TUGAS AKHIR - TF 181801

OPTIMISASI BIAYA PEMELIHARAAN BERDASARKAN ANALISIS *RCM(RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE)-RAM(RELIABILITY, AVAILABILITY, AND MAINTAINABILITY)* MENGGUNAKAN METODE *NON-DOMINATED SORTING GENETIC ALGORITHM* II PADA *PRODUCED WATER TREATMENT SYSTEM* DI PT. SIPL

NOR INDAYU
NRP. 02311640000074

Dosen Pembimbing:
Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.

Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

TUGAS AKHIR - TF 181801

OPTIMISASI BIAYA PEMELIHARAAN BERDASARKAN ANALISIS *RCM(RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE)RAM(RELIABILITY, AVAILABILITY, AND MAINTAINABILITY)* MENGGUNAKAN METODE *NON-DOMINATED SORTING GENETIC ALGORITHM* II PADA *PRODUCED WATER TREATMENT SYSTEM* DI PT. SIPL

NOR INDAYU
NRP. 02311640000074

Dosen Pembimbing:
Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.

Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

FINAL PROJECT - TF 181801

MAINTENANCE COST OPTIMIZATION BASED ON RCM(RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE)-RAM(RELIABILITY, AVAILABILITY, AND MAINTAINABILITY) ANALYSIS USING NON-DOMINATED SORTING GENETIC ALGORITHM II METHOD ON PRODUCED WATER TREATMENT SYSTEM AT PT. SIPL

NOR INDAYU
NRP. 02311640000074

Supervisors:
Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.

Department Of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama	: Nor Indayu
NRP	: 02311640000074
Departemen / Prodi	: Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas	: Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FT-IRS)
Perguruan Tinggi	: Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul " **OPTIMISASI BIAYA PEMELIHARAAN BERDASARKAN ANALISIS *RCM(RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE)-RAM(RELIABILITY, AVAILABILITY, AND MAINTAINABILITY)* MENGGUNAKAN METODE *NON-DOMINATED SORTING GENETIC ALGORITHM* II PADA *PRODUCED WATER TREATMENT SYSTEM* DI PT. SIPL**" adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya-benarnya.

Surabaya, 20 Juli 2020

Yang membuat pernyataan,

Nor Indayu

NRP. 02311640000074

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

OPTIMISASI BIAYA PEMELIHARAAN BERDASARKAN ANALISIS *RCM(RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE)-RAM(RELIABILITY, AVAILABILITY, AND MAINTAINABILITY)* MENGGUNAKAN METODE *NON-DOMINATED SORTING GENETIC ALGORITHM* II PADA *PRODUCED WATER TREATMENT SYSTEM* DI PT. SIPL

Oleh:

Nor Indayu

NRP. 02311640000074

Surabaya, 3 Agustus 2020

Menyetujui,

Pembimbing

Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.

NIP 19571126 198403 2 002

Mengetahui,

Kepala Departemen

Teknik Fisika FT-IRS ITS

Dr. Suyanto, S.T., M.T.

NIP. 19711113 199512 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

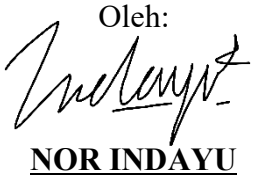
LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMISASI BIAYA PEMELIHARAAN BERDASARKAN ANALISIS *RCM(RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE)-RAM(RELIABILITY, AVAILABILITY, AND MAINTAINABILITY)* MENGGUNAKAN METODE *NON-DOMINATED SORTING GENETIC ALGORITHM* II PADA *PRODUCED WATER TREATMENT SYSTEM* DI PT. SIPL

TUGAS AKHIR

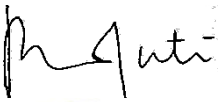
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Progam Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FT-IRS)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:



NOR INDAYU
NRP. 02311640000074

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.  (Pembimbing)
2. Dr. Imam Abadi, S.T., M.T. (Ketua Penguji)
3. Dyah Sawitri, S.T.,M.T. (Penguji I)
4. Erna Septyaningrum, S.T.,M.T. (Penguji II)

SURABAYA

2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

OPTIMISASI BIAYA PEMELIHARAAN BERDASARKAN ANALISIS *RCM(RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE)-RAM(RELIABILITY, AVAILABILITY, AND MAINTAINABILITY)* MENGGUNAKAN METODE *NON-DOMINATED SORTING GENETIC ALGORITHM* II PADA *PRODUCED WATER TREATMENT SYSTEM* DI PT. SIPL

Nama	**:**	**Nor Indayu**
NRP	**:**	**02311640000074**
Departemen	**:**	**Teknik Fisika FT-IRS ITS**
Dosen Pembimbing	**:**	**Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.**

ABSTRAK

Kegagalan elemen *Produced water treatment system* dapat meningkatkan biaya operasi dan berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan Sehingga diperlukan strategi pemeliharaan yang efektif dan efisien. Dalam tugas akhir ini bertujuan untuk menganalisis *RAM(Reliability, Availability, and Maintainability),* menentukan tindakan pemeliharaan yang sesuai dengan pendekatan *RCM(Reliability Centered Maintennace)*, serta mendapatkan biaya pemeliharaan yang optimal menggunakan metode *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA) II*. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa *reliability* sistem mencapai penurunan 50% dalam waktu 2300 jam. Dalam satu periode *preventive maintenance* semua komponen *produced water treatment* memiliki nilai *availability* di atas 98%. Sedangkan untuk mencapai *maintainability* 100% waktu perbaikan yang dibutuhkan paling cepat yaitu 4 jam. Jenis *Proactive maintenance schedule on condition* dan *restoration task* adalah tindakan yang sesuai untuk diterapkan. Hasil optimisasi didapatkan biaya pemeliharaan yang optimal pada *produced water treatment system* dalam rentang 5 tahun sebesar USD 18.948.

Kata Kunci: Biaya Pemeliharaan, NSGA II, Optimisasi, RAM, RCM.

Halaman ini sengaja dikosongkan

MAINTENANCE COST OPTIMIZATION BASED ON RCM(RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE)-RAM(RELIABILITY, AVAILABILITY, AND MAINTAINABILITY) ANALYSIS USING NON-DOMINATED SORTING GENETIC ALGORITHM II METHOD ON PRODUCED WATER TREATMENT SYSTEM PT. SIPL

Name	**:**	**Nor Indayu**
NRP	**:**	**02311640000074**
Department	**:**	**Engineering Physics FTIRS - ITS**
Supervisors	**:**	**Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.**

ABSTRACT

The failure of the element Produced water treatment system can increase operating costs and potentially cause environmental pollution. Therefore an effective and efficient maintenance strategy is needed. The aims of this thesis to analyze RAM (Reliability, Availability, and Maintainability), determine maintenance actions in accordance using RCM (Reliability Centered Maintenance) approach, and obtain optimal maintenance costs using the Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA) II method. The results of this thesis show that the reliability of the system reaches a 50% reduction within 2300 hours. In one preventive maintenance period all components of produced water treatment have an availability value above 98%. Whereas to achieve 100% maintainability, the fastest repair time is 4 hours. Types of Proactive maintenance schedules on condition and restoration tasks are appropriate actions to be applied. Optimization results obtained optimal maintenance costs in the produced water treatment system within 5 years is USD 18.948.

Keywords: Maintenance Cost, NSGA II, Optimization, RAM, RCM.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW sehingga dapat terselesaikannya tugas akhir beserta laporan tugas akhir yang berjudul **"Optimisasi Biaya Pemeliharaan Berdasarkan Analisis *RCM(Reliability Centered Maintenance)-RAM(Reliability, Availability, and Maintainability)* Menggunakan Metode *Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm* II pada *Produced Water Treatment System* di PT. SIPL".**

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

1. Bapak Dr. Suyanto, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Fisika ITS yang telah memberikan ilmu, bimbingan serta sarana dan prasarana selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika ITS.
2. Ibu Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing penulis dengan sabar memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak Totok Ruki biyanto, S.T.,M.T.,Ph.D dan Ibu Elok Anggrayni, S.T., M.T., yang turut serta membimbing dan memberi saran dalam pengerjaan tugas akhir.
4. Bapak Dr. Imam Abadi, ST., MT., Ibu Dyah Sawitri, S.T.,M.T, dan Ibu Erna Septyaningrum, S.T.,M.T., selaku penguji yang telah memberikan ilmu dan saran-saran perbaikan tugas akhir.
5. Bapak Dr. Ir. Ali Musyafa', MSc, selaku Kepala Laboratorium Pengukuran, Keandalan, Risiko & Keselamatan (PKRK) yang telah memberikan ilmu, petunjuk, dan kemudahan perizinan.
6. Kedua orang tua (Bapak Shobirin dan Ibu Zunaidah) dan Kakak (Nur Hayati). Terima kasih atas segala cinta, kasih sayang, doa, perhatian, serta dukungan moral dan materiil yang telah diberikan.

7. Ibu Fitri, Bapak Nanda, Bapak Kusnadi, Bapak Risma, dan seluruh pihak PT.SIPL yang telah membimbing dan membantu dalam pengambilan data Tugas Akhir.
8. Seluruh dosen Teknik Fisika ITS atas segala ilmu, bimbingan, petunjuk, dan nasihat yang sangat bermanfaat.
9. Teman-teman Seperjungan (Yunita, Dinda, Anin, Ira, Yoanne, Viko, Reza, Ais, Molly, Roza, Gita, Salsa, Fitri, dan Novi) yang sering penulis jadikan tempat berkeluh kesah dan memberi semangat untuk terus mengerjakan tugas akhir.
10. Mas Munir, Mas Ifaldi dan Vandi yang telah menjadi teman diskusi dalam pengerjaan tugas akhir.
11. Teman-teman Asisten Laboratorium Sistem Tertanam dan Siber-Fisik, serta staff Departemen kewirausahaan BEM FTI ITS Periode 2017/2018 yang telah menjadi keluarga bagi penulis selama perkuliahan.
12. Seluruh teman–teman Departemen Teknik Fisika ITS angkatan 2016 (*Thalassinus Fortis*), terima kasih untuk dukungan dan waktunya selama 4 tahun berjuang bersama-sama.
13. Seluruh karyawan dan civitas akademika Teknik Fisika ITS, terima kasih atas segala bantuan dan kerjasamanya.
14. Diri sendiri yang tidak mudah putus asa dan terus berjuang untuk menyelesaikan tugas akhir dalam kondisi apapun.
15. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuannya.

Surabaya, 20 Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL iii
COVER PAGE v
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI vii
LEMBAR PENGESAHAN ix
LEMBAR PENGESAHAN xi
ABSTRAK xiii
ABSTRACT xv
KATA PENGANTAR xvii
DAFTAR ISI xix
DAFTAR GAMBAR xxi
DAFTAR TABEL xxiii
DAFTAR NOTASI xxv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan 2
1.4 Batasan Masalah 2
1.5 Sistematika Laporan 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI 5
2.1 *Produced Water Treatment System* 5
2.2 Probabilitas 6
2.3 Failure Rate 6
2.4 RAM (Reliability, Availability, and Maintainability) 7
2.5 RBD (Reliability Block Diagram) 10

2.6 RCM (Reliability Centered Maintenance) 10
2.7 Biaya Pemeliharaan 14
2.8 NSGA II 14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 17
3.1 Studi literatur 18
3.2 Identifikasi PFD dan P&ID 18
3.3 Pengumpulan Data 18
3.4 Perhitungan TTF dan TTR 18
3.5 Penentuan Distribusi 18
3.6 Perhitungan RAM 19
3.7 Pembuatan RCM 19
3.8 Perhitungan Biaya Pemeliharaan Aktual 19
3.9 Optimisasi 19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 23
4.1 ANALISIS RAM 23
4.2 ANALISIS RCM 36
4.3 OPTIMISASI 51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 57
5.1 Kesimpulan 57
5.2 Saran 58
DAFTAR PUSTAKA 59
LAMPIRAN 61
BIODATA PENULIS 91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 *Produced Water Treatment* 5
Gambar 2. 2 *Probability Line* 6
Gambar 2. 3 *Bathub Curve* 6
Gambar 2. 4 Blok Diagram sistem dengan struktur seri 10
Gambar 2. 5 Blok Diagram sistem dengan struktur paralel 10
Gambar 2. 6 *Cost per Operating unit* 14
Gambar 2. 7 Flowchart NSGA-II 15
Gambar 3. 1 Diagram Alir Tugas Akhir 17
Gambar 4. 1 Grafik *Failure Rate* PT 106 23
Gambar 4. 2 Grafik *Relaibility* PT 106 24
Gambar 4. 3 Grafik *Availability* PT 106 24
Gambar 4. 4 *Maintainability* PT 106 25
Gambar 4. 5 Grafik *Failure Rate* PT 105/107/108 25
Gambar 4. 6 Grafik *Reliability* PT 105/107/108 26
Gambar 4. 7 Grafik *Availability* PT 105/107/108 26
Gambar 4. 8 Grafik Maintainability PT 105/107/108 27
Gambar 4. 9 Grafik *Failure Rate* LV 101 27
Gambar 4. 10 Grafik *Reliabiliy* LV 101 28
Gambar 4. 11 Grafik *Availability* LV 101 28
Gambar 4. 12 Grafik *Maintainability* LV 101 29
Gambar 4. 13 Grafik *Failure Rate* PDV 106 29
Gambar 4. 14 Grafik *Reliability* PDV 106 30
Gambar 4. 15 Grafik *Availability* PDV 106 30
Gambar 4. 16 Grafik *Maintainability* PDV 106 31
Gambar 4. 17 Grafik *Failure Rate* PCV 127 31
Gambar 4. 18 Grafik *Reliability* PCV 127 32
Gambar 4. 19 Grafik *Availability* PCV 127 32
Gambar 4. 20 Grafik *Maintainability* PCV 127 33
Gambar 4. 21 Grafik *Failure Rate* AT 112 33

Gambar 4. 22 Grafik *Reliability* AT 112 34
Gambar 4. 23 Grafik *Availabilty* AT 112 34
Gambar 4. 24 Grafik *Maintainability* AT 112 35
Gambar 4. 25 *RBD Produced WaterTreatment System.* 35
Gambar 4. 26 Reliability Produced Water Treatment System 36
Gambar 4. 27 P&ID PT 105 36
Gambar 4. 28 P&ID PT 106 38
Gambar 4. 29 Gambar P&ID PT 107 40
Gambar 4. 30 P&ID PT 108 41
Gambar 4. 31 P&ID LV 101 43
Gambar 4. 32 P&ID PDV 106 45
Gambar 4. 33 P&ID PCV 127 48
Gambar 4. 34 P&ID AT 112 50
Gambar 4. 35 Optimisasi *Reliability* PT 106 52
Gambar 4. 36 Optimisasi *Reliability* PT 105/7/8 52
Gambar 4. 37 Optimisasi *Reliability* LV 101 53
Gambar 4. 38 Optimisasi *Reliability* PDV 106 53
Gambar 4. 39 Optimisasi *Reliability* PCV 127 54
Gambar 4. 40 Optimisasi *Reliability* AT 112 54
Gambar 4. 41 Grafik Perbandingan Biaya Pemeliharaan 55

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Karakterisasi Laju Kegagalan 7
Tabel 2. 2 Tabel FMEA..... 12
Tabel 3. 1 Perhitungan Biaya Aktual 19
Tabel 4. 1 Jenis Distribusi TTF/TTR Komponen dan Parameternya..... 23
Tabel 4. 2 FMCEA PT 105..... 37
Tabel 4. 3 PT 105 *RCM Worksheet Decision*..... 37
Tabel 4. 4 FMCEA PT 106..... 39
Tabel 4. 5 PT 106 *RCM Worksheet Decision*..... 39
Tabel 4. 6 FMCEA PT 107..... 40
Tabel 4. 7 PT 107 *RCM Worksheet Decision*..... 41
Tabel 4. 8 FMCEA PT 108..... 42
Tabel 4. 9 PT 108 *RCM Worksheet Decision*..... 43
Tabel 4. 10 FMCEA LV 101 44
Tabel 4. 11 LV 101 *RCM Worksheet Decision* 45
Tabel 4. 12 FMCEA PDV 106 46
Tabel 4. 13 PDV 106 *RCM Worksheet Decision* 47
Tabel 4. 14 FMCEA PCV 127 48
Tabel 4. 15 PCV 127 *RCM Worksheet Decision*..... 49
Tabel 4. 16 FMCEA AT 112..... 50
Tabel 4. 17 AT 112 *RCM Worksheet Decision* 51

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR NOTASI

λ	= *Failure rate*
μ	= Rata-rata
σ	= Standar deviasi
θ	= *Scale parameter*
β	= *Shape parameter*
γ	= *Location parameter*
A(t)	= *Availability*
C_{OP}	= Operational Cost
C_P	= *Predictive Maintenance Cost*
CPUT	= *Cost Per Operating Unit Time*
C_r	= *Corrective Maintenance Cost*
M(t)	= *Maintainability*
f(t)	= Probabilitas kegagalan
MTTR	= Rata-rata waktu perbaikan kegagalan
MTTF	= Rata-rata waktu kegagalan
N	= Frekuensi *maintenance* tiap komponen
R(t)	= *Reliability*
Ti	= *Time Interval*
TTF	= *Time to Failure*
TTR	= *Time to Repair*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu sektor dalam industri perminyakan adalah produksi minyak dan gas. Kegiatan sektor tersebut meliputi pengeboran, konstruksi, pengembangan, produksi, pemeliharan, dekomisioning dan reklamasi. Kegiatan dalam sektor ini berpotensi mengahasilkan limbah cair, limbah padat, dan emisi udara (Jafarinejad 2017).

Setiap kegiatan yang berpotensi menghasilkan limbah wajib melakukan upaya pengolahan sebelum limbah dibuang ke lingkungan. limbah harus diolah terlebih dahulu supaya komponen limbah yang dapat mencemari lingkungan dapat dikurangi atau dihilangkan, sehingga dampak negatif dapat diminimalisir (Menteri Lingkungan Hidup 2010).

Produced water treatment merupakan sistem yang berfungsi untuk mengolah limbah hasil produksi minyak dan gas di PT.SIPL. Mempertahankan seluruh elemen *produced water treatment system* dalam kondisi baik sangat penting untuk memastikan kinerja sistem dan mengurangi resiko kegagalan yang dapat meningkatkan biaya operasi dan berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan (Hern´andez-Chover V, Castellet-Viciano L 2020)(Musyafa et al. 2015), Sehingga diperlukan strategi pemeliharaan yang efektif untuk menghindari terjadinya kegagalan fungsi masing-masing elemen.

RAM (Reliability, Availability,and Maintainability) menggambarkan perilaku sistem dalam hal kegagalan sub sistem sepanjang siklus hidupnya. RAM digunakan untuk memprediksi indeks kinerja sistem serta menganalisis pengaruh faktor-faktor eksternal seperti logistik, suku cadang, konfigurasi *redundancy*, dan efek *preventive maintenance* terhadap kinerja sistem (Eduardo 2016). Sedangkan *RCM (Reliability Centered Maintenance)* merupakan proses yang digunakan untuk menentukan jenis tindakan yang harus dilakukan dalam pemeliharaan untuk menghindari terjadinya kegagalan sistem (Yavuz et al. 2019).

Optimisasi biaya pemeliharaan dan indeks kinerja sistem perlu dilakukan agar kegiatan pemeliharaan efektif dan efisien. Salah satu metode optimisasi untuk

fungsi tujuan ganda adalah *Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA) II,* merupakan generasi kedua MOEA yang dikembangkan oleh Deb et al. Metode tersebut pernah diterapkan dalam optimisasi pemeliharaan dan perbaikan pada *jack-up drilling rigs* di galangan kapal iran. (Farizhendy et al. 2020).

Oleh karena itu dalam tugas akhir ini dilakukan optimisasi untuk mendapatkan biaya yang optimal dan strategi pemeliharaan yang tepat dengan pendekatan RCM dan RAM menggunakan metode NSGA II pada *produced water treatment system.*

1.2 Rumusan Masalah

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

a) Bagaimana *reliability*, *availability*, dan *maintainability* pada komponen penyusun *Produced Water Treatment System*?
b) Bagaimana menentukan tindakan pencegahan yang sesuai pada komponen penyusun *Produced Water Treatment System*?
c) Bagaimana mendapatkan biaya pemeliharaan yang optimal pada komponen penyusun *Produced Water Treatment System?*

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam pengerjaan tugas akhir ini yaitu:

a) Menganalisis *reliability*, *availability*, dan *maintainability* pada komponen penyusun *Produced Water Treatment System*.
b) Menentukan tindakan pencegahan yang sesuai pada komponen penyusun *Produced Water Treatment System*.
c) Mendapatkan biaya pemeliharaan yang optimal pada komponen penyusun *Produced Water Treatment System.*

1.4 Batasan Masalah

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

a) Objek penelitian yaitu komponen-komponen penyusun *Produced Water Treatment System* PT. SIPL.

b) Metode kualitatif menggunakan teknik observasi dan diskusi dengan narasumber terkait di perusahaan sehingga hasilnya akan dirancang dalam RCM *decision diagram*.

c) Metode kuantitatif menggunakan data *maintenance record* setiap komponen *Produced Water Treatment System* PT. SIPL pada rentang tahun 2008-2020.

d) Algoritma yang digunakan untuk optimisasi biaya pemeliharaan yaitu *Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA)*

1.5 Sistematika Laporan

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

BAB I Pendahuluan

Bab I terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, dan sistematika laporan.

BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Bab II terdiri dari teori-teori yang mendukung tugas akhir ini meliputi *reliability*, *availability*, *maintainability*, RCM, *maintenance cost*, dan *NSGA-II*.

BAB III Metodologi Penelitian

Bab III terdiri dari langkah-langkah yang dilakukan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Bab IV terdiri dari analisis RCM-RAM pada komponen *Produced Water Treatment System*, dan optimisasi biaya pemeliharaan dengan metode NSGA-II

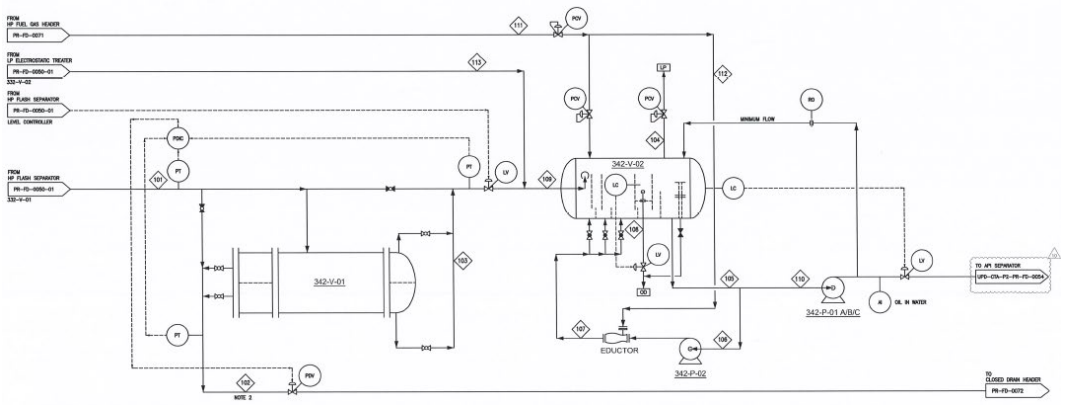
BAB V Penutup

Bab V terdiri dari kesimpulan dan saran selama melakukan tugas akhir sehingga untuk penelitian kedepannya agar lebih baik.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 *Produced Water Treatment System*



Gambar 2. 1 *Produced Water Treatment* (PT.SIPL 2008a)

Produced Water Treatment adalah sistem yang dirancang untuk menghilangkan kandungan minyak dalam air di *Hydrocarbon Receiving* dan *Separation System* untuk memenuhi spesifikasi minyak dalam air yang diperlukan untuk pembuangan. Terdapat empat sub sistem *Produced Water Treatment System* yaitu *Hydroclone, Degrassing Drum, Eductor Pump,* dan *produced water pumps* (PT.SIPL 2008b).

Air yang mengandung minyak dari *process facilities* di kumpulkan di sebuah *header* dan dialirkan menuju *oily water inlet* pada *Hydrocyclone* (342-V-01). Dalam *Hydrocyclone,* minyak dipisahkan dari air dengan gaya sentrifugal yang dihasilkan dengan menginduksi gerakan memutar saat air berminyak melewati pipa dalam *vessel* (PT.SIPL 2008b).

Minyak dari *Hydrocyclone* mengalir ke *Closed Drain System* untuk diproses kembali. Sedangkan air bersih dialirkan ke *Degassing Drum* (342-V-02), yang mana berfungsi untuk menangkap sisa-sisa minyak dan hidrokarbon terlarut dalam air (PT.SIPL 2008b).

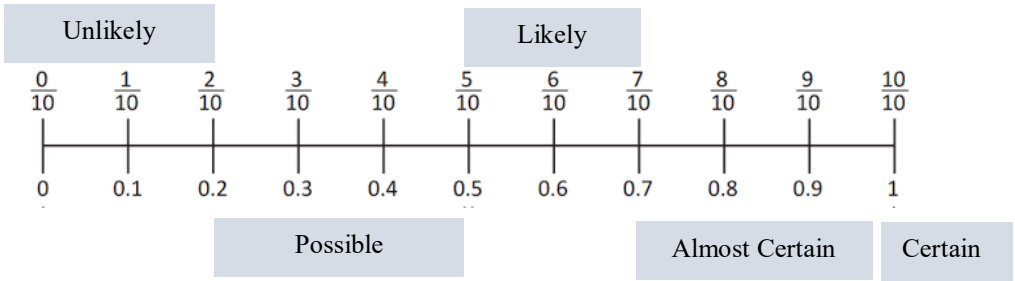
Minyak residu yang dihasilkan *Degassing Drum* dikumpulkan pada sebuah wadah di dalam *Degasser. Wet oil* dikeringkan secara manual menuju *Closed Drain.* Gas yang dilepaskan dalam *degasser* dijaga tekanannya dan dibuang menuju

LP Flare Header. Air bersih hasil *Degassing Drum* dipompa oleh *Produced Water Pumps* (342-P-01A/B/C) menuju *Observation Basin* (135-W-33) (PT.SIPL 2008b).

Bahan kimia untuk membantu pemisahan minyak diinjeksikan melalui *quills* pada pipa *hydrocyclone* dan *clean water inlet* pada *hydrocyclone* (PT.SIPL 2008b).

