



TUGAS AKHIR - KS184822

**PENENTUAN KEBIJAKAN WAKTU OPTIMUM
PREVENTIVE MAINTENANCE SISTEM *FEEDING*
ROLL DAN *ROTOR CHIPPER* PADA MESIN *BIG*
CHIPPER DI AREA PRODUKSI *PARTICLE BOARD*
PT. KUTAI TIMBER INDONESIA MENGGUNAKAN
MODEL *GEOMETRIC PROCESS***

**KICKY NOVEFA HERDIN PERTIWI
NRP 062116 4000 0004**

**Dosen Pembimbing
Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S.**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



TUGAS AKHIR – KS184822

**PENENTUAN KEBIJAKAN WAKTU OPTIMUM
PREVENTIVE MAINTENANCE SISTEM *FEEDING
ROLL* DAN *ROTOR CHIPPER* PADA MESIN *BIG
CHIPPER* DI AREA PRODUKSI *PARTICLE
BOARD* PT. KUTAI TIMBER INDONESIA
MENGUNAKAN MODEL *GEOMETRIC
PROCESS***

**KICKY NOVEFA HERDIN PERTIWI
NRP 062116 4000 0004**

**Dosen Pembimbing
Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S.**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – KS184822

**DETERMINATION OF OPTIMUM TIME POLICY FOR
PREVENTIVE MAINTENANCE ON FEEDING ROLL
AND ROTOR CHIPPER SYSTEMS BIG CHIPPER
MACHINE IN THE PARTICLE BOARD PRODUCTION
AREA OF PT. KUTAI TIMBER INDONESIA USING
GEOMETRIC PROCESS MODEL**

**KICKY NOVEFA HERDIN PERTIWI
SN 062116 4000 0004**

**Supervisor
Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S.**

**UNDERGRADUATE PROGRAMME
DEPARTMENT OF STATISTICS
FACULTY OF SCIENCE AND DATA ANALYTICS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

**PENENTUAN KEBIJAKAN WAKTU OPTIMUM
PREVENTIVE MAINTENANCE SISTEM FEEDING
ROLL DAN ROTOR CHIPPER PADA MESIN BIG
CHIPPER DI AREA PRODUKSI PARTICLE BOARD
PT. KUTAI TIMBER INDONESIA MENGGUNAKAN
MODEL GEOMETRIC PROCESS**

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

Kicky Novefa Herdin Pertiwi
NRP. 062116 4000 0004

Disetujui oleh Pembimbing:

Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S.
NIP. 19580823 198403 1 003

()

Mengetahui,
Kepala Departemen Statistika



Dr. Dra. Kartika Fithriasari, M.Si
NIP. 19691212 199303 2 002

SURABAYA, Agustus 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENENTUAN KEBIJAKAN WAKTU OPTIMUM
PREVENTIVE MAINTENANCE SISTEM FEEDING ROLL
DAN ROTOR CHIPPER PADA MESIN BIG CHIPPER DI
AREA PRODUKSI PARTICLE BOARD PT. KUTAI
TIMBER INDONESIA MENGGUNAKAN MODEL
GEOMETRIC PROCESS**

Nama Mahasiswa : Kicky Novefa Herdin Pertiwi
NRP : 062116 4000 0004
Departemen : Statistika-FSAD-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S.

Abstrak

PT. Kutai Timber Indonesia merupakan perusahaan yang memiliki bisnis utama berupa pemasaran dan pembuatan plywood dan produk-produk berbahan dasar kayu. Salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan adalah mesin. Berdasarkan data kerusakan pada tahun 2017 chipper area di area produksi particle board PT. Kutai Timber Indonesia merupakan area produksi yang memiliki tingkat kerusakan yang tinggi, dimana mesin yang sering mengalami kerusakan adalah big chipper, pada mesin ini terdapat dua sistem utama yakni feeding roll dan rotor chipper. Dalam menjaga kinerja mesin perlu dilakukan kegiatan maintenance, kegiatan maintenance yang dilakukan PT. Kutai Timber Indonesia selama ini adalah plant maintenance. Namun kenyataannya kedua sistem tersebut sering mengalami kerusakan saat produksi sedang berlangsung hal ini mengakibatkan terganggunya proses produksi dan biaya kerusakan yang membengkak oleh karena itu, dilakukan penelitian untuk menentukan waktu optimum preventive maintenance dengan biaya minimum pada sistem feeding roll dan rotor chipper mesin big chipper di area produksi particle board menggunakan model Geometric Process. Model ini digunakan karena dapat menggambarkan kerusakan kedua sistem tersebut yang memiliki trend. Hasil analisis menunjukkan bahwa waktu optimum preventive maintenance masing-masing sistem berbeda dan rata-rata biaya jangka panjang yang dihasilkan lebih murah dibandingkan dengan biaya yang selama ini dikeluarkan perusahaan.

Kata Kunci : Big Chipper, Feeding Roll, Geometric Process, Preventive Maintenance, Rotor Chipper.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**DETERMINATION OF OPTIMUM TIME POLICY FOR
PREVENTIVE MAINTENANCE ON FEEDING ROLL AND
ROTOR CHIPPER SYSTEMS BIG CHIPPER MACHINE
IN THE PARTICLE BOARD PRODUCTION AREA OF PT.
KUTAI TIMBER INDONESIA USING GEOMETRIC
PROCESS MODEL**

Name : Kicky Novefa Herdin Pertiwi
Student Number : 062116 4000 0004
Department : Statistics
Supervisor : Dr. Drs. Agus Suharsono, M. S.

Abstract

PT Kutai Timber Indonesia is the company that has a main business namely marketing and manufacturing of plywood and wood-based product. One factor that influences the quality of the product produced is the machine. Based on data on damage in 2017, chipper area in the particle board production area of PT. Kutai Timber Indonesia is a production area that has a high level of damage, where the machine that is often damage is the big chipper, in this machine there are two main systems namely feeding roll and rotor chipper. To maintain engine performance, maintenance activities which is conducted by PT. Kutai Timber Indonesia has been a plant maintenance. In fact, both systems often suffer damage while production is in progress, this results in disruption of the production process and the damage costs are inflated, therefore, research is carried out to determine the optimum time of preventive maintenance with minimum costs in the feeding roll and rotor chipper systems in big chipper machines in the particle board production area using the Geometric Process model. This model is used because it can describe the damage of two systems that have a trend. The results of the analysis show that the optimum preventive maintenance time for each system is different and the average long-term costs produced are lower than the costs incurred by the company.

Keywords: Big Chipper, Feeding Roll, Geometric Process, Preventive Maintenance, Rotor Chipper.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan atas berkat, rahmat, dan karunia yang telah diberikan Allah SWT sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini yang berjudul **“Penentuan Waktu Optimum Preventive Maintenance Sistem Feeding Roll dan Rotor Chipper pada Mesin Big Chipper di Area Produksi Particle Board PT. Kutai Timber Indonesia Menggunakan Model Geometric Process ”** dengan tepat waktu.

Penulis menyadari dalam penyusunan Tugas Akhir ini tidak akan selesai tanpa bantuan maupun dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Orang tua, adik dan keluarga penulis yang selalu memberikan doa dan dukungan selama penyusunan Tugas Akhir.
2. Dr. Dra. Kartika Fithriasari, M.Si. selaku Kepala Departemen Statistika FSAD-ITS yang telah membantu memfasilitasi penulis dalam masa perkuliahan.
3. Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S. selaku dosen pembimbing dan dosen wali yang telah memberikan bimbingan, saran, serta motivasi selama penyusunan Tugas Akhir berlangsung dan telah memberikan saran dan arahan selama proses belajar selama ini di Departemen Statistika .
4. Wibawati, S.Si, M.Si. dan Dr. Achmad Choiruddin, S.Si., M. Sc. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan bantuan dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
5. PT. Kutai Timber Indonesia yang telah banyak membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir dan mendapatkan data penelitian.
6. Sahabat penulis yaitu Vera, Rivi, Jemima, Wawa, dan Widya yang selalu memberikan *support* dan semangat dalam penyusunan Tugas Akhir.
7. Teman-teman seperjuangan TA “TR16GER” yang selalu memberikan semangat kepada penulis dalam penyusunan Tugas Akhir.

8. Seluruh pihak yang turut membantu dalam penyelesaian laporan Tugas Akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam pembuatan laporan Tugas Akhir ini. Penulis berharap semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan menambah wawasan bagi pembaca. Kritik dan saran sangat diperlukan untuk perbaikan di masa yang akan datang.

Jakarta, 19 Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	vii
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	6
1.3 Tujuan.....	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Batasan Masalah.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 <i>Maintenance</i> (Pemeliharaan).....	9
2.2 <i>Stochastic Process</i>	10
2.2.1 <i>Renewal Process</i>	10
2.2.2 <i>Minimal Repair Process</i>	11
2.3 <i>Poisson Process</i>	11
2.4 Pemeriksaan Trend dengan <i>Laplace</i>	12
2.5 <i>Geometric Process</i> (GP).....	13
2.6 Estimasi Parameter <i>Geometric Process</i>	14
2.7 Uji <i>Geometric Process</i>	15
2.8 Estimasi <i>Mean</i> dan <i>Varians Geometric Process</i>	16
2.9 Model Pemeliharaan Optimum.....	17
2.10 Particle Board.....	18
2.11 Big Chipper.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Sumber Data.....	23

3.2	Variabel Penelitian	23
3.3	Struktur Data	23
3.4	Langkah Penelitian	24
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....		27
4.1	Karakteristik Data <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i>	27
4.2	Pemeriksaan Trend Data <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i>	31
4.3	Estimasi Parameter $\ln r$, α , dan σ_e^2 untuk Data <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i>	33
4.4	Pengujian Geometric Process Data Lifetime dan Breakdown	34
4.5	Estimasi Rata-rata <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Masing- masing Sistem	35
4.5.1	Estimasi Rata-rata Lifetime dan Breakdown Sistem Feeding Roll	36
4.5.2	Estimasi Rata-rata Lifetime dan Breakdown Sistem Rotor Chipper.....	38
4.6	Penentuan Kebijakan Waktu Optimum Tindakan <i>Preventive Maintenance</i>	41
4.6.1	Penentuan Kebijakan Waktu Optimum Tindakan Preventive Maintenance pada Sistem Feeding Roll	41
4.6.2	Penentuan Kebijakan Waktu Optimum Tindakan Preventive Maintenance pada Sistem Rotor Chipper.....	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		49
5.1	Kesimpulan.....	49
5.2	Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA		51
LAMPIRAN		55
BIODATA PENULIS		78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Jenis Particle Board (a) Light Weight Board, (b) Regular Board, (c) Super Light Weight Board ...	20
Gambar 2.2	Mesin Big Chipper.....	21
Gambar 2.3	Sistem Feeding Roll.....	21
Gambar 2.4	Sistem Rotor Chipper (a) Rotor Chipper Tampak Samping dan (b) Pisau pada Rotor Chipper.....	21
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	26
Gambar 4.1	Plot Kumulatif Lifetime Sistem (t) dengan jumlah kerusakan $N(t)$ pada (a) Sistem Feeding Roll (b) Sistem Rotor Chipper.....	30
Gambar 4.2	Plot antara antara $l_1(N)$ dengan N Sistem Feeding Roll	43
Gambar 4.3	Plot antara antara $l_1(N)$ dengan N Sistem Rotor Chipper.....	46

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Struktur Data Penelitian (Jam).....	23
Tabel 4.1	Karakteristik Data Sistem <i>Feeding Roll</i> dan <i>Rotor Chipper</i> (Jam)	28
Tabel 4.2	Hasil Pemeriksaan <i>Laplace</i> Data <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i>	31
Tabel 4.3	Hasil Perhitungan Estimasi Parameter $\ln r$, α , dan σ_e^2 Sistem <i>Feeding Roll</i>	33
Tabel 4.4	Hasil Perhitungan Estimasi parameter $\ln r$, α , dan σ_e^2 Sistem <i>Rotor Chipper</i>	35
Tabel 4.5	Estimasi Rata-rata <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Sistem <i>Feeding Roll</i>	36
Tabel 4.6	Estimasi Rata-rata <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Sistem <i>Feeding Roll</i> Hingga Kerusakan Ke- n (Jam)	37
Tabel 4.7	Estimasi Rata-rata <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Sistem <i>Rotor Chipper</i>	38
Tabel 4.8	Estimasi Rata-rata <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Sistem <i>Rotor Chipper</i> Hingga Kerusakan Ke- n (Jam).....	40
Tabel 4.9	Rata-rata Biaya Jangka Panjang <i>Preventive Maintenance</i> Sistem <i>Feeding Roll</i>	42
Tabel 4.10	Rata-rata Biaya Jangka Panjang <i>Preventive Maintenance</i> Sistem <i>Rotor Chipper</i>	45

