	<i>MooN</i>	<i>MTTF</i>	<i>Lambda (<math>\lambda</math>)</i>	<i>PFDavg</i>
135-LSLL-203	1002	14352	0,00000696	0,186274
135-JP-01		-	0,00000624	0,00027312
135-XS-310		7818,6	0,00012789	0,627643
135-XS-311		7500	0,00013333	0,682112
PFDavg				0,27139670
SIL				0

Pada Tabel 4.17 di atas perhitungan PFD SIS pada *Amine Regenerator* terdapat *sensing element* (135-LSLL-203), *logic solver* (135-JP-01), dan *final element* (135-XS-310 dan 135-XS-311) didapatkan nilai PFDavg sebesar SIL 0.

**Tabel 4.18** Perhitungan PFD SIS *Amine Reflux Drum* 135-LSHH  
174

<i>Instrument</i>	<i>MooN</i>	<i>MTTF</i>	<i>Lambda (<math>\lambda</math>)</i>	<i>PFDavg</i>
135-LSHH-174	1001	7781,3	0,00012851	0,562886
135-JP-01		-	0,00000624	0,00027312
135-SDV-245		4773,2	0,00020950	0,917628
PFDavg				0,49359570
SIL				0

Pada Tabel 4.18 di atas perhitungan PFD SIS pada *Amine Reflux Drum* terdapat *sensing element* (135-LSHH-174), *logic solver* (135-JP-01), dan *final element* (135-SDV-245) didapatkan nilai PFDavg sebesar SIL 0.

**Tabel 4.19** Perhitungan PFD SIS *Amine Reflux Drum* 135-LSLL-  
185

<i>Instrument</i>	<i>MooN</i>	<i>MTTF</i>	<i>Lambda (<math>\lambda</math>)</i>	<i>PFDavg</i>
135-LSLL-185	1002	7854	0,00012732	0,622009
135-JP-01		-	0,00000624	0,00027312
135-XS-270		7524	0,00013290	0,677767
135-XS-271		6521,4	0,00015334	0,902172
PFDavg				0,5505552
SIL				0

Pada Tabel 4.19 di atas perhitungan PFD SIS pada *Amine Reflux Drum* terdapat *sensing element* (135-LSLL-185), *logic solver* (135-JP-01), dan *final element* (135-XS-270 dan 135-XS-271) didapatkan nilai PFDavg sebesar SIL 0.

**Tabel 4.20** Perhitungan PFD SIS *Amine Reflux Drum* 135-LSLL-355

Instrument	MooN	MTTF	Lambda ( $\lambda$ )	PFDavg
135-LSLL-355	1002	8116,8	0,00012320	0,582383
135-JP-01		-	0,00000624	0,00027312
135-XS-282		7671	0,00013128	0,661131
135-XS-283		8682	0,00011518	0,509024
PFDavg				0,4382027
SIL				0

Pada Tabel 4.20 di atas perhitungan PFD SIS pada *Amine Reflux Drum* terdapat *sensing element* (135-LSLL-355), *logic solver* (135-JP-01), dan *final element* (135-XS-282 dan 135-XS-283) didapatkan nilai PFDavg sebesar SIL 0.

Berdasarkan PFD total dari SIS pada Tabel 4.9 diketahui nilai SIL adalah SIL 0. Nilai PFDavg yang didapatkan sesuai dengan Tabel 2.2 mengenai kriteria nilai SIL berdasarkan dalam keadaan *low demand mode* dengan *plant* memiliki nilai tingkat keamanan sebesar SIL 0. Berdasarkan perhitungan, dapat diketahui *plant* beroperasi mengalami kegagalan kurang dari sekali dalam 12 tahun.

Untuk perhitungan nilai LCC sebelum optimisasi didapatkan dari penjumlahan antara *cost procurement*, *cost operation*, dan *cost risk*. *Cost procurement* didapatkan dari data sekunder dengan membandingkan jenis teknologi pada setiap *instrument* yang digunakan. *Cost maintenance* didapatkan dari data lapangan. *Cost risk* didapatkan data total nilai *financial consequence* pada HAZOP *worksheet*. Berikut merupakan Tabel 4.21 perhitungan LCC pada *plant* sebelum dilakukan optimisasi.

**Tabel 4. 21** Perhitungan LCC pada *plant*

Instrument	Cost		
	Procurement (\$)	Operation (\$)	Aset (\$)
LT 165	5444	4985,81	10000000
LV 165	7540	1065,75	
LT 352	5444	655,75	1000000
LV 352	7540	739,09	

**Tabel 4.21** Perhitungan LCC pada *plant* (Lanjutan)

<i>Instrument</i>	<i>Cost</i>		
	<i>Procurement</i> (\$)	<i>Operation</i> (\$)	<i>Aset</i> (\$)
FT 100	5444	559,04	
FV 100	7540	1032	300000
LT 167	5444	673,88	300000
LV 167	7540	1250,94	
LT 168	5444	187,26	1000000
LV 168	7540	79,97	
LT 170	5444	158,97	1000000
LV 170	7540	506,24	
PT 110	5444	173,68	100000
PV 110A	7540	3094,99	
PV 110B	7540	572,36	
FT 303	5444	577,42	300000
FV 303	7540	978,25	
LT 172	5444	383,88	1000000
LV 172	7540	629,95	
FT 312	5444	743,9	100000
FV 312	7540	915,47	
PT 111	5444	198,3	300000
PV 111A	7540	743,9	
PV 111B	7540	983,9	
LT 173	5444	193,5	1000000
LV 173	7540	921,78	
FT 137	5444	174,4	100000
FV 137	7540	2770,88	
FT 107	5444	218,8	100000
FV 107	7540	1597,73	
LT 175	5444	725,73	300000
LV 172	7540	629,95	
15 Unit PLC	2566320	-	-
Total Cost (\$)	27716160	65318	16900000

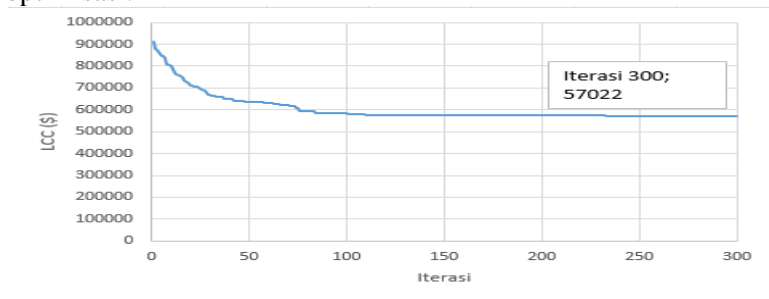
**Tabel 4.21** Perhitungan LCC pada *plant* (Lanjutan)

<i>Instrument</i>	<i>Cost</i>		
	<i>Procurement</i> (\$)	<i>Operation</i> (\$)	<i>Aset</i> (\$)
Cost Risk (\$)	-	-	7107937
LCC	USD 16965318		

Dari Tabel 4.21 diperoleh total biaya pembelian atau *cost procurement* sebesar USD 27716160, untuk total biaya operasi atau *cost operation* sebesar USD 65318, dan total biaya kehilangan aset atau *cost aset* sebesar USD 16900000. Didapatkan hasil tersebut, dari penjumlahan *financial consequences* pada masing-masing *loop*. *Cost risk* didapatkan di atas dengan mengalikan biaya kehilangan aset dengan nilai PFDavg. Nilai *cost risk* sebesar USD 7107937. Sehingga didapatkan nilai LCC pada *plant* adalah sebesar USD 16965318.

### 4.3. Analisis Hasil Optimisasi SIL dan LCC

Untuk menentukan nilai PFDavg dan nilai LCC yang paling *minimum* dengan melakukan optimisasi. Fungsi objektif yang digunakan adalah *life cycle cost*. Berikut diperoleh hasil plot grafik optimisasi.

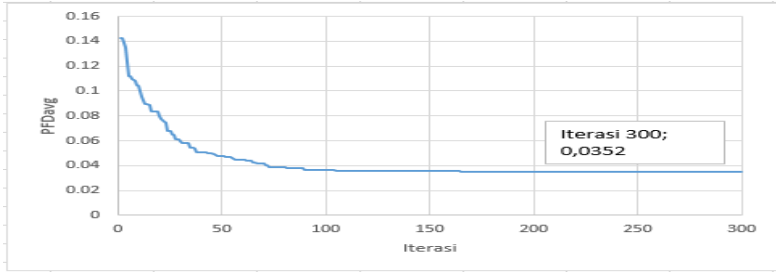
**Gambar 4. 1** Optimisasi Fungsi Objektif

Dari Gambar 4.1 diperoleh hasil LCC *minimum* sebesar USD 570222. Selain, dari PFDavg nilai LCC dipengaruhi juga oleh persebaran jenis teknologi dan arsitektur SIS. Berikut untuk hasil optimisasi variabel yang mempengaruhi nilai LCC.

**Tabel 4.22** Hasil macam-macam arsitektur dan teknologi

<i>Instrument</i>	MoonN	Jenis Teknologi		
		1 (/unit)	2 (/unit)	3 (/unit)
LT 165	1001	0	1	0
LV 165	1001	1	0	0
LT 352	1001	0	1	0
LV 352	1001	1	0	0
FT 100	1001	0	1	0
FV 100	1001	1	0	0
LT 167	1001	0	1	0
LV 167	1001	0	1	0
LT 168	1001	0	1	0
LV 168	1001	1	0	0
LT 170	1001	0	1	0
LV 170	1001	1	0	0
PT 110	1001	0	1	0
PV 110	1001	1	0	0
FT 303	1001	0	1	0
FV 303	1001	1	0	0
LT 172	1001	0	1	0
LV 172	1001	1	0	0
FV 312	1001	1	0	0
PT 111	1001	0	1	0
PV 111	1001	1	0	0
LT 173	1001	0	1	0
LV 173	1001	1	0	0
FT 137	1001	0	1	0
FV 137	1001	1	0	0
FT 107	1001	0	1	0
FV 107	1001	0	1	0

Dari Tabel 4.22 diketahui bahwa pada *vote* arsitektur SIS yang paling optimum adalah 1001. Jenis teknologi yang digunakan untuk *transmitter* pada *plant* adalah jenis *conventional electronic transmitter* dan jenis teknologi yang digunakan untuk *valve* adalah jenis *air operated*.



**Gambar 4. 2** Optimisasi PFDavg

Gambar 4.2 di atas mengenai optimisasi PFDavg pada generasi 300 yang didapatkan hasil PFDavg *minimum* sebesar 0,0352. Setelah dilakukan optimisasi tersebut yang dilakukan pada nilai PFDavg dan LCC *minimum* sebagai berikut.

**Tabel 4.23** Hasil optimisasi PFDavg dan LCC

Data	Nilai
PFDavg	0,0352
SIL	1
LCC (\$)	570222

Hasil optimisasi di atas, pada *H<sub>2</sub>S Removal plant* didapatkan nilai PFDavg sebesar 0,0352. Dari hasil nilai PFDavg tersebut sesuai dengan Tabel 2.2 mengenai kriteria nilai SIL pada keadaan *low demand mode* memenuhi dengan kriteria nilai SIL tersebut. Untuk nilai LCC setelah optimisasi sebesar USD 570222. Diketahui hasil optimisasi yang dilakukan dapat menurunkan potensi risiko bahaya pada *plant*.

**Tabel 4.24** Risk ranking hasil rancangan

<i>Instrument</i>	<i>Likelihood</i>	<i>Severity</i>	<i>Risk Ranking</i>
LT 165	A	4	A4
LT 352	A	4	A4
FT 100	A	3	A3
LT 167	A	3	A3
LT 168	A	4	A4



**Tabel 4.24** *Risk ranking* hasil rancangan (Lanjutan)

<b><i>Instrument</i></b>	<b><i>Likelihood</i></b>	<b><i>Severity</i></b>	<b><i>Risk Ranking</i></b>
LT 170	A	4	A4
PT 110	A	2	A2
FT 303	A	3	A3
LT 172	A	4	A4
FT 312	A	2	A2
PT 111	A	3	A3
LT 173	A	2	A2
FT 137	A	2	A2
FT 107	A	2	A2

Tabel 4.24 diketahui potensi risiko mengalami penurunan menjadi 35,71% *moderate risk* dan 64,28 % *low risk*. Hasil *vote arsitektur* yang optimum digambarkan dalam bentuk P&ID *H<sub>2</sub>S Removal plant* ditunjukkan pada lampiran B.

#### 4.4. Pembahasan

Dalam tugas akhir ini memiliki tujuan adalah untuk menganalisis potensi bahaya pada *plant* serta mengevaluasi pada komponen pengamanannya dimana terdiri dari *sensing element*, *logic solver*, dan *final element*. Dalam menganalisis potensi bahaya, *H<sub>2</sub>S Removal plant* terbagi menjadi 15 *loop* pengendalian yang terdapat dalam 8 *node* proses utama. Masing-masing *loop*, dari data proses diolah ke dalam grafik *control chart*. Pada *control chart* yang dihasilkan menunjukkan dalam setiap *node* memiliki deviasi dari batas kendali yang telah dihitung. Setelah ditentukan deviasi, membuat *risk ranking* didapatkan dengan mengestimasi nilai *likelihood* dan nilai *severity*. *Risk ranking* tersebut menunjukkan adanya *loop* yang memiliki kategori *high risk* adalah pengendalian *level tag 165* pada *Amine Contactor Inlet KO Drum*. Sedangkan, *loop* pengendalian lainnya memiliki kategori *moderate risk* dengan persentase sebesar 6,6% *high risk* dan 93,3% *moderate risk*. Diketahui *risk ranking* digunakan untuk mengestimasi seberapa besar biaya kecelakaan yang didapatkan dari nilai *financial consequences*. Pada HAZOP menunjukkan *plant*

memiliki potensi bahaya dan kerugian yang cukup besar, dengan ini *plant* membutuhkan sistem keselamatan yang baik.

Setelah potensi bahaya diketahui pada *plant*, dilakukan perhitungan data lapangan mengenai tingkat keamanan pada *plant*. Tingkat keamanan atau SIL didapatkan dengan perhitungan dari nilai kemungkinan kegagalan (PFDavg). Nilai PFDavg sebelum optimisasi diperoleh dari data kegagalan *instrument* pada masing-masing *loop* pengendalian yang ditentukan. Hasil perhitungan nilai PFDavg yang didapatkan sebesar 0,420558 atau setara dengan nilai SIL 0 berdasarkan standar yang digunakan. Sedangkan, untuk perhitungan LCC diperoleh dari total biaya pembelian, biaya operasi, dan biaya kecelakaan. Hasil perhitungan untuk LCC sebelum dilakukan optimisasi sebesar USD 16965318.

Setelah didapatkan hasil perhitungan sebelum optimisasi, langkah selanjutnya melakukan perancangan SIS pada nilai SIL dan LCC dengan menggunakan perhitungan RAMS+C untuk sebagai pembanding dengan perhitungan nilai pada *plant* yang sebelum dioptimasi. Perancangan tersebut dilakukan dengan mengoptimisasi fungsi objektif yaitu nilai LCC yang menggunakan simulasi *genetic algorithm*. Dari hasil optimisasi pada arsitektur SIS yang digunakan untuk *sensing element* dan *final element* adalah 1ool dengan menggunakan jenis teknologi tipe A. Nilai PFDavg setelah dilakukan optimisasi didapatkan sebesar nilai SIL 1. Sedangkan, untuk nilai LCC hasil optimisasi adalah USD 570222. Berdasarkan rancangan yang dilakukan tersebut didapatkan dengan potensi bahaya sedikit penurunan menjadi 35,71% *moderate risk* dan 64,28% *low risk*. Pada perhitungan sebelum dilakukan optimisasi dan setelah optimisasi terdapat perbedaan nilai SIL dan LCC. Biaya sistem keamanan yang disebut LCC meliputi biaya pembelian hingga biaya perawatan *instrument*. Pemilihan yang bagus untuk jenis teknologi yang digunakan pada perancangan yaitu *conventional electronic transmitter* untuk *transmitter* dan *air operated* untuk *final element* menghasilkan LCC *minimum*. Dari nilai PFD yang didapatkan mempresentasikan nilai SIL yang digunakan pada komponen. Dengan mengetahui nilai SIL dari suatu *instrument* maka dapat merekomendasi untuk mencegah bahaya yang akan terjadi nantinya. Semakin tinggi nilai SIL menunjukkan *plant* semakin aman dengan tingkat keamanan

yang tinggi pula. Sistem keamanan plant tidak hanya bergantung pada tingkat nilai keamanan, namun diperhatikan juga biaya pengoperasian sistem keamanan tersebut. Hal tersebut untuk mendapatkan LCC yang optimal dibutuhkan hasil PFDavg yang rendah. Setiap *vote* memiliki nilai  $C_{Moon}$  masing-masing yang ditunjukkan pada Tabel 3.13, semakin kecil nilai  $C_{Moon}$  semakin kecil juga nilai PFDavg yang didapatkan. Pemilihan *vote* 1001 mempengaruhi nilai LCC yang rendah karena  $C_{Moon}$  bernilai sama dengan 0 sedangkan pada LCC tertinggi memiliki *vote* bervariasi dengan nilai  $C_{Moon}$  yang semakin tinggi. Adanya peningkatan nilai SIL yang didapatkan dari hasil setelah dilakukan optimisasi memiliki nilai SIL 1 dan pada LCC berkurang sebesar 16908296. Untuk meningkatkan nilai SIL dapat mengurangi nilai *failure rate* tiap *instrument* dengan melakukan perawatan rutin serta meminimalisir biaya dengan mengurangi jumlah *instrument* pada *final element* pada *loop* pengendalian *pressure tag* 110 dan *loop* pengendalian *pressure tag* 111 dengan *vote* arsitektur 1002 menjadi 1001 dan juga pengurangan pada *sensing element loop* pengendalian *level tag* 175 yang digunakan sebagai *instrument* yang membantu dalam prosesnya.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan pada tugas akhir ini sebagai berikut :

- Potensi bahaya pada *H<sub>2</sub>S Removal plant* memiliki persentase adalah 6,6% *high risk* dan 93,3% *moderate risk*. Nilai SIL dan LCC sebelum dilakukan optimisasi adalah sebesar SIL 0 dan USD 16965318.
- Evaluasi SIS pada *H<sub>2</sub>S Removal plant* dengan mengurangi jumlah *instrument transmitter loop* pengendalian *level tag* 175 serta pada *loop* pengendalian *pressure tag* 110 dan *loop* pengendalian *pressure tag* 111. Dalam optimisasi SIS yang dilakukan ini menggunakan generasi sebanyak 300 menghasilkan nilai PFDvg sebesar 0,0352 dengan adanya peningkatan nilai SIL 1. Pengurangan nilai LCC yang dihasilkan dari nilai sebelum dan setelah optimisasi sebesar USD 16908296.
- Nilai SIL setelah dilakukan optimisasi adalah sebesar SIL 1 dan USD 570222. Pada optimisasi tersebut memiliki *vote* arsitektur 1oo1 dengan menggunakan teknologi tipe A. Serta persentase potensi risiko pada *H<sub>2</sub>S Removal plant* mengalami penurunan menjadi 35,71% *moderate risk* dan 64,28 % *low risk*.