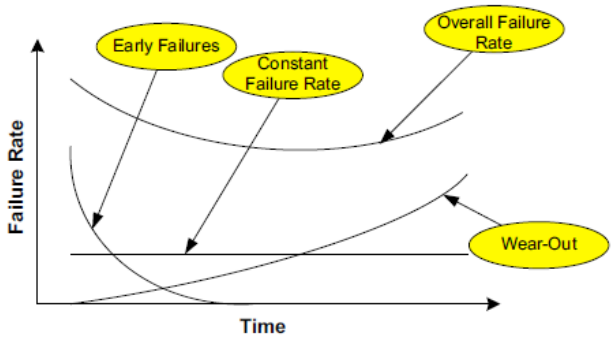
2.2 Probabilitas

Probabilitas merupakan ukuran kemungkinan terjadinya suatu peristiwa. Rentang probabilitas adalah 0 sampai 1 dan dapat direpresentasikan oleh gambar 2.2 (Brændeland and Stølen 2017)(Newman 2002).



Gambar 2. 2 *Probability Line* (Brændeland and Stølen 2017)(Newman 2002)

2.3 Failure Rate



Gambar 2. 3 *Bathub Curve* (Sutton 2010)

Gambar 2.3 adalah *bathub curve* yang menunjukkan karakterisai *failure rate*. *failure rate* atau laju kegagalan merupakan banyaknya kegagalan dalam interval waktu tertentu. Waktu yang dilalui komponen saat mulai beroperasi sampai mengalami kegagalan disebut *TTF(time to failure)*. Laju kegagalan menggambarkan tingkat distribusi kegagalan yang dapat dikarakterisasikan sebagai

kenaikan (IFR), penurunan (DFR), atau konstan (CFR). Distribusi kegagalan menjadi hal yang penting karena akan menjadi dasar perhitungan *reliability, availability, dan maintainability*(Ebeling 1997). Adapun penyebab dan cara mengatasi kegagalan berdasarkan karakterisasinya terdapat pada tabel 2.1

Tabel 2. 1 Karakterisasi Laju Kegagalan (Ebeling 1997)

Characterizes by		***Caused by***	***Reduced by***
Burn-in	*DFR (Decrease Failure Rate)*	*Manufacturing Defects : Welding Flaws, cracks, defective parts, poor Quality Control, Contamination, Poor Workmanship*	*Burn-in testing, screening, Quality Control, Acceptance Testing*
Useful Life	*IFR (Increase Failure Rate)*	*Environtment, Random Loads, Human Error, Act of Good, Chance Event*	*Redundancy, Excess Strength*
Wear-out	*CFR (Constant Failure Rate)*	*Fatigue, Corrossion, Aging, Friction, Cyclicsl Loading*	*Derating, Preventive Mintenance, Parts Replacement, Technology*

2.4 RAM (Reliability, Availability, and Maintainability)

Reliability adalah probabilitas suatu komponen atau sistem akan menjalankan fungsinya dengan baik dalam periode waktu tertentu ketika digunakan dalam kondisi operasi tertentu (Ebeling 1997).

Availability adalah probabilitas komponen atau sistem dapat menjalankan fungsinya pada waktu tertentu ketika digunakan dalam kondisi operasi tertentu. berikut merupakan fungsi matematis dari *availability* (Ebeling, 1997):

$$A(i) = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad (2.1)$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.2)$$

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \quad (2.3)$$

Maintainability adalah probabilitas komponen atau sistem dapat diperbaiki ke kondisi tertentu dalam periode waktu ketika pemeliharaan dikakukan sesuai dengan prosedur yang ditentukan. (Ebeling 1997)

Berdasarkan karakterisasi kegagalan *reliability, availability,* dan *maintainability* dapat dihitung menggunakan distribusi normal*, lognormal*, eksponensial, dan *weibull.*

2.4.1 Distribusi normal

Distribusi normal menggambarkan karakteristik kegagalan *IFR (Increase Failure Rate).* Berikut adalah fungsi matematis pada distribusi normal (Ebeling, 1997)(Corporation 1996):

Failure Rate

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2}}{\int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx} \quad (2.4)$$

Reliability

$$R(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx \quad (2.5)$$

Maintainability

$$M(t) = 1 - \left(\int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx \right) \quad (2.6)$$

2.4.2 Distribusi Lognormal

Distribusi *lognormal* menggambarkan karakteristik kegagalan *DFR* (*Decrease Failure Rate*). Berikut ini adalah fungsi matematis distribusi *lognormal* (Ebeling, 1997)(Corporation 1996):

Failure Rate

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sigma}\right)^2}}{\int_{\ln(t)}^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx} \quad (2.7)$$

Reliability

$$R(t) = \int_{\ln(t)}^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx \quad (2.\ 8)$$

Maintainability

$$M(t) = 1 - \left(\int_{\ln(t)}^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx\right) \quad (2.\ 9)$$

2.4.3 Distrbusi Eksponensial

Distribusi eksponensial menggambarkan karakteristik kegagalan *CFR* (*Constant Failure Rate*). Berikut ini adalah fungsi matematis distribusi eksponensial (Ebeling, 1997)(Corporation 1996):

Failure Rate

$$\lambda(t) = \lambda \quad (2.\ 10)$$

Reliability

$$R(t) = e^{-\lambda(t-\gamma)} \quad (2.\ 11)$$

Maintainability

$$M(t) = 1 - \left(e^{-\lambda(t-\gamma)}\right) \quad (2.\ 12)$$

2.4.4 Distribusi *Weibull*

Distribusi weibul dapat menggambarkan karakteristik kegagalan *CFR(Constant Failure Rate), DFR(Decrease Failure Rate),* maupun *IFR(Increase Failure Rate).* Berikut adalah fungsi matematis pada distribusi *weibull* (Ebeling, 1997)(Corporation 1996):

Failure Rate

$$\lambda(t) = \lambda \quad (2.\ 13)$$

Reliability

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (2.\ 14)$$

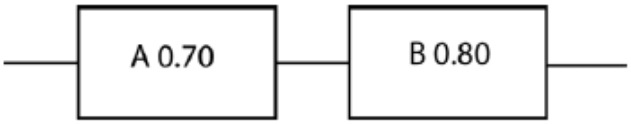
Maintainability

$$M(t) = 1 - \left(e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}}\right) \quad (2.\ 15)$$

2.5 RBD (Reliability Block Diagram)

Reliability Block Diagram digunakan untuk memodelkan hubungan antar komponen dalam menjalankan fungsinya. Terdapat dua struktur umum yang menggambarkan sistem. Yaitu struktur seri dan paralel (Ebeling 1997).

Sistem dengan desain struktur seri berarti bahwa ketika ada salah satu komponen gagal, maka menyebabkan sistem tersebut gagal (Ebeling 1997). RBD struktur seri ditunjukkan pada gambar 2.4

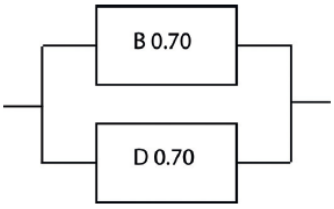


Gambar 2. 4 Blok Diagram sistem dengan struktur seri (Schenkelberg 2015)

Berikut merupakan rumus *Reliability* sistem dengan desain struktur seri :

$$R_s = R_1 \; x \; R_n \qquad (2.\ 16)$$

Sistem dengan desain struktur paralel berarti bahwa ketika ada salah satu komponen gagal, maka sistem tersebut masih dapat beroperasi karena ada komponen lain yang menggantikan*(redundant).* RBD struktur paralel ditunjukkan pada gambar 2.5



Gambar 2. 5 Blok Diagram sistem dengan struktur paralel(Schenkelberg 2015)

Berikut merupakan rumus *Reliability* sistem dengan desain struktur paralel :

$$R_p = 1 - (1 - R_{1)} \; x \; (1 - R_n \,) \qquad (2.\ 17)$$

2.6 RCM (Reliability Centered Maintenance)

Reliability centered maintenance adalah proses sitematis untuk menentukan tindakan yang harus dilakukan untuk menjaga sistem agar tetap menjalankan

fungsinya dengan baik. Terdapat tujuh hal yang harus dilakukan dalam analisis RCM yaitu(Sifonte and Reyes-Picknell 2017):

2.6.1 System Functions

System Functions merupakan langkah mengidentifikasi fungsi dan parameter operasi yang menentukan tingkat kinerja sistem yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan operasional (Sifonte and Reyes-Picknell 2017).

2.6.2 Functional Failures

Functional failures merupakan langkah mengidentifikasi bagaimana sistem dikatakan gagal dalam menjalankan fungsinya. Untuk mendeskripsikan fungsi dengan benar harus mengikuti langkah berikut sesuai standar (Sifonte and Reyes-Picknell 2017):

a. Bagaimana aset fisik atau sistem beroperasi harus didefinisikan dan dicatat.
b. Semua fungsi primer dan fungsi sekunder aset atau sistem harus diidentifikasi
c. Semua pernyataan fungsi sebisa mungkin mengandung kata kerja, obyek, dan standar kerja kuantitatif.
d. Standar kerja yang digunakan dalam pernyataan fungsi harus sesuai dengan tingkat kerja yang diinginkan user dalam kontes operasi saat ini.

2.6.3 Failure Mode

Failure mode merupakan langkah mengidentifikasi penyebab kegagalan fungsional sistem(Sifonte and Reyes-Picknell 2017). Adapun *failure mode* yang umum terjadi dalam industri minyak dan gas meliputi(Companies 2002) :

a *AIR (Abnormal Instrument Reading)* merupakan kagagalan instrumen dalam pembacaan nilai
b *FTO (Failed to Open)* merupakan kegagalan instrumen untuk membuka sesuai perintah
c *FTC (Failed to Closed)* merupakan kegagalan instrumen untuk menutup sesuai perintah
d *FTR (Failed to Regulate)* merupakan kegagalan instrumen untuk membuka/menutup sesuai perintah

e *LCP (Valve Leakage in Closed Position)* merupakan kegagalan *valve* dimana dalam keadan menutup masih terdapat fluida yang mengalir *(Passing)*

f *STD (Structural Deficiency)* merupakan kegagalan instrumen akibat penyimpangan dari desain struktur unit.

2.6.4 Failure Effect

Failure effect adalah langkah mengidentifikasi dampak yang ditimbulkan ketika kegagalan terjadi (Sifonte & Reyes-Picknell, 2017). Tabel 2.2 merupakan contoh penyusunan *FMEA(Failure Mode and Effect Analysis)* (Ebeling, 1997) :

Tabel 2. 2 Tabel FMEA

Component	***Failure Mode***	***Failure Effect***
Receiver	*Open circuit*	*Signal loss*
	Short circuit	*Component damage*
	Loss of Power	*Signal loss*
	Bad Speaker	*Distortion*

2.6.5 Failure Consequences

Failure consequences adalah langkah mengidentifikasi dampak lebih luas yang ditimbulkan ketika kegagalan terjadi. Seperti dampak terhadap keselamatan, lingkungan, produksi, maupun biaya pemeliharaan (Sifonte & Reyes-Picknell, 2017). RCM mengklasifikasikan dampak tersebut menjadi 4 macam yaitu(Moubray 1997):

a. *Hidden Failure Consequences:* tidak berdampak secara langsung akan tetapi dapat mengakibatkan kegagalan yang lebih kompleks.

b. *Safety and environmental consequences:* mengakibatkan kecelakaan, kematian, serta melanggar standar lingkungan regional, nasional, maupun internasional.

c. *Operational consequences:* berdampak pada proses produksi (output, kualitas produk, pelayanan konsumen, serta biaya operasional)

d. *Non-operational consequences:* hanya berdampak pada biaya perbaikan

2.6.6 Proactive Task and task Interval

Proactive Task and task Interval merupakan langkah memprediksi dan mengantisipasi terjadinya kegagalan(Sifonte and Reyes-Picknell 2017). Dalam RCM *proactive task* dibagi menjadi tiga, yaitu (Moubray, 1997) :

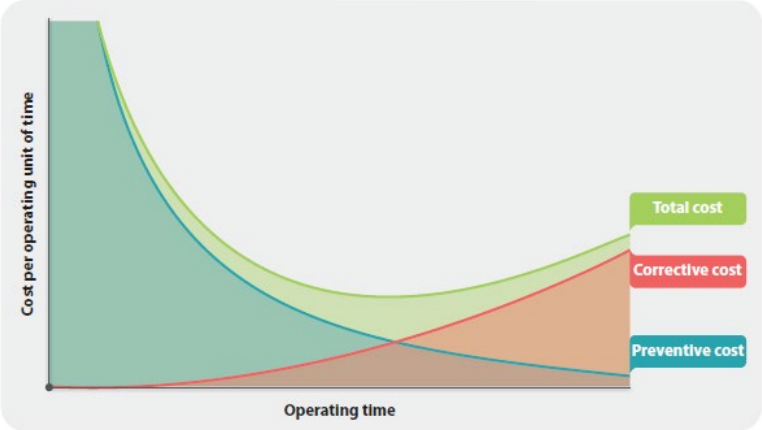
a. *Scheduled restoration task:* merupakan tindakan melakukan *remanufacturing* komponen atau *overhauling* sebelum batas usia tertentu dan tanpa menghiraukan kondisinya saat itu.
b. Scheduled discard task: merupakan tindakan melakukan penggantian komponen sebelum batas usia tertentu dan tanpa menghiraukan kondisinya saat itu.
c. Scheduled on-condition task: merupakan tindakan melakukan deteksi potensi kegagalan komponen untuk menghindari akibat kegagalan fungsi dan membiarkan komponen tetap beroperasi jika masih memenuhi standar kerja yang diinginkan.

2.6.7 Default Actions

Default Action merupakan langkah yang dilakukan apabila *proactive task* tidak dapat diterapkan. Terdapat tiga macam *default action*, yaitu (Moubray, 1997):

a. *Failure finding:* merupakan tindakan melakukan pemeriksaan *hidden function* secara berkala untuk mengetahui apakah telah terjadi kegagalan fungsi.
b. Redesign: merupakan tindakan melakukan modifikasi maupun desain ulang sistem.
c. No scheduled maintenance: merupakan tindakan meniadakan pemeliharaan terjadwal, akan tetapi melakukan perbaikan jika telah terjadi kegagalan fungsi

2.7 Biaya Pemeliharaan



Gambar 2. 6 *Cost per Operating unit* (Sifonte and Reyes-Picknell 2017)

Pada gambar 2.6 menunjukkan grafik *Cost Per Operating Unit of Time (CPUT)* atau biaya pemeliharaan terhadap waktu. Biaya pemeliharaan terdiri atas penjumlahan biaya *preventive maintenance (Cp)* dan Biaya *corrective maintenance(Cr).* Berikut merupakan rumus biaya pemeliharaan (Sifonte and Reyes-Picknell 2017) :

$$CPUT\ (t) = \frac{\text{total expected replacement cost per cycle}}{\text{expected cycle length}} \quad (2.\ 18)$$

$$CPUT\ (t) = \frac{(Cp * R(t)) + (Cr((1 - R(t))}{\int_0^t R(t)} \quad (2.\ 19)$$

2.8 NSGA II

NSGA (Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm) II merupakan Algoritma Genetika untuk optimasi *multiobjective*. Adapun tahapan dari NSGA-II yaitu (Seshadri n.d.):

1 Inisialisasi Populasi: inisialisasi populasi berdasarkan rentang masalah dan *constrain*

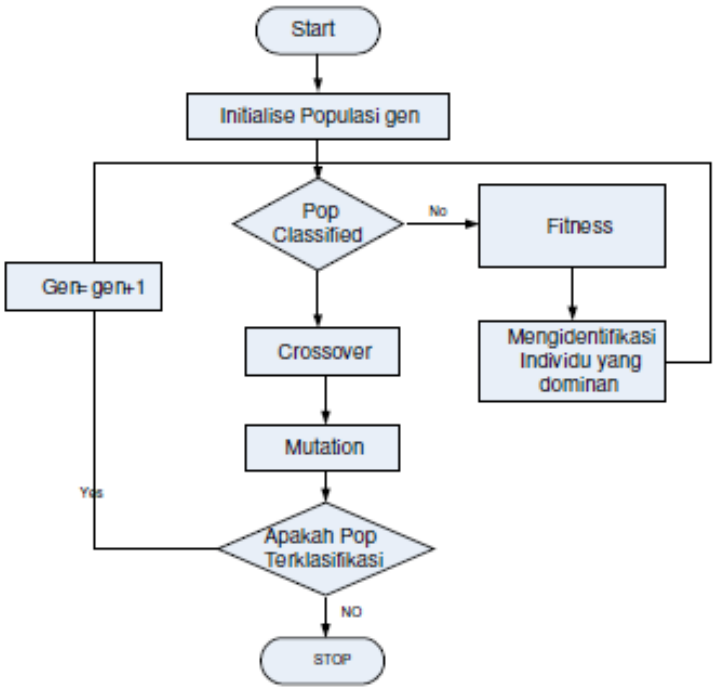
2 *Non Dominated Sorting:* populasi yang sudah diinisialisasi diurutkan berdasarkan non dominasi

3 *Crowding Distance:* setelah diurutkan berdasarkan non dominasi, selanjutnya adalah penilaian berdasarkan jarak. Proses *crowding distance* ini didalamnya termasuk evaluasi *fitness* masing-masing individu.

4 Seleksi: tiap individu diseleksi menggunakan *binary tournament selection* dengan *crowded-comparison-operator*

5 Operator genetik: operator genetik meliputi pindah silang dan mutasi. Pindah silang menggunakan operator *SBX(Simulated Binary Crossover)* sedangkan mutasi menggunakan *polynomial mutation*

6 Rekombinasi dan seleksi: populasi keturunan dikombinasikan dengan populasi generasi saat ini dan seleksi dilakukan untuk mengatur individu-individu generasi berikutnya.



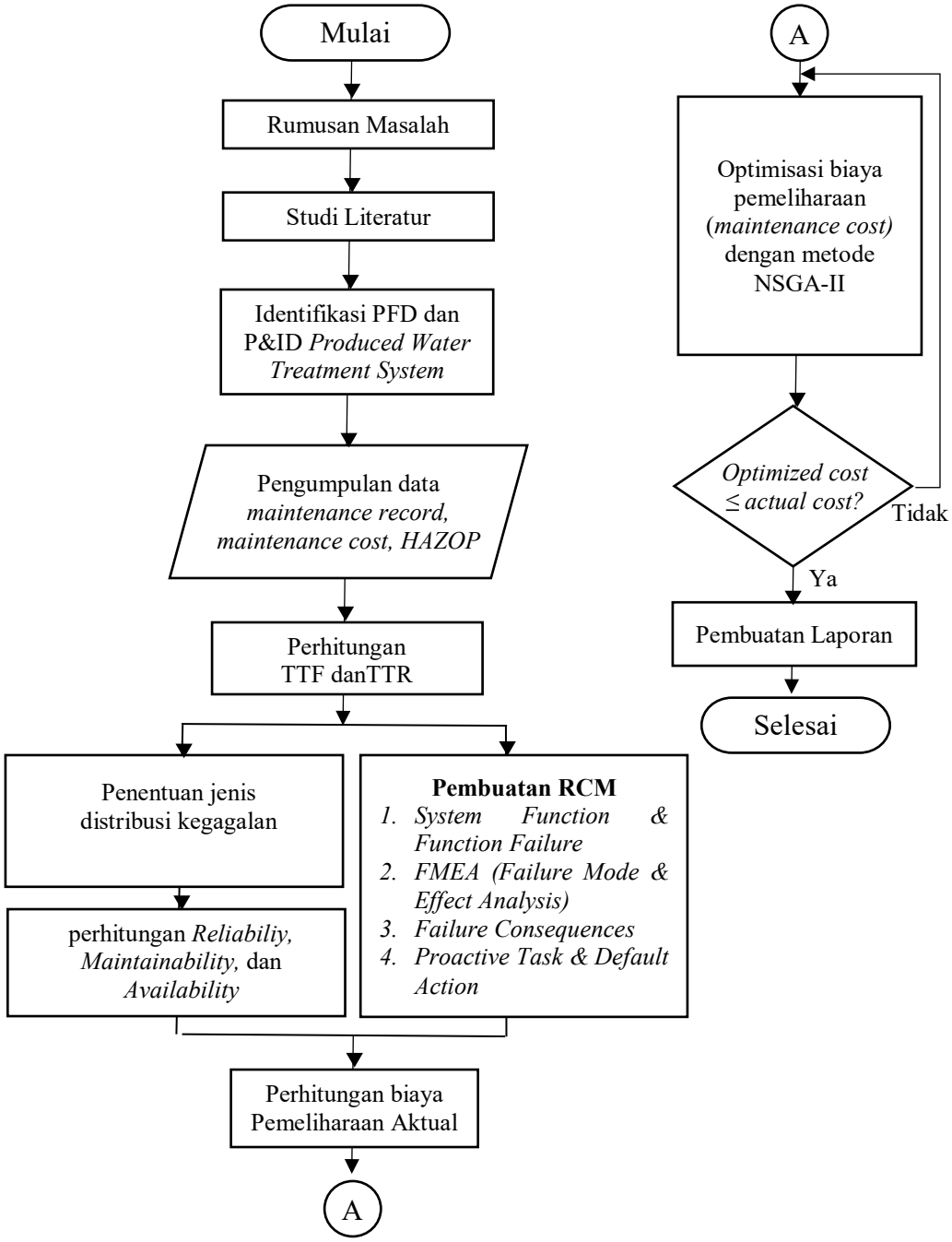
Gambar 2. 7 *Flowchart NSGA-II(Belluano 2016)*

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan optimisasi untuk memaksimumkan *availability* dan meminumkan *preventive maintenance cost.* Adapun populasi yang digunakan adalah 100, dengan generasi 200, probabilitas pindah silang 0.9, dan probabilitas mutasi 0.1(Su and Liu 2020)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan-tahapan pada tugas akhir ini dilakukan sesuai gambar berikut :



Gambar 3. 1 Diagram Alir Tugas Akhir

3.1 Studi literatur

Dalam tahap ini penulis mencari referensi yang menunjang tugas akhir. Seperti konsep *RAM* (R*eliability, Availability, and Maintainability), Reliability Centered Maintenance (RCM), maintenance cost*, dan *Non Dominated Sorting Genetic Algorithm II*.

3.2 Identifikasi PFD dan P&ID

Dalam tahap ini dilakukan identifikasi *Process Flow Diagram (PFD)* dan *Piping & Instrumentation Diagram (P&ID*) untuk menentukan komponen penting yang menunjang fungsi *Produced Water Treatment System.*

3.3 Pengumpulan Data

Dalam tahap ini dilakukan pengumpulan data *Maintenance Record*, *maintenance cost, serta Hazard and Operability Study (HAZOP) produced water treatment system.* Data *maintenance record* akan digunakan untuk analisa RAM, sedangkan HAZOP untuk menunjang pembuatan RCM.

3.4 Perhitungan TTF dan TTR

Dalam tahap ini dilakukan perhitungan *Time to Failure (TTF)* dan *Time to Repair (TTR)* yang didapat dari data *maintenance record* komponen *produced water treatment system.* jarak antara *downtime* ke-n hingga (n+1) dihitung sebagai TTF, sedangan lama waktu komponen mengalami *downtime* dihitung sebagai TTR. *Downtime* merupakan waktu dimana komponen tidak beroperasi yang dapat disebakan karena terjadinya kerusakan maupun sedang dalam masa perbaikan.

3.5 Penentuan Distribusi

Dalam tahap ini dilakukan penentuan distribusi TTF dan TTR masing-masing komponen. Kemudian akan didapatkan jenis distribusi yang sesuai beserta parameter-parameter distribusi yang selanjutnya akan digunakan dalam perhitungan *reliability, availability* dan *maintainability*. Terdapat tiga parameter untuk menentukan peringkat distribusi yaitu *AVGOF (average goodness of fit), AVPLOT (average of plot fit),* dan *LKV (likelihood function).*

3.6 Perhitungan RAM

Dalam tahap ini dilakukan perhitungan *RAM* (*Reliability, Availability,* dan *Maintainability*) berdasarkan rumus distribusi yang sesuai dengan TTF dan TTR masing-masing komponen.

3.7 Pembuatan RCM

Dalam tahap ini dilakukan identifikasi fungsi komponen, mode kegagalan, penyebab kegagalan, serta akibat yang ditimbulkan jika kegagalan komponen terjadi, kemudian ditentukan langkah pencegahan yang sesuai dan disusun dalam *RCM Worksheet Decision.*

3.8 Perhitungan Biaya Pemeliharaan Aktual

Dalam tahap ini dilakukan perhitungan biaya pemeliharaan aktual komponen-komponen *produced water treatment*. Berikut merupakan hasil perhitungan biaya pemeliharan aktual dalam jangka waktu 5 tahun

Tabel 3. 1 Perhitungan Biaya Aktual

Component	Cr (USD)	Cp (USD)	R(t)	t	N	COP (USD)
PT 105	35,00	107,50	0,97	7133	6	646,75
PT 106	35,00	107,50	0,97	6505	6	709,18
PT 107	35,00	107,50	0,97	7133	6	646,75
PT 108	35,00	107,50	0,97	7133	6	646,75
LV 101	2.287,17	290,25	0,97	517	85	29.665,19
PDV 106	2.287,17	290,25	0,97	1450	30	10.577,17
PCV 127	2.287,17	290,25	0,97	824	53	18.612,75
AT 112	18,39	129,00	0,97	824	53	6.680,65
TOTAL						68.185,18

3.9 Optimisasi

Dalam tahap ini dilakukan optimisasi yang bertujuan untuk mendapatkan harga pemeliharaan minimum dan nilai *reliability* maksimum dengan *constrain* berupa *time interval* ketika *reliability* sebesar 97% dan 70% dari masing-masing komponen.

