



TUGAS AKHIR - KS 184822

**ANALISIS RELIABILITAS MESIN *TUBE SETTLER* PADA
UNIT *CLEARATOR* IPAM KARANG PILANG III
SURABAYA DENGAN POWER LAW PROCESS**

**YOLAN SETYO UTOMO
NRP 062115 4000 0009**

**Dosen Pembimbing
Ni Luh Putu Satyaning P. Paramitha, S.Si., M.Sc.
Dr. Muhammad Mashuri, M.T.**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019**



TUGAS AKHIR - KS 184822

**ANALISIS RELIABILITAS MESIN *TUBE SETTLER* PADA
UNIT *CLEARATOR* IPAM KARANG PILANG III
SURABAYA DENGAN POWER LAW PROCESS**

**YOLAN SETYO UTOMO
NRP 062115 4000 0009**

**Dosen Pembimbing
Ni Luh Putu Satyaning P. Paramitha, S.Si., M.Sc.
Dr. Muhammad Mashuri, M.T.**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - KS 184822

**RELIABILITY OF *TUBE SETTLER* MACHINE UNIT
CLEARATOR IN IPAM KARANG PILANG III SURABAYA
BY USING POWER LAW PROCESS**

**YOLAN SETYO UTOMO
NRP 062115 4000 0009**

Supervisors

**Ni Luh Putu Satyaning P. Paramitha, S.Si., M.Sc.
Dr. Muhammad Mashuri, M.T.**

**UNDERGRADUATE PROGRAMME
DEPARTMENT OF STATISTICS
FACULTY OF MATHEMATICS, COMPUTING, AND DATA SCIENCE
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS RELIABILITAS MESIN *TUBE SETTLER* UNIT *CLEARATOR* IPAM KARANG PILANG III SURABAYA DENGAN POWER LAW PROCESS

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Statistika
pada
Program Studi Sarjana Departemen Statistika
Fakultas Matematika, Komputasi, dan Sains Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
Yolan Setyo Utomo
NRP. 062115 4000 0009

Disetujui oleh Pembimbing:

Ni Luh Putu Satyaning P. Paramitha, S.Si., M.Sc.
NIP. 1991201712036 ()
Dr. Muhammad Mashuri, M.T.
NIP. 19620408 198701 1 001 ()



Mengetahui,
Kepala Departemen


Dr. Suhartono
NIP. 19710929 199512 1 001

SURABAYA, JULI 2019

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISIS RELIABILITAS MESIN *TUBE SETTLER* UNIT
CLEARATOR IPAM KARANG PILANG III SURABAYA
DENGAN POWER LAW PROCESS**

Nama Mahasiswa : Yolani Setyo Utomo
NRP : 062115 4000 0009
Departemen : Statistika-FMKSD-ITS
Dosen Pembimbing : Ni Luh P. Satyaning P. P., S.Si., M.Sc.
Dr. Muhammad Mashuri, M.T.

Abstrak

Penyediaan air bersih harus dilakukan dengan tepat, karena air sangat penting bagi semua hal kelangsungan kehidupan manusia. Target pencapaian air bersih di Indonesia masih di bawah target yang ditentukan pada tahun 2018. Tingkat penggunaan air masyarakat Surabaya terbesar di Indonesia pada tahun 2017. Produksi air terbesar berada pada IPAM di Karang Pilang III dengan kapasitas sebesar 2400 liter/detik tahun 2016. Proses penjernihan air yang dilakukan yaitu pada aerator, bak prasedimentasi, clearator dan filtrasi. Proses pada unit clearator sangat penting karena output yang dihasilkan sudah berupa air bersih hasil olahan dengan mesin utama pada tube settler. Dalam memenuhi pencapaian tersebut, maka dibutuhkan mesin yang baik yaitu hasil maksimal dan frekuensi kerusakan minimal dengan pemeliharaan yang baik. Evaluasi untuk peningkatan performance mesin dengan penentuan waktu optimum pemeliharaan dengan biaya minimal, maka dilakukan penelitian menggunakan Analisis Reliabilitas dengan metode Power Law Process. Hasil penelitian didapatkan bahwa penentuan waktu optimum perbaikan yang dilakukan mesin tube settler pada unit clearator adalah saat mesin telah beroperasi 746 jam dengan estimasi biaya minimum sebesar Rp 67.537,85.

Kata Kunci: *Mesin Tube Settler, Unit Clearator, Analisis Reliabilitas, Power Law Process*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

RELIABILITY OF WATER FILTERING MACHINE (CLEARATOR) IN IPAM KARANG PILANG III SURABAYA BY USING POWER LAW PROCESS

Name : Yolán Setyo Utomo
Student Number : 062115 4000 0009
Department : Statistics-FMKSD-ITS
Supervisor : Ni Luh P. Satyaning P. P., S.Si., M.Sc.
Dr. Muhammad Mashuri, M.T.

Abstract

The supplies of clean water must be done appropriately, because water is very important for all aspects of human living. Clean water's achievement target in Indonesia is still below the target which is set in 2018. In Indonesia, the highest level of water used is located in Surabaya. The largest water production is in IPAM Karang Pilang III by 2400 liters / second in 2016. The water purification process that is carried out into aerator, pre-sedimentation tank, clearator and filtration. The process on the clearator unit is very important because the output is already in the form of clean water processed by main engine in the tube settler. In order to accomplished these achievements, so a good machine is needed that produce maximum results and minimal frequency of defect with good maintenance. Evaluation for improving engine performance by determining the optimum maintenance time with minimal costs, then conducted research using Reliability Analysis with the Power Law Process method. The results of research get the optimum repair time performed by tube settler machines on the clearator unit when the engine was operating 746 hours with an minimum cost estimation of 67,537.85 rupias.

Keywords: *Tube Settler Machine, Unit Clearator, Preventive Maintenance, Reliability Analysis, Power Law Process*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas segala berkat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Reliabilitas Mesin Tube Settler Unit Clearator IPAM Karang Pilang III Surabaya dengan Power Law Process**“ dengan lancar.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini dapat terselesaikan tidak terlepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ni Luh Putu Satyaning P. Paramitha, S.Si., M.Sc. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir dalam memberikan bimbingan selama penyusunan Tugas Akhir.
2. Dr. Muhammad Mashuri, M.T. *co*-pembimbing yang telah memberikan ilmu baru mengenai kasus Tugas Akhir.
3. Drs. Haryono, M.Sc. dan Dr. Jerry Dwi Trijoyo Purnomo, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji yang telah banyak memberi masukan kepada penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir.
4. Dr. Suhartono selaku ketua Departemen Statistika dan Dr. Santi Wulan Pernami, S.Si., M.Si. selaku Ketua Program Studi S1 Statistika ITS. Serta Dra. Wiwiek Setya Winahju, M.S. selaku dosen wali atas dukungan yang diberikan selama proses perkuliahan.
5. Pak Suwarno selaku pembimbing lapangan di sektor mekanikal dan pompa IPAM Karang Pilang III.
6. Seluruh dosen dan *staff* pengajar Program Studi Sarjana Departemen Statistika FMKSD ITS yang telah membantu penulis selama proses perkuliahan.
7. Kedua orang tua dan Kakak yang telah memberikan dukungan dan doa dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Teman-teman : Habib Jazuli, Syihab Hidayatullah, Wildan Haryanto, Brama Diwangkara, Ilham Raka, Hakimul Wafda dan Fajar Muzaki yang telah membantu dan memberikan masukan dalam penulisan Tugas Akhir ini.

9. Teman-teman Statistika ITS angkatan 2015, Vivacious, yang selalu memberikan dukungan kepada penulis selama ini.
10. Semua pihak yang turut membantu dalam pelaksanaan Tugas Akhir yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Besar harapan penulis untuk mendapatkan kritik dan saran yang membangun sehingga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang terkait.

Surabaya, Juni 2019

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

LEMBAR PENGESAHAN	v
Abstrak	vii
Abstract	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	5
1.5 Batasan Masalah	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Reliabilitas	7
2.2 <i>Maintainability</i>	7
2.3 <i>Stochastic Point Process</i>	8
2.3.1 <i>Renewal Proces</i>	8
2.4 <i>Poisson Process</i>	8
2.4.1 <i>Homogeneous Poisson Process (HPP)</i>	9
2.4.2 <i>Non Homogeneous Poisson Process (NHPP)</i>	9
2.5 <i>Power Law Process</i>	10
2.6 <i>Time Truncated Data</i>	11
2.7 Estimasi Parameter	11
2.8 <i>Goodness of Fit Test</i>	14
2.9 Pengujian Kesamaan <i>Trend</i> Laju Kerusakan	15
2.10 Estimasi Parameter Sistem Identik	15

2.11 Model Optimasi	17
2.12 Mesin <i>Tube Settler</i> pada Unit <i>Clearator</i>	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Sumber Data.....	21
3.2 Variabel Penelitian	21
3.3 Langkah-langkah Analisis	22
3.4 Diagram Alir	23
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Karakteristik Data <i>Lifetime</i> Mesin <i>Tube Settler</i> pada Unit <i>Clearator</i> 3 dan 4	25
4.2 Estimasi Parameter Mesin <i>Tube Settler</i> pada Unit <i>Cleara-</i> <i>Tor</i>	27
4.3 Pengujian <i>Goodness of Fit</i>	28
4.4 Pengujian Kesamaan <i>Trend Laju</i> Kerusakan Mesin <i>Tube</i> <i>Settler</i> pada Unit <i>Clearator</i>	29
4.5 Estimasi Parameter Sistem Identik	30
4.6 Nilai <i>Cost of Failure</i> (C_f) dan <i>Cost of Preventive</i> (C_p)	31
4.7 Model Optimum	32
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	35
5.1 Kesimpulan	35
5.2 Saran	35
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN	39

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Mesin pada Unit <i>clearator</i> IPAM Karang Pilang III	19
Gambar 2.2 Mesin <i>Tube Settler Clearator</i> IPAM Karang Pilang III	20
Gambar 3.1 Diagram Alir	23
Gambar 4.1 Plot Banyak Kerusakan (N) dengan Kumulatif <i>Lifetime</i> (t) Mesin <i>Tube Settler</i> pada Unit <i>Clearator</i> 3 (merah) dan 4 (biru)	26
Gambar 4.2 ROCOF Mesin <i>Tube Settler</i> pada Uni <i>Clearator</i>	31
Gambar 4.3 Grafik Estimasi Biaya Perbaikan Mesin <i>Tube Settler</i>	31

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Struktur Data Waktu Kerusakan Mesin <i>Tube Settler</i> <i>Clearator</i>	21
Tabel 4.1 Karakteristik Data <i>Lifetime</i> Mesin <i>Tube Settler</i> pada Unit <i>Clearator</i> 3 dan 4.....	26
Tabel 4.2 Estimasi Parameter Mesin <i>Tube Settler</i> pada Unit <i>Clearator</i> 3 dan 4	27
Tabel 4.3 Nilai <i>Unbiased Conditional MLE</i>	28
Tabel 4.4 Pengujian <i>Cramer-von Mises</i>	29
Tabel 4.5 Nilai <i>ROCOF</i> Mesin <i>Tube Settler</i> pada Unit <i>Cleara-</i> <i>tor</i>	30
Tabel 4.6 Nilai <i>Cost of Preventive</i>	31
Tabel 4.7 Nilai <i>Cost of Failure</i>	32
Tabel 4.8 Estimasi Biaya (Rp) Pemeliharaan Mesin <i>Tube Se-</i> <i>ttler</i>	32

