



TUGAS AKHIR – SS141501

**OPTIMASI PENENTUAN WAKTU PENGGANTIAN
KOMPONEN *IMPELER* PADA MESIN *HANGER
SHOT BLAST* DI PT. BARATA INDONESIA
(PERSERO) MENGGUNAKAN METODE *POWER
LAW PROCESS (PLP)***

**ENY HIDAYATI
NRP 1315 105 025**

**Dosen Pembimbing
Dr. Haryono, M.SIE**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



TUGAS AKHIR – SS141501

**OPTIMASI PENENTUAN WAKTU PENGGANTIAN
KOMPONEN *IMPELER* PADA MESIN *HANGER
SHOT BLAST* DI PT. BARATA INDONESIA
(PERSERO) MENGGUNAKAN METODE *POWER
LAW PROCESS (PLP)***

**ENY HIDAYATI
NRP 1315 105 025**

**Dosen Pembimbing
Dr. Haryono, M.SIE**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



FINAL PROJECT – SS141501

**OPTIMIZATION OF DETERMINING
REPLACEMENT TIME FOR IMPELLER
COMPONENT ON HANGER SHOT BLAST
MACHINE AT PT. BARATA INDONESIA
(PERSERO) USING POWER LAW PROCESS (PLP)
METHOD**

**ENY HIDAYATI
NRP 1315 105 025**

**Supervisor
Dr. Haryono, M.SIE**

**UNDERGRADUATE PROGRAM
DEPARTMENT OF STATISTICS
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

**OPTIMASI PENENTUAN WAKTU PENGGANTIAN
KOMPONEN *IMPELER* PADA MESIN *HANGER
SHOT BLAST* DI PT. BARATA INDONESIA
(PERSERO) MENGGUNAKAN METODE *POWER
LAW PROCESS (PLP)***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada

Program Studi Sarjana Departemen Statistika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

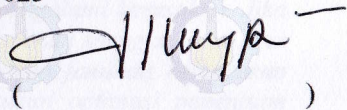
Eny Hidayati

NRP. 1315 105 025

Disetujui oleh Pembimbing:

Drs. Haryono, M.SIE

NIP. 19520919 197901 1 001



Mengetahui,
Kepala Departemen



Dr. Suhartono

NIP. 19710929 199512 1 001

SURABAYA, JULI 2017

**OPTIMASI PENENTUAN WAKTU PENGGANTIAN
KOMPONEN *IMPELER* PADA MESIN *HANGER
SHOT BLAST* DI PT. BARATA INDONESIA
(PERSERO) MENGGUNAKAN METODE *POWER
LAW PROCESS (PLP)***

Nama Mahasiswa : Eny Hidayati
NRP : 1315 105 025
Departemen : Statistika
Dosen Pembimbing : Drs. Haryono, M.SIE

Abstrak

Seiring dalam menghadapi persaingan global dunia industri, kualitas suatu produk menjadi suatu hal terpenting yang perlu diperhatikan karena dengan kualitas dapat diketahui kepuasan konsumen terhadap produk tersebut. PT. Barata Indonesia (Persero) merupakan salah satu perusahaan milik pemerintah yang bergerak dalam 3 bidang usaha yaitu Engineering Procurement & Construction (EPC), Manufaktur Peralatan Industri dan Pengecoran. Komponen yang dianalisis adalah Impeler, dimana komponen ini berfungsi sebagai alat untuk melempar steel shoot dan sering mengalami kerusakan. Jika komponen tersebut rusak maka dapat menyebabkan kerugian atau cost yang tinggi. Oleh karena itu untuk memberikan jaminan kelancaran dalam kegiatan produksi maka perlu dilakukan optimasi penentuan waktu penggantian komponen Impeler pada mesin Hanger Shoot Blast di PT. Barata Indonesia menggunakan metode Power Law Process (PLP). Penelitian ini menghasilkan kebijakan pemeliharaan yang optimal untuk komponen Impeler Mesin HSB Kazo dengan biaya minimum sebesar Rp 93.665,99/jam setelah mengalami kerusakan pertama dan saat mesin sudah beroperasi selama 601 jam. Sedangkan untuk komponen Impeler Mesin HSB By AB berdasarkan biaya yang minimum sebesar Rp 88.881,61/jam, biaya tersebut terdapat setelah mengalami kerusakan pertama dan saat mesin sudah beroperasi selama 634 jam.

Kata Kunci : *Impeler, Proses Poisson Non Homogen, Power Law Process, Waktu Kerusakan*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**OPTIMIZATION OF DETERMINING
REPLACEMENT TIME FOR IMPELLER
COMPONENT ON HANGER SHOT BLAST
MACHINE AT PT. BARATA INDONESIA
(PERSERO) USING POWER LAW PROCESS (PLP)
METHOD**

Student Name : Eny Hidayati
NRP : 1315 105 025
Department : Statistics
Supervisor : Drs. Haryono, M.SIE

Abstract

Along in appear of global competition in the industry, the quality of a product becomes an important thing to reckon because with the quality can be known consumer satisfaction with the product. PT. Barata Indonesia (Persero) is one of the government-owned companies engaged in three business sectors namely Engineering Procurement & Construction (EPC), Manufacturing Equipment Industry and Foundry. The analyzed component is Impeller, which serves as a tool for throwing steel shot and often have failure. If the component is failure then it can cause loss or high cost. Therefore, to provide a smooth guarantee in the production activities required the optimization of the timing of preventive replacement of Impeller component that can optimize the cost. So do the optimization of replacement time of Impeller component on Hanger Shot Blast machine at PT. Barata Indonesia using Power Law Process (PLP) method. This study resulted in an optimal maintenance policy for HSB Kazo Machine of Impeller component with a minimum cost is Rp 93.665,99 per hours after the first failure and when the machine has been operating for 601 hours. As for HSB Machine of Impeller component with a minimum cost is Rp 88.881,61 per hours, the cost is after the first failure and when the machine has been operating for 634 hours.

Keywords : *Impeller, Non Homogeneous Poisson Process, Power Law Process, Failure Time.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan karunia NYA sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**OPTIMASI PENENTUAN WAKTU PENGGANTIAN KOMPONEN IMPELER PADA MESIN HANGER SHOT BLAST DI PT. BARATA INDONESIA (PERSERO) MENGGUNAKAN METODE *POWER LAW PROCESS (PLP)***” dengan baik.

Proses penyusunan laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Drs. Haryono, M.SIE selaku dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yang selalu sabar memberikan bimbingan kepada penulis yang sering kali merepotkan.
2. Bapak Dr. Agus Suharsono, MS dan Bapak Prof. Drs. Nur Iriawan, M.Ikom, Ph.D selaku dosen penguji atas kritik dan sarannya yang membangun.
3. Bapak Dr. Suhartono selaku Kepala Departemen Statistika FMIPA ITS yang telah memberikan fasilitas-fasilitas untuk kelancaran Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Sutikno, S.Si, M.Si selaku Ketua Program Studi S1 Statistika FMIPA ITS yang sabar mengawal proses berjalannya Tugas Akhir mahasiswa S1 dengan bimbingan dan fasilitas yang diberikan.
5. Ibu Erma Oktania Permatasari, S.Si, M.Si selaku dosen wali yang selalu memberikan dukungan, semangat dan inspirasi nya dalam menjalani perkuliahan.
6. Terima kasih kepada pihak PT. Barata Indonesia (Persero) yaitu Bapak Bustomek selaku Manajer Biro SDM PT. Barata Indonesia (Persero), Pak Qosim dan Pak Mukti yang telah memperkenalkan penulis untuk melakukan pengambilan data untuk Tugas Akhir ini, Bapak Andang selaku Manajer

Perawatan dan Bapak Eko selaku Supervisor Perawatan yang sabar dalam memberikan sebagian ilmu mengenai *Maintenance* yang penulis tidak ketahui.

7. Ayah, Ibu dan Adik yang selalu memberikan doa, dukungan dan semangatnya. Terima kasih sudah menjadi yang berharga dalam hidup penulis.
8. Sahabat-sahabat yang selalu memberikan dukungan dan sama-sama berjuang dengan Tugas Akhir yaitu Lyyin, Aza, Fitri, Desi, Tafid, Iiril, Sinta dan Linda.
9. Untuk teman-teman S1-Lintas Jalur 2015 yang sama-sama berjuang dalam Tugas Akhir dan semasa perkuliahan.
10. Buat semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu disini. Yang jelas penulis rindu akan pengalaman hidup yang telah kalian berikan.

Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca, almamater dan bangsa.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>Stochastic Process</i>	5
2.1.1 <i>Renewal Process</i>	5
2.1.2 Proses Perbaikan Minimal.....	5
2.2 Proses Poisson.....	6
2.2.1 Proses Poisson Homogen.....	6
2.2.2 Proses Poisson Non Homogen.....	6
2.3 <i>Power Law Process</i>	7
2.4 <i>Time Truncated Data</i>	8
2.5 Pengujian <i>Trend</i>	9
2.6 Estimasi Parameter.....	9
2.7 Pengujian Kesamaan <i>Trend</i>	11
2.8 Estimasi Parameter untuk <i>Nonidentical System</i>	12
2.9 <i>Replacement Model</i>	13
2.10 Komponen <i>Impeler</i>	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Sumber Data.....	19

3.2 Variabel Penelitian	19
3.3 Langkah Analisis Data.....	20
3.4 Diagram Alir.....	21
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
4.1 Karakteristik Usia Pakai Komponen <i>Impeler</i> Mesin <i>Hanger Shot Blast</i>	25
4.2 Pengujian <i>Trend</i>	26
4.3 Estimasi Parameter	27
4.4 Pengujian Kesamaan <i>Trend</i>	27
4.5 Estimasi Parameter untuk <i>Nonidentical System</i>	28
4.6 <i>Replacement Model</i>	30
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	35
5.2 Saran	35
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN	39
BIODATA PENULIS	61

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Mesin <i>Hanger Shot Blast</i>	15
Gambar 2.2 Proses Produksi	17
Gambar 3.1 Diagram Alir	21
Gambar 4.1 Perbandingan Banyak Kerusakan (N) dengan Kumulatif Usia Pakai Komponen Mesin HSB (a) <i>Kazo</i> ; (b) <i>By AB</i>	26
Gambar 4.2 ROCOF Komponen Mesin HSB (a) <i>Kazo</i> ; (b) <i>By</i> <i>AB</i>	29
Gambar 4.3 Estimasi Biaya Terhadap Sepasang T dan N untuk Komponen <i>Impeler</i> Mesin HSB (a) <i>Kazo</i> ; (b) <i>By AB</i>	33

(Halaman ini sengaja di kosongkan

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Struktur Data.....	19
Tabel 4.1 Karakteristik Usia Pakai Komponen <i>Impeler</i>	25
Tabel 4.2 Pengujian <i>Trend</i>	27
Tabel 4.3 Estimasi Parameter	27
Tabel 4.4 Estimasi Parameter untuk <i>Nonidentical System</i>	28
Tabel 4.5 ROCOF Komponen <i>Impeler</i> Mesin HSB <i>Kazo</i> dan <i>By AB</i>	29
Tabel 4.6 Nilai c_p dan c_f	30
Tabel 4.7 Estimasi Biaya Penggantian Komponen <i>Impeler</i> Mesin HSB <i>Kazo</i>	31
Tabel 4.8 Estimasi Biaya Penggantian Komponen <i>Impeler</i> Mesin HSB <i>By AB</i>	31
Tabel 4.9 Kebijakan Optimasi Biaya untuk Kedua Mesin HSB Komponen <i>Impeler</i>	32
Tabel 4.10 Nilai MTTF tiap Komponen <i>Impeler</i> Mesin HSB ...	34

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1A Data Waktu Kerusakan Komponen <i>Impeler</i> Mesin HSB <i>Kazo</i>	39
Lampiran 1B Data Waktu Kerusakan Komponen <i>Impeler</i> Mesin HSB <i>By AB</i>	40
Lampiran 2 Karakteristik Waktu Kerusakan Tiap Komponen	40
Lampiran 3A Pengujian <i>Trend</i> untuk Komponen <i>Impeler</i> Mesin HSB <i>Kazo</i>	40
Lampiran 3B Pengujian <i>Trend</i> untuk Komponen <i>Impeler</i> Mesin HSB <i>By AB</i>	43
Lampiran 4A Perhitungan Estimasi Parameter Menggunakan MLE pada Komponen <i>Impeler</i> Mesin HSB <i>Kazo</i>	43
Lampiran 4B Perhitungan Estimasi Parameter Menggunakan MLE pada Komponen <i>Impeler</i> Mesin HSB <i>By AB</i>	45
Lampiran 5 Pengujian Kesamaan <i>Trend</i>	46
Lampiran 6 Estimasi Parameter untuk <i>Nonidetical System</i> .	46
Lampiran 7A Perhitungan ROCOF Komponen <i>Impeler</i> Mesin HSB <i>Kazo</i>	46
Lampiran 7B Perhitungan ROCOF Komponen <i>Impeler</i> Mesin HSB <i>By AB</i>	47
Lampiran 8A <i>Syntax</i> MATLAB Optimasi Biaya Komponen <i>Impeler</i> Mesin HSB	48
Lampiran 8B Hasil Perhitungan Optimasi Biaya Komponen <i>Impeler</i> Mesin HSB <i>Kazo</i>	49
Lampiran 8C Hasil Perhitungan Optimasi Biaya Komponen <i>Impeler</i> Mesin HSB <i>By AB</i>	51
Lampiran 9 Perhitungan Nilai MTTF	52
Lampiran 10A Fungsi Likelihood Estimasi Parameter.....	53
Lampiran 10B Persamaan Likelihood Estimasi Parameter θ ...	53
Lampiran 10C Persamaan Likelihood Estimasi Parameter β ...	55

Lampiran 10D Fungsi Likelihood Estimasi Parameter untuk <i>Nonidentical System</i>	56
Lampiran 10E Persamaan Likelihood Estimasi Parameter untuk <i>Nonidentical System</i> θ	57
Lampiran 10F Persamaan Likelihood Estimasi Parameter untuk <i>Nonidentical System</i> β	58
Lampiran 11A Surat Penerimaan Pengambilan Data dan Penelitian	59
Lampiran 11B Surat Izin Publikasi	60

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dalam menghadapi persaingan global dunia industri, kualitas suatu produk menjadi suatu hal terpenting yang perlu diperhatikan karena dengan kualitas dapat diketahui kepuasan konsumen terhadap produk tersebut. Dalam hal ini pun perusahaan harus bersaing ketat dengan perusahaan lain untuk mengeskplor produknya menjadi produk yang lebih bermanfaat dalam penggunaan jangka panjang agar konsumen tetap setia terhadap produknya. Sehingga perusahaan harus memerlukan pengontrolan produk dengan melakukan pengendalian kualitas statistik agar menghasilkan produk yang berkualitas tinggi. Namun jika proses gagal dalam memproduksi maka produk akan memiliki kualitas yang buruk. Apalagi jika dalam sistem manufaktur industri yang terdiri dari beberapa mesin besar dan tiap mesin tersebut terdiri dari beberapa subsistem dan masing-masing subsistem terdiri dari beberapa komponen yang besar maka untuk menganalisa sistem ini diperlukan analisis reliabilitas dan pengendalian kualitas statistik.