Pada komponen PT 105 fungsi objektif yang digunakan yaitu :

$$F(1)=\frac{\left(35*\left(\int_t^{\infty}\frac{1}{5506,42\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-16864}{5506,42}\right)^2}dx\right)\right)+\left(107,5(1-\left(\int_t^{\infty}\frac{1}{5506,42\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-16864}{5506,42}\right)^2}dx\right)\right)}{\int_0^t\left(\int_t^{\infty}\frac{1}{5506,42\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-16864}{5506,42}\right)^2}dx\right)} \quad (3.1)$$

$$F(2)=\int_t^{\infty}\frac{1}{5506,42\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-16864}{5506,42}\right)^2}dx \quad (3.2)$$

Dengan *constrain min 6505* dan *constrain max 13979*

Pada komponen PT 106/7/8 fungsi objektif yang digunakan yaitu :

$$F(1)=\frac{\left(35*\left(\int_t^{\infty}\frac{1}{5370,13\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-16864}{5370,13}\right)^2}dx\right)\right)+\left(107,5\left(1-\left(\int_t^{\infty}\frac{1}{5370,13\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-16864}{5370,13}\right)^2}dx\right)\right)\right)}{\int_0^t\left(\int_t^{\infty}\frac{1}{5370,13\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-16864}{5370,13}\right)^2}dx\right)} \quad (3.3)$$

$$F(2)=\int_t^{\infty}\frac{1}{5370,13\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-16864}{5370,13}\right)^2}dx \quad (3.4)$$

Dengan *constrain min* 7133 dan *constrain max* 14120

Pada komponen LV 101 fungsi objektif yang digunakan yaitu :

$$F(1)=\frac{\left(290,25*\left(\int_{\ln(t)}^{\infty}\frac{1}{1,28\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-8,57}{1,28}\right)^2}dx\right)\right)+\left(2287,17\left(1-\left(\int_{\ln(t)}^{\infty}\frac{1}{1,28\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-8,57}{1,28}\right)^2}dx\right)\right)\right)}{\int_0^t\left(\left(\int_{\ln(t)}^{\infty}\frac{1}{1,28\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-8,57}{1,28}\right)^2}dx\right)\right)} \quad (3.5)$$

$$F(2)=\left(\int_{\ln(t)}^{\infty}\frac{1}{1,28\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-8,57}{1,28}\right)^2}dx\right) \quad (3.6)$$

Dengan *constrain min* 517 dan *constrain max* 2751

Pada komponen PDV 106 fungsi objektif yang digunakan yaitu :

$$F(1)=\frac{\left(290{,}25*\left(\int_{\ln(t)}^{\infty}\frac{1}{1{,}05\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-9{,}18}{1{,}05}\right)^2}dx\right)\right)+\left(2287{,}17\left(1-\left(\int_{\ln(t)}^{\infty}\frac{1}{1{,}05\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-9{,}18}{1{,}05}\right)^2}dx\right)\right)\right)}{\int_0^t\left(\left(\int_{\ln(t)}^{\infty}\frac{1}{1{,}05\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-9{,}18}{1{,}05}\right)^2}dx\right)\right)} \quad (3.\ 7)$$

$$F(2)=\left(\int_{\ln(t)}^{\infty}\frac{1}{1{,}05\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-9{,}18}{1{,}05}\right)^2}dx\right) \quad (3.\ 8)$$

Dengan *constrain min* 1350 dan *constrain max* 5600

Pada komponen PCV 127 fungsi objektif yang digunakan yaitu :

$$F(1)=\frac{\left(290{,}25*\left(\int_{\ln(t)}^{\infty}\frac{1}{0{,}78\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-8{,}84}{0{,}78}\right)^2}dx\right)\right)+\left(2287{,}17\left(1-\left(\int_{\ln(t)}^{\infty}\frac{1}{0{,}78\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-8{,}84}{0{,}78}\right)^2}dx\right)\right)\right)}{\int_0^t\left(\left(\int_{\ln(t)}^{\infty}\frac{1}{0{,}78\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-8{,}84}{0{,}78}\right)^2}dx\right)\right)} \quad (3.\ 9)$$

$$F(2)=\left(\int_{\ln(t)}^{\infty}\frac{1}{0{,}78\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-8{,}84}{0{,}78}\right)^2}dx\right) \quad (3.\ 10)$$

Dengan *constrain min* 1680 dan *constrain max* 4650

Pada komponen AT 112 fungsi objektif yang digunakan yaitu :

$$F(1)=\frac{\left(Cp\left(e^{-\left(\frac{t}{5435{,}99}\right)^{1{,}77}}\right)\right)+\left(Cu\left(1-\left(e^{-\left(\frac{t}{5435{,}99}\right)^{1{,}77}}\right)\right)\right)}{\int_0^t\left(e^{-\left(\frac{t}{5435{,}99}\right)^{1{,}77}}\right)} \quad (3.\ 11)$$

$$F(2)=e^{-\left(\frac{t}{5435{,}99}\right)^{1{,}77}} \quad (3.\ 12)$$

Dengan *constrain min* 824 dan *constrain max* 3068

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

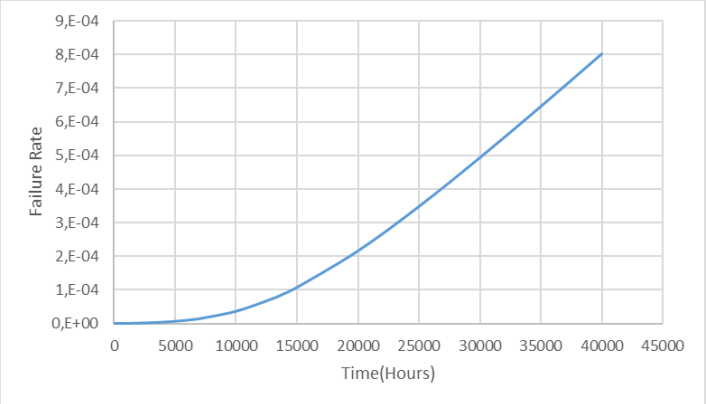
4.1 ANALISIS RAM

Perhitungan *RAM* (*Relaibility, Availability, and Maintainability* didasarkan pada jenis distribusi *time to failure (TTF)* dan *time to repair (TTR)* masing-masing komponen *produced water treatment system*. Berikut merupakan jenis distribusi TTF dan TTR beserta parameternya

Tabel 4. 1 Jenis Distribusi TTF/TTR Komponen dan Parameternya

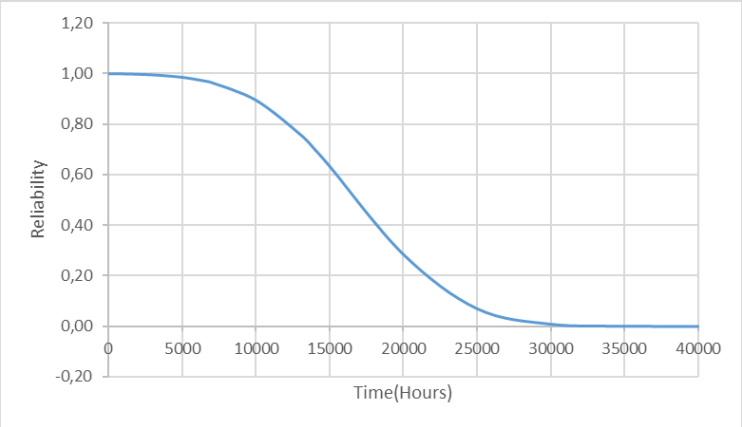
KOMPONEN	DISTRIBUSI TTF	PARAMETER TTF		DISTRIBUSI TTR	PARAMETER TTR	
PT 106	NORMAL	μ	16864	EKSPONENSIAL 2	λ	0,7603
		σ	5506,42		γ	1,3207
PT 105/107/108	NORMAL	μ	16864	EKSPONENSIAL 2	λ	3,4331
		σ	5370,13		γ	1,9055
LV 101	LOGNORMAL	μ	8,57	LOG NORMAL	μ	1,1672
		σ	1,28		σ	0,8981
PCV 127	LOGNORMAL	μ	8,84	WEIBUL 3	β	4,2304
		σ	0,75		η	2,7258
					γ	-0,055
PDV 106	LOGNORMAL	μ	9,18	EKSPONENSIAL 2	λ	0,8711
		σ	1,05		γ	1,607
AT 112	WEIBUL 2	β	1,77	EKSPONENSIAL 2	λ	0,4622
		η	5434,99		γ	0,7722

4.1.1 RAM PT 106



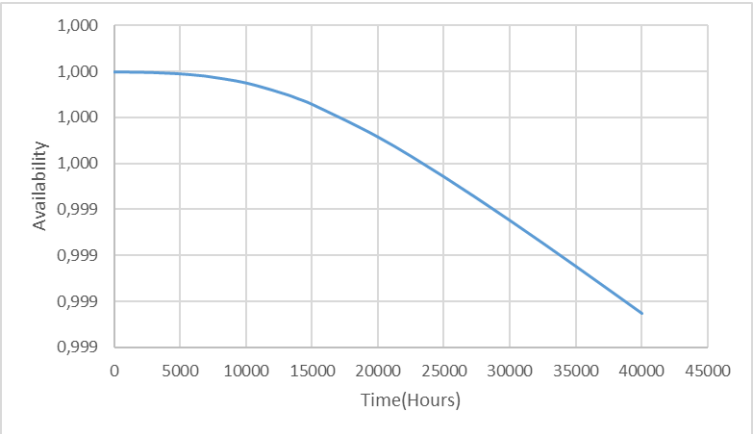
Gambar 4. 1 Grafik *Failure Rate* PT 106

Grafik *failure Rate* pada komponen PT 106 yang ditunjukkan pada gambar 4.11 mengalami kenaikan, hal tersebut mengindikasikan bahwa komponen dalam *fase wear out*. Kegagalan komponen dapat disebabkan karena kelelahan, korosi, ataupun faktor usia. Adapun usaha yang dapat dilakukan untuk mengurangi kegagalan komponen adalah dengan melakukan *preventive maintenance*, dan juga menurunkan kapasitas kerjanya.



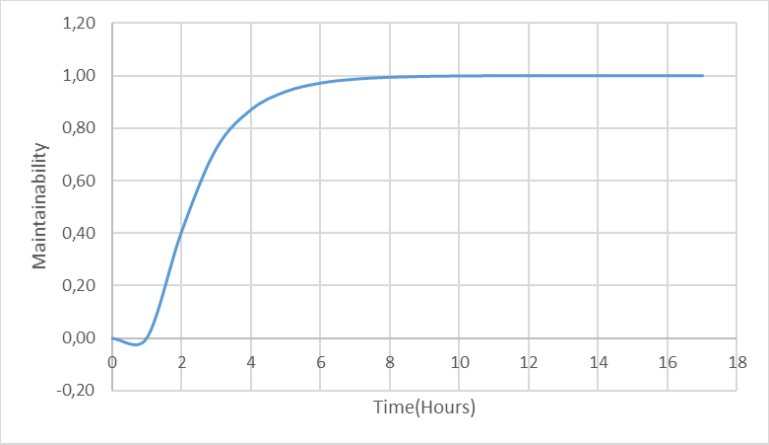
Gambar 4. 2 Grafik *Relaibility* PT 106

Berdasarkan perhitungan *reliability* yang hasilnya ditampilkan pada gambar 4.2, didapatkan nilai *reliability* 97% pada saat 6505 jam operasi. Sedangkan *reliability* 70% pada saat 13979 jam operasi. Sehingga komponen PT 106 pada saat mencapai 13979 jam operasi masih dapat menjalankan fungsinya dengan baik.



Gambar 4. 3 Grafik *Availability* PT 106

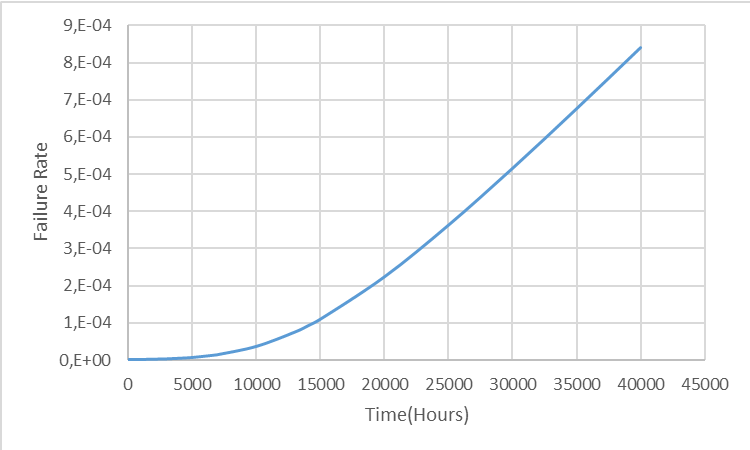
Dari grafik *availability* yang ditunjukkan pada gambar 4.3 diketahui bahwa probabilitas ketersediaan komponen PT 106 untuk dapat digunakan sangat tinggi yaitu di atas 99% selama 40000 jam operasi. Tingginya nilai *availability* dikarenakan waktu operasi lebih tinggi daripada *downtime.*



Gambar 4. 4 *Maintainability* PT 106

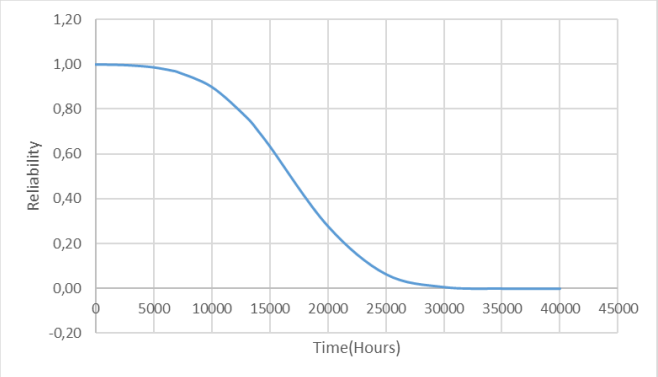
Dari grafik *maintainability* yang ditunjukkan pada gambar 4.4 diketahui bahwa untuk mencapai probabilitas 100% komponen PT 106 membutuhkan waktu 9 jam. Sehingga waktu yang paling efektif untuk dilakukan perbaikan adalah 9 jam. Jika kurang dari 9 jam maka kemungkinan komponen masih dalam masa perbaikan, sehingga belum bisa menjalankan fungsinya seperti pada awal operasi.

4.1.2 RAM PT 105/107/108



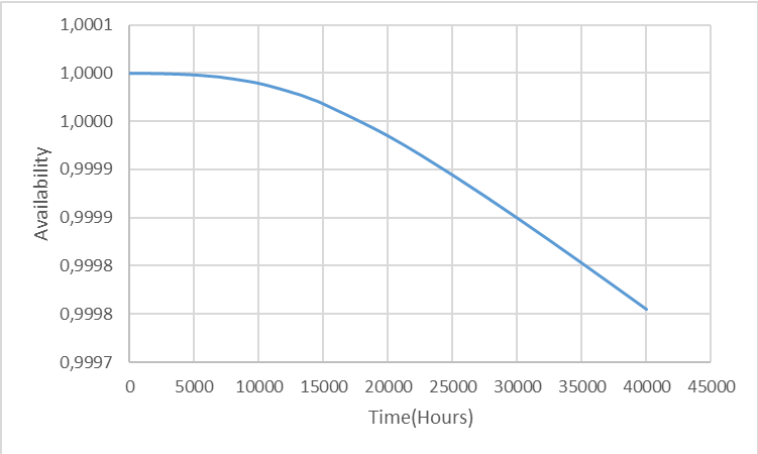
Gambar 4. 5 Grafik *Failure Rate* PT 105/107/108

Gambar 4.5 merupakan grafik *failure rate* yang menunjukkan perbandingan banyaknya kegagalan komponen PT 105/107/108 terhadap waktu. Dari grafik tersebut didapatkan *failure rate* komponen PT 105/107/108 mengalami kenaikan *(increase failure rate*) dikarenakan komponen PT 105/107/108 dalam fase *wear out.*



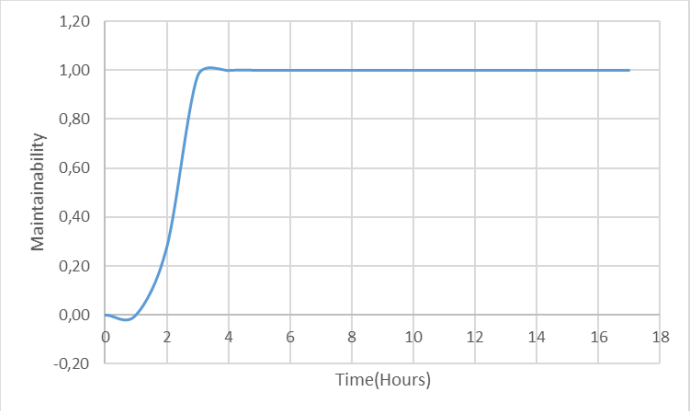
Gambar 4. 6 Grafik *Reliability* PT 105/107/108

Pada gambar 4.6 menjelaskan penurunan *reliability* komponen PT 105/107/108. Penurunan *reliability* dapat diartikan sebagai menurunnya probabilitas komponen PT 105/107/108 untuk dapat menjalankan fungsinya dengan baik. *Reliability* komponen PT 105/107/108 sebesar 97% pada saat 7133 jam operasi. Sedangkan nilai *reliability* sebesar 70% pada saat 14120 jam operasi. Sehingga dalam 14120 jam operasi komponen PT 105/107/108 masih dapat menjalankan fungsinya dengan baik



Gambar 4. 7 Grafik *Availability* PT 105/107/108

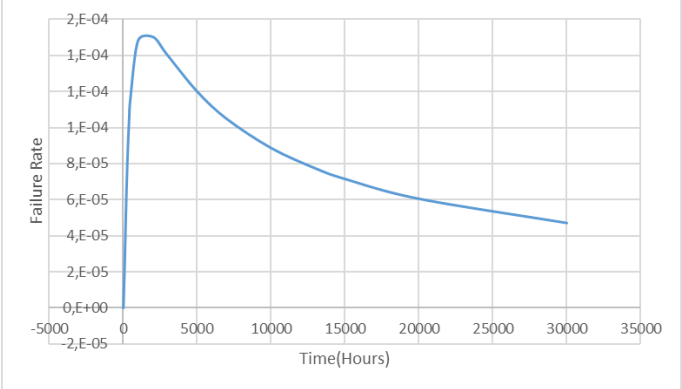
Dari grafik *availability* yang ditunjukkan pada gambar 4.7 diketahui bahwa probabilitas ketersediaan komponen PT 105/107/108 semakin lama semakin menurun. Akan tetapi dalam 4000 jam operasi nilainya masih di atas 99%. Artinya ketersediaan komponen selama masa operasi tersebut masih bagus. Adapun semakin menurunnya nilai *availability* dikarenakan laju kegagalan yang semakin lama semakin bertambah sehingga menyebabkan semakin tingginya *downtime*.



Gambar 4. 8 Grafik Maintainability PT 105/107/108

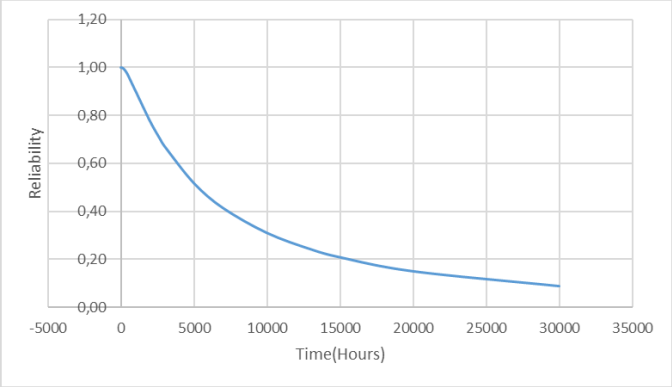
Grafik pada gambar 4.8 menunjukkan bahwa lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *maintainabilit*y 100% adalah 3 jam. Artinya waktu yang paling efektif untuk memperbaiki komponen agar dapat menjalankan fungsinya dengan baik adalah 3 jam. Jika *maintainability* kurang dari 100% maka kemungkinan pada waktu tersebut komponen belum selesai diperbaiki sehingga tidak dapat beroperasi.

4.1.3 RAM LV 101



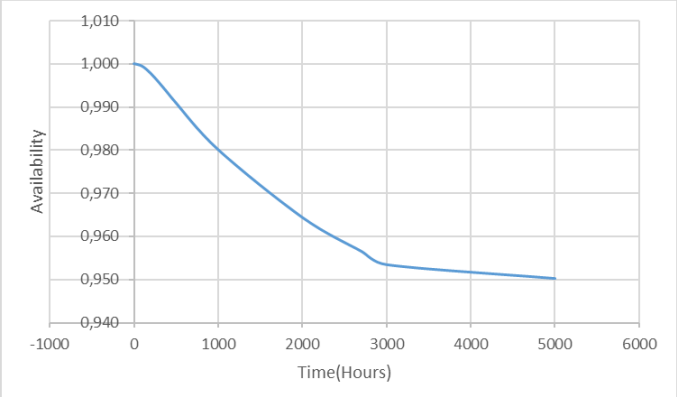
Gambar 4. 9 Grafik *Failure Rate* LV 101

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa laju kegagalan pada komponen LV 101 terkaraterisasi *DFR(Decrease failure rate)* karena pada grafik dapat dilihat bahwa laju kegagalan mengalami peningkatan secara signifikan diawal operasi dan semakin lama semakin menurun. Hal tersebut menandakan bahwa komponen dalam fase *burn-in.* adapun penyebab kegagalannya dapat disebabkan karena adanya cacat produksi pada komponen. Sehingga perlu dilakukan *burn-in testing, screening,* dan *quality control acceptance testing* untuk menghindari kegagalan fungsi komponen.



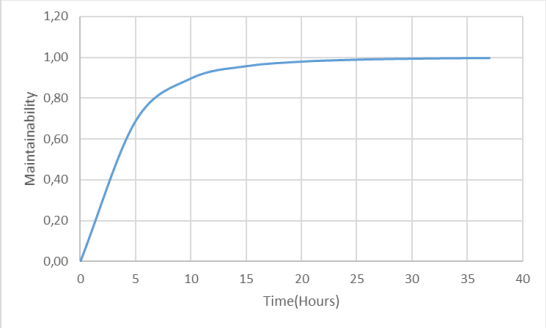
Gambar 4. 10 Grafik *Reliabiliy* LV 101

Berdasarkan gambar 4.10 yang merupakan grafik hasil perhitungan *reliability* komponen LV 101 menunjukkan bahwa nilai probabilitas komponen dapat menjalankan fungsinya dengan baik adalah 97% ketika mencapai 517 jam operasi. Sedangkan probabilitas 70% dicapai ketika komponen beroperasi selama 2751 jam. Sehingga dalam kurun waktu 2751 jam operasi kemungkinan besar tidak akan terjadi kegagalan.



Gambar 4. 11 Grafik *Availability* LV 101

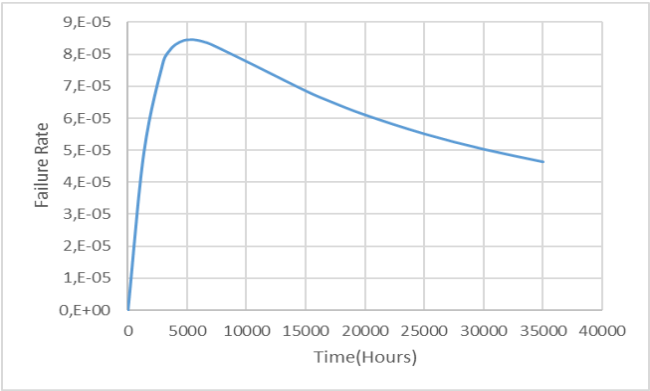
Gambar 4.11 menunjukan probabilitas ketersediaan komponen untuk dapat digunakan sesuai fungsinya. Grafik tersebut menunjukkan terjadinya penuruna nilai *availability* dari waktu ke waktu. Pada grafik LV 101 nilai *availability* di atas 94% dalam kurun waktu 5000 jam operasi yang menandakan bahwa ketersediaan komponen masih tinggi. Rendah tingginya nilai *availability* dipengaruhi oleh *downtime* dan waktu operasi. Semakin tinggi waktu operasi maka nilai *availability* juga semakin tinggi.



Gambar 4. 12 Grafik *Maintainability* LV 101

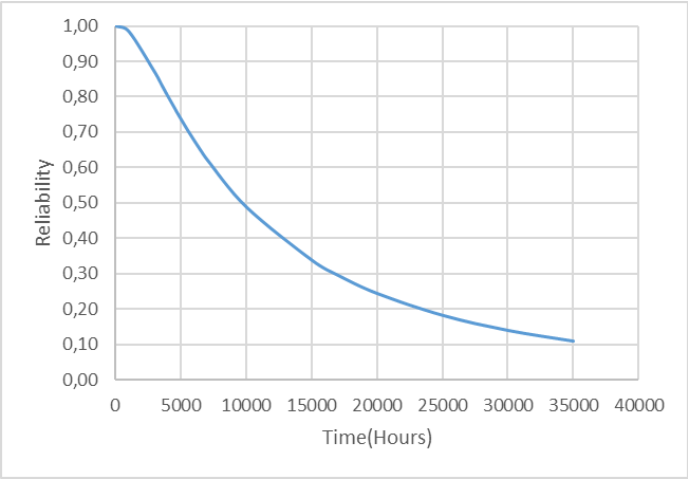
Dari grafik *maintainability* yang ditunjukkan pada gambar 4.12 diketahui bahwa untuk mencapai probabilitas 100% komponen LV 101 membutuhkan waktu 33 jam. Sehingga waktu yang paling efektif untuk dilakukan perbaikan adalah 33 jam. Jika kurang dari 33 jam maka kemungkinan komponen masih dalam masa perbaikan. Sedangkan jika lebih dari 33 jam maka menyebabkan lamanya masa *downtime* yang menyebabkan nilai *availability* rendah.