#### 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut :

- Dalam melakukan perancangan dilakukan pada keadaan *high demand mode*.
- Rekomendasi perawatan secara rutin pada setiap *instrument* agar nilai *failure rate* tidak terlalu tinggi.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- 1 Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi Kementerian Energi dan Sumber Daya Alam Mineral, "Rencana strategis 2015-2019", pp. 74.
- 2 Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi Kementerian Energi dan Sumber Daya Alam Mineral, "Statistik Minyak dan Gas Bumi", pp. 81, 2016.
- 3 F. Crawley and B. Tyler, HAZOP : Guide to best practice, Guidelines to best practice for the process and chemical industries, Skotlandia : Instituion of chemical engineering (IChmeE), 2015.
- 4 M. Vileiniskis, R. Remenyte-Presscot, D. Rama and J. Andrews, "Fault detection and diagnostics of a three-phase separator," Journal of Loss Prevention in the Process Industries, vol. 4, pp. 215-230, 2016.
- 5 A. C. Torres-Echeverria, S. Martorell, H.A Thompson, "Design Optimization of a Safety Instrumented System based on RAMS+C addressing IEC 61508 requirements and diverse redudancy," Reliability Engineering & Safety System, vol. 84, pp. 162-179, 2009.
- 6 A. C. Torres-Echeverria, "Modelling and Optimization of Safety Instrumented Systems Based on Dependability and Cost Measures," Department of Automatic Control and Systems Engineering, The University of Sheffiels, 2009.
- 7 T. N. G. Borhani, M. Afkhmipour, A. Azarpour, V. Akbari, S. H. Ernadi, Z. A. Manan, "Modelling Study on CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S Simultaneous Removal Using MDEA Solution," Journal Of Industrial and Engineering Chemistry, 2015.
- 8 H. Devold, An Introduction to Oil and Gas Production Transport, refining, and Petrochemical Insudtry, Oslo:

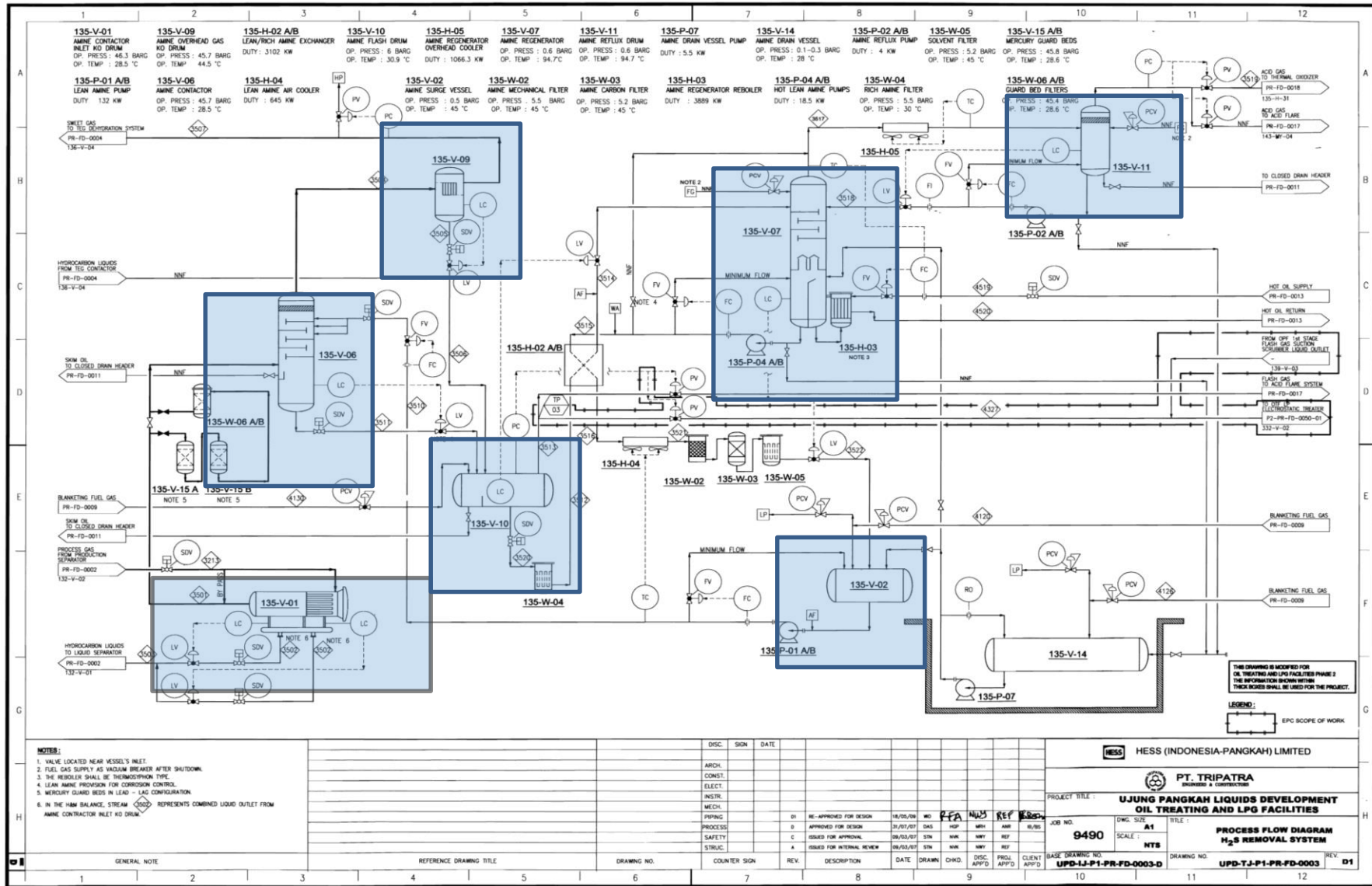
- ABB Oil and Gas, 2013.
- 9 N. Hyatt, Guidelines for Process Hazard Analysis, Hazard Identification & Risk Analysis, Boca Aton, London, New York, Washington D.C: CRC Press : 2003.
  - 10 M. A. Lundteigen, M. Rausand, "Common cause failures in safety instrumented systems oil and gas installations : Implementing defense measures through function testing," Journal of Loss Prevention , vol. 20, pp. 218-229, 2007.
  - 11 I. E. C. IEC 61508 Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety related system Parts 1-7, Switzerland, 1998-2005
  - 12 P. Stravrianidis and K. Bhimavarapu, "Safety instrumented function and safety integrity levels." ISA Transactions, vol. 37, pp. 337-351, 1998.
  - 13 C. E. Ebeling,"An Introduction To Reliability And Maintainability Engineering," The McGraw – Hill Companies, Inc, Singapore, 1997.
  - 14 M. Sallak, C. Simon, J. F. Aubry,"Optimal Design Of Safety Instrumented System," Conference Paper, 2006.
  - 15 A. C. Torres-Echeverria, S. Martorell, H.A Thompson,"Design Optimization of a Safety Instrumented System based on RAMS+C addressing IEC 61508 requirements and diverse redudancy," Reliability Engineering & Safety System, vol. 84, pp. 162-179,2009.
  - 16 T. N. G. Borhani, M. Afkhmipour, A. Azarpour, V. Akbari, S. H. Ernadi, Z. A. Manan,"Modelling Study on CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S Simultaneous Removal Using MDEA Solution," Journal Of Industrial and Engineering Chemistry, 2015.
  - 17 M. Hafidz Omar,"Statistical Process Control Charts for Measuring and Monitoring Temporal Consistency of

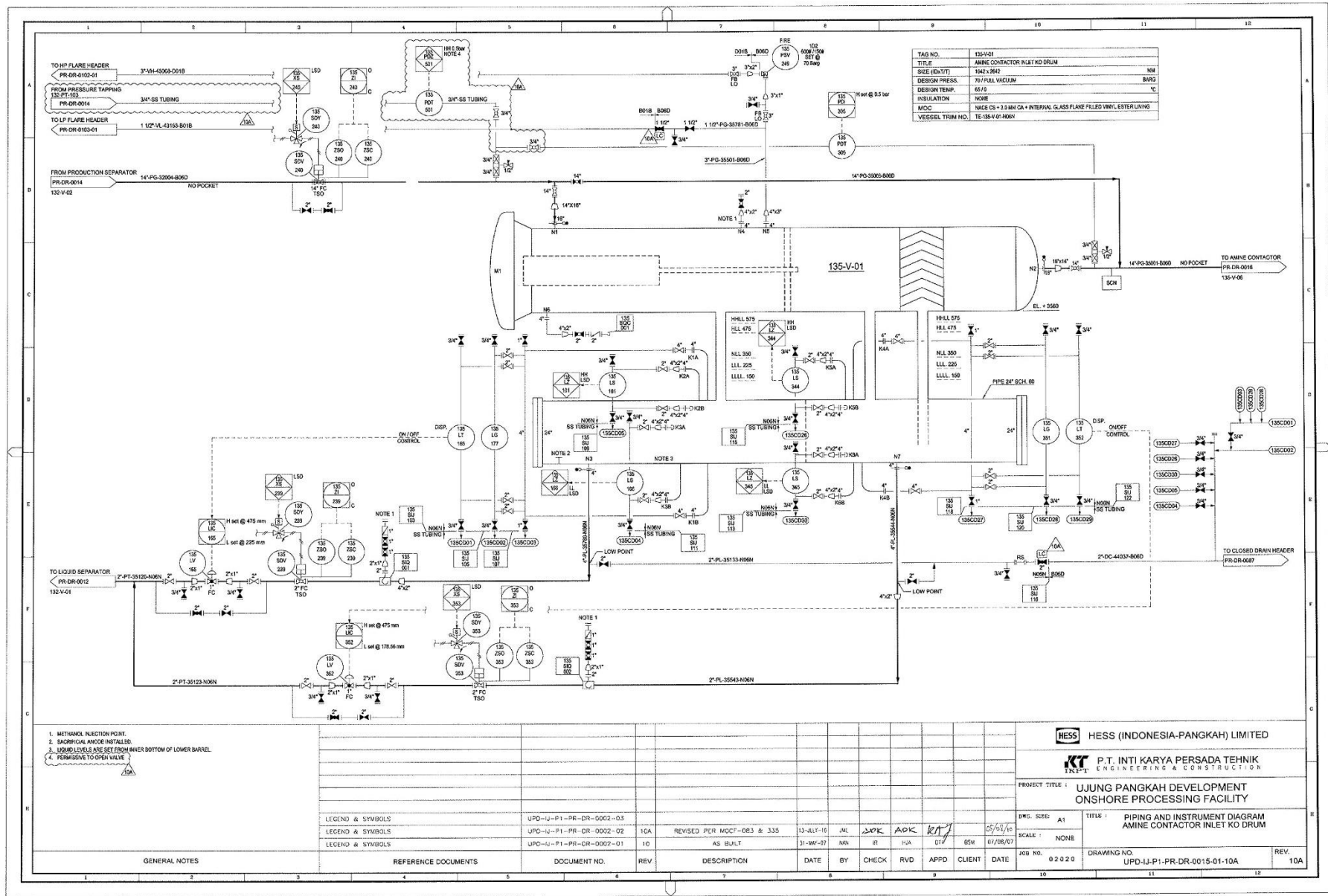


Ratings," *Journal of Educational Measurement*,  
National Council On Measurement In Education, vol.  
47, pp. 18-35

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# LAMPIRAN A PFD DAN P&ID H<sub>2</sub>S REMOVAL PLANT





- 1. METHANOL INJECTION POINT.
- 2. SACRIFICIAL ANODE INSTALLED.
- 3. LIQUID LEVELS ARE SET FROM INNER BOTTOM OF LOWER BARREL.
- 4. PERMISSIVE TO OPEN VALVE.

LEGEND & SYMBOLS

LEGEND & SYMBOLS

LEGEND & SYMBOLS

LEGEND & SYMBOLS

LEGEND & SYMBOLS

LEGEND & SYMBOLS

LEGEND & SYMBOLS

LEGEND & SYMBOLS

LEGEND & SYMBOLS

LEGEND & SYMBOLS

LEGEND & SYMBOLS

LEGEND & SYMBOLS

LEGEND & SYMBOLS

HESS HESS (INDONESIA-PANGKAH) LIMITED

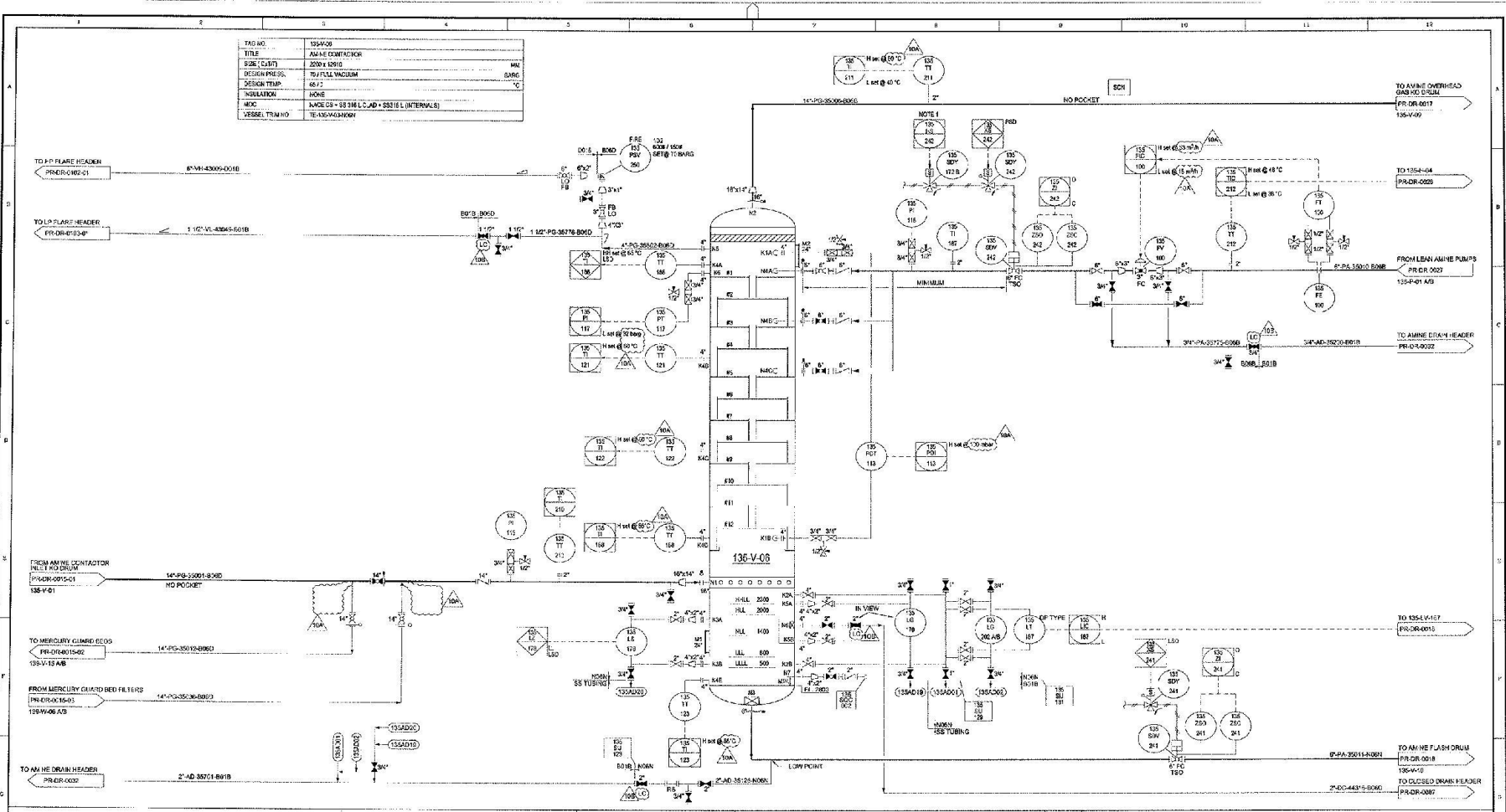
P.T. INTI KARYA PERSADA TEKNIK ENGINEERING & CONSTRUCTION

PROJECT TITLE: UJUNG PANGKAH DEVELOPMENT ONSHORE PROCESSING FACILITY

TITLE: PIPING AND INSTRUMENT DIAGRAM AMINE CONTACTOR INLET KO DRUM

DWG. SIZE: A1 SCALE: NONE JOB NO. 02020 DRAWING NO. UPD-IJ-P1-PR-DR-0015-01-10A REV. 10A

TAG NO.	136V-08
TITLE	AMINE COMPACTOR
SIZE / SHEET	2004 / 0818
DESIGN PRESS.	70/ FULL VACUUM
DESIGN TEMP.	60 / 2
INSULATION	NONE
MOD.	NONE
VESEL TRN NO.	TE-136V-08-0001



INTERLOCK SUCH THAT AFTER 3 SECONDS OF START UP 136V-01 AND 136V-02 IS AUTOMATICALLY OPENED AND AFTER 136V-01 AND 136V-02 IS AUTOMATICALLY CLOSED.