Adanya perbaikan pada komponen yang mengalami kerusakan tidak selamanya efisien. Jika komponen yang rusak telah mengalami perbaikan beberapa kali, maka reliabilitas dari komponen tersebut akan semakin menurun dan laju kerusakannya akan semakin meningkat. Perbaikan yang dilakukan tersebut tidak lagi menjadi ekonomis dan perusahaan akan mengeluarkan biaya yang lebih besar dalam memperbaiki komponen yang mengalami kerusakan sehingga komponen yang rusak akan dibuang dan diganti dengan yang baru/*replacement* (Ebeling, 1997). Sehingga hal ini menjadi penting untuk menentukan kapan suatu komponen harus diganti sehingga banyak kerusakan yang terjadi dapat berkurang dan biaya pemeliharaan jangka panjang dapat ditekan. Strategi penggantian akan mengurangi probabilitas komponen yang rusak dimasa mendatang. Namun apabila dilakukan

penggantian yang terlalu sering akan menyebabkan kenaikan biaya. Oleh karena itu, perlu menentukan interval penggantian yang optimal sebagai pengembangan pemeliharaan yang preventif.

PT. Barata Indonesia (Persero) merupakan salah satu perusahaan milik pemerintah yang bergerak dalam 3 bidang usaha yaitu *Engineering Procurement & Construction* (EPC), Manufaktur Peralatan Industri dan Pengecoran. Dalam hal ini, difokuskan pada bidang usaha pengecoran yang menggunakan berbagai macam mesin produksi dimana mesin yang ditemukan sering mengalami kerusakan adalah *Hanger Shot Blast* yang digunakan untuk membersihkan *casting* dari sisa pasir atau sisa *pouring*. Mesin ini mengalami kerusakan karena diakibatkan komponen *Impeler* yang sering rusak. Jika komponen tersebut rusak maka dapat menyebabkan kerugian atau *cost* yang tinggi untuk PT. Barata Indonesia (Persero). Oleh karena itu untuk memberikan jaminan kelancaran dalam kegiatan produksi diperlukan adanya optimasi penentuan waktu penggantian preventif dari komponen *Impeler* yang dapat mengoptimalkan biaya. Sehingga diperlukan data usia pakai komponen agar diperoleh waktu antar kerusakan dan distribusinya, lama waktu perbaikan, periode *maintenance*, biaya penggantian dan biaya perbaikan. Maka peneliti ingin melakukan optimasi penentuan waktu penggantian komponen *Impeler* pada mesin *Hanger Shot Blast* di PT. Barata Indonesia menggunakan metode *Power Law Process* (PLP).

Penelitian sebelumnya terkait penggunaan model *Non-Homogeneous Poisson Process* (NHPP) dengan metode *Power Law Process* (PLP) dilakukan oleh Leung dan Ada L. M Cheng (2000) mengenai pengamatan *lifetime engine bus* menggunakan metode *time truncated data* dan juga *failure truncated data* dengan hasil bahwa *engine bus* harus diganti pada kerusakan pertama atau pada selang waktu 53,03 sampai 60,61 bulan, tergantung mana yang terlebih dahulu terjadi dan metode *Power Law Process* (PLP) mampu menjelaskan waktu kerusakan pada

komponen yang diperbaiki atau *repairable*. Selanjutnya dilakukan oleh Tyas (2016) mengenai penentuan kebijakan waktu optimum perbaikan komponen *Heat Exchanger* (HE) pesawat boeing 737-800 menggunakan metode *Power Law Process* di PT. Garuda Maintenance Facility (GMF) Aeroasia dengan hasil bahwa tindakan perbaikan terhadap komponen *Heat Exchanger* sebaiknya dilakukan pada saat komponen telah beroperasi selama 8900 *flight hours* atau ketika terjadi kerusakan pertama sebelum mencapai waktu operasi 8900 *flight hours* dengan estimasi biaya yang minimum sebesar 0,1090 per *flight hours*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah yang diambil pada penelitian ini adalah bagaimana waktu penggantian komponen *Impeler* yang tepat dan meminimumkan biaya yang diakibatkan oleh kerusakan komponen.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menjawab rumusan masalah. Tujuan penelitian adalah menentukan waktu perbaikan komponen *Impeler* yang tepat dan dapat meminimumkan biaya yang diakibatkan oleh kerusakan komponen.

1.4 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari hasil penelitian ini adalah.

1. Memberikan informasi kepada pihak PT. Barata Indonesia (Persero) dengan hasil optimasi waktu penggantian komponen *Impeler* sehingga dapat digunakan untuk mengambil kebijakan serta melakukan perencanaan sebelum mesin digunakan untuk proses produksi.
2. Menambah pengetahuan dalam penerapan penentuan waktu optimal penggantian komponen *Impeler* di PT. Barata Indonesia (Persero).

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah dua mesin *Hanger Shot Blast* yang sering mengalami kerusakan akibat komponen *Impeler* yang menyebabkan kerugian/biaya yang tinggi dan diasumsikan mesin berfungsi baik setelah mendapatkan perbaikan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Stochastic Process

Random variabel dengan $N(t)$ adalah jumlah kejadian yang muncul dari sebuah kegagalan pada interval waktu $(0, t)$. Proses dari $\{N(t), t \geq 0\}$ yang disebut dengan *stochastic process* atau proses stokastik yang memiliki realisasi berupa proses menghitung atau *counting process*, yang digunakan untuk mengetahui hubungan dari suatu runtutan peristiwa atau proses kejadian yang bersifat tidak pasti (Hoyland & Rausand, 1994, hal. 263)

2.1.1 Renewal Process

Renewal process disebut jika sistem atau komponen rusak maka akan dilakukan pengembalian kepada kondisi seperti komponen baru (*as good as new*) setelah dilakukan perbaikan (Rigdon & Basu, 2000, hal. 65). Terdapat dua jenis komponen yaitu *repairable* dan *non-repairable, repairable system* yaitu sebuah komponen dimana ketika terjadi sebuah kerusakan maka komponen tersebut dapat dilakukan perbaikan dengan beberapa proses perbaikan selain penggantian pada seluruh sistem. *Non-repairable system* atau *expendable* adalah suatu komponen jika mengalami kerusakan maka harus diganti dengan komponen yang baru yang artinya komponen tersebut tidak dapat dilakukan perbaikan atau komponen akan lebih mahal ketika diperbaiki dari pada dilakukan penggantian dengan komponen baru. Untuk *non-repairable system*, umur hidup suatu komponen merupakan variabel random (O'Connor, 2012, hal. 8-9).

2.1.2 Proses Perbaikan Minimal

Minimal repair merupakan salah satu istilah dari *preventive maintenance* yang memiliki arti bahwa sistem yang gagal akan berfungsi kembali setelah perbaikan dilakukan dengan kondisi sama dan usia efektif sama seperti pada saat kerusakan terakhir. *Minimal repair* mengasumsikan waktu perbaikan

dianggap sangat minimum dan untuk memperoleh model yang fleksibel dari suatu sistem kegagalan yang akan diperbaiki dalam minimal *repair*, maka hanya sebagian kecil proporsi dari unsur-unsur sistem akan diganti pada proses *repair*. Hal ini akan mengondisikan sistem sama seperti sebelum sistem mengalami kerusakan (Rigdon & Basu, 2000, hal. 30).

2.2 Proses Poisson

Apabila sebuah komponen mempunyai tingkat kerusakan yang konstan (λ) atau rusak secara tiba-tiba maka secara langsung diperbaiki atau diganti ketika mengalami kerusakan. N adalah jumlah kejadian yang muncul dari sebuah kerusakan pada interval waktu $(0, t)$, banyaknya kerusakan yang memiliki distribusi Poisson sebagai berikut (Rigdon & Basu, 2000, hal. 33-35).

$$P(N = n) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^n}{n!} \quad (2.1)$$

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

Rata-rata jumlah kerusakan adalah λ dan varians bernilai λ . Proses poisson dibagi menjadi dua macam yaitu proses poisson homogen dan proses poisson nonhomogen.

2.2.1 Proses Poisson Homogen

Homogeneous Poisson Process (HPP) merupakan proses poisson dengan fungsi intensitas konstan, dimana waktu kerusakan bersifat independen dan berdistribusi eksponensial dengan parameter yaitu λ untuk *failure rate* (Hoyland & Rausand, 1994, hal. 270-273). Untuk menentukan probabilitas jumlah kegagalan waktu ke- t maka digunakan persamaan sebagai berikut.

$$P[N(t) = n] = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-(\lambda t)} \quad (2.2)$$

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

2.2.2 Proses Poisson Non Homogen

Non-Homogeneous Poisson Processes (NHPP) merupakan proses poisson dengan fungsi intensitas tidak konstan dengan laju

kerusakan berevolusi terhadap waktu. NHPP adalah model sederhana yang dapat diaplikasikan untuk sistem dengan laju kerusakan yang menurun atau meningkat, dengan menggunakan metode statistika yang relevan dan mudah untuk diaplikasikan (Crowder, Kimber, Smith, & Sweeting, 1991, hal. 164-175). NHPP menggambarkan proses kerusakan komponen yang memiliki pola tertentu dengan jumlah kumulatif hingga waktu t adalah $N(t)$.

Non-Homogeneous Poisson Processes (NHPP) disebut dengan *weibull process*, karena *Rate of Occurrence of Failure* (ROCOF) memiliki fungsi *failure rate* yang sama dengan distribusi weibull dengan parameter *shape* (β) dan parameter *scale* (λ). ROCOF adalah estimasi nilai laju kerusakan dari suatu komponen, jika suatu komponen *repairable* telah di observasi pada interval waktu $[0, t]$ dengan t dapat ditentukan interval waktunya (*time truncated case*) atau pada kegagalan terakhir (*failure truncated case*), maka ROCOF dapat diaplikasikan dengan melihat dari beberapa kali kegagalan yang terjadi (Rigdon & Basu, 2000, hal. 99).

Untuk menentukan probabilitas jumlah kegagalan pada interval waktu $[t_1, t_2]$ maka digunakan persamaan seperti berikut.

$$P[W(t_2) - W(t_1) = n] = \frac{[w(t_2) - w(t_1)]^n}{n!} e^{-[w(t_2) - w(t_1)]} \quad (2.3)$$

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

dengan rata-rata jumlah kegagalan pada interval $[t_1, t_2]$ adalah

$$E(N(t_2) - N(t_1)) = w(t_2) - w(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} w(t) dt \quad (2.4)$$

2.3 Power Law Process

Power Law Process (PLP) atau model proses weibull adalah salah satu model yang digunakan untuk mengecek data yang mengikuti *Non-Homogeneous Poisson Process* dengan

distribusi weibull memiliki fungsi *survival* dengan persamaan sebagai berikut (Rigdon & Basu, 2000, hal. 16).

$$S(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right], t > 0 \quad (2.5)$$

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

$$F(t) = 1 - S(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right], t > 0 \quad (2.6)$$

sehingga didapatkan fungsi kepadatan peluang, fungsi laju kerusakan dan *Mean Time To Failure* (MTTF) sebagai berikut.

$$f(t) = F'(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \quad (2.7)$$

$$w(t) = \frac{f(t)}{S(t)} = \frac{\frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right]}{\exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right]} = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \quad (2.8)$$

$$MTTF = \theta \Gamma(1 + 1/\beta) \quad (2.9)$$

Parameter β membuktikan bagaimana sistem akan menjadi buruk seiring dengan bertambahnya waktu. Apabila $\beta > 1$ maka fungsi intensitas $w(t)$ meningkat, sedangkan $\beta < 1$ maka $w(t)$ akan menurun dan apabila $\beta = 1$ menunjukkan penurunan *Power Law Process* menjadi lebih sederhana yaitu *Homogeneous Poisson Process* dengan fungsi intensitas $1/\theta$.

2.4 Time Truncated Data

Time truncated data berarti apabila suatu pengamatan berhenti ketika telah ditentukannya waktu ke- T , dengan kondisi N_k adalah variabel random dimana N_k merupakan jumlah kerusakan dari interval waktu $(0, T_k)$ dan waktu kerusakan $T_1 < T_2 < \dots < T_k$ merupakan *fixed* variabel yang didistribusikan sebagai

N_k order statistik dari distribusi *uniform* pada interval $(0, T_k)$ (Leung & Cheng, 2000, hal. 773).

2.5 Pengujian Trend

Pengujian ini untuk mengetahui apakah terdapat *trend* pada laju kerusakan dari komponen dengan menggunakan metode *Cramer-von Mises test* untuk menguji apakah waktu kerusakan dari sistem *repairable* mengikuti *Homogeneous Poisson Process* atau tidak ada *trend*. Hipotesis yang digunakan adalah (Rigdon & Basu, 2000, hal. 141-143).

H_0 : Waktu kerusakan komponen untuk mesin ke- K mengikuti *Homogeneous Poisson Process* atau tidak ada *trend*

H_1 : Waktu kerusakan komponen untuk mesin ke- K tidak mengikuti *Homogeneous Poisson Process* atau ada *trend*

Statistik uji dinyatakan dengan persamaan (2.10) sebagai berikut.

$$C_R^2 = \frac{1}{12n} + \sum_{i=1}^n \left(\hat{R}_i - \frac{2i-1}{2n} \right)^2 \quad (2.10)$$

dimana $\hat{R}_i = \left(\frac{t_{i,k}}{T_k} \right)^{\bar{\beta}}$ dan $\bar{\beta} = \frac{n-1}{n} \hat{\beta}$

Keputusan diambil dengan membandingkan statistik uji (C_R^2) terhadap nilai kritis pada toleransi kesalahan 0,05 yaitu H_0 ditolak jika nilai C_R^2 hitung $<$ C_R^2 tabel $_{(\alpha,n)}$.