4.1.4 RAM PDV 106



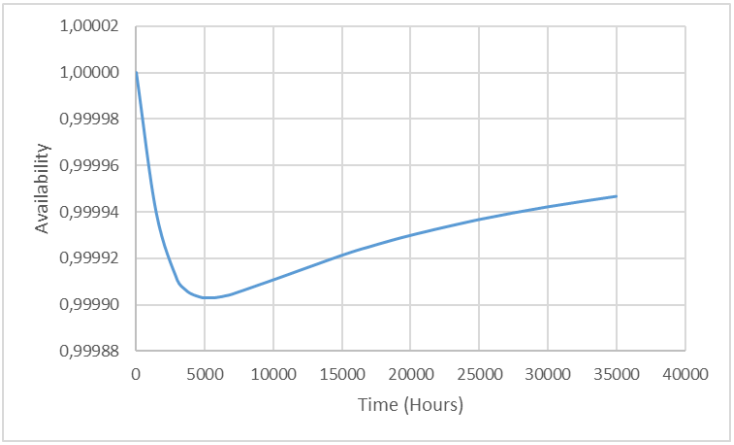
Gambar 4. 13 Grafik *Failure Rate* PDV 106

Grafik *failure Rate* komponen PDV 106 yang ditunjukkan pada gambar 4.13 mengindikasikan bahwa komponen dalam fase *burn-in*. *Failure rate* mengalami kenaikan diawal, lalu mengalami penurunan yang artinya terdapat kecacatan dalam produksi komponenn seperti adanya retakan atau tidak sempurnyanya pengelasan. Sehingga untuk mengurangi kegagalan komponen hal yang perlu dilakukan adalah *burn-in testing, screening,* dan *Quality control Acceptance testing.*



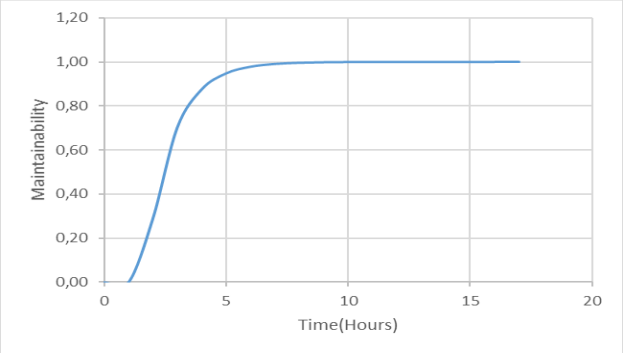
Gambar 4. 14 Grafik *Reliability* PDV 106

Berdasarkan gambar 4.14 didapatkan nilai *reliability* sebesar 97% pada saat 1450 jam operasi. Sedangkan nilai *reliability* sebesar 70% pada saat 5684 jam operasi. Sehingga dalam kurun waktu 5684 jam operasi PDV 106 masih dapat menjalankan fungsinya dengan baik



Gambar 4. 15 Grafik *Availability* PDV 106

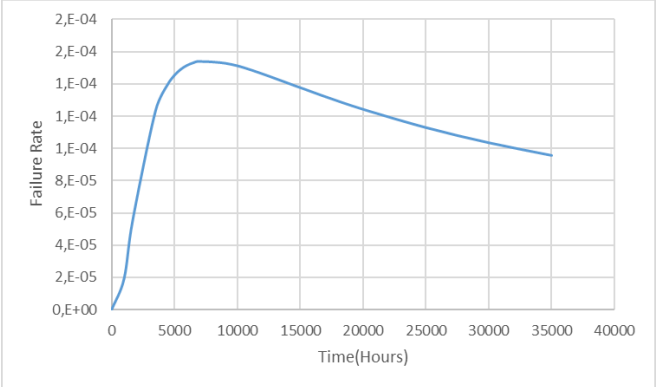
Dari gambar 4.15 yang menunjukkan perbandingan nilai *availability* terhadap waktu diketahui bahwa nilai *availability* mengalami penurunan di awal lalu mengalami kenaikan. Meskipun terjadi penurunan akan tetapi dalama kurun waktu 3500 nilai *availability* masih sangat tinggi yaitu di atas 99%. Adapun tinggi rendahnya nilai *availability* dipengaruhi oleh *downtime* dan masa operasi komponen PDV 106. Semakin tinggi masa operasi dibandingkan dengan *downtime* akan menyebabkan tingginya nilai *availability* dan begitu juga sebaliknya.



Gambar 4. 16 Grafik *Maintainability* PDV 106

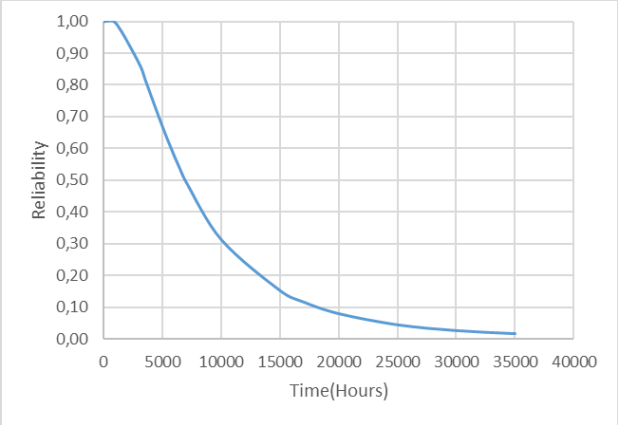
Dari grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.16 diketahui bahwa *maintainability* komponen PDV 106 mencapai probabilitas 100% pada jam ke 8. Oleh karena itu durasi yang paling tepat untuk diterapkan dalam masa perbaikan tidak kurang atau tidak lebih dari 8 jam. Tingginya waktu perbaikan menyebabkan tingginya *downtime* sehingga nilai ketersediaan komponen menurun.

4.1.5 RAM PCV 127



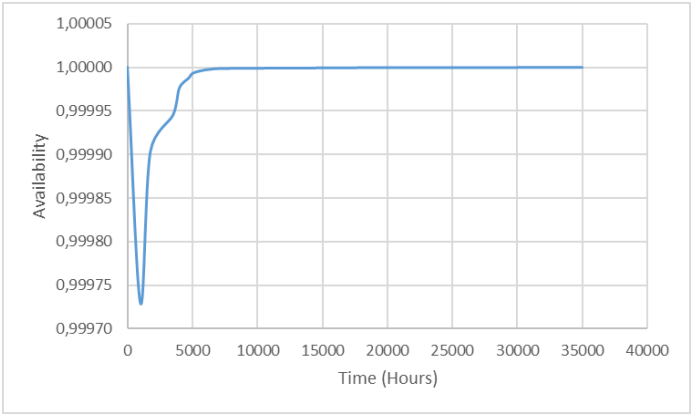
Gambar 4. 17 Grafik *Failure Rate* PCV 127

Grafik *failure Rate* komponen PCV 127 pada gambar 4.17 mengalami kenaikan secara signifikan diawal, kemudian secara perlahan mengalami penurunan. Hal tersebut mengindikasikan komponen dalam *fase burn-in*. komponen yang memiliki karakteristik *failure rate* tersebut biasanya disebabkan oleh adanya cacat dalam produksi produksi, pengelasan yang kurang sempurna, retak, *quality control* yang buruk, dan lain-lain. Sehingga perlu dilakukan *burn-in testing, screening, Quality control Acceptance testing* untuk meminimalisir terjadinya kegagalan.



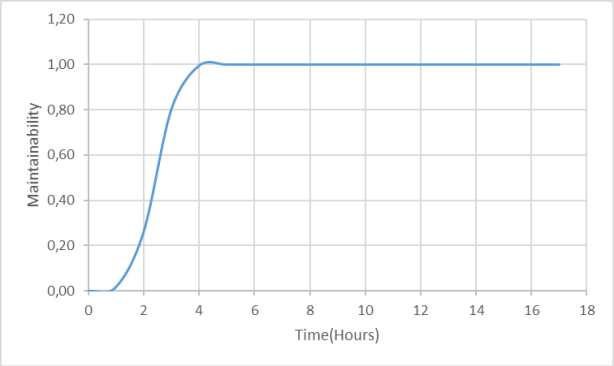
Gambar 4. 18 Grafik *Reliability* PCV 127

Berdasarkan perhitungan *reliability* yang hasilnya ditampilkan pada gambar 4.18 didapatkan nilai penurunan probabilitas komponen untuk menjalankan fungsinya dengan baik sebesar 97% pada saat 1769 jam operasi. Sedangkan probabilitas sebesar 70% pada saat 4706 jam operasi. Sehingga komponen PCV 127 dalam rentang waktu 4706 jam operasi kemungkinan masih bisa beroperasi dengan baik tanpa kegagalan.



Gambar 4. 19 Grafik *Availability* PCV 127

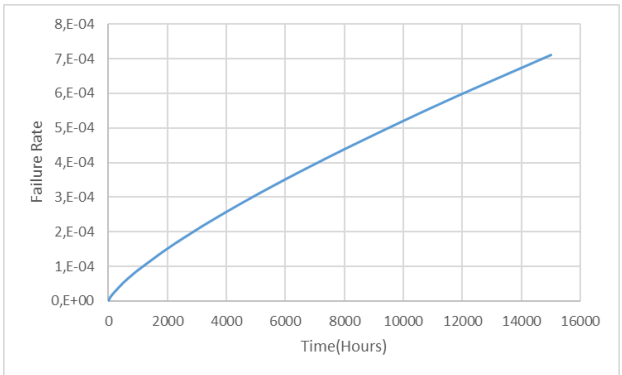
Dari grafik *availability* yang ditunjukkan pada gambar 4.19 diketahui bahwa probabilitas ketersediaan komponen PCV 127 mengalami penurunan lalu kenaikan kembali secara drastis dalam rentang waktu 5000 jam, kemudian mulai konstan hingga 35000 jam operasi. Meskipun terjadi kenaikan dan penurunan, nilai probabilitas ketersediaan masih di atas 99%. Adapun tinggi rendahnya probabilitas ketersediaan dipengaruhi oleh *downtime* dan masa operasi.



Gambar 4. 20 Grafik *Maintainability* PCV 127

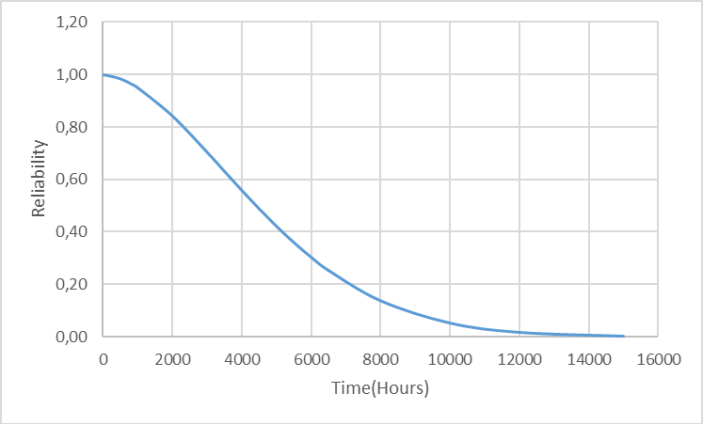
Gambar 4.20 menunjukkan probabilitas suatu komponen untuk dapat diperbaiki ke keadaan semula terhadap waktu. Dari gambar tersebut diketahui bahwa probabilitas 100% komponen PCV 127 dicapai pada waktu 4 jam. Sehingga alokasi waktu yang paling efektif untuk perbaikan komponen PCV 127 adalah 4 jam. Jika kurang dari 4 jam maka kemungkinan waktu untuk melakukan perbaikan kurang. Sedangkan jika lebih dari 4 jam akan mengurangi masa operasi komponen.

4.1.6 RAM AT 112



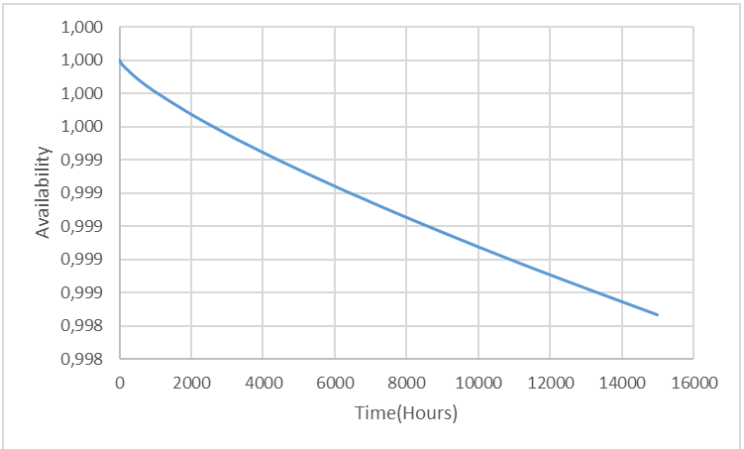
Gambar 4. 21 Grafik *Failure Rate* AT 112

Grafik *failure Rate* pada gambar 4.21 menunjukkan frekuensi kegagalan komponen AT 112 mengalami kenaikan terhadap waktu(IFR), hal tersebut mengindikasikan bahwa komponen dalam fase *wear out*. Karakterisasi kegagalan IFR dapat disebabkan karena kelelahan, korosi, ataupun faktor usia. Sehingga tindakan yang dapat dilakukan untuk mengurangi frekuensi kegagalan adalah dengan melakukan *preventive maintenance* dan mengurangi kapasitas kerja.



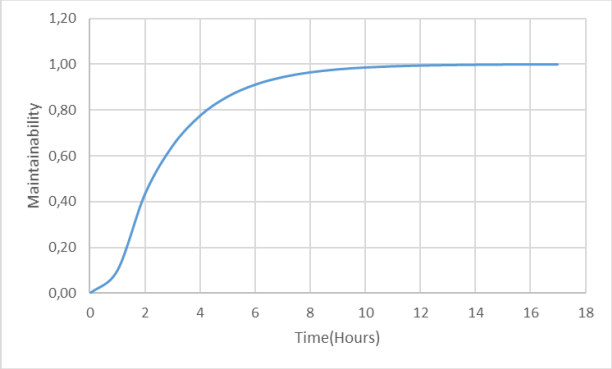
Gambar 4. 22 Grafik *Reliability* AT 112

Berdasarkan grafik *reliability* yang ditampilkan pada gambar 4.24 diketahui bahwa komponen AT 112 mencapai nilai *reliability* sebesar 0.97 pada saat 1769 jam operasi dan nilai *reliability* sebesar 0.7 pada saat 4706 jam operasi. Hal tersebut berarti bahwa dalam waktu 4706 jam operasi komponen AT 112 dapat bekerja dengan baik tanpa mengalami kegagalan.



Gambar 4. 23 Grafik *Availabilty* AT 112

Grafik *availability* pada gambar 4.23 menunjukkan probabilitas ketersediaan komponen AT 112 mengalami perununan terhadap waktu. Akan tetapi dalam rentang waktu 15000 jam operasi probabilitas ketersediaan masih di atas 99%. Yang artinya dalam rentang waktu 15000 kemungkinan komponen AT 112 dapat digunakan sesuai dengan fungsinya adalah 99%. Sedangkan 1 persennya adalah komponen mengalami *downtime* yang dapat disebabkan karena terjadinya kegagalan maupun sedang dalam tahap perbaikan.

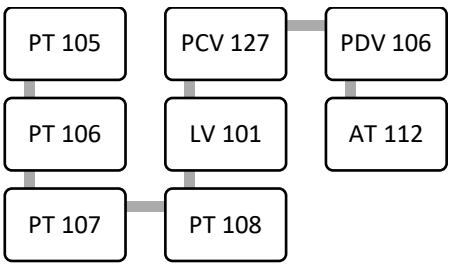


Gambar 4. 24 Grafik *Maintainability* AT 112

Dari grafik *maintainability* diketahui bahwa untuk mencapai probabilitas 100% komponen AT 112 dapat diperbaiki ke keadaan semula, maka komponen terebut membutuhan waktu 13 jam untuk dilakukan perbaikan. Jika waktu yang dialokasikan untuk perbaikan lebih dari 13 jam akan menyebabkan turunnya nilai *availability* komponen.

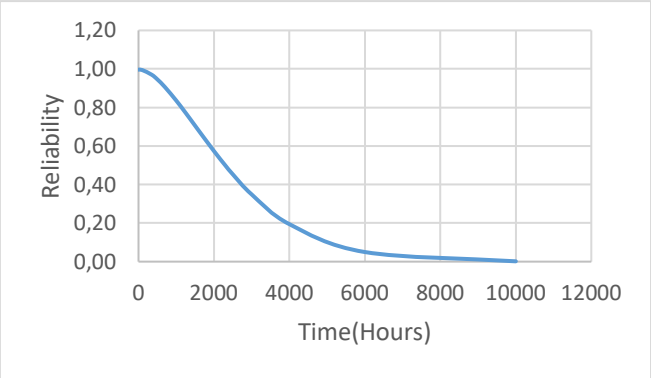
4.1.7 Reliability Produced Water Treatment System

Gamabr 4.25 menunjukkan blok diagram *reliability* sistem *produced water treatment.* Dalam semua komponen yang dianalisis tersusun secara seri



Gambar 4. 25 RBD *Produced WaterTreatment System.*

Kemudian dilakukan perhitungan *reliability* dan didapatkan grafik sebagai berikut :



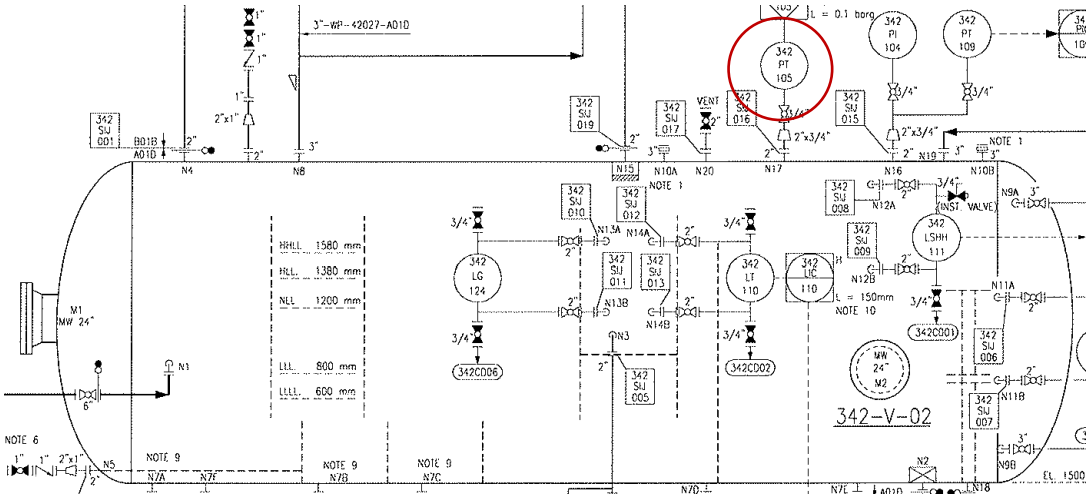
Gambar 4. 26 *Reliability Produced Water Treatment System*

Gambar 4.26 menunjukkan nilai *reliability* 97% dicapai ketika *produced water treatment sytem* beroperasi selama 350 jam, untuk *reliability* 70% adalah 1520 jam, dan penurunan *reliability* 50% selama 2300 jam.

4.2 ANALISIS RCM

Reliability Centered maintenance (RCM) merupakan analisis kualitatif untuk mengetahui fungsi, mode, dan penyebab kegagalan pada setiap komponen *produced water treatment system* sehingga didapatkan tindakan pemeliharaan yang tepat.

4.2.1 RCM PT 105



Gambar 4. 27 P&ID PT 105

Gambar 4.27 adalah P&ID PT 105 yang menunjukkan fungsi komponen PT 105 sebagai pengukur temperatur pada *degassing drum* (342-V-02). Komponen tersebut dikatakan gagal apabila tidak mampu memonitoring temperatur pada *degassing drum* dengan benar. Adapun mode kegagalan PT 105 meliputi AIR dan STD yang ditunjukkan pada tabel 4.2

Tabel 4. 2 FMCEA PT 105

Function	***Failure***	***Failure Mode***	***Failure Cause***	***Failure Effect***
monitoring pressure of degassing drum (342-V-02)	*Not successfully monitoring pressure of degassing drum (342-V-02)*	*AIR (Abnormal Instrument Reading)*	*Instrument drift*	*Output of pressure isn't as expected*
	Not successfully monitoring pressure of degassing drum (342-V-02)	*STD (Structural Deficiency)*	*Corrotion*	*Output of pressure isn't as expected*

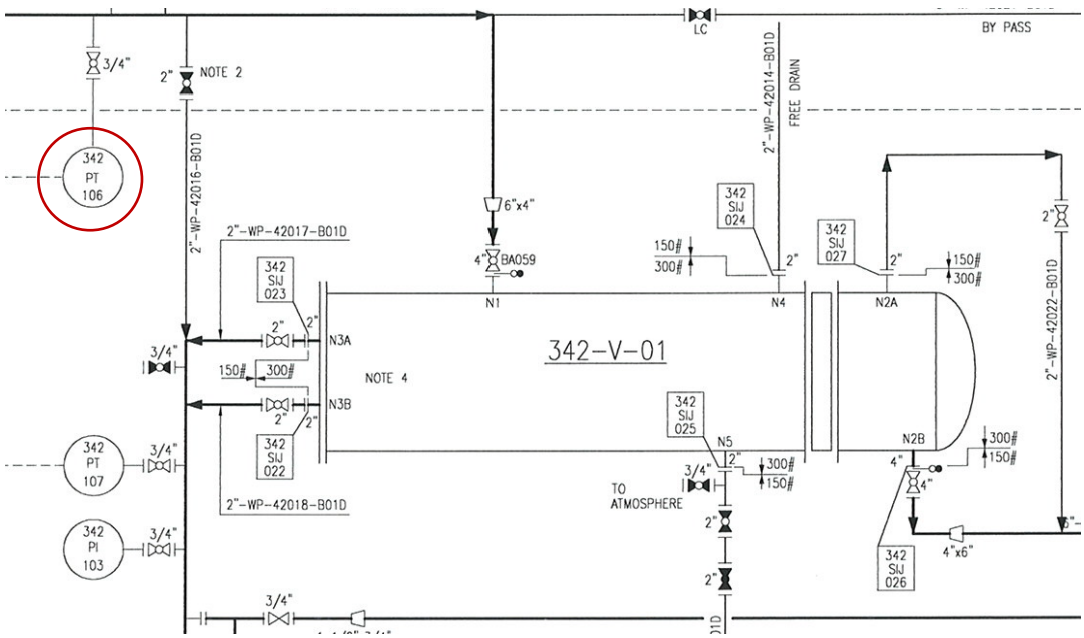
Abnormal Instrument reading (AIR) merupakan mode kegagalan yang dapat disebabkan karena adanya penyimpangan *instrument*. Sedangkan *structural deficiency (STD)* dapat disebabkan oleh adanya korosi.

Tabel 4. 3 PT 105 *RCM Worksheet Decision*

Failure Mode	***Consequence Evaluation***				***Proactive Task*** **H S O N**			***Default Action***			***Proposed Task***
	H	**S**	**E**	**O**	**1**	**2**	**3**	**H4**	**H5**	**S4**	
AIR	Y	Y	N	N	Y	N	N	-	-	-	*Calibration periodically*
STD	Y	Y	N	N	Y	N	N	-	-	-	*Regular Inspection*

Tabel 4.3 merupakan *RCM worksheet decision* yang menunjukkan tindakan yang tepat untuk mengantisipasi terjadinya kegagalan pada PT 105. Kegagalan pada PT 105 menyebabkan nilai tekanan yang ditunjukkan pada indikator tidak sesuai dengan tekanan sebenarnya sehingga menyebabkan ketidaksesuaian tindakan komponen lain yang mengakibatkan *degassing drum* mengalami *high/low pressure.* Kegagalan komponen ini dapat membahayakan keselamatan sehingga termasuk dalam kategori *safety consequences. Proactive maintenance* yang sesuai untuk mode kegagalan AIR dan STD yaitu *schedule on condition task* berupa kalibrasi dan inspeksi secara berkala.

4.2.2 RCM PT 106



Gambar 4. 28 P&ID PT 106

P&ID *PT (Pressure Transmitter)* 106 yang ditunjukkan pada gambar 4.28 dapat digunakan untuk mengetahui fungsi PT 106 dalam proses operasi. Adapun fungsi dari PT 106 adalah memonitoring temperatur pada *hydrocyclone inlet line*. Komponen dikatakan gagal apabila tidak mampu memonitoring temperatur pada *hydrocyclone inlet line* dengan benar. Mode kegagalan PT 106 meliputi AIR dan STD seperti yang ditunjukkan tabel 4.4

Tabel 4. 4 FMCEA PT 106

Function	***Failure***	***Failure Mode***	***Failure Cause***	***Failure Effect***
monitoring pressure of hydrocyclone inlet line	*Not successfully monitoring pressure of hydrocyclone inlet line*	*AIR (Abnormal Instrument Reading)*	*Instrument drift*	*Output of pressure isn't as expected*
		STD (Structural Deficiency)	*Corrotion*	

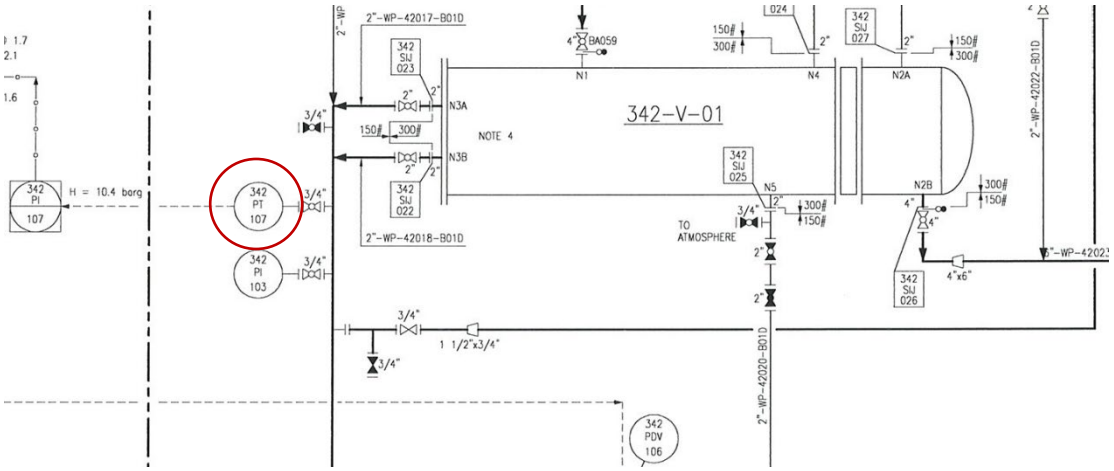
Mode kegagalan AIR dapat disebabkan karena adanya penyimpangan *instrument.* Sedangkan mode kegagalan STD dapat disebabkan oleh adanya korosi pada elemen *transmitter*. Kedua mode kegagalan tersebut menyebabkan nilai tekanan yang ditunjukkan pada indikator tidak sesuai dengan tekanan sebenarnya sehingga menimbulkan kesalahan tindakan oleh PDIC 106 yang akan berdampak pada kualitas air yang diproduksi sehingga termasuk dalam *operational consequence.*. Adapun jenis tindakan yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya kegagalan pada komponen PT 106 ditunjukkan pada Tabel 4.5

Tabel 4. 5 PT 106 *RCM Worksheet Decision*

Failure Mode	***Consequence Evaluation***				***Proactive Task***			***Default Action***			***Proposed Task***
					H S O N						
	H	**S**	**E**	**O**	**1**	**2**	**3**	**H4**	**H5**	**S4**	
AIR	Y	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	*Calibration periodically*
STD	Y	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	*Regular Inspection*

Tindakan yang sesuai untuk diterapkan pada komponen PT 106 dengan mode kegagalan AIR dan STD yaitu *schedule on condition task.* Dengan detail tindakannya berupa kalibrasi dan inspeksi yang dilakukan secara periodik.

4.2.3 RCM PT 107



Gambar 4. 29 Gambar P&ID PT 107

PT (Pressure Transmitter) 107 yang ditunjukkan pada gambar 4.29 berfungsi melakukan monitoring temperatur pada *clean water outlet line* di *hydrocyclone*. Apabila komponen PT 107 tidak mampu memonitoring temperatur pada *clean water outlet line* dengan benar artinya komponen mengalami kegagalan. Adapun mode kegagalan yang biasa terjadi pada komponen PT 107 adalah AIR dan STD.