**HESS** HESS (INDONESIA-PANGKAH) LIMITED

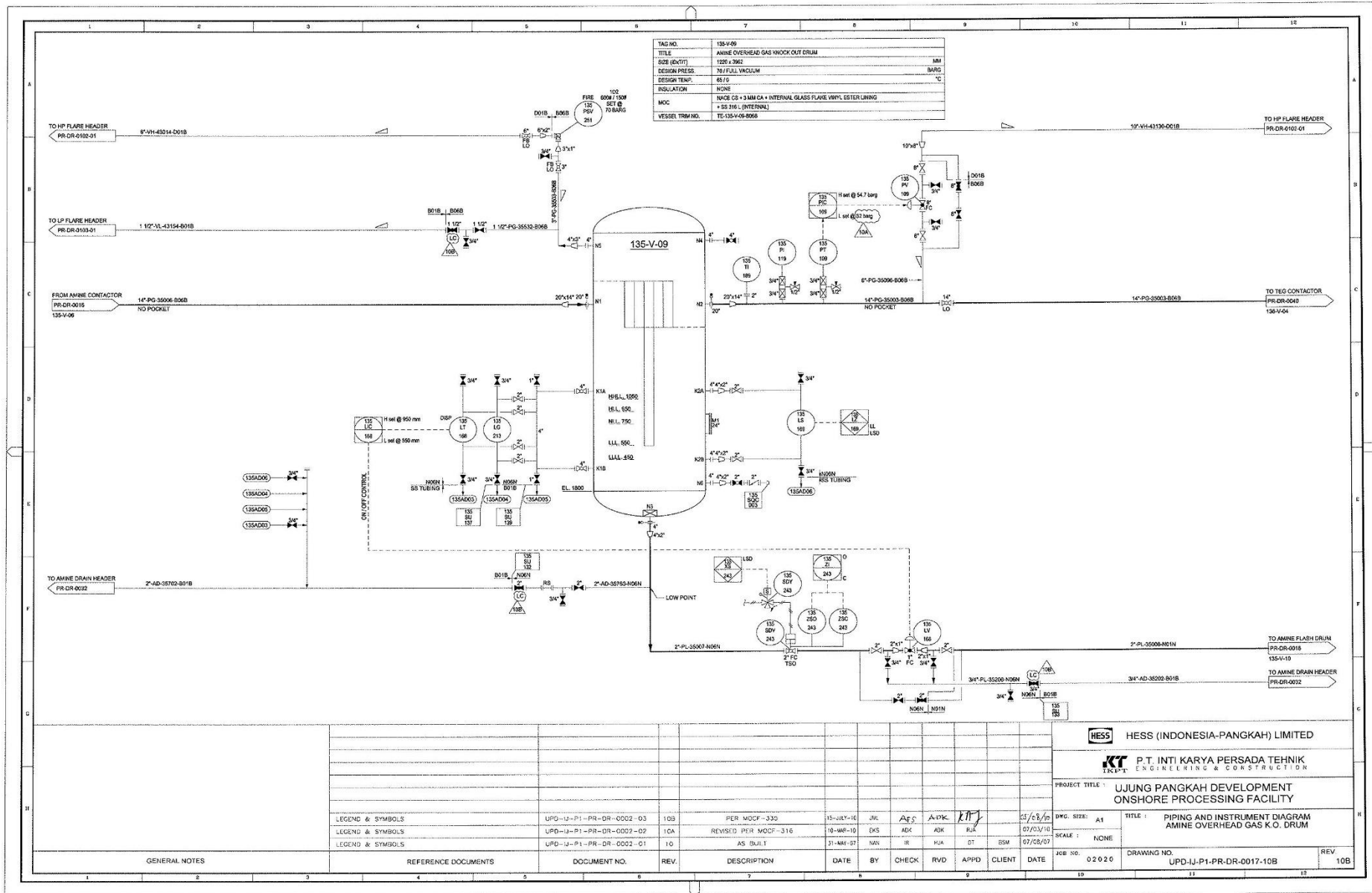
**PT. INTI KARYA PERSADA TEHNIK**  
ENGINEERING & CONSULTING

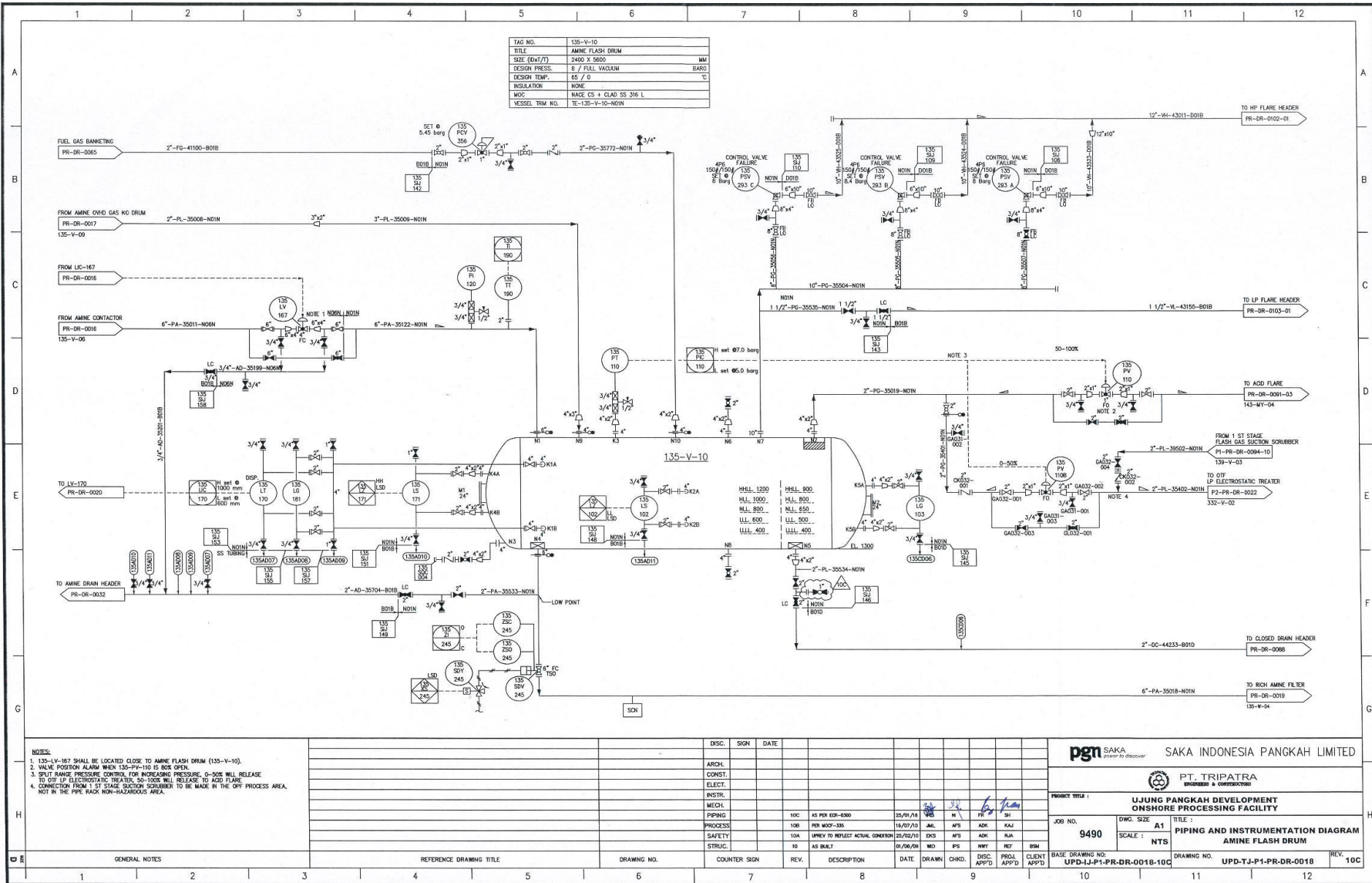
PROJECT TITLE: **UJUNG PANGKAH DEVELOPMENT ONSHORE PROCESSING FACILITY**

WORLEYPARSONS	136V-01-PR-DR-001-05
LEGEND & SYMBOLS	136V-01-PR-DR-001-02
LEGEND & SYMBOLS	136V-01-PR-DR-001-01

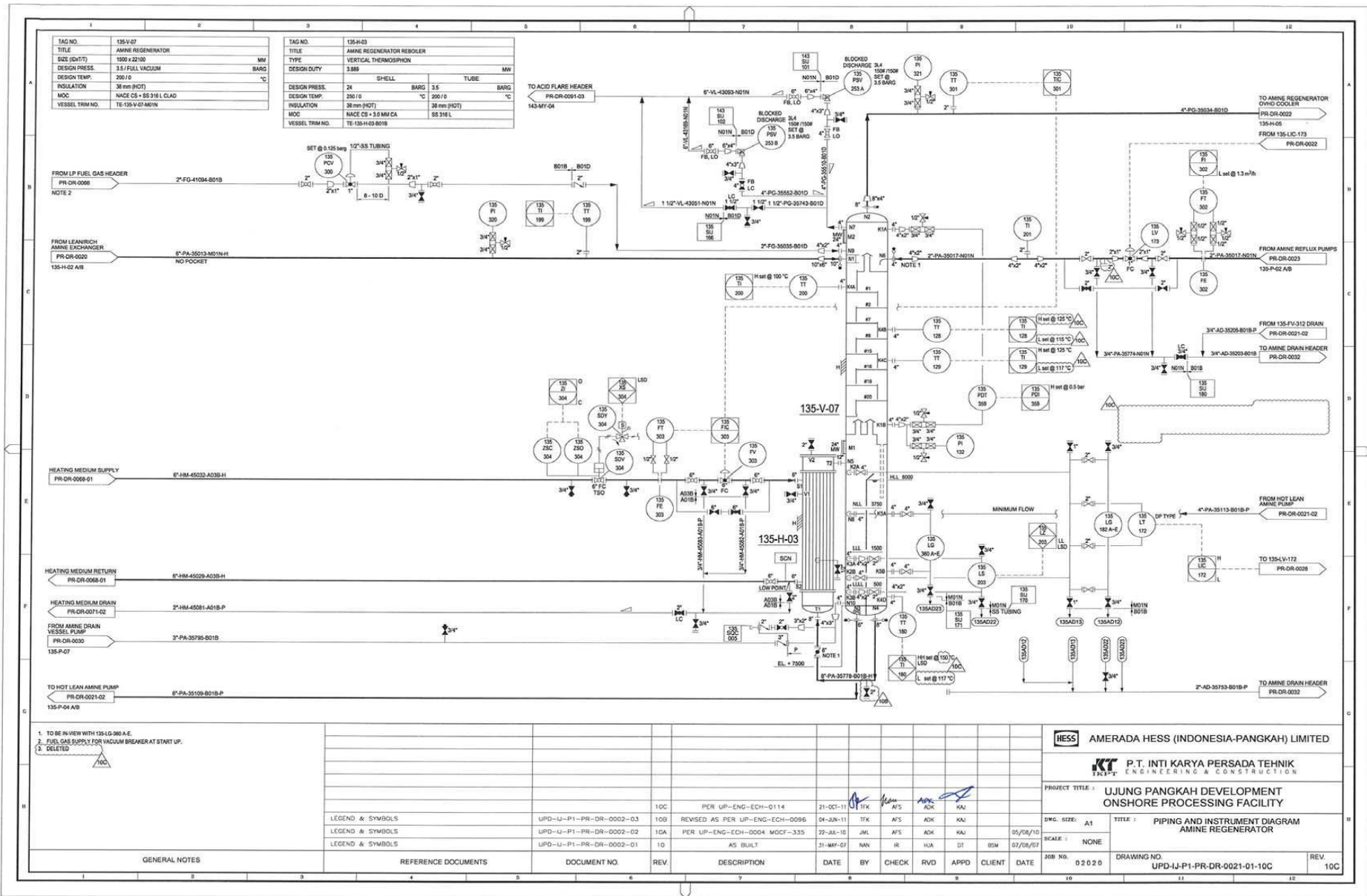
REV.	DESCRIPTION	DATE	BY	CHECK	APPD	CLIENT	DATE
1.00	PER MOC-325	11-11-10	JUL	ATS	ARK	KT	25/09/10
1.0A	REVISED PER MOC-316	10-MAR-10	DSC	ACK	ARK	RS	07/03/10
1.0C	AS BUILT	31-MAY-07	SWK	IT	UK	DT	07/08/07

ENG. DESG:	A1	TITLE:	PIPING AND INSTRUMENT DIAGRAM: AMINE CONTACTOR
SCALE:	NONE	DATE:	07/08/07
JOB NO:	02020	DRAWING NO:	UPD-IJ-P1-PR-DR-0016-10B
RSV:	10B		



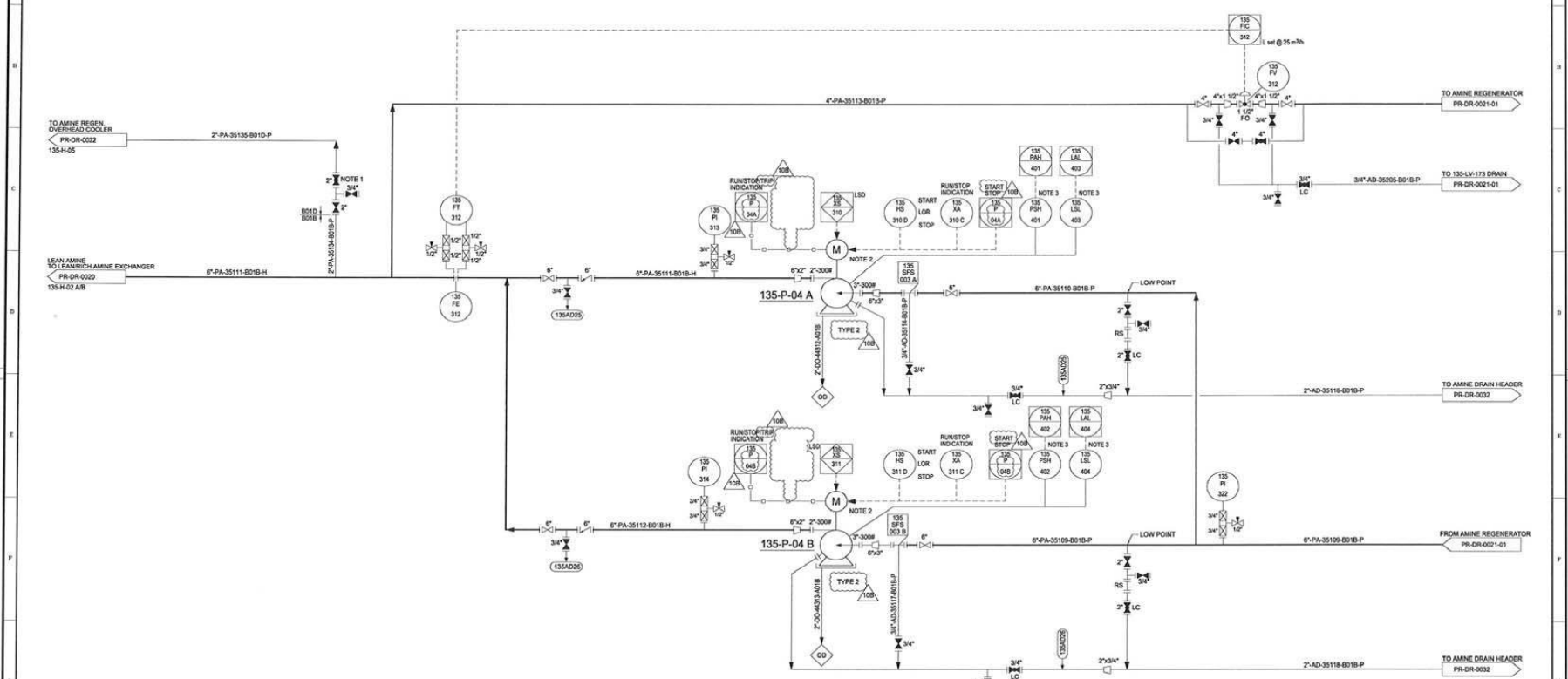


CAD FILE NAME NO. UPD-T-F2-PR-DR-0018-10C AMINE FLASH DRUM





TAG NO.	135-P-04 AB (2x100%)
TITLE	HOT LEAN AMINE PUMPS
TYPE	HORIZONTAL CENTRIFUGAL
CAPACITY	53 M3/H
DIFF. PRESS	5.61 BAR
DRIVE POWER	MOTOR
MCC	CHENG A 351 CF3M NACE
	IMPELLER - A 351 CF3M NACE



1. MANUAL VALVE FOR CONTROLLING CORROSION IN AMINE REGENERATOR OVERHEAD.
2. IF ONE PUMP TRIP, OTHER PUMP WILL RUN AUTOMATICALLY.
3. PROVIDED BY PUMP VENDOR.

LEGEND & SYMBOLS	REFERENCE DOCUMENTS	DOCUMENT NO.	REV.	DESCRIPTION	DATE	BY	CHECK	RVD	APPD	CLIENT	DATE
LEGEND & SYMBOLS	UPD-U-P1-PR-DR-0002-03	10B		REVISED AS PER UP-ENG-ECH-0073	23-MAR-11	TXK	A'S	ADK	KAJ		
LEGEND & SYMBOLS	UPD-U-P1-PR-DR-0002-02	10A		PER MOCF-335	15-JUL-10	JML	A'S	ADK	KAJ	BSM	05/08/10
LEGEND & SYMBOLS	UPD-U-P1-PR-DR-0002-01	10		AS BUILT	31-MAY-09	NAN	IR	HJA	DI	BSM	07/08/09