2.6 Estimasi Parameter

Nilai waktu kerusakan sebesar $T_1 < T_2 < \dots < T_N < t$, pengamatan waktu kerusakan berhenti setelah ditetapkannya waktu ke- T , sehingga kerusakan ke- N adalah variabel random dan dimungkinkan dalam pengamatan ini tidak terjadi kerusakan setelah waktu ke- T . Fungsi kepadatan dari (N, T_1, \dots, T_N) sebagai berikut (Rigdon & Basu, 2000, hal. 135-137).

$$f(n, t_1, \dots, t_n) = \begin{cases} f_N(n) f(t_1, \dots, t_n | n), & n \geq 1 \\ f_N(0), & n = 0 \end{cases} \quad (2.11)$$

N merupakan variabel random yang mengikuti distribusi poisson dengan *mean* $\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta$ sehingga persamaan (2.12) berikut.

$$f_N(n) = \frac{\left[\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right]^n \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right]}{n!}, \quad n = 0, 1, \dots \quad (2.12)$$

Untuk *power law process*, cdf yaitu $g(y) = \frac{(y/\theta)^\beta}{(t/\theta)^\beta} = \left(\frac{y}{t}\right)^\beta$, $0 \leq y \leq t$. Peluang yang berhubungan dengan G menjadi $g(y) = \frac{\beta}{t} \left(\frac{t_i}{t}\right)^{\beta-1}$, $0 \leq y \leq t$. Maka diberikan $N = n$, distribusi dari $T_1 < T_2 < \dots < T_n$ yaitu.

$$f(t_1, t_2, \dots, t_n | n) = n! \prod_{i=1}^n G'(t_i) = n! \prod_{i=1}^n \frac{\beta}{t} \left(\frac{t_i}{t}\right)^{\beta-1} \quad (2.13)$$

untuk $0 < t_1 < t_2 < \dots < t_n < t$. Peluang bersama dari N dan $T_1 < T_2 < \dots < T_n$ dinyatakan sebagai berikut, dengan penjabaran secara rinci dapat dilihat pada lampiran 10A.

$$\begin{aligned} f(n, t_1, \dots, t_n) &= \frac{\left[\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right]^n \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right]}{n!} n! \prod_{i=1}^n \frac{\beta}{t} \left(\frac{t_i}{t}\right)^{\beta-1} \\ &= \frac{t^{n\beta}}{\theta^{n\beta}} \frac{\beta^n}{t^n} \left[\prod_{i=1}^n \left(\frac{t_i}{t}\right)\right]^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \\ &= \frac{\beta^n}{\theta^{n\beta}} \left[\prod_{i=1}^n t_i\right]^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \end{aligned} \quad (2.14)$$

untuk $n \geq 1$, $0 < t_1 < t_2 < \dots < t_n < t$. Persamaan (2.14) dapat diubah ke dalam bentuk logaritma natural sebagai berikut.

$$\ell(\theta, \beta | n, t) = n \ln \beta - n \ln \theta + (\beta - 1) \sum_{i=1}^n \ln(t_i) - n(\beta - 1) \ln \theta - \left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta \quad (2.15)$$

Persamaan (2.15) diturunkan terhadap β dan θ dapat dilihat pada lampiran 10B dan 10C maka *Maximum Likelihood Estimation* untuk β dan θ dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$\hat{\beta} = \frac{N}{\sum_{i=1}^N \ln\left(\frac{t}{t_i}\right)} \quad (2.16)$$

dan

$$\hat{\theta} = \frac{t}{N^{1/\hat{\beta}}} \quad (2.17)$$

2.7 Pengujian Kesamaan *Trend*

Untuk menguji apakah terdapat *trend* yang sama pada laju kerusakan dari komponen dapat digunakan pengujian persamaan parameter β untuk dua sistem. Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut (Rigdon & Basu, 2000, hal. 215-216).

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 \text{ (Data membentuk pola } trend \text{ yang sama)}$$

$$H_1 : \beta_1 \neq \beta_2 \text{ (Data tidak membentuk pola } trend \text{ yang sama)}$$

Maka statistik uji ketika $m_i = n_i$ dinyatakan dalam persamaan (2.18) berikut.

$$F = \frac{\hat{\beta}_2}{\hat{\beta}_1} \quad (2.18)$$

Pada tingkat signifikansi sebesar 0,05, keputusan dikatakan H_0 ditolak jika, $F < F_{1-\alpha/2}(2n_1, 2n_2)$ atau $F > F_{\alpha/2}(2n_1, 2n_2)$. Sehingga kesimpulan yang diperoleh adalah data tidak membentuk pola *trend* yang sama. Artinya, kedua komponen memiliki kebijakan yang berbeda.

2.8 Estimasi Parameter untuk *Nonidentical System*

Jika sebuah sistem berbeda dimana β dan θ berbeda maka sebuah analisis terpisah perlu dilakukan dari tiap sistem secara tepat. Bagaimanapun alasan untuk mengasumsikan semua sistem yang mempunyai kenaikan parameter β sama akan tetapi parameter $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$ berbeda. Menurut beberapa asumsi, parameter MLE yang *close form* dapat digunakan.

Variabel t_{ij} menunjukkan kerusakan ke- j pada sistem ke- i dan n_i adalah jumlah kerusakan yang diamati untuk sistem i dan $N = n_1 + n_2 + \dots + n_k$. Fungsi likelihood dinyatakan dalam persamaan (2.19) sebagai berikut, dengan penjabaran secara rinci dapat dilihat di lampiran 10D (Rigdon & Basu, 2000, hal. 218-221).

$$L(\theta, \beta) = \prod_{i=1}^k \left\{ \left[\prod_{j=1}^{n_i} \frac{\beta}{\theta_i} \left(\frac{t_{i,j}}{\theta_i} \right)^{\beta-1} \right] \exp \left[- \left(\frac{T_i}{\theta_i} \right)^\beta \right] \right\} \quad (2.19)$$

$$= \beta^{\sum_{i=1}^k n_i} \left(\prod_{i=1}^k \theta_i^{-n_i \beta} \right) \left(\prod_{i=1}^k \prod_{j=1}^{n_i} t_{ij} \right)^{\beta-1} \exp \left[- \sum_{i=1}^k \left(\frac{T_i}{\theta_i} \right)^\beta \right]$$

persamaan (2.19) diubah ke dalam fungsi log-likelihood sebagai berikut .

$$\ell(\theta, \beta | t) = N \ln \beta - \beta \sum_{i=1}^k n_i \ln \theta_i + (\beta - 1) \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} \ln t_{ij} - \sum_{i=1}^k \left(\frac{T_i}{\theta_i} \right)^\beta \quad (2.20)$$

langkah selanjutnya persamaan (2.20) diturunkan terhadap θ dan β sehingga dinyatakan sebagai berikut, dengan penjabaran secara rinci dapat dilihat pada lampiran 10E dan 10F.

$$\frac{\partial \ell}{\partial \theta_i} = - \frac{\beta n_i}{\theta_i} + \frac{\beta}{\theta_i} \left(\frac{T_i}{\theta_i} \right)^\beta = 0 \quad (2.21)$$

$$\frac{\partial \ell}{\partial \beta} = \frac{N}{\beta} - \sum_{i=1}^k n_i \ln \theta_i + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} \ln t_{i,j} - \sum_{i=1}^k \left(\frac{T_i}{\theta_i} \right)^\beta \ln \left(\frac{T_i}{\theta_i} \right) = 0 \quad (2.22)$$

Berdasarkan persamaan (2.21) dan (2.22) maka didapatkan perhitungan untuk parameter θ dan β yang dinyatakan dalam persamaan (2.23) dan (2.24) sebagai berikut.

$$\hat{\theta}_i = \frac{T_i}{n_i^{\hat{\beta}}} \quad (2.23)$$

dan

$$\hat{\beta} = \frac{N}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} \ln \left(\frac{T_i}{t_{ij}} \right)} \quad (2.24)$$

2.9 Replacement Model

Penggantian komponen secara mendadak akan menimbulkan biaya yang lebih besar, apalagi jika mesin mengalami per hambatan ketika melakukan proses dan pasti biaya yang ditanggung perusahaan akan semakin tinggi. Biaya yang timbul karena penggantian terencana akan lebih ekonomis karena akan mengurangi waktu operasi yang hilang dan mengurangi dampak yang ditimbulkan terhadap komponen lain. Agar jumlah komponen rusak dapat dikurangi maka penggantian terencana dapat dijadwalkan pada interval waktu tertentu. Penentuan waktu penggantian optimal diharapkan dapat meminimalkan total biaya per satuan waktu. Suatu mesin diganti secara teratur dalam jangka waktu ke- T atau pada kerusakan ke- N setelah dilakukan instalasi, tergantung mana yang lebih dahulu terjadi pertama kali. Mesin ini akan mengalami perbaikan minimal diantara penggantian secara berkala saat terjadi kerusakan, sehingga tingkat kerusakan suatu mesin tidak terganggu. Waktu yang digunakan untuk memperbaiki dan penggantian mesin diasumsikan sangat minimum atau dapat diabaikan. Kebijakan penggantian optimal yang berdasarkan dengan meminimalkan jangka panjang dari model biaya dinyatakan dalam persamaan berikut (Nakagawa & Kowada, 1983).

$$\begin{aligned} \Pr(Y_n > T) + \int_0^T t d \Pr(Y_n \leq t) &= \int_0^T \Pr(Y_n > t) dt \\ &= \sum_{j=0}^{n-1} \int_0^T \frac{[W(t)]^j}{j!} e^{-W(t)} dt \end{aligned} \quad (2.25)$$

untuk $j = 0, 1, 2, \dots, (n-1)$

Nilai ekspektasi dari waktu kerusakan sampai *replacement* komponen dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut.

$$\sum_{j=0}^{n-1} j \Pr(N(T) = j) + n \Pr(Y_n \leq T) = n - \sum_{j=0}^{n-1} (n-j) \frac{[W(T)]^j}{j!} e^{-W(T)} \quad (2.26)$$

Fungsi biaya penggantian komponen berdasarkan kerusakan ke- N dan waktu kerusakan ke- T dinyatakan dalam persamaan (2.27).

$$C(T; n) = \frac{C_f \left[n - \sum_{j=0}^{n-1} (n-j) \frac{[W(T)]^j}{j!} e^{-W(T)} \right] + C_p}{\sum_{j=0}^{n-1} \int_0^T \frac{[W(t)]^j}{j!} e^{-W(t)} dt} \quad (2.27)$$

Untuk $T > 0$, $n = 1, 2, \dots$ dan $j = 0, 1, 2, \dots, (n-1)$

dengan c_f merupakan *cost of failure* atau rata-rata biaya perbaikan karena kerusakan dan c_p merupakan rata-rata biaya perbaikan minimal atau biaya *preventive maintenance*. Kebijakan penggantian yang optimal untuk tiap jenis *engine* atau komponen ditentukan dengan meminimalkan persamaan $c(T; N)$ yang berhubungan dengan nilai T dan N .

Fungsi nilai laju kerusakan terhadap waktu untuk *Power Law Process* (PLP) dinyatakan dalam persamaan (2.28) berikut.

$$W(t) = \int_0^t w(t) dt = \left(\frac{t}{\theta} \right)^\beta \quad (2.28)$$

2.10 Komponen *Impeller*

Fasilitas produksi yang dimiliki PT. Barata Indonesia (Persero) di bidang usaha *Foundry* (pengecoran) Workshop 1 terdapat 20 mesin yang mengalami kerusakan, dimana mesin

yang paling banyak mengalami kerusakan adalah mesin *Hanger Shot Blast* dengan kegunaan untuk menghilangkan sisa pasir pada *casting*. Penelitian ini akan membahas mengenai komponen *Impeler* yang menjadi penyebab kerusakan pada mesin *Hanger Shot Blast*. Komponen *Impeler* adalah putaran motor *steel shot* yang ditembakkan ke *casting* agar bersih dari sisa pasir atau sisa hasil produksi, dimana didalam komponen ini terdapat dinding yaitu *liner* dan *blade* sebagai kotak pembagi *steel shot*. Komponen tersebut digunakan sebagai alat untuk melempar *steel shot*. Mesin *Hanger Shot Blast* menggunakan beberapa komponen dan sistem seperti *V-belt*, *Bearing/Pillow Block*, *Impeler (liner, blade, dll)*, *Karet dinding*, *Bucket Elevator*, *Saringan Steel Shot*, *Sling Monorail Crane*, *Pneumatic Cylinder* dan *Gate Steel Shot*.

Kerusakan atau kerusakan yang terjadi pada komponen *Impeler* akan mengakibatkan *Impeler* cepat habis dan tidak bisa melempar *steel shot* ketika dimasukkan lagi maka diperlukan adanya perbaikan maupun penggantian. Mesin *Hanger Shot Blast* ini harus mampu bekerja dengan baik guna menghilangkan sisa pasir pada *casting* agar proses dapat dilanjutkan ketahap berikutnya. Mesin *Hanger Shot Blast* ada 2 yaitu *Kazo* yang berasal dari Korea dengan kapasitas produksi 2 ton dan *By AB* berasal dari Jepang dengan kapasitas produksi 500 Kg.