Tabel 4. 6 FMCEA PT 107

Function	***Failure***	***Failure Mode***	***Failure Cause***	***Failure Effect***
monitoring pressure of clean water outlet line	*Not successfully monitoring pressure of clean water outlet line*	*AIR (Abnormal Instrument Reading)*	*Instrument drift*	*Output of pressure isn't as expected*
		STD (Structural Deviation)	*Corrotion*	

Tabel 4.6 mendeskripsikan fungsi, kegagalan, mode kegagalan, penyebab dan juga efek kegagalan pada komponen PT 107. Mode kegagalan AIR terjadi ketika temperatur yang terbaca oleh komponen tidak sesuai dengan yang sebenarnya. Mode

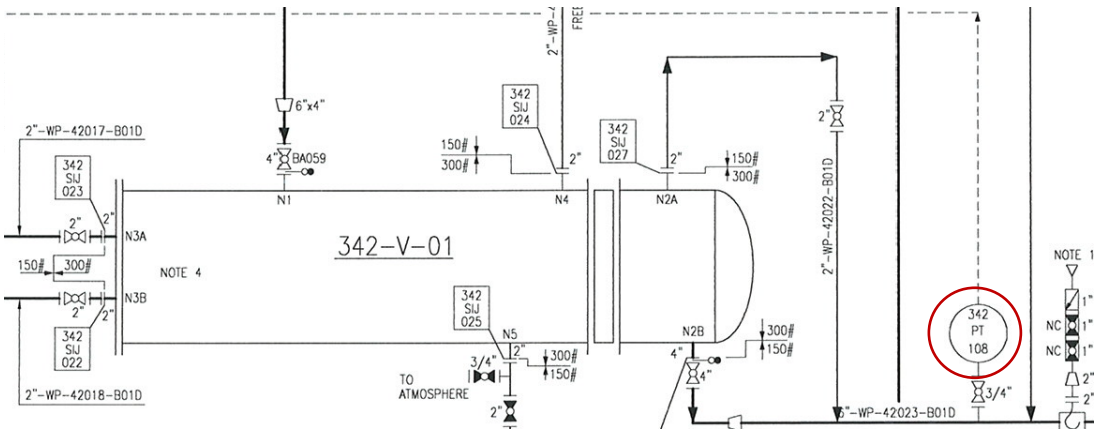
kegagalan tersebut dapat disebabkan karena adanya penyimpangan *instrument.* Sedangkan mode kegagalan STD terjadi ketika terdapat perubahan struktur desain komponen sehingga menyebabkan komponen tidak dapat mengukur temperatur dengan benar. Mode kegagalan tersebut dapat disebabkan oleh adanya korosi.

Tabel 4. 7 PT 107 *RCM Worksheet Decision*

Failure Mode	***Consequence Evaluation***				***Proactive Task***			***Default Action***			***Proposed Task***
					H S O N						
	H	**S**	**E**	**O**	**1**	**2**	**3**	**H4**	**H5**	**S4**	
AIR	Y	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	*Calibration periodically*
STD	Y	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	*Regular Inspection*

Tabel 4.7 menjabarkan tindakan pencegahan yang tepat untuk diterapkan pada komponen PT 107 berdasarkan mode kegagalan beserta konsekuensinya. Mode kegagalan berupa STD dan AIR pada komponen ini mempengaruhi kualitas air hasil produksi sehingga evaluasi konsekuensinya masuk dalam kategori operasional. Adapun tindakan yang dapat dilakukan adalah melakukan *schedule on condition task* dengan tindakan dilapangan berupa kalibrasi dan inspeksi.

4.2.4 RCM PT 108



Gambar 4. 30 P&ID PT 108

Gambar 4.30 menunjukkan P&ID komponen *PT (Pressure Transmitter)* 108. Komponen tersebut berfungsi untuk memonitoring temperatur pada *Oily water outlet line di hydrocyclone*. Kegagalan terjadi apabila komponen tidak mampu memonitoring temperatur pada *oily water outlet line* dengan benar. Mode kegagalan komponen PT 108 yang sering terjadi adalah AIR dan STD seperti yang tertera pada tabel 4.8

Tabel 4. 8 FMCEA PT 108

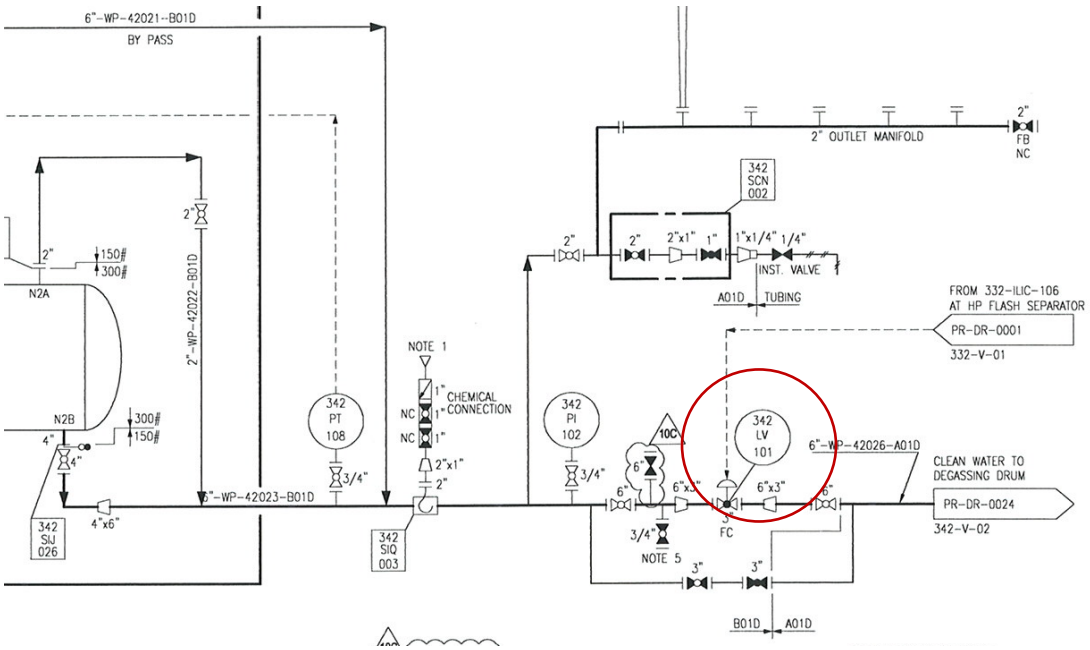
Function	***Failure***	***Failure Mode***	***Failure Cause***	***Failure Effect***
monitoring pressure of oily water outlet line	*Not successfully monitoring pressure of oily water outlet line*	*AIR (Abnormal Instrument Reading)*	*Instrument drift*	*Output of pressure isn't as expected*
		STD (Structural Deficiency)	*Corrotion*	

Mode kegagalan AIR merupakan jenis kegagalan dimana nilai tekanan yang dibaca oleh komponen PT 108 tidak sesuai dengan nilai aktual. Jenis kegagalan tersebut biasanya disebabkan karena adanya penyimpangan *instrument.* Sedangkan untuk mode kegagalan STD adalah jenis kegagalan dimana komponen PT 108 mnegalami perubahan struktur dari desain awal. Akibat dari kegagalan kedua mode tersebut menyebabkan indikator salah memberi informasi ke *controller*. Kesalahan tersebut menyebabkan terganggunya operasi sehingga evaluasi konsekuensi kedua mode tersebut masuk dalam kategori operasional. Adapun jenis *proactive maintenance* yang tepat untuk masing masing mode yaitu *schedule on condition task* berupa kalibrasi dan inspeksi terjadwal seperti yang terdapat pada tabel 4.9.

Tabel 4. 9 PT 108 *RCM Worksheet Decision*

Failure Mode	*Consequence Evaluation*				*Proactive Task* H S O N			*Default Action*			*Proposed Task*
	H	**S**	**E**	**O**	**1**	**2**	**3**	**H4**	**H5**	**S4**	
AIR	Y	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	*Calibration periodically*
STD	Y	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	*Regular Inspection*

4.2.5 RCM LV 101



Gambar 4. 31 P&ID LV 101

Gambar 4.31 menggambarkan posisi sekaligus fungsi komponen LV 101 dalam sistem *produced water treatment.* Komponen LV 101 berfungsi untuk menjaga level pada *hyrocyclone*. LV 101 dikatakan gagal apabila level pada *hydrocyclone* tidak sesuai set point. Adapun mode kegagalan pada LV 101 meliputi *FTO(Failed to open on demand), FTC(Failed to Closed on demand), FTR(Failed to regulate),* dan *LCP(valve leakage in closed position).* Adapun penyebab dan efek yang ditimbuklan dari masing masing mode kegagalan terdapat pada tabel 4.10

Tabel 4. 10 FMCEA LV 101

Function	*Failure*	*Failure Mode*	*Failure Cause*	*Failure Effect*
Maintain level of hydrocyclone	*Not successfully Maintain level of hydrocyclone*	*FTO*	*Corrotion, blockage/plugged.*	*low level in HP Flash Separator*
		FTC	*Corrotion, blockage/plugged*	*high level in HP Flash Separator*
		FTR	*Blockage/Plugged, Instrument failure*	*level in HP Flash Separator e isn't as expected*
		LCP	*Corrotion, Looseness*	*Inaccurated flowrate*

Failed to open on demand (FTO), failed to closed on demand (FTC), dan *failed to regulate (FTR)* merupakan mode kegagalan yang dapat disebabkan karena adanya korosi, penghalang, maupun kerusakan *instrument.* Sedangkan *valve leakage in closed position (LCP)* merupakan mode kegagalan dimana fluida dapat lewat meskipun *valve* dalam keadaan tertutup *(Passing).* mode kegagalan ini dapat diakibatkan kerena adanya korosi atau ada komponen yang longgar sehingga fluida *passing.*

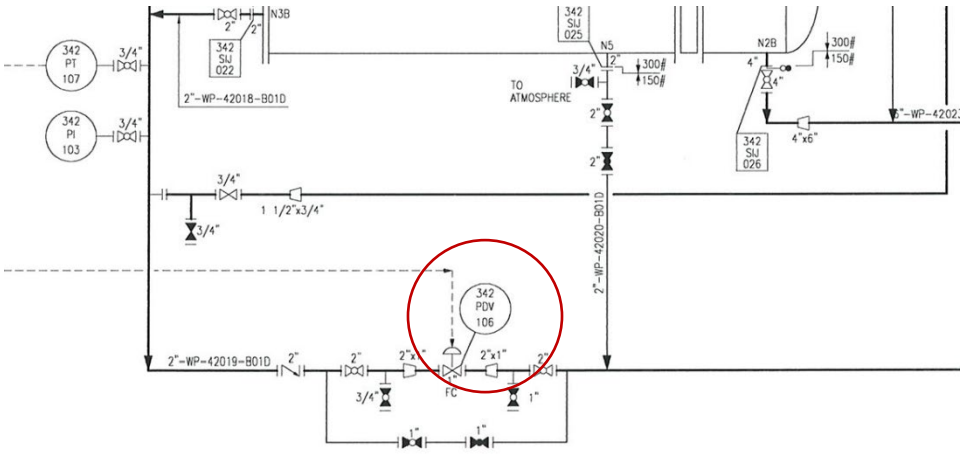
RCM worksheet decision yang direpresentasikan pada tabel 4.11 mendeskripsikan penentuan tindakan yang sesuai pada komponen LV 101 berdasarkan masing-masing mode kegagalan. Mode kegagalan FTO, FTC, dan FTR berpotensi menyebabkan terjadinya ledakan sehingga ketiga mode tersebut masuk dalam kategori *safety consequences* dengan *proactive maintenance* berupa *schedule on condition task* dan detail kegiatan berupa inspeksi secara berkala, dan *loop test.*. Sedangkan mode kegagalan LCP masuk dalam kategori *hidden failure konsequnces* dengan *proactive*

task berupa *schedule on restoration task* dengan detail kegiatannya adalah melakukan inspeksi secara berkala.

Tabel 4. 11 LV 101 *RCM Worksheet Decision*

Failure Mode	***Consequence Evaluation***				***Proactive Task***			***Default Action***			***Proposed Task***
					H/S/O/N						
	H	**S**	**E**	**O**	**1**	**2**	**3**	**H4**	**H5**	**S4**	
FTO	Y	Y	N	N	Y	N	N	-	-	-	*Regular Inspection, Loop test*
FTC	Y	Y	N	N	Y	N	N	-	-	-	*Regular Inspection, Loop test*
FTR	Y	Y	N	N	Y	N	N	-	-	-	*Regular Inspection, Loop test*
LCP	N	-	-	-	N	Y	N	-	-	-	*Regular Inspection*

4.2.6 RCM PDV 106



Gambar 4. 32 P&ID PDV 106

Gambar 4.32 adalah P&ID komponen PDV 106 yang merepresentasikan posisi serta fungsi komponen dalam sistem. PDV 106 berfungsi untuk menjaga rasio tekanan antara *inlet* dan *outlet line* pada *hydrocyclone.* Komponen ini dikatakan gagal menjalankan fungsinya apabila rasio tekanan antara *inlet* dan *outlet line* pada *hydrocyclone* tidak sesuai *set point*.

Tabel 4. 12 FMCEA PDV 106

Function	***Failure***	***Failure Mode***	***Failure Cause***	***Failure Effect***
*Maintain ratio of pressure between inlet dan outlet line of hydrocycl**one***	*Not successfully maintain ratio of pressure between inlet dan outlet line of hydrocyclone*	*FTO*	*Corrotion, blockage/plugged.*	*No flow for back flush*
		FTC	*Corrotion, blockage/plugged*	*High level in closed drain vessel*
		FTR	*Blockage/Plugged, Instrument failure*	*Pressure ratio isn't as expected*
		LCP	*Corrotion, Looseness*	*Inaccurated flowrate*

Tabel 4.12 menunjukkan mode kegagalan, penyebab, dan dampak yang ditimbulkan apabila mode kegagalan terjadi. Adapun mde kegagalan pada komponen PDV 106 meliputi *Failed to open on demand (FTO), failed to closed on demand (FTC),* dan *failed to regulate (FTR)* merupakan mode kegagalan yang dapat disebabkan karena adanya korosi, penghalang, maupun kerusakan *instrument.* Akibat dari kegagalan ini berpotensi menimbulkan ledakan. Sedangkan *Valve Leakage in closed position (LCP)* merupakan mode kegagalan dimana fluida dapat lewat meskipun *valve* dalam keadaan tertutup *(Passing).* Mode kegagalan tersebut dapat diakibatkan kerena adanya korosi atau ada komponen yang longgar sehingga fluida *passing.*

Tabel 4.13 menunjukkan jenis tindakan yang sesuai dalam melakukan *preventive maintenance*

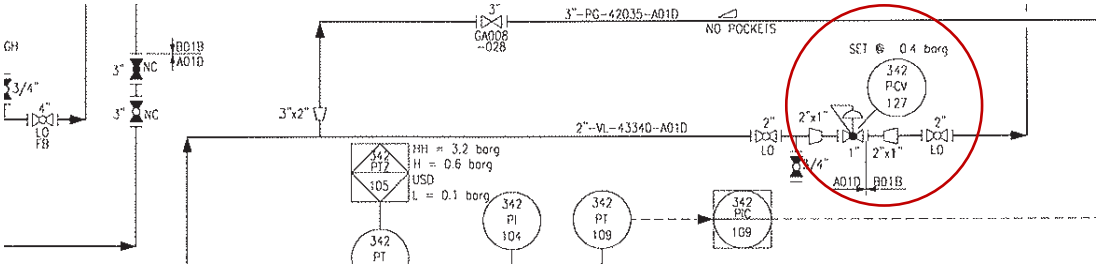
Tabel 4. 13 PDV 106 *RCM Worksheet Decision*

Failure Mode	***Consequence Evaluation***				***Proactive Task***			***Default Action***			***Proposed Task***
					H/S/O/N						
	H	**S**	**E**	**O**	**1**	**2**	**3**	**H4**	**H5**	**S4**	
FTO	Y	Y	N	N	Y	N	N	-	-	-	*Regular Inspection, Loop test*
FTC	Y	Y	N	N	Y	N	N	-	-	-	*Regular Inspection, Loop test*
FTR	Y	Y	N	N	Y	N	N	-	-	-	*Regular Inspection, Loop test*
LCP	N	-	-	-	N	Y	N	-	-	-	*Regular Inspection*

Dari tabel di atas diketahui bahwa mode kegagalan *FTO (failed to open), FTC(failed to closed),* dan *FTR(failed to regulate)* masuk dalam kategori *safety,* hal tersebut dikarenakan konsekuensi dari kegagalan tersebut berupa ledakan sehingga dapat membahayakan keselamatan. Untuk menghindari mode kegagalan tersebut perlu dilakukan *proactive maintenance* dengan jenis *schedule on condition task* berupa *regular inspection* dan *looptest.* Sedangkan *LCP(valve leakage in closed position)* masuk dalam kategori *hidden consequences* karena dampak dari kegagalan tersebut tidak mempengaruhi sistem secara langsung.Akan tetapi jika kegagalan tersebut terus berlanjut maka berpotensi menyebabkan terjadinya kerusakan pada komponen lain.

Sehingga tindakan pencegahan yang dapat dilakukan adalah *schedule restoration task* berupa inspeksi terjadwal.

4.2.7 RCM PCV 127



Gambar 4. 33 P&ID PCV 127

Ganbar 4.33 dapat mendeskripsikan posisi dan fungsi komponen PCV 127 dalam proses *produced water treatment system.* komponen tersebut berfungsi untuk menjaga tekanan g*as outlet to LP Flare Header.* PCV 127 dikatakan gagal menjalankan fungsinya jika rasio tekanan antara *inlet* dan *outlet line* pada *hydrocyclone* tidak sesuai perintah yang diberikan oleh *controller.*

Tabel 4. 14 FMCEA PCV 127

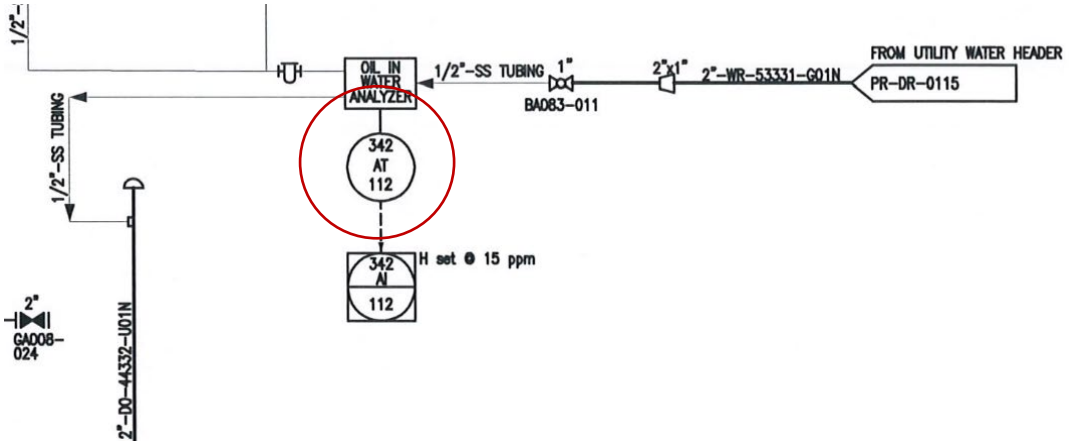
Function	***Failure***	***Failure Mode***	***Failure Cause***	***Failure Effect***
Maintain pressure of gas outlet to LP Flare Header	*Not successfully maintain pressure of gas outlet to LP Flare Header*	*FTO*	*Corrotion, blockage/plugged.*	*High pressure in degassing drum*
		FTC	*Corrotion, blockage/plugged*	*No blanketing gas*
		FTR	*Blockage/Plugged, Instrument failure*	*Pressure of gas outlet to LP Flare Header isn't as expected*
		LCP	*Corrotion, Looseness*	*Inaccurated flowrate*

Seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.14 bahwa mode kegagalan yang sering terjadi pada komponen PCV 127 yaitu FTO, FTC, FTR, dan LCP. Mode kegagalan FTO, FTC, dan FTR terjadi apabila *valve* tidak dapat membuka atau menutup sesuai permintaan. Kegagalan tersebut dapat terjadi karena adanya korosi, penghalang, maupun kerusakan *instrument.* Akibat dari kegagalan ini adalah ledakan yang dapat menyebabkan kecelakaan bahkan kematian sehingga konsekuensinya masuk dalam ketegori *safety.* jenis *proactive maintenance* yang tepat untuk diterapkan adalah *schedule on condition task* berupa inspeksi secara berkala, dan *loop test.* Sedangkan mode kegagalan LCP terjadi apabila terdapat fluida yang lewat ketika *valve* dalam keadaan tertutup *(Passing).* penyebab yang sering ditemukan adalah adanya korosi sehingga untuk menghindari mode kegagalan tersebut perlu dilakukan *Schedule restoration task* berupa inspeksi secara berkala. Penentuan tindakan *maintenance* komponen PCV 127 kemudian direpresentasikan dalam *RCM worksheet decision* seperti pada tabel 4.15 berikut :

Tabel 4. 15 PCV 127 *RCM Worksheet Decision*

Failure Mode	***Consequence Evaluation***				***Proactive Task***			***Default Action***			***Proposed Task***
					H/S/O/N						
	H	**S**	**E**	**O**	**1**	**2**	**3**	**H4**	**H5**	**S4**	
FTO	Y	Y	N	N	Y	N	N	-	-	-	*Regular Inspection, Loop test*
FTC	Y	Y	N	N	Y	N	N	-	-	-	*Regular Inspection, Loop test*
FTR	Y	Y	N	N	Y	N	N	-	-	-	*Regular Inspection, Loop test*
LCP	N	-	-	-	N	Y	N	-	-	-	*Regular Inspection*

4.2.8 RCM AT 112



Gambar 4. 34 P&ID AT 112

Pada *produced water treatment system* terdapat komponen *AT (Analyzer Transmitter)* 112 yang berfungsi untuk memonitoring kualitas *effluent* air hasil produksi. Adapun posisi AT 112 dalam sistem dapat dilihat pada gambar 4.34 . komponen tersebut dikatakan gagal apabila tidak mampu memonitoring kualitas *effluent* air hasil produksi dengan benar. Terdapat beberapa mode kegagalan yang mempengaruhi kegagalan fungsi komponen ini. Mode kegagalan dan kegagalan fungsi komponen ini dapat dilihat pada tabel 4.16

Tabel 4. 16 FMCEA AT 112

Function	***Failure***	***Failure Mode***	***Failure Cause***	***Failure Effect***
Monitoring effluent quality of produced water	*Not successfully Monitoring effluent quality of produced water*	*AIR (Abnormal Instrument Reading)*	*Instrument drift*	*Output of pressure isn't as expected*
		STD (Structural Deviation)	*Corrotion*	

Mode kegagalan pada komponen AT 112 meliputi AIR dan STD. Apabila mode kegagalan AIR atau STD terjadi, maka efek yang ditimbulkan adalah pembacaan nilai *effluent* pada indikator tidak sesuai sehingga mngakibatkan kesalahan *controller* dalam menentukan aksi yang dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan.

Tabel 4. 17 AT 112 *RCM Worksheet Decision*

Failure Mode	***Consequence Evaluation***				***Proactive Task*** H/S/O/N			***Default Action***			***Proposed Task***
	H	**S**	**E**	**O**	**1**	**2**	**3**	**H4**	**H5**	**S4**	
AIR	Y	N	Y	N	Y	N	N	-	-	-	*Calibration periodically*
STD	Y	N	Y	N	Y	N	N	-	-	-	*Regular Inspection*

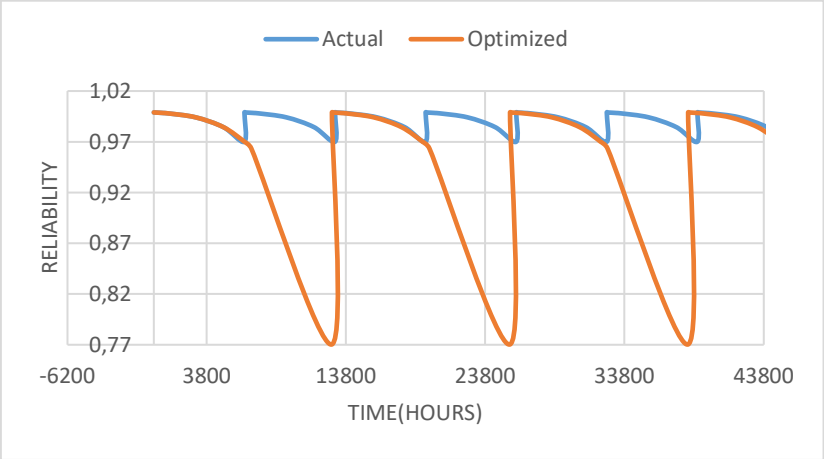
Tabel 4.17 menunjukkan jenis konsekuensi apabila mode kegagalan terjadi. Pada komponen AT 112 Konsekuensi mode kegagalan pada komponn ini termasuk dalam kategori *enviromental* dengan jenis pemeliharaan *schedule on condition task.* Sedangkan tindakan pemeliharaan yang dapat dilakukan dilapangan adalah kalibrasi dan inspeksi secara berkalaala

4.3 OPTIMISASI

Hasil dari optimisisasi adalah *time interval*, *reliability* dan biaya pemeliharaan optimal tiap komponen dalam satu kali periode *maintenance*, kemudian dilakukan perhitungan biaya pemeliharaan dalam jangka waktu 5 tahun.

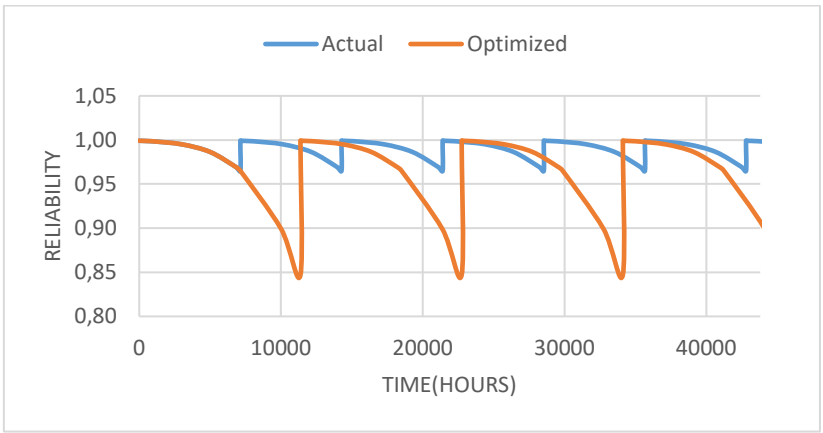
4.3.1 Optimisasi Reliability

Gambar 4.35 menunjukkan perbandingan *preventive maintenance* PT 106 sebelum dan sesudah dioptimisasi. Sebelumnya PT 105 dilakukan *preventive maintenance* ketika nilai *reliability* 97% dan setelah lakukan optimisasi, nilai *reliability* yang optimal untuk dilakukan *preventive maintenance* adalah ketika nilai *reliability* 77% dengan interval waktu 12789 jam.