**HESS** AMERADA HESS (INDONESIA-PANGKAH) LIMITED

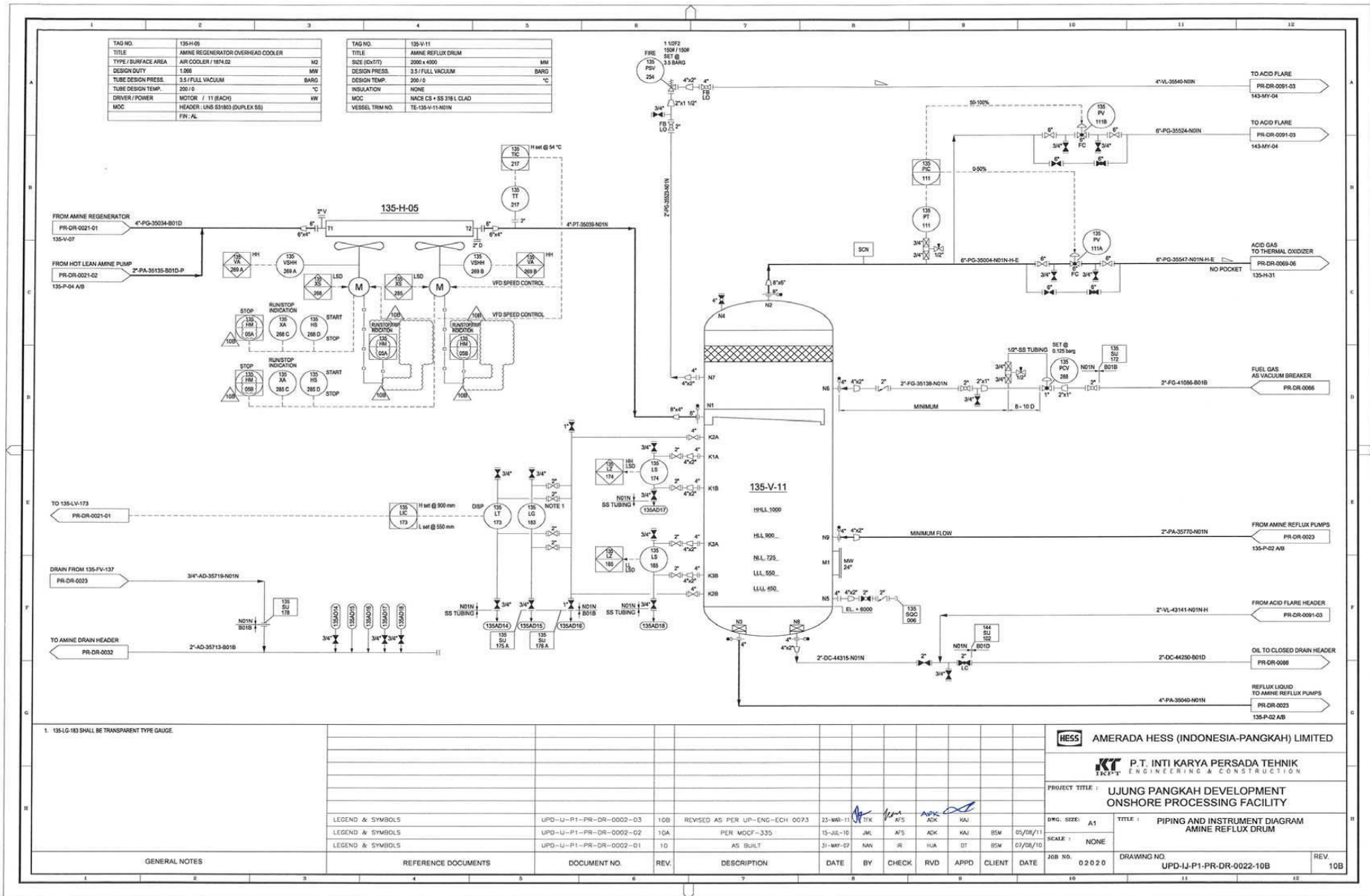
**KT** P.T. INTI KARYA PERSADA TEHNIK  
ENGINEERING & CONSTRUCTION

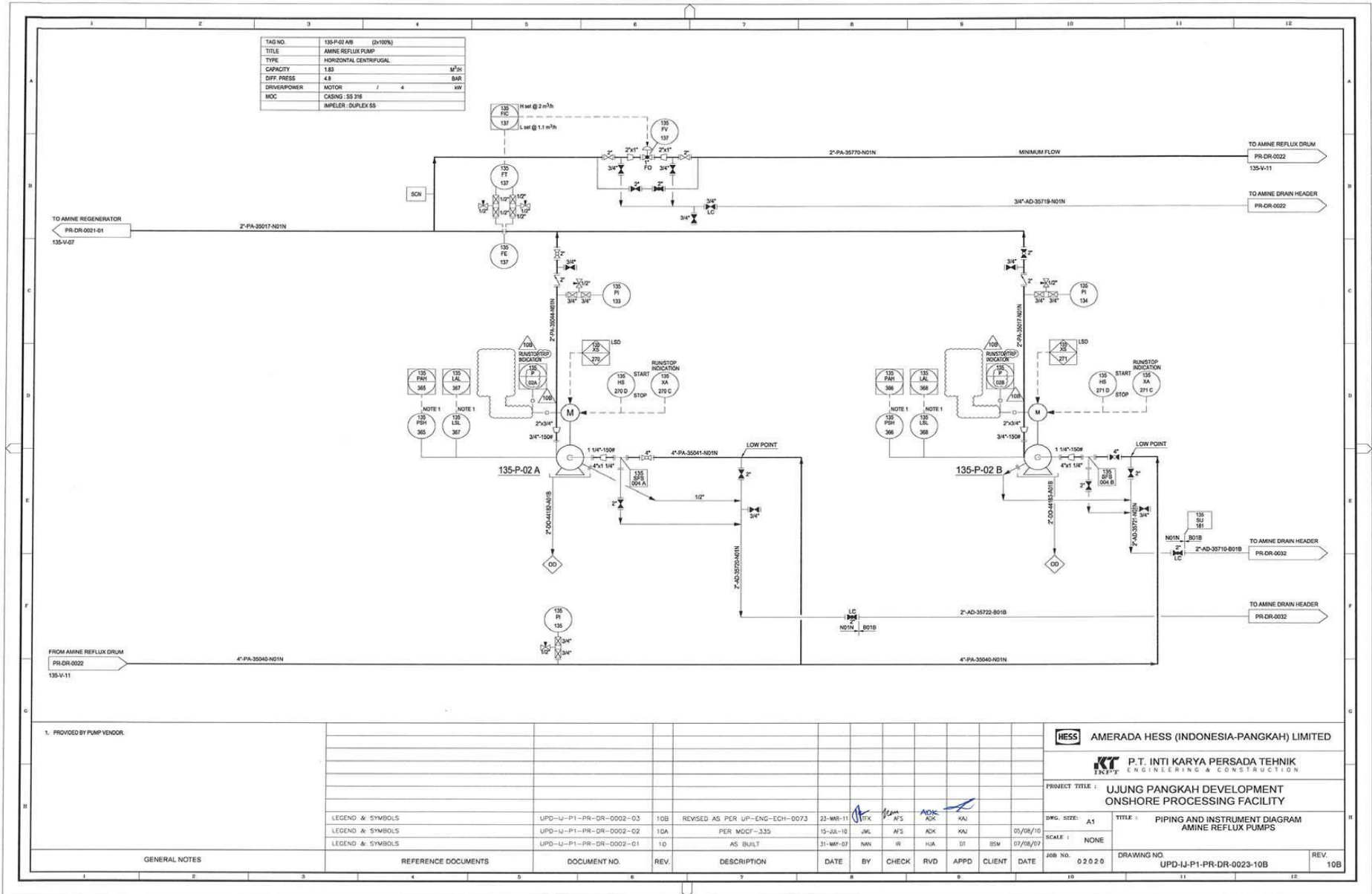
PROJECT TITLE : **UJUNG PANGKAH DEVELOPMENT  
ONSHORE PROCESSING FACILITY**

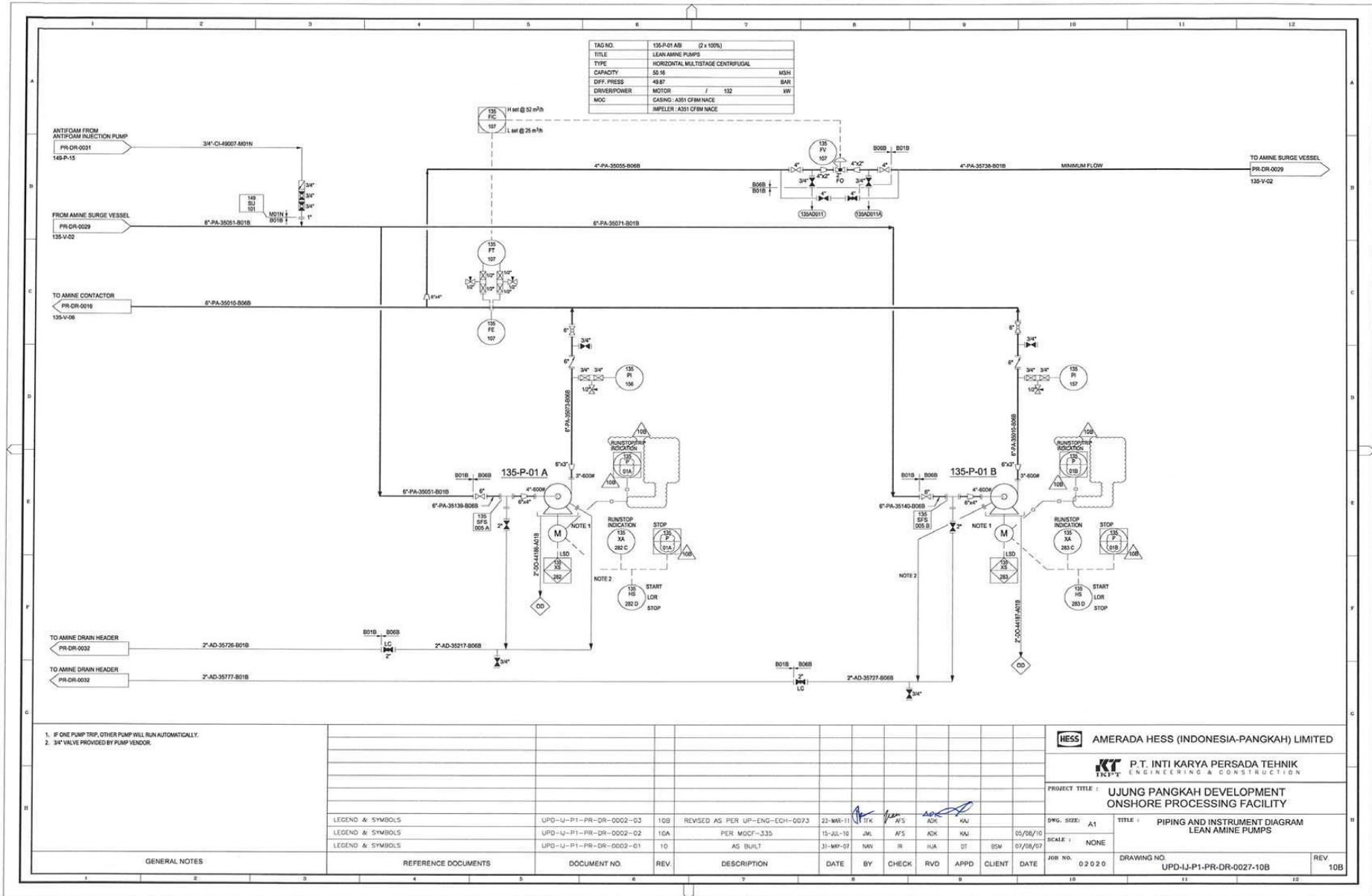
DWG. SIZE: A1 TITLE : **PIPING AND INSTRUMENT DIAGRAM  
HOT LEAN AMINE PUMPS**

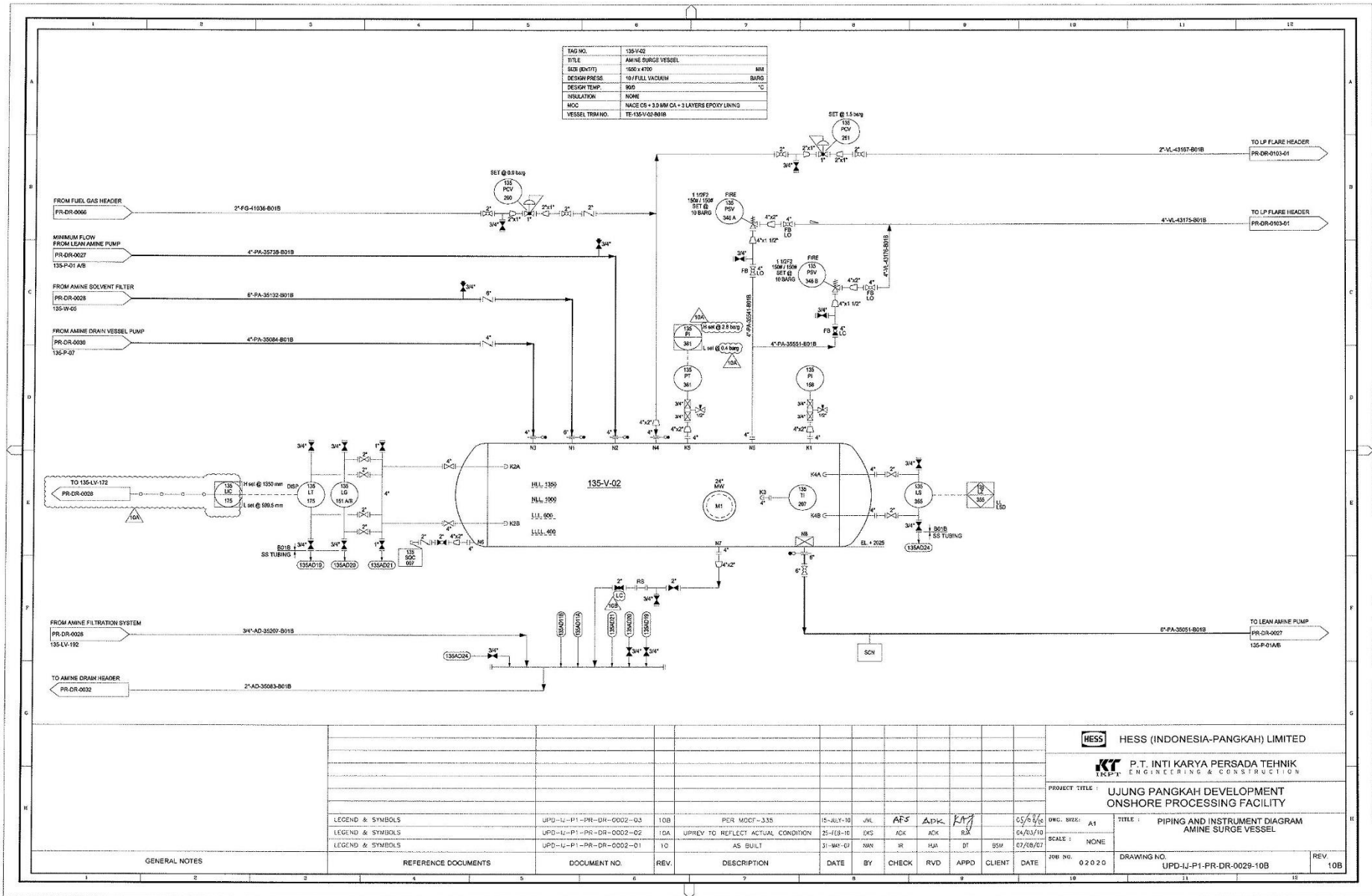
SCALE: NONE

JOB NO. 02020 DRAWING NO. UPD-U-P1-PR-DR-0021-02-10B REV. 10B







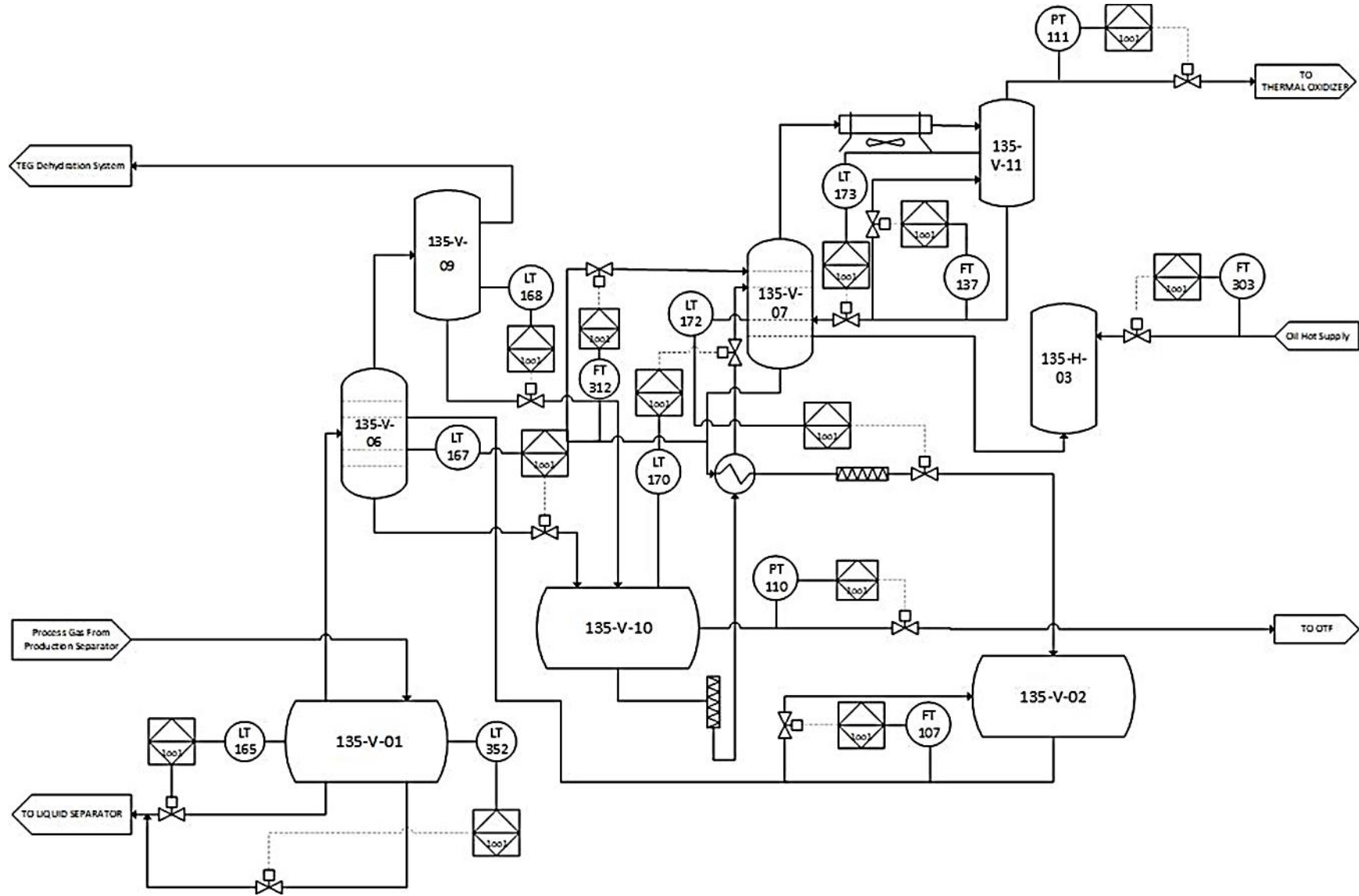


TAG NO.	135-V-02
TITLE	AMINE SURGE VESSEL
SIZE (DN/IN)	1500 x 4700
DESIGN PRESS	10 FULL VACUUM
DESIGN TEMP.	900 °C
INSULATION	NONE
LINING	NAFCE SS + 3.0 MM CA + 3 LAYERS EPOXY LINING
VESSEL TERM NO.	TE-135-V-02-0010

LEGEND & SYMBOLS	REFERENCE DOCUMENTS	DOCUMENT NO.	REV.	DESCRIPTION	DATE	BY	CHECK	RVD	APPD	CLIENT	DATE	JOB NO.	DRAWING NO.	REV.
LEGEND & SYMBOLS	UPD-IJ-P1-PR-DR-0002-03		10B	PER MOC7-335	15-JUL-10	JWL	AFS	ADK	KAJ		05/05/10	02020	UPD-IJ-P1-PR-DR-0025-10B	
LEGEND & SYMBOLS	UPD-IJ-P1-PR-DR-0002-02		10A	UPREV TO REFLECT ACTUAL CONDITION	25-FEB-10	DKS	ADK	ADK	KAJ		04/03/10	02020	UPD-IJ-P1-PR-DR-0025-10B	
LEGEND & SYMBOLS	UPD-IJ-P1-PR-DR-0002-01		10	AS BUILT	31-MAR-07	NAN	IR	HJA	DT	BSM	07/09/07	02020	UPD-IJ-P1-PR-DR-0025-10B	

HESS (INDONESIA-PANGKAH) LIMITED	
P.T. INTI KARYA PERSADA TEHNIK ENGINEERING & CONSTRUCTION	
PROJECT TITLE :	UJUNG PANGKAH DEVELOPMENT ONSHORE PROCESSING FACILITY
TITLE :	PIPING AND INSTRUMENT DIAGRAM AMINE SURGE VESSEL
SCALE :	NONE
DWG. SHEET :	A1
DATE :	02/02/10
DRAWING NO. :	UPD-IJ-P1-PR-DR-0025-10B
REV. :	10B

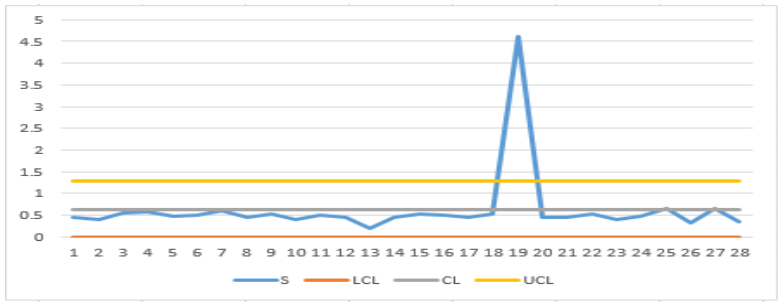
## LAMPIRAN B HASIL P&ID H<sub>2</sub>S REMOVAL PLANT



## LAMPIRAN C CONTROL CHART S

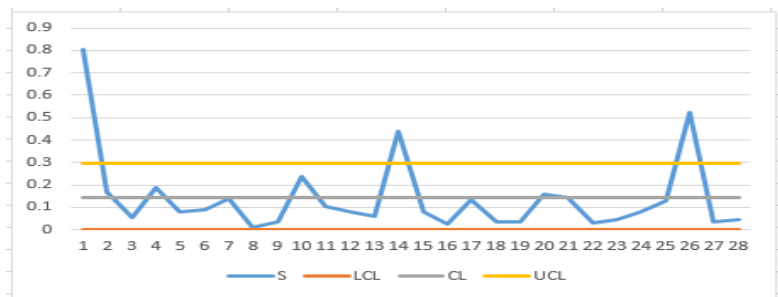
Pada control chart S digunakan untuk validasi dari data proses diplot pada grafik control chart x. Berikut control chart S guna mendeteksi deviasi pada data yang digunakan.

- Control Chart S LIC 16



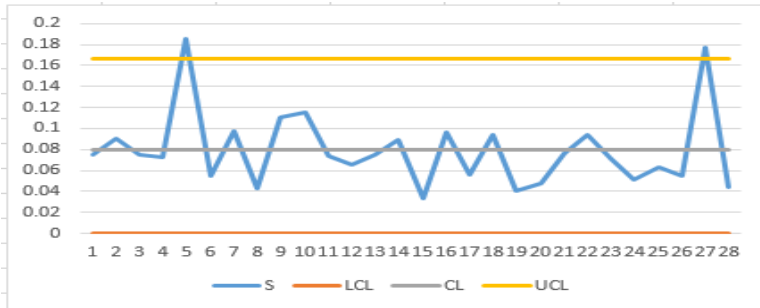
Dari hasil grafik diatas tersebut, diketahui bahwa distribusi data pada LIC 106 cenderung akurat dan tidak banyak deviasi.

- Control Chart S LIC 352



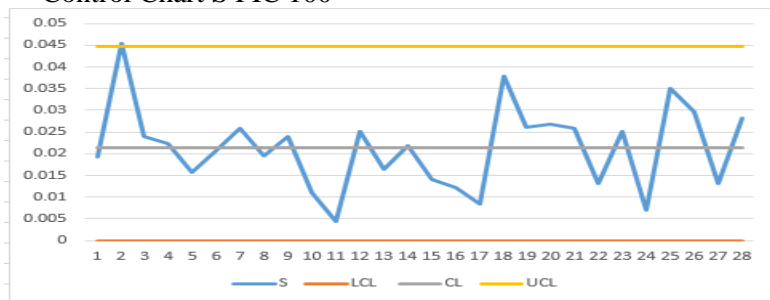
Dari hasil grafik diatas tersebut, diketahui bahwa distribusi data pada LIC 352 banyak mengalami deviasi.

- Control Chart S LIC 167



Dari hasil grafik diatas tersebut, diketahui bahwa distribusi data pada LIC 167 banyak mengalami deviasi.

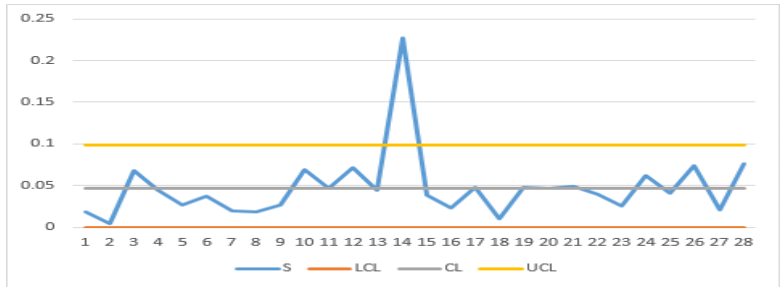
- Control Chart S FIC 100



Dari hasil grafik diatas tersebut, diketahui bahwa distribusi data pada FIC 100 tidak banyak mengalami deviasi.

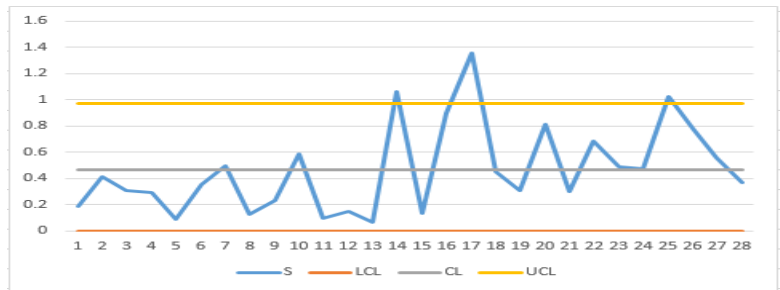


- Control Chart S LIC 168



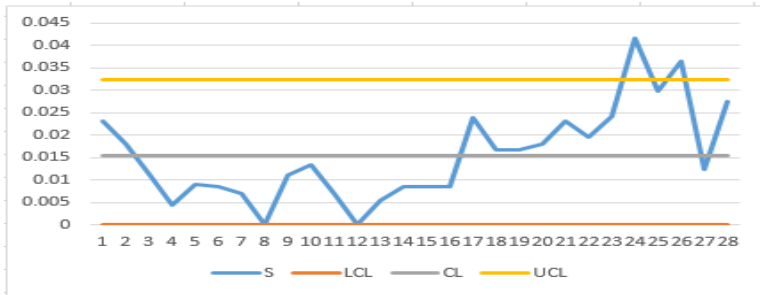
Dari hasil grafik diatas tersebut, diketahui bahwa distribusi data pada LIC 168 cenderung akurat dan tidak banyak mengalami deviasi.