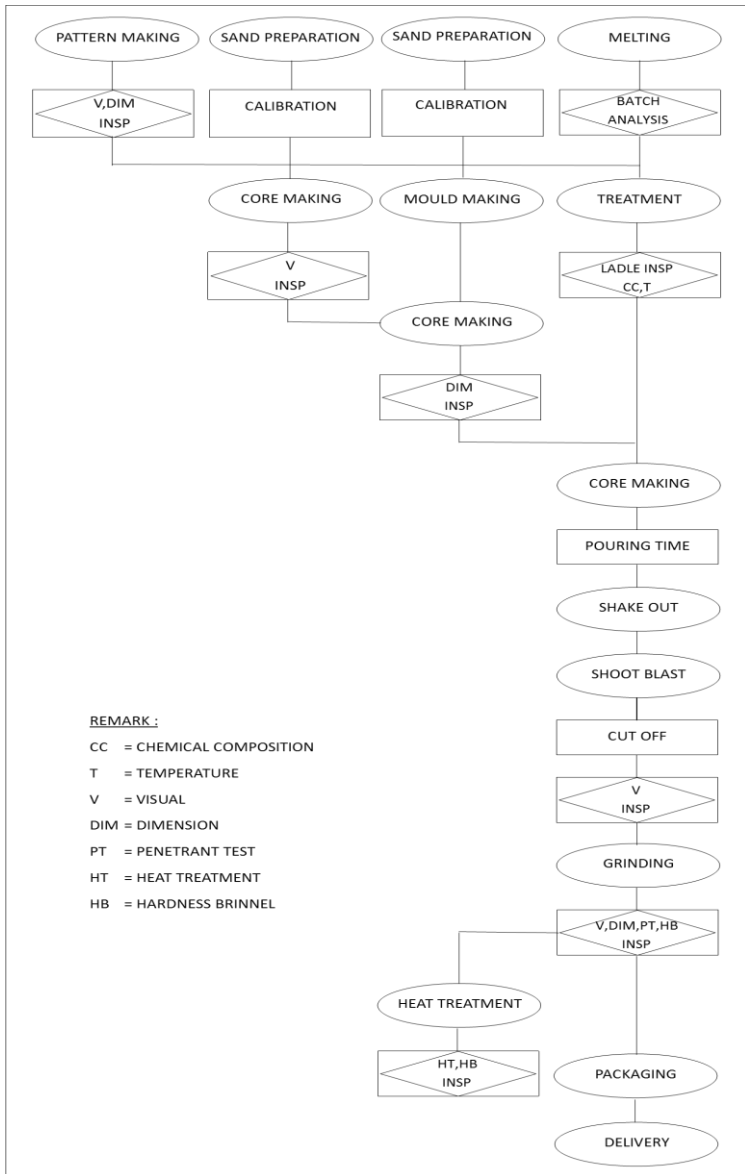


Gambar 2.1 Mesin *Hanger Shot Blast*

Sumber : Indiamart dikutip dari laman

<https://www.indiamart.com/futuretechengineers/shot-blast-machine.html>

Alur proses produksi yang menggunakan mesin *Hanger Shot Blast* yaitu terdapat beberapa bagian-bagian proses yang umum diantaranya *Pattern Making*, *Sand Preparation*, *Core Making*, *Mould Making*, *Melting*, *Pouring*, *Shake Out*, *Shot Blast*, *Cut Off*, *Grinding*, *Heat Treatment* dan *Packing*. Proses yang awal adalah *Pattern Making* yaitu mempersiapkan pola-pola produk yang akan dicetak dan di proses ini terdapat inspeksi. Selanjutnya proses *Core Making* adalah mencetak dari *pattern* yang kecil-kecil dengan melakukan *sand preparation* terlebih dahulu dan kalibrasi serta tak lupa untuk inspeksi secara visual. *Mould Making* adalah mencetak produk yang besar yaitu *bolster* dan *frame* juga melakukan *sand preparation* terlebih dahulu dan menggabungkan hasil *core making* pada proses *core setter* dan dilakukan inspeksi dimensi. *Melting* adalah meleburkan berbagai bahan yang telah ditentukan sebagai isian dari hasil proses *mould making*. Kemudian proses *pouring* dengan mengisikan hasil leburan dari *melting* ke dalam produk hasil penggabungan dari *core setter*. Setelah itu menunggu proses *pouring time* sekitar seharian dan lanjut ke proses *Shake Out* yaitu mengeluarkan produk hasil *pouring* dengan menggoyangkan cetakan hingga produk keluar. Proses *Shot Blast* adalah membersihkan hasil sisa pasir dari produk yang telah dilakukan proses *Shake Out* atau dinamakan *casting*. Lalu setelah hasil *casting* telah bersih dari pasir selanjutnya proses *Cut Off* yaitu memotong sisa-sisa *casting* dari proses *pouring* yang tak mengikuti bentuk. Selesai dari proses *Cut Off* dilakukan inspeksi secara visual dan lanjut ke proses menggerinda produk agar produk *casting* lebih halus dan mengkilap. Inspeksi secara visual, dimensi, *penetrant test*, *hardness brinnel*. Dari inspeksi ini dapat dilakukan *heat treatment* atau langsung di *packaging* dan dikirim, jika dilakukan *heat treatment* maka perlu dilakukan inspeksi *heat treatment* dan *hardness brinnel* lalu di *packaging* dan dikirim.



Gambar 2.2 Proses Produksi

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Data yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari bagian *maintenance* bidang usaha *Foundry* (Pengecoran) Workshop 1 di PT. Barata Indonesia (Persero) yang memfokuskan pemeliharaan terhadap suatu komponen dalam mesin. Data yang digunakan yaitu data usia pakai pada mesin *Hanger Shot Blast* dan dipilah yang hanya berhubungan dengan komponen *Impeler* mulai dari bulan Mei 2013 sampai bulan Desember 2016 dengan satuan harian. Pengambilan data dilakukan oleh bagian *maintenance* yang selanjutnya data tersebut digunakan sebagai bahan evaluasi kemampuan dari setiap komponen dan sebagai informasi komponen apa saja yang menjadi penyebab mesin mengalami kerusakan.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang akan dianalisis adalah data usia pakai pada komponen *Impeler* yang terdapat di 2 mesin *Hanger Shot Blast* (HSB) berbeda. Berikut struktur data yang digunakan dalam penelitian ini pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Struktur Data

Kerusakan ke- i	Komponen Mesin HSB (k)	
	$Kazo$	$By AB$
1	$t_{1,1}$	$t_{1,2}$
2	$t_{2,1}$	$t_{2,2}$
3	$t_{3,1}$	$t_{3,2}$
.	.	.
.	.	.
N_k	$t_{N_k,1}$	$t_{N_k,2}$

Keterangan :

$t_{1,1}$: Kejadian kerusakan pertama pada komponen $Kazo$

$t_{2,1}$: Kejadian kerusakan kedua pada komponen $Kazo$

$t_{N_k,1}$: Kejadian kerusakan ke- N_k pada komponen *Kazo*

3.3 Langkah Analisis Data

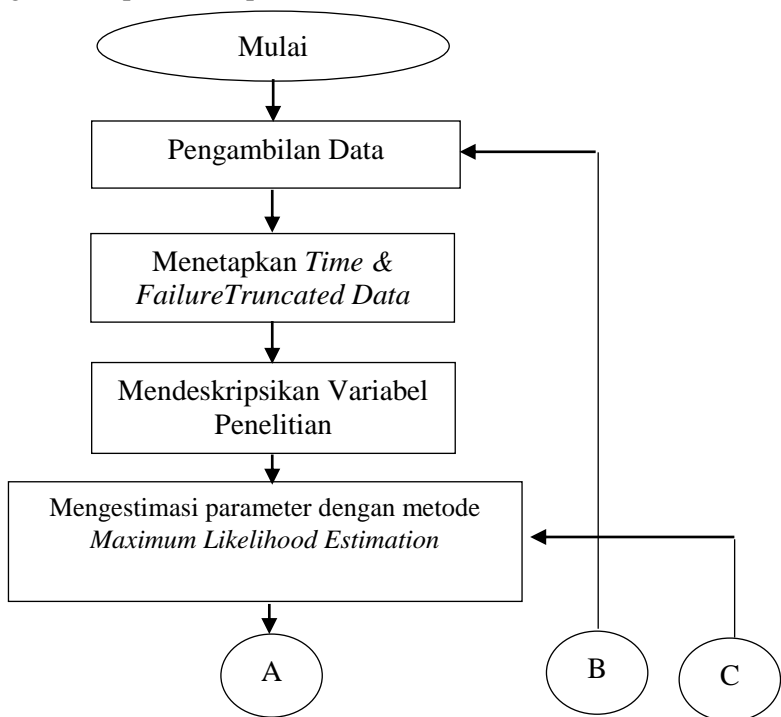
Langkah analisis yang digunakan dalam menentukan optimasi waktu penggantian yang optimal dan meminimumkan biaya sebagai berikut.

1. Mengumpulkan variabel usia pakai komponen *Impeler*.
2. Menetapkan *time truncated* untuk pengamatan.
3. Mendeskripsikan banyaknya kerusakan dan usia pakai komponen *Impeler*.
4. Menguji adanya *trend* dalam usia pakai komponen *Impeler* dengan metode *Cramer Von Mises Test* untuk mengetahui apakah usia pakai komponen *Impeler* mengikuti *Homogeneous Poisson Process* dengan menggunakan persamaan (2.10).
5. Menentukan estimasi parameter usia pakai komponen *Impeler* menggunakan persamaan (2.16) dan (2.17).
6. Menguji adanya kesamaan *trend* dalam usia pakai komponen *Impeler* menggunakan persamaan (2.18).
7. Berdasarkan poin 6, jika terdapat kesamaan *trend* dalam *failure rate* maka :
 1. Usia pakai komponen *Impeler* diduga mengikuti *Non-Homogeneous Poisson Process* yang dibentuk dari *Power Law Process* untuk *Nonidentical System*, sehingga dapat dilakukan estimasi parameter menggunakan persamaan (2.23) dan (2.24).
 2. Mendapatkan grafik dari nilai ROCOF untuk komponen *Impeler*.
8. Mendapatkan model optimasi untuk menentukan waktu penggantian yang meminimumkan biaya kerusakan komponen *Impeler*.
 - a. Memperoleh fungsi $W(t)$ atau laju kerusakan terhadap waktu menggunakan persamaan (2.28)
 - b. Memilih sepasang T dan N

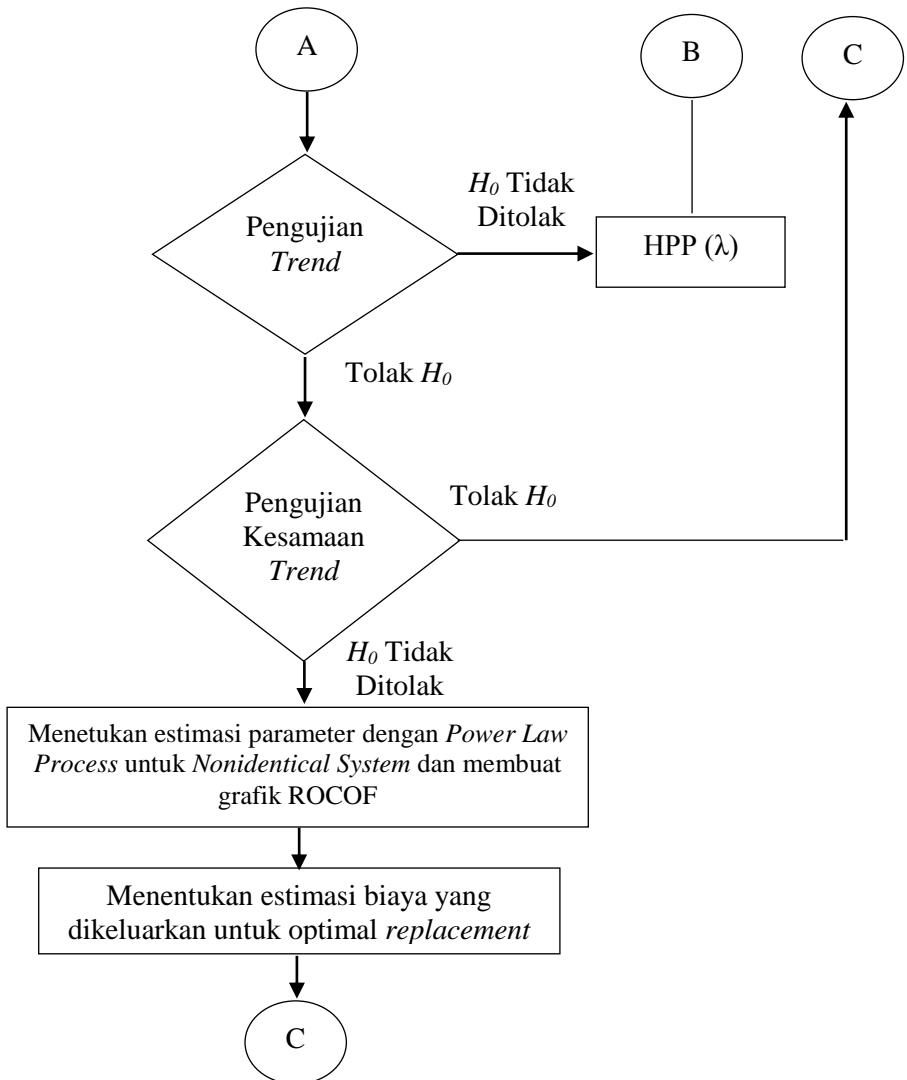
- c. Menghitung $c(T;N)$ menggunakan persamaan (2.27) dengan menggunakan prosedur iteratif dan perhitungan integral trapesium hingga diperoleh nilai yang minimum dari $c(T;N)$
9. Menarik kesimpulan dan memberikan saran dari hasil analisis.

3.4 Diagram Alir

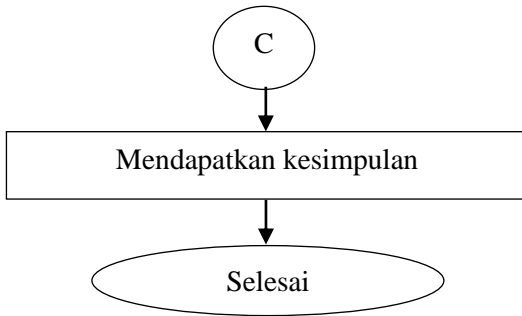
Proses analisis dalam penelitian ini dapat disusun ke dalam diagram alir penelitian pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 (lanjutan) Diagram Alir



Gambar 3.1 (lanjutan) Diagram Alir

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Komponen *Impeler* ini dimiliki oleh dua mesin yang berbeda namun mempunyai fungsi yang sama. Komponen *Impeler* merupakan komponen *repairable*, sehingga perlu dilakukan proses perbaikan apabila terjadi kerusakan. Dalam hal ini perbaikan pun tidak dapat dilakukan secara terus menerus karena jika terlalu sering diperbaiki maka akan terindikasi biaya yang dikeluarkan pun akan terlalu besar, sehingga diperlukan sebuah penggantian komponen pada waktu tertentu.