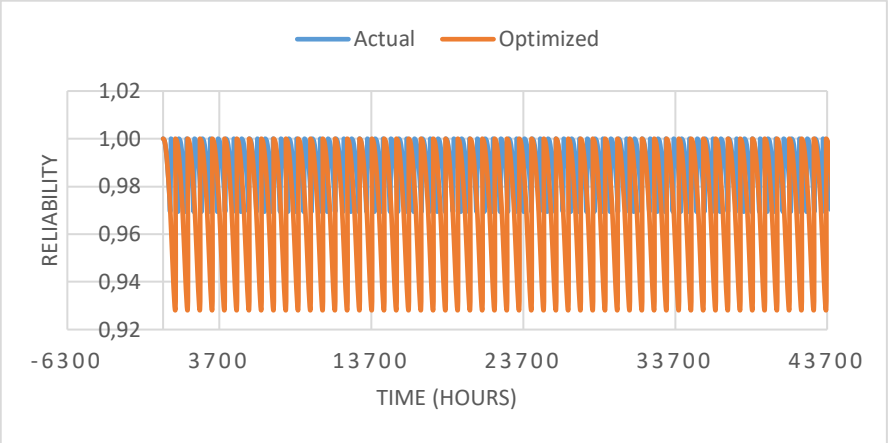
Gambar 4. 35 Optimisasi *Reliability* PT 106

Perbandingan *reliability* komponen PT 105/107/108 ditunjukkan pada gambar 4.36. Dari hasil optimisasi nilai *reliability* optimal adalah 85% sedangkan *reliability* aktual 97%. Adanya penurunan nilai *reliability* tersebut membuat *interval preventive maintenance* semakin besar yang awalnya dilakukan setiap 7133 jam sekali menjadi 11369 jam sekali



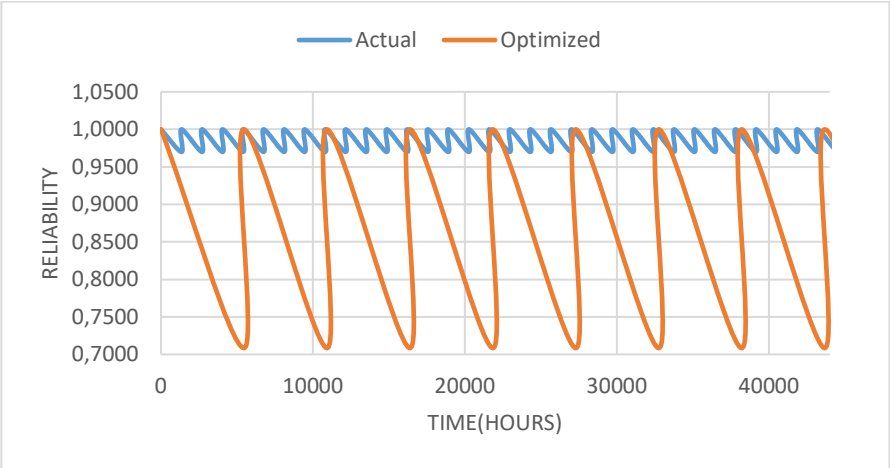
Gambar 4. 36 Optimisasi *Reliability* PT 105/7/8

Gambar 4.37 menunjukkan grafik *preventive maintenance* ketika nilai *reliability* dipertahankan pada nilai 0.97 dan 0.93. *Reliability 0.97* merupakan nilai aktual yang dipertahankan, sedangkan 0.93 adalah nilai hasil optimisasi. Adapun interval waktu aktual komponen LV 101 adalah setiap 517 jam sekali dan setelah dioptimiasi menjadi 808 jam sekkali



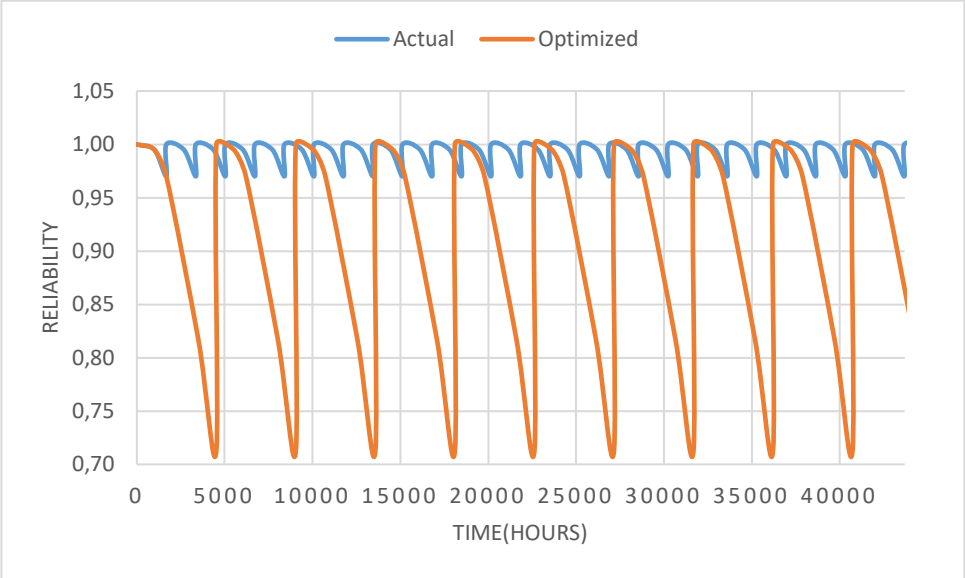
Gambar 4. 37 Optimisasi *Reliability* LV 101

Hasil optimisasi *reliability* komponen PDV 106 yang ditampilkan pada gambar 4.38 menunjukkan perbandingan *preventive maintenance* PDV 106 sebelum dan sesudah dioptimisasi. Komponen PDV 106 yang sebelumnya dilakukan *preventive maintenance* ketika *reliability* 0.97 setelah optimisasi menjadi 0.71 dengan interval waktu 5458 jam.



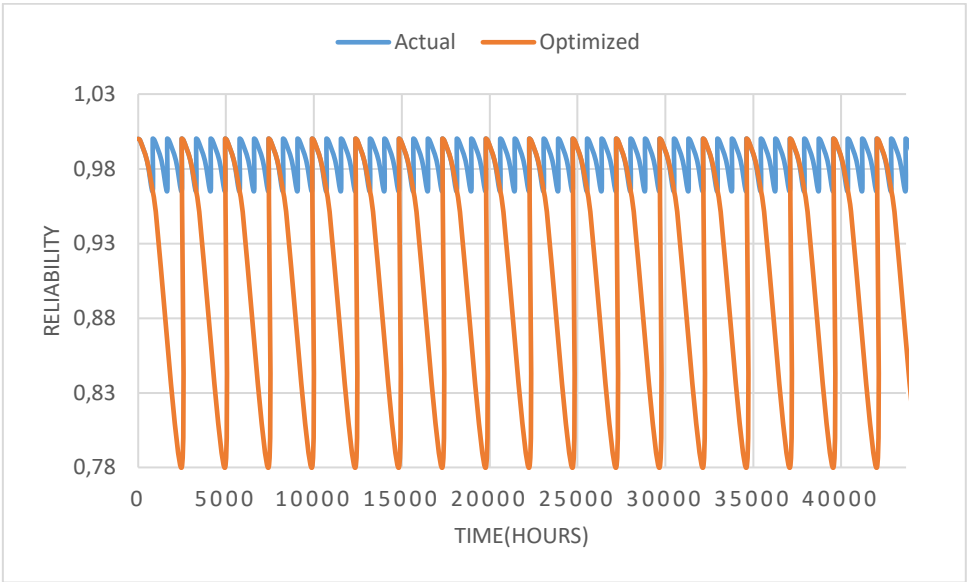
Gambar 4. 38 Optimisasi *Reliability* PDV 106

Perbandingan *preventive maintenance* PCV 127 sebelum dan sesudah dioptimisasi ditunjukkan pada gambar 4.39. *Reliability* komponen PCV 127 sebelum dioptimisasi adalah 0.97 setelah dioptimisasi didapatkan nilai yang optimal adalah 0.71. Perubahan nilai *reliability* tersebut menyebabkan perubahan periode *preventive maintenance* yang semula setiap 824 jam sekali menjadi 4526 jam sekali.



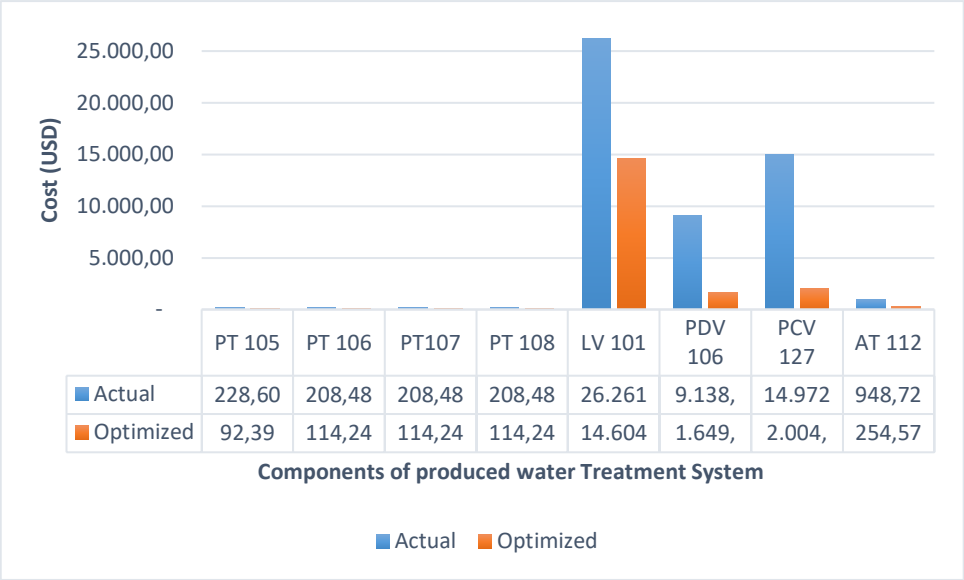
Gambar 4. 39 Optimisasi *Reliability* PCV 127

Hasil optimisasi yang direpresentasikan oleh Gambar 4.40 menunjukkan bahwa frekuensi *maintenance* komponen AT 112 berkurang dikarenakan nilai *reliability* yang dipertahankan juga menurun. Nilai aktual *reliability* komponen AT 112 yang dipertahankan adalah 0.97 sedangkan hasil optimasi didapatkan nilai *reliability* yang optimal adalah 0.78. Sehingga setelah optimisasi *preventive msintenance* dilakukan ketika *reliability* mencapai 0.78 dengan interval waktu 2473 jam.



Gambar 4. 40 Optimisasi *Reliability* AT 112

4.3.2 Optimisasi Biaya Pemeliharaan



Gambar 4. 41 Grafik Perbandingan Biaya Pemeliharaan

Gambar 4.41 menunjukkan perbandingan biaya pemeliharaan sebelum dan sesudah dioptimisasi dalam jangka waktu 5 tahun. Untuk komponen PT 106, biaya pemeliharaan aktual yaitu USD 228,60 dengan jumlah *preventive maintenance(PM)* sebanyak 7 kali dan setelah dilakukan optimisasi didapatkan harga pemeliharaan yang optimal adalah USD 92,39 dengan jumlah PM sebanyak 3 kali.

Biaya pemeliharaan aktual masing masing komponen PT 105, PT 107, dan PT 108 sebesar USD 208,48 dengan jumlah PM sebanyak 6 kali, dan setelah dilakukan optimisasi didapatkan harga pemeliharaann yang optimal adalah USD 114,24 dengan jumlah PM sebanyak 4 kali.

Biaya pemeliharaan aktual komponen LV 101 sebesar USD 26.261 dengan jumlah PM sebanyak 93 kali, dan setelah dilakukan optimisasi didapatkan harga pemeliharaan yang optimal adalah USD 14.604,87 dengan jumlah PM sebanyak 54 kali.

Biaya pemeliharaan aktual komponen PDV 106 sebesar USD 9.138 dengan jumlah PM sebanyak 32 kali, dan setelah dilakukan optimisasi didapatkan harga pemeliharaan yang optimal adalah USD 1.649,66 dengan jumlah PM sebanyak 8 kali.

Biaya pemeliharaan aktual komponen PCV 127 sebesar USD 14.972 dengan jumlah PM sebanyak 53 kali, dan setelah dilakukan optimisasi didapatkan harga pemeliharaan yang optimal adalah USD 2.004 dengan jumlah PM sebanyak 8 kali.

Biaya pemeliharaan aktual komponen AT 112 sebesar USD 948.472 dengan jumlah PM sebanyak 53 kali, dan setelah dilakukan optimisasi didapatkan harga pemeliharaan yang optimal adalah USD 254,57 dengan jumlah PM sebanyak 18 kali.

Total biaya pemeliharaan aktual *produced water treatment system* yaitu USD 52.175,03 dan setelah dioptimisasi USD 18.948,66. Sehingga dapat menghemat 64%

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- Penurunan nilai *reliability* hingga mencapai nilai 97% didapatkan komponen terlama yaitu PT105/107/108 dengan waktu 7133 jam. Sedangkan komponen tercepat yaitu LV 101 dengan waktu 510 jam. Adapun untuk sistem *produced water treatment* penurunan *reliability* hingga mencapai nilai 90% lama waktu yang dibutuhkan adalah 350 jam, nilai 70% adalah 1520 jam, dan 50% saat 2300 jam operasi. Dalam satu periode *preventive maintenance* semua komponen *produced water treatment* memiliki nilai *availability* di atas 98%. Sedangkan untuk mencapai *maintainability* 100% komponen yang membutuhkan waktu perbaikan paling cepat yaitu PT 105, PT 107, PT 108, dan PCV 127 dengan lama waktu 4 jam. Sedangkan untuk komponen terlama yaitu LV 101 dengan lama waktu 33 jam.
- Berdasarkan penjabaran FMCEA dan RCM pada 8 komponen *produced water treatment system* maka jenis *proactive maintenance* yang sesuai untuk komponen PT 105/6/7/8 dan AT 112 adalah *schedule on condition task* berupa kalibrasi secara berkala untuk mode kegagalan AIR, dan inspeksi secara berkala untuk mode kegagalan STD. Sedangkan untuk komponen LV 101, PDV 106, PCV 127 jenis *proactive maintenance* yang sesuai adalah *schedule on condition task* berupa inspeksi secara berkala, dan *loop test* untuk mode kegagalan FTO, FTC, dan FTR. Untuk mode kegagalan LCP tindakan yang sesuai adalah *Restoration task* berupa Inspeksi terjadwal.
- Hasil optimisasi didapatkan biaya pemeliharaan yang optimal pada komponen PT 106 sebesar USD 92,39, PT 105/7/8 sebesar USD 114,24, LV 101 sebesar USD 14.604,87, PDV 106 sebesar USD 1.649,66, PCV 127 sebesar USD 2.004,44, dan AT sebesar USD 254,57. Sehingga dalam rentang waktu 5 tahun *produced water treatment system* dapat menghemat biaya pemeliharaan sebesar 64% dari biaya aktual

5.2 Saran

Dari tugas akhir ini yang dapat penulis sarankan dalam penelitian selanjutnya adalah dengan melakukan variasi jumlah populasi dan generasi dalam optimisasi untuk mendapat hasil yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

Belluano, Poetri Lestari Lokapitasari. 2016. "OPTIMALISASI SOLUSI TERBAIK DENGAN PENERAPAN NON-DOMINATED SORTING II ALGORITHM." *Jurnal Ilmiah ILKOM* 8(April): 29–36.

Brændeland, Gyrd, and Ketil Stølen. 2017. *Dependability and Computer Engineering : Concepts for Software-Intensive Systems*.

Companies, OREDA. 2002. "OREDA - Offshore Reliability Data Handbook 4th Edition."

Corporation, Reliasoft. 1996. *Life Data Analysis Reference*.

Ebeling, Charles E. 1997. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. eds. ErIc M Munson and John M Morriss. United States: McGraw-Hill Companies.

Eduardo, Calixto. 2016. *Gas and Oil Reliability Engineering (Second Edition)*.

Farizhendy, Mojgan Mortezaei, Esmatullah Noorzai, D Ph, and Mahmood Golabchi. 2020. "Implementing the NSGA-II Genetic Algorithm to Select the Optimal Repair and Maintenance Method of Jack-up Drilling Rigs in Iranian Shipyards." *Ocean Engineering* 211(December 2019): 107548. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107548.

Hern´andez-Chover V, Castellet-Viciano L, Hern´andez-Sancho F. 2020. "Preventive Maintenance versus Cost of Repairs in Asset Management: An Efficiency Analysis in Wastewater Treatment Plants." *Process Safety andEnvironmental Protection* 141: 215–21.

Jafarinejad, Shahryar. 2017. *Petroleum Waste Treatment and Pollution Control*.

Menteri Lingkungan Hidup. 2010. *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 19 Tahun 2010*.

Moubray, J. 1997. "Reliability Centered Maintenance."

Musyafa, Ali, Shinta Kusumawardhani, Ronny D Noriyati, and Heri Justiono. 2015. "Evaluation of the Reliability and Prediction Maintenance on the Air Compressor System in Ammonia Plant PT.Petrokimia Gresik." *Australian Journal of Basic Applied Sciences* 9(May): 853–62.

Newman, Stephen C. 2002. Biostatistical Methods in Epidemiology *Biostatistical*

Methods in Epidemiology.

PT.SIPL. 2008a. *PFD Produced Water Treatment*. Gresik.

———. 2008b. *System Operations Procedure Volume 5 – Produced Water Treatment*.

Schenkelberg, F. 2015. Reliability Characterisation of Electrical and Electronic Systems *Chapter 11 - Reliability Modeling and Accelerated Life Testing for Solar Power Generation Systems*. Elsevier Ltd. http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-78242-221-1.00011-3.

Seshadri, Aravind. "A Fast Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: Nsga-Ii." : 1–4.

Sifonte, Jesús R., and James V. Reyes-Picknell. 2017. Reliability Centered Maintenance-Reengineered *Reliability Centered Maintenance-Reengineered*.

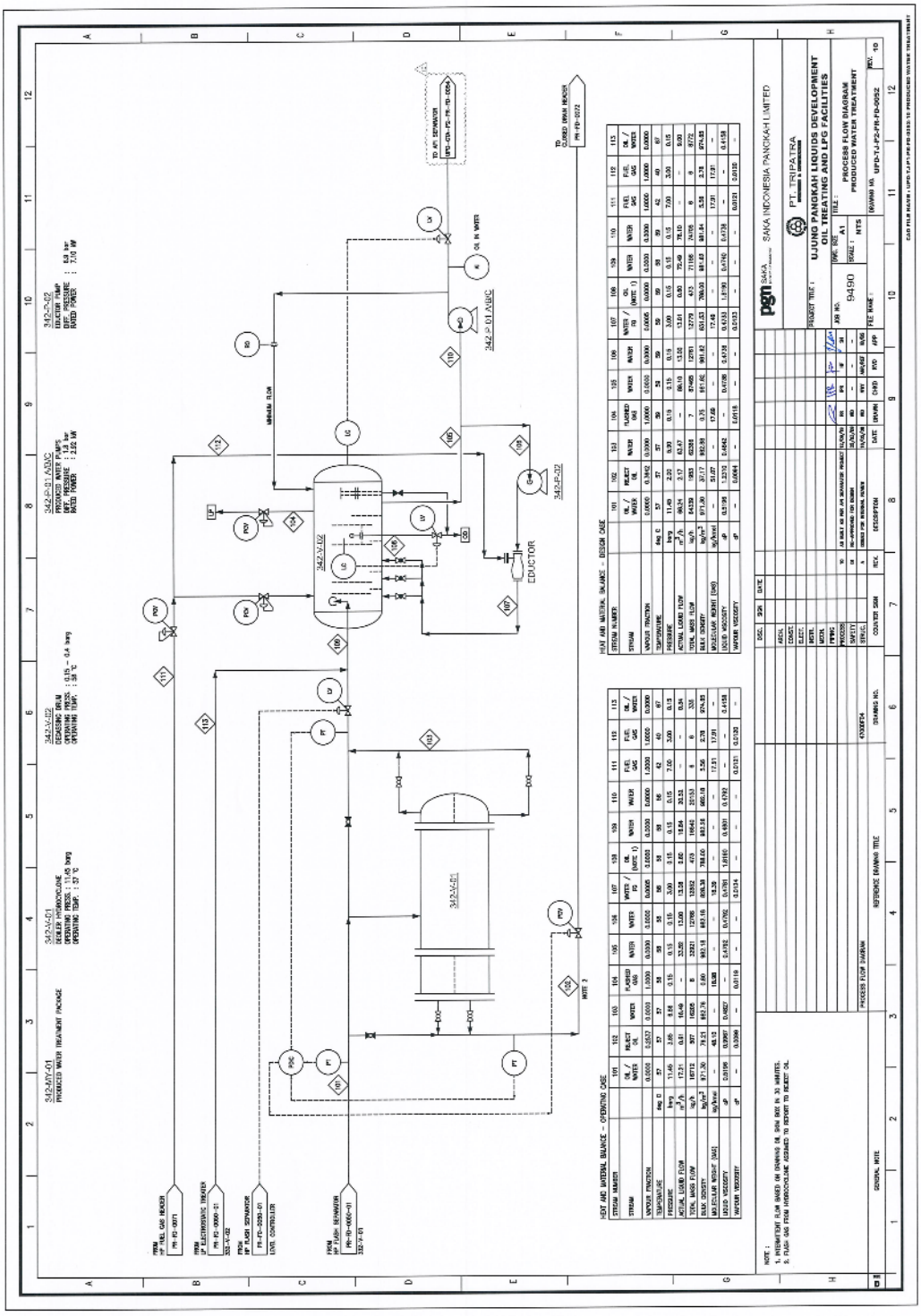
Su, Chun, and Yang Liu. 2020. "Multi-Objective Imperfect Preventive Maintenance Optimisation with NSGA-II." *International Journal of Production Research* 58(13): 4033–49. https://doi.org/00207543.2019.1641237.

Sutton, Ian. 2010. "CHAPTER 7 - Reliability, Availability and Maintainability." In *Process Risk and Reliability Management*, Ian Sutton, 347–70. http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-4377-7805-2.10007-9.

Yavuz, Oğuzhan, Ersin Doğan, Ergün Carus, and Ahmet Görgülü. 2019. "Reliability Centered Maintenance Practices in Food Industry." *Procedia Computer Science* 158: 227–34. https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.046.