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Data <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Sistem <i>Feeding Roll</i>	55
Lampiran 2.	Data <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Sistem <i>Rotor Chipper</i>	56
Lampiran 3.	Syntax R Perhitungan Nilai <i>Laplace Lifetime</i> Sistem <i>Feeding Roll</i>	57
Lampiran 4.	<i>Output</i> Syntax R Perhitungan Nilai <i>Laplace Lifetime</i> Sistem <i>Feeding Roll</i>	57
Lampiran 5.	Syntax Perhitungan Nilai <i>Laplace Breakdown</i> Sistem <i>Feeding Roll</i>	58
Lampiran 6.	<i>Output</i> Syntax R Perhitungan Nilai <i>Laplace Breakdown</i> Sistem <i>Feeding Roll</i>	58
Lampiran 7.	Syntax Perhitungan Nilai <i>Laplace Lifetime</i> Sistem <i>Rotor Chipper</i>	59
Lampiran 8.	<i>Output</i> Syntax R Perhitungan Nilai <i>Laplace Lifetime</i> Sistem <i>Rotor Chipper</i>	59
Lampiran 9.	Syntax Perhitungan Nilai <i>Laplace Breakdown</i> Sistem <i>Rotor Chipper</i>	60
Lampiran 10.	<i>Output</i> Syntax R Perhitungan Nilai <i>Laplace Breakdown</i> Sistem <i>Rotor Chipper</i>	60
Lampiran 11.	Syntax R Estimasi Parameter dan Pengujian <i>Geometric Process</i>	61
Lampiran 12.	<i>Output</i> Syntax R Estimasi Parameter dan Pengujian <i>Geometric Process</i>	62
Lampiran 13.	Estimasi Rata-rata dan Varians <i>Lifetime</i> Sistem <i>Feeding Roll</i>	65
Lampiran 14.	Estimasi Rata-rata dan Varians <i>Breakdown</i> Sistem <i>Feeding Roll</i>	67
Lampiran 15.	Estimasi Rata-rata dan Varians <i>Lifetime</i> Sistem <i>Rotor Chipper</i>	68
Lampiran 16.	Estimasi Rata-rata dan Varians <i>Breakdown</i> Sistem <i>Rotor Chipper</i>	69

Lampiran 17.	Estimasi Rata-rata <i>Lifetime</i> Sistem <i>Feeding Roll</i> Hingga Kerusakan Ke- <i>n</i> (Jam)	71
Lampiran 18.	Syntax Optimasi Biaya dengan <i>Geometric</i> <i>Process</i>	71
Lampiran 19.	Surat Keterangan Data Sekunder.....	76
Lampiran 20.	Surat Keterangan Pengambilan Data.....	77

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki keanekaragaman hayati terkaya dan hutan terluas di dunia. Menurut informasi Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Direktorat Jenderal Pengelolaan Hutan Produksi Lestari, total luas hutan di Indonesia pada tahun 2018 yakni 125,93 juta hektar, dimana tercatat luas hutan produksi di Indonesia mencapai 68,82 juta hektar, dengan rincian hutan produksi tetap (HP) seluas 29,21 juta hektar, hutan produksi terbatas (HPT) seluas 26,79 juta hektar dan hutan produksi konveksi (HPk) seluas 12,82 juta hektar (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2019). Salah satu sumber daya alam yang didapatkan dari hutan adalah kayu, produk-produk berbahan dasar kayu merupakan produk yang dibutuhkan oleh masyarakat dari dahulu sampai saat ini dan kebutuhan masyarakat akan produk berbahan dasar kayu semakin meningkat karena memiliki banyak fungsi dan kegunaan yang dapat dirasakan oleh masyarakat, misalnya untuk bahan bangunan, perabotan rumah tangga, kerajinan, dan sebagainya. Dengan adanya kekayaan hutan dan kebutuhan masyarakat Indonesia akan produk berbahan dasar kayu yang semakin meningkat mendorong pelaku bisnis dan industri untuk membangun perusahaan yang dapat menghasilkan produk-produk berbahan dasar kayu.

PT. Kutai Timber Indonesia merupakan salah satu perusahaan yang memiliki bisnis utama yakni berupa pemasaran dan pembuatan *plywood* dan produk-produk berbahan dasar kayu yang berada di Indonesia. PT. Kutai Timber Indonesia didirikan dari hasil *joint venture* antara perusahaan Jepang Sumitomo Forestry Co., Ltd dan Fa. Kaaltimex Jaya pada tahun 1970, dimana PT. Kutai Timber Indonesia menghargai keuntungan alam dan memanfaatkan kayu sebagai sumber daya terbarukan dengan *tagline* “Kekuatan Hutan Memberdayakan Masa Depan” dan PT. Kutai Timber Indonesia senantiasa berkomitmen untuk menjadi perusahaan *Plywood, Particle Board, dan Wood Working* dengan

menghasilkan produk yang berkualitas dan berdaya saing tinggi dengan layanan serta harga terbaik sesuai kebutuhan masyarakat. PT. Kutai Timber Indonesia menggunakan sumber daya alam dan energi secara efisien yang diperoleh dari sumber yang *legal*, tidak merusak lingkungan dengan memperlihatkan *life cycle perspective*, dan aman bagi karyawan (PT. Kutai Timber Indonesia, 2016).

Produk-produk yang dihasilkan PT. Kutai Timber Indonesia tidak hanya dipasarkan di Indonesia melainkan di beberapa negara di dunia diantaranya adalah Jepang, Eropa, Asia, Amerika Utara, dan Australia. Hal ini yang menuntut PT. Kutai Timber Indonesia untuk senantiasa menghasilkan produk-produk yang memiliki kualitas yang tinggi dan dapat bersaing di pangsa pasar dunia. Terdapat tiga elemen kualitas, salah satunya yaitu kualitas mencakup produk, tenaga kerja, proses, dan lingkungan (Nasution, 2010). Kualitas produk salah satunya dapat dipengaruhi oleh proses produksi yang dilakukan untuk menghasilkan suatu produk. Salah satu produk yang dihasilkan oleh PT. Kutai Timber Indonesia adalah *particle board* contohnya adalah *light weight board*, *regular board*, dan *super light weight board*. Sistem produksi pada PT. Kutai Timber Indonesia *Particle Board* terdapat 15 area yaitu *chipper area*, *chip silo area*, *washing area*, *flaker area*, *wet silo area*, *dryer area*, *screening area*, *dry silo*, *blending area*, *forming area*, *pre press area*, *press area*, *cooling area*, *cut to size area*, dan *sanding area*.

Salah satu faktor yang menentukan kelancaran suatu proses produksi adalah mesin. Berdasarkan data kerusakan pada tahun 2017 bahwa *chipper area* merupakan area produksi pada pembuatan *particle board* yang memiliki tingkat kerusakan yang tinggi yakni sejumlah 3688 *breakdown time*, dikarenakan *chipper area* merupakan mesin penghancur kayu sebagai bahan pokok dasar pembuatan *particle board*, yang mampu menghancurkan hingga 100 m³ atau sekitar 2000 batang kayu per harinya, sehingga peluang terjadinya kerusakan pada *area* ini cukup besar (Hariyanto & Handayani, 2015). Kerusakan mesin yang cukup sering terjadi pada *chipper area* adalah pada mesin *big chipper*. *Big chipper* merupakan mesin yang berfungsi untuk menghancurkan kayu menjadi *chip* dengan ukuran 2-5 cm, dimana pada mesin ini

terdapat dua sistem utama yakni *feeding roll* dan *rotor chipper*. *Feeding roll* merupakan mesin yang berbentuk roda bergerigi yang berfungsi membantu mempercepat proses masuknya kayu ke mata pisau, sedangkan *rotor chipper* merupakan mesin utama yang berbentuk roda besar yang mempunyai 4 mata pisau dan berfungsi untuk menghancurkan kayu menjadi *chip*. Kedua sistem ini merupakan sistem yang memiliki fungsi sangat penting dalam mesin *big chipper* namun keduanya sering mengalami kerusakan saat proses produksi sedang berjalan sehingga dapat mengganggu jalannya proses produksi *particle board*.

Kegiatan *maintenance* yang dilakukan oleh PT. Kutai Timber Indonesia adalah berupa *Plant Maintenance* yakni kegiatan *maintenance* berdasarkan *time base maintenance* yang dilakukan secara periodik misalnya mingguan/bulanan/tahunan dan *condition base maintenance* yakni berdasarkan hasil pengecekan kondisi dari mesin tersebut secara langsung ketika terdapat laporan kerusakan, kegiatan *maintenance* yang dilakukan PT. Kutai Timber Indonesia selama ini tidak menutup kemungkinan bahwa mesin *big chipper* dapat mengalami kerusakan ketika sedang beroperasi sehingga menyebabkan terganggunya proses produksi dan membengkaknya biaya perbaikan. Dalam menjaga kinerja *big chipper* agar dapat beroperasi dengan efisien dan aman agar tidak mengganggu proses produksi maka perlu dilakukan kegiatan *preventive maintenance* pada kedua sistem utamanya. Kegiatan *preventive maintenance* merupakan kegiatan pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal, umumnya secara periodik, dimana seperangkat tugas pemeliharaan seperti inspeksi dan perbaikan, penggantian, pembersihan, pelumasan, penyesuaian, dan penyamaan dilakukan (Ebeling, 1997). Kegiatan *maintenance* merupakan hal yang tidak dapat diabaikan dalam suatu proses produksi karena jika mesin yang digunakan dalam proses produksi mengalami gangguan atau kerusakan maka proses produksi akan terhambat dan dapat menimbulkan kerugian bagi perusahaan.

Reliabilitas suatu sistem adalah probabilitas bahwa suatu sistem tersebut akan menjalankan fungsi yang dimaksud selama periode waktu tertentu. Pemodelan reliabilitas berkaitan dengan pembangunan model untuk mendapatkan solusi terhadap masalah

dalam memprediksi, memperkirakan, dan mengoptimalkan kelangsungan hidup atau kinerja sistem dan mengurangi dampak kegagalan dalam suatu sistem, selain itu analisis reliabilitas juga bertujuan untuk menggambarkan *trend* atau pola kegagalan yang terjadi pada suatu sistem sehingga dapat digunakan acuan untuk menentukan kebijakan *maintenance* yang digunakan untuk sistem tersebut (Meeker & Escobar, 1998). Suatu sistem yang mengalami kegagalan atau kerusakan setelah dilakukan perbaikan dapat mengalami penurunan fungsi dan kinerja yang disebabkan oleh efek penuaan, akumulasi perbaikan, serta pengaruh lingkungan. Hal ini menyebabkan usia mesin akan menurun dan lama perbaikan mesin ketika terjadi kegagalan atau kerusakan akan meningkat. Model analisis reliabilitas yang tepat untuk mengatasi adanya *trend* pada laju kerusakan suatu sistem atau mesin adalah *Geometric Process*. Model *Geometric Process* lebih relevan dan realistis digunakan untuk memodelkan permasalahan penurunan kinerja mesin setelah adanya perbaikan (Lam, 2007).

Pada penelitian sebelumnya tentang analisis reliabilitas atau analisis tentang *preventive maintenance* yang diterapkan di beberapa pabrik diantaranya adalah yang pertama penelitian yang dilakukan oleh Abbas dkk. (2009) mengenai penjadwalan *preventive maintenance* terhadap mesin yang digunakan dalam proses produksi di PT Adina Multi Wahana, dimana fokus dari penelitian ini adalah mengurangi terjadinya *breakdown* pada mesin agar tidak menghambat proses dan mengganggu jadwal produksi. Dari penelitian ini didapatkan penjadwalan *preventive maintenance* komponen dilakukan berdasarkan 3 skenario waktu penggantian yakni waktu optimal, setiap 60 jam, dan setiap 120 jam dengan biaya yang dikeluarkan per-bulan berdasarkan skenario waktu optimal Rp 87.554.392, setiap 60 jam Rp 91.637.427, dan setiap 120 jam sebesar Rp 75.294.381. Penelitian mengenai kegiatan *preventive maintenance* menggunakan model *Geometric Process* pernah dilakukan oleh Permatasari dkk. (2016) di PT Garuda Maintenance Facility (GMF) AeroAsia. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan waktu penggantian (*replacement*) komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat terbang CRJ-1000 yang optimal dengan menggunakan model *Geometric Process*

yang menyatakan bahwa setelah komponen diperbaiki maka dianggap memiliki kinerja dan keandalan yang menurun secara linier. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat CRJ-1000 akan diganti setelah terjadi kerusakan yang ke-4 dengan estimasi rata-rata biaya penggantian jangka panjang komponen sebesar US\$ 6961, dimana pada kerusakan ke-4 biaya penggantian lebih murah dibandingkan pada 6 kali biaya perbaikan yang dilakukan dan umur komponen (*lifetime*) dari komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat CRJ-1000 lebih lama jika mengalami penggantian dari pada akumulasi estimasi umur komponen (*lifetime*) setelah mengalami 6 kali biaya perbaikan. Penelitian kegiatan *preventive maintenance* dengan menggunakan model *Geometric Process* selanjutnya adalah penelitian yang dilakukan Fadilah dkk. (2018) di salah satu perusahaan pengalangan ikan di Indonesia yang terletak di Gempol Kabupaten Pasuruan. Mesin yang menjadi objek dalam penelitian ini adalah suatu mesin yang digunakan dalam proses produksi yakni mesin Boiler, tujuan dari penelitian ini yakni menentukan waktu optimum pemeliharaan (*preventive maintenance*) dengan biaya minimum menggunakan *Geometric Process* karena kerusakan mesin memiliki *trend*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu optimum untuk melakukan kegiatan pemeliharaan (*preventive maintenance*) mesin Boiler dengan biaya minimum yakni pada saat kerusakan ke-6 dengan estimasi biaya sebesar Rp 6.301.382, dengan menerapkan kebijakan pemeliharaan mesin dari hasil penelitian ini maka perusahaan dapat menghemat biaya pemeliharaan (*preventive maintenance*) sebesar Rp 10.698.618.