4.1 Karakteristik Usia Pakai Komponen *Impeler* Mesin *Hanger Shot Blast*

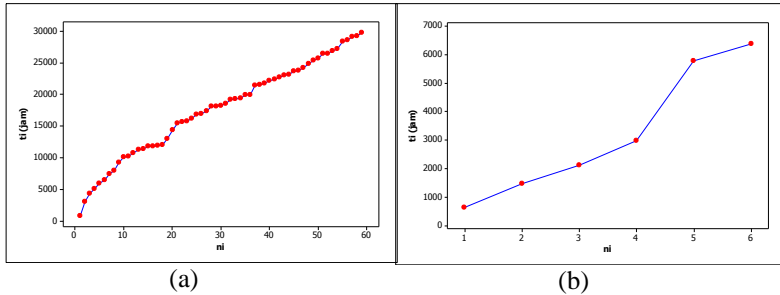
Mesin *Hanger Shot Blast* (HSB) memiliki beberapa komponen salah satunya adalah *Impeler*. Mesin yang digunakan sebagai penelitian adalah mesin *Hanger Shot Blast Kazo* dan *Hanger Shot Blast By AB*. Penelitian ini dengan menggunakan *time truncated* dengan T yang ditetapkan sebesar 30000 jam untuk komponen mesin HSB *Kazo* dan 6400 jam untuk komponen mesin HSB *By AB* yang berarti pengamatan akan berhenti ketika komponen telah beroperasi selama 30000 jam dan 6400 jam. Berdasarkan interval waktu yang ditentukan maka akan diperoleh banyak kerusakan (N). Hasil karakteristik usia pakai komponen *Impeler* untuk tiap mesin dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Karakteristik Usia Pakai Komponen *Impeler*

Komponen Mesin HSB	N	Rata-rata	Varians	Minimum	Maksimum
<i>Kazo</i>	59	17665	56059736	816	29760
<i>By AB</i>	6	3224	5538970	624	6384

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa dari kedua komponen tersebut yang memiliki rata-rata usia pemakaian adalah komponen mesin HSB *Kazo* sebesar 17665 jam dari 59 kerusakan dengan keragaman data sebesar 56059736 dan kerusakan pertama pada saat mesin sudah beroperasi selama 816 jam. Berdasarkan data usia pakai komponen *Impeler* berikut disajikan plot antar banyak

kerusakan (N) dengan kumulatif usia pakai pada kedua komponen *Impeler*.



Gambar 4.1 Perbandingan Banyak Kerusakan (N) dengan Kumulatif Usia Pakai Komponen Mesin HSB (a) *Kazo*; (b) *By AB*

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa untuk komponen *Impeler* mesin HSB *Kazo* terindikasi adanya perbaikan dalam reliabilitas ketika usia pakai lebih besar daripada nilai t . Sedangkan komponen *Impeler* mesin HSB *By AB* terindikasi mengalami suatu kerusakan. Usia pakai yang dialami komponen *Impeler* mesin HSB *Kazo* dan *By AB* menunjukkan komponen tersebut sering mengalami kerusakan sehingga usia pakai selanjutnya semakin kecil dan mengakibatkan komponen semakin cepat rusak seiring bertambahnya waktu.

4.2 Pengujian Trend

Pengujian *trend* dilakukan dengan menggunakan *Cramer von Mises test* untuk menguji waktu kerusakan komponen *Impeler* mengikuti *Homogeneous Poisson Process* pada *Power Law Process*. Hipotesis *null* yang digunakan adalah waktu kerusakan komponen untuk masing-masing mesin mengikuti *Homogeneous Poisson Process*. Nilai statistik uji dari komponen pada kedua mesin bernilai 0,048 dan 0,057 yang lebih kecil dari *critical value*. Sehingga keputusan yang diperoleh adalah menolak H_0 yang menunjukkan bahwa usia pakai yang terjadi pada kedua komponen tidak mengikuti *Homogeneous Poisson Process*. Hasil perhitungan statistik uji yang dirangkum dalam Tabel 4.2 sebagai berikut.

Tabel 4.2 Pengujian *Trend*

Komponen Mesin HSB	C_R^2	<i>Critical Value</i>	Keputusan
<i>Kazo</i>	0,048	0,222	Menolak H_0
<i>By AB</i>	0,057	0,203	Menolak H_0

4.3 Estimasi Parameter

Estimasi parameter untuk usia pakai komponen *Impeler* pada masing-masing mesin *Hanger Shot Blast* dilakukan perhitungan menggunakan persamaan (2.16) dan (2.17) sehingga diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 4.3 Estimasi Parameter

Komponen Mesin HSB	$\hat{\beta}$	$\hat{\theta}$
<i>Kazo</i>	1,488	1937,395
<i>By AB</i>	1,038	1138,719

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa hasil perhitungan estimasi parameter β dan θ pada masing-masing mesin yaitu untuk komponen mesin HSB *Kazo* didapatkan penaksir parameter β sebesar 1,488 dan θ sebesar 1937,395. Sedangkan untuk komponen mesin HSB *By AB* didapatkan taksiran parameter masing-masing sebesar 1,038 dan 1138,719. Nilai estimasi parameter β untuk tiap komponen *Impeler* mesin HSB lebih dari 1 yang menandakan bahwa laju kerusakan meningkat.

4.4 Pengujian Kesamaan *Trend*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui adanya kesamaan *trend* pada usia pakai komponen dan digunakan pengujian dengan persamaan parameter $\hat{\beta}$ untuk dua sistem dengan membandingkan statistik uji (F) terhadap tabel F dengan toleransi kesalahan 0,05. Hipotesis *null* adalah kedua sistem memiliki nilai kenaikan parameter β yang sama atau kedua sistem memiliki kesamaan *trend* ($H_0 : \beta_1 = \beta_2$). Hasil perhitungan uji kesamaan *trend* sebagai berikut.

$$F = \frac{\hat{\beta}_2}{\hat{\beta}_1} = \frac{1,038}{1,488} = 0,698$$

Berdasarkan tabel F , diperoleh $F_{0,025}(12;118) = 2,057$ dan $F_{0,975}(12;118) = 1/F_{0,025}(12;118) = 1/2,083 = 0,486$. Karena $F = 0,698$ berada diantara $0,486$ dan $2,057$ maka keputusannya gagal menolak H_0 . Jadi kesimpulannya kedua sistem memiliki laju kerusakan dengan pola *trend* yang sama.

4.5 Estimasi Parameter untuk *Nonidentical System*

NHPP merupakan model yang dapat digunakan untuk setiap sistem, tidak menutup kemungkinan sistem yang tidak identik dalam artian nilai MTTF yang berbeda. Dalam hal ini, kedua mesin tersebut memiliki kapasitas produksi berbeda, yaitu kapasitas produksi untuk mesin HSB *Kazo* sebesar 2 ton dan untuk mesin HSB *By AB* sebesar 500 Kg. Sehingga dari kedua komponen mesin tersebut memiliki perbedaan perhitungan waktu penggantian yang optimum. Berikut adalah hasil perhitungan estimasi parameter untuk data usia pakai komponen masing-masing mesin dapat dilihat dalam Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Estimasi Parameter untuk *Nonidentical System*

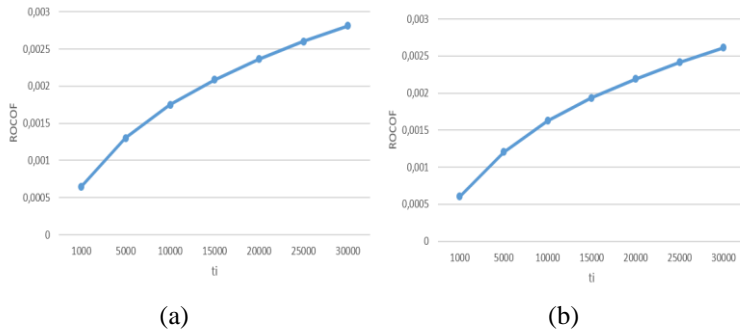
Komponen Mesin HSB	$\hat{\beta}$	$\hat{\theta}$
<i>Kazo</i>	1,431	1736,315
<i>By AB</i>		1829,779

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa hasil perhitungan estimasi parameter β dan θ digunakan untuk menentukan model *replacement* dalam memilih waktu penggantian optimum yang paling tepat dan meminimumkan biaya untuk tiap komponen mesin HSB. Setelah estimasi parameter diperoleh, maka nilai tersebut dapat digunakan untuk menghitung nilai ROCOF. Berikut ROCOF dari kedua komponen dengan menggunakan persamaan (2.8) yang diringkas dalam Tabel 4.5 berdasarkan Lampiran 7A dan 7B.

Tabel 4.5 ROCOF Komponen *Impeler* Mesin HSB *Kazo* dan *By AB*

Waktu (Jam)	Komponen Mesin HSB	
	<i>Kazo</i>	<i>By AB</i>
1000	0,00065	0,000603
5000	0,0013	0,001206
10000	0,001753	0,001626
15000	0,002088	0,001937
20000	0,002363	0,002192
25000	0,002602	0,002414
30000	0,002814	0,002611

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa nilai laju kerusakan dari waktu ke waktu terus meningkat untuk masing-masing komponen. Adanya pola *trend* menunjukkan bahwa jika semakin besar laju kerusakan yang terjadi pada komponen maka semakin besar juga kemungkinan suatu komponen akan gagal dalam beroperasi.

**Gambar 4.2** ROCOF Komponen Mesin HSB (a) *Kazo*; (b) *By AB*

Gambar 4.2 menunjukkan laju kerusakan untuk masing-masing komponen meningkat hingga waktu ke- t yaitu 30000 jam. Peningkatan laju kerusakan yang terjadi pada komponen *Impeler* dapat dilihat secara visual bahwa dari waktu ke waktu laju kerusakan menunjukkan mesin tidak *reliable* atau lemah dan mengalami *trend* naik dan tidak konstan.

4.6 Replacement Model

Dalam *preventive maintenance* yang paling diperhatikan adalah biaya yang diperlukan untuk proses *maintenance*. Sama halnya dengan *minimal repair* yang juga memperhatikan biaya yang paling minimum. Sehingga dalam *replacement model* ini dibahas mengenai waktu yang tepat untuk *preventive maintenance* dengan meminimalkan biaya yang pada komponen *Impeler*. Terdapat dua biaya yang harus diketahui agar dapat menghitung *replacement model*. Biaya yang diketahui adalah c_p atau biaya perbaikan minimal atau biaya penggantian terencana (*preventive maintenance*) dan c_f yaitu rata-rata biaya penggantian yang terjadi jika komponen mengalami kerusakan. Berikut nilai biaya c_p dan c_f berdasarkan informasi yang diperoleh dari PT. Barata Indonesia (Persero).

Tabel 4.6 Nilai c_p dan c_f

c_p	Rp 208.333,333/jam
c_f	Rp 1.250.000/jam

Tabel 4.6 menunjukkan jika komponen *Impeler* mengalami proses perbaikan terencana maka biaya minimal yang dikeluarkan sebesar Rp 208.333,333. sedangkan biaya yang dibutuhkan jika terjadi kerusakan sebesar Rp 1.250.000. Nilai c_p dan c_f ini akan digunakan untuk menghitung biaya penggantian komponen *Impeler* menggunakan persamaan berikut.

$$C(T;n) = \frac{1.250.000 \left[n - \sum_{j=0}^{n-1} (n-j) \frac{[W(T)]^j}{j!} e^{-W(T)} \right] + 208.333,333}{\sum_{j=0}^{n-1} \int_0^T \frac{[W(t)]^j}{j!} e^{-W(t)} dt}$$

Untuk mendapatkan nilai minimum dari $C(T;n)$ maka terlebih dahulu akan dicari nilai laju kerusakan terhadap waktu dengan mensubstitusikan nilai parameter β dan θ kedalam persamaan. Langkah selanjutnya adalah memilih sepasang T dan N yang akan dihitung dengan mensubstitusikan nilai c_p dan c_f kedalam persamaan yang telah dijabarkan. Selanjutnya untuk mendapatkan

nilai fungsi biaya yang minimum dari $C(T;n)$ maka estimasi biaya yang didapatkan pada pengamatan untuk komponen *Impeler* mesin HSB *Kazo* yang mengacu pada Lampiran 8B yang diringkas dalam Tabel 4.7 sebagai berikut.

Tabel 4.7 Estimasi Biaya Penggantian Komponen *Impeler* Mesin HSB *Kazo* (Rp/jam)

Waktu (Jam)	Kerusakan ke-			
	1	2	3	4
40	537.354,98	551.559,70	565.764,42	579.969,13
60	366.932,52	383.878,64	400.824,76	417.770,87
100	233.001,32	254.209,58	275.417,84	296.626,11
200	137.884,72	166.872,53	195.860,34	224.848,16
601	93.665,99	144.377,69	195.089,39	245.801,09
1400	125.923,69	221.302,26	316.680,82	412.059,38
2400	237.420,12	433.731,71	630.043,30	826.354,89
2600	274.519,97	503.212,05	731.904,13	960.596,21

Tabel 4.7 menunjukkan bahwa pemilihan waktu penggantian komponen *Impeler* mesin HSB *Kazo* menghasilkan biaya yang minimum sebesar Rp 93.665,99/jam setelah mengalami kerusakan pertama atau saat mesin sudah beroperasi selama 601 jam, tergantung tergantung mana yang lebih dahulu terjadi. Berikut adalah estimasi biaya yang didapatkan pada pengamatan untuk komponen *Impeler* mesin HSB *By AB* yang mengacu pada Lampiran 8C diringkas dalam Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Estimasi Biaya Penggantian Komponen *Impeler* Mesin HSB *By AB* (Rp/jam)

Waktu (Jam)	Kerusakan ke-			
	1	2	3	4
40	536.158,35	549.334,25	562.510,15	575.686,05
60	365.502,67	381.219,48	396.936,28	412.653,09
100	231.204,87	250.868,67	270.532,47	290.196,27
200	135.397,92	162.247,92	189.097,93	215.947,93
634	88.881,61	137.031,91	185.182,21	233.332,51
1400	114.993,63	200.989,27	286.984,92	372.980,56
2400	206.702,20	376.666,40	546.630,59	716.594,78
2600	236.402,04	432.403,29	628.404,54	824.405,78

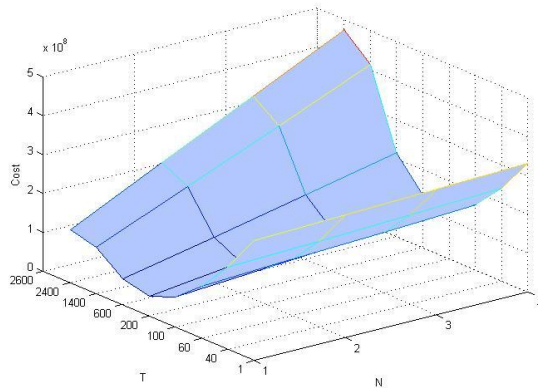
Tabel 4.8 menunjukkan bahwa pemilihan waktu penggantian komponen *Impeler* mesin HSB *By AB* menghasilkan biaya yang minimum sebesar Rp 88.881,61/jam setelah kerusakan pertama dan saat mesin sudah beroperasi selama 634 jam, tergantung mana yang lebih dahulu terjadi. Berikut ringkasan dari hasil estimasi biaya yang dihasilkan dari kedua mesin HSB.