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1A. Data <i>Lifetime</i> atau Usia Pakai <i>Tube Settler</i> 3 ..	39
Lampiran 1B. Data <i>Lifetime</i> atau Usia Pakai <i>Tube Settler</i> 4 ..	39
Lampiran 2A. Estimasi Parameter Mesin <i>Tube Settler</i> 4.....	40
Lampiran 2B. Estimasi Parameter Mesin <i>Tube Settler</i> 3	41
Lampiran 3A. Perhitungan <i>Cramer-von Mises</i> Mesin <i>Tube Settler</i> 4	42
Lampiran 3B. Perhitungan <i>Cramer-von Mises</i> Mesin <i>Tube Settler</i> 3	43
Lampiran 4. Perhitungan Statistik Uji Persamaan <i>Trend</i>	44
Lampiran 5. Estimasi Parameter Sistem Identik	44
Lampiran 6. Perhitungan <i>Rate of Occurance of Failure</i> (RO-COF) Sistem Identik	45
Lampiran 7. Perhitungan Estimasi Biaya (Rp) Pemeliharaan Mesin <i>Tube Settler</i> pada Unit <i>Clearator</i>	47
Lampiran 8. Syntax Plot Data <i>Lifetime</i> Mesin <i>Tube Settler</i> pada Unit <i>Clearator</i> 3 dan 4 (R)	48
Lampiran 9. Syntax Plot ROCOF Mesin <i>Tube Settler</i> pada Unit <i>Clearator</i> (R)	48
Lampiran 10. Syntax Optimasi Waktu dan Biaya Mesin <i>Tube Settler</i> pada Unit <i>Clearator</i> (R)	
Lampiran 11. Surat Permohonan Data <i>Lifetime</i> Mesin <i>Tube Settler</i> pada Unit <i>Clearator</i> IPAM Karang Pilang III	50
Lampiran 12. Surat Pernyataan Data <i>Lifetime</i> Mesin <i>Tube Settler</i> pada Unit <i>Clearator</i> IPAM Karang Pilang III	51

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan kebutuhan utama yang sangat penting bagi kelangsungan hidup manusia. Oleh karena itu faktor penyediaan air bersih sangat penting untuk diperhatikan sebagai penentu kesehatan serta kesejahteraan masyarakat. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), pencapaian air bersih yang layak di Indonesia sebesar 72,55 persen pada tahun 2018 di bawah target *Sustainable Development Goals* (SDGs) sebesar 100 persen. Di Indonesia, kota Surabaya memiliki tingkat penggunaan air masyarakat yang terbesar dengan penggunaan antara 180-200 liter/hari tiap orang melebihi rata-rata nasional sebesar 120 liter/hari tiap orang pada tahun 2017. Informasi data PDAM Surya Sembada Surabaya jumlah pelanggan dari tahun ke tahun terus meningkat dari total tahun 2012 mencapai 485.169 hingga tahun 2016 mencapai 547.819. Peningkatan kebutuhan tersebut, membuat PDAM Surabaya meningkatkan kapasitas produksi maupun kualitas air.

Pada data PDAM Surya Sembada Surabaya tahun 2016, bahwa 60% kebutuhan air bersih di Surabaya diproduksi oleh tiga Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) di Karang Pilang sebesar 5000 liter/detik dengan kapasitas terbesar pada IPAM Karang Pilang III sebesar 2400 liter/detik. Pengolahan air baku menjadi air bersih di Karang Pilang III melalui beberapa tahap yaitu pada aerator, bak prasedimentasi, *clearator* dan filtrasi. Air dari sungai (air baku) yang ditangkap oleh *intake* besar (pompa produksi) disalurkan ke aerator untuk dilakukan penambahan oksigen ke air agar substansi menjadi suatu oksida. Kandungan besi dan mangan dalam air teroksidasi membentuk ion yang tidak larut pada tingkat yang cukup besar, sehingga dapat mengendap setelah proses aerasi. Prinsip aerasi yang digunakan pada PDAM Karang Pilang III adalah memancarkan air ke atas pada *stage – stage*, kemudian ketika air jatuh pada ketinggian tertentu terdapat oksigen yang

masuk. Selanjutnya air ditampung dalam bak prasedimentasi untuk mengendapkan partikel diskrit seperti pasir, lempung dan zat lainnya secara gravitasi. Ketika air menuju ke *tube settler clearator*, dilakukan *chemical injection* atau koagulasi yaitu berupa Aluminium Sulfat atau Tawas dengan sistem hidrolisis, tawas ini digunakan sebagai *flocculator* yang berfungsi mengumpulkan kotoran menjadi gumpalan (flok) dalam proses penjernihan air. Kemudian di dalam *clearator*, flok yang terbentuk dipisah dengan air bersih sebagai hasil olahan. Endapan flok-flok dibuang sesuai dengan tingkat ketebalan secara otomatis. Proses yang terjadi pada *clearator* sangat penting, karena *output* yang dihasilkan sudah berupa air bersih sebagai hasil olahan untuk didistribusikan ke pelanggan, meskipun masih melewati tahap filtrasi untuk menyaring flok-flok yang sangat kecil dan desinfeksi berupa klorinasi untuk mematikan organisme pantogen yang berhubungan dengan bakteri, rasa serta bau.

Salah satu faktor yang penting dalam proses produksi yaitu mesin produksi. Dalam melakukan peningkatan kapasitas dan kualitas produk, perusahaan didukung oleh mesin yang baik. Mesin yang baik adalah mesin yang menghasilkan produk dengan kualitas maksimal tetapi jumlah frekuensi kerusakannya minimal (Mobley, Higgins dan Wikkof, 2008). Salah satu mesin pengolahan air bersih atau penjernihan air yang memiliki peran sangat penting adalah pada unit *clearator* dengan mesin utama adalah *tube settler*. Terdapat sejumlah empat unit *clearator* beroperasi pada saat proses pengolahan air bersih, maka *lifetime* (usia mesin) atau waktu mesin dapat beroperasi dengan baik menjadi satu hal yang sangat perlu diperhatikan. Meskipun semua unit *clearator* beroperasi, terdapat sejumlah dua unit *clearator* yang sering mengalami kerusakan yaitu unit *clearator* 3 dan 4. Dalam memenuhi tujuan pencapaian tersebut maka dapat dilakukan pengontrolan terhadap mesin-mesin produksi sehingga apabila terjadi kerusakan, dapat dilakukan dengan *maintenance*.

Maintenance atau pemeliharaan adalah segala kegiatan yang bertujuan untuk menjaga sistem peralatan agar bekerja dengan baik

(Mobley, Higgins dan Wikkof, 2008). Terdapat dua jenis dalam pemeliharaan, yaitu *preventive maintenance* dan *corrective maintenance* (Blischke dan Murthy, 2003). Di tengah terjadinya proses pengolahan air bersih, IPAM Karang Pilang III hanya menerapkan *preventive maintenance* untuk mesin skala besar, maka sering terjadi kerusakan pada tiap mesin di luar *planned preventive maintenance*. Hal tersebut mengakibatkan kegagalan dalam memenuhi target produksi baik kapasitas maupun kualitas serta pengeluaran biaya perbaikan mesin yang tidak efisien. Upaya yang dilakukan didasarkan kepada pengalaman atau hanya sebatas pendugaan tanpa menggunakan pemodelan atau perhitungan dengan metode statistika pada masing-masing mesin. Jadi pada kedua mesin *tube settler* unit *clearator* 3 dan 4 tersebut perlu dilakukan evaluasi dalam peningkatan *performance* mesin dengan melakukan optimasi penentuan waktu perbaikan dengan biaya minimal.

Evaluasi yang bertujuan untuk peningkatan *performance* mesin dapat dilakukan dengan penelitian menggunakan analisis reliabilitas. Reliabilitas merupakan sebuah probabilitas dimana suatu sistem akan menjalankan suatu fungsi untuk periode waktu dan kondisi tertentu (Ebeling, 1997). Penelitian yang sudah dilakukan oleh Qomaruddin, Karnaningrum dan Vanany (2013) tentang “Analisis Resiko *clearator* IPAM Karang Pilang III PDAM Surya Sembada Surabaya” menggunakan metode *fault tree analysis* (FTA) dengan objek mesin yang diteliti sama yaitu *clearator* dengan output faktor yang paling tinggi dalam mempengaruhi penurunan kinerja mesin dengan *Key Performance Indicator* (KPI) yaitu kekeruhan, tetapi penelitian tersebut tidak menghasilkan informasi terkait waktu optimal perbaikan dengan biaya minimal.

Penelitian tentang penentuan waktu optimal perbaikan mesin sudah pernah dilakukan oleh Leung dan Cheng (2000) mengenai penggunaan model *Non Homogeneous Poisson Process* (NHPP) dengan *Power Law Process* pada *life time engine bus* dengan metode *time truncated data* dan *failure truncated data*

dengan hasil bahwa *engine bus* harus diganti pada kerusakan pertama dengan selang waktu 53,03 sampai 60,61 bulan. Penelitian yang serupa tentang penentuan kebijakan waktu optimum yaitu pada perbaikan komponen *Heat Exchanger* (HE) pesawat boeing 737-800 menggunakan metode *Power Law Process* di PT. Garuda *Maintenance Facility* (GMF) oleh Tyas, Haryono dan Aksioma (2016) dengan hasil bahwa perbaikan komponen *Heat Exchanger* sebaiknya dilakukan perbaikan saat komponen telah beroperasi selama 8900 *flight hours* dengan estimasi biaya yang minimum sebesar \$0,1090 per *flight hours*.

Jadi dalam penelitian ini akan menggunakan model *Non-Homogeneous Poisson Process* (NHPP) dengan *Power Law Process* dalam menentukan waktu optimal perbaikan mesin dan biaya kerusakan yang minimal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang yang telah diuraikan di atas, permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana menentukan waktu optimum perbaikan yang tepat dan meminimalkan biaya kerusakan pada mesin *tube settler* pada unit *clearator* 3 dan 4 Instalasi Pengolahan Air Minum Karang Pilang III Surabaya menggunakan analisis reliabilitas dengan metode *Power Law Process*.

1.3 Tujuan

Berdasarkan pada permasalahan atau kasus yang telah diuraikan sebelumnya, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah menentukan waktu optimum perbaikan sebagai langkah *preventive maintenance* pada mesin *tube settler* pada unit *clearator* 3 dan 4 yang tepat. Model optimasi pada waktu optimum perbaikan tersebut dapat digunakan dalam menentukan biaya minimum kerusakan mesin *tube settler* pada unit *clearator* di Instalasi Pengolahan Air Minum Karang Pilang III Surabaya. Jadi jika terjadi kerusakan pada mesin tersebut dapat dicegah dan biaya perbaikan menjadi lebih ekonomis.

1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan bagi unit pemeliharaan mekanikal dan pompa yang berada pada Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Karang Pilang III Surabaya dalam melakukan upaya tindakan *preventive maintenance* untuk mengetahui waktu optimum perbaikan serta biaya minimum kerusakan pada mesin *tube settler* pada unit *clearator* 3 dan 4.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mesin *tube settler* pada unit *clearator* yang digunakan dalam penelitian ini hanya berada pada Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Karang Pilang III karena memiliki jumlah kapasitas air yang terbesar dibandingkan unit pengolahan air minum lain di Surabaya.
2. Penelitian ini hanya menghasilkan informasi terkait waktu optimum perbaikan (*preventive maintenance*) mesin *tube settler* pada unit *clearator* dan biaya minimum pemeliharaan yang tepat, tidak dalam bagaimana cara pemeliharaan mesin tersebut.
3. Total dua mesin *tube settler* pada unit *clearator* 3 dan 4 yang diteliti dari total jumlah empat mesin *tube settler* pada unit *clearator* dengan mempertimbangkan jumlah kerusakan yang terjadi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Reliabilitas

Reliabilitas atau keandalan merupakan suatu probabilitas suatu sistem/komponen dalam menjalankan fungsi dengan baik pada periode waktu tertentu dan dalam kondisi tertentu (Ebeling, 1997). Fungsi reliabilitas adalah fungsi komponen yang berjalan dengan baik dalam satuan waktu (Ridgon dan Basu, 2007).

$$\begin{aligned} R(t) &= 1 - F(t) \\ &= 1 - \int_0^t f(t)dt = \int_t^{\infty} f(t)dt \end{aligned} \quad (2.1)$$

keterangan :

$R(t)$ = Fungsi reliabilitas

$F(t)$ = Fungsi kepadatan kumulatif kerusakan

$f(t)$ = Fungsi kepadatan peluang kerusakan

Laju kerusakan merupakan suatu kecepatan suatu mesin atau komponen menjadi tidak berfungsi per satuan waktu. Secara matematis laju kerusakan $w(t)$ memiliki persamaan sebagai berikut (Ebeling, 1997).

$$w(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.2)$$

2.2 Maintainability

Maintainability merupakan pemeliharaan berupa tindakan perbaikan dalam mencapai keandalan dan ketersediaan mesin yang tinggi (optimal) dengan biaya kerusakan minimal (Ebeling, 1997). Terdapat sejumlah dua tindakan pemeliharaan yaitu *preventive maintenance* dan *corrective maintenance* (Blischke dan Murthy, 2003). *Preventive maintenance* merupakan suatu tindakan yang umumnya memerlukan sistem *shutdown* operasional sistem untuk

meningkatkan *lifetime* atau keandalan dan sudah dijadwalkan dalam melakukan tindakan perbaikan. Jika tingkat kerusakan meningkat, maka tindakan dalam *preventive maintenance* sangat dianjurkan. Sedangkan pada *corrective maintenance* merupakan tindakan perbaikan untuk mengembalikan sistem yang mengalami kerusakan pada keadaan operasional. Tindakan perbaikan ini tidak dilakukan secara terjadwal.