- Control Chart S LIC 170



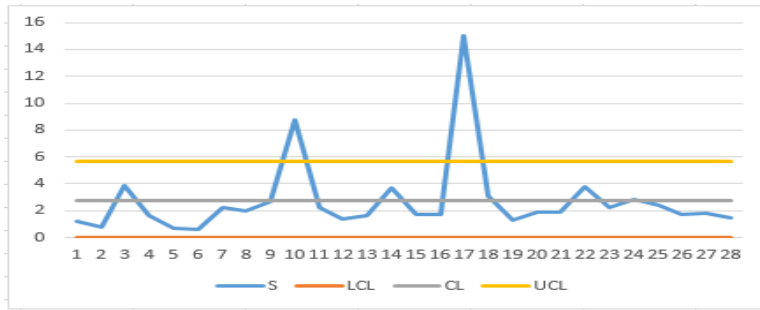
Dari hasil grafik diatas tersebut, diketahui bahwa distribusi data pada LIC 170 banyak mengalami deviasi.

- Control Chart S PIC 110



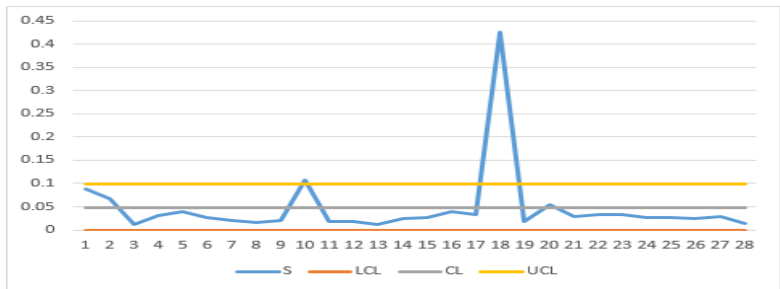
Dari hasil grafik diatas tersebut, diketahui bahwa distribusi data pada LIC 170 banyak mengalami deviasi.

- Control Chart S LIC 172



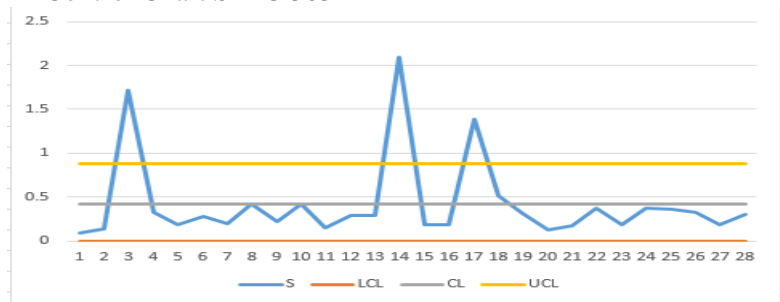
Dari hasil grafik diatas tersebut, diketahui bahwa distribusi data pada LIC 172 mengalami banyak mengalami deviasi.

- Control Chart S FIC 312



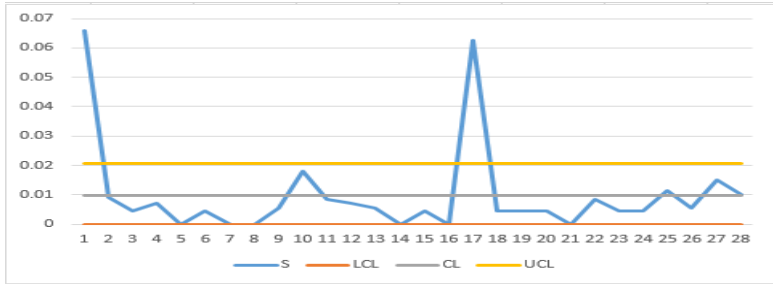
Dari hasil grafik diatas tersebut, diketahui bahwa distribusi data pada FIC 312 banyak mengalami deviasi.

- Control Chart S FIC 303



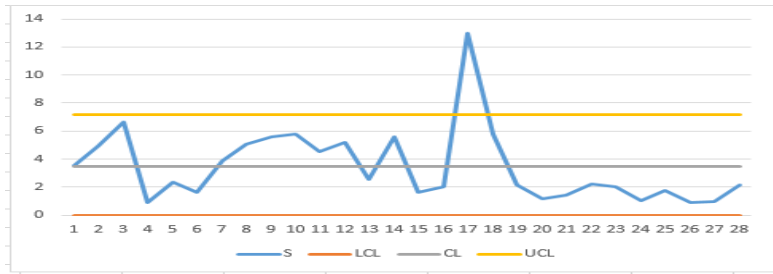
Dari hasil grafik diatas tersebut, diketahui bahwa distribusi data pada FIC 303 banyak mengalami deviasi.

- Control Chart S PIC 111



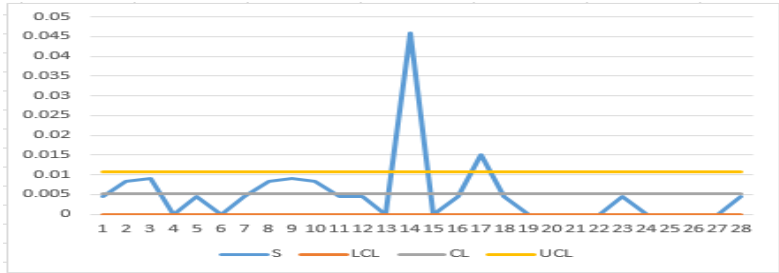
Dari hasil grafik diatas tersebut, diketahui bahwa distribusi data pada FIC 303 mengalami banyak mengalami deviasi.

- Control Chart S LIC 173



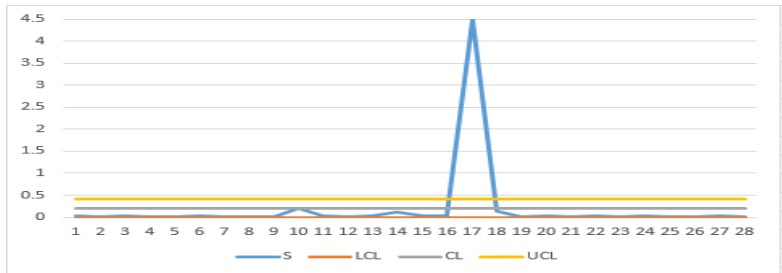
Dari hasil grafik diatas tersebut, diketahui bahwa distribusi data pada LIC 173 cenderung akurat dan tidak banyak mengalami deviasi.

- Control Chart S FIC 137



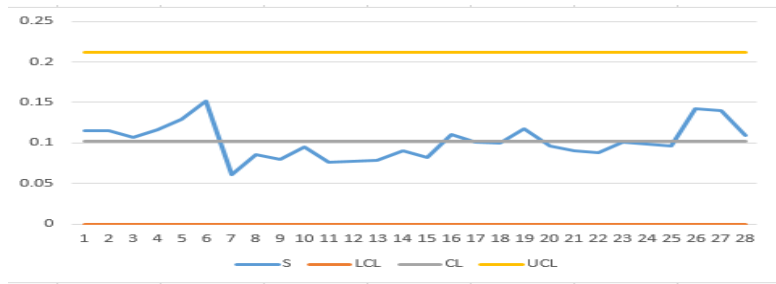
Dari hasil grafik diatas tersebut, diketahui bahwa distribusi data pada FIC 137 cenderung akurat dan tidak banyak mengalami deviasi.

- Control Chart S LIC 175



Dari hasil grafik diatas tersebut, diketahui bahwa distribusi data pada LIC 175 cenderung akurat dan tidak banyak mengalami deviasi.

- Control Chart S FIC 107



Dari hasil grafik diatas tersebut, diketahui bahwa distribusi data pada FIC 107 sangat akurat yang tidak terdapat mengalami deviasi.

## LAMPIRAN D DATA MAINTENANCE

Node : Amine Contactor Inlet KO Drum  
 Equipment Tag No. : LT 165  
 Service Description : Level Transmitter

**Tabel C.1** LT 165

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	10/11/2008	10/15/2008	0	930,5	0,00
2	10/17/2008	10/17/2008	7		4.770,81
3	09/04/2017	09/04/2017	115		43,00
4	12/28/2017	12/28/2017	441		86,00
5	02/12/2019	2/12/2019	3244		86,00

Node : Amine Contactor Inlet KO Drum  
 Equipment Tag No. : LV 165  
 Service Description : Level Valve

**Tabel C.2** LV 165

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	02/28/2008	02/28/2008	0	449,5	87,50
2	10/23/2014	10/23/2014	2430		118,25
3	05/15/2015	05/15/2015	229		107,50
4	12/03/2015	12/03/2015	212		107,50
5	06/23/2016	06/23/2016	205		107,50
6	01/20/2017	01/20/2017	204		107,50
7	09/05/2017	09/05/2017	204		107,50
8	03/07/2018	03/07/2018	203		107,50
9	09/27/2018	09/27/2018	183		107,50
10	03/28/2019	03/28/2019	182		107,50

Node : Amine Contactor Inlet KO Drum  
 Equipment Tag No. : LT 352  
 Service Description : Level Transmitter

**Tabel C.3** LT 352

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	07/04/2011	07/04/2011	0	556	43,00
2	08/08/2011	08/08/2011	35		172,00
3	02/22/2013	02/22/2013	564		161,25
4	02/27/2013	02/27/2013	5		0,00
5	09/04/2017	09/04/2017	1650		193,50
6	02/12/2019	02/12/2019	526		86,00

Node : Amine Contactor Inlet KO Drum

Equipment Tag No. : LV 352

Service Description : Level Valve

**Tabel C.4** LV 352

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	05/24/2010	05/24/2010	0	807,5	44,09
2	05/26/2013	05/26/2013	1098		240
3	05/29/2017	05/29/2017	1464		240
4	07/04/2018	07/04/2018	401		107,50
5	03/28/2019	03/28/2019	267		107,50

Node : Amine Contactor

Equipment Tag No. : FT 100

Service Description : Flow Transmitter

**Tabel C.5** FT 100

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	05/07/2010	05/07/2010	0	1092	55,14
2	05/9/2016	05/09/2016	2194		240
3	05/12/2018	05/12/2018	733		240
4	04/25/2019	04/25/2019	348		23,90

Node : Amine Contactor

Equipment Tag No. : FV 100

Service Description : Flow Valve



**Tabel C.6 FV 100**

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	02/16/2016	02/16/2016	0	282,8	172,00
2	08/23/2016	08/23/2016	189		172,00
3	05/02/2017	05/02/2017	252		172,00
4	11/28/2017	11/28/2017	210		172,00
5	07/04/2018	07/04/2018	218		172,00
6	12/31/2019	12/31/2019	545		172,00

Node : Amine Contactor  
 Equipment Tag No. : LT 167  
 Service Description : Level Transmitter

**Tabel C.7 LT 167**

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	06/24/2010	06/24/2010	0	821,5	18,38
2	02/14/2011	02/14/2011	1479		258,00
3	08/08/2011	08/08/2011	175		172,00
4	04/09/2013	04/09/2013	610		118,25
5	04/27/2017	04/27/2017	236		107,25
6	03/28/2019	03/28/2019	700		107,25

Node : Amine Contactor  
 Equipment Tag No. : LV 167  
 Service Description : Level Valve

**Tabel C.8 LV 167**

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	07/19/2008	07/23/2008	0	428,3	17,50
2	06/16/2010	06/16/2010	697		86,00
3	10/28/2014	10/28/2014	1595		96,75
4	05/13/2015	05/13/2015	197		86,00
5	02/16/2016	02/16/2016	279		86,00
6	05/02/2017	05/02/2017	355		86,00
7	08/10/2017	08/10/2017	186		86,00
8	11/28/2017	11/28/2017	110		96,75

**Tabel C.8** LV 167 (Lanjutan)

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
9	07/04/2018	07/04/2018	218		9,19
10	12/31/2019	12/31/2019	545		0,00

Node : Amine Overhead Gas KO Drum

Equipment Tag No. : LT 168

Service Description : Level Transmitter

**Tabel C.9** LT 168

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	03/24/2010	03/24/2010	0	1043	0,00
2	06/16/2010	06/16/2010	84		43,00
3	03/25/2013	03/25/2013	1013		18,38
4	08/31/2016	08/31/2016	1255		107,50
5	02/06/2019	02/06/2019	889		18,38

Node : Amine Overhead Gas KO Drum

Equipment Tag No. : LV 168

Service Description : Level Valve

**Tabel C.10** LV 168

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	07/02/2010	07/02/2010	0	1043	240
2	07/04/2013	07/04/2013	1098		9,19
3	07/07/2018	07/07/2018	1829		240
4	01/25/2019	01/25/2019	202		9,19

Node : Amine Flash Drum

Equipment Tag No. : LT 170

Service Description : Level Transmitter

**Tabel C.11** LT 170

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	03/24/2010	03/24/2010	0		23,90
2	06/15/2010	06/15/2010	83		18,38

**Tabel C.11** LT 170 (Lanjutan)

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
3	03/25/2013	03/25/2013	1014	810	0,00
4	04/13/2017	04/13/2017	1480		107,50
5	02/15/2019	02/15/2019	663		9,19

Node : Amine Flash Drum

Equipment Tag No. : LV 170

Service Description : Level Valve

**Tabel C.12** LV 170

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	05/16/2007	05/16/2007	0	1430	8,74
2	07/04/2011	07/04/2011	1510		240
3	07/07/2016	07/07/2016	1830		240
4	02/11/2019	02/11/2019	949		17,50

Node : Amine Flash Drum

Equipment Tag No. : PT 110

Service Description : Pressure Transmitter

**Tabel C.13** PT 110

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	03/24/2010	03/24/2010	0	828,5	23,90
2	06/08/2010	06/08/2010	76		18,38
3	03/25/2013	03/25/2013	1014		0,00
4	04/13/2017	04/13/2017	1480		107,50
5	04/20/2019	04/20/2019	737		23,90

Node : Amine Flash Drum

Equipment Tag No. : PV 110

Service Description : Pressure Valve

**Tabel C.14** PV 110

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	03/25/2009	03/25/2009	0		53,82

**Tabel C.14 PV 110 (Lanjutan)**

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
2	09/07/2009	09/07/2009	166	729,8	26,91
3	09/29/2009	09/29/2009	22		2707,36
4	10/01/2014	10/01/2014	1828		240
5	11/28/2017	11/28/2017	1154		23,90
6	03/22/3019	03/22/2019	479		43,00

Node : Amine Flash Drum

Equipment Tag No. : PV 110B

Service Description : Pressure Valve

**Tabel C.15 PV 110B**

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	06/16/2010	06/16/2010	0	1053	299,27
2	08/25/2010	08/27/2010	70		9,19
3	06/19/2015	06/19/2015	1757		240
4	02/10/2019	02/10/2019	1332		23,90

Node : Amine Regenerator Reboiler

Equipment Tag No. : FT 303

Service Description : Flow Transmitter

**Tabel C.16 FT 303**

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	06/21/2010	06/21/2010	0	1077	73,52
2	06/23/2015	06/23/2015	1828		240
3	06/26/2018	06/26/2018	1099		240
4	04/25/2019	04/25/2019	303		23,90

Node : Amine Regenerator Reboiler

Equipment Tag No. : FV 303

Service Description : Flow Valve

**Tabel C.17 FV 303**

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	08/28/2014	08/28/2014	0	201,4	118,25
2	02/20/2015	02/20/2015	176		107,50
3	09/29/2015	09/29/2015	221		107,50
4	04/08/2016	04/08/2016	202		107,50
5	11/07/2016	11/07/2016	213		107,50
6	06/30/2017	06/30/2017	354		107,50
7	01/22/2018	01/22/2018	206		107,50
8	07/25/2018	07/25/2018	184		107,50
9	01/25/2019	01/25/2019	184		107,50

Node : Amine Regenerator  
 Equipment Tag No. : LT 172  
 Service Description : Level Transmitter

**Tabel C.18 LT 172**

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	05/12/2017	05/12/2017	1	630,25	18,38
2	06/17/2010	06/17/2010	287		86,00
3	03/31/2011	03/31/2011	725		0,00
4	03/25/2013	03/25/2013	1414		107,50
5	02/06/2017	02/06/2017	95		172,00
6	02/14/2019	02/14/2019	643		43,00

Node : Amine Regenerator  
 Equipment Tag No. : LV 172  
 Service Description : Level Valve

**Tabel C.19 LV 172**

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	02/18/2014	02/18/2014	0	199,8	0,00
2	10/28/2014	10/28/2014	252		88,15
3	05/20/2015	05/20/2015	204		77,40
4	06/27/2016	06/27/2016	418		77,40
5	11/07/2016	11/07/2016	14		77,40

**Tabel C.19** LV 172 (Lanjutan)

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
6	02/13/2017	02/13/2017	231		77,40
7	09/11/2017	09/11/2017	210		77,40
8	03/26/2018	03/26/2018	399		77,40
9	10/15/2018	10/15/2018	203		77,40
10	01/22/2019	01/22/2019	99		107,50

Node : Amine Regenerator

Equipment Tag No. : FT 312

Service Description : Flow Transmitter

**Tabel C.20** FT 312

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	07/02/2007	07/02/2007	0	1439	240
2	07/04/2012	07/04/2012	1829		240
3	07/07/2017	07/07/2017	1829		240
4	04/27/2019	04/27/2019	659		23,90

Node : Amine Regenerator

Equipment Tag No. : FV 312

Service Description : Flow Valve

**Tabel C.21** FT 312

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	04/22/2014	04/22/2014	0	221,75	118,25
2	12/10/2014	12/10/2014	232		118,25
3	07/06/2015	07/06/2015	208		107,50
4	03/07/2016	03/07/2016	245		107,50
5	10/25/2016	10/25/2016	232		369,27
6	06/16/2017	06/16/2017	234		116,20
7	01/05/2018	01/05/2018	203		0,00
8	08/13/2018	08/13/2018	220		107,50
9	03/01/2019	03/01/2019	200		107,50

Node : Amine Reflux Drum  
 Equipment Tag No. : PT 111  
 Service Description : Pressure Transmitter

**Tabel C.22 PT 111**

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	03/24/2010	03/24/2010	0	1,105	23,90
2	03/25/2013	03/25/2013	1097		43,00
3	09/07/2016	09/07/2016	1262		107,50
4	04/20/2019	04/20/2019	955		23,90

Node : Amine Reflux Drum  
 Equipment Tag No. : PV 111A  
 Service Description : Pressure Valve

**Tabel C.23 PV 111**

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	07/02/2007	07/02/2007	0	1439	240
2	07/04/2010	07/04/2010	1098		240
3	07/07/2016	07/07/2016	2195		240
4	04/27/2019	04/27/2019	1024		23,90

Node : Amine Reflux Drum  
 Equipment Tag No. : PV 111B  
 Service Description : Pressure Valve

**Tabel C.24 PV 111B**

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	07/02/2007	07/02/2007	0	520,25	240
2	07/04/2010	07/04/2010	1098		240
3	07/07/2015	07/07/2015	1829		240
4	07/11/2018	07/11/2018	1100		240
5	03/22/2019	03/22/2019	254		23,90

Node : Amine Reflux Drum  
 Equipment Tag No. : LT 173  
 Service Description : Level Transmitter

**Tabel C.25 LT 173**

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	03/24/2010	03/24/2010	0	1083	0,00
2	03/25/2013	03/25/2013	1097		43,00
3	08/31/2016	08/31/2016	1255		107,50
4	02/14/2019	02/14/2019	897		43,00