Tabel 4.9 Kebijakan Optimasi Biaya untuk Kedua Mesin HSB Komponen

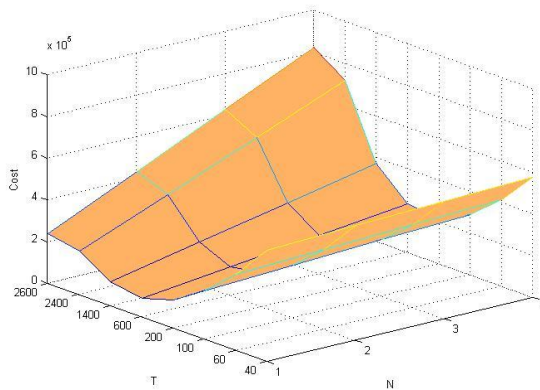
<i>Impeler</i>			
Mesin HSB	N	T (Jam)	Cost (Rupiah/Jam)
<i>Kazo</i>	1	601	93.665,99
<i>By AB</i>	1	634	88.881,61

Tabel 4.9 merupakan hasil perhitungan optimasi biaya untuk kedua mesin HSB komponen *Impeler* dari sepasang nilai T dan N . Pemilihan waktu penggantian untuk komponen *Impeler* mesin HSB *Kazo* jika komponen mesin telah beroperasi selama 601 jam atau setelah mengalami kerusakan pertama, tergantung mana dulu yang terjadi dengan biaya minimum sebesar Rp 93.665,99/jam. Sedangkan pemilihan waktu penggantian untuk komponen *Impeler* mesin HSB *By AB* jika komponen mesin telah beroperasi selama 634 jam atau setelah mengalami kerusakan pertama, tergantung mana dulu yang terjadi dengan biaya minimum sebesar Rp 88.881,61/jam.

Berikut bentuk grafik tiga dimensi hasil perhitungan biaya dari persamaan $C(T;n)$ untuk sepasang ke- T dan kerusakan ke- N , disajikan pada Gambar 4.3 yang menunjukkan bahwa biaya minimum untuk komponen *Impeler* mesin HSB *Kazo* dan *By AB* terdapat pada kerusakan pertama dengan waktu penggantian optimum yang berbeda yakni masing-masing 601 jam dan 634 jam, dimana jika kerusakan bertambah maka biaya minimum meningkat dan waktu penggantian yang berbeda mempengaruhi biaya minimum.



(a)



(b)

Gambar 4.3 Estimasi Biaya Terhadap Sepasang T dan N untuk Komponen *Impeler* Mesin HSB (a) *Kazo*; (b) *By AB*

Berdasarkan nilai MTTF tiap komponen *Impeler* mesin HSB dibandingkan dengan hasil analisis optimasi waktu penggantian menghasilkan nilai lebih besar, dapat dilihat pada Tabel 4.10 yang menunjukkan bahwa nilai MTTF untuk komponen *Impeler* mesin HSB *Kazo* sebesar 1577,362 jam/kerusakan dan komponen *Impeler* mesin HSB *By AB* sebesar 1622,270 jam/kerusakan.

Tabel 4.10 Nilai MTTF tiap Komponen *Impeler* Mesin HSB

Mesin HSB	MTTF (Jam/kerusakan)
<i>Kazo</i>	1577,362
<i>By AB</i>	1622,270

Hasil ini menyatakan bahwa komponen *Impeler* mesin HSB telah dilakukan perawatan sebelum mengalami kerusakan, sehingga diharapkan hanya terdapat biaya perawatan saja tanpa tambahan biaya produksi dan kerusakan.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berikut kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini berdasarkan analisis dan pembahasan yaitu pemilihan waktu penggantian untuk komponen *Impeler* mesin HSB *Kazo* jika komponen sudah beroperasi selama 601 jam atau setelah mengalami kerusakan pertama, tergantung mana yang lebih dahulu terjadi dengan biaya yang minimum sebesar Rp 93.665,99/jam. Sedangkan untuk komponen *Impeler* mesin HSB *By AB*, pemilihan waktu penggantian jika komponen sudah beroperasi selama 634 jam atau setelah mengalami kerusakan pertama, tergantung mana yang lebih dahulu terjadi dengan biaya yang minimum sebesar Rp 88.881,61/jam. Hasil kebijakan optimasi dibandingkan dengan nilai MTTF menyatakan bahwa komponen *Impeler* mesin HSB telah dilakukan perawatan sebelum mengalami kerusakan, sehingga hal ini diharapkan hanya ada biaya perawatan saja tanpa tambahan biaya produksi dan kerusakan.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil analisis dan pembahasan adalah dalam penelitian ini menggunakan faktor internal untuk menganalisis akibat dari sebuah kerusakan yang dialami komponen *Impeler*, sehingga untuk penelitian selanjutnya diharapkan peneliti dapat mencari faktor eksternal agar penentuan *preventive maintenance* dari komponen *Impeler* akan menjadi lebih maksimal. Kemudian untuk pihak perusahaan, pada tahap pencatatan data banyak ditemukan keterangan data yang kurang jelas mengenai kerusakan yang terjadi dalam mesin tersebut, sehingga diharapkan pihak perusahaan lebih teliti dalam melakukan pengambilan dan pengecekan data agar ketika dilakukan analisis dan evaluasi didapatkan kebijakan yang lebih baik untuk tiap komponen. Serta perencanaan untuk melakukan

kebijakan penentuan waktu perbaikan dapat dilakukan dengan kemungkinan nilai T dan N yang pasti tanpa melakukan *trial and error*.

DAFTAR PUSTAKA

- Crowder, M. J., Kimber, A. C., Smith, R. L., & Sweeting, T. J. (1991). *Statistical Analysis of Reliability Data*. Springer Science Business Media.
- Ebeling, C. E. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Singapore: McGraw-Hill Book.
- Hoyland, & Rausand. (1994). *System Reliability Engineering Theory*. New York: John Wiley & Sons.
- Leung, F. N., & Cheng, A. M. (2000). Determining Replacement Policies for Bus Engines. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 17, 771-783.
- Nakagawa, T., & Kowada, M. (1983). Analysis of a systems with minimal repair and its application to replacement policy. *European Journal of Operational Research*, 12, 176-182.
- O'Connor, P. (2012). *Practical Reliability Engineering*. New York: John Wiley & Sons.
- Rigdon, S. E., & Basu, A. P. (2000). *Statistical Methods for the Reliability of Repairable Systems*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Tyas, N. A. (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*. Laporan Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Statistika, Surabaya.

(Halaman ini sengaja di kosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran 1A. Data Usia Pakai Komponen *Impeler* Mesin HSB
Kazo

<i>i</i>	<i>t_i</i>	<i>i</i>	<i>t_i</i>	<i>i</i>	<i>t_i</i>
1	816	21	15456	41	22416
2	3072	22	15624	42	22704
3	4368	23	15792	43	23016
4	5088	24	16200	44	23112
5	5904	25	16848	45	23736
6	6456	26	16968	46	23784
7	7416	27	17328	47	24264
8	7968	28	18072	48	24864
9	9216	29	18168	49	25440
10	10128	30	18264	50	25752
11	10176	31	18552	51	26448
12	10752	32	19224	52	26520
13	11280	33	19272	53	26856
14	11424	34	19368	54	27216
15	11784	35	19896	55	28392
16	11856	36	19992	56	28560
17	11928	37	21480	57	29112
18	12072	38	21552	58	29232
19	13032	39	21720	59	29760
20	14376	40	22152		

Lampiran 1B. Data Usia Pakai Komponen *Impeler* Mesin HSB
By AB

i	t_i
1	624
2	1464
3	2112
4	2976
5	5784
6	6384

Lampiran 2. Karakteristik Usia Pakai Tiap Komponen

Variable	N	Mean	Variance	Minimum	Maximum
Komponen1	59	17665	56059736	816	29760
komponen2	6	3224	5538970	624	6384

Lampiran 3A. Pengujian *Trend* untuk Komponen *Impeler* Mesin HSB *Kazo*

Perhitungan *biased* MLE dari β

$$\hat{\beta} = \frac{N}{\sum_{i=1}^N \ln\left(\frac{t_n}{t_i}\right)} = \frac{59}{39,644} = 1,488$$

Perhitungan *unbiased estimator*

$$\bar{\beta} = \frac{n-1}{n} \hat{\beta} = \frac{n-1}{\sum_i \ln(t_n/t_i)} = \frac{59-1}{39,644} = 1,463$$

Perhitungan statistik uji untuk metode *Cramer-con Mises*

i	t_i	R_i	$2i-1/2n$	$R_i-(2i-1)/2n$
1	816	0,005126	0,008475	0,000011
2	3072	0,035650	0,025424	0,000105
3	4368	0,059662	0,042373	0,000299
4	5088	0,074584	0,059322	0,000233

Lampiran 3A. (lanjutan)

i	t_i	R_i	$2i-1/2n$	$R_i-(2i-1)/2n$
5	5904	0,092716	0,076271	0,000270
6	6456	0,105668	0,093220	0,000155
7	7416	0,129427	0,110169	0,000371
8	7968	0,143761	0,127119	0,000277
9	9216	0,177866	0,144068	0,001142
10	10128	0,204197	0,161017	0,001865
11	10176	0,205614	0,177966	0,000764
12	10752	0,222862	0,194915	0,000781
13	11280	0,239054	0,211864	0,000739
14	11424	0,243532	0,228814	0,000217
15	11784	0,254841	0,245763	0,000082
16	11856	0,257122	0,262712	0,000031
17	11928	0,259410	0,279661	0,000410
18	12072	0,264005	0,296610	0,001063
19	13032	0,295277	0,313559	0,000334
20	14376	0,340874	0,330508	0,000107
21	15456	0,378982	0,347458	0,000994
22	15624	0,385024	0,364407	0,000425
23	15792	0,391096	0,381356	0,000095
24	16200	0,405966	0,398305	0,000059
25	16848	0,429942	0,415254	0,000216
26	16968	0,434430	0,432203	0,000005
27	17328	0,447980	0,449153	0,000001
28	18072	0,476398	0,466102	0,000106
29	18168	0,480105	0,483051	0,000009
30	18264	0,483821	0,500000	0,000262

Lampiran 3A. (lanjutan)

<i>i</i>	<i>t_i</i>	<i>R_i</i>	$2i-1/2n$	$R_i-(2i-1)/2n$
31	18552	0,495023	0,516949	0,000481
32	19224	0,521475	0,533898	0,000154
33	19272	0,523381	0,550847	0,000754
34	19368	0,527200	0,567797	0,001648
35	19896	0,548358	0,584746	0,001324
36	19992	0,552234	0,601695	0,002446
37	21480	0,613390	0,618644	0,000028
38	21552	0,616400	0,635593	0,000368
39	21720	0,623443	0,652542	0,000847
40	22152	0,641667	0,669492	0,000774
41	22416	0,652886	0,686441	0,001126
42	22704	0,665194	0,703390	0,001459
43	23016	0,678610	0,720339	0,001741
44	23112	0,682755	0,737288	0,002974
45	23736	0,709892	0,754237	0,001967
46	23784	0,711993	0,771186	0,003504
47	24264	0,733113	0,788136	0,003027
48	24864	0,759786	0,805085	0,002052
49	25440	0,785674	0,822034	0,001322
50	25752	0,799811	0,838983	0,001534
51	26448	0,831633	0,855932	0,000590
52	26520	0,834948	0,872881	0,001439
53	26856	0,850469	0,889831	0,001549
54	27216	0,867200	0,906780	0,001567
55	28392	0,922565	0,923729	0,000001
56	28560	0,930563	0,940678	0,000102

Lampiran 3A. (lanjutan)

i	t_i	R_i	$2i-1/2n$	$R_i-(2i-1)/2n$
57	29112	0,956993	0,957627	0,000000
58	29232	0,962770	0,974576	0,000139
59	29760	0,988318	0,991525	0,000010

Lampiran 3B. Pengujian *Trend* untuk Komponen *Impeler* Mesin
By ABPerhitungan *biased* MLE dari β

$$\hat{\beta} = \frac{N}{\sum_{i=1}^N \ln\left(\frac{t_n}{t_i}\right)} = \frac{6}{5,781} = 1,038$$

Perhitungan *unbiased estimator*

$$\bar{\beta} = \frac{n-1}{n} \hat{\beta} = \frac{n-1}{\sum_i^n \ln(t_n/t_i)} = \frac{6-1}{5,781} = 0,865$$

Perhitungan statistik uji untuk metode *Cramer-con Mises*

i	t_i	R_i	$2i-1/2n$	$R_i-(2i-1)/2n$
1	624	0,133538	0,08333	0,00252
2	1464	0,279204	0,25000	0,00085
3	2112	0,383327	0,41667	0,00111
4	2976	0,515686	0,58333	0,00458
5	5784	0,916193	0,75000	0,02762
6	6384	0,997837	0,91667	0,00659

Lampiran 4A. Perhitungan Estimasi Parameter Menggunakan
MLE pada Komponen *Impeler* Mesin HSB Kazo

i	t_i	$\ln(T/t_i)$	i	t_i	$\ln(T/t_i)$
1	816	3,604538	31	18552	6,874965
2	3072	2,278869	32	19224	6,843217

Lampiran 4A. (lanjutan)

i	t_i	$\ln(T/t_i)$	i	t_i	$\ln(T/t_i)$
3	4368	1,926892	33	19272	6,812445
4	5088	1,774313	34	19368	6,782592
5	5904	1,625567	35	19896	6,753605
6	6456	1,536187	36	19992	6,725434
7	7416	1,397558	37	21480	6,698035
8	7968	1,325764	38	21552	6,671367
9	9216	1,180256	39	21720	6,645391
10	10128	1,085894	40	22152	6,620073
11	10176	1,081165	41	22416	6,595381
12	10752	1,026106	42	22704	6,571283
13	11280	0,978166	43	23016	6,547753
14	11424	0,965481	44	23112	6,524763
15	11784	0,934455	45	23736	6,50229
16	11856	0,928363	46	23784	6,480311
17	11928	0,922309	47	24264	6,458805
18	12072	0,910309	48	24864	6,437752
19	13032	0,83379	49	25440	6,417132
20	14376	0,735637	50	25752	6,39693
21	15456	0,6632	51	26448	6,377127
22	15624	0,652389	52	26520	6,357709
23	15792	0,641694	53	26856	6,338661
24	16200	0,616186	54	27216	6,319969
25	16848	0,576965	55	28392	6,301619
26	16968	0,569868	56	28560	6,283601
27	17328	0,548874	57	29112	6,265901
28	18072	0,506834	58	29232	6,24851