2.3 *Stochastic Point Process*

Random variabel $N(t)$ yang merupakan jumlah kejadian kerusakan yang muncul pada interval waktu $(0, t)$. Proses dari $N(t), t \geq 0$ adalah suatu proses stokastik yang digunakan untuk mengetahui hubungan dari suatu runtutan peristiwa atau proses kejadian yang tidak pasti (Hoyland dan Rausand, 1994).

2.3.1 *Renewal Process*

Renewal process terjadi ketika komponen atau sistem rusak maka mesin dilakukan perbaikan agar kondisi mesin seperti awal sebelum terjadi kerusakan atau seperti kondisi baru (Ridgon dan Basu, 2000). Terdapat dua jenis perbaikan dalam *renewal process* yaitu pada komponen *repairable* yaitu komponen ketika terjadi kerusakan dapat diperbaiki dan komponen *non-repairable* yaitu komponen yang ketika rusak harus diganti dengan komponen yang baru (O'connor, 2012). Pada suatu komponen *repairable* terdapat istilah minimal *repair* yang berarti ketika sistem mengalami kerusakan akan berfungsi kembali setelah perbaikan dilakukan dengan kondisi yang sama dan usia efektif sama pada kejadian terakhir. Asumsi terkait minimal perbaikan mengarah pada model *Non-Homogenous Poisson* (NHPP) yang dianggap terbaik pada *reapirable system* karena dapat digunakan dalam mendeteksi penurunan atau kenaikan sistem (Ridgon dan Basu, 2000).

2.4 *Poisson Process*

Sebuah komponen yang mempunyai tingkat kerusakan konstan (λ) dan rusak secara tiba-tiba maka dilakukan perbaikan atau pergantian. N merupakan jumlah dari kejadian yang muncul pada sebuah kerusakan pada interval waktu $(0, t)$, banyaknya

kerusakan yang mempunyai distribusi *Poisson* dengan Persamaan (2.3) sebagai berikut (Ridgon dan Basu, 2000).

$$P(N=n) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^n}{n!}, n = 0, 1, 2, \dots \quad (2.3)$$

Rata-rata pada jumlah kerusakan dan varians bernilai (λ) . Terdapat dua macam pada *poisson process* yaitu *Homogeneous Poisson Process* (HPP) dan *Non-Homogeneous Poisson Process* (NHPP).

2.4.1 *Homogeneous Poisson Process* (HPP)

Homogeneous Poisson Process (HPP) adalah proses poisson menggunakan fungsi intensitas konstan dengan laju kerusakan independen dan distribusi eksponensial yang parameter *failure rate* bernilai (λ) . (Hoyland dan Rausand, 1994). Penentuan probabilitas jumlah kerusakan waktu ke- t digunakan persamaan sebagai berikut.

$$P(N(t)=n) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t}, n = 0, 1, 2, \dots, \quad (2.4)$$

2.4.2 *Non Homogeneous Poisson Process* (NHPP)

Non-Homogeneous Poisson Process (NHPP) adalah proses poisson dengan menggunakan fungsi intensitas tidak konstan dan laju kerusakan berubah-ubah terhadap waktu. NHPP dapat diaplikasikan pada sistem dengan laju kerusakan yang menurun atau meningkat menggunakan metode statistika yang relevan dan mudah diaplikasikan. Proses kerusakan dengan model NHPP mempunyai pola tertentu dengan jumlah kumulatif hingga waktu ke t adalah $N(t)$ (Crowder dkk., 1991).

Salah satu pendekatan *Non-Homogeneous Poisson Process* (NHPP) adalah proses Weibull, karena *Rate of Occurrence of Failure* (ROCOF) mempunyai suatu fungsi *failure rate* mengikuti pada distribusi Weibull dengan parameter *shape* (β) dan parameter *scale* (λ) . Nilai ROCOF adalah estimasi nilai laju kerusakan pada suatu komponen, jika suatu komponen *repairable* sudah dilakukan pengamatan pada interval $[0, t]$ dengan t dapat ditentukan interval waktunya (*time truncated data*). Jadi ROCOF dapat diaplikasikan

dengan melihat beberapa kerusakan terjadi. *Cumulative intensity* pada NHPP adalah sebagai berikut (Ridgon dan Basu, 2000).

$$W(t) = \int_0^t w(t) dt \quad (2.5)$$

Nilai fungsi laju kerusakan memiliki persamaan berbentuk $w(t) = \left(\frac{\beta}{\lambda}\right) \left(\frac{t}{\lambda}\right)^{\beta-1}$ dengan $\beta > 1$ dan $\lambda > 0$, maka proses tersebut dinamakan *Power Law Proses*. Pada penentuan probabilitas jumlah kerusakan pada interval waktu $[t_1, t_2]$ maka digunakan persamaan sebagai berikut.

$$P \left[W(t_2) - W(t_1) = n = \frac{[W(t_2) - W(t_1)]^n}{n!} e^{-[W(t_2) - W(t_1)]} \right] \quad (2.6)$$

untuk $n=0,1,2,\dots$

Dengan rata-rata jumlah kerusakan pada interval $[t_1, t_2]$ adalah sebagai berikut.

$$E(N(t_2) - N(t_1)) = W(t_2) - W(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} w(t) dt \quad (2.7)$$

2.5 Power Law Process

Power Law Process (PLP) atau model proses Weibull merupakan salah satu model untuk mengecek pada data *Non-Homogeneous Poisson Process* (NHPP) yang dibentuk dari fungsi Weibull dengan persamaan berikut (Ridgon dan Basu, 2000).

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{\lambda} \right)^\beta \right], t > 0 \quad (2.8)$$

t merupakan variabel random dan $R(t)$ dengan fungsi distribusi kumulatif berikut.

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\lambda} \right)^\beta \right], t > 0 \quad (2.9)$$

Jadi didapatkan *probability density function* sebagai berikut.

$$f(t) = F'(t) = \frac{\beta}{\lambda} \left(\frac{t}{\lambda}\right)^{\beta-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{\lambda}\right)^{\beta} \right] \quad (2.10)$$

Persamaan fungsi nilai laju kerusakan atau ROCOF adalah sebagai berikut.

$$w(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\frac{\beta}{\lambda} \left(\frac{t}{\lambda}\right)^{\beta-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{\lambda}\right)^{\beta} \right]}{\exp \left[-\left(\frac{t}{\lambda}\right)^{\beta} \right]} = \frac{\beta}{\lambda} \left(\frac{t}{\lambda}\right)^{\beta-1} \quad (2.11)$$

Parameter β dan λ merupakan parameter yang positif. Pada persamaan (2.11) membuktikan bagaimana sistem menjadi buruk seiring bertambahnya waktu. Apabila $\beta > 1$ maka fungsi intensitas $w(t)$ meningkat, sedangkan $\beta < 1$ maka $w(t)$ akan menurun serta $\beta = 1$ menunjukkan *Power Law Process* menjadi lebih sederhana adalah *homogeneous poisson process* dengan fungsi laju kerusakan $\frac{1}{\lambda}$.

2.6 Time Truncated Data

Time Truncated data terjadi ketika dalam suatu pengamatan berhenti setelah ditentukan waktu ke- T , dengan N_k adalah jumlah kerusakan dari interval waktu $(0, T_k)$ dengan waktu kerusakan $t_{1,k}, t_{2,k}, \dots, t_{N_k,k}$ merupakan *fixed* variabel yang didistribusikan sebagai N_k order statistik dari distribusi Uniform pada interval $(0, T_k)$ (Leung and Cheng, 2000).

2.7 Estimasi Parameter

Maximum Likelihood Estimation (MLE) merupakan metode penaksiran parameter dengan cara memaksimumkan fungsi *likelihood* pada suatu persamaan. Nilai waktu kerusakan $T_1 < T_2 < \dots < T_N < T$, berarti pengamatan waktu kerusakan berhenti setelah

dilakukan penetapan waktu ke- T , sehingga kerusakan ke- N merupakan suatu variabel *random*. Fungsi *density* pada $(N; T_1, \dots, T_N)$ adalah sebagai berikut (Ridgon dan Basu, 2000).

$$f(N; t_1, \dots, t_N) = \begin{cases} f_N(N) f(t_1, \dots, t_N/N), N \geq 1 \\ f_N(0), N = 0 \end{cases} \quad (2.12)$$

N merupakan variabel *random* yang mengikuti distribusi *poisson* dengan nilai rata-rata $\left(\frac{T}{\lambda}\right)^\beta$ sehingga diperoleh persamaan (2.13).

$$f_N(N) = \frac{\left[\left(\frac{T}{\lambda}\right)^\beta\right]^N \exp\left[-\left(\frac{T}{\lambda}\right)^\beta\right]}{N!}, N = 0, 1, 2, \dots \quad (2.14)$$

Diketahui distribusi bersyarat $T_1 < T_2 < \dots < T_N < T$, maka variabel *random* tersebut mempunyai *cumulative density function* (cdf) sebagai berikut.

$$G(y) = \begin{cases} 0, y < 0 \\ \frac{w(y)}{w(t)}, 0 \leq y \leq T \\ 1, y > T \end{cases} \quad (2.15)$$

CDF pada *Power Law Process* dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut.

$$G(y) = \frac{(y/\lambda)^\beta}{(T/\lambda)^\beta} = \left(\frac{y}{T}\right)^\beta \quad (2.16)$$

Nilai *probability density function* (pdf) yaitu $g(y) = \frac{\beta}{T} \left(\frac{t_i}{T}\right)^{\beta-1}$ dengan $0 \leq y \leq T$, maka didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$f(t_1, t_2, \dots, t_N / N) = N! \prod_{i=1}^N G'(t_i) = N! \prod_{i=1}^N \frac{\beta}{T} \left(\frac{t_i}{T} \right)^{\beta-1} \quad (2.17)$$

dengan $0, t_1 < t_1 < t_n < T$. Fungsi kepadatan peluang N dan $T_1 < T_2 < \dots < T_N$ adalah pada persamaan berikut.

$$\begin{aligned} f(N; t_1, \dots, t_N) &= \frac{\left[\left(\frac{T}{\lambda} \right)^\beta \right] \exp \left[- \left(\frac{T}{\lambda} \right)^\beta \right]}{N!} N! \prod_{i=1}^N \frac{\beta}{T} \left(\frac{t_i}{T} \right)^{\beta-1} \\ &= \frac{T^{N\beta}}{\lambda^{N\beta}} \frac{\beta^N}{T^N} \left[\prod_{i=1}^N \left(\frac{t_i}{T} \right) \right]^{\beta-1} \exp \left[- \left(\frac{T}{\lambda} \right)^\beta \right] \\ &= \frac{\beta^N}{\lambda^{N\beta}} \left[\prod_{i=1}^N (t_i) \right]^{\beta-1} \exp \left[- \left(\frac{T}{\lambda} \right)^\beta \right] \end{aligned} \quad (2.18)$$

Dengan $N \geq 1, 0 < t_1 < t_1 < t_N < T$. Jika persamaan (2.16) diubah algoritmanya dalam bentuk log natural sebagai berikut.

$$l(\lambda, \beta | N, T) = N \ln \beta - N \ln \lambda + (\beta - 1) \sum_{i=1}^N \ln(t_i) - N(\beta - 1) \ln \lambda - \left(\frac{T}{\lambda} \right)^\beta \quad (2.19)$$

Jika persamaan (2.19) diturunkan terhadap β dan λ , maka estimasi parameter suatu sistem tunggal ke- k dengan data *time truncated* hasil persamaanya sebagai berikut.

$$\beta_k = \frac{N_k}{\sum_{i=1}^{N_k} \ln \left(\frac{T_k}{t_{i,k}} \right)} \quad (2.20)$$

dan laju kerusakan ke- k

$$\hat{\lambda}_k = \frac{T_k}{N_k^{1/\beta}} \quad (2.21)$$

Dimana N_k merupakan banyaknya kerusakan pada sistem ke- k , $t_{i,k}$ merupakan waktu kerusakan berdasarkan *life time* ke- i , ($i = 1, 2, \dots, N_k$) pada sistem ke- k dan T_k merupakan *time truncated* yang telah ditentukan pada sistem ke- k (Ridgon dan Basu, 2000).