Berdasarkan uraian diatas maka pada penelitian ini akan dilakukan analisis terhadap data lama sistem bekerja dengan baik (*lifetime*) dan lama perbaikan (*breakdown*) sistem *feeding roll* dan *rotor chipper* pada mesin *big chipper* di area produksi *particle board* PT. Kutai Timber Indonesia dengan menggunakan model *Geometric Process* dengan tujuan untuk menentukan waktu optimum pemeliharaan (*preventive maintenance*) sistem *feeding roll* dan *rotor chipper* sehingga dapat meminimumkan biaya kerusakan yang harus dikeluarkan oleh PT. Kutai Timber Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dapat diketahui bahwa sistem *feeding roll* dan *rotor chipper* pada mesin *big chipper* sering mengalami kerusakan pada saat proses produksi padahal telah dilakukan kegiatan *maintenance* berupa *plant maintenance*. Sistem yang rusak kemudian diperbaiki akan mengalami penurunan fungsi dan memiliki kinerja serta keandalan yang menurun seiring berjalannya waktu. Hal ini dapat menyebabkan proses produksi *particle board* di PT. Kutai Timber Indonesia terganggu dan biaya perbaikan yang harus dikeluarkan oleh perusahaan membengkak. Oleh karena itu, permasalahan utama yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana menentukan waktu optimum pemeliharaan (*preventive maintenance*) sistem *feeding roll* dan *rotor chipper* pada mesin *big chipper* di area produksi *particle board* PT. Kutai Timber Indonesia sehingga dapat meminimumkan biaya perbaikan yang harus dikeluarkan oleh perusahaan.

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah diatas, tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah menentukan waktu optimum pemeliharaan (*preventive maintenance*) sistem *feeding roll* dan *rotor chipper* pada mesin *big chipper* di area produksi *particle board* PT. Kutai Timber Indonesia menggunakan model *Geometric Process* sehingga dapat meminimumkan biaya kerusakan yang harus dikeluarkan oleh PT. Kutai Timber Indonesia dan meningkatkan usia pakai sistem tersebut.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi Keilmuan Statistika

Penelitian ini dapat menjadi referensi dalam melakukan penelitian selanjutnya mengenai penentuan kebijakan waktu optimum pemeliharaan (*preventive maintenance*) suatu sistem dengan menggunakan model *Geometric Process*.

2. Bagi Perusahaan dapat dijadikan saran, rekomendasi, maupun evaluasi bagi perusahaan dalam menentukan kebijakan waktu optimum pemeliharaan (*preventive maintenance*) sistem *feeding roll* dan *rotor chipper* pada mesin *big chipper* di area produksi *particle board* PT. Kutai Timber Indonesia sehingga dapat meningkatkan usia pakai dan meminimumkan biaya akibat kerusakan.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut.

1. Sistem yang dianalisis adalah sistem *feeding roll* dan *rotor chipper* pada mesin *big chipper* di *chipper area* produksi *particle board* PT. Kutai Timber Indonesia.
2. Penelitian ini hanya memberikan informasi tentang waktu optimum pemeliharaan (*preventive maintenance*) sistem *feeding roll* dan *rotor chipper* pada mesin *big chipper* yang tepat dan meminimumkan biaya, bukan cara pemeliharaan kedua sistem tersebut.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka berisi landasan teori yang dipakai pada penelitian ini. Teori yang digunakan pada penelitian ini berasal dari buku, jurnal ilmiah, dan beberapa penelitian sebelumnya.

2.1 *Maintenance* (Pemeliharaan)

Maintenance atau pemeliharaan adalah segala tindakan yang dilakukan untuk memelihara dan menjaga performa sistem agar tetap layak bekerja sebagaimana mestinya atau kegiatan yang mengembalikan kinerja sistem pada kondisi semula jika sistem mengalami kerusakan. Kegiatan *maintenance* diantaranya adalah seperti mengganti oli mesin secara rutin, penggantian atau pemeliharaan yang memadai bagian atau komponen yang rusak, penyimpanan yang tepat bila tidak diservis, dan sebagainya (Blischke & Murthy, 2003). Pada umumnya tindakan *maintenance* dibedakan menjadi dua jenis yakni *preventive maintenance* dan *corrective maintenance*.

Preventive maintenance atau pemeliharaan preventif yakni merupakan tindakan yang umumnya memerlukan *shutdown* operasional sistem untuk meningkatkan usia (*lifetime*) atau keandalan. Tindakan pemeliharaan preventif dapat berupa servis yang relatif kecil yang hanya membutuhkan waktu *downtime* yang singkat seperti pelumasan, pengujian, penggantian bagian atau komponen yang direncanakan, serta untuk melancarkan kegiatan *overhaul* yang membutuhkan waktu *downtime* yang panjang. Jika tingkat kerusakan meningkat, maka pemeliharaan preventif sangat dianjurkan (Blischke & Murthy, 2003).

Jenis tindakan *maintenance* yang selanjutnya adalah *corrective maintenance* atau pemeliharaan korektif, pemeliharaan jenis ini terdiri dari tindakan yang dilakukan untuk mengembalikan sistem yang gagal atau sistem ke keadaan operasional. Tindakan pemeliharaan korektif dilakukan secara tidak terjadwal dengan tujuan untuk memulihkan sistem dari kondisi gagal menjadi kondisi baik. Tindakan pemeliharaan ini melibatkan perbaikan atau penggantian komponen yang gagal (Blischke & Murthy, 2003).

Setiap perusahaan perlu untuk memperhatikan strategi pemeliharaan yang harus dilakukan agar dapat meminimalisir terjadinya kegagalan atau kerusakan pada suatu sistem, mesin, atau komponen pada saat produksi berjalan, dengan memperhatikan biaya yang dikeluarkan. Hal ini dikarenakan kegiatan pemeliharaan secara proporsional memiliki konsekuensi terhadap biaya keseluruhan operasi. Oleh karena itu, perlu adanya penjadwalan yang tepat dalam pemeliharaan suatu sistem, mesin, maupun komponen.

2.2 Stochastic Process

Proses dari $\{N(t)|t \geq 0\}$ disebut sebagai *stochastic process* yang mempunyai realisasi berupa proses menghitung atau *counting process*. Dimana $N(t)$ merupakan random variabel yang menyatakan jumlah kejadian yang muncul dari sebuah kegagalan pada interval $(0, t)$. *Stochastic process* digunakan untuk mengetahui hubungan dari suatu runtutan peristiwa atau proses kejadian yang bersifat tidak pasti. Pada *stochastic process* terdapat dua proses kejadian yaitu *renewal process* dan *minimal repair process* (Hoyland & Rausand, 1994).

2.2.1 Renewal Process

Menurut Hoyland and Rausand (1994) *renewal process* adalah suatu proses dimana apabila sistem atau komponen rusak maka sistem atau komponen tersebut dikembalikan kepada keadaan seperti komponen yang baru (*as good as new condition*) setelah mengalami perbaikan. Terdapat dua jenis sistem pada mesin yaitu *repairable* dan *nonrepairable*. Suatu sistem dikatakan *repairable* ketika sebuah komponen yang mengalami kerusakan dapat diperbaiki dengan beberapa proses perbaikan selain dengan melakukan penggantian pada seluruh sistem. Sedangkan untuk sistem *nonrepairable* yakni jika suatu komponen mengalami kerusakan maka harus dilakukan penggantian dengan komponen yang baru atau dengan arti lain komponen tersebut tidak dapat diperbaiki (O'Connor, 2012).

2.2.2 Minimal Repair Process

Minimal Repair Process merupakan salah satu istilah dari *preventive maintenance* yang berarti bahwa sistem yang mengalami kegagalan akan berfungsi kembali setelah dilakukan perbaikan dengan kondisi yang sama dan usia efektif yang sama seperti pada saat kegagalan terakhir. Untuk mendapatkan model yang fleksibel dari suatu sistem kegagalan yang akan diperbaiki dalam *minimal repair process*, maka hanya sebagian kecil proporsi dari unsur-unsur sistem yang akan diganti pada proses perbaikan, hal ini mengkondisikan sistem sama seperti sebelum mengalami kerusakan (Ridgon & Basu, 2000).

2.3 Poisson Process

Poisson process menggambarkan *Stochastic Process* dimana banyaknya suatu kejadian dalam selang waktu tertentu mengikuti distribusi Poisson. Apabila suatu komponen memiliki tingkat kerusakan konstan (λ) atau rusak secara tiba-tiba maka secara langsung akan diperbaiki atau diganti ketika mengalami kerusakan. N merupakan jumlah kejadian yang muncul dari sebuah kegagalan dalam selang waktu $(0, t)$, banyaknya kerusakan yang berdistribusi Poisson dapat dituliskan dalam persamaan berikut (Ridgon & Basu, 2000).

$$P(N = n) = \frac{e^{-\lambda} (\lambda)^n}{n!}, \text{ untuk } n = 0, 1, 2, \dots \quad (2.1)$$

dimana λ menunjukkan rata-rata dan varians jumlah kerusakan. *Poisson process* dibedakan menjadi dua yakni *Homogenous Poisson Process* (HPP) dan *Non Homogenous Poisson Process* (NHPP).

Homogenous Poisson Process (HPP) merupakan *Poisson Process* dengan fungsi intensitas konstan, dimana waktu kerusakan bersifat independen dan berdistribusi eksponensial dengan parameter yang sama yaitu *failure rate* (λ) (Hoyland & Rausand, 1994). Berikut merupakan persamaan untuk mendapatkan probabilitas jumlah kegagalan oleh waktu ke- t .

$$P(N(t) = n) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^n}{n!} \text{ untuk } n = 0, 1, 2, \dots \quad (2.2)$$

Selanjutnya adalah *Non Homogeneous Poisson Process* (NHPP) merupakan *Poisson Process* dengan fungsi intensitas tidak konstan atau laju kerusakan dipengaruhi oleh waktu. NHPP merupakan model yang sederhana dan dapat diaplikasikan untuk sistem dengan laju kerusakan yang menurun atau meningkat, dengan menggunakan metode statistika yang relevan dan mudah untuk diaplikasikan (Crowder, dkk., 1991). NHPP menggambarkan proses kerusakan komponen yang memiliki pola tertentu dengan jumlah kumulatif hingga waktu t adalah $N(t)$.

2.4 Pemeriksaan Trend dengan *Laplace*

Sistem yang mengikuti model *Non Homogenous Poisson Process* (NHPP) biasanya memiliki laju kerusakan yang membentuk *trend* meningkat atau menurun. Untuk memeriksa apakah terdapat *trend* kerusakan yang terjadi pada suatu mesin atau sistem dapat dilakukan dengan menggunakan *Laplace's test* (Ridgon & Basu, 2000) dengan hipotesis sebagai berikut.

H_0 : Waktu usia mesin mengikuti *Homogeneous Poisson Process* (HPP) atau waktu usia mesin tidak terdapat *trend*.

H_1 : Waktu usia mesin mengikuti *Non-Homogeneous Poisson Process* (NHPP) atau waktu usia mesin terdapat *trend*.

Statistik uji untuk *Time Truncated* data:

$$L = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} t_{i,k} - T_k}{\left(T_k \sqrt{\frac{1}{12N}} \right)}, \quad (2.3)$$

dengan L merupakan pendekatan distribusi normal standar, $t_{i,k}$ merupakan waktu kerusakan berdasarkan *lifetime* ke- i pada sistem ke- k dan T_k adalah *time truncated* yang telah ditentukan pada sistem ke- k , untuk keputusan dari hipotesis didapatkan dengan melihat nilai L , jika nilai $L < -Z_{\alpha/2}$ atau $L > Z_{\alpha/2}$ maka

keputusan yang diambil adalah tolak H_0 , sehingga dapat disimpulkan bahwa waktu kerusakan $\{t_{i,k}; i = 1, 2, \dots, N_k\}$ mengikuti model *Non Homogenous Poisson Process* (NHPP) atau artinya data memiliki *trend*. Kemudian, jika nilai $L > 0$ maka data set kerusakan $\{t_{i,k}; i = 1, 2, \dots, N_k\}$ menunjukkan adanya *trend* meningkat. Sedangkan jika nilai $L < 0$ maka data set kerusakan $\{t_{i,k}; i = 1, 2, \dots, N_k\}$ menunjukkan adanya *trend* menurun (Leung & Cheng, 2000).

2.5 Geometric Process (GP)

Suatu mesin, sistem atau komponen dapat mengalami kerusakan atau kegagalan maka dari itu perlu adanya suatu pemeliharaan, namun suatu sistem atau komponen yang telah dilakukan pemeliharaan mengalami penurunan kinerja. Hal ini menyebabkan *lifetime* dari suatu sistem menurun dan waktu perbaikan dari suatu sistem tersebut akan meningkat, *Geometric Process* merupakan permodelan yang cocok yang dapat dilakukan untuk fenomena tersebut (Zhang & Wang, 2007). Berdasarkan kondisi tersebut, Lam (1992) dalam Leung & Fong (2000) pertama kali mengusulkan model *Geometric Process* (GP) untuk memodelkan fenomena serupa. Dalam pemodelannya dilakukan penelitian terhadap dua macam kebijakan penggantian yaitu kebijakan penggantian yang didasarkan pada usia kerja mesin (T) dan jumlah kerusakan sebanyak N kali. Kebijakan optimal N atau T diperoleh dengan meminimalkan rata-rata biaya jangka panjang (Wang & Zhang, 2014).

Model *Geometric Process* (GP) dianggap lebih realistis, relevan, dan dapat langsung memodelkan karakteristik sistem suatu mesin serta memodelkan operasi mesin secara berturut-turut (Leung & Fong, 2000). Menurut Lam (1992), definisi *Geometric Process* (GP) dijelaskan pada dua definisi berikut.