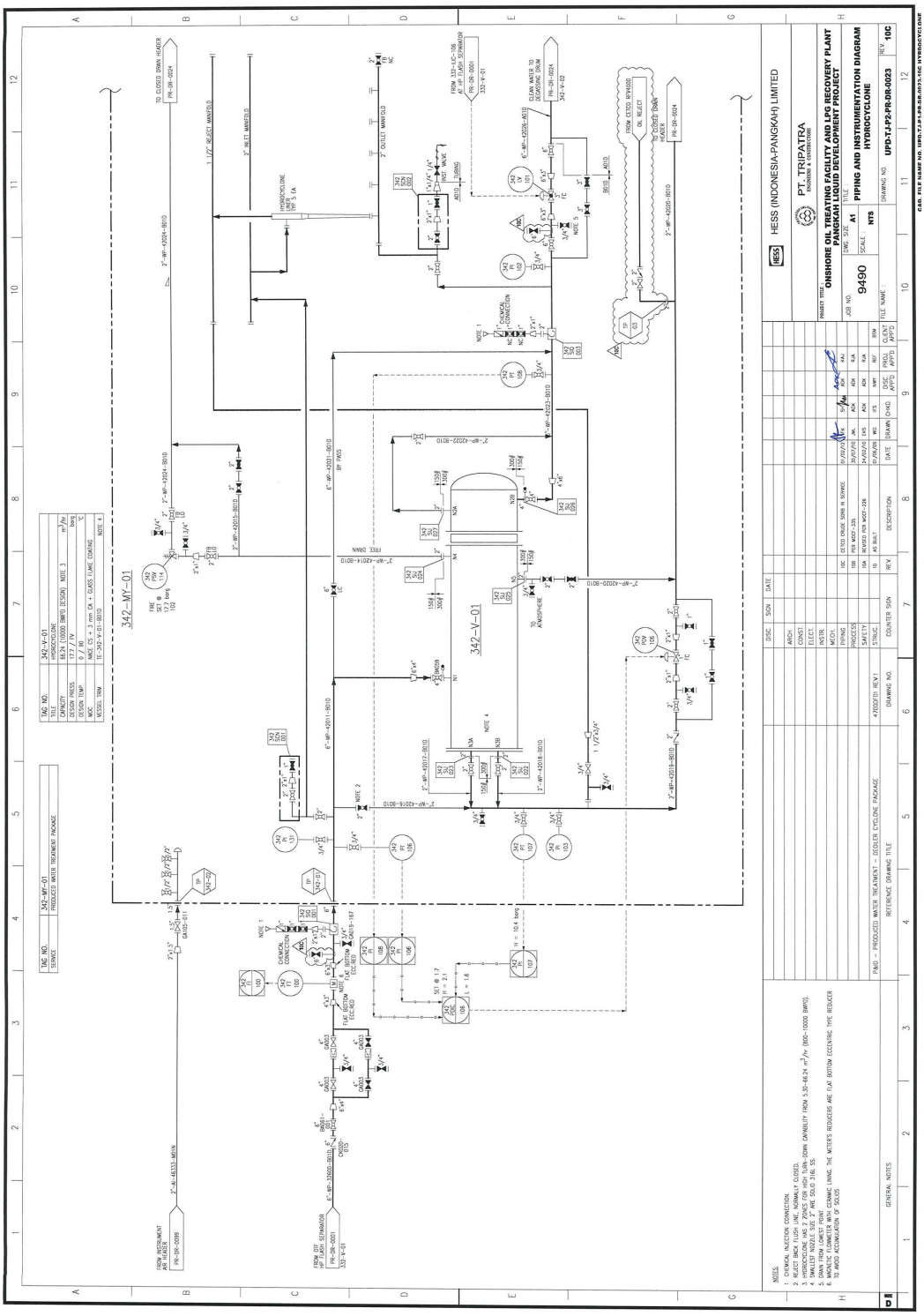
LAMPIRAN

A. PFD Produced Water Treatment System

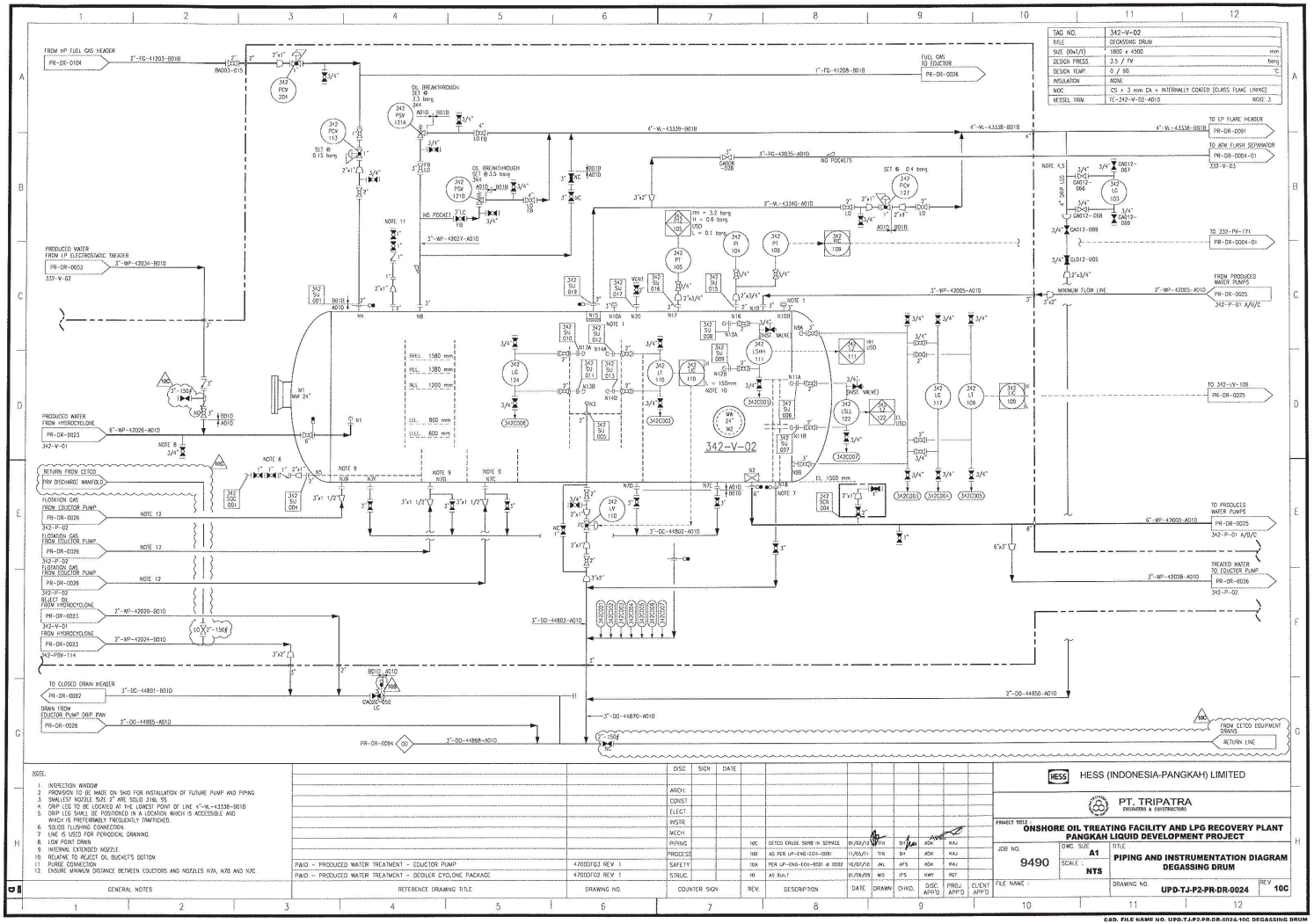


***Gambar A. 1** Process Flow Diagram Produced Water Treatment System*

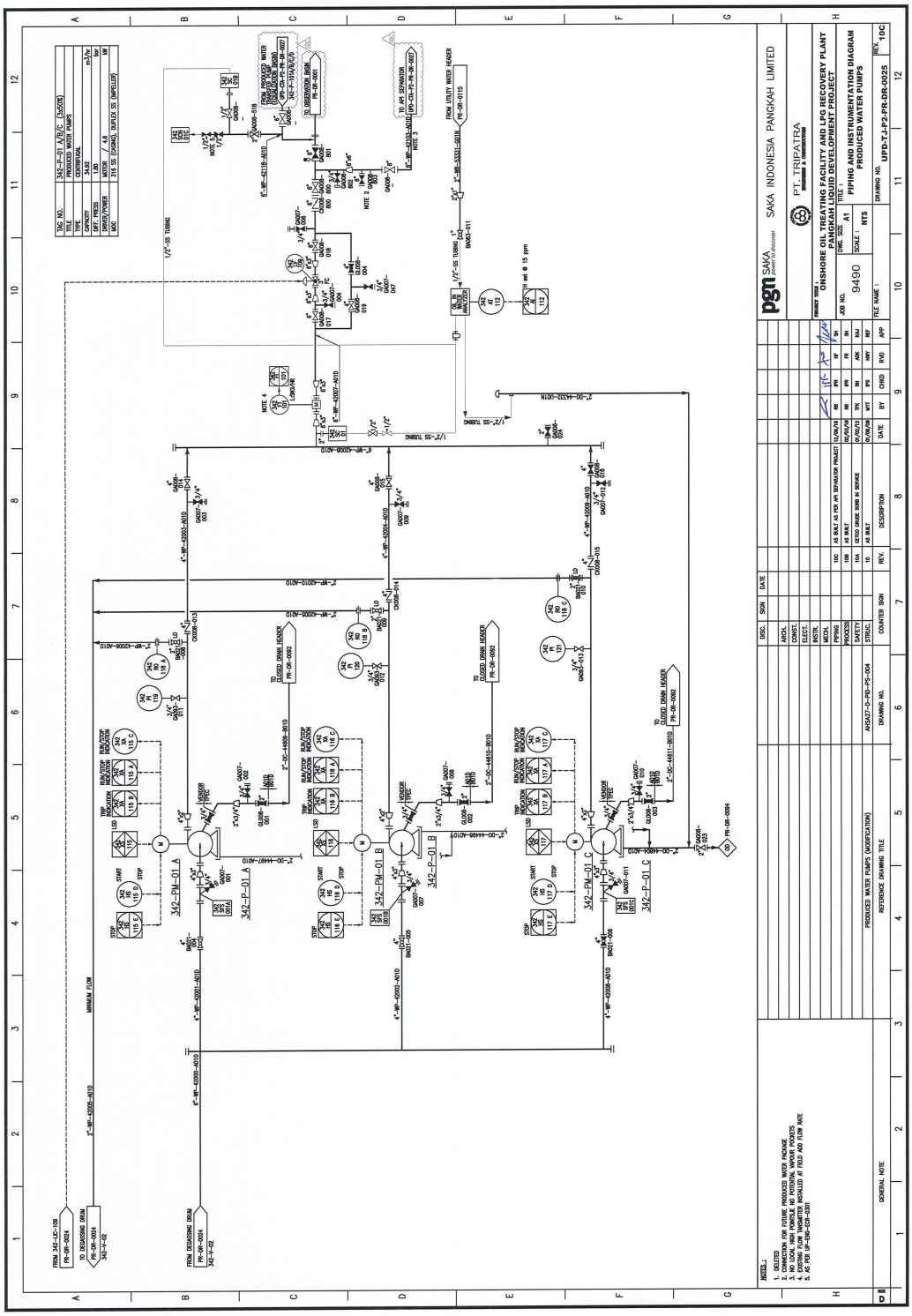
B. P&ID Produced Water Treatment System



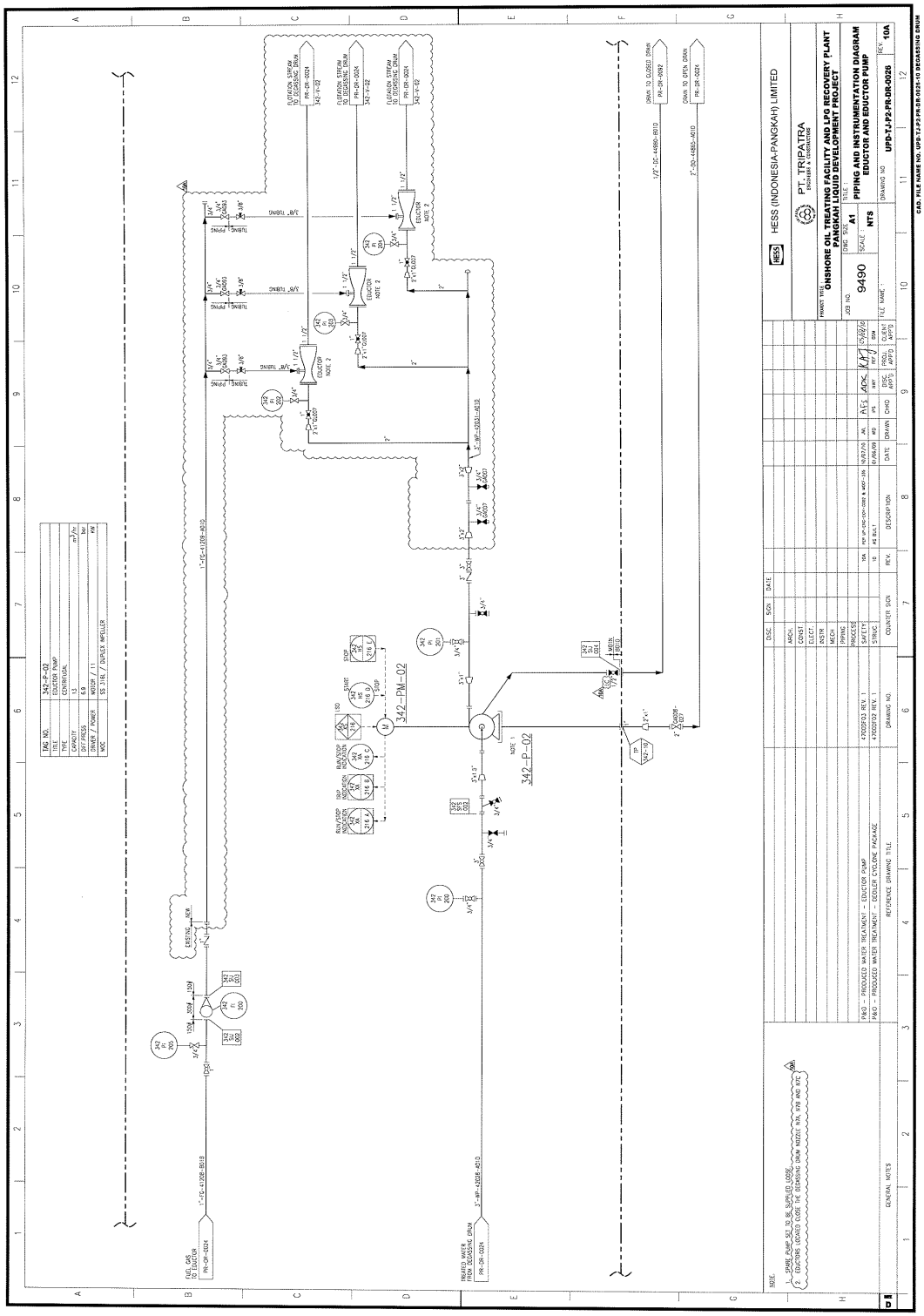
Gambar B.1 *Piping & Instrumentation Diagram Hydrocyclone*



Gambar B.2 *Piping & Instrumentation Diagram Degassing Drum*



Gambar B.3 *Piping & Instrumentation Diagram Produced Water Pumps*

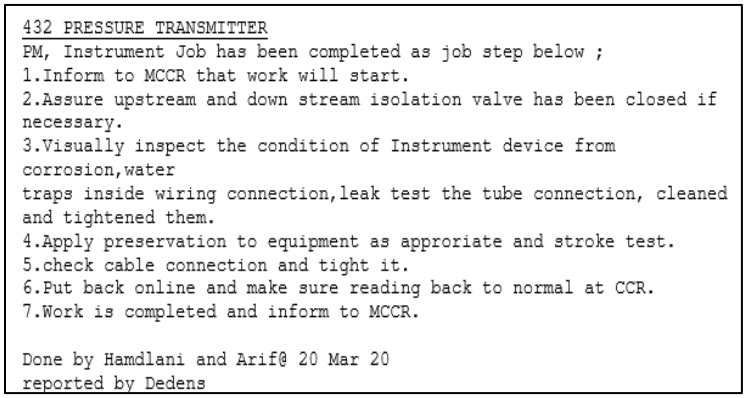


Gambar B.4 *Piping & Instrumentation Diagram Eductor Pumps*

C. Maintenance Record Pressure Transmitter

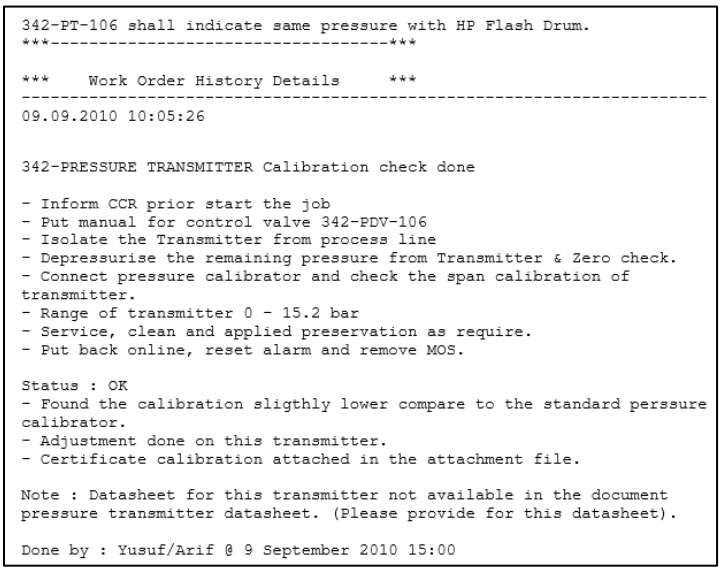
Maintenance record pressure transmitter yang meliputi komponen PT 105, PT 106, PT 107, dan PT 108 diperoleh dari hasil wawancara dengan pihak PT.SIPL dikarenakan terbatasnya *database*. Adapun hasil dari wawancara tersebut berupa jenis komponen, waktu dan durasi pemeliharaan yang meliputi *preventive maintenance dan corrective maintenance.*

Preventive maintenance(PM) pada komponen *pressure transmitter* 105/7/8 dilakukan setiap 2 tahun sekali. Durasi kegiatan *preventive maintenance* pada komponen *pressure transmitter* berkisar 2-3 jam. Selama kegiatan *maintenance* dilakukan tidak mengakibatkan komponen lain berhenti menjalankan fungsinya.



```
432 PRESSURE TRANSMITTER
PM, Instrument Job has been completed as job step below ;
1.Inform to MCCR that work will start.
2.Assure upstream and down stream isolation valve has been closed if
necessary.
3.Visually inspect the condition of Instrument device from
corrosion,water
traps inside wiring connection,leak test the tube connection, cleaned
and tightened them.
4.Apply preservation to equipment as approriate and stroke test.
5.check cable connection and tight it.
6.Put back online and make sure reading back to normal at CCR.
7.Work is completed and inform to MCCR.

Done by Hamdlani and Arif@ 20 Mar 20
reported by Dedens
```

Gambar C. 1 *Preventive Maintenance Pressure Transmitter*



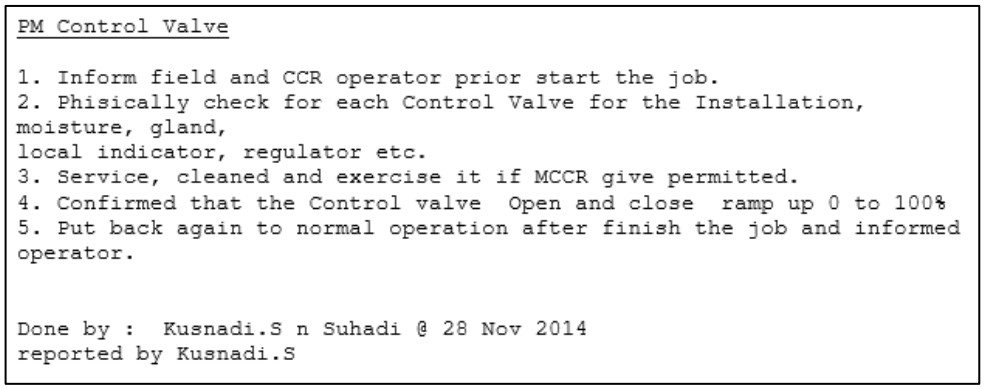
```
342-PT-106 shall indicate same pressure with HP Flash Drum.
***-------------------------------------***

***    Work Order History Details     ***
------------------------------------------------------------------------------
09.09.2010 10:05:26


342-PRESSURE TRANSMITTER Calibration check done

- Inform CCR prior start the job
- Put manual for control valve 342-PDV-106
- Isolate the Transmitter from process line
- Depressurise the remaining pressure from Transmitter & Zero check.
- Connect pressure calibrator and check the span calibration of
transmitter.
- Range of transmitter 0 - 15.2 bar
- Service, clean and applied preservation as require.
- Put back online, reset alarm and remove MOS.

Status : OK
- Found the calibration sligthly lower compare to the standard perssure
calibrator.
- Adjustment done on this transmitter.
- Certificate calibration attached in the attachment file.

Note : Datasheet for this transmitter not available in the document
pressure transmitter datasheet. (Please provide for this datasheet).

Done by : Yusuf/Arif @ 9 September 2010 15:00
```

Gambar C. 2 *Corrective Maintenance pada PT 106*

D. Maintenance Record Control Valve

Maintenance record control valve yang meliputi komponen LV 101, PDV 106, PCV 127 diperoleh dari hasil wawancara dengan pihak PT.SIPL dikarenakan terbatasnya *database*. Adapun hasil dari wawancara tersebut berupa jenis komponen, waktu dan durasi pemeliharaan yang meliputi *preventive maintenance dan corrective maintenance.*

Preventive maintenance(PM) pada komponen LV 101, PDV 106, PCV 127dilakukan setiap 6 bulan sekali. Durasi kegiatan *preventive maintenance* pada komponen LV 101, PDV 106, PCV 127 berkisar 2 jam. Selama kegiatan *maintenance* dilakukan tidak mengakibatkan komponen lain berhenti menjalankan fungsinya.

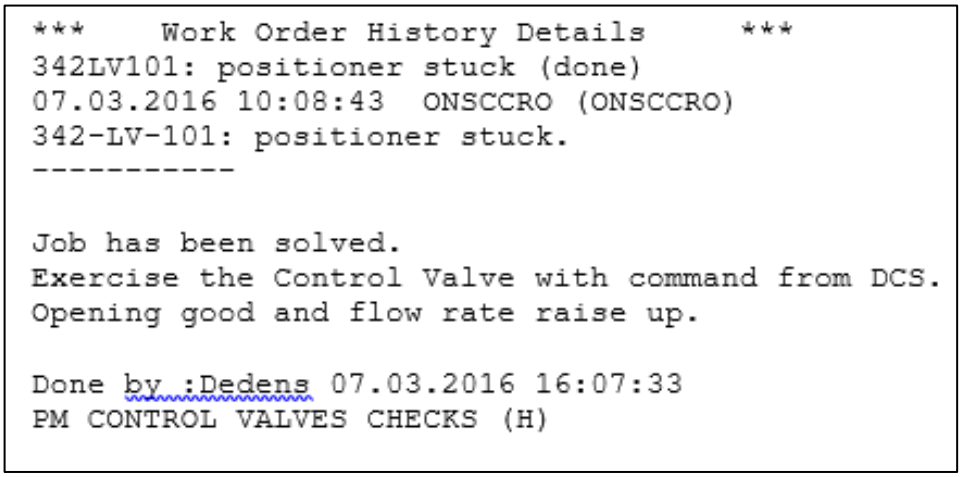


PM Control Valve

1. Inform field and CCR operator prior start the job.
2. Phisically check for each Control Valve for the Installation, moisture, gland,
local indicator, regulator etc.
3. Service, cleaned and exercise it if MCCR give permitted.
4. Confirmed that the Control valve Open and close ramp up 0 to 100%
5. Put back again to normal operation after finish the job and informed operator.

Done by : Kusnadi.S n Suhadi @ 28 Nov 2014
reported by Kusnadi.S

Gambar D.1 *Preventive Maintenance Control Valve*



*** Work Order History Details ***
342LV101: positioner stuck (done)
07.03.2016 10:08:43 ONSCCRO (ONSCCRO)
342-LV-101: positioner stuck.

Job has been solved.
Exercise the Control Valve with command from DCS.
Opening good and flow rate raise up.

Done by :Dedens 07.03.2016 16:07:33
PM CONTROL VALVES CHECKS (H)

Gambar D.2 *Corrective Maintenance LV-101-1*

```
342-LV-101 Indicated Passing
21.01.2017 11:02:25  ONSOPRT (ONSOPRT)
342-LV-101 Fully Closed but HP Flash Level Get Lower While Degassing
Drum Get High

1. info to operator to start the job
2. Check the valve condition
3. Stroke the valve, good
4. Close valve and check the level. OK ( steady)
5. Job Completed

Done by rivky and Dibaj @ 30 Jan 2017 9:00
reported by Kusnadi.S
```

Gambar D.2 *Corrective Maintenance LV-101-2*

```
342PDV106 reject oil hydro. fail (done)
04.10.2016 13:42:40  ONSOPRT (ONSOPRT)
342PDV106 reject oil hydroclyclone fail to operate, please check.

Summary :

Field operator report that PDV-106 was failing to execute open command,
LED indicator shows RYYY, means "pneumatic relay position alert".
According to this alarm, team decide to replace the positioner. New
positioner installed yet still no response while calibrating.
Another suspicion refers to trim stuck. Actuator and valve exercise
using air instrument couple times then try re callibrate through HART.
Control valve indicate good response during callibration process. CCR
took over control of control valve.

4 October 2016 17:00
Nanda Instrument Team
```

Gambar D.3 *Corrective Maintenance PDV 106*

```
342PCV127 Degassing OTF passing.
02/02/2013 12:14:18 Nurwidodo Siman (NSIMAN)
342PCV127 at degassing drum OTF,line to LP Flare.
when pressure is less than set point, 342PCV127 still open
by monitor pressure degassing drum(342PI105)
Please,check 342PCV127.

Please readjust to 0,55 Bar

Perform to adjusted the PCV to 0.5 Barg setting.Closed the inlet
isolation valve about 1 hour and monitor for the pressure decreasing.
OK Pressure stabile at 0.470 barg.

Job Completed @ 11 february 2013 15:00 done by DedenS
```

Gambar D.3 *Corrective maintenance PCV 127*

E. Maintenance Record Analizer Transmitter

Maintenance record analizer transmitter yaitu AT 112 diperoleh dari hasil wawancara dengan pihak PT.SIPL dikarenakan terbatasnya *database*. Adapun hasil dari wawancara tersebut berupa jenis komponen, waktu dan durasi pemeliharaan yang meliputi *preventive maintenance dan corrective maintenance.*

Preventive maintenance(PM) pada komponen AT 12 dilakukan setiap 6 bulan sekali. Durasi kegiatan *preventive maintenance* pada komponen *analyzer transmitter* berkisar 2 jam. Selama kegiatan *maintenance* dilakukan tidak mengakibatkan komponen lain berhenti menjalankan fungsinya.

```
ANALYSER FUNCTION CHECK (H)
OBSERVE THAT THE LOOP IS PERFORMING SATISFACTORILY; CONSULT WITH THE
CONTROL ROOM OPERATOR TO DETERMINE IF THERE ARE ANY KNOWN
PROBLEMS WITH THE LOOP.

VISUALLY INSPECT INTERNAL COMPONENTS AND TERMINALS FOR SIGNS OF
OVERHEATING AND ALL WIRING TERMINATIONS ARE CORRECT AND SECURE.
REMOVE ANY DIRT OR DUST BUILD UP FROM THE CONTROL CABINET AND CLEAN THE
DISPLAY WITH A LINT FREE CLOTH.

CHECK THE SECURITY OF FITTINGS AND INSPECT ALL PIPEWORK FOR LEAKS.
ENSURE THE SAMPLE INLET/OUTLET IS NOT BLOCKED OR RESTRICTED.

IN ACCORDANCE WITH MANUFACTURERS INSTRUCTIONS, ISOLATE THE SENSOR
SAMPLE
FLOW AND REMOVE THE SENSOR FROM ITS SUPPORT HOUSING. CLEAN
THE SENSOR AS NECESARY THEN REFIT TO ITS SUPPORT HOUSING.

VERIFY FROM P&ID'S, AND OTHER DRAWINGS, THE EXPECTED ACTION OF THE LOOP
COMPONENTS AND ANY ASSOCIATED OUTPUTS.

IN ACCORDANCE WITH MANUFACTURERS INSTRUCTIONS, CARRY OUT A CALIBRATION
OF THE  ANALYSER. DURING CALIBRATION VERIFY THAT ALL
ASSOCIATED ALARMS/TRIPFUNCTIONS OPERATE AT THE CORRECT SETPOINT(S),
LOCAL/REMOTE INDICATION(S) AGREE WITH TEST INPUTS AND ANY TRIP
INTERLOCKS/OUTPUTS/CONTROL ACTIONS OPERATE SATISFACTORILY.
```

Gambar E.1 *Preventive Maintenance AT 112*

```
24.11.2009 09:50:24

Repair Flow Meter OIW;
-Tried to fix the leak of flow meter/rotameter using plastic glue but
after a day,the leak/broken flow meter again,suggest to replaces by new
one but spares not available.
For temporary,make a by pass using 1/2" tube,Ok analyzer back normal
online.

Done by Dedens @24Nov09 15:00
```

Gambar E.2 *Corrective Maintenance AT 112-1*

```
19.01.2010 09:50:24

DE-ISOLATE THE  ANALYSER. ENSURE THE SAMPLE LINE IS SET TO THE CORRECT
PRESSURE/FLOWRATE AND THE ANALYSER IS SET TO THE CORRECT
RANGE.

Done by irak/dedens on Jan 19 2010 12:00
```