2.8 Goodness of Fit Test

Kecukupan model pada *Power Law Process* (PLP) dapat diuji menggunakan *goodness of fit* untuk mengetahui model sudah sesuai atau tidak. Pengujian ini menggunakan metode *Cramer-von Misses Test* untuk menguji apakah waktu kerusakan dari *repairable system* mengikuti *Non-Homogeneous Poisson Process* (NHPP)

dengan nilai ROCOF sebesar $\frac{\beta}{\lambda} \left(\frac{t}{\lambda} \right)^{\beta-1}$. Hipotesis yang digunakan pada tahap ini adalah sebagai berikut (Crow, 1975).

H_0 : $\beta \neq 1$ (Waktu kerusakan untuk mesin ke- k mengikuti NHPP dengan konstan ROCOF sebesar $\frac{\beta}{\lambda} \left(\frac{t}{\lambda} \right)^{\beta-1}$)

H_1 : $\beta = 1$ (Waktu kerusakan untuk mesin ke- k mengikuti HPP dengan konstan ROCOF sebesar λ)

Data waktu kerusakan pada interval $[0, T_k]$ dengan data kerusakan mulai 0, dengan $k=1, 2, \dots, k$. Berikut statistik uji *Cramer-von Mises* pada mesin ke- k .

$$C_{R,k}^2 = \frac{1}{12N_k} + \sum_{i=1}^{N_k} \left(Ri,k - \frac{2i-1}{2N_k} \right)^2 \quad (2.22)$$

dengan,

$$Ri,k = \left(\frac{t_{i,k}}{T_k} \right)^{\bar{\beta}_k} \quad (2.23)$$

$$\bar{\beta}_k = \frac{N_k - 1}{N_k} \beta_k \quad (2.24)$$

Dimana $\bar{\beta}_k$ merupakan *unbiased conditional* MLE. Keputusan H_0 ditolak jika nilai $C_{R,k}^2$ lebih kecil dari nilai kritis *Goodness of Fit Cramer Von Mises*. Taraf signifikan yang digunakan adalah 5 persen. Kesimpulan yang dapat diambil adalah waktu kerusakan mesin ke- k mengikuti NHPP dengan konstan

$$\frac{\beta}{\lambda} \left(\frac{t}{\lambda} \right)^{\beta-1} \text{ atau } \beta \neq 1.$$

2.9 Pengujian Kesamaan *Trend* Laju Kerusakan

Pengujian kesamaan *trend* laju kerusakan digunakan untuk mengetahui apakah laju kerusakan dari k mesin memiliki *trend* yang sama pada parameter β . Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut (Ridgon dan Basu, 2000).

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2$$

$$H_1 : \beta_1 \neq \beta_2$$

Statistik uji kesamaan *trend* laju kerusakan pada persamaan berikut.

$$F = \frac{\beta_2}{\beta_1} \quad (2.25)$$

Pada tingkat signifikansi sebesar 0,05, keputusan tolak H_0 jika $F < F_{1-\alpha/2}(2n_1, 2n_2)$ atau $F > F_{\alpha/2}(2n_1, 2n_2)$. Jadi kesimpulan yang diperoleh adalah tidak membentuk pola *trend* yang sama, maka tiap mesin memiliki kebijakan yang berbeda.

2.10 Estimasi Parameter Sistem Identik

Kebijakan yang sama dalam menentukan waktu optimal perbaikan suatu sistem maka asumsi identik dari k sistem harus dapat dibuktikan $t_{i,k}$ merupakan notasi dari waktu kerusakan berdasarkan *lifetime* ke- i pada sistem ke- k yang diamati hingga waktu ke T_k , dimana $T_k > t_{i,Nk}$ untuk data *time truncated*. N_k adalah

jumlah kerusakan yang diamati untuk sistem ke- k . Fungsi *likelihood* dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut (Ridgon dan Basu, 2000).

$$L(\lambda, \beta) = \prod_{k=1}^K \left\{ \left[\prod_{i=1}^{N_k} w(t_{i,k}) \right] e^{[-W(T_k)]} \right\}$$

$$L(\lambda, \beta) = \prod_{k=1}^K \left\{ \left[\prod_{i=1}^{N_k} \frac{\beta}{\lambda} \left(\frac{t_{i,k}}{\lambda} \right)^{\beta-1} \right] e^{[-\left(\frac{T_k}{\lambda}\right)^\beta]} \right\}$$

$$L(\lambda, \beta) = \beta^{\sum_{k=1}^K N_k} \lambda^{-\sum_{k=1}^K N_k} \left(\prod_{k=1}^K \prod_{i=1}^{N_k} t_{i,k} \right)^{\beta-1} e^{[-\sum_{k=1}^K \left(\frac{T_k}{\lambda}\right)^\beta]} \quad (2.26)$$

Persamaan (2.26) dirubah ke dalam bentuk logaritma natural menjadi $l(\lambda, \beta) = \ln L(\lambda, \beta)$. Fungsi ini merupakan *close form* sehingga didapatkan estimasi parameter β dan λ pada persamaan sebagai berikut.

$$\lambda = \left(\frac{\sum_{k=1}^K T_k \beta}{N} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (2.27)$$

dan

$$\beta = \frac{N}{\lambda^{-\beta} \sum_{k=1}^K T_k \beta \ln T_k - \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{N_k} \ln t_{i,k}} \quad (2.28)$$

Jika untuk semua nilai K sistem dengan data *time truncated* yang memiliki $T_{i,k} = T$ maka persamaan (2.27) menjadi.

$$\hat{\lambda} = \left(\frac{KT_k \beta}{N} \right)^{1/\beta} = \left(\frac{K^{1/\beta} T}{N^{1/\beta}} \right) \quad (2.29)$$

Jadi persamaan (2.29) disubstitusikan ke persamaan (2.28) sehingga persamaan menjadi.

$$\beta = \frac{N}{\sum_{k=1}^k \sum_{i=1}^{N_k} \ln \left(\frac{T}{t_{i,k}} \right)} \quad (2.30)$$

2.11 Model Optimasi

Pemeliharaan pada suatu sistem secara teratur berupa perbaikan atau penggantian komponen pada suatu mesin dalam periode waktu kerusakan ke- T . Waktu yang digunakan dalam melakukan perbaikan dan penggantian komponen suatu mesin diasumsikan minimum (Nakagawa dan Kowada, 1983).

Evaluasi dengan model optimasi tersebut, dapat ditentukan biaya setiap kali perbaikan (*preventive cost*) yang merupakan rata-rata biaya yang timbul karena adanya pemeliharaan mesin yang sudah dijadwalkan dan biaya setiap kali kerusakan (*failure cost*) yang merupakan rata-rata biaya yang timbul karena terjadi kerusakan di luar perkiraan menyebabkan sistem produksi terganggu dalam kualitas maupun kuantitas (Yuhelson,dkk., 2010).

Pada Pembuatan jadwal pemeliharaan berupa perbaikan atau penggantian yang optimal untuk setiap komponen mesin sangat diperlukan. Hal tersebut menentukan waktu perbaikan dengan optimal dan biaya yang dikeluarkan minimal. Menurut Yuhelson, dkk., (2010), total biaya optimal pemeliharaan berupa perbaikan atau penggantian komponen setiap mesin per satuan waktu dapat dihitung pada persamaan sebagai berikut.

$$c(t_p) = \frac{c_p \times R(t_p) + c_f \times [1 - R(t_p)]}{T.R(t_p) + \int_0^T t.f(t) dt} \quad (2.31)$$

keterangan :

- c_p = Biaya setiap kali perbaikan
- c_f = Biaya setiap kali kerusakan
- $R(t_p)$ = Fungsi reliabilitas pada waktu ke- t_p
- $f(t)$ = Probabilitas kerusakan pada waktu ke- t
- T = *Time Truncated*

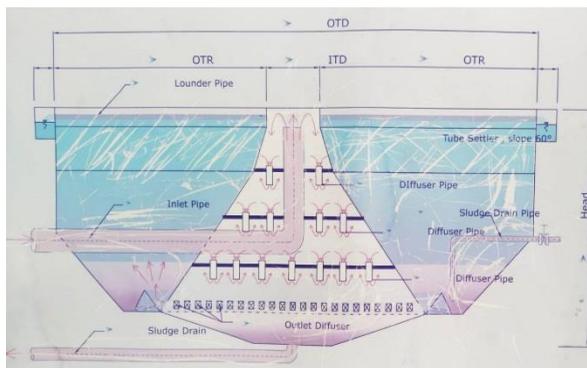
Berdasarkan perhitungan total biaya, dipilih interval waktu pemeliharaan berupa perbaikan atau penggantian yang optimal dengan total biaya minimal.

2.12 Mesin *Tube Settler* pada Unit *Clearator*

Bangunan *clearator* di PDAM Karang Pilang III memiliki dimensi diameter 12 m dan kedalaman 7 m. *clearator* berfungsi sebagai tempat pemisahan antara flok yang bersifat sedimen dengan air bersih sebagai hasil olahan. Hasil *clearator* dilengkapi dengan agitator sebagai pengaduk lambat dan selanjutnya dialirkan ke filter. Endapan flok-flok tersebut kemudian dibuang sesuai dengan tingkat ketebalannya secara otomatis. Mesin yang berada pada Unit tersebut beroperasi selama 24 jam dalam sehari.

Clearator PDAM Karang Pilang III ini terbuat dari beton berbentuk bulat dengan lantai kerucut yang dilengkapi kutub sekat-sekat pemisah untuk proses-proses yaitu pada *primary reaction zone*, *secondary reaction zone*, *return reaction rone*, *clarification reaction zone*, *concentrator*. Di *clearator* terjadi proses koagulasi (proses pencampuran koagulan dan air baku dengan cepat dan merata) menggunakan koagulan tawas dan proses flokulasi (penggumpalan flok-flok yang lebih besar), akibat adanya pengadukan cepat dan pengadukan lambat. Air baku yang mengandung koagulan akan masuk *clearator* melalui *Primary Reaction Zone* yang berada pada bagian tengah *sel secondary*. *Sel secondary* adalah inti dari *clearator* yang terletak pada bagian tengah bangunan tersebut. Di bagian ini terdapat sebuah alat

pengaduk yang disebut *blade agitator*. *Blade agitator* berputar dengan kecepatan lambat sehingga diharapkan akan terjadi proses flokulasi (*Secondary Reaction Zone*). Setelah tawas larut, selanjutnya akan mengikat partikel yang ada di dalam air membentuk partikel-partikel yang lebih besar (flok). Flok-flok ini lalu akan melakukan pengikatan kembali dengan butiran flok lainnya dengan bantuan turbulensi dan bantuan gerakan *blade agitator* tersebut. Flok-flok yang terbentuk akan semakin besar (*sludge*) dan pengaruh gaya gravitasi akan mengendap pada dasar *clearator* (*Return Reaction Zone*). Untuk itu perlu dipertahankan kandungan flok-flok dan *sludge* dalam *clearator* dengan memantau kekeruhan sehingga diharapkan *turbidity* pada air kumpulan (*Clarification Reaction Zone*) dapat serendah mungkin.