Node : Amine Reflux Drum

Equipment Tag No. : LV 173

Service Description : Level Valve

**Tabel C.26 LV 173**

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	11/10/2014	11/10/2014	0	219,6	126,28
2	06/18/2015	06/18/2015	220		150,50
3,	01/27/2016	01/27/2016	223		107,50
4	09/07/2016	09/07/2016	224		107,50
5	05/02/2017	05/02/2017	237		107,50
6	05/12/2017	05/12/2017	10		107,50
7	06/29/2018	06/29/2018	413		107,50
8	01/25/2019	01/25/2019	210		107,50

Node : Amine Reflux Drum

Equipment Tag No. : FT 137

Service Description : Flow Transmitter

**Tabel C.27 FT 137**

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	03/24/2010	03/24/2010	0	1106	23,90
2	03/25/2013	03/25/2013	1097		43,00
3	04/26/2017	04/26/2017	1493		107,50
4	04/25/2019	04/25/2019	729		0,00

Node : Amine Reflux Drum

Equipment Tag No. : FV 137

Service Description : Flow Valve



**Tabel C.28 FV 137**

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	05/12/2007	05/16/2007	0	531,1	17,48
2	04/10/2014	04/10/2014	2521		204,25
3	11/11/2014	11/11/2014	215		118,25
4	07/03/2015	07/03/2015	234		107,50
5	02/22/2016	02/22/2016	234		107,50
5	09/07/2016	09/07/2016	429		107,50
6	04/26/2017	04/26/2017	231		107,50
7	11/22/2017	11/22/2017	210		86,00
8	07/04/2018	07/04/2018	224		107,50
9	01/10/2019	01/10/2019	190	107,50	

Node : Amine Surge Vessel

Equipment Tag No. : FT 107

Service Description : Flow Transmitter

**Tabel C.29 FT 107**

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	03/24/2010	03/24/2010	0	830	23,90
2	05/25/2011	05/25/2011	427		91,42
3	04/09/2013	04/09/2013	685		0,00
4	01/08/2016	01/08/2016	1004		86,00
5	04/25/2019	04/25/2019	1203		0,00

Node : Amine Surge Vessel

Equipment Tag No. : FV 107

Service Description : Flow Valve

**Tabel C.30 FV 107**

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	07/31/2014	07/31/2014	0	216	118,25
2	04/06/2015	04/06/2015	249		107,50
3	01/11/2016	01/11/2016	277		107,50
4	06/10/2016	06/10/2016	151		107,50
5	02/27/2017	02/27/2017	262		107,50

**Tabel C.30** FV 107 (Lanjutan)

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
6	09/27/2017	09/27/2017	212		107,50
7	03/28/2018	03/28/2018	392		107,50
8	10/24/2018	10/24/2018	210		107,50
9	04/25/2019	04/25/2019	183		0,00

Node : Amine Surge Vessel

Equipment Tag No. : LT 175

Service Description : Level Transmitter

**Tabel C.31** LT 175

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	07/02/2007	07/02/2007	0	1461	240
2	07/04/2014	07/04/2014	2559		240
3	07/07/2018	07/07//2018	1464		240
4	07/01/2019	07/01/2019	359		86,00

Node : Amine Surge Vessel

Equipment Tag No. : LV 172

Service Description : Level Transmitter

**Tabel C.32** LV 172

No.	Start	Completion	TTF (/day)	MTTF	Cost (\$)
1	02/18/2014	02/18/2014	0	199,8	0,00
2	10/28/2014	10/28/2014	252		88,15
3	05/20/2015	05/20/2015	204		77,40
4	06/27/2016	06/27/2016	418		77,40
5	11/07/2016	11/07/2016	14		77,40
6	02/13/2017	02/13/2017	231		77,40
7	09/11/2017	09/11/2017	210		77,40
8	03/26/2018	03/26/2018	399		77,40
9	10/15/2018	10/15/2018	203		77,40
10	01/22/2019	01/22/2019	99		18,38

## LAMPIRAN E DATA MAINTENANCE SIS

Node : Amine Contactor Inlet KO Drum  
 Equipment Tag No. : LSHH 101  
 Service Description : Level Switch High High

**Tabel D.1** LSHH 101

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
10/04/2010	10/04/2010	0	0	7401,6
03/16/2011	03/16/2011	163	3912	
02/20/2012	02/20/2012	341	8184	
08/11/2013	08/11/2013	538	12912	
05/30/2014	05/30/2014	292	7008	
12/08/2015	12/08/2015	557	13368	
08/18/2016	08/18/2016	254	6096	
08/11/2017	08/11/2017	358	8592	
07/23/2018	07/23/2018	346	8304	
03/15/2019	03/15/2019	235	5640	

Node : Amine Contactor Inlet KO Drum  
 Equipment Tag No. : SDV 240  
 Service Description : Shutdown Valve

**Tabel D.2** SDV 240

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
03/20/2012	03/20/2012	0	0	7905
06/21/2013	06/21/2013	458	10992	
09/05/2014	09/05/2014	441	10584	
07/08/2015	07/08/2015	306	7344	
02/06/2016	02/06/2016	213	5112	
07/03/2017	07/03/2017	513	12312	
02/23/2018	02/23/2018	235	5640	
06/07/2019	06/07/2019	469	11256	

Node : Amine Contactor Inlet KO Drum  
 Equipment Tag No. : LSHH 166  
 Service Description : Level Switch High High

**Tabel D.3** LSHH 166

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
06/02/2010	06/02/2010	0	0	7620
04/11/2011	04/11/2011	313	7512	
10/14/2012	10/14/2012	552	13248	
05/17/2013	05/17/2013	215	5160	
07/20/2014	07/20/2014	429	10296	
08/21/2015	08/21/2015	397	9528	
03/24/2016	04/24/2016	216	5184	
11/27/2017	11/27/2017	582	13968	
05/16/2018	05/16/2018	170	4080	
03/13/2019	03/13/2019	301	7224	

Node : Amine Contactor Inlet KO Drum  
 Equipment Tag No. : SDV 240  
 Service Description : Shutdown Valve

**Tabel D.4** SDV 240

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
03/20/2012	03/20/2012	0	0	7905
06/21/2013	06/21/2013	458	10992	
09/05/2014	09/05/2014	441	10584	
07/08/2015	07/08/2015	306	7344	
02/06/2016	02/06/2016	213	5112	
07/03/2017	07/03/2017	513	12312	
02/23/2018	02/23/2018	235	5640	
06/07/2019	06/07/2019	469	11256	

Node : Amine Contactor Inlet KO Drum  
 Equipment Tag No. : LSHH 344  
 Service Description : Level Switch High High

**Tabel D.5 LSHH 344**

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
04/18/2011	04/18/2011	0	0	7706,6
05/07/2012	05/07/2012	385	9240	
06/10/2013	06/10/2013	399	9576	
09/05/2014	09/05/2014	452	10848	
07/08/2015	07/08/2015	306	7344	
02/06/2016	02/06/2016	213	5112	
07/03/2017	07/03/2017	513	12312	
02/23/2018	02/23/2018	235	5640	
03/17/2019	03/17/2019	387	9288	

Node : Amine Contactor Inlet KO Drum  
Equipment Tag No. : SDV 240  
Service Description : Shutdown Valve

**Tabel D.6 SDV 240**

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
03/20/2012	03/20/2012	0	0	7905
06/21/2013	06/21/2013	458	10992	
09/05/2014	09/05/2014	441	10584	
07/08/2015	07/08/2015	306	7344	
02/06/2016	02/06/2016	213	5112	
07/03/2017	07/03/2017	513	12312	
02/23/2018	02/23/2018	235	5640	
06/07/2019	06/07/2019	469	11256	

Node : Amine Contactor Inlet KO Drum  
Equipment Tag No. : LSHH 345  
Service Description : Level Switch High High

**Tabel D.7 LSHH 345**

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
03/07/2010	03/07/2010	0	0	
11/15/2011	11/15/2011	618	14832	

**Tabel D.7** LSHH 345 (Lanjutan)

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
04/18/2012	04/18/2012	155	3720	7908
11/06/2013	11/06/2013	567	13608	
01/22/2014	01/22/2014	77	1848	
05/08/2015	05/08/2015	471	11304	
09/05/2016	09/05/2016	486	11664	
02/10/2017	02/10/2017	158	3792	
11/08/2018	11/08/2018	636	15264	
03/15/2019	03/15/2019	127	3048	

Node : Amine Contactor Inlet KO Drum  
 Equipment Tag No. : SDV 353  
 Service Description : Shutdown Valve

**Tabel D.8** SDV 353

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
01/18/2012	01/18/2012	0	0	8085
01/22/2013	01/22/2013	370	8880	
09/12/2014	09/12/2014	598	14352	
02/24/2015	02/24/2015	165	3960	
11/06/2016	11/06/2016	621	14904	
08/12/2017	08/12/2017	279	6696	
01/26/2018	01/26/2018	167	4008	
06/05/2019	06/05/2019	495	11880	

Node : Amine Contactor  
 Equipment Tag No. : LSL 178  
 Service Description : Level Switch Low Low

**Tabel D.9** LSL 178

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
05/03/2010	06/01/2010	0	0	
04/25/2011	04/25/2011	313	7512	

**Tabel D.9** LSSL 178 (Lanjutan)

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
04/24/2012	04/24/2012	365	8760	8517,3
06/10/2013	06/10/2013	412	9888	
10/28/2014	10/28/2014	505	12120	
02/16/2016	02/16/2016	476	11424	
04/27/2017	04/27/2017	436	10464	
07/04/2018	07/04/2018	433	10392	
03/15/2019	03/15/2019	254	6096	

Node : Amine Contactor

Equipment Tag No. : SDV 241

Service Description : Shutdown Valve

**Tabel D.10** SDV 241

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
03/21/2011	03/21/2011	0	0	8754
04/10/2012	04/10/2012	386	9264	
07/18/2013	07/18/2013	464	11136	
10/10/2014	10/10/2014	449	10776	
08/28/2016	08/28/2016	688	16512	
04/30/2017	04/30/2017	245	5880	
12/16/2018	12/16/2018	595	14280	
03/17/2019	03/17/2019	91	2184	

Node : Amine Overhead Gas KO Drum

Equipment Tag No. : LSSL 169

Service Description : Level Switch Low Low

**Tabel D.11** LSSL 169

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
03/01/2010	03/01/2010	0	0	
03/08/2011	03/08/2011	372	8928	
01/25/2012	01/25/2012	323	7752	
02/14/2013	02/14/2013	386	9264	

**Tabel D.11** LSL 169 (Lanjutan)

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
04/08/2014	04/08/2014	418	10032	8119,2
06/18/2015	06/18/2015	436	10464	
08/31/2016	08/31/2016	440	10560	
11/15/2017	11/15/2017	441	10584	
12/06/2018	12/06/2018	386	9264	
06/05/2019	06/05/2019	181	4344	

Node : Amine Overhead Gas KO Drum

Equipment Tag No. : SDV 243

Service Description : Shutdown Valve

**Tabel D.12** SDV 243

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
03/05/2010	03/05/2010	0	0	4773,1
11/05/2010	11/05/2010	245	5880	
04/20/2011	04/20/2011	166	3984	
11/26/2011	11/26/2011	220	5280	
01/24/2012	01/24/2012	59	1416	
01/21/2013	01/21/2013	363	8712	
09/05/2013	09/05/2013	227	5448	
02/14/2014	02/14/2014	162	3888	
11/06/2014	11/06/2014	265	6360	
05/12/2015	05/12/2015	187	4488	
01/21/2016	01/21/2016	254	6096	
08/12/2016	08/12/2016	204	4896	
04/13/2017	04/13/2017	244	5856	
11/02/2017	11/02/2017	203	4872	
06/04/2018	06/04/2018	214	5136	
12/05/2018	12/05/2018	184	4416	
06/07/2019	06/07/2019	184	4416	



Node : Amine Flash Drum  
 Equipment Tag No. : LSHH 171  
 Service Description : Level Switch High High

**Tabel D.13** LSHH 171

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
04/10/2014	04/10/2014	0	0	7200
06/15/2015	06/15/2015	431	10344	
08/12/2016	08/12/2016	424	10176	
08/20/2017	08/20/2017	373	8952	
12/11/2018	12/11/2018	478	11472	
03/15/2019	03/15/2019	94	2256	

Node : Amine Flash Drum  
 Equipment Tag No. : SDV 243  
 Service Description : Shutdown Valve

**Tabel D.14** SDV 243

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
03/05/2010	03/05/2010	0	0	4773,1
11/05/2010	11/05/2010	245	5880	
04/20/2011	04/20/2011	166	3984	
11/26/2011	11/26/2011	220	5280	
01/24/2012	01/24/2012	59	1416	
01/21/2013	01/21/2013	363	8712	
09/05/2013	09/05/2013	227	5448	
02/14/2014	02/14/2014	162	3888	
11/06/2014	11/06/2014	265	6360	
05/12/2015	05/12/2015	187	4488	
01/21/2016	01/21/2016	254	6096	
08/12/2016	08/12/2016	204	4896	
04/13/2017	04/13/2017	244	5856	
11/02/2017	11/02/2017	203	4872	
06/04/2018	06/04/2018	214	5136	
12/05/2018	12/05/2018	184	4416	
06/07/2019	06/07/2019	184	4416	

Node : Amine Flash Drum  
 Equipment Tag No. : LSL 102  
 Service Description : Level Switch Low Low

**Tabel D.15** LSL 102

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
02/20/2012	02/20/2012	0	0	8845,7
04/12/2013	04/12/2013	417	10008	
04/26/2015	04/26/2015	744	17856	
07/10/2016	07/10/2016	441	10584	
08/12/2017	08/12/2017	398	9552	
10/18/2018	10/18/2018	432	10368	
03/15/2019	03/15/2019	148	3552	

Node : Amine Flash Drum  
 Equipment Tag No. : SDV 245  
 Service Description : Shutdown Valve

**Tabel D.16** SDV 245

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
03/05/2010	03/05/2010	0	0	4773,1
11/05/2010	11/05/2010	245	5880	
04/20/2011	04/20/2011	166	3984	
11/26/2011	11/26/2011	220	5280	
01/24/2012	01/24/2012	59	1416	
01/21/2013	01/21/2013	363	8712	
09/05/2013	09/05/2013	227	5448	
02/14/2014	02/14/2014	162	3888	
11/06/2014	11/06/2014	265	6360	
05/12/2015	05/12/2015	187	4488	
01/21/2016	01/21/2016	254	6096	
08/12/2016	08/12/2016	204	4896	
04/13/2017	04/13/2017	244	5856	
11/02/2017	11/02/2017	203	4872	
06/04/2018	06/04/2018	214	5136	

**Tabel D.16 SDV 245 (Lanjutan)**

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
12/05/2018	12/05/2018	184	4416	
06/07/2019	06/07/2019	184	4416	

Node : Amine Regenerator  
 Equipment Tag No. : LSL 203  
 Service Description : Level Switch Low Low

**Tabel D.17 LSL 203**

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
03/29/2011	03/29/2011	0	0	14352
05/07/2013	05/07/2013	770	18480	
01/08/2016	01/08/2016	976	23424	
03/26/2018	03/26/2018	808	19392	
06/05/2019	06/05/2019	436	10464	

Node : Amine Regenerator  
 Equipment Tag No. : XS 310  
 Service Description : Exchange Valve

**Tabel D.18 XS 310**

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
03/14/2011	03/14/2011	0	0	7818,6
02/09/2012	02/09/2012	332	7968	
11/15/2013	11/15/2013	645	15480	
08/14/2014	08/14/2014	272	6528	
04/16/2015	04/16/2015	245	5880	
08/18/2016	08/18/2016	490	11760	
07/22/2017	07/22/2017	338	8112	
09/28/2018	09/28/2018	433	10392	
03/24/2019	03/24/2019	177	4248	

Node : Amine Regenerator  
 Equipment Tag No. : XS 311

Service Description : Exchange Valve

**Tabel D.19 XS 311**

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
03/15/2012	03/15/2012	0	0	7500
04/15/2013	04/15/2013	396	9504	
12/20/2014	12/20/2014	614	14736	
04/05/2015	04/05/2015	106	2544	
05/17/2016	05/17/2016	408	9792	
10/22/2017	10/22/2017	523	12552	
09/28/2018	09/28/2018	341	8184	
01/18/2019	01/18/2019	112	2688	

Node : Amine Reflux Drum

Equipment Tag No. : LSHH 174

Service Description : Level Switch High High

**Tabel D.20 LSHH 174**

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
03/19/2011	03/19/2011	0	0	7781,3
03/11/2012	03/11/2012	358	8592	
11/15/2013	11/15/2013	614	14736	
01/20/2014	01/20/2014	66	1584	
06/18/2015	06/18/2015	514	12336	
08/22/2016	08/22/2016	431	10344	
08/20/2017	08/20/2017	363	8712	
12/11/2018	12/11/2018	478	11472	
03/15/2019	03/15/2019	94	2256	

Node : Amine Reflux Drum

Equipment Tag No. : SDV 245

Service Description : Shutdown Valve

**Tabel D.21 SDV 245**

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
03/05/2010	03/05/2010	0	0	
11/05/2010	11/05/2010	245	5880	

**Tabel D.21** SDV 245 (Lanjutan)

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
04/20/2011	04/20/2011	166	3984	4773,1
11/26/2011	11/26/2011	220	5280	
01/24/2012	01/24/2012	59	1416	
01/21/2013	01/21/2013	363	8712	
09/05/2013	09/05/2013	227	5448	
02/14/2014	02/14/2014	162	3888	
11/06/2014	11/06/2014	265	6360	
05/12/2015	05/12/2015	187	4488	
01/21/2016	01/21/2016	254	6096	
08/12/2016	08/12/2016	204	4896	
04/13/2017	04/13/2017	244	5856	
11/02/2017	11/02/2017	203	4872	
06/04/2018	06/04/2018	214	5136	
12/05/2018	12/05/2018	184	4416	
06/07/2019	06/07/2019	184	4416	

Node : Amine Reflux Drum  
 Equipment Tag No. : LSSL 185  
 Service Description : Level Switch Low Low

**Tabel D.22** LSSL 185

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
01/13/2012	01/13/2012	0	0	7854
03/10/2013	03/10/2013	422	10128	
04/17/2014	04/17/2014	403	9672	
07/22/2015	07/22/2015	461	11064	
08/31/2016	08/31/2016	406	9744	
12/08/2017	12/08/2017	464	11136	
10/18/2018	10/18/2018	314	7536	
03/15/2019	03/15/2019	148	3552	

Node : Amine Reflux Drum  
 Equipment Tag No. : XS 270  
 Service Description : Exchange Valve

**Tabel D.23 XS 270**

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
05/11/2012	05/11/2012	0	0	7524
03/19/2013	03/19/2013	312	7488	
08/16/2014	08/16/2014	515	12360	
09/06/2015	09/06/2015	386	9264	
08/21/2016	08/21/2016	350	8400	
12/10/2017	12/10/2017	476	11424	
12/05/2018	12/05/2018	360	8640	
03/24/2019	03/24/2019	109	2616	

Node : Amine Reflux Drum  
 Equipment Tag No. : XS 271  
 Service Description : Exchange Valve

**Tabel D.24 XS 271**

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
11/12/2010	11/12/2010	0	0	6521,4
04/20/2011	04/20/2011	159	3816	
01/04/2012	01/04/2012	259	6216	
10/20/2012	10/20/2012	290	6960	
11/21/2013	11/21/2013	397	9528	
12/06/2014	12/06/2014	380	9120	
02/14/2015	02/14/2015	70	1680	
11/08/2016	11/08/2016	633	15192	
03/12/2017	03/12/2017	124	2976	
09/28/2018	09/28/2018	565	13560	
01/18/2019	01/18/2019	112	2688	

Node : Amine Surge Vessel  
 Equipment Tag No. : LSL 355  
 Service Description : Level Switch Low Low

**Tabel D.25 LSL 355**

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
03/02/2010	03/02/2010	0	0	8116,8
03/16/2011	03/16/2011	379	9096	
02/15/2012	02/15/2012	336	8064	
03/15/2013	03/15/2013	394	9456	
04/25/2014	04/25/2014	406	9744	
07/08/2015	07/08/2015	439	10536	
08/12/2016	08/12/2016	401	9624	
08/11/2017	08/11/2017	364	8736	
09/21/2018	09/21/2018	406	9744	
06/05/2019	06/05/2019	257	6168	

Node : Amine Surge Vessel  
 Equipment Tag No. : XS 282  
 Service Description : Exchange Valve