Definisi 1. Apabila diberikan variabel random yakni G_1, G_2, \dots untuk $r > 0$, $\{r^{n-1}G_n, n = 1, 2, \dots\}$ membentuk suatu *Renewal Process* (RP) maka $\{G_n, n = 1, 2, \dots\}$ merupakan suatu *Geometric Process*.

Definisi 2. Apabila $r > 1$, maka *Geometric Process* (GP) tersebut merupakan suatu *Geometric Process* (GP) yang menurun.

Jika $0 < r < 1$, maka *Geometric Process* (GP) tersebut merupakan suatu *Geometric Process* (GP) yang meningkat, sedangkan jika $r = 1$, maka *Geometric Process* (GP) merupakan suatu *Renewal Process* (RP) dengan,

$G_n = \text{Geometric Process } (X_n \text{ maupun } Z_n)$ untuk $n = 1, 2, \dots, N$ dimana,

$X_n =$ umur komponen setelah ke $(n - 1)$ perbaikan dengan $X_0 = 0$

$Z_n =$ waktu perbaikan setelah ke n kerusakan untuk $1, 2, \dots, N$.

Komponen yang mengalami penurunan kinerja atau keandalan dapat diasumsikan bahwa usia komponen membentuk *Geometric Process* (GP) yang menurun, sedangkan waktu pemeliharaan akan membentuk *Geometric Process* (GP) yang meningkat. Waktu penggantian komponen umumnya bersifat stokastik, sehingga tidak mempertimbangkan usia komponen.

2.6 Estimasi Parameter *Geometric Process*

Jika sebuah dataset $\{G_n, n = 1, 2, \dots, N\}$ termasuk *Geometric Process*, langkah selanjutnya yang dapat dilakukan adalah melakukan estimasi parameter *Geometric Process*. Dalam melakukan estimasi parameter salah satu metode yang dapat digunakan adalah *Ordinary Least Square* (OLS), untuk mengestimasi parameter model *geometric process* dapat digunakan regresi linier dengan persamaan awal sebagai berikut (Lam, 1992).

$$Y_n = r^{(n-1)} G_n, n = 1, 2, \dots, N. \quad (2.4)$$

Selanjutnya, dari persamaan (2.4) diubah dalam bentuk logaritma natural dan didapatkan persamaan seperti (2.5) berikut.

$$\ln Y_n = (n-1) \ln r + \ln G_n, \quad (2.5)$$

dengan Y_n merupakan variabel random yang identik dan independen (IID) dan dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut.

$$\ln Y_n = \alpha + e_n, \quad (2.6)$$

$E(\ln Y_n) = \alpha$ dan e_n menunjukkan variabel random dari bentuk eror yang menjelaskan pengaruh atau efek variabel dependen $\ln G_n$ dengan *mean* 0 dan *varians* σ_e^2 untuk semua $n = 1, 2, \dots, N$.

Selanjutnya diperoleh persamaan regresi yang sesuai seperti pada (2.7) berdasarkan persamaan (2.4), (2.5), dan (2.6).

$$\ln G_n = -(n-1)\ln r + \alpha + e_n, n=1,2,\dots,N. \quad (2.7)$$

Menurut Lam (1992) dalam Leung & Fong (2000), estimasi parameter $\ln r$ dan α dengan menggunakan metode *Ordinary Least Square* (OLS) dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\ln \hat{r} = \frac{6}{(N-1)N(N+1)} \left[(N-1) \sum_{n=1}^N G_n - 2 \sum_{n=1}^N \ln G_n (n-1) \right], \quad (2.8)$$

dan berikut merupakan persamaan untuk mendapatkan estimasi parameter α .

$$\hat{\alpha} = \frac{\sum_{n=1}^N \ln G_n}{N} + \left(\frac{N-1}{2} \right) \ln \hat{r}, \quad (2.9)$$

dengan varians error σ_e^2 sebagai berikut.

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{N-2} \left\{ \sum_{n=1}^N (\ln G_n)^2 - \frac{\left(\sum_{n=1}^N \ln G_n \right)^2}{N} \right\} \\ \frac{1}{N-2} \left\{ \ln \hat{r} \left[\left(\frac{N-1}{2} \right) \sum_{n=1}^N \ln G_n + \sum_{n=1}^N (n-1) \ln G_n \right] \right\}. \quad (2.10)$$

2.7 Uji Geometric Process

Misal terdapat dataset dari suatu *point* proses yaitu $\{G_n, n=1,2,\dots\}$, untuk mengetahui data tersebut berasal dari *Geometric Process* (GP) atau tidak dapat dilakukan suatu pengujian secara statistik menggunakan hipotesis sebagai berikut (Lam, 1992).

H_0 : $r = 1$ (rasio dari *Geometric Process* sama dengan 1 artinya proses akan masuk dalam *renewal process*)

H_1 : $r \neq 1$ (rasio dari *Geometric Process* tidak sama dengan 1 artinya proses akan masuk dalam *geometric process*).

Statistik Uji:

$$l = \frac{-\ln \hat{r} \sqrt{(N-1)N(N+1)}}{\hat{\sigma}_e \sqrt{12}}, \quad (2.11)$$

Jika $|l| > t_{(N-2);0,025}$ dengan tingkat signifikansi 5%, maka keputusan yang diambil adalah tolak H_0 yang artinya data mengikuti model *Geometric Process* (GP).

2.8 Estimasi Mean dan Varians *Geometric Process*

Dataset yang telah diuji dan mengikuti *Geometric Process* untuk selanjutnya dilakukan estimasi parameter rata-rata dan varians dari G_n dengan menggunakan estimator sesuai dengan nilai r yang diperoleh. Menurut Lam (1992) dalam Leung & Fong (2000) persamaan yang digunakan untuk mendapatkan estimasi rata-rata dan varians G_1 sebagai berikut.

1. Ketika rasio $r > 1$, estimasi rata-rata dan varians G_1 dapat diperoleh dari persamaan berikut.

$$\hat{\mu}_{G_1} = \frac{(1 - \hat{r}^{-1}) \sum_{n=1}^N G_n}{1 - \hat{r}^{-N}}, \quad (2.12)$$

dan

$$\hat{\sigma}_{G_1}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (\hat{r}^{n-1} G_n)^2 - \frac{\left(\sum_{n=1}^N \hat{r}^{n-1} G_n \right)^2}{N}}{N-1}. \quad (2.13)$$

2. Ketika rasio $0 < r < 1$, maka estimasi rata-rata dan varians G_1 dapat diperoleh dari persamaan berikut.

$$2\mu_{G_1}^2 \ln \mu_{G_1} - 2\hat{\alpha}\mu_{G_1}^2 - \sigma_{G_1}^2 = 0, \quad (2.14)$$

dengan nilai $\hat{\alpha}$ dan $\hat{\sigma}_{G_1}^2$ didapatkan dari persamaan (2.9) dan (2.13).

3. Ketika rasio $r = 1$, maka estimasi rata-rata dan varians G_1 sebagai berikut.

$$\hat{\mu}_{G_1} = \frac{\sum_{n=1}^N G_n}{N}, \quad (2.15)$$

dan

$$\hat{\sigma}_{G_1}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (G_n - \hat{\mu}_{G_1})^2}{N-1}. \quad (2.16)$$

Kemudian, estimasi rata-rata dan varians dari G_n untuk $n = 2, 3, \dots, N$ dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut.

$$\hat{\mu}_{G_n} = \frac{\hat{\mu}_{G_1}}{\hat{r}^{n-1}}, \quad (2.17)$$

dan

$$\hat{\sigma}_{G_n}^2 = \frac{\hat{\sigma}_{G_1}^2}{\hat{r}^{2(n-1)}}. \quad (2.18)$$

2.9 Model Pemeliharaan Optimum

Penggantian komponen merupakan salah satu tindakan pemeliharaan pada suatu sistem atau komponen. Jika diberikan Z_n sebagai waktu antara penggantian ke $(n-1)$ dan penggantian ke- n dengan $Z_0 = 0$, maka $\{Z_n, n = 1, 2, \dots\}$ akan membentuk suatu *renewal process*. Berikut merupakan penerapan teori *renewal process*.

$$l(N) = \frac{\text{Total pendapatan yang diharapkan terjadi dalam siklus} - \text{Total biaya yang diharapkan}}{\text{Panjang siklus yang diharapkan}}$$

Untuk memperoleh rata-rata biaya jangka panjang dapat menggunakan persamaan berikut.

$$l(N) = \frac{C_f \mu_{Y_1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{b^{n-1}} + C_R - w \mu_{X_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}}}{\mu_{X_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}} + \mu_{Y_1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{b^{n-1}} + d_R}, \text{ untuk } N = 1, 2, \dots \quad (2.19)$$

Keterangan:

C_f = Biaya rata-rata perbaikan

C_R = Biaya rata-rata penggantian

a = Parameter *Geometric Process* usia mesin

b = Parameter *Geometric Process* lama waktu perbaikan

μ_{X_1} = Rata-rata umur mesin setelah kerusakan pertama

μ_{y_1} = Rata-rata lama waktu perbaikan setelah kerusakan pertama
 $l(N)$ = Biaya rata-rata jangka panjang, fungsi dari jumlah kerusakan.

Komponen rusak yang dapat diperbaiki umumnya memiliki waktu penggantian komponen yang bersifat stokastik, dimana waktu penggantian tidak bergantung pada umur komponen yang digunakan sehingga akan membentuk *renewal process*. Agar perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan biaya rata-rata jangka panjang lebih mudah, maka waktu penggantian diasumsikan diabaikan, sehingga $w = 1$ dan $d_R = 0$ dan dari persamaan (2.19) didapatkan persamaan baru untuk menghitung biaya rata-rata jangka panjang seperti pada persamaan (2.20) (Leung & Fong, 2000).

$$l(N) = \frac{C_f \mu_{y_1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{b^{n-1}} + C_R - \mu_{x_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}}}{\mu_{x_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}} + \mu_{y_1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{b^{n-1}}}, \text{ untuk } N = 1, 2, \dots \quad (2.20)$$

Kebijakan penggantian optimal ditentukan dengan meminimalkan $l_1(N)$ terhadap N . Berikut langkah-langkah dalam menentukan kebijakan waktu penggantian suatu sistem atau komponen yang optimum.

1. Menghitung rata-rata biaya jangka panjang $l_1(N)$ untuk $N = 1, 2, \dots$ menggunakan persamaan (2.20).
2. Membuat plot rata-rata biaya jangka panjang $l_1(N)$ terhadap N kemudian didapatkan waktu penggantian optimum yang ditunjukkan oleh titik minimum kurva.

2.10 Particle Board

Particle Board atau papan partikel merupakan salah satu jenis produk komposit atau panel kayu berupa lembaran yang terbuat dari partikel-partikel kayu atau bahan-bahan berlignoselulosa lainnya, yang diikat dengan perekat atau bahan pengikat lainnya kemudian dikempa panas (Maloney, 1977). *Particle Board* memiliki spesifikasi yang berbeda-beda disetiap jenisnya, beberapa contoh jenis *particle board* diantaranya adalah sebagai berikut.

1. *Light Weight Board* merupakan jenis *particle board* yang memiliki lebar 1220 mm, panjang 1830 mm dan 2440 mm, tebal 12-36 mm, dengan berat 450-650 kg/m³. *Particle Board* jenis ini menggunakan kayu jenis meranti, *tropical hardwood*, *plantation hardwood*, *falcata*.
2. *Regular Board* merupakan jenis *particle board* dengan spesifikasi yakni lebar 1220 mm, panjang 1830 mm dan 2440 mm, tebal 9-36 mm, dan berat mencapai 650 kg/m³. Jenis kayu yang digunakan untuk membuat *regular board* adalah meranti, *tropical Hardwood*, dan *plantation hardwood*.
3. *Super Light Weight Board* merupakan jenis *particle board* yang memiliki lebar 1220 mm, panjang 1830 mm dan 2440 mm, tebal 15-36 mm, dengan berat mencapai 400-450 kg/m³. *Super light weight board* dibuat dari jenis kayu meranti, *tropical hardwood*, *plantation hardwood*, *falcate* dan Balsa (PT. Kutai Timber Indonesia, 2016)

Untuk lebih jelasnya mengenai jenis-jenis *particle board* dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut.