Gambar 2.1 Mesin pada Unit *clearator* IPAM Karang Pilang III
 Pada *clearator* dilengkapi dengan *tube settler* yang dipasang miring 60° setebal 2m diatas permukaan air bak. *Tube settler* tersusun atas paket-paket filter yang terbuat dari plastik dimana masing-masing media plastik dengan ketebalan 0,7 cm dan dimensi 20 x 40 cm. *Tube settler* dipasang untuk menyaring *effluent* yang sudah mengalami pengendapan di *clearator* terlebih dahulu. Sehingga sebelum *effluent* tersebut menuju outlet, air dapat menjadi lebih jernih. *clearator* dibagi menjadi 22 sekat dimana setiap sekat dibatasi oleh V notch dan saluran *outlet* yang berfungsi untuk meratakan beban air yang ada pada bak. Pada

clearator juga ditambahkan koagulan lain yaitu PAC sesuai dengan kebutuhan dan kualitas air baku.



Gambar 2.2 Mesin *Tube Settler clearator* IPAM Karang Pilang III

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder dari unit pemeliharaan mekanikal dan pompa di Instalasi Pengolahan Air Minum Karang Pilang III Surabaya. Pada penelitian ini data yang digunakan adalah lama mesin bekerja dengan baik (*lifetime*) dari mesin *tube settler* pada unit *clearator* 3 dan 4. Total selang waktu yang digunakan adalah empat tahun pada kurun waktu Januari 2015 hingga Desember 2018.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah usia mesin beroperasi dengan baik (*lifetime*) dari *clearator* dalam satuan jam. Mesin yang digunakan dalam penelitian berjumlah dua yaitu mesin *tube settler* pada unit *clearator* 3 dan 4. Berikut struktur data yang digunakan dalam penelitian pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Struktur Data Waktu Kerusakan Mesin *Tube Settler* di *Clearator*

Data Kerusakan ke-	Waktu Kerusakan	
	<i>Tube Setter di clearator</i>	<i>Tube Settler di clearator</i>
	3	4
1	$t_{1,3}$	$t_{1,4}$
2	$t_{2,3}$	$t_{2,4}$
3	$t_{2,3}$	$t_{2,3}$
.	.	.
.	.	.
.	.	.
N_k	$t_{i,3}$	$t_{i,4}$

Keterangan :

$i = 1, 2, \dots, N_k$

N_k = Kerusakan ke- N pada mesin *tube settler* ke- k

$t_{i,k}$ = Waktu kerusakan ke- i pada mesin *tube settler* ke- k

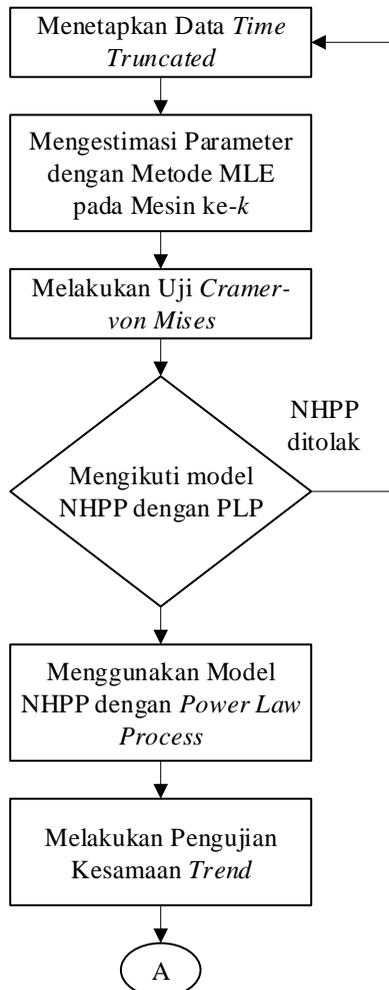
3.3 Langkah-langkah Analisis

Langkah-langkah analisis dalam penelitian ini sebagai berikut.

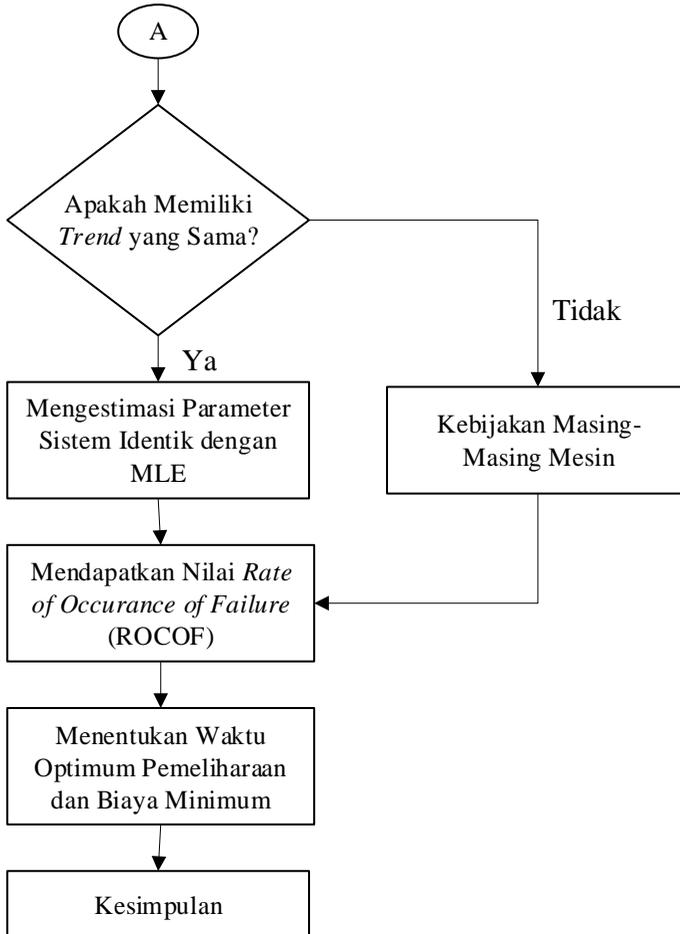
1. Menetapkan *time truncated* untuk pengamatan.
2. Mengumpulkan variabel usia pakai komponen mesin *tube settler* pada unit *clearator* 3 dan 4 di Instalasi Pengolahan Air Minum Karang Pilang III Surabaya.
3. Mendeskripsikan karakteristik data *lifetime* komponen mesin *tube settler* secara visual *plot*.
4. Melakukan estimasi parameter menggunakan *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) untuk parameter β dan λ .
5. Menguji kebaikan model *Power Law Process* mengikuti *Non-Homogeneous Poisson Process* menggunakan *Cramer-von Mises*.
6. Melakukan pengujian kesamaan *trend* pada laju kerusakan mesin untuk mendapatkan satu kebijakan sama dalam menentukan waktu optimum pemeliharaan dengan biaya minimum. Jika *trend* berbeda maka dilakukan analisis masing-masing mesin dengan penerapan yang berbeda.
7. Mendapatkan grafik nilai ROCOF untuk menggambarkan laju kerusakan. Jika pada langkah 6 mendapatkan *trend* yang sama maka dilakukan estimasi parameter menggunakan sistem identik dengan MLE. Sedangkan, jika *trend* tidak sama maka didapatkan nilai ROCOF pada langkah 4.
8. Mendapatkan model optimasi untuk menentukan waktu pemeliharaan optimum dan meminimumkan biaya kerusakan komponen mesin *tube settler*. Menghitung $c(t_p)$ berdasarkan persamaan pada model optimasi.

3.4 Diagram Alir

Diagram alir yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir



Gambar 3.2 (Lanjutan) Diagram Alir

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Mesin *tube setter* pada unit *clearator* 3 dan 4 pada Instalasi Pengolahan Air Minum Karang Pilang III memiliki fungsi yang sama yaitu pada penjernihan air. Sistem kerja mesin *tube settler* yaitu secara independen, maka saat mesin beroperasi tidak mempengaruhi satu sama lain. Ketika salah satu mesin terjadi kerusakan maka mesin lainnya tetap akan dapat beroperasi. Tetapi, kerusakan mesin tersebut akan mempengaruhi jalannya suatu sistem keseluruhan yaitu pada hasil pengolahan yaitu kuantitas dan kualitas air. Mesin *tube settler* merupakan komponen *repairable*, sehingga diperlukan proses perbaikan apabila terjadi kerusakan. Dalam hal ini perbaikan tidak dapat dilakukan secara terus menerus, karena jika sering dilakukan perbaikan maka akan menimbulkan biaya yang dikeluarkan menjadi besar. Jadi dibutuhkan suatu perhitungan waktu optimum dalam melakukan perbaikan pada mesin tersebut dengan biaya yang minimum. Pada penelitian ini digunakan data *time truncated* yaitu sebesar 66300 jam untuk kedua mesin *tube settler* pada unit *clearator* 3 dan 4.

4.1 Karakteristik Data Lifetime Mesin Tube Settler pada Unit Clearator 3 dan 4

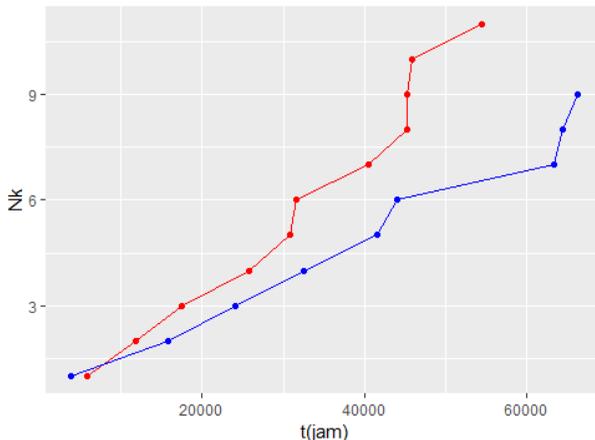
Mesin *tube setter* pada unit *clearator* 3 dan 4 berfungsi sebagai pemisah flok-flok atau gumpalan partikel besar dalam air pada sistem penjernihan. Kedua mesin beroperasi secara independen, sehingga tidak mempengaruhi satu sama lain. Mesin-mesin ini beroperasi terus menerus selama 24 jam dalam sehari. Penelitian ini menggunakan *time truncated* dengan T yang ditetapkan sebesar 66300 jam untuk masing-masing kedua mesin yang berarti pengamatan akan berhenti setelah mesin beroperasi selama 66300 jam. Berdasarkan interval waktu tersebut akan diketahui jumlah kerusakan (N) yang berbeda antara masing-masing kedua mesin, karena nilai N merupakan suatu variabel

random. Karakteristik data *lifetime* pada tiap mesin adalah sebagai berikut pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Karakteristik Data Lifetime Mesin *Tube Setter* pada Unit *Clearator* 3 dan 4

<i>Tube Settler</i>	<i>N</i>	Rata-Rata	Variansi	Minimum	Maksimum
3	11	4532	11191104	48	8800
4	9	7359	34421488	1029	19338

Jumlah kerusakan pada mesin *tube setter* pada unit *clearator* 3 dan 4 dapat diketahui pada Tabel 4.1 sebesar 11 dan 9. Rata-rata *lifetime* (usia pakai) pada mesin *tube settler* 4 lebih lama yaitu sebesar 7359 jam dibandingkan mesin *tube settler* 3 sebesar 4532 jam. Variansi (keragaman) pada mesin *tube settler* 3 lebih kecil dibandingkan mesin *tube settler* 4 yang berarti bahwa *lifetime* mesin *tube settler* 3 cenderung homogen lebih pendek. *Lifetime* mesin *tube settler* 3 terpendek dan terpanjang sebesar 48 jam dan 8800 jam, sedangkan mesin *tube settler* 4 yaitu sebesar 1029 jam dan 19338 jam. Karakteristik kumulatif *lifetime* kedua mesin *tube settler* secara visual dapat diketahui melalui plot sebagai berikut.