**Tabel D.26 XS 282**

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
04/10/2012	04/10/2012	0	0	7617
03/20/2013	03/20/2013	344	8256	
08/16/2014	08/16/2014	514	12336	
07/12/2015	07/12/2015	330	7920	
08/28/2016	08/28/2016	413	9912	
08/14/2017	08/14/2017	351	8424	
06/20/2018	06/20/2018	310	7440	
03/24/2019	03/24/2019	277	6648	

Node : Amine Surge Vessel  
 Equipment Tag No. : XS 283  
 Service Description : Exchange Valve

**Tabel D.27 XS 283**

Basic Date	Finish date	TTF (/day)	TTF (/hours)	MTTF
02/15/2011	02/15/2011	0	0	8682
04/24/2012	04/24/2012	434	10416	
04/18/2013	04/18/2013	359	8616	
10/16/2014	10/16/2014	546	13104	
02/16/2016	02/16/2016	488	11712	
08/13/2017	08/13/2017	544	13056	
07/10/2018	07/10/2018	331	7944	
01/18/2019	01/18/2019	192	4608	



### LAMPIRAN F HAZOP WORKSHEET

No.	Node	Instrument	Guideword	Deviation	Cause	Consequences	Safe guards	Likelihood	Severity	Risk Ranking	Recommendation
1.	Amine Contactor Inlet KO Drum (135-V-01)	135 LT 165	High	High Level	Hydrate Formation	Blockage of liquid outlet from amine contactor inlet knockout drum	135 LV 165	D	4	D4	Using LAH to investigates high level and repair it accordingly
			Low	Low Level	Level valve driven open or bypass left open	Low level in the amine contactor inlet knockout drum		D	4	D4	Using LALL to initiates unit shutdown, closed SDV
		135 LT 352	High	High Level	Hydrate Formation	Blockage of liquid outlet from amine contactor inlet knockout drum	135 LV 352	C	4	C4	Using LAH to investigates high level
			Low	Low Level	Level valve driven open or bypass left open	Low level in the amine contactor inlet ko drum		C	4	C4	Using LALL to initiates unit shutdown, closed SDV
2.	Amine Contactor (135-V-06)	135 LT 167	High	High Level	Level valve driven ope3	Liquid carry over to amine overhead gas knockout drum	135 LV 167	C	3	C3	Using alarm LSHH to initiates unit shutdown
			Low	Low Level	Less amine level inside	Low liquid level from amine contactor inlet knockout drum		C	3	C3	Provide low level alarm and shutdown

No.	Node	Instrument	Guideword	Deviation	Cause	Consequences	Safe guards	Likelihood	Severity	Risk Ranking	Recommendation
2.	Amine Contactor (135-V-06)	135 FT 100	High	High Flow	High flow from the lean amine pumps	More flow of rich amine with potential flooding of coloumn	135 FV 100	C	3	C3	Provide high flow alarm
			Low	Low Flow	Less flow from the lean amine pumps	Less flow of lean amine to amine contactor and loss of gas treatment		C	3	C3	Add low flow alarm to initiates unit shutdown
3.	Amine Overhead Gas KO Drum (135-V-09)	135 LT 168	Hgh	High Level	Level valve fails closed	Potential for liquid carry over to TEG contactor	135 LV 168	C	4	C4	Using alarm LSHH to initiates unit shutdown
			Low	Low Level	Less pressure in knockout drum	Low level to amine flash drum with potential of gas blowby		C	4	C4	Using LALL to initiates unit shutdown, closed SDV
4.	Amine Flash Drum (135-V-10)	135 LT 170	High	High Level	135 LV 167 driven open	Potential high level in amine flash drum with liquid carry over	135 LV 170	C	4	C4	Using alarm LAH to investigate high level and repair it accordingly
			Low	Low Level	135 LV 167 closed	Low liquid level in the amine flash drum with gas blowby from amine contactor		C	4	C4	Provide low level alarm and shutdown
		135 PT 110	None	None	Pressure in the flash drum is balanced	There is that process almost nothing disturbance	135 PV 110 A/B	C	2	C2	Provide low alarm and shutdown

No.	Node	Instrument	Guideword	Deviation	Cause	Consequences	Safe guards	Likelihood	Severity	Risk Ranking	Recommendation
5.	Amine Regenerator (135-V-07)	135 LT 172	High	High Level	More pressure from amine exchanger	High level in amine regenerator	135 LV 172	C	4	C4	Using high level alarm and shutdown
			Low	Low Level	Less pressure from amine exchanger	Low level to carry to the amine surge vessel		C	4	C4	Using low level alarm and shutdown
		135 FT 312	None	None	Flow in the hot lean amine pumps is balanced	There is that process almost nothing disturbance	135 FV 312	C	2	C2	Provide an amine analyzer with an alarm and shutdown
6.	Amine Regenerator Reboiler (135-H-03)	135 FT 303	High	High Flow	More flow of heating medium	High flow in amine regenerator reboiler with potential amine degradation	135 FV 303	C	3	C3	Provide high temperature alarm and shutdown
			Low	Low Flow	Less supply from heating medium	Low of amine regeneration leading to off spec sales gas		C	3	C3	Provide low temperature alarm and shutdown
7.	Amine Reflux Drum (135-V-11)	135 PT 111	High	High Pressure	Loss control of controller leading to PV 111 A/B open	Overpressure in the amine reflux drum	135 PV 111 A/B	C	3	C3	Provide high pressure alarm
			Low	Low Pressure	Less pressure inside	Low pressure to carry out		C	3	C3	Provide low pressure alarm to initiates unit shutdown

No.	Node	Instrument	Guideword	Deviation	Cause	Consequences	Safe guards	Likelihood	Severity	Risk Ranking	Recommendation
7.	Amine Reflux Drum (135-V-11)	135 LT 173	Empty	Empty	Level in the reflux drum is balanced	There is that process almost nothing disturbance	135 LV 173	C	2	C2	Using LALL to shutoff of amine reflux pump
		135 FT 137	None	None	Flow in the reflux pumps is balanced	There is that process almost nothing disturbance	135 FV 137	C	2	C2	Provide shutdown valve
8.	Amine Surge Vessel (135-V-02)	135 LT 175	High	High Level	More flow from input to the vessel	High level in amine surge vessel	135 LV 175	C	3	C3	Using LAHH trip on amine surge vessel and isolation valve an inlet line from amine filters
			Low	Low Level	Minimum flow from input to the vessel	Low level in amine surge vessel		C	3	C3	Provide low level alarm to amine surge vessel
		135 FT 107	None	None	Flow in the lean pumps is balanced	There is that process almost nothing disturbance	135 FV 107	C	2	C2	Provide shutdown valve



## LAMPIRAN H VALIDASI DATA TUGAS AKHIR

Menyatakan data yang bersumber dari departemen *Process Engineering* di PT. Saka Indonesia Pangkah Lmelakukan wawancara dengan Ibu Ifani Putri Ramadhani selaku salah satu engineer PT. SIPL. Wawancara tersebut membahas mengenai validasi data dalam kategori *likelihood* dan *severity*, data *instrumentation history*, data proses, data *cost*, serta data PFD dan P&ID yang diperlukan pada Plant *H<sub>2</sub>S Removal*. Dilihat dari *HAZOP Worksheet*, komponen yang mempunyai *high risk* adalah 135 LT 165 pada node *Amine Contactor Inlet KO Drum* dengan deviasi berupa *high level* dan *low level*. Hal tersebut dikarenakan sering terjadinya penyimpangan pada kondisi operasi dan rata-rata dari waktu kegagalan yang tinggi menyebabkan nilai *likelihood* besar dan memiliki tingkat keparahan yang tinggi. Sedangkan, untuk node lain sebagian besar memiliki tingkat risiko *moderate risk* dikarenakan penyimpangan dan kegagalan instrument pada kondisi operasi yang tidak terlalu sering. Hal ini dapat dibuktikan dengan grafik *control chart* dan perhitungan estimasi nilai *likelihood*.

Mengetahui,

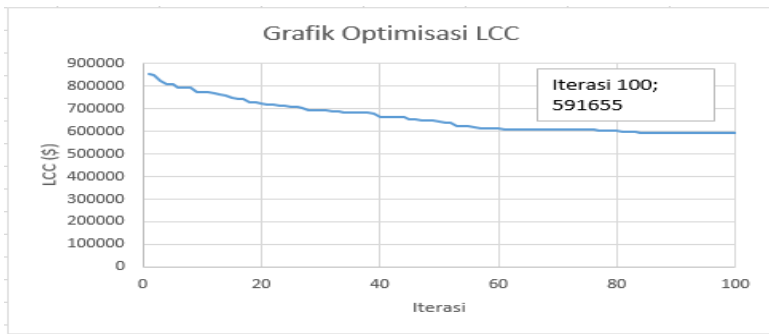


Ibu Ifani Putri Ramadhani  
NOPEK. 01650166

## LAMPIRAN I PERCOBAAN OPTIMISASI LCC

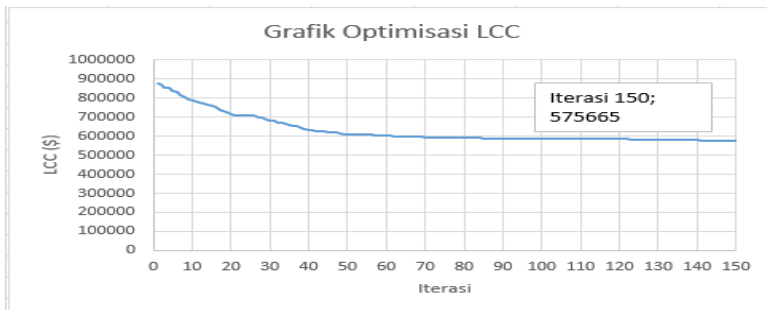
Optimisasi LCC dilakukan dengan variasi generasi antara nilai 100 sampai 250. Dari hasil yang didapatkan bahwa hasil optimum pada generasi 300. Berikut merupakan untuk hasil masing-masing grafik untuk tiap generasi.

- Generasi 100



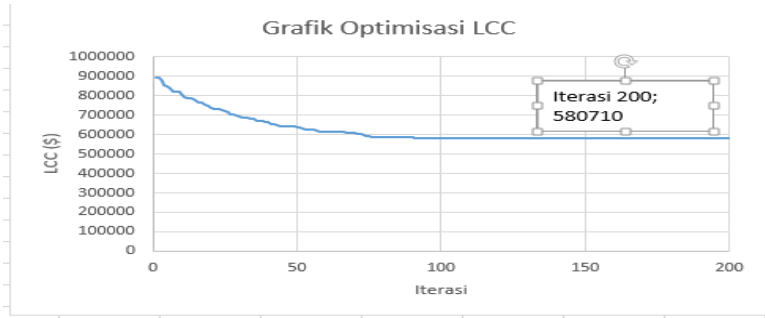
Hasil optimisasi pada generasi 100 didapatkan nilai LCC adalah sebesar USD 591655.

- Generasi 150



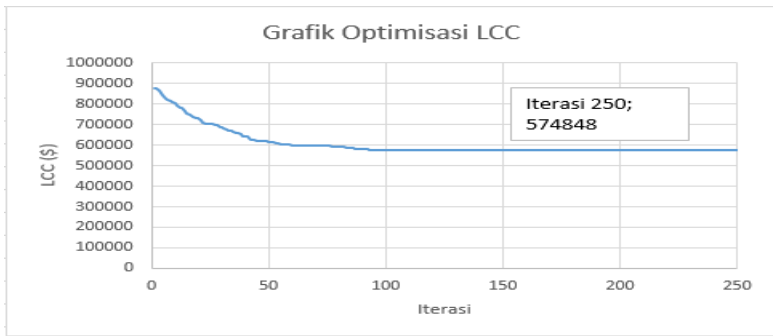
Hasil optimisasi pada generasi 150 didapatkan nilai LCC adalah sebesar USD 575665.

- Generasi 200



Hasil optimisasi pada generasi 200 didapatkan nilai LCC adalah sebesar USD 580710.

- Generasi 250



Hasil optimisasi pada generasi 250 didapatkan nilai LCC adalah sebesar USD 574848.



## LAMPIRAN J SKRIP KODINGAN MATLAB

### Pemodelan Fungsi Objektif

```
function [LCC, PFDavg]=safetyobjective1(x)
```

```
%variabel optimisasi instrument
```

```
LT165a=round(x(1));  
LT165b=round(x(2));  
LT165c=round(x(3));  
LT165d=round(x(4));  
LT352a=round(x(5));  
LT352b=round(x(6));  
LT352c=round(x(7));  
LT352d=round(x(8));  
LT167a=round(x(9));  
LT167b=round(x(10));  
LT167c=round(x(11));  
LT167d=round(x(12));  
FT100a=round(x(13));  
FT100b=round(x(14));  
FT100c=round(x(15));  
FT100d=round(x(16));  
LT168a=round(x(17));  
LT168b=round(x(18));  
LT168c=round(x(19));  
LT168d=round(x(20));  
LT170a=round(x(21));  
LT170b=round(x(22));  
LT170c=round(x(23));  
LT170d=round(x(24));
```

```
%permisalan loop pengendalian
```

```
i1=round(x(113));  
i2=round(x(114));  
i3=round(x(115));  
i4=round(x(116));  
i5=round(x(117));  
i6=round(x(118));  
i7=round(x(119));
```

```

i8=round(x(120));
i9=round(x(121));
i10=round(x(122));
i11=round(x(123));
i12=round(x(124));
i13=round(x(125));
i14=round(x(126));

```

```

%inisiiasi variabel

```

```

Ti = 8760;
Tr = 8;
Csd = 1000000;
Cacc = 150000000;
Facc = 8.55*10^-3;
Cinscomm = 600;
Cpm=240;
Ct=60;

```

```

%inisiiasi Cmoon

```

```

if i1==1
Cx=0;
Nx=1;
Ctest1=Ct*Nx;
Cpml=Cpm*Nx;
elseif i1==2
Cx=1;
Nx=2;
Ctest1=Ct*Nx;
Cpml=Cpm*Nx;
elseif i1==3
Cx=0.3;
Nx=3;
Ctest1=Ct*Nx;
Cpml=Cpm*Nx;
elseif i1==4
Cx=0;
Nx=2;
Ctest1=Ct*Nx;
Cpml=Cpm*Nx;
elseif i1==5
Cx=2.4;
Nx=3;

```

```

Ctest1=Ct*Nx;
Cpm1=Cpm*Nx;
elseif i1==6
Cx=0.75;
Nx=4;
Ctest1=Ct*Nx;
Cpm1=Cpm*Nx;
End

%teknologi level 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;
Bsula = 0.1;
Bsd1a = 0.05;
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 level transmitter jenis B
(Conventional Electronic Transmitter)
Xdd1b = 0.97*10^-6;
Xdulb = 0.93*10^-6;
Xsd1b = 1.21*10^-6;
Xsulb = 0.95*10^-6;
Xt1b = 4.06*10^-6;

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

```

```

Bsd1b = 0.1;
PFD1b = ((1-(Cx*Bdd1b))*Xdd1b*Tr)+((1-
(Cx*Bdulb))*Xdulb*((Ti/2)+Tr));
STR1b = ((1-(Cx*Bsd1b))*Xsd1b*Tr)+((1-
(Cx*Bsulb))*Xsulb);

```

```

Cpurchaselb = 3206;
Ccmlb = Xt1b*480;
Cprolb = (Cpurchaselb+Cinscomm);

```

```

%teknologi level 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;
Bsulc = 0.1;
Bsd1c = 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);

```

```

Cpurchaselc = 500;
Ccmlc = Xt1c*480;
Cprolc = (Cpurchaselc+Cinscomm);

```

```

%teknologi valve jenis A (Air Operated)

```

```

Xdd2a = 0.084*10^-6;
Xdu2a = 2.51*10^-6;
Xsd2a = 0;
Xsu2a = 3.94*10^-6;
Xt2a = 7.29*10^-6;

```

```

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

```

```

Bsd2a = 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);

```

```

Cpurchase2a = 6940;
Ccm2a = Xt2a*480;
Cpro2a =(Cpurchase2a+Cinscomm);

```

```

%teknologi valve jenis B (Hydraulic Operated)

```

```

Xdd2b = 1.09*10^-6;
Xdu2b = 4.35*10^-6;
Xsd2b = 0;
Xsu2b = 3.17*10^-6;
Xt2b = 8.61*10^-6;

```

```

Bdd2b = 0.1;
Bdu2b = 0.1;
Bsu2b = 0.1;
Bsd2b = 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 = 6400;
Ccm2b = Xt2b*480;
Cpro2b = (Cpurchase2b+Cinscomm);

```

```

%teknologi valve jenis C (Motor Operated)

```

```

Xdd2c = 0.79*10^-6;
Xdu2c = 7.11*10^-6;
Xsd2c = 0;
Xsu2c = 9.17*10^-6;
Xt2c = 17.07*10^-6;

```

```

Bsd2c = 0.1;
Bdd2c = 0.1;
Bdu2c = 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 = 6200;
Ccm2c = Xt2c*480;
Cpro2c = (Cpurchase2c+Cinscomm);

%pemilihan jenis teknologi salah satu instrument
(LT165)
if LT165a==1
    PFDLT165a=PFD1a;
    STRLT165a=STR1a;
    CproLT165a=Cpro1a;
    CcmLT165a=Ccm1a;
elseif LT165a==2
    PFDLT165a=PFD1b;
    STRLT165a=STR1b;
    CproLT165a=Cpro1b;
    CcmLT165a=Ccm1b;
elseif LT165a==3
    PFDLT165a=PFD1c;
    STRLT165a=STR1c;
    CproLT165a=Cpro1c;
    CcmLT165a=Ccm1c;
end

if LT165b==1
    PFDLT165b=PFD1a;
    STRLT165b=STR1a;
    CproLT165b=Cpro1a;
    CcmLT165b=Ccm1a;
elseif LT165b==2
    PFDLT165b=PFD1b;
    STRLT165b=STR1b;
    CproLT165b=Cpro1b;
    CcmLT165b=Ccm1b;
elseif LT165b==3
    PFDLT165b=PFD1c;

```

```
    STRLT165b=STR1c;  
    CproLT165b=Cpro1c;  
    CcmLT165b=Ccm1c;  
end
```

```
if LT165c==1  
    PFDLT165c=PFD1a;  
    STRLT165c=STR1a;  
    CproLT165c=Cpro1a;  
    CcmLT165c=Ccm1a;  
elseif LT165c==2  
    PFDLT165c=PFD1b;  
    STRLT165c=STR1b;  
    CproLT165c=Cpro1b;  
    CcmLT165c=Ccm1b;  
elseif LT165c==3  
    PFDLT165c=PFD1c;  
    STRLT165c=STR1c;  
    CproLT165c=Cpro1c;  
    CcmLT165c=Ccm1c;  
end
```

```
if LT165d==1  
    PFDLT165d=PFD1a;  
    STRLT165d=STR1a;  
    CproLT165d=Cpro1a;  
    CcmLT165d=Ccm1a;  
elseif LT165d==2  
    PFDLT165d=PFD1b;  
    STRLT165d=STR1b;  
    CproLT165d=Cpro1b;  
    CcmLT165d=Ccm1b;  
elseif LT165d==3  
    PFDLT165d=PFD1c;  
    STRLT165d=STR1c;  
    CproLT165d=Cpro1c;  
    CcmLT165d=Ccm1c;  
end
```

```
%pemilihan jenis teknologi salah satu instrument  
(LT 352)
```

```

if LT352a==1
    PFDLT352a=PFD1a;
    STRLT352a=STR1a;
    CproLT352a=Cpro1a;
    CcmLT352a=Ccm1a;
elseif LT352a==2
    PFDLT352a=PFD1b;
    STRLT352a=STR1b;
    CproLT352a=Cpro1b;
    CcmLT352a=Ccm1b;
elseif LT352a==3
    PFDLT352a=PFD1c;
    STRLT352a=STR1c;
    CproLT352a=Cpro1c;
    CcmLT352a=Ccm1c;
end

```

```

if LT352b==1
    PFDLT352b=PFD1a;
    STRLT352b=STR1a;
    CproLT352b=Cpro1a;
    CcmLT352b=Ccm1a;
elseif LT352b==2
    PFDLT352b=PFD1b;
    STRLT352b=STR1b;
    CproLT352b=Cpro1b;
    CcmLT352b=Ccm1b;
elseif LT352b==3
    PFDLT352b=PFD1c;
    STRLT352b=STR1c;
    CproLT352b=Cpro1c;
    CcmLT352b=Ccm1c;
end