(a)



(b)

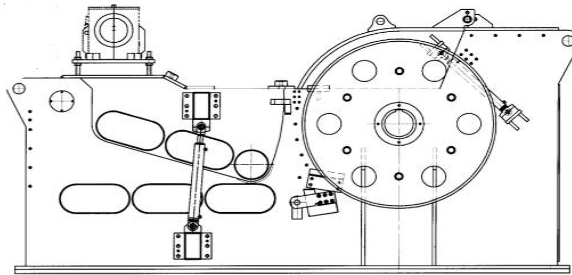


(c)

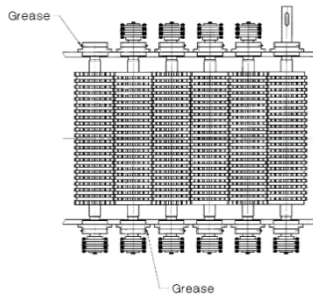
Gambar 2.1 Jenis *Particle Board* (a) *Light Weight Board*, (b) *Regular Board*, (c) *Super Light Weight Board*

2.11 Big Chipper

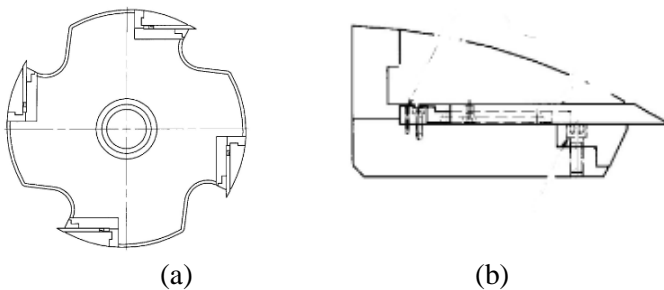
Big Chipper merupakan suatu mesin yang digunakan untuk melakukan penyerpihan kayu sehingga menghasilkan spesifikasi ukuran serpihan kayu yang nantinya dapat mempermudah proses pemasakan pulp dan penyerapan bahan kimia pada kayu dapat terjadi secara merata (Manalu, 2012). *Big Chipper* yang digunakan pada produksi *particle board* PT. Kutai Timber Indonesia mampu menghancurkan hingga 100 m³ atau sekitar 2000 batang kayu per harinya menjadi *chip* dengan ukuran 2-5 cm. Mesin *big chipper* memiliki 2 sistem utama diantaranya adalah *feeding roll* yang merupakan mesin berbentuk roda bergerigi yang berfungsi mempercepat proses masuknya kayu ke mata pisau, selanjutnya adalah *rotor chipper* yang merupakan mesin utama yang berbentuk roda besar yang mempunyai 4 mata pisau dan berfungsi untuk menghancurkan kayu menjadi *chip*. Adapun ilustrasi dari mesin *big chipper* dapat dilihat pada Gambar 2.2, ilustrasi dari sistem *feeding roll* pada Gambar 2.3, dan *rotor chipper* pada Gambar 2.4.



Gambar 2.2 Mesin *Big Chipper*



Gambar 2.3 Sistem *Feeding Roll*



Gambar 2.4 Sistem *Rotor Chipper* (a) *Rotor Chipper* Tampak Samping dan (b) Pisau pada *Rotor Chipper*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari *Journal Breakdown Activities* pada divisi *Engineering PB* PT. Kutai Timber Indonesia Kota Probolinggo. Data yang digunakan meliputi data lama sistem bekerja dengan baik (*lifetime*) dan data lama waktu perbaikan (*breakdown*) pada sistem *feeding roll* dan *rotor chipper* pada mesin *big chipper* di *chipper area* produksi *particle board* PT. Kutai Timber Indonesia selama kurun waktu Januari 2018 hingga September 2019.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah lama sistem bekerja dengan baik (*lifetime*) dalam satuan jam dan lama waktu perbaikan kerusakan sistem (*breakdown*) dalam satuan jam pada sistem *feeding roll* dan *rotor chipper* pada mesin *big chipper* di *chipper area* produksi *particle board* PT. Kutai Timber Indonesia.

3.3 Struktur Data

Struktur data secara umum yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Struktur Data Penelitian (Jam)

Kerusakan Ke-	<i>Lifetime</i> (X_k)		<i>Breakdown</i> (Z_k)	
	<i>Feeding Roll</i> (X_1)	<i>Rotor Chipper</i> (X_2)	<i>Feeding Roll</i> (Z_1)	<i>Rotor Chipper</i> (Z_2)
1	$X_{1,1}$	$X_{1,2}$	$Z_{1,1}$	$Z_{1,2}$
2	$X_{2,1}$	$X_{2,2}$	$Z_{2,1}$	$Z_{2,2}$
3	$X_{3,1}$	$X_{3,2}$	$Z_{3,1}$	$Z_{3,2}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
N	$X_{N,1}$	$X_{N,2}$	$Z_{N,1}$	$Z_{N,2}$

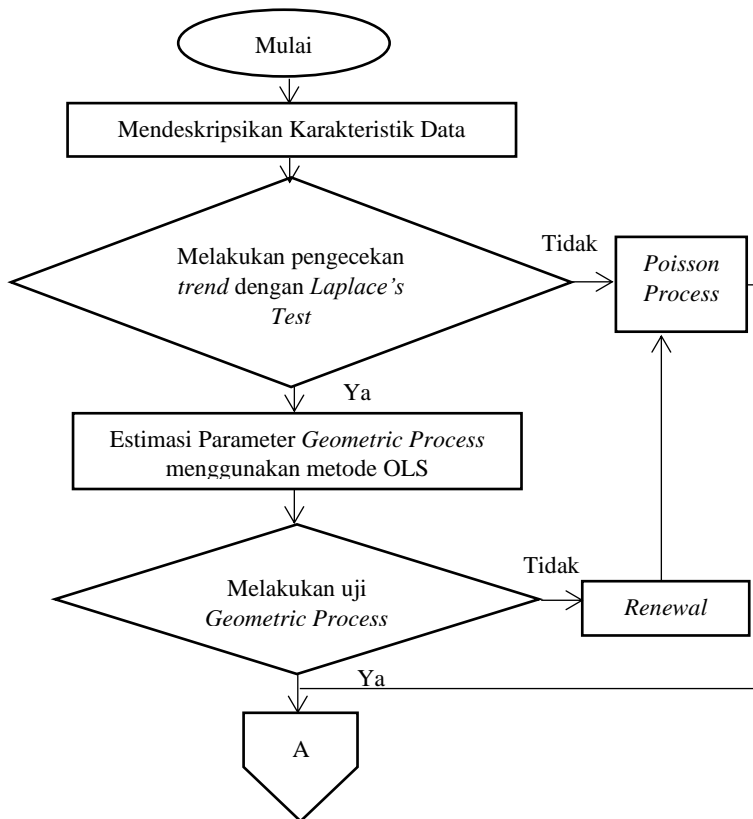
3.4 Langkah Penelitian

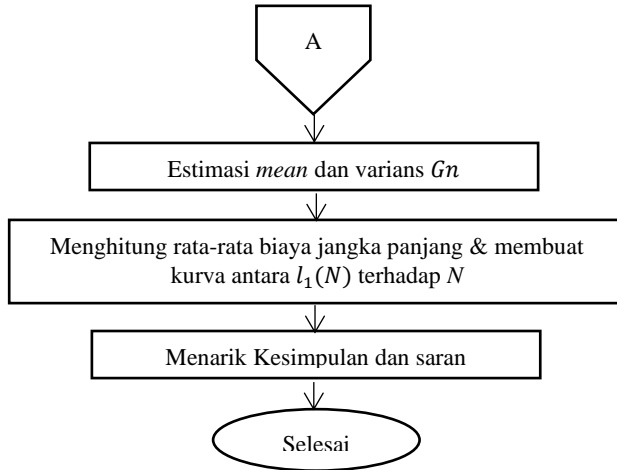
Berikut merupakan tahapan analisis dalam mengembangkan model optimasi dalam menentukan waktu *preventive maintenance* sistem *feeding roll* dan *rotor chipper* pada mesin *big chipper* di area produksi *particle board* PT. Kutai Timber Indonesia.

1. Mengumpulkan data lama perbaikan (*breakdown*) dan lama sistem bekerja dengan baik (*lifetime*) sistem *feeding roll* dan *rotor chipper*.
2. Mendeskripsikan karakteristik data lama sistem bekerja dengan baik (*lifetime*) dan lama perbaikan sistem (*breakdown*).
3. Melakukan pengujian *trend* pada data lama sistem bekerja dengan baik (*lifetime*) dan lama perbaikan sistem (*breakdown*) dengan menggunakan statistik Uji *Laplace* pada persamaan (2.3).
4. Berdasarkan hasil pengujian dari poin nomor 3, apabila terdapat *trend* pada masing-masing data lama sistem bekerja dengan baik (*lifetime*) dan lama perbaikan sistem (*breakdown*) maka dapat diduga data mengikuti *Geometric Process* (GP), sehingga dapat dilanjutkan dengan melakukan estimasi parameter $\ln r$, α , dan σ_e^2 menggunakan metode *Ordinary Least Square* (OLS) pada persamaan (2.8), (2.9), dan (2.10).
5. Melakukan uji *Geometric Process* (GP) pada data lama sistem bekerja dengan baik (*lifetime*) dan lama perbaikan sistem (*breakdown*) menggunakan persamaan (2.11).
6. Melakukan estimasi *mean* dan varians data lama sistem bekerja dengan baik (*lifetime*) dan lama perbaikan sistem (*breakdown*) pada sistem dengan persamaan (2.12) dan (2.13).
7. Mendapatkan model optimasi penentuan waktu optimum pemeliharaan atau perawatan (*preventive maintenance*) yang meminimumkan biaya yang ditimbulkan akibat kerusakan pada sistem dengan menggunakan *Geometric Process*.

8. Menghitung rata-rata biaya jangka panjang dengan mencobakan jumlah kerusakan (N) dan membuat kurva antara $l_1(N)$ terhadap N menggunakan persamaan (2.20).
9. Menarik kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan mengenai penentuan waktu optimum pemeliharaan (*preventive maintenance*) sistem *feeding roll* dan *rotor chipper* pada mesin *big chipper* di area produksi *particle board* PT. Kutai Timber Indonesia.

Berdasarkan langkah penelitian yang telah dijelaskan dapat digambarkan dengan diagram alir penelitian seperti pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai penentuan waktu optimum *preventive maintenance* pada sistem utama di mesin *big chipper*, yakni sistem *feeding roll* dan *rotor chipper* yang digunakan untuk menghancurkan kayu menjadi *chip* di area produksi *particle board* PT. Kutai Timber Indonesia. Kedua sistem tersebut bekerja secara independen dan selama 24 jam dalam sehari. Kedua sistem tersebut merupakan sistem yang dapat diperbaiki atau *repairable system* sehingga ketika terjadi kerusakan akan dilakukan perbaikan.

Penentuan waktu optimum *preventive maintenance* sistem *feeding roll* dan sistem *rotor chipper* akan dilakukan menggunakan model *Geometric Process*. Adapun tahapan penentuan waktu optimum untuk *preventive maintenance* yang akan dibahas pada bab ini adalah pemeriksaan *trend* menggunakan *Laplace's Test*, perhitungan estimasi parameter $\ln r$, α , dan mendapatkan varians eror σ_e^2 , pengujian hipotesis data berasal dari *Geometric Process* serta menghitung estimasi rata-rata dan varians dari dataset G_n . Setelah itu, membuat kurva antara rata-rata biaya jangka panjang per jam $l_1(N)$ terhadap N untuk menentukan waktu optimum *preventive maintenance* masing-masing sistem.

4.1 Karakteristik Data *Lifetime* dan *Breakdown*

Sebelum melakukan analisis lebih lanjut, dilakukan analisis statistika deskriptif pada data *lifetime* dan *breakdown* pada sistem *feeding roll* dan sistem *rotor chipper* mesin *big chipper* di area produksi *particle board* PT. Kutai Timber Indonesia. Data *lifetime* merupakan data usia sistem yang dihitung saat mesin *big chipper* mulai beroperasi sampai sistem berhenti karena mengalami kerusakan. Sementara itu, data *breakdown* merupakan data lama perbaikan pada sistem ketika mengalami kerusakan hingga suatu sistem dapat digunakan atau dijalankan kembali. Adapun karakteristik data *lifetime* dan *breakdown* pada sistem *feeding roll*

dan sistem *rotor chipper* pada mesin *big chipper* ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Karakteristik Data Sistem *Feeding Roll* dan *Rotor Chipper* (Jam)

Variabel		N	Mean	Varians	Maks	Min
Lifetime	<i>Feeding Roll</i>	29	10457	5037653	15327	5748
	<i>Rotor Chipper</i>	11	13298	7776311	17145	9929
Breakdown	<i>Feeding Roll</i>	29	2,440	3,525	8	0,5
	<i>Rotor Chipper</i>	11	2,394	8,499	7,5	0,25

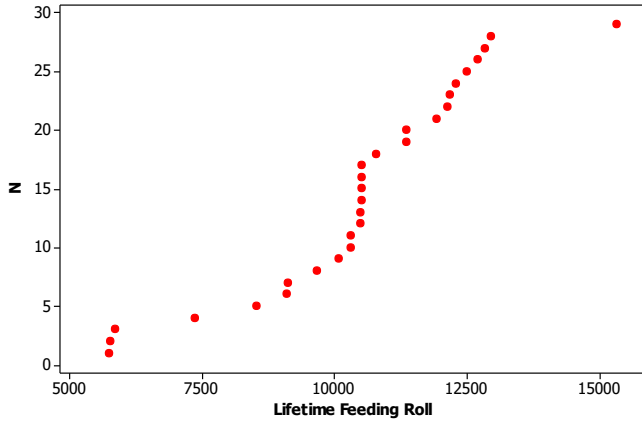
Tabel 4.1 menunjukkan bahwa jumlah kerusakan yang terjadi selama kurun waktu Bulan Januari 2018 sampai dengan Bulan September 2019 pada sistem *feeding roll* dan sistem *rotor chipper* mesin *big chipper* di area produksi *particle board* berdeda-beda, sistem *feeding roll* lebih sering mengalami kerusakan dibandingkan sistem *rotor chipper* dilihat dari jumlah kerusakan sistem *feeding roll* yakni sebanyak 29 kali sedangkan sistem *rotor chipper* mengalami kerusakan sebanyak 11 kali dalam periode yang sama.