Gambar 4.1 Plot Banyak Kerusakan (*N*) dengan Kumulatif *lifetime* (*t*) Mesin *Tube Settler* pada Unit *Clearator* 3 (merah) dan 4 (biru)

Pada Gambar 4.1 menunjukkan plot antara jumlah kerusakan yang terjadi tiap mesin (N) dengan kumulatif *lifetime* mesin (t). Jika *lifetime* atau usia pakai mesin semakin lama menurun maka mengindikasikan bahwa mesin *tube settler* semakin cepat mengalami kerusakan atau disebut *trend* naik pada tingkat laju kerusakan seiring berjalannya waktu. Berdasarkan plot di atas, mesin *tube settler* 4 memiliki titik pengamatan kerusakan yang semakin mendekat seiring berjalannya waktu kecuali pada waktu antar kerusakan 5 dan 6, berarti *lifetime* mesin tersebut mengalami penurunan seiring berjalannya waktu. Hal yang sama berlaku pada mesin *tube settler* 3 yang memiliki titik pengamatan kerusakan yang semakin mendekat seiring berjalannya waktu. Jadi dapat diketahui bahwa kedua mesin *tube settler* 3 dan 4 memiliki laju kerusakan yang naik atau *trend* naik.

4.2 Estimasi Parameter Mesin *Tube Settler* pada Unit *Clearator* 3 dan 4

Estimasi parameter untuk data *lifetime* kedua mesin *tube settler* menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* untuk data *time truncated*. Proses perhitungan untuk nilai parameter β dan λ menggunakan Persamaan (2.20) dan (2.21) sebagai berikut.

Tabel 4.2 Estimasi Parameter Mesin *Tube Settler* pada Unit *Clearator* 3 dan 4

Mesin	λ	β
<i>Clearator</i> 4	9556,05	1,297
<i>Clearator</i> 3	6750,54	1,128

Berdasarkan Tabel 4.2, nilai estimasi parameter β dan λ pada mesin *tube settler* 3 sebesar 1,128 dan 6750,54. Sedangkan untuk nilai parameter β dan pada mesin *tube settler* 4 sebesar 1,297 dan 9556,05. Didapatkan nilai parameter β masing-masing mesin lebih besar dari 1 yang berarti bahwa laju kerusakan mesin tersebut mengalami suatu pola kenaikan seiring berjalannya waktu atau mengindikasikan trend laju kerusakan naik. Hal tersebut sesuai dari

hasil analisis secara visual antara *plot* kumulatif *lifetime* dengan jumlah kerusakan.

4.3 Pengujian *Goodness of Fit*

Pengujian data *lifetime* mesin *tube settler* dalam kesesuaian model *Power Law Process* (PLP) dilakukan dengan pengujian menggunakan *Cramer-von Mises test*. Test tersebut digunakan untuk menguji apakah waktu kerusakan dari kedua mesin *tube settler* mengikuti *Non-Homogeneous Poisson Process* (NHPP) dengan *Rate of Occurance of Failure* (ROCOF) atau tingkat laju kerusakan tidak konstan. Hipotesis *null* yang digunakan adalah data *lifetime* masing-masing mesin mengikuti *Homogeneous Poisson Process* (HPP) dengan konstan *Rate of Occurance of Failure* (ROCOF) sebesar λ . Sebelum dilakukan pengujian menggunakan *Cramer-von Mises test* dilakukan perhitungan *unbiased conditional MLE* dari parameter β dengan simbol $\bar{\beta}$ menggunakan persamaan (2.24). Berikut hasil masing-masing $\bar{\beta}$ dari kedua mesin.

Tabel 4.3 Nilai *Unbiased Conditional MLE*

Mesin	$\bar{\beta}$
<i>Tube Settler 3</i>	1.03
<i>Tube Settler 4</i>	1.153

Hasil perhitungan nilai $\bar{\beta}$ pada tiap mesin digunakan dalam perhitungan nilai statistik uji C_R^2 pada Persamaan (2.22). Hasil nilai statistik uji tersebut lalu dibandingkan dengan nilai kritis pada taraf signifikan (α) sebesar 5% dan masing-masing banyaknya kerusakan (N). Hasil perhitungan C_R^2 pada masing-masing kedua mesin adalah sebagai berikut Pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Pengujian *Cramer-von Mises*

Mesin <i>Tube Settler</i>	C_R^2	N	Nilai Kritis	Keputusan
<i>Clearator 3</i>	0,077	11	0,213	Gagal Tolak H_0
<i>Clearator 4</i>	0,093	9	0,211	Gagal Tolak H_0

Berdasarkan Tabel 4.4, didapatkan nilai statistik uji C_R^2 mesin *tube settler 3* sebesar 0,077 dan *tube settler 4* sebesar 0,093. Pada kedua mesin memiliki nilai statistik uji C_R^2 yang kurang dari masing-masing nilai kritis *Cramer-von Mises* berdasarkan masing-masing nilai N dengan taraf signifikan (α) sebesar 5%. Jadi data *lifetime* mesin *tube settler* pada unit *clearator 3* dan 4 mengikuti *Non-Homogeneous Poisson Process* (NHPP) dengan *Rate of Occurance of Failure* (ROCOF) sebesar $\frac{\beta}{\lambda} \left(\frac{t}{\lambda} \right)^{\beta-1}$ dimana $\beta \neq 1$.

4.4 Pengujian Kesamaan *Trend Laju Kerusakan Mesin Tube Settler* pada Unit *Clearator*

Pengujian kesamaan parameter pada mesin *tube settler 3* dan mesin *tube settler 4* dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat pola *trend* laju kerusakan yang sama. Hal tersebut dilakukan juga untuk mengetahui apakah nilai laju kerusakan kedua mesin tersebut dapat digabung atau tidak. Pengujian ini menggunakan hipotesis *null* kedua mesin memiliki *trend* laju kerusakan yang sama atau $\beta_1 = \beta_2$.

Perhitungan nilai statistik uji F pada Persamaan (2.25) didapatkan nilai sebesar 0,874. Selanjutnya, nilai statistik uji F tersebut dibandingkan dengan nilai kritis $F_{0,975}(18,22) = 2,43$ dan $F_{0,025}(18,22) = 0,4$ dengan taraf signifikan yang digunakan sebesar 5%. Diketahui bahwa nilai statistik uji F berada diantara dari kedua nilai kritis, maka hipotesis *null* gagal ditolak yang berarti bahwa kedua mesin *tube settler 3* dan 4 memiliki *trend* laju kerusakan yang sama atau nilai laju kerusakan kedua mesin tersebut dapat digabung. Oleh karena itu, penerapan satu kebijakan dalam

menentukan waktu optimum perbaikan berdasarkan biaya yang minimum pada kedua mesin *tube settler* 3 dan 4.

4.5 Estimasi Parameter Sistem Identik

Penerapan dalam penentuan kebijakan yang sama pada waktu optimum perbaikan berdasarkan biaya yang minimum kedua mesin *tube settler* dapat diperoleh dari perhitungan estimasi parameter sistem yang identik. Perhitungan estimasi parameter yang identik dapat digunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) dengan Persamaan (2.29) untuk parameter λ dan Persamaan (2.30) untuk parameter β .

Berdasarkan perhitungan estimasi parameter yang identik dihasilkan untuk parameter λ sebesar 9711,06 dan parameter β sebesar 1,19. Diketahui bahwa hasil perhitungan parameter β bernilai lebih dari 1, sehingga tingkat laju kerusakan semakin meningkat seiring berjalannya waktu. Hasil perhitungan estimasi parameter sistem identik dapat digunakan untuk menghitung nilai

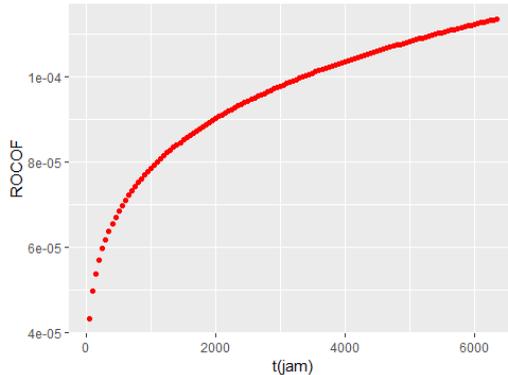
Rate of Occurance of Failure (ROCOF) dengan rumus $\frac{\beta}{\lambda} \left(\frac{t}{\lambda} \right)^{\beta-1}$

yang digunakan untuk mengetahui *trend* laju kerusakan dari gabungan data *lifetime* kedua mesin *tube settler*. Berikut hasil perhitungan nilai ROCOF atau laju kerusakan.

Tabel 4.5 Nilai ROCOF Mesin *Tube Settler* pada Unit *Clearator*

<i>t</i> (jam)	ROCOF
50	4.333E-05
100	4.973E-05
150	5.39E-05
.	.
.	.
.	.
6350	0.0001134

Berdasarkan hasil perhitungan nilai ROCOF pada Tabel 4.5 dapat disajikan dalam visual sebagai berikut pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 ROCOF Mesin *Tube Settler* pada Unit *Clearator*

Diketahui bahwa titik nilai ROCOF semakin meningkat seiring berjalannya waktu yang berarti bahwa laju kerusakan pada kedua mesin tersebut juga semakin meningkat seiring berjalannya waktu seperti pada Gambar 4.2. Peningkatan laju kerusakan tersebut mengindikasikan bahwa kedua mesin tersebut semakin lama akan semakin rusak.

4.6 Nilai *Cost of Failure* C_f dan *Cost of Preventive* C_p

Dalam perhitungan model optimum dibutuhkan dua biaya yaitu *cost of failure* (C_f) dan *cost of preventive* (C_p). Biaya C_f merupakan rata-rata biaya perbaikan jika mesin mengalami kerusakan, sedangkan C_p merupakan rata-rata biaya perbaikan secara terencana. Berikut nilai biaya *cost preventive* berdasarkan informasi dari IPAM Karang Pilang III.

Tabel 4.6 Nilai *Cost of Preventive*

<i>Cost of Preventive</i> C_p		
Jasa	5.300.000/bln atau 7.410/jam(orang)	2 orang x 7.410=15.000
Perawatan Komponen	7.945.000	7.945.000
Total		7.960.000

Biaya perbaikan terencana yang sudah ditetapkan pada Tabel 4.6 oleh perusahaan meliputi biaya jasa dan komponen (mesin). Proses perbaikan dilakukan oleh dua orang dengan masing-masing biaya yaitu Rp 7.410 per jam, maka total biaya dalam jasa sebesar Rp 15.000 per jam. Selanjutnya biaya harga komponen sebesar Rp 7.945.000. Jadi total biaya C_p pada mesin *tube settler* per jam sebesar Rp 7.960.000. Sedangkan berdasarkan informasi yang diperoleh dari IPAM Karang Pilang III pada *cost of failure* (C_f) sebagai berikut.

Tabel 4.7 Nilai *Cost of Failure* C_f

<i>Cost of Failure</i> (C_f)		
Jasa	5.300.000/bln atau 7.410/jam per orang	2(orang)x7.410= 15.000
Komponen	900.000.000	900.000.000
Kehilangan produksi	Total 2160/m ³ (jam) harga 1m ³ =2500	2160m ³ x 2500 5.400.000
Total		Rp 905.415.000

Biaya yang dibutuhkan dalam biaya C_f meliputi biaya jasa, komponen(mesin) dan kehilangan produksi pada Tabel 4.7. Pada biaya jasa untuk C_f memiliki total yang sama dengan *Cost of Preventive* dengan total Rp 15.000. Pada pergantian komponen dengan total biaya Rp 900.000.000. Selanjutnya terdapat biaya kehilangan produksi dengan biaya 2500/m³ air dan total air yang diproduksi tiap jamnya sebesar 2160m³, maka total biaya kehilangan produksi tiap jamnya sebesar Rp 5.400.000. Jadi total biaya C_f yang didapatkan sebesar Rp 905.415.000. Nilai total C_f dan C_p selanjutnya digunakan untuk menghitung biaya perbaikan mesin menggunakan model optimum.