Lampiran 4A. (lanjutan)

i	t_i	$\ln(T/t_i)$	i	t_i	$\ln(T/t_i)$
29	18168	0,501536	59	29760	6,231415
30	18264	0,496265			

Parameter β didapat hasil sebagai berikut.

$$\hat{\beta} = \frac{N}{\sum_{i=1}^N \ln\left(\frac{t_n}{t_i}\right)} = \frac{59}{39,6444} = 1,488$$

Parameter θ didapat hasil sebagai berikut.

$$\hat{\theta} = \frac{t}{n^{1/\hat{\beta}}} = \frac{30000}{59^{1/1,488}} = 1937,395$$

Lampiran 4B. Perhitungan Estimasi Parameter Menggunakan MLE pada Komponen *Impeler* Mesin HSB By AB

i	t_i	$\ln(T/t_i)$
1	624	2,327903
2	1464	1,475126
3	2112	1,108663
4	2976	0,765718
5	5784	0,101203
6	6384	0,002503

Parameter β didapat hasil sebagai berikut.

$$\hat{\beta} = \frac{N}{\sum_{i=1}^N \ln\left(\frac{t_n}{t_i}\right)} = \frac{6}{5,781115} = 1,038$$

Parameter θ didapat hasil sebagai berikut.

$$\hat{\theta} = \frac{t}{n^{1/\hat{\beta}}} = \frac{6400}{6^{1/1,038}} = 1138,719$$

Lampiran 5. Pengujian Kesamaan *Trend*

$$\hat{\beta}_1 = 1,488$$

$$\hat{\beta}_2 = 1,038$$

$$F = \frac{\hat{\beta}_2}{\hat{\beta}_1} = \frac{1,038}{1,488} = 0,698$$

Lampiran 6. Estimasi Parameter untuk *Nonidentical System*

$$\hat{\beta} = \frac{N}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} \ln \left(\frac{T_i}{t_{i,j}} \right)} = \frac{65}{5,781 + 39,644} = 1,431$$

- Mesin HSB *Kazo*

$$\hat{\theta}_i = \frac{T_i}{n_i^{1/\hat{\beta}}} = \frac{30000}{59^{1/1,431}} = 1736,315$$

- Mesin HSB *By AB*

$$\hat{\theta}_2 = \frac{T_i}{n_i^{1/\hat{\beta}}} = \frac{6400}{6^{1/1,431}} = 1829,779$$

Lampiran 7A. Perhitungan ROCOF Komponen *Impeler* Mesin HSB *Kazo*

$$w(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\beta-1} = \frac{1,431}{1736,315} \left(\frac{t}{1736,315} \right)^{1,431-1}$$

Lampiran 7A. (lanjutan)

t_i	ROCOF	t_i	ROCOF	t_i	ROCOF
.	.	1021	0,000656	1045	0,000662
.	.	1022	0,000656	1046	0,000662
.	.	1023	0,000656	1047	0,000663
1000	0,00065	1024	0,000656	1048	0,000663
1001	0,00065	1025	0,000657	1049	0,000663
1002	0,00065	1026	0,000657	1050	0,000664
1003	0,000651	1027	0,000657	1051	0,000664
1004	0,000651	1028	0,000658	1052	0,000664
1005	0,000651	1029	0,000658	1053	0,000664
1006	0,000651	1030	0,000658	1054	0,000665
1007	0,000652	1031	0,000658	1055	0,000665
1008	0,000652	1032	0,000659	1056	0,000665
1009	0,000652	1033	0,000659	1057	0,000665
1010	0,000653	1034	0,000659	1058	0,000666
1011	0,000653	1035	0,000659	1059	0,000666
1012	0,000653	1036	0,00066	1060	0,000666
1013	0,000653	1037	0,00066	1061	0,000667
1014	0,000654	1038	0,00066	1062	0,000667
1015	0,000654	1039	0,000661	1063	0,000667
1016	0,000654	1040	0,000661	1064	0,000667
1017	0,000654	1041	0,000661	1065	0,000668
1018	0,000655	1042	0,000661	.	.
1019	0,000655	1043	0,000662	.	.
1020	0,000655	1044	0,000662	.	.

Lampiran 7B. Perhitungan ROCOF Komponen *Impeler* Mesin HSB By AB

$$w(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\beta-1} = \frac{1,431}{1829,779} \left(\frac{t}{1829,779} \right)^{1,431-1}$$

t_i	ROCOF	t_i	ROCOF	t_i	ROCOF
.	.	1021	0,000608	1045	0,000614
.	.	1022	0,000608	1046	0,000615
.	.	1023	0,000609	1047	0,000615
1000	0,000603	1024	0,000609	1048	0,000615

Lampiran 7B. (lanjutan)

<i>t_i</i>	ROCOF	<i>t_i</i>	ROCOF	<i>t_i</i>	ROCOF
1001	0,000603	1025	0,000609	1049	0,000615
1002	0,000603	1026	0,000609	1050	0,000616
1003	0,000604	1027	0,00061	1051	0,000616
1004	0,000604	1028	0,00061	1052	0,000616
1005	0,000604	1029	0,00061	1053	0,000616
1006	0,000604	1030	0,00061	1054	0,000617
1007	0,000605	1031	0,000611	1055	0,000617
1008	0,000605	1032	0,000611	1056	0,000617
1009	0,000605	1033	0,000611	1057	0,000617
1010	0,000605	1034	0,000612	1058	0,000618
1011	0,000606	1035	0,000612	1059	0,000618
1012	0,000606	1036	0,000612	1060	0,000618
1013	0,000606	1037	0,000612	1061	0,000618
1014	0,000606	1038	0,000613	1062	0,000619
1015	0,000607	1039	0,000613	1063	0,000619
1016	0,000607	1040	0,000613	1064	0,000619
1017	0,000607	1041	0,000613	1065	0,000619
1018	0,000607	1042	0,000614	.	.
1019	0,000608	1043	0,000614	.	.
1020	0,000608	1044	0,000614	.	.

Lampiran 8A. *Syntax* MATLAB Optimasi Biaya Komponen Impeler Mesin HSB

```

clc;
clear;
teta=input('teta=');
beta=input('beta=');
cf=208333.333;
cp=1250000;
N=1:1:4;
T=1:1:30000;
T1=length(T);
N1=length(N);
for a=1:T1
    t=T(a);
    n=N;
    Rt=(t/teta).^beta;
    at=0;
    for i=0:(N-1)
        at=at+( (N-
i)*(Rt^i)/factorial(i)*exp(-1*Rt));
        c=0;
        h=(t-0)/100;
        Luas=0;
        bw=0;
        for p=1:(100-1)

ba=(((c/teta).^beta)^i)./factorial(i)*exp(-
(c/teta).^beta);
        d=c+h;
bb=(((d/teta).^beta)^i)./factorial(i)*exp(-
(d/teta).^beta);
        luas=Luas+(0.5*(ba+bb)*h);
        c=d;
        end
        bw=bw+luas;
    end
    C(a,N)=((cf*(n-at))+cp)/bw
end
mesh(C)

```

Lampiran 8B. Hasil Perhitungan Optimasi Biaya Komponen
Impeler Mesin HSB Kazo

Waktu (Jam)	Kerusakan ke-N			
	1	2	3	4
1	20836696	20839586	20842477	20845368
2	10421200	10425097	10428994	10432891
3	6949843	6954485	6959126	6963768
4	5214445	5219699	5224954	5230208
5	4173395	4179180	4184965	4190750
6	3479501	3485759	3492017	3498276
.
.
.
587	93685,44	143703,8	193722,1	243740,4
588	93682,76	143750,6	193818,5	243886,4
589	93680,28	143797,7	193915,1	244032,5
590	93678,01	143845	194011,9	244178,9
591	93675,94	143892,4	194108,9	244325,4
592	93674,06	143940,1	194206,1	244472,1
593	93672,38	143987,9	194303,5	244619
594	93670,9	144036	194401	244766,1
595	93669,62	144084,2	194498,8	244913,4
596	93668,53	144132,6	194596,8	245060,9
597	93667,64	144181,3	194694,9	245208,6
598	93666,94	144230,1	194793,3	245356,4
599	93666,43	144279,1	194891,8	245504,4
600	93666,12	144328,3	194990,5	245652,7
601	93665,99	144377,7	195089,4	245801,1
602	93666,06	144427,3	195188,5	245949,7
603	93666,31	144477	195287,8	246098,5
604	93666,76	144527	195387,2	246247,4
605	93667,39	144577,1	195486,9	246396,6
606	93668,2	144627,4	195586,7	246545,9
607	93669,21	144678	195686,7	246695,5
.
.

Lampiran 8C. Hasil Perhitungan Optimasi Biaya Komponen
Impeler Mesin HSB By AB

Waktu (Jam)	Kerusakan ke-N			
	1	2	3	4
1	20836452	20839134	20841816	20844498
2	10420872	10424487	10428103	10431719
3	6949453	6953759	6958065	6962371
4	5214003	5218878	5223752	5228627
5	4172909	4178276	4183643	4189009
6	3478975	3484781	3490586	3496392
.
.
.
620	88896,7	136422,7	183948,7	231474,7
621	88894,53	136465,1	184035,7	231606,3
622	88892,53	136507,7	184122,9	231738,1
623	88890,7	136550,5	184210,3	231870,1
624	88889,04	136593,4	184297,8	232002,2
625	88887,54	136636,5	184385,5	232134,5
626	88886,22	136679,8	184473,4	232267
627	88885,06	136723,3	184561,4	232399,6
628	88884,07	136766,9	184649,6	232532,4
629	88883,25	136810,6	184738	232665,4
630	88882,59	136854,6	184826,5	232798,5
631	88882,1	136898,7	184915,2	232931,7
632	88881,77	136942,9	185004	233065,2
633	88881,61	136987,3	185093	233198,8
634	88881,61	137031,9	185182,2	233332,5
635	88881,77	137076,7	185271,5	233466,4
636	88882,09	137121,6	185361	233600,5
637	88882,57	137166,6	185450,7	233734,7
638	88883,21	137211,8	185540,5	233869,1
639	88884,01	137257,2	185630,4	234003,6
640	88884,97	137302,7	185720,5	234138,3
.
.
.

Lampiran 9. Perhitungan Nilai MTTF

- Mesin HSB *Kazo*

$$\begin{aligned}
 MTTF &= \theta \Gamma(1 + 1/\beta) \\
 &= 1736,315 \Gamma(1 + 1/1,431) \\
 &= 1736,315 \Gamma(1,699) \\
 &= 1736,315(0,90845) \\
 &= 1577,362
 \end{aligned}$$

- Mesin HSB *By AB*

$$\begin{aligned}
 MTTF &= \theta \Gamma(1 + 1/\beta) \\
 &= 1829,779 \Gamma(1 + 1/1,431) \\
 &= 1829,779 \Gamma(1,699) \\
 &= 1829,779(0,90845) \\
 &= 1662,270
 \end{aligned}$$

Lampiran 10A. Fungsi Likelihood Estimasi Parameter

$$\begin{aligned}
 f(n, t_1, t_2, \dots, t_n) &= \frac{\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right]}{n!} n! \prod_{i=1}^n \frac{\beta}{t} \left(\frac{t_i}{t}\right)^{\beta-1} \\
 &= \frac{t^{n\beta}}{\theta^{n\beta}} \frac{\beta^n}{t^n} \left[\prod_{i=1}^n \left(\frac{t_i}{t}\right)\right]^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \\
 &= \frac{t^{n\beta}}{\theta^{n\beta}} \frac{1}{t^{n(\beta-1)}} \frac{\beta^n}{t^n} \left[\prod_{i=1}^n t_i\right]^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \\
 &= \frac{t^{n\beta}}{\theta^{n\beta}} \frac{1}{t^{n\beta-n}} \frac{\beta^n}{t^n} \left[\prod_{i=1}^n t_i\right]^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \\
 &= \frac{t^{n\beta}}{\theta^{n\beta}} \frac{t^n}{t^{n\beta}} \frac{\beta^n}{t^n} \left[\prod_{i=1}^n t_i\right]^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \\
 &= \frac{\beta^n}{\theta^{n\beta}} \left[\prod_{i=1}^n t_i\right]^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \\
 &= \frac{\beta^n}{\theta^n \theta^{n\beta-n}} \left[\prod_{i=1}^n t_i\right]^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \\
 &= \frac{\beta^n}{\theta^n \theta^{n(\beta-1)}} \left[\prod_{i=1}^n t_i\right]^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right]
 \end{aligned}$$

Lampiran 10B. Persamaan Likelihood Estimasi Parameter θ

$$\begin{aligned}
 f(t) &= \left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta, \quad u(t) = t; u'(t) = 0 \\
 &\quad v(t) = \theta; v'(t) = 1 \\
 \frac{\partial f(t)}{\partial t} &= \frac{u'(t)v(t) - v'(t)u(t)}{(v(t))^2} = \frac{0 - t}{\theta^2} = -\frac{t}{\theta^2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \ell}{\partial \theta} &= 0 - \frac{n}{\theta} - \frac{n(\beta-1)}{\theta} - \beta \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \left(-\frac{t}{\theta^2}\right) = \\
0 &= -\frac{n}{\theta} - \frac{n(\beta-1)}{\theta} + \beta \left(\frac{t}{\theta^2}\right) \left(\frac{\theta}{t}\right) \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta} \\
0 &= \frac{-n - n\beta + n}{\theta} + \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta} \\
0 &= \frac{-n - n\beta + n}{\theta} + \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta} \\
0 &= \frac{-n\beta}{\theta} + \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta} \\
0 &= \frac{\beta}{\theta} \left(-n + \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}\right) \\
0 &= -n + \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta} \\
n &= \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta} \\
\beta \sqrt[n]{n} &= \beta \sqrt{\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}} \\
n^{\frac{1}{\beta}} &= \frac{t}{\theta} \\
\theta &= \frac{t}{n^{\frac{1}{\beta}}} \\
\hat{\theta} &= \frac{t}{N^{\frac{1}{\beta}}}
\end{aligned}$$