Jika dilihat dari nilai *mean* atau rata-rata usia pakai sistem, sistem *rotor chipper* memiliki usia pakai sistem yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem *feeding roll*, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 nilai rata-rata usia pakai sistem *feeding roll* sebesar 10457 jam atau sekitar 435 hari sedangkan rata-rata usia pakai sistem *rotor chipper* yakni 13298 jam atau sekitar 554 hari. Artinya, sampai terjadinya suatu kerusakan pada sistem *rotor chipper* mampu beroperasi lebih lama dibandingkan dengan sistem *feeding roll*. Jika dilihat dari nilai varians *lifetime* sistem *feeding roll* dan *rotor chipper* pada mesin *big chipper* yang tinggi menunjukkan bahwa data *lifetime* masing-masing sistem tidak homogen. Sistem *feeding roll* memiliki usia pakai sistem sampai

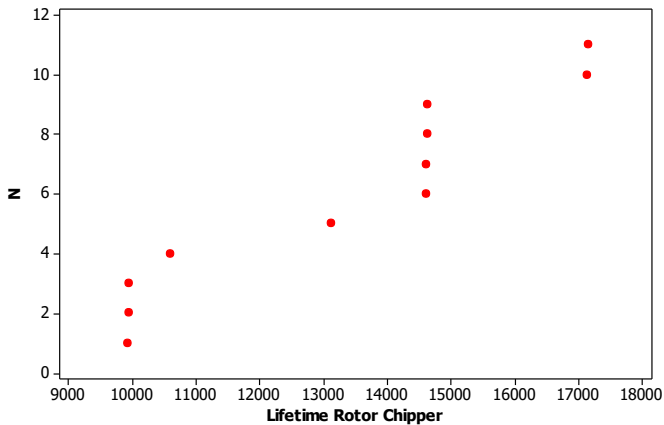
mengalami kerusakan tertinggi selama 15327 jam atau selama 638 hari, sedangkan usia paka sistem *feeding roll* samapi sistem mengami kerusakan terendah selama 5748 jam atau selama 239 hari. Sedangkan untuk sistem *rotor chipper* usia pakai sistem sampai mengalami kerusakan tertinggi sebesar 17145 atau selama 714 hari dan yang terendah selama 9929 jam atau selama 413 hari.

Tabel 4.1 juga menjelaskan karakteristik data *breakdown* atau lama perbaikan sistem *feeding roll* dan sistem *rotor chipper* pada mesin *big chipper* di area produksi *particle board* PT. Kutai Timber Indonesia. Sistem *feeding roll* memiliki waktu *breakdown* atau lama perbaikan lebih lama dibandingkan sistem *rotor chipper* dengan rata-rata lama waktu perbaikan yakni selama 2,440 jam sedangkan pada sistem *rotor chipper* yakni selama 2,394 jam. Nilai varians pada sistem *rotor chipper* lebih besar jika dibandingkan dengan nilai varians pada sistem *feeding roll*, hal ini menunjukkan bahwa keragaman data *breakdown* sistem *rotor chipper* menyebar merata atau heterogen. Lama perbaikan sistem *feeding roll* minimal selama 0,5 jam dan maksimal 8 jam, sedangkan pada sstem *rotor chipper* lama perbaikan sistem yang dibutuhkan minimal selama 0,25 jam dan maksimal selama 7.5 jam.

Karakteristik data sistem *feeding roll* dan sistem *rotor chipper* juga dapat dilihat secara visual melalui plot *lifetime* kumulatif, dimana *lifetime* kumulatif ini didapat dari usia sistem dari kerusakan pertama sampai kerusakan ke- N masing-masing sistem dengan jumlah kerusakannya pada Gambar 4.1.



(a)



(b)

Gambar 4.1 Plot Kumulatif *Lifetime* Sistem (t) dengan jumlah kerusakan $N(t)$ pada (a) Sistem *Feeding Roll* (b) Sistem *Rotor Chipper*

Gambar 4.1 menunjukkan plot antara banyak kerusakan yang terjadi dengan kumulatif usia sistem atau *lifetime*. Dari Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa pada sistem *feeding roll* seiring dengan berjalannya waktu jarak antar titik-titik pada plot semakin

menyempit, sedangkan pada sistem *rotor chipper* seiring berjalannya waktu jarak antar titik-titik cenderung semakin menyempit dengan kenaikan yang konstan. Jarak antar titik pada plot yang semakin lama semakin menyempit menunjukkan bahwa dari hari ke hari usia atau *lifetime* sistem *feeding roll* maupun sistem *rotor chipper* pada mesin *big chipper* semakin menurun, artinya sistem sering mengalami kerusakan seiring berjalannya waktu.

4.2 Pemeriksaan Trend Data *Lifetime* dan *Breakdown*

Berdasarkan hasil analisis karakteristik yang telah dilakukan sebelumnya data *lifetime* dari sistem *feeding roll* dan sistem *rotor chipper* memiliki *trend* naik. Untuk mengetahui adanya *trend* pada data *lifetime* dan *breakdown* dari kedua sistem tersebut perlu dilakukan pengujian *trend* menggunakan *Laplace's Test* seperti pada persamaan (2.3), dimana jika nilai *Laplace* dari suatu data *lifetime* atau *breakdown* diperoleh nilai positif maka data tersebut memiliki *trend* naik, sedangkan jika nilai *Laplace* yang diperoleh bernilai negatif maka data *lifetime* atau *breakdown* tersebut memiliki *trend* turun. Pada Tabel 4.2 menunjukkan hasil perhitungan nilai *Laplace* dari data *lifetime* dan *breakdown* sistem *feeding roll* dan *rotor chipper* pada mesin *big chipper*.

Tabel 4.2 Hasil Pemeriksaan *Laplace* Data *Lifetime* dan *Breakdown*

Variabel	<i>Feeding Roll</i>	<i>Rotor Chipper</i>	$Z_{0,025}$
<i>Lifetime</i>	3,258016	2,743646	1,96
<i>Breakdown</i>	-4,776261	-2,994136	

Tabel 4.2 telah menunjukkan bahwa nilai $|L| > Z_{0,025}$, sehingga keputusan yang diambil adalah Tolak H_0 dan dapat disimpulkan bahwa Data *Lifetime* dan *breakdown* kedua sistem terdapat *trend*, selain itu nilai *Laplace* dari data *lifetime* sistem *feeding roll* dan sistem *rotor chipper* menunjukkan nilai lebih besar dari nol atau bertanda positif dimana masing-masing memiliki nilai

3,258016 dan 2,743646. Hal ini mengindikasikan bahwa masing-masing *lifetime* kedua sistem tersebut memiliki *trend* naik, artinya seiring berjalannya waktu sistem *feeding roll* dan sistem *rotor chipper* pada mesin *big chipper* di area produksi *particle board* PT. Kutai Timber Indonesia memiliki laju kerusakan yang meningkat. Laju kerusakan yang semakin meningkat mengakibatkan usia pakai atau *lifetime* dari kedua sistem mengalami penurunan dari hari ke hari yang berarti bahwa pemeliharaan preventif yang dilakukan oleh perusahaan selama ini belum efektif. Hasil pemeriksaan *trend* menggunakan *Laplace's Test* ini sesuai dengan plot kumulatif usia pakai atau *lifetime* pada Gambar 4.1 yang secara visual dapat dilihat bahwa pada sistem *feeding roll* dan *rotor chipper* masing-masing memiliki jarak antar titik-titik pada plot yang semakin lama semakin menyempit yang menunjukkan bahwa kedua sistem tersebut seiring berjalannya waktu semakin sering mengalami kerusakan.

Tabel 4.2 juga telah menunjukkan hasil pemeriksaan *trend* pada data *breakdown*, dimana nilai *Laplace* pada data *breakdown* sistem *feeding roll* dan sistem *rotor chipper* masing-masing yakni -4,776261 dan -2,994136. Nilai *Laplace* pada data *breakdown* dari kedua sistem tersebut menunjukkan nilai kurang dari nol atau bertanda negatif, artinya data *breakdown* dari sistem *feeding roll* dan sistem *rotor chipper* memiliki *trend* turun. Adanya *trend* menurun pada data lama perbaikan atau *breakdown* pada sistem *feeding roll* dan *rotor chipper* menunjukkan bahwa pemeliharaan preventif yang dilakukan perusahaan belum optimum, karena lama perbaikan pada masing-masing sistem semakin meningkat seiring berjalannya waktu. Dari hasil pemeriksaan *trend* menggunakan *Laplace's Test* data usia pakai atau *lifetime* dan data lama perbaikan atau *breakdown* pada masing-masing sistem memiliki *trend* yang dapat menjadi dugaan awal bahwa data mengikuti *Geometric Process*, namun untuk membuktikan hal tersebut perlu dilakukan pengujian lebih lanjut.

4.3 Estimasi Parameter $\ln r$, α , dan σ_e^2 untuk Data *Lifetime* dan *Breakdown*

Pada pengujian sebelumnya dapat diketahui bahwa data *lifetime* dan *breakdown* sistem *feeding roll* dan sistem *rotor chipper* memiliki *trend* naik dan *trend* turun, sehingga diduga bahwa data tersebut berasal dari *Geometric Process*. Oleh karena itu, untuk memastikan hal tersebut perlu dilakukan adanya pengujian *Geometric Process*, namun sebelum melakukan pengujian *Geometric Process* perlu dilakukan perhitungan estimasi parameter $\ln r$, α , dan σ_e^2 pada data *lifetime* dan *breakdown* sistem *feeding roll* dan sistem *rotor chipper*. Perhitungan estimasi parameter $\ln r$, α , dan σ_e^2 pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode *Ordinary Least Square* (OLS) seperti pada persamaan (2.8), (2.9), dan (2.10). Adapun hasil dari perhitungan estimasi parameter $\ln r$, α , dan σ_e^2 pada data *lifetime* dan *breakdown* sistem *feeding roll* dan sistem *rotor chipper* ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Estimasi Parameter $\ln r$, α , dan σ_e^2 Sistem *Feeding Roll*

Parameter	<i>Lifetime</i>		<i>Breakdown</i>	
	<i>Feeding Roll</i>	<i>Rotor Chipper</i>	<i>Feeding Roll</i>	<i>Rotor Chipper</i>
$\ln \hat{r}$	0,18286	0,49869	1,65969	4,47146
\hat{r}	1,20065	1,64657	5,25767	87,48461
$\hat{\alpha}$	2,71119	2,89013	14,82016	13,40067
$\hat{\sigma}_e^2$	0,41386	0,42989	3,38904	2,24133

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa nilai r untuk data *lifetime* dan *breakdown* pada sistem *feeding roll* dan sistem *rotor chipper* pada mesin *big chipper* yang digunakan di area produksi *particle board* PT. Kutai Timber Indonesia memiliki nilai lebih besar dari 1. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama suatu sistem tersebut digunakan maka usia pakai atau *lifetime* kedua sistem tersebut

mengalami penurunan sehingga akan sering mengalami kerusakan. Nilai r pada data *lifetime* sistem *feeding roll* yakni sebesar 1,20065 nilai ini lebih kecil dibandingkan dengan nilai parameter r pada data *lifetime* sistem *rotor chipper* yaitu sebesar 1,64657. Hal ini menunjukkan bahwa sistem *rotor chipper* akan lebih cepat mengalami kerusakan jika dibandingkan dengan sistem *feeding roll*. Selain nilai parameter r , dapat dilihat juga bahwa nilai σ_e^2 pada data *lifetime* masing-masing sistem memiliki nilai yang relatif kecil yakni sebesar 0,41386 untuk sistem *feeding roll* dan 0,42989 untuk sistem *rotor chipper*. Hal ini menunjukkan bahwa parameter yang dihasilkan oleh model regresi untuk usia pakai atau *lifetime* sistem *feeding roll* dan sistem *rotor chipper* pada mesin *big chipper* baik dalam menangkap keberadaan *trend*.

Tabel 4.3 juga menunjukkan bahwa nilai parameter r pada data lama perbaikan atau *breakdown* sistem *feeding roll* dan sistem *rotor chipper* memiliki nilai lebih besar dari 1 yakni sebesar 5,25767 untuk sistem *feeding roll* dan 87,48461 untuk sistem *rotor chipper*. Hal ini mengindikasikan bahwa lama perbaikan atau *breakdown* pada kedua sistem tersebut cenderung akan semakin berkurang menuju ke 0. Selain itu nilai estimasi parameter varians pada data *breakdown* sistem *feeding roll* dan sistem *rotor chipper* masing-masing yakni sebesar 3,38904 dan 2,24133, dimana nilai tersebut relatif kecil sehingga dapat disimpulkan bahwa parameter yang dihasilkan oleh model regresi untuk lama perbaikan atau *breakdown* sistem *feeding roll* dan sistem *rotor chipper* pada mesin *big chipper* baik dalam menangkap adanya *trend*.

4.4 Pengujian Geometric Process Data Lifetime dan Breakdown

Setelah didapatkan nilai estimasi parameter $\ln r$, α , dan σ_e^2 pada sub bab sebelumnya, maka dilanjutkan dengan pengujian *Geometric Process* untuk mengetahui apakah data *lifetime* dan

breakdown sistem *feeding roll* dan sistem *rotor chipper* pada mesin *big chipper* yang digunakan di area produksi *particle board* PT. Kutai Timber Indonesia mengikuti *Geometric Process* atau tidak. Berdasarkan persamaan (2.11) didapatkan hasil pengujian *Geometric Process* seperti pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Estimasi Parameter $\ln r$, α , dan σ_e^2 Sistem *Rotor Chipper*

Sistem	Statistik Uji		Titik Kritis
	<i>Lifetime</i>	<i>Breakdown</i>	
<i>Feeding Roll</i>	-12,80707	-40,61965	2,051831
<i>Rotor Chipper</i>	-7,977241	-31,32512	2,262157

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa hasil pengujian *Geometric Process* dengan tingkat signifikan 5% menunjukkan bahwa sistem *feeding roll* dan sistem *rotor chipper* mengikuti *Geometric Process*. Hal ini ditunjukkan dengan nilai statistik uji pada data *lifetime* maupun *breakdown* masing-masing sistem lebih besar dari nilai kritis ($|t| > t_{n,0,025}$), sehingga hipotesis null atau H_0 ditolak. Artinya, dapat disimpulkan bahwa data *lifetime* dan *breakdown* sistem *feeding roll* dan sistem *rotor chipper* pada mesin *big chipper* di area produksi *particle board* PT. Kutai Timber Indonesia mengikuti *Geometric Process*.