4.7 Model Optimum

Dalam menentukan kebijakan waktu optimum perbaikan kedua mesin *tube settler* 3 dan 4 berdasarkan biaya yang minimum

digunakan model optimasi. Nilai biaya C_f dan C_p digunakan untuk menghitung biaya perbaikan menggunakan model persamaan berikut.

$$c(t_p) = \frac{7960000 \times R(t_p) + 905415000 \times [1 - R(t_p)]}{T \cdot R(t_p) + \int_0^T t \cdot f(t) dt}$$

Penentuan kebijakan dalam perbaikan yang optimum pada mesin *tube settler* dengan meminimalkan persamaan $c(t_p)$. Mesin *tube settler* berupa perbaikan seperti pada Tabel 4.8 berikut.

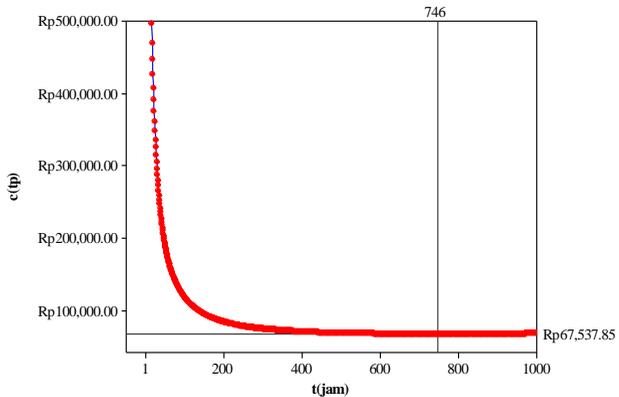
Tabel 4.8 Estimasi Biaya (Rp) Pemeliharaan Mesin Tube Settler

$t(\text{jam})$	$c(t_p)$
1	Rp 7,976,215.13
2	Rp 3,998,497.61
3	Rp 2,673,312.28
⋮	⋮
⋮	⋮
⋮	⋮
746*	Rp 67,537.85
⋮	⋮
⋮	⋮
⋮	⋮
66299	Rp 98,899.30
66300	Rp 98,899.30

Berdasarkan hasil perhitungan estimasi biaya perbaikan mesin pada Tabel 4.8, didapatkan estimasi biaya yang minimum sebesar Rp 67.537,85 per jam setelah mesin beroperasi dengan baik selama 746 jam. Kebijakan tersebut dapat diterapkan pada kedua mesin *tube settler* 3 maupun *tube settler* 4, sehingga perbaikan dilakukan pada waktu yang sama. Berikut merupakan bentuk grafik hasil perhitungan biaya dari persamaan $c(t_p)$ pada Gambar 4.3.

Pada Gambar 4.3 menunjukkan grafik estimasi biaya perbaikan mesin *tube settler* pada unit *clearator*. Berdasarkan

grafik tersebut, biaya minimum perbaikan senilai Rp 67.537,85 setelah mesin beroperasi selama 746 jam. Ketika waktu beroperasi mesin lebih dari 746 jam, biaya perbaikan mengalami kenaikan meskipun tidak terlalu tinggi.



Gambar 4.3 Grafik Estimasi Biaya Perbaikan Mesin *Tube Settler*

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa data *lifetime* pada kedua mesin *tube settler* 3 dan 4 mengikuti *Non-Homogeneous Poisson Process* (NHPP) dengan model *Power Law Process* (PLP). Kebijakan dalam penentuan waktu optimum pemeliharaan mesin *tube settler* dilakukan sekali setelah mesin tersebut beroperasi selama tidak boleh lebih 746 jam atau 31 hari atau satu bulan dengan estimasi biaya sebesar Rp 67.537,85 dengan membutuhkan dua orang tenaga kerja. Hasil penentuan kebijakan ini lebih efektif dan efisien dalam segi biaya serta waktu jika dibandingkan dengan kebijakan yang telah dilakukan oleh perusahaan IPAM Karang Pilang III.

5.2 Saran

Saran bagi perusahaan dari hasil analisis dan pembahasan adalah pada penentuan waktu dalam melakukan perbaikan pada mesin *tube settler* yaitu setelah mesin beroperasi selama 746 jam. Dalam mendukung hasil analisis dengan kasus terkait sebaiknya perusahaan melakukan pencatatan data kerusakan dengan baik serta menambahkan biaya masing-masing ketika terjadi kerusakan. Selain itu, untuk penelitian selanjutnya dalam menentukan waktu batasan dalam penelitian dengan *time truncated* dapat diperpanjang sehingga hasil analisis akan lebih baik dengan data yang lebih banyak.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Adams, T. C. (2019, Februari 25). *Kscddms.ksc.nasa.gov*. Diambil kembali dari John F. Kenedy Space Center: https://kscddms.ksc.nasa.gov/Reliability/Documents/Laplace_Test.pdf.
- Blischke Wallace R., dan Murthy D. N Prabhakar. (2003). *Case Studies in Reliability and Maintenance*. New Jersey: Wiley Interscience.
- Crow, Larry H. (1975). Reliability Analysis for Complex, Repairable Systems. *Army Material Systems Analysis Activity (AMSAA) TR*, Vol. 138, 1-35.
- Crowder , M. J., Kimber, A. C., Smith, R. L., dan Sweeting, T. J. (1991). *Statistical Analysis of Reliability Data*. New York: Chapman dan Hall/CRC.
- Ebeling, C. E. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Singapore: McGraw-Hill Book.
- Hoyland, A., dan Rausand, M. (1994). *System Reliability Engineering Theory*. New York: John Wiley dan Sons .
- Leung, F. K., dan Cheng, A. L. (2000). Determining Replacement Policies for Bus Engines. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 17, 771-783.
- Mobley, K., Higgins, L., dan Wikoff, D. (2008). *Maintenance Engineering Handbook 7th Edition*. New York: McGraw-Hill Companies.
- Nakagawa, T., dan Kowanda, M. (1983). Analysis of A Systems With Minimal Repair And Its Application To Replacement Policy, *European Journal of Operational Research*, Vol. 12, 176-182.
- O'Connor, P. (2012). *Practical Reliability Engineering*. New York: John Wiley dan Sons.
- Ridgon, S. E., dan Basu, A. P. (2000). *Statistical Methods for the Reliability of Repairable Systems*. New York: John Wiley dan Sons.

- Tyas, N. A., Haryono, dan Aksioma, D. F. (2016). Penentuan Kebijakan Waktu Optimum Perbaikan Komponen Heat Exchanger (HE) Pesawat Boeing 737-800 Menggunakan - Metode Power Law Process di PT. Garuda Maintenance Facility (GMF) Aero Asia. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, Vol. 5, No 1, D1-D6.
- Yuhelsom, Syam, B., Sinullingga, S., dan Isranuri, I. (2010). Analisis Reliability dan Availability Mesin Pabrik Kelapa Sawit PT. Perkebunan Nusantara. *Jurnal Dinamis*, Vol. 2, No. 6, 771-783.

LAMPIRAN

Lampiran 1A. Data *Lifetime* atau Usia Pakai *Tube Settler* 3

N	<i>Lifetime</i>	$t_i - t_{i-1}$
1	5903.25	5903.25
2	5724.91	11806.5
3	8243.5	17531.41
4	5063	25774.91
5	804	30837.91
6	8800	31641.91
7	4760	40441.91
8	48	45201.91
9	664	45249.91
10	8598	45913.91
11	1248	54511.91

Lampiran 1B. Data *Lifetime* atau Usia Pakai *Tube Settler* 4

N	<i>Lifetime</i>	$t_i - t_{i-1}$
1	3915.75	3915.75
2	11904.25	15820
3	8303.8	24123.8
4	8423	32546.8
5	9024	41570.8
6	2424	43994.8
7	19338	63332.8
8	1029	64361.8
9	1869	66230.8

Lampiran 2A. Estimasi Parameter Mesin *Tube Settler* 4
 $T=66300$

$N(t)$	t_i	T/t_i	$\ln(T/t_i)$
1	3915.75	16.931622	2.829183
2	15820	4.1908976	1.4329149
3	24123.8	2.7483232	1.010991
4	32546.8	2.0370666	0.7115108
5	41570.8	1.5948695	0.4667919
6	43994.8	1.5069963	0.4101185
7	63332.8	1.0468509	0.0457865
8	64361.8	1.0301141	0.0296696
9	66230.8	1.0010448	0.0010443

$$\beta_1 = \frac{N_1}{\sum_{k=1}^{N_1} \ln \left(\frac{T_1}{t_{i,1}} \right)} = \frac{9}{6,938} = 1,297$$

$$\lambda_1 = \frac{T_1}{N_1^{1/\beta_1}} = \frac{66300}{9^{1/1,29}} = 9556,053$$

Lampiran 2B. Estimasi Parameter Mesin *Tube Settler* 3
 $T=66300$

$N(t)$	T_i	T/t_i	$\ln(T/t_i)$
1	5903.25	11.231102	2.4186869
2	11806.5	5.6155508	1.7255397
3	17531.41	3.7817837	1.3301958
4	25774.91	2.5722689	0.9447884
5	30837.91	2.1499511	0.7654451
6	31641.91	2.0953223	0.7397074
7	40441.91	1.6393884	0.4943233
8	45201.91	1.4667522	0.3830506
9	45249.91	1.4651963	0.3819892
10	45913.91	1.4440068	0.3674218
11	54511.91	1.216248	0.1957707

$$\beta_2 = \frac{N_2}{\sum_{k=1}^{N_2} \ln \left(\frac{T_2}{t_{i,2}} \right)} = \frac{11}{9,74} = 1,128$$

$$\lambda_2 = \frac{T_2}{N_2^{1/\beta_2}} = \frac{66300}{11^{1/1,128}} = 6750,54$$

Lampiran 3A. Perhitungan *Cramer-von Mises* Mesin *Tube Settler*

4

-Unbiased estimator

$$\bar{\beta}_2 = \frac{N_2 - 1}{N_2} \beta_2 = \frac{9-1}{9} 1,29 = 1,153$$

$N(t)$	t_i	$R_{i,2}$	$(2i-1)/2N_2$	$(R_{i,2} - ((2i-1)/2N_2))^2$
1	3915.75	0.0383025	0.0555556	0.0002977
2	15820	0.1916185	0.1666667	0.0006226
3	24123.8	0.3116914	0.2777778	0.0011501
4	32546.8	0.4402465	0.3888889	0.0026376
5	41570.8	0.5837731	0.5	0.0070179
6	43994.8	0.6231958	0.6111111	0.000146
7	63332.8	0.9485744	0.7222222	0.0512353
8	64361.8	0.9663675	0.8333333	0.0176981
9	66230.8	0.9987966	0.9444444	0.0029542

$$C_{R,2}^2 = \frac{1}{12N_2} + \sum_{i=1}^{N_2} \left(R_{i,2} - \frac{2i-1}{2N_2} \right)^2 = \frac{1}{108} + 0,837 = 0,09$$

Lampiran 3B. Perhitungan *Cramer-von Mises* Mesin *Tube Settler*

3

-Unbiased estimator

$$\hat{\beta}_1 = \frac{N_1 - 1}{N_1} \beta_1 = \frac{11-1}{11} 1,128 = 1,025$$

$N(t)$	t_i	$R_{i,1}$	$(2i-1)/2N_1$	$(R_{i,1} - ((2i-1)/2N_1))^2$
1	5903.25	0.083619	0.045455	0.001456499
2	11806.5	0.170274	0.136364	0.001149943
3	17531.41	0.255448	0.227273	0.000793871
4	25774.91	0.379341	0.318182	0.003740432
5	30837.91	0.455974	0.409091	0.002197998
6	31641.91	0.468175	0.5	0.001012859
7	40441.91	0.602204	0.590909	0.000127582
8	45201.91	0.675031	0.681818	4.60649E-05
9	45249.91	0.675767	0.772727	0.00940139
10	45913.91	0.685942	0.863636	0.031575233
11	54511.91	0.818032	0.954545	0.018635946

$$C_{R,1}^2 = \frac{1}{12N_1} + \sum_{i=1}^{N_1} \left(R_{i,1} - \frac{2i-1}{2N_1} \right)^2 = \frac{1}{132} + 0,07 = 0,077$$