Gambar E.3 *Corrective Maintenance AT 112-2*

```
***       Notification longtext       ***
and tie-in the inlet sample tube for laboratory taking sample.
Job has been dane with detail report as below;
27.02.2012 21:50:24

-Reinstall the old tubing to replace the flexible hose temporary tube.

-Small modification the route of sample tube due to higher elevation of
floor than previous floor.
-Fresh Water line tube also install.
-Reinstall the 1/2 in S/S tube inside sampling system cabinet.
-Reposition of sample flow at sampling system.
-TEE-in and isolation valve provided at Inlet tube for Laboratory
taking
sample.
-Flushed the sam[pling system and OIW sensor,Ok reading around 1.2 ppm.

-Continued to replace the sample tube connection inside the sampling
cabinet.
-Flushing the analyzer by fresh water.
-Put back online.OK

Job completed by Dedens @ 28 Feb 2012 09:00
```

Gambar E.4 *Corrective Maintenance AT 112-3*

```
22.01.2018 09:40:37

Re route Tubing for OIW Analyzer

Install threaded flange and re route tubing line for new oiw tapping
point.

Job done by Acil and Nanda on 22 January 2018 15:00
Reported by NandaDP
```

Gambar E.5 *Corrective Maintenance AT 112-4*

F. Perhitungan TTF dan TTR

Tabel F.1 Perhitungan TTF dan TTR Komponen PT 106

No	Actual start	Actual Finish	TTF(Hours)	TTR(Hours)
1	03/09/2008	09/09/2010	17664	5
2	09/09/2010	09/07/2011	7272	2
3	09/07/2011	20/03/2014	23640	2
4	20/03/2014	05/02/2016	16488	2
5	05/02/2016	20/03/2018	18576	2
6	20/03/2018	20/03/2020	17544	2

Tabel F.2 Perhitungan TTF dan TTR Komponen PT 105/107/108

No	Actual start	Actual Finish	TTF(Hours)	TTR(Hours)
1	03/09/2008	09/09/2010	17664	2
2	09/09/2010	18/07/2011	7488	2
3	18/07/2011	20/03/2014	23424	2,5
4	20/03/2014	05/02/2016	16488	2
5	05/02/2016	20/03/2018	18576	2,5
6	20/03/2018	20/03/2020	17544	2

Tabel F.3 Perhitungan TTF dan TTR Komponen LV 101

No	Actual start	Actual Finish	TTF(Hours)	TTR(Hours)
1	03/09/2008	28/11/2014	54648	2
2	28/11/2014	17/06/2015	4824	2
3	17/06/2015	05/02/2016	5592	2
4	05/02/2016	07/03/2016	744	6
5	07/03/2016	11/08/2016	3768	2
6	11/08/2016	21/01/2017	3912	197
7	30/01/2017	13/03/2017	1008	2
8	13/03/2017	02/08/2022	47232	2
9	02/08/2017	02/05/2018	6552	2
10	02/05/2018	05/09/2018	3024	2
11	05/09/2018	03/07/2019	7224	2
12	03/07/2019	03/01/2020	4416	2

Tabel F.4 Perhitungan TTF dan TTR Komponen PDV 106

No	Actual start	Actual Finish	TTF(Hours)	TTR(Hours)
1	03-Sep-08	17/06/2015	59472	5
2	17/06/2015	04/10/2016	11400	3
3	05/02/2016	11/08/2016	4512	2
4	11/08/2016	13/03/2017	5136	2
5	13/03/2017	02/10/2017	4872	3
6	02/10/2017	02/05/2018	5088	2
7	02/05/2018	05/09/2018	3024	2
8	05/09/2018	03/07/2019	7224	3
9	03/07/2019	03/01/2020	4416	2

Tabel F.5 Perhitungan TTF dan TTR Komponen PCV 127

No	Actual start	Actual Finish	TTF(Hours)	TTR(Hours)
1	03-Sep-08	02/02/2013	38712	3
2	11/02/2013	17/06/2015	20544	3
3	17/06/2015	05/02/2016	5592	2
4	05/02/2016	11/08/2016	4512	2
5	11/08/2016	13/03/2017	5136	2
6	13/03/2017	02/10/2017	4872	3
7	02/10/2017	02/05/2018	5088	2
8	02/05/2018	05/09/2018	3024	2
9	05/09/2018	03/07/2019	7224	3
10	03/07/2019	03/01/2020	4416	2

Tabel F.6 Perhitungan TTF dan TTR Komponen AT 112

No	Actual start	Actual Finish	TTF(Hours)	TTR(Hours)
1	03/09/2008	24/11/2009	10728	6
2	24/11/2009	19/01/2010	1344	2
3	19/01/2010	09/09/2010	5592	2
4	09/09/2010	18/07/2011	7488	2
5	18/07/2011	27/02/2012	5376	11
6	28/02/2013	12/08/2013	3960	2
7	12/08/2013	20/03/2014	5280	2
8	20/03/2014	20/09/2014	4416	2
9	20/09/2014	20/03/2015	4344	2
10	20/03/2015	05/09/2015	4056	2
11	05/09/2015	05/02/2016	3672	2
12	05/02/2016	05/08/2016	4368	2
13	05/08/2016	22/02/2017	4824	2
14	22/02/2017	20/07/2017	3552	2
15	20/07/2017	22/01/2018	4464	5
16	22/01/2018	20/03/2018	1368	2
17	20/03/2018	25/04/2018	864	2
18	20/03/2018	24/06/2018	2304	2
19	24/06/2018	20/03/2020	15240	2

G. Perhitungan RAM

Tabel G.1 Perhitungan RAM komponen PT 105

t (Hours)	R(t)	A(t)	t (Hours)	M(t)
0	1,00	1,000	0	0,00
100	1,00	1,000	1	0,00
500	1,00	1,000	2	0,40
700	1,00	1,000	3	0,72
1000	1,00	1,000	4	0,87
3000	0,99	1,000	5	0,94
5000	0,98	1,000	6	0,97
6505	0,97	1,000	7	0,99
7000	0,96	1,000	8	0,99
10000	0,89	1,000	9	1,00
12789	0,77	1,000	10	1,00
13979	0,70	1,000	11	1,00
15000	0,63	1,000	12	1,00
20000	0,28	1,000	13	1,00
25000	0,07	1,000	14	1,00
30000	0,01	0,999	15	1,00
35000	0,00	0,999	16	1,00
40000	0,00	0,999	17	1,00

Tabel G.2 Perhitungan RAM komponen PT 106/107/108

t (Hours)	R(t)	A(t)	t (Hours)	M(t)
0	1,00	1,0000	0	0,00
100	1,00	1,0000	1	0,00
500	1,00	1,0000	2	0,28
700	1,00	1,0000	3	0,98
1000	1,00	1,0000	4	1,00
3000	1,00	1,0000	5	1,00
5000	0,99	1,0000	6	1,00
6000	0,98	1,0000	7	1,00
7133	0,97	1,0000	8	1,00
11369	0,85	1,0000	9	1,00
13000	0,76	1,0000	10	1,00
14120	0,70	1,0000	11	1,00
15000	0,64	1,0000	12	1,00
20000	0,28	0,9999	13	1,00
25000	0,06	0,9999	14	1,00
30000	0,01	0,9998	15	1,00
35000	0,00	0,9998	16	1,00

Tabel G.3 Perhitungan RAM komponen LV 101

t (Hours)	R(t)	A(t)	t (Hours)	M(t)
0	1,00	1,000	0	0,00
10	1,00	1,000	5	0,69
100	1,00	0,999	10	0,90
200	0,99	0,998	15	0,96
300	0,99	0,996	20	0,98
400	0,98	0,993	25	0,99
517	0,97	0,990	26	0,99
808	0,93	0,984	27	0,99
2000	0,78	0,964	28	0,99
2751	0,70	0,956	29	0,99
3000	0,67	0,953	30	0,99
5000	0,52	0,950	31	0,99
7000	0,41	0,000	32	0,99
10000	0,31	0,000	33	1,00
13000	0,24	0,000	34	1,00
15000	0,21	0,000	35	1,00
20000	0,15	0,000	36	1,00
30000	0,09	0,000	37	1,00

Tabel G.4 Perhitungan RAM komponen PDV 106

t (Hours)	R(t)	A(t)	t (Hours)	M(t)
0	1,00	1,00000	0	0,00
1350	0,97	0,99994	1	0,00
2986	0,87	0,99991	2	0,29
3500	0,83	0,99991	3	0,70
4000	0,80	0,99990	4	0,88
4723	0,75	0,99990	5	0,95
5458	0,71	0,99990	6	0,98
5600	0,70	0,99990	7	0,99
6000	0,68	0,99990	8	1,00
6500	0,65	0,99990	9	1,00
7000	0,62	0,99990	10	1,00
10000	0,49	0,99991	11	1,00
15000	0,34	0,99992	12	1,00
17000	0,30	0,99992	13	1,00
20000	0,25	0,99993	14	1,00
25000	0,18	0,99994	15	1,00

Tabel G.5 Perhitungan RAM komponen PT PCV 127

t (Hours)	R(t)	A(t)	t (Hours)	M(t)
0	1,00	1,00000	0	0,00
1000	0,99	0,99973	1	0,02
1680	0,97	0,99991	2	0,26
3500	0,82	0,99995	3	0,80
4526	0,71	0,99997	4	1,00
4650	0,70	0,99999	5	1,00
5000	0,67	0,99999	6	1,00
5500	0,62	1,00000	7	1,00
6000	0,57	1,00000	8	1,00
6500	0,53	1,00000	9	1,00
7000	0,49	1,00000	10	1,00
10000	0,31	1,00000	11	1,00
15000	0,15	1,00000	12	1,00
17000	0,12	1,00000	13	1,00
20000	0,08	1,00000	14	1,00
25000	0,04	1,00000	15	1,00
30000	0,03	1,00000	16	1,00
35000	0,02	1,00000	17	1,00

Tabel G.6 Perhitungan RAM komponen AT 112

t(Hours)	R(t)	A(t)	t (Hours)	M(t)
0	1,00	1,000	0	0,00
100	1,00	1,000	1	0,10
500	0,99	1,000	2	0,43
824	0,97	1,000	3	0,64
1000	0,95	1,000	4	0,78
2473	0,78	1,000	5	0,86
3068	0,70	1,000	6	0,91
3500	0,63	0,999	7	0,94
4000	0,56	0,999	8	0,96
4500	0,49	0,999	9	0,98
5000	0,42	0,999	10	0,99
5500	0,36	0,999	11	0,99
6000	0,30	0,999	12	0,99
6500	0,25	0,999	13	1,00
8000	0,14	0,999	14	1,00
10000	0,05	0,999	15	1,00

Tabel G.7 Perhitungan *Reliability Produced Water Treatment System*

t	R(t)
0,001	1,00
100	0,99
350	0,97
500	0,95
700	0,91
1000	0,84
1200	0,78
1300	0,76
1400	0,73
1520	0,70
1600	0,68
2000	0,57
2300	0,50
2500	0,45
3000	0,35
4000	0,19
6000	0,05
10000	0,00

H. Kode MATLAB Optimisasi

```
function f = evaluate_objective(x, M, V)
f = [];
f(1) = ((Cp*R)+(Cu*(1-R))/(int(R,0,x(1));
f(2) = -R
if length(f) ~= M
   error('Jumlah variable decision tidak cocok dengan input sebelumnya. Cek
objective function');
end
function f  = genetic_operator(parent_chromosome, M, V, mu, mum, l_limit,
u_limit)

[N,m] = size(parent_chromosome);

clear m
p = 1;
was_crossover = 0;
was_mutation = 0;
 for i = 1 : N
      if rand(1) < 0.9
            child_1 = [];
       child_2 = [];
       parent_1 = round(N*rand(1));
       if parent_1 < 1
          parent_1 = 1;
       end
       parent_2 = round(N*rand(1));
       if parent_2 < 1
          parent_2 = 1;
       end
       while
isequal(parent_chromosome(parent_1,:),parent_chromosome(parent_2,:))
          parent_2 = round(N*rand(1));
          if parent_2 < 1
             parent_2 = 1;
          end
       end
       parent_1 = parent_chromosome(parent_1,:);
       parent_2 = parent_chromosome(parent_2,:);
       for j = 1 : V
          u(j) = rand(1);
          if u(j) <= 0.5
```

```
        bq(j) = (2*u(j))^(1/(mu+1));
    else
        bq(j) = (1/(2*(1 - u(j))))^(1/(mu+1));
    end
    child_1(j) = ...
        0.5*(((1 + bq(j))*parent_1(j)) + (1 - bq(j))*parent_2(j));
    child_2(j) = ...
        0.5*(((1 - bq(j))*parent_1(j)) + (1 + bq(j))*parent_2(j));
    if child_1(j) > u_limit(j)
        child_1(j) = u_limit(j);
    elseif child_1(j) < l_limit(j)
        child_1(j) = l_limit(j);
    end
    if child_2(j) > u_limit(j)
        child_2(j) = u_limit(j);
    elseif child_2(j) < l_limit(j)
        child_2(j) = l_limit(j);
    end
end
child_1(:,V + 1: M + V) = evaluate_objective(child_1, M, V);
child_2(:,V + 1: M + V) = evaluate_objective(child_2, M, V);
was_crossover = 1;
was_mutation = 0;
parent_3 = round(N*rand(1));
if parent_3 < 1
   parent_3 = 1;
end
child_3 = parent_chromosome(parent_3,:);
for j = 1 : V
  r(j) = rand(1);
  if r(j) < 0.5
     delta(j) = (2*r(j))^(1/(mum+1)) - 1;
  else
     delta(j) = 1 - (2*(1 - r(j)))^(1/(mum+1));
  end

  child_3(j) = child_3(j) + delta(j);
  if child_3(j) > u_limit(j)
     child_3(j) = u_limit(j);
  elseif child_3(j) < l_limit(j)
     child_3(j) = l_limit(j);
  end
end

child_3(:,V + 1: M + V) = evaluate_objective(child_3, M, V);
was_mutation = 1;
was_crossover = 0;
```

```
    end
    if was_crossover
        child(p,:) = child_1;
        child(p+1,:) = child_2;
        was_cossover = 0;
        p = p + 2;
    elseif was_mutation
        child(p,:) = child_3(1,1 : M + V);
        was_mutation = 0;
        p = p + 1;
    end
end
f = child;
function f = initialize_variables(N, M, V, min_range, max_range)
min = min_range;
max = max_range;
 K = M + V;
for i = 1 : N
    for j = 1 : V
        f(i,j) = min(j) + (max(j) - min(j))*rand(1);
    end
      f(i,V + 1: K) = evaluate_objective(f(i,:), M, V);
end

function f = non_domination_sort_mod(x, M, V)
 [N, m] = size(x);
clear m
front = 1;
F(front).f = [];
individual = [];
 for i = 1 : N
    individual(i).n = 0;
    individual(i).p = [];
    for j = 1 : N
        dom_less = 0;
        dom_equal = 0;
        dom_more = 0;
        for k = 1 : M
            if (x(i,V + k) < x(j,V + k))
                dom_less = dom_less + 1;
            elseif (x(i,V + k) == x(j,V + k))
                dom_equal = dom_equal + 1;
            else
                dom_more = dom_more + 1;
            end
        end
        if dom_less == 0 && dom_equal ~= M
```

```
            individual(i).n = individual(i).n + 1;
        elseif dom_more == 0 && dom_equal ~= M
            individual(i).p = [individual(i).p j];
        end
    end
    if individual(i).n == 0
        x(i,M + V + 1) = 1;
        F(front).f = [F(front).f i];
    end
end
while ~isempty(F(front).f)
    Q = [];
    for i = 1 : length(F(front).f)
        if ~isempty(individual(F(front).f(i)).p)
            for j = 1 : length(individual(F(front).f(i)).p)
                individual(individual(F(front).f(i)).p(j)).n = ...
                    individual(individual(F(front).f(i)).p(j)).n - 1;
                if individual(individual(F(front).f(i)).p(j)).n == 0
                    x(individual(F(front).f(i)).p(j),M + V + 1) = ...
                        front + 1;
                    Q = [Q individual(F(front).f(i)).p(j)];
                end
            end
        end
    end
    front =  front + 1;
    F(front).f = Q;
end

[temp,index_of_fronts] = sort(x(:,M + V + 1));
for i = 1 : length(index_of_fronts)
    sorted_based_on_front(i,:) = x(index_of_fronts(i),:);
end
current_index = 0;
for front = 1 : (length(F) - 1)
    distance = 0;
    y = [];
    previous_index = current_index + 1;
    for i = 1 : length(F(front).f)
        y(i,:) = sorted_based_on_front(current_index + i,:);
    end
    current_index = current_index + i;
    sorted_based_on_objective = [];
    for i = 1 : M
        [sorted_based_on_objective, index_of_objectives] = ...
            sort(y(:,V + i));
        sorted_based_on_objective = [];
```

```
        for j = 1 : length(index_of_objectives)
            sorted_based_on_objective(j,:) = y(index_of_objectives(j),:);
        end
        f_max = ...
            sorted_based_on_objective(length(index_of_objectives), V + i);
        f_min = sorted_based_on_objective(1, V + i);
        y(index_of_objectives(length(index_of_objectives)),M + V + 1 + i)...
            = Inf;
        y(index_of_objectives(1),M + V + 1 + i) = Inf;
        for j = 2 : length(index_of_objectives) - 1
            next_obj  = sorted_based_on_objective(j + 1,V + i);
            previous_obj  = sorted_based_on_objective(j - 1,V + i);
            if (f_max - f_min == 0)
                y(index_of_objectives(j),M + V + 1 + i) = Inf;
            else
                y(index_of_objectives(j),M + V + 1 + i) = ...
                    (next_obj - previous_obj)/(f_max - f_min);
            end
        end
    end
    distance = [];
    distance(:,1) = zeros(length(F(front).f),1);
    for i = 1 : M
        distance(:,1) = distance(:,1) + y(:,M + V + 1 + i);
    end
    y(:,M + V + 2) = distance;
    y = y(:,1 : M + V + 2);
    z(previous_index:current_index,:) = y;
end
f = z();



function nsga_2(pop,gen)

if nargin < 2
    error('NSGA-II: enter jumlah populasi dan jumlah generasi sebagi input
argumnet');
end
if isnumeric(pop) == 0 || isnumeric(gen) == 0
    error('jumah populasi dan generasi harus dalam bentuk integer');
end
if pop < 20
    error('jumlah populasi minimal adalah 20');
end
if gen < 5
    error('jumlah generasi minimal adalah 5');
```

```
end
pop = round(pop);
gen = round(gen);
 [M, V, min_range, max_range] = objective_description_function();
chromosome = initialize_variables(pop, M, V, min_range, max_range);
chromosome = non_domination_sort_mod(chromosome, M, V);
for i = 1 : gen
   pool = round(pop/2);
   tour = 2;
   parent_chromosome = tournament_selection(chromosome, pool, tour);
   mu = 20;
   mum = 20;
   offspring_chromosome = ...
      genetic_operator(parent_chromosome, ...
      M, V, mu, mum, min_range, max_range);
   [main_pop,temp] = size(chromosome);
   [offspring_pop,temp] = size(offspring_chromosome);
   clear temp
   intermediate_chromosome(1:main_pop,:) = chromosome;
   intermediate_chromosome(main_pop + 1 : main_pop + offspring_pop,1 :
M+V) = ...
      offspring_chromosome;
   intermediate_chromosome = ...
      non_domination_sort_mod(intermediate_chromosome, M, V);
   chromosome = replace_chromosome(intermediate_chromosome, M, V, pop);
   if ~mod(i,100)
      clc
      fprintf('%d generasi selesai\n',i);
   end
end
save solution.txt chromosome -ASCII
.
if M == 2
   plot(chromosome(:,V + 1),chromosome(:,V + 2),'*');
elseif M ==3
   plot3(chromosome(:,V + 1),chromosome(:,V + 2),chromosome(:,V + 3),'*');
end

function [number_of_objectives, number_of_decision_variables,
min_range_of_decesion_variable, max_range_of_decesion_variable] =
objective_description_function()
g = sprintf('masukkan jumlah objective function: ');
number_of_objectives = input(g);
if number_of_objectives < 2
   error('jumlah minimum objective function adalah 2');
end
g = sprintf('\nInput jumlah variabel decision: ');
```

```
number_of_decision_variables = input(g);
clc
for i = 1 : number_of_decision_variables
   clc
   g = sprintf('\nInput nilai minimum variabel decision %d : ', i);
   min_range_of_decesion_variable(i) = input(g);
   g = sprintf('\nInput nilai maksimum variabel decision %d : ', i);
   max_range_of_decesion_variable(i) = input(g);
   clc
end
g = sprintf('\n edit fungsi dengan nama sesuai tujuan. \n tekan"c" dan enter untuk
melanjutkan... ');
x = input(g, 's');
if isempty(x)
   x = 'x';
end
while x ~= 'c'
   clc
   x = input(g, 's');
   if isempty(x)
      x = 'x';
   end
end

function f  = replace_chromosome(intermediate_chromosome, M, V,pop)

[N, m] = size(intermediate_chromosome);

 [temp,index] = sort(intermediate_chromosome(:,M + V + 1));

clear temp m

for i = 1 : N
   sorted_chromosome(i,:) = intermediate_chromosome(index(i),:);
end
max_rank = max(intermediate_chromosome(:,M + V + 1));

previous_index = 0;
for i = 1 : max_rank
      current_index = max(find(sorted_chromosome(:,M + V + 1) == i));
   if current_index > pop
      remaining = pop - previous_index;
      temp_pop = ...
         sorted_chromosome(previous_index + 1 : current_index, :);
      [temp_sort,temp_sort_index] = ...
         sort(temp_pop(:, M + V + 2),'descend');
      for j = 1 : remaining
```

```
        f(previous_index + j,:) = temp_pop(temp_sort_index(j),:);
      end
      return;
   elseif current_index < pop
      f(previous_index + 1 : current_index, :) = ...
         sorted_chromosome(previous_index + 1 : current_index, :);
   else
      f(previous_index + 1 : current_index, :) = ...
         sorted_chromosome(previous_index + 1 : current_index, :);
      return;
   end
   previous_index = current_index;
end

function f = tournament_selection(chromosome, pool_size, tour_size)
[pop, variables] = size(chromosome);
rank = variables - 1;
distance = variables;
for i = 1 : pool_size
   for j = 1 : tour_size
      candidate(j) = round(pop*rand(1));
      if candidate(j) == 0
         candidate(j) = 1;
      end
      if j > 1
         while ~isempty(find(candidate(1 : j - 1) == candidate(j)))
            candidate(j) = round(pop*rand(1));
            if candidate(j) == 0
               candidate(j) = 1;
            end
         end
      end
   end
   for j = 1 : tour_size
      c_obj_rank(j) = chromosome(candidate(j),rank);
      c_obj_distance(j) = chromosome(candidate(j),distance);
   end
   min_candidate = ...
      find(c_obj_rank == min(c_obj_rank));
   if length(min_candidate) ~= 1
      max_candidate = ...
      find(c_obj_distance(min_candidate) ==
max(c_obj_distance(min_candidate)));
      if length(max_candidate) ~= 1
         max_candidate = max_candidate(1);
      end
      f(i,:) = chromosome(candidate(min_candidate(max_candidate)),:);
```

```
    else

      f(i,:) = chromosome(candidate(min_candidate(1)),:);
    end
end
```

I. Perhitungan Biaya Hasil Optimisasi

Tabel I.1 Perhitungan Biaya Hasil Optimisasi

Component	R(t)	t	N	COP (USD)
PT 105	0,77	12789	3	92,39
PT 106	0,85	11369	4	114,24
PT 107	0,85	11369	4	114,24
PT 108	0,85	11369	4	114,24
LV 101	0,93	808	54	14.604,87
PDV 106	0,71	5458	8	1.649,66
PCV 127	0,71	4526	10	2.004,44
AT 112	0,78	2473	18	254,57
TOTAL				18.948,66

J. Surat Keterangan Pengambilan Data di PT.SIPL

SURAT KETERANGAN SELESAI PENELITIAN TA
Ref. No.062/SIPL/PKH-HR/VII-20

Kepada Yth:
Kepala Departemen Teknik Fisika
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Dengan hormat,

Sehubungan dengan kegiatan penelitian Tugas Akhir (TA) di Onshore Processing Facility Saka Indonesia Pangkah Ltd Gresik.

Dengan ini kami beritahukan bahwa, nama mahasiswa/i di bawah ini telah selesai menjalani penelitian Tugas Akhir (TA) untuk periode dari 1 April -31 juni 2020

No	Nama Praktikan	NIM
1	Nor Indayu	0231 1640 0000 74

Mentor yang mendampingi praktikan selama kegiatan tersebut adalah :

Nama : **Nanda D. Pratama**
Jabatan : **Instrument Technician**

Selama dalam periode kegiatan penelitian Tugas Akhir (TA) tersebut, praktikan telah mengikuti peraturan yang berlaku di perusahaan, berperilaku yang baik, memiliki spirit dan motivasi yang tinggi dalam menyelesaikan tugas-tugasnya.

Demikian surat pemberitahuan ini kami sampaikan, semoga dapat diterima dengan baik.

Gresik, 27 Juli 2020
Saka Indonesia Pangkah Ltd

Wignyo Suwanda
HR Site Supervisor

Saka Indonesia Pangkah Limited
The Energy, 11th-12th Floor, SCBD Lot 11A
Jl. Jend. Sudirman Kav. 52-53
Jakarta 12190, Indonesia
Phone : +6221 2995 1000
Fax : +6221 2995 1001
www.sakaenergi.co.id

BIODATA PENULIS

Penulis bernama lengkap Nor Indayu yang akrab disapa Indayu. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara, terlahir di kota Gresik pada tanggal 22 November 1998. Penulis menempuh pendidikan di MI Al Fattah 2 Ujungpangkah Gresik lulus tahun 2010, MTS Al Fattah Ujungpangkah Gresik lulus tahun 2013, dan SMAN 1 Gresik lulus tahun 2016. Pendidikan sarjana ditempuh di Departemen Teknik Fisika ITS mulai tahun 2016. Selama aktif menjadi mahasiswa, penulis bergabung dalam organisasi kemahasiswaan BEM FTI ITS selama periode 2017-2018 sebagai Staff Departemen Kewirausahaan. Pengalaman *internship program* selama 2 bulan di PT. Badak NGL Bontang, Kalimantan Timur pada bulan 1 Juli sampai dengan 31 Agustus 2019. Bidang minat penulis dalam mengerjakan tugas akhir adalah instrumentasi dan kontrol dengan konsentrasi *reliability and safety*. Penulis dapat dihubungi di norindayu98@gmail.com.