Lampiran 10C. Persamaan Likelihood Estimasi Parameter β

$$\begin{aligned} \frac{\partial \ell}{\partial \beta} &= \frac{n}{\beta} - 0 - n \ln \theta + \sum_{i=1}^n \ln t_i - \left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta \ln\left(\frac{t}{\theta}\right) \\ 0 &= \frac{n}{\beta} - n \ln\left(\frac{t}{n^{1/\beta}}\right) + \sum_{i=1}^n \ln t_i - \left(\frac{tn^{1/\beta}}{t}\right)^\beta \ln\left(\frac{tn^{1/\beta}}{t}\right) \\ 0 &= \frac{n}{\beta} - n \ln\left(\frac{t}{n^{1/\beta}}\right) + \sum_{i=1}^n \ln t_i - \left(n^{1/\beta}\right)^\beta \ln\left(n^{1/\beta}\right) \\ 0 &= \frac{n}{\beta} - n\left(\ln t - \ln n^{1/\beta}\right) + \sum_{i=1}^n \ln t_i - n \ln\left(n^{1/\beta}\right) \\ 0 &= \frac{n}{\beta} - n \ln t + \frac{n}{\beta} \ln n + \sum_{i=1}^n \ln t_i - \frac{n}{\beta} \ln n \\ 0 &= \frac{n}{\beta} - n \ln t + \sum_{i=1}^n \ln t_i \\ 0 &= \frac{n}{\beta} + \sum_{i=1}^n \ln t_i - \sum_{i=1}^n \ln t \\ 0 &= \frac{n}{\beta} + \sum_{i=1}^n \ln\left(\frac{t_i}{t}\right) \\ 0 &= \frac{n}{\beta} - \sum_{i=1}^n \ln\left(\frac{t}{t_i}\right) \\ \sum_{i=1}^n \ln\left(\frac{t}{t_i}\right) &= \frac{n}{\beta} \\ \beta &= \frac{n}{\sum_{i=1}^n \ln\left(\frac{t}{t_i}\right)} \\ \hat{\beta} &= \frac{N}{\sum_{i=1}^n \ln\left(\frac{t}{t_i}\right)} \end{aligned}$$

Lampiran 10D. Fungsi Likelihood Estimasi Parameter untuk
Nonidentical System

$$\begin{aligned}
L(\theta, \beta) &= \prod_{i=1}^k \left\{ \left[\prod_{j=1}^{n_i} \frac{\beta}{\theta_i} \left(\frac{t_{i,j}}{\theta_i} \right)^{\beta-1} \right] \exp \left[- \left(\frac{T_i}{\theta_i} \right)^\beta \right] \right\} \\
&= \prod_{i=1}^k \left\{ \left[\left(\frac{\beta}{\theta_i} \left(\frac{t_{i,1}}{\theta_i} \right)^{\beta-1} \right) \left(\frac{\beta}{\theta_i} \left(\frac{t_{i,2}}{\theta_i} \right)^{\beta-1} \right) \dots \left(\frac{\beta}{\theta_i} \left(\frac{t_{i,n_i}}{\theta_i} \right)^{\beta-1} \right) \right] \exp \left[- \left(\frac{T_i}{\theta_i} \right)^\beta \right] \right\} \\
&= \prod_{i=1}^k \left\{ \left[\left(\frac{\beta}{\theta_i} \right)^{n_i} \left(\frac{1}{\theta_i} \right)^{n_i(\beta-1)} \prod_{j=1}^{n_i} (t_{i,j})^{\beta-1} \right] \exp \left[- \left(\frac{T_i}{\theta_i} \right)^\beta \right] \right\} \\
&= \prod_{i=1}^k \left\{ \left[\left(\frac{\beta}{\theta_i} \right)^{n_i} \left(\frac{1}{\theta_i} \right)^{n_i\beta-n_i} \prod_{j=1}^{n_i} (t_{i,j})^{\beta-1} \right] \exp \left[- \left(\frac{T_i}{\theta_i} \right)^\beta \right] \right\} \\
&= \prod_{i=1}^k \left\{ \left[\frac{\beta^{n_i}}{\theta_i^{n_i} \theta_i^{n_i\beta-n_i}} \prod_{j=1}^{n_i} (t_{i,j})^{\beta-1} \right] \exp \left[- \left(\frac{T_i}{\theta_i} \right)^\beta \right] \right\} \\
&= \prod_{i=1}^k \left\{ \left[\frac{\beta^{n_i}}{\theta_i^{n_i+n_i\beta-n_i}} \prod_{j=1}^{n_i} (t_{i,j})^{\beta-1} \right] \exp \left[- \left(\frac{T_i}{\theta_i} \right)^\beta \right] \right\} \\
&= \prod_{i=1}^k \left\{ \left[\frac{\beta^{n_i}}{\theta_i^{n_i\beta}} \prod_{j=1}^{n_i} (t_{i,j})^{\beta-1} \right] \exp \left[- \left(\frac{T_i}{\theta_i} \right)^\beta \right] \right\} \\
&= \left(\prod_{i=1}^k \frac{\beta^{n_i}}{\theta_i^{n_i\beta}} \right) \left(\prod_{i=1}^k \prod_{j=1}^{n_i} (t_{i,j})^{\beta-1} \right) \left(\prod_{i=1}^k \exp \left[- \left(\frac{T_i}{\theta_i} \right)^\beta \right] \right) \\
&= \beta^{\sum_{i=1}^k n_i} \prod_{i=1}^k \theta_i^{-n_i\beta} \left(\prod_{i=1}^k \prod_{j=1}^{n_i} t_{i,j} \right)^{\beta-1} \left(\exp \left(\sum_{i=1}^k - \left(\frac{T_i}{\theta_i} \right)^\beta \right) \right) \\
&= \beta^N \prod_{i=1}^k \theta_i^{-n_i\beta} \left(\prod_{i=1}^k \prod_{j=1}^{n_i} t_{ij} \right)^{\beta-1} \left(\exp \left(- \sum_{i=1}^k \left(\frac{T_i}{\theta_i} \right)^\beta \right) \right)
\end{aligned}$$

Lampiran 10E. Persamaan Likelihood Estimasi Parameter
untuk *Nonidentical System* θ

$$\frac{\partial \ln}{\partial \theta_i} = -\frac{\beta n_i}{\theta_i} - \beta \left(\frac{T_i}{\theta_i} \right)^{\beta-1} \left(-\frac{T_i}{\theta_i^2} \right)$$

$$0 = -\frac{\beta n_i}{\theta_i} - \beta \left(\frac{T_i}{\theta_i} \right)^{\beta} \left(\frac{\theta_i}{T_i} \right) \left(-\frac{T_i}{\theta_i^2} \right)$$

$$0 = -\frac{\beta n_i}{\theta_i} + \frac{\beta}{\theta_i} \left(\frac{T_i}{\theta_i} \right)^{\beta}$$

$$0 = \frac{\beta}{\theta_i} \left(-n_i + \left(\frac{T_i}{\theta_i} \right)^{\beta} \right)$$

$$0 = -n_i + \left(\frac{T_i}{\theta_i} \right)^{\beta}$$

$$n_i = \left(\frac{T_i}{\theta_i} \right)^{\beta}$$

$$\sqrt[\beta]{n_i} = \sqrt{\left(\frac{T_i}{\theta_i} \right)^{\beta}}$$

$$n_i^{\frac{1}{\beta}} = \frac{T_i}{\theta_i}$$

$$\theta_i = \frac{T_i}{n_i^{\frac{1}{\beta}}}$$

$$\hat{\theta}_i = \frac{T_i}{n_i^{\frac{1}{\hat{\beta}}}}$$

Lampiran 10F. Persamaan Likelihood Estimasi Parameter
untuk *Nonidentical System* β

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \ln}{\partial \beta} &= \frac{N}{\beta} - \sum_{i=1}^k n_i \ln \theta_i + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} \ln t_{i,j} - \sum_{i=1}^k \left(\frac{T_i}{\theta_i} \right)^\beta \ln \left(\frac{T_i}{\theta_i} \right) \\
 0 &= \frac{N}{\beta} - \sum_{i=1}^k n_i \ln \left(\frac{T_i}{n_i^\beta} \right) + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} \ln t_{i,j} - \sum_{i=1}^k \left(\frac{T_i n_i^{\frac{1}{\beta}}}{T_i} \right)^\beta \ln \left(\frac{T_i n_i^{\frac{1}{\beta}}}{T_i} \right) \\
 0 &= \frac{N}{\beta} - \sum_{i=1}^k n_i \left(\ln T_i - \ln n_i^{\frac{1}{\beta}} \right) + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} \ln t_{i,j} - \sum_{i=1}^k n_i \ln n_i^{\frac{1}{\beta}} \\
 0 &= \frac{N}{\beta} - \sum_{i=1}^k n_i \ln T_i + \sum_{i=1}^k n_i \ln n_i^{\frac{1}{\beta}} + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} \ln t_{i,j} - \sum_{i=1}^k n_i \ln n_i^{\frac{1}{\beta}} \\
 0 &= \frac{N}{\beta} - \sum_{i=1}^k n_i \ln T_i + \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{\beta} \ln n_i + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} \ln t_{i,j} - \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{\beta} \ln n_i \\
 0 &= \frac{N}{\beta} - \sum_{i=1}^k n_i \ln T_i + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} \ln t_{i,j} \\
 \sum_{i=1}^k n_i \ln T_i - \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} \ln t_{i,j} &= \frac{N}{\beta} \\
 \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} \ln T_i - \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} \ln t_{i,j} &= \frac{N}{\beta} \\
 \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} \ln \left(\frac{T_i}{t_{i,j}} \right) &= \frac{N}{\beta} \\
 \beta &= \frac{N}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} \ln \left(\frac{T_i}{t_{i,j}} \right)} \\
 \hat{\beta} &= \frac{N}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} \ln \left(\frac{T_i}{t_{i,j}} \right)}
 \end{aligned}$$

Lampiran 11A. Surat Penerimaan Pengambilan Data dan Penelitian

barata indonesia

Nomor : 22 17 084
Lampiran : -
Perihal : Ijin Penelitian

Gresik, 22 Februari 2017

Kepada Yth. :

Ketua Jurusan Statistika
Fakultas MIPA - ITS
Kampus ITS Sukolilo

SURABAYA

Dengan hormat,

Sehubungan dengan Surat Nomor : 004884/IT2.V1.1.3/TU.00.08/2017 tanggal 26 Januari 2017, perihal seperti tersebut pada pokok Surat, dengan ini diberitahukan bahwa kami dapat menyetujui hal dimaksud, dengan ketentuan sebagai berikut :

1. Mahasiswa yang melaksanakan penelitian wajib mematuhi Tata Tertib yang berlaku di PT. Barata Indonesia (Persero).
2. Mahasiswa yang melaksanakan Penelitian wajib diasuransikan oleh pihak Perguruan Tinggi.
3. Melengkapi persyaratan :
 - Foto Copy jawaban ini sebanyak 3 (tiga) lembar.
 - Foto Copy KTP dan Kartu Mahasiswa sebanyak 2 (dua) lembar
 - Foto terbaru 3 x 3 sebanyak 2 (dua) lembar
4. Hal – hal lain yang perlu kami sampaikan adalah :
 - Waktu yang diizinkan dari tanggal : 28 Februari s/d 10 Maret 2017
 - J a m : 07.30 – 16.30 WIB.
 - Jumlah Mahasiswa : 1 (satu) orang
 - Nama Mahasiswa : ENY HIDAYATI
5. Mahasiswa yang akan melaksanakan penelitian diharuskan datang tepat waktu.
6. Memakai Safety Shoes.
7. Memakai rompi K3 warna hijau muda dan heli warna orange (**membawa sendiri**).

Demikian untuk diketahui dan atas perhatiannya disampaikan terima kasih.

PT. BARATA INDONESIA (Persero)
BIRO SUMBER DAYA MANUSIA


Ir. BUSTOMEK
Manajer

Surat persetujuan/mawi/Abu

PT. BARATA INDONESIA (Persero)
Jl. Veteran 241 Gresik 61123, East Java - Indonesia
Tel. +62 31 3990555, Fax. +62 31 3990666, info@barata.com, www.barata.com

Lampiran 11B. Surat Izin Publikasi**SURAT KETERANGAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :

1. Mahasiswa Statistika FMIPA-ITS dengan identitas berikut :

Nama : Eny Hidayati

NRP : 1315 105 025

Telah mengambil data di instansi/perusahaan kami :

Nama Instansi : PT. Barata Indonesia (Persero)

Divisi/ bagian : *Maintenance* (Bidang Pengecoran – Workshop 1)

Sejak tanggal 27 Pebruari sampai dengan 10 Maret 2017 untuk keperluan Tugas Akhir/Thesis Semester Gasal/Genap* 2016/2017.

2. Tidak Keberatan/Keberatan* nama perusahaan dicantumkan dalam Tugas Akhir/Thesis mahasiswa Statistika yang akan di simpan di Perpustakaan ITS dan dibaca di lingkungan ITS.
3. Tidak Keberatan/Keberatan* bahwa hasil analisis data dari perusahaan dipublikasikan dalam E-journal ITS yaitu Jurnal Sains dan Seni ITS.

Gresik, 15 Mei 2017

Manajer Biro Sumber Daya Manusia


barata Indonesia
PT. (PERSERO)
(Ir. BUSTOMEK)
NIP. -

*(coret yang tidak perlu)

BIODATA PENULIS



Penulis yang bernama Eny Hidayati biasa dipanggil Eny dilahirkan di Lamongan pada tanggal 02 April 1994 sebagai anak pertama dari dua bersaudara. Penulis bertempat tinggal di Jalan Samarinda 1 No. 41, GKB - Gresik. Penulis telah menempuh pendidikan formal dimulai dari TK Batik, SD Negeri Yosowilangun, SMP Negeri 1 Manyar, dan SMA Negeri 1 Kebomas. Setelah lulus dari SMA, penulis melanjutkan studinya di Diploma III Jurusan Statistika FMIPA ITS Surabaya melalui jalur penerimaan Reguler pada tahun 2012. Kemudian pada tahun 2015, penulis lanjut studi lagi di S1-Lintas Jalur Departemen Statistika FMIPA ITS. Selama perkuliahan penulis aktif mengikuti kegiatan kepanitiaan di KM ITS. Penulis pernah bergabung dalam organisasi kemahasiswaan, yakni sebagai staff Bidang Bisnis di UKM KOPMA ITS periode 2013/2014, staff Tim Media di FORSIS ITS periode 2013/2014, staff Departemen Kewirausahaan HIMASTA ITS periode 2013/2014 dan Sekretaris Departemen Kewirausahaan HIMADATA ITS periode 2014/2015. Penulis mendapatkan kesempatan Kerja Praktek di PT. PJB Unit Pelayanan Pemeliharaan Wilayah Timur Gresik dan PT. Barata Indonesia (Persero). Untuk kritik dan saran dapat dikirim melalui email penulis enyhidayati18@gmail.com.