Lampiran 4. Perhitungan Statistik Uji Persamaan *Trend*

	Mesin 1 <i>Clearator</i> 4	Mesin 2 <i>Clearator</i> 3
$\hat{\beta}_i$	1,29	1,128
N_i	9	11
Df _i	$2N_1(18)$	$2N_2(22)$

$$F = \frac{\hat{\beta}_2}{\hat{\beta}_1} = \frac{1,128}{1,29} = 0,874$$

Nilai Kritis (excel)

$$F_{0,975(22;18)} = \text{F.INV.RT}(0.975,18,22) = 0,395$$

$$F_{0,025(22;18)} = \text{F.INV.RT}(0.025,18,22) = 2,426$$

Lampiran 5. Estimasi Parameter Sistem Identik

$$\beta = \frac{N}{\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{Nk} \ln \left(\frac{T}{t_{i,k}} \right)} = \frac{20}{16,68} = 1,19$$

$$\lambda = \left(\frac{K/\beta}{N/\beta} = \frac{2^{1/1,19}}{20^{1/1,19}} = 9711,07 \right)$$

Lampiran 6. Perhitungan *Rate of Occurance of Failure* (ROCOF) Sistem Identik

$$w(t) = \frac{\beta}{\lambda} \left(\frac{t}{\lambda} \right)^{\beta-1} = \frac{1,19}{9711,07} \left(\frac{t}{9711,07} \right)^{1,19-1}$$

t(jam)	ROCOF	t(jam)	ROCOF	t(jam)	ROCOF
50	4.3E-05	1200	8.15E-05	2350	9.31E-05
100	5.0E-05	1250	8.21E-05	2400	9.35E-05
150	5.4E-05	1300	8.28E-05	2450	9.39E-05
200	5.7E-05	1350	8.34E-05	2500	9.43E-05
250	6.0E-05	1400	8.4E-05	2550	9.46E-05
300	6.2E-05	1450	8.46E-05	2600	9.5E-05
350	6.4E-05	1500	8.52E-05	2650	9.54E-05
400	6.5E-05	1550	8.57E-05	2700	9.57E-05
450	6.7E-05	1600	8.63E-05	2750	9.61E-05
500	6.8E-05	1650	8.68E-05	2800	9.64E-05
550	7.0E-05	1700	8.73E-05	2850	9.68E-05
600	7.1E-05	1750	8.78E-05	2900	9.71E-05
650	7.2E-05	1800	8.83E-05	2950	9.74E-05
700	7.3E-05	1850	8.88E-05	3000	9.77E-05
750	7.4E-05	1900	8.93E-05	3050	9.81E-05
800	7.5E-05	1950	8.97E-05	3100	9.84E-05
850	7.6E-05	2000	9.02E-05	3150	9.87E-05
900	7.7E-05	2050	9.06E-05	3200	9.9E-05
950	7.8E-05	2100	9.11E-05	3250	9.93E-05
1000	7.9E-05	2150	9.15E-05	3300	9.96E-05
1050	7.9E-05	2200	9.19E-05	3350	9.99E-05
1100	8.0E-05	2250	9.23E-05	3400	0.0001
1150	8.1E-05	2300	9.27E-05	3450	0.0001

<i>t</i>(jam)	ROCOF	<i>t</i>(jam)	ROCOF	<i>t</i>(jam)	ROCOF
3500	0.000101	4650	0.000107	5800	0.000111
3550	0.000101	4700	0.000107	5850	0.000112
3600	0.000101	4750	0.000107	5900	0.000112
3650	0.000102	4800	0.000107	5950	0.000112
3700	0.000102	4850	0.000108	6000	0.000112
3750	0.000102	4900	0.000108	6050	0.000112
3800	0.000102	4950	0.000108	6100	0.000113
3850	0.000103	5000	0.000108	6150	0.000113
3900	0.000103	5050	0.000108	6200	0.000113
3950	0.000103	5100	0.000109	6250	0.000113
4000	0.000103	5150	0.000109	6300	0.000113
4050	0.000104	5200	0.000109	6350	0.000113
4100	0.000104	5250	0.000109		
4150	0.000104	5300	0.000109		
4200	0.000104	5350	0.00011		
4250	0.000105	5400	0.00011		
4300	0.000105	5450	0.00011		
4350	0.000105	5500	0.00011		
4400	0.000105	5550	0.00011		
4450	0.000106	5600	0.000111		
4500	0.000106	5650	0.000111		
4550	0.000106	5700	0.000111		
4600	0.000106	5750	0.000111		

Lampiran 7. Perhitungan Estimasi Biaya (Rp) Pemeliharaan Mesin *Tube Settler* pada Unit *Clearator*

$t(\text{jam})$	$c(t_p)$	$t(\text{jam})$	$c(t_p)$
1	Rp 7,976,215.13	25	Rp 348,289.18
2	Rp 3,998,497.61	26	Rp 336,266.54
3	Rp 2,673,312.28	27	Rp 325,144.16
4	Rp 2,011,101.36	28	Rp 314,825.30
5	Rp 1,614,015.21	29	Rp 305,226.59
6	Rp 1,349,457.84	30	Rp 296,275.78
7	Rp 1,160,611.39	31	Rp 287,909.96
8	Rp 1,019,071.54	32	Rp 280,074.10
9	Rp 909,060.71	33	Rp 272,719.84
10	Rp 821,113.98	34	Rp 265,804.53
11	Rp 749,209.24	.	
12	Rp 689,332.46	.	
13	Rp 638,705.20	.	
14	Rp 595,343.21	66291	Rp 98,899.29
15	Rp 557,791.66	66292	Rp 98,899.29
16	Rp 524,959.62	66293	Rp 98,899.29
17	Rp 496,013.00	66294	Rp 98,899.30
18	Rp 470,303.19	66295	Rp 98,899.30
19	Rp 447,318.25	66296	Rp 98,899.30
20	Rp 426,648.68	66297	Rp 98,899.30
21	Rp 407,963.07	66298	Rp 98,899.30
22	Rp 390,990.29	66299	Rp 98,899.30
23	Rp 375,506.44	66300	Rp 98,899.30
24	Rp 361,324.96		

Lampiran 8. Syntax Plot Data *Lifetime Mesin Tube Settler* pada Unit *Clearator 3 dan 4 (R)*

```
ggplot()+geom_line(aes(x=plot1$nk3,
y=plot1$t,group=plot1$c3,color="red"))+geom_point(aes(x=plot
1$nk3,
y=plot1$t,color="red",labels="tube"))+geom_line(aes(x=plot1$nk
4, y=plot1$t2,color="blue"))+geom_point(aes(x=plot1$nk4,
y=plot1$t2,color="blue"))+ylab('Nk')+xlab('t(jam)')
```

Lampiran 9. Syntax Plot ROCOF Mesin *Tube Settler* pada Unit *Clearator (R)*

```
ggplot(data=plot2,
aes(x=t,y=ROCOF))+geom_point(color='red')+xlab('t(jam)')
```

Lampiran 10. Syntax Optimasi Waktu dan Biaya Mesin *Tube Settler* pada Unit *Clearator (R)*

```
cf=905415000
cp=7960000
b=1.19
lmd=9711.06
t=66300
hasil=matrix(0,t,1)
for (i in 1:t)
{
  A=function(x) {x*(b/lmd)*(x/lmd)^(b-1)*exp(-(x/lmd)^b)}
  z=integrate(A,0,i)
  R=function(t) {exp(-(t/lmd)^b)}
  D=function(t) {(cp*R(t)+cf*(1-R(t)))/(t*R(t)+z$value)}
  hasil[i,1]=D(i)
}
hasil
```

```
write.csv(hasil, file="hasil.csv")  
plot(hasil, col="red", type="l", lwd=4)  
min(hasil)
```

Lampiran 11. Surat Permohonan Data *Lifetime* Mesin *Tube Settler* pada Unit *Clearator* IPAM Karang Pilang III

Form No. _____

**SURAT PERNYATAAN
MAHASISWA PENELITIAN
DI PDAM SURYA SEMBADA KOTA SURABAYA**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Yolan Setyo Utomo
 Alamat : Jl. Jendral Soekarno, RT/RW 04/07, Surabaya
 No. HP : 081214446800
 Universitas / Jurusan : ITS / S1 Teknik Kimia
 Judul Penelitian : Menentukan waktu dan biaya optimal perambatan clarifier
 Lokasi Penelitian : Karang Pilang III Surabaya
 Waktu Penelitian : _____
 Pembimbing : Bapak Kusumad
 No.HP.Pembimbing : _____

Dengan ini menyatakan bahwa saya :

- Bersedia ditempatkan di bagian / unit kerja yang sudah ditentukan oleh PDAM Surya Sembada Kota Surabaya dan bersedia menyelesaikan tugas yang diberikan
- Mematuhi persyaratan administrasi dan ketentuan yang berlaku di PDAM Surya Sembada Kota Surabaya selama melakukan Penelitian
- Tidak membuat dokumentasi data-data perusahaan dalam bentuk apapun (ch foto, mer-copy, mem-scan) kecuali yang sudah diijinkan oleh PDAM Surya Sembada Kota Surabaya
- Tidak memublikasikan dalam bentuk apapun & dalam media apapun semua hasil penelitian tanpa seijin / sepengetahuan PDAM Surya Sembada Kota Surabaya
- Laporan Hasil Penelitian diserahkan ke PDAM Surya Sembada Kota Surabaya (Sekretariat & Humas) paling lambat _____

Demikian surat pernyataan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Dosen Pembimbing : _____
 Surabaya, 01 - 04 - 2013
 Mahasiswa Penelitian : [Signature]

Permintaan Data	Persetujuan Akses Data	
	Dijinkan	Tidak
-		
-		
-		
-		
-		

* Catatan : Beri tanda (X) data yang disetujui untuk diakses. Data diberikan kepada mahasiswa setelah Surat Direksi PDAM telah disetujui & mahasiswa telah menyelesaikan tugas dari Pembimbing Penelitian dari PDAMJ

* Persetujuan dan Pembimbing Penelitian / Bagian : _____
 Tanda Tangan : [Signature]

Lampiran 12. Surat Pernyataan Data *Lifetime* Mesin *Tube Settler* pada Unit *Clearator* IPAM Karang Pilang III

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, mahasiswa Departemen Statistika FMKSD ITS :

Nama : Yolana Setyo Utomo
NRP : 062115 4000 0009

Menyatakan bahwa data yang digunakan dalam Tugas Akhir ini merupakan data sekunder yang diambil dari penelitian/buku/Tugas Akhir/Thesis/Publikasi lainnya yaitu :

Sumber : Divisi Mekanikal dan Pompa PDAM Surya Sembada Kota Surabaya

Keterangan : Data *Lifetime* Mesin *Tube Settler* unit *Clearator* IPAM Karang Pilang III

Surat pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya. Apabila terdapat pemalsuan data maka saya siap menerima sanksi sesuai aturan yang berlaku.

Mengetahui
Pembimbing Tugas Akhir

Surabaya, Juli 2019

Dr. Muhammad Mashuri, M.T
NIP. 19620408 198701 1 001

Yolana Setyo Utomo
NRP. 062115 4000 0009

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama lengkap Yolansetyo Utomo yang akrab di sapa Yolans, dilahirkan di Salatiga pada 03 Februari 1997. Penulis menempuh Pendidikan formal di SD Negeri Tegalrejo 1 Salatiga, dilanjutkan menempuh pendidikan di SMP Negeri 1 Salatiga dan di SMA Negeri 1 Salatiga. Kemudian penulis diterima sebagai Mahasiswa Departemen Statistika, Fakultas Matematika, Komputasi dan Sains Data, Institut Teknologi Sepuluh Nopember di Surabaya melalui jalur SMNPTN pada tahun 2015. Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam kepanitiaan dalam jurusan sebagai Ketua Region Solo Station 2017. Penulis sangat terbuka akan kritik dan saran terkait hasil Laporan Tugas Akhir dengan menghubungi penulis melalui email yolansetyoutomo@gmail.com atau line [@yolanoo](https://www.instagram.com/yolanoo).