```

```

if LT352c==1
    PFDLT352c=PFD1a;
    STRLT352c=STR1a;
    CproLT352c=Cpro1a;
    CcmLT352c=Ccm1a;
elseif LT352c==2
    PFDLT352c=PFD1b;

```



```

        STRLT352c=STR1b;
        CproLT352c=Cpro1b;
        CcmLT352c=Ccm1b;
elseif LT352c==3
        PFDLT352c=PFD1c;
        STRLT352c=STR1c;
        CproLT352c=Cpro1c;
        CcmLT352c=Ccm1c;
end

```

```

if LT352d==1
        PFDLT352d=PFD1a;
        STRLT352d=STR1a;
        CproLT352d=Cpro1a;
        CcmLT352d=Ccm1a;
elseif LT352d==2
        PFDLT352d=PFD1b;
        STRLT352d=STR1b;
        CproLT352d=Cpro1b;
        CcmLT352d=Ccm1b;
elseif LT352d==3
        PFDLT352d=PFD1c;
        STRLT352d=STR1c;
        CproLT352d=Cpro1c;
        CcmLT352d=Ccm1c;
end

```

%pemilihan jenis teknologi salah satu instrument  
(LT 167)

```

if LT167a==1
        PFDLT167a=PFD1a;
        STRLT167a=STR1a;
        CproLT167a=Cpro1a;
        CcmLT167a=Ccm1a;
elseif LT167a==2
        PFDLT167a=PFD1b;
        STRLT167a=STR1b;
        CproLT167a=Cpro1b;
        CcmLT167a=Ccm1b;
elseif LT167a==3
        PFDLT167a=PFD1c;

```

```

        STRLT167a=STR1c;
        CproLT167a=Cpro1c;
        CcmLT167a=Ccm1c;
end

if LT167b==1
    PFDLT167b=PFD1a;
    STRLT167b=STR1a;
    CproLT167b=Cpro1a;
    CcmLT167b=Ccm1a;
elseif LT167b==2
    PFDLT167b=PFD1b;
    STRLT167b=STR1b;
    CproLT167b=Cpro1b;
    CcmLT167b=Ccm1b;
elseif LT167b==3
    PFDLT167b=PFD1c;
    STRLT167b=STR1c;
    CproLT167b=Cpro1c;
    CcmLT167b=Ccm1c;
end

if LT167c==1
    PFDLT167c=PFD1a;
    STRLT167c=STR1a;
    CproLT167c=Cpro1a;
    CcmLT167c=Ccm1a;
elseif LT167c==2
    PFDLT167c=PFD1b;
    STRLT167c=STR1b;
    CproLT167c=Cpro1b;
    CcmLT167c=Ccm1b;
elseif LT167c==3
    PFDLT167c=PFD1c;
    STRLT167c=STR1c;
    CproLT167c=Cpro1c;
    CcmLT167c=Ccm1c;
end

if LT167d==1
    PFDLT167d=PFD1a;

```

```

        STRLT167d=STR1a;
        CproLT167d=Cpro1a;
        CcmLT167d=Ccm1a;
elseif LT167d==2
        PFDLT167d=PFD1b;
        STRLT167d=STR1b;
        CproLT167d=Cpro1b;
        CcmLT167d=Ccm1b;
elseif LT167d==3
        PFDLT167d=PFD1c;
        STRLT167d=STR1c;
        CproLT167d=Cpro1c;
        CcmLT167d=Ccm1c;
end

%pemilihan jenis teknologi salah satu instrument
(FT 100)
if FT100a==1
        PFDF100a=PFD1a;
        STRFT100a=STR1a;
        CproFT100a=Cpro1a;
        CcmFT100a=Ccm1a;
elseif FT100a==2
        PFDF100a=PFD1b;
        STRFT100a=STR1b;
        CproFT100a=Cpro1b;
        CcmFT100a=Ccm1b;
elseif FT100a==3
        PFDF100a=PFD1c;
        STRFT100a=STR1c;
        CproFT100a=Cpro1c;
        CcmFT100a=Ccm1c;
end

if FT100b==1
        PFDF100b=PFD1a;
        STRFT100b=STR1a;
        CproFT100b=Cpro1a;
        CcmFT100b=Ccm1a;
elseif FT100b==2
        PFDF100b=PFD1b;

```

```

        STRFT100b=STR1b;
        CproFT100b=Cpro1b;
        CcmFT100b=Ccm1b;
elseif FT100b==3
        PFDFT100b=PFD1c;
        STRFT100b=STR1c;
        CproFT100b=Cpro1c;
        CcmFT100b=Ccm1c;
end

if FT100c==1
        PFDFT100c=PFD1a;
        STRFT100c=STR1a;
        CproFT100c=Cpro1a;
        CcmFT100c=Ccm1a;
elseif FT100c==2
        PFDFT100c=PFD1b;
        STRFT100c=STR1b;
        CproFT100c=Cpro1b;
        CcmFT100c=Ccm1b;
elseif FT100c==3
        PFDFT100c=PFD1c;
        STRFT100c=STR1c;
        CproFT100c=Cpro1c;
        CcmFT100c=Ccm1c;
end

if FT100d==1
        PFDFT100d=PFD1a;
        STRFT100d=STR1a;
        CproFT100d=Cpro1a;
        CcmFT100d=Ccm1a;
elseif FT100d==2
        PFDFT100d=PFD1b;
        STRFT100d=STR1b;
        CproFT100d=Cpro1b;
        CcmFT100d=Ccm1b;
elseif FT100d==3
        PFDFT100d=PFD1c;
        STRFT100d=STR1c;
        CproFT100d=Cpro1c;

```

```

    CcmFT100d=Ccm1c;
end

%inisiasi PFD dan STR untuk salah satu loop
pengendalian (LT165)
if i1==1
    PFDLT165=PFDLT165a;
    STRLT165=STRLT165a;
    CproLT165=CproLT165a;
    CcmLT165=CcmLT165a;
elseif i1==2
    PFDLT165=PFDLT165a+PFDLT165b;
    STRLT165=STRLT165a+STRLT165b;
    CproLT165=CproLT165a+CproLT165b;
    CcmLT165=CcmLT165a+CcmLT165b;
elseif i1==3
    PFDLT165=PFDLT165a+PFDLT165b+PFDLT165c;
    STRLT165=STRLT165a+STRLT165b+STRLT165c;
    CproLT165=CproLT165a+CproLT165b+CproLT165c;
    CcmLT165=CcmLT165a+CcmLT165b+CcmLT165c;
elseif i1==4
    PFDLT165=PFDLT165a+PFDLT165b;
    STRLT165=STRLT165a+STRLT165b;
    CproLT165=CproLT165a+CproLT165b;
    CcmLT165=CcmLT165a+CcmLT165b;
elseif i1==5
    PFDLT165=PFDLT165a+PFDLT165b+PFDLT165c;
    STRLT165=STRLT165a+STRLT165b+STRLT165c;
    CproLT165=CproLT165a+CproLT165b+CproLT165c;
    CcmLT165=CcmLT165a+CcmLT165b+CcmLT165c;

%inisiasi PFD dan STR untuk salah satu loop
pengendalian (LV165)
if i2==1
    PFDLV165=PFDLV165a;
    STRLV165=STRLV165a;
    CproLV165=CproLV165a;
    CcmLV165=CcmLV165a;
elseif i2==2
    PFDLV165=PFDLV165a+PFDLV165b;
    STRLV165=STRLV165a+STRLV165b;

```

```

CproLV165=CproLV165a+CproLV165b;
CcmLV165=CcmLV165a+CcmLV165b;
elseif i2==3
    PFDLV165=PFDLV165a+PFDLV165b+PFDLV165c;
    STRLV165=STRLV165a+STRLV165b+STRLV165c;
    CproLV165=CproLV165a+CproLV165b+CproLV165c;
    CcmLV165=CcmLV165a+CcmLV165b+CcmLV165c;
elseif i2==4
    PFDLV165=PFDLV165a+PFDLV165b;
    STRLV165=STRLV165a+STRLV165b;
    CproLV165=CproLV165a+CproLV165b;
    CcmLV165=CcmLV165a+CcmLV165b;
elseif i2==5
    PFDLV165=PFDLV165a+PFDLV165b+PFDLV165c;
    STRLV165=STRLV165a+STRLV165b+STRLV165c;
    CproLV165=CproLV165a+CproLV165b+CproLV165c;
    CcmLV165=CcmLV165a+CcmLV165b+CcmLV165c;

%inisiasi PFD dan STR untuk salah satu loop
pengendalian (LT1352)
if i3==1
    PFDLT352=PFDLT352a;
    STRLT352=STRLT352a;
    CproLT352=CproLT352a;
    CcmLT352=CcmLT352a;
elseif i3==2
    PFDLT352=PFDLT352a+PFDLT352b;
    STRLT352=STRLT352a+STRLT352b;
    CproLT352=CproLT352a+CproLT352b;
    CcmLT352=CcmLT352a+CcmLT352b;
elseif i3==3
    PFDLT352=PFDLT352a+PFDLT352b+PFDLT352c;
    STRLT352=STRLT352a+STRLT352b+STRLT352c;
    CproLT352=CproLT352a+CproLT352b+CproLT352c;
    CcmLT352=CcmLT352a+CcmLT352b+CcmLT352c;
elseif i3==4
    PFDLT352=PFDLT352a+PFDLT352b;
    STRLT352=STRLT352a+STRLT352b;
    CproLT352=CproLT352a+CproLT352b;
    CcmLT352=CcmLT352a+CcmLT352b;
elseif i3==5
    PFDLT352=PFDLT352a+PFDLT352b+PFDLT352c;

```

```
STRLT352=STRLT352a+STRLT352b+STRLT352c;  
CproLT352=CproLT352a+CproLT352b+CproLT352c;  
CcmLT352=CcmLT352a+CcmLT352b+CcmLT352c;
```

```
%inisiasi PFD dan STR untuk salah satu loop  
pengendalian (LV352)
```

```
if i4==1  
    PFDLV352=PFDLV352a;  
    STRLV352=STRLV352a;  
    CproLV352=CproLV352a;  
    CcmLV352=CcmLV352a;  
elseif i4==2  
    PFDLV352=PFDLV352a+PFDLV352b;  
    STRLV352=STRLV352a+STRLV352b;  
    CproLV352=CproLV352a+CproLV352b;  
    CcmLV352=CcmLV352a+CcmLV352b;  
elseif i4==3  
    PFDLV352=PFDLV352a+PFDLV352b+PFDLV352c;  
    STRLV352=STRLV352a+STRLV352b+STRLV352c;  
    CproLV352=CproLV352a+CproLV352b+CproLV352c;  
    CcmLV352=CcmLV352a+CcmLV352b+CcmLV352c;  
elseif i4==4  
    PFDLV352=PFDLV352a+PFDLV352b;  
    STRLV352=STRLV352a+STRLV352b;  
    CproLV352=CproLV352a+CproLV352b;  
    CcmLV352=CcmLV352a+CcmLV352b;  
elseif i4==5  
    PFDLV352=PFDLV352a+PFDLV352b+PFDLV352c;  
    STRLV352=STRLV352a+STRLV352b+STRLV352c;  
    CproLV352=CproLV352a+CproLV352b+CproLV352c;  
    CcmLV352=CcmLV352a+CcmLV352b+CcmLV352c;
```

```
%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;
```

```
%PFD PLC
```

```
PFDplc = ((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
```

```
Cpmplc = 960*8;
```

```
%Ctest PLC
```

```
Ctestplc = 240*8;
```

```
%Ccm PLC
```

```
Ccmplc = Xtplc*8000*8;
```

```
PFDavg=PFDLT165+PFDLT352+PFDLT167+PFDF100+PFDLT
168+PFDLT170+PFDP110+PFDLT172+PFDF137+PFDF107+PFDLV165+PF
DLV352+PFDLV167+PFDFV100+PFDLV168+PFDLV170+PFDPV
110+PFDLV172+PFDFV312+PFDFV303+PFDPV111+PFDLV173
+PFDFV137+PFDFV107+PFDplc;
```

```
STRavg=STRLT165+STRLT352+STRLT167+STRFT100+STRLT
168+STRLT170+STRPT110+STRLT172+STRFT137+STRFT107+STRLV165+ST
RLV352+STRLV167+STRFV100+STRLV168+STRLV170+STRPV
110+STRLV172+STRFV312+STRFV303+STRPV111+STRLV173
+STRFV137+STRFV107+STRplc;
```

```
Cpro=CproLT165+CproLT352+CproLT167+CproFT100+Cpr
oLT168+CproLT170+CproPT110+CproLT172+CproFT137+C
proFT107+CproPT111+CproLT173+CproFT137+CproFT107
+CproLV165+CproLV352+CproLV167+CproFV100+CproLV1
68+CproLV170+CproPV110+CproLV172+CproFV312+CproF
```



```

V303+CproPV111+CproLV173+CproFV137+CproFV107+Cpr
opl;c;
Ccmtot=CcmLT165+CcmLT352+CcmLT167+CcmFT100+CcmLT
168+CcmLT170+CcmPT110+CcmLT172+CcmFT312+CcmFT303
+CcmPT111+CcmLT173+CcmFT137+CcmFT107+CcmLV165+Cc
mLV352+CcmLV167+CcmFV100+CcmLV168+CcmLV170+CcmPV
110+CcmLV172+CcmFV312+CcmFV303+CcmPV111+CcmLV173
+CcmFV137+CcmFV107+Ccmplc;
Cpmtot=Cpm1+Cpm2+Cpm3+Cpm4+Cpm5+Cpm6+Cpm7+Cpm8+C
pm9+Cpm10+Cpm11+Cpm12+Cpm13+Cpm14+Cpm15+Cpm16+Cp
m17+Cpm18+Cpm19+Cpm20+Cpm21+Cpm22+Cpm23+Cpm24+Cp
m25+Cpm26+Cpm27+Cpm28+Cmpplc;
Ctesttot=Ctest1+Ctest2+Ctest3+Ctest4+Ctest5+Ctes
t6+Ctest7+Ctest8+Ctest9+Ctest10+Ctest11+Ctest12+
Ctest13+Ctest14+Ctest15+Ctest16+Ctest17+Ctest18+
Ctest19+Ctest20+Ctest21+Ctest22+Ctest23+Ctest24+
Ctest25+Ctest26+Ctest27+Ctest28+Ctestplc;
Cop=Cpmtot+Ctesttot+Ccmtot;
Cstr=STRavg*Csd;
Chazard=Cacc*Facc*PF Davg;
Crisk=Cstr+Chazard;
LCC=Cpro+Cop+Crisk;

```

### Optimisasi *Genetic Algorithm*

```

clear all
close all
%Pembangkitan Populasi dan Parameter
Npop      = 100;                %populasi
Maxit     = 250;                %iterasi
el        = 0.3;                %elatism
Pc        = 0.1;
%probabilitas crossover
Pm        = 0.7;                %probabilitas
mutasi
Nvar      = 140;                %jumlah
variabel desain yang dioptimasi
Nbit      = 20;                %jumlah bit
%Constrain

rb        = [1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

```



```

end

Datfit = [];
variabel = [];
for i = 1:size(Individu,1)
    fitness = -safetyobjective1(Individu(i,:));
    Datfit = [Datfit;fitness];
    [fitemax,nmax]=max(Datfit);
end

Dadatfit = [];
for generasi=1:Maxit
    disp('GA processing')
    clear command windows
    clear command history
    clear memory

    if generasi > 1
        sort_fit = sortrows(sort,Nbit*Nvar+1);
        Individu1 = sort_fit(round((1-
e1)*Npop+1):Npop,:);
        remain =
sort_fit(round(e1*Npop)+1:Npop,:);

        X = Individu1;
        M = size(X,1);

        sumfitness = sum(Datfit);
        for i=1:M
            Prob(i) = Datfit(i)/sumfitness;
        end
        for i=2:M
            Prob(i) = Prob(i)+Prob(i-1);
        end
        for i=1:M
            n=rand;
            k=1;
            for j=1:M-1
                if (n>Prob(j))
                    k=j+1;
                end
            end
        end
    end
end

```

```

        end
        Xparents(i,:) = X(k,:);
    end

%Crossover
    [M,d] = size(Xparents);
    Xcrossed = Xparents;
    for i=1:2:M-1
        c=rand;
        if (c<=Pc)
            p=ceil((d-1)*rand);
            Xcrossed(i,:) = [Xparents(i,1:p)
Xparents(i+1,p+1:d)];
            Xcrossed(i+1,:) =
[Xparents(i+1,1:p) Xparents(i,p+1:d)];
        end
    end
    if (M/2~=floor(M/2))
        c=rand;
        if (c<=Pc)
            p=ceil((d-1)*rand);
            str=ceil((M-1)*rand);
            Xcrossed(M,:) = [Xparents(M,1:p)
Xparents(str,p+1:d)]; %the first child is chosen
        end
    end

%Mutasi
    [M,d] = size(Xcrossed);
    Xnew=Xcrossed;
    for i=1:M
        for j=1:d
            p=rand;
            if (p<=Pm)
                Xnew(i,j)=1-Xcrossed(i,j);
            end
        end
    end

    disp('New fitness calculation');

```

```

        Bangkit =
[Xnew(:,1:Nbit*Nvar);remain(:,1:Nbit*Nvar)];
    end
    eBangkit = [eBangkit; Bangkit];

    for i =1:Npop
        for j = 1:Nvar
            Desimal(i,j) =
bi2de(Bangkit(i,((j*Nbit)-(Nbit-
1)):j*Nbit)), 'left-msb');
            Individu(i,j) =
(Desimal(i,j)*batas(:,j)-
batas(:,j)+rb(:,j)*(2^Nbit-1))/(2^Nbit-1);
        end
    end

    Datfit = [];
    for i = 1:Npop
        fitness = -
safetyobjective1(Individu(i,:));
        Datfit = [Datfit;fitness];
        [fitemax,nmax] = max(Datfit);
    end
    display(fitemax)

    Dadatfit = Datfit;
    eDadatfit = [eDadatfit;Dadatfit];
    eIndividu = [eIndividu;Individu];
    [fitnessmax,nmax] = max(eDadatfit);
    efitnessmax = [efitnessmax;fitnessmax];
    BangkitMax = eBangkit(nmax,:);
    IndividuMax = eIndividu(nmax,:);
    eIndividuMax = [eIndividuMax;IndividuMax];
    BangkitMaxlast = BangkitMax;
    schedmax = BangkitMax;
    sort = [Bangkit Dadatfit];
    summary = [summary; sort];
    david = [david; Dadatfit];

    clc
    max_variable_design=eIndividuMax(1,:)
    max_objective_function=fitness(1,:)

```

```
figure(gcf)
title('Grafik Nilai Minimum LCC', 'color', 'b')
xlabel('Jumlah Iterasi')
ylabel('Nilai Fungsi Obyektif')
hold on
plot(-efitnessmax, 'DisplayName', 'efitnessmax',
'YDataSource', 'efitnessmax');
hold on
end
```

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Herdiyanti Tjokrowisastro yang akrab disapa Tety. Penulis merupakan anak terakhir dari dua bersaudara, terlahir di kota Surabaya pada tanggal 04 Maret 1997. Penulis menempuh pendidikan di SDN Kendangsari I/276 Surabaya lulus tahun 2009, SMPN 39 Surabaya lulus tahun 2012, dan SMA Muhammadiyah 2 Surabaya lulus tahun 2015. Pendidikan sarjana ditempuh di Jurusan Teknik Fisika ITS melalui jalur SBMPTN 2015. Selama aktif menjadi mahasiswa, penulis bergabung dalam organisasi kemahasiswaan HMTF-ITS selama periode 2016-2017 sebagai staff KWU (Kewirausahaan) dan organisasi kemahasiswaan BEM ITS selama periode 2017-2018 sebagai staff Perekonomian Serta, selama periode 2018-2019 sebagai Asisten Kedirjenan *Economy Outreach* Perekonomian BEM ITS. Pengalaman *internship program* selama 1,5 bulan di PT. Inti Karya Persada Tehnik (IKPT). Bidang minat penulis dalam mengerjakan tugas akhir adalah instrumentasi. Penulis dapat dihubungi di email [herdiyantitjok123@gmail.com](mailto:herdiyantitjok123@gmail.com).