4.5 Estimasi Rata-rata *Lifetime* dan *Breakdown* Masing-masing Sistem

Pada sub bab sebelumnya telah dilakukan pengujian *Geometric Process* pada data *lifetime* dan *breakdown* sistem *feeding roll* dan *rotor chipper*. Berdasarkan hasil pengujian tersebut dapat diketahui bahwa lama sistem beroperasi dengan baik atau *lifetime* dan lama sistem dalam kondisi perbaikan atau *breakdown* pada sistem *feeding roll* dan *rotor chipper* masing-masing berasal dari *Geometric Process*. Oleh karena itu, selanjutnya dilakukan estimasi rata-rata untuk mengetahui rata-rata lama sistem *feeding roll* dan *rotor chipper* beroperasi dengan baik dan rata-rata lama sistem

feeding roll dan *rotor chipper* dalam kondisi perbakaan. Adapun hasil esimasi rata-rata masing-masing sistem akan dijelaskan pada sub bab berikut.

4.5.1 Estimasi Rata-rata Lifetime dan Breakdown Sistem Feeding Roll

Estimasi rata-rata lama sistem dapat beroperasi dengan baik sampai terjadi kerusakan pertama atau *lifetime* dan rata-rata lama waktu perbaikan atau *breakdown* sistem *feeding roll* pada mesin *big chipper* hingga terjadi kerusakan pertama diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.12 dan didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Estimasi Rata-rata *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem *Feeding Roll*

Estimasi Parameter	Nilai	
	<i>Lifetime</i>	<i>Breakdown</i>
μ_{G_1} (Jam)	50932,86	57,29344
μ_{G_1} (Tahun)	5,814254	0,00654

Tabel 4.5 telah menunjukkan bahwa rata-rata *lifetime* atau lama sistem *feeding roll* beroperasi dengan baik setelah mengalami kerusakan pertama yakni 50932,86 jam atau 5,814 tahun. Sedangkan, rata-rata lama waktu perbaikan atau *breakdown* sistem *feeding roll* setelah mengalami kerusakan pertama sebesar 57,29344 jam. Selanjutnya untuk rata-rata *lifetime* atau lama sistem *feeding roll* beroperasi dengan baik hingga mengalami kerusakan kedua, ketiga, dan seterusnya, serta rata-rata lama waktu perbaikan atau *breakdown* sistem *feeding roll* hingga mengalami kerusakan kedua, ketiga, dan seterusnya dapat dihitung menggunakan persamaan (2.17). Berdasarkan Tabel 4.3 dan Tabel 4.5 dapat dihitung rata-rata sistem *feeding roll* dapat beroperasi dengan baik hingga mengalami kerusakan kedua, ketiga, dan seterusnya dengan persamaan berikut.

$$\mu_{G_n}(\text{jam}) = \frac{50932,86}{1,20065^{n-1}}$$

Sedangkan rata-rata lama waktu perbaikan atau *breakdown* sistem *feeding roll* hingga mengalami kerusakan kedua, ketiga, dan seterusnya dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

$$\mu_{G_n}(\text{jam}) = \frac{57,29344}{5,25767^{n-1}}$$

Berdasarkan kedua persamaan tersebut, rata-rata lama sistem *feeding roll* pada mesin *big chipper* dapat beroperasi dengan baik dan lama waktu perbaikan sistem *feeding roll* pada mesin *big chipper* hingga mengalami kerusakan kedua, ketiga, dan kerusakan ke-*n* ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Estimasi Rata-rata *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem *Feeding Roll* Hingga Kerusakan Ke-*n* (Jam)

N	Lifetime	N	Lifetime	N	Breakdown
1	50933	11	8181	1	57
2	42421	12	6814	2	11
3	35332	13	5675	3	2
4	29427	14	4727	4	0
5	24509	15	3937		
6	20413	:	:		
7	17002	62	1		
8	14161	63	1		
9	11794	64	1		
10	9823	65	0		

Tabel 4.6 telah menunjukkan rata-rata lama sistem *feeding roll* pada mesin *big chipper* dapat beroperasi dengan baik dan rata-rata lama waktu perbakaan sistem *feeding roll* pada mesin *big chipper* hingga mengalami kerusakan ke-*n*. Dari Tabel 4.6 dapat diketahui bahwa rata-rata *lifetime* atau lama sistem *feeding roll* beroperasi dengan baik hingga mengalami kerusakan kedua sebesar 42421 jam atau 4,8 tahun dengan rata-rata *breakdown* atau

lama waktu perbaikan sistem *feeding roll* setelah mengalami kerusakan kedua yakni selama 11 jam. Selain itu, berdasarkan Tabel 4.6 dapat diketahui bahwa sistem *feeding roll* pada mesin *big chipper* tidak dapat beroperasi dengan baik kembali setelah mengalami 65 kali kerusakan. Secara menyeluruh sistem ini diprediksi dapat beroperasi dengan baik selama 30469 jam atau selama 34,8 tahun. Oleh karena itu, agar sistem *feeding roll* pada mesin *big chipper* ini dapat beroperasi kembali setelah mengalami kerusakan perlu adanya tindakan pemeliharaan atau penggantian komponen penyebab kerusakan pada sistem.

Selanjutnya jika dilihat rata-rata lama waktu perbaikan atau *breakdown* sistem *feeding roll* pada mesin *big chipper* mengalami penurunan, hal ini dapat terjadi karena pihak perusahaan telah belajar dari pengalaman kerusakan sebelumnya sehingga lama waktu perbaikan atau *breakdown* sistem tersebut lebih efisien. Selain itu juga berdasarkan Tabel 4.6 pihak perusahaan sebaiknya melakukan penggantian komponen yang menjadi penyebab kerusakan setelah mengalami kerusakan yang ketiga.

4.5.2 Estimasi Rata-rata Lifetime dan Breakdown Sistem Rotor Chipper

Estimasi rata-rata *lifetime* atau lama sistem *rotor chipper* pada mesin *big chipper* beroperasi dengan baik dan rata-rata lama waktu perbaikan atau *breakdown* sistem *rotor chipper* pada mesin *big chipper* hingga mengalami kerusakan pertama dengan menggunakan persamaan 2.12 dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Estimasi Rata-rata *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem *Rotor Chipper*

Estimasi Parameter	Nilai	
	<i>Lifetime</i>	<i>Breakdown</i>
μ_{G_1} (Jam)	57681,15	26,03319
μ_{G_1} (Tahun)	6,584606	0,002972

Tabel 4.7 menunjukkan bahwa rata-rata *lifetime* atau lama sistem *rotor chipper* pada mesin *big chipper* di area produksi

particle board PT. Kutai Timber Indonesia beroperasi dengan baik setelah mengalami kerusakan pertama yakni selama 57681,15 jam atau selama 6,6 tahun. Sedangkan untuk rata-rata lama waktu perbaikan atau *breakdown* sistem *rotor chipper* tersebut setelah mengalami kerusakan yang pertama yakni selama 26 jam. Selanjutnya untuk rata-rata *lifetime* atau lama sistem *rotor chipper* beroperasi dengan baik hingga mengalami kerusakan kedua, ketiga, dan seterusnya, serta rata-rata lama waktu perbaikan atau *breakdown* sistem *rotor chipper* hingga mengalami kerusakan kedua, ketiga, dan seterusnya dapat dihitung menggunakan persamaan (2.17). Berdasarkan Tabel 4.3 dan Tabel 4.7, berikut persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung rata-rata sistem *rotor chipper* dapat beroperasi dengan baik hingga mengalami kerusakan kedua, ketiga, dan seterusnya.

$$\mu_{G_n}(\text{jam}) = \frac{57681,15}{1,64657^{n-1}}$$

Sedangkan rata-rata lama waktu perbaikan atau *breakdown* sistem *rotor chipper* hingga mengalami kerusakan kedua, ketiga, dan seterusnya dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

$$\mu_{G_n}(\text{jam}) = \frac{26,03319}{87,48461^{n-1}}$$

Dari kedua persamaan tersebut dapat dihitung rata-rata *lifetime* atau lama sistem *rotor chipper* beroperasi dengan baik dan rata-rata lama waktu perbaikan atau *breakdown* pada sistem *rotor chipper* hingga mengalami kerusakan kedua, ketiga, dan ke- n . Tabel 4.8 merupakan rata-rata *lifetime* atau lama sistem *rotor chipper* pada mesin *big chipper* beroperasi dengan baik dan rata-rata lama waktu perbaikan atau *breakdown* sistem tersebut hingga mengalami kerusakan kedua, ketiga, dan ke- n .

Tabel 4.8 Estimasi Rata-rata *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem Rotor Chipper Hingga Kerusakan Ke-*n* (Jam)

N	Lifetime	N	Lifetime	N	Breakdown
1	57681	14	88	1	26,0
2	35031	15	54	2	0,3
3	21275	16	33	3	0
4	12921	17	20		
5	7847	18	12		
6	4766	19	7		
7	2894	20	4		
8	1758	21	3		
9	1068	22	2		
10	648	23	1		
11	394	24	1		
12	239	25	0		
13	145				

Tabel 4.8 menunjukkan bahwa rata-rata *lifetime* atau lama sistem *rotor chipper* beroperasi dengan baik hingga mengalami kerusakan kedua sebesar 35031 jam atau 4 tahun dengan rata-rata *breakdown* atau lama waktu perbaikan sistem *rotor chipper* setelah mengalami kerusakan kedua yakni selama 0,3 jam. Selain itu, berdasarkan Tabel 4.6 dapat diketahui bahwa sistem *rotor chipper* pada mesin *big chipper* tidak dapat beroperasi dengan baik kembali setelah mengalami 25 kali kerusakan. Secara menyeluruh sistem ini diprediksi dapat beroperasi dengan baik selama 146892 jam atau selama 16,8 tahun. Oleh karena itu, agar sistem *rotor chipper* pada mesin *big chipper* ini dapat beroperasi kembali setelah mengalami kerusakan perlu adanya tindakan pemeliharaan atau penggantian komponen penyebab kerusakan pada sistem.

Kemudian jika dilihat rata-rata lama waktu perbaikan atau *breakdown* sistem *rotor chipper* pada mesin *big chipper* mengalami penurunan, hal ini dapat terjadi karena pihak perusahaan telah belajar dari pengalaman kerusakan sebelumnya

sehingga lama waktu perbaikan atau *breakdown* sistem tersebut lebih efisien. Selain itu juga berdasarkan Tabel 4.8 setelah sistem mengalami kerusakan yang kedua pihak perusahaan sebaiknya melakukan penggantian komponen yang menjadi penyebab kerusakan.

4.6 Penentuan Kebijakan Waktu Optimum Tindakan Preventive Maintenance

Dalam menentukan kebijakan waktu optimum tindakan *preventive maintenance* yang dapat dilakukan oleh PT. Kutai Timber Indonesia pada sistem *feeding roll* dan sistem *rotor chipper* pada mesin *big chipper* di area produksi *particle board* memerlukan perhitungan waktu yang tepat dan juga mempertimbangkan biaya. Oleh karena itu, pada sub bab ini akan dibahas penentuan kebijakan waktu optimum tindakan *preventive maintenance* pada sistem *feeding roll* dan sistem *rotor chipper* dimana dalam penentuan model optimasi yang tepat, diperlukan nilai *cost of failure* atau biaya yang dikeluarkan perusahaan jika sistem mengalami kerusakan dan *cost of replacement* atau biaya yang harus dikeluarkan oleh perusahaan jika sistem memerlukan adanya penggantian komponen.

4.6.1 Penentuan Kebijakan Waktu Optimum Tindakan Preventive Maintenance pada Sistem Feeding Roll

Penentuan kebijakan waktu optimum tindakan *preventive maintenance* yang dapat dilakukan oleh PT. Kutai Timber Indonesia pada sistem *feeding roll* dilakukan dengan mempertimbangkan biaya yang harus dikeluarkan oleh perusahaan. Berdasarkan informasi dari pihak PT. Kutai Timber Indonesia, estimasi biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan untuk melakukan perawatan dan perbaikan jika sistem *feeding roll* mengalami kerusakan adalah sebesar US\$ 69,95, sedangkan estimasi biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan untuk mengganti

komponen sistem *feeding roll* yakni sebesar US\$ 550,75. Nilai estimasi biaya tersebut dan nilai rasio serta estimasi rata-rata usia sistem dan lama waktu perbaikan pada pembahasan sebelumnya, selanjutnya disubstitusikan ke dalam persamaan (2.20). Berikut merupakan persamaan rata-rata biaya jangka panjang perawatan dan penggantian sistem *feeding roll* pada mesin *big chipper* di area produksi *particle board* PT. Kutai Timber Indonesia.

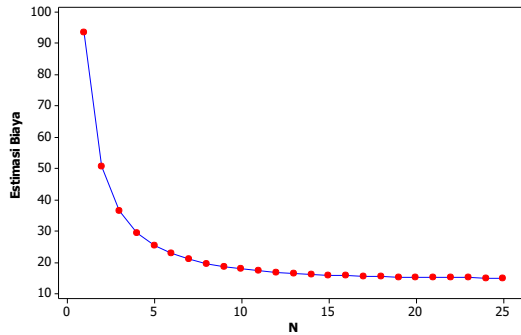
$$I(N) = \frac{69,95 \times 0,00654 \times \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{5,25767^{n-1}} + 550,75 - 5,814254 \times \sum_{n=1}^N \frac{1}{1,20065^{n-1}}}{5,814254 \times \sum_{n=1}^N \frac{1}{1,20065^{n-1}} + 0,00654 \times \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{5,25767^{n-1}}}$$

Berdasarkan persamaan diatas didapatkan rata-rata biaya jangka panjang *preventive maintenance* untuk sistem *feeding roll* pada mesin *big chipper* di area produksi *particle board* pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Rata-rata Biaya Jangka Panjang *Preventive Maintenance* Sistem *Feeding Roll*

Kerusakan ke- (N)	$I_1(N)$	Kerusakan ke- (N)	$I_1(N)$
1	93,69739	14	16,16982
2	50,69225	15	15,93282
3	36,50886	16	15,74036
4	29,53145	17	15,58338
5	25,43556	18	15,45486
6	22,77865	19	15,34933
7	20,94191	20	15,26246
8	19,61561	21	15,19081
9	18,62748	22	15,13162
10	17,87401	23	15,08265
11	17,28925	24	15,04208
12	16,82917	25	15,00846
13	16,46329		

Tabel 4.9 tersebut selanjutnya dibuat plot antara $l_1(N)$ dengan N seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Plot antara antara $l_1(N)$ dengan N Sistem Feeding Roll

Gambar 4.2 menjelaskan bahwa estimasi rata-rata biaya jangka panjang sistem *feeding roll* pada mesin *big chipper* di area produksi *particle board* semakin lama semakin menurun sejalan dengan jumlah kerusakan yang terjadi. Meskipun estimasi biaya jangka panjang semakin lama semakin menurun dan menuju stasioner atau memiliki nilai yang mendekati konvergen, apabila sistem sering mengalami kerusakan dan membutuhkan beberapa kali perbaikan maka usia sistem tersebut akan semakin pendek. Penurunan usia sistem *feeding roll* pada mesin *big chipper* dari waktu ke waktu ditunjukkan oleh Tabel 4.6. Oleh karena itu, agar sistem *feeding roll* tersebut tidak mengalami kerusakan yang terus menerus dapat dilakukan *preventive maintenance* yakni dengan melakukan pengecekan keseluruhan komponen sistem dan melakukan penggantian pada komponen sistem yang mengalami kerusakan.

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa *preventive maintenance* sistem *feeding roll* pada mesin *big chipper* di area produksi *particle board* yang optimum dilakukan ketika sistem telah mengalami kerusakan ke-14 karena estimasi biaya jangka panjang pada kerusakan ke-14 hingga seterusnya cenderung memiliki nilai yang hampir sama dengan selisih biaya yang tidak terlalu signifikan.

Selain itu jika perusahaan tidak melakukan pemeliharaan berupa pengecekan keseluruhan komponen dan penggantian komponen sistem *feeding roll* pada mesin *big chipper* di area produksi *particle board* ketika sistem mengalami kerusakan ke-14 maka sistem *feeding roll* tersebut hanya dapat bekerja selama 32,1 tahun. Kondisi ini dapat mengganggu kinerja mesin *big chipper* karena sistem harus diperbaiki lagi dalam jangka waktu yang pendek. Oleh karena itu kegiatan atau tindakan *preventive maintenance* yang optimum dilakukan oleh perusahaan adalah ketika sistem *feeding roll* mengalami kerusakan yang ke-14 dengan estimasi biaya yang harus dikeluarkan oleh perusahaan yakni sebesar US\$ 16.17.

4.6.2 Penentuan Kebijakan Waktu Optimum Tindakan Preventive Maintenance pada Sistem Rotor Chipper

Selanjutnya adalah penentuan kebijakan waktu optimum tindakan *preventive maintenance* pada sistem *rotor chipper* mesin *big chipper* di area produksi *particle board* PT. Kutai Timber Indonesia. Berdasarkan informasi yang didapatkan dari pihak PT. Kutai Timber Indonesia, estimasi biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan untuk melakukan perawatan dan perbaikan jika sistem *rotor chipper* mengalami kerusakan adalah sebesar US\$ 217 dimana biaya ini merupakan biaya yang dikeluarkan untuk melakukan *welding* pada komponen sistem *rotor chipper* yang mengalami kerusakan, sedangkan estimasi biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan untuk mengganti komponen sistem *rotor chipper* dalam hal ini adalah biaya untuk penggantian pisau-pisau yang merupakan komponen utama dalam sistem *rotor chipper* yakni sebesar US\$ 1200. Nilai rasio dan estimasi rata-rata lama sistem *rotor chipper* bekerja dengan baik dan lama waktu perbaikan sistem *rotor chipper* yang telah didapatkan dari pembahasan sebelumnya serta estimasi biaya yang harus dikeluarkan oleh perusahaan tersebut selanjutnya disubstitusikan ke dalam persamaan (2.20). Berikut merupakan persamaan rata-rata biaya jangka panjang perawatan dan penggantian sistem *rotor chipper*

pada mesin *big chipper* di area produksi *particle board* PT. Kutai Timber Indonesia.

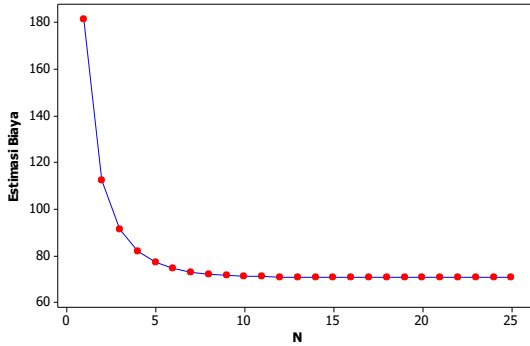
$$l(N) = \frac{217 \times 0,002972 \times \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{87,48461^{n-1}} + 1200 - 6,584606 \times \sum_{n=1}^N \frac{1}{1,64657^{n-1}}}{6,584606 \times \sum_{n=1}^N \frac{1}{1,64657^{n-1}} + 0,002972 \times \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{87,48461^{n-1}}}$$

Berdasarkan persamaan diatas didapatkan estimasi biaya jangka panjang *preventive maintenance* untuk sistem *rotor chipper* pada mesin *big chipper* di area produksi *particle board* PT. Kutai Timber Indonesia sebagai berikut.

Tabel 4.10 Rata-rata Biaya Jangka Panjang *Preventive Maintenance* Sistem *Rotor Chipper*

Kerusakan ke- (N)	$l_1(N)$	Kerusakan ke- (N)	$l_1(N)$
1	181,2594	14	70,6555
2	112,4125	15	70,62935
3	91,24974	16	70,61349
4	81,85947	17	70,60385
5	77,03529	18	70,59801
6	74,37026	19	70,59445
7	72,83877	20	70,5923
8	71,93866	21	70,59099
9	71,40264	22	70,59019
10	71,08093	23	70,58971
11	70,88694	24	70,58941
12	70,76964	25	70,58924
13	70,69858		

Tabel 4.10 tersebut dapat dibuat plot antara $l_1(N)$ dengan N pada sistem *rotor chipper* seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Plot antara antara $l_1(N)$ dengan N Sistem *Rotor Chipper*

Gambar 4.3 menjelaskan bahwa estimasi rata-rata biaya jangka panjang sistem *rotor chipper* pada mesin *big chipper* di area produksi *particle board* PT. Kutai Timber Indonesia semakin lama semakin menurun searah dengan jumlah kerusakan yang terjadi. Sama halnya dengan sistem *feeding roll*, meskipun estimasi biaya jangka panjang sistem *rotor chipper* semakin lama semakin menurun dan menuju stasioner atau memiliki nilai yang mendekati konvergen, apabila sistem sering mengalami kerusakan dan membutuhkan beberapa kali perbaikan maka usia sistem tersebut akan semakin pendek. Tabel 4.8 menunjukkan penurunan usia sistem *rotor chipper* pada mesin *big chipper* dari waktu ke waktu. Oleh karena itu, agar sistem *rotor chipper* tersebut tidak mengalami kerusakan yang terus menerus perusahaan dapat melakukan tindakan *preventive maintenance* yakni yakni berupa pengecekan keseluruhan komponen sistem dan melakukan penggantian pada komponen sistem yang mengalami kerusakan.

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa tindakan *preventive maintenance* sistem *rotor chipper* pada mesin *big chipper* di area produksi *particle board* yang optimum dilakukan oleh perusahaan ketika sistem telah mengalami kerusakan ke-10, karena estimasi biaya jangka panjang pada kerusakan ke-10 hingga seterusnya cenderung memiliki nilai yang hampir sama dengan selisih biaya

yang tidak terlalu signifikan. Selain itu, jika perusahaan tidak melakukan tindakan *preventive maintenance* atau pemeliharaan berupa pengecekan keseluruhan komponen dan penggantian komponen sistem *rotor chipper* pada mesin *big chipper* di area produksi *particle board* pada saat sistem mengalami kerusakan ke-10 maka sistem *rotor chipper* tersebut hanya dapat bekerja dengan baik selama 16,6 tahun. Kondisi ini dapat mengganggu kinerja mesin *big chipper* karena sistem harus diperbaiki lagi dalam jangka waktu yang pendek. Sehingga kegiatan atau tindakan *preventive maintenance* yang optimum dilakukan oleh perusahaan adalah pada saat sistem *rotor chipper* pada mesin *big chipper* di area produksi *particle board* PT. Kutai Timber Indonesia mengalami kerusakan yang ke-10 dengan estimasi biaya yang harus dikeluarkan oleh perusahaan yakni sebesar US\$ 71,08.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Kegiatan atau tindakan *preventive maintenance* yang optimum dilakukan pada sistem *feeding roll* mesin *big chipper* di area produksi *particle board* PT. Kutai Timber Indonesia oleh perusahaan adalah ketika sistem *feeding roll* mengalami kerusakan yang ke-14 dengan estimasi biaya yang harus dikeluarkan oleh perusahaan yakni sebesar US\$ 16,17.
2. Kegiatan atau tindakan *preventive maintenance* yang optimum dilakukan pada sistem *rotor chipper* mesin *big chipper* di area produksi *particle board* PT. Kutai Timber Indonesia oleh perusahaan adalah pada saat sistem *rotor chipper* pada mesin *big chipper* di area produksi *particle board* PT. Kutai Timber Indonesia mengalami kerusakan yang ke-10 dengan estimasi biaya yang harus dikeluarkan oleh perusahaan yakni sebesar US\$ 71,08.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu agar memperhatikan juga faktor eksternal penyebab kerusakan pada sistem *feeding roll* dan sistem *rotor chipper* mesin *big chipper*. Dan bagi perusahaan sebaiknya pencatatan data terkait data kerusakan pada mesin yang digunakan di PT. Kutai Timber Indonesia area produksi *particle board* lebih diperinci dan diperjelas komponen yang diperbaiki, agar dapat dilakukan perhitungan yang lebih tepat dan sesuai, selain itu kegiatan pemeliharaan atau *preventive maintenance* pada mesin *big chipper* di area produksi *particle board* hendaknya memperhatikan fungsi dari masing-masing sistem dan *lifetime* dari setiap sistem pada mesin *big chipper* juga berbeda-beda sehingga waktu untuk

melakukan pemeliharaan juga berbeda. Perusahaan dapat melakukan kegiatan *preventive maintenance* sesuai dengan hasil yang telah dipaparkan pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, B., Steven, E., Christian, H., & Sumanto, T. (2009). Penjadwalan Preventive Maintenance Mesin B.Flute pada PT. AMW. *INASEA*, 10, 97-104.
- Blischke, W. R., & Murthy, D. P. (2003). *Case Study In Reliability and Maintenance*. Canada: A Jhon Wiley & Sons Publication.
- Crowder, M., Kimber, A., Smith, R., & Sweeting, T. (1991). *Statistical Analysis of Reliability Data*. Springer Science Business.
- Ebeling, C. E. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability for Engineering* (1st ed.). New York: McGraw Hill.
- Fadilah, A. N., Aksioma, F. D., & Haryono. (2018). Optimasi Penentuan Waktu Optimum Pemeliharaan (Preventive Maintenance) Mesin. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 7, 2337-3520.
- Hariyanto, A., & Handayani, D. I. (2015). Total Productive Maintenance pada Chipper Area (Study Kasus di PT. Kutai Timber Indonesia Particle Board). *Jurnal Teknik Waktu*, 13(02), 1412-1867.
- Hoyland, A., & Rausand, M. (1994). *System Reliability Engineering Theory*. New York: John Wiley & Sons.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2019). *Statistik Direktorat Jenderal PHPL Tahun 2018*. Jakarta: Ditjen PHPL.
- Lam, Y. (1992). Nonparametric Inference for Geometric Processes . *Communications in Statistics*, 2083-2105.
- Lam, Y. (2007). A Geometric Process Maintenance Model with Preventive Repair. *European Journal of Operational Research*, 806-819.

- Leung, F. K., & Cheng, A. L. (2000). Determining Replacement Policies for Bus Engines. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 17, 771-782.
- Leung, F. K., & Fong, C. (2000). A-Repair Replacement Study for Gearbox Using Geometric Processes. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 285-304.
- Maloney, T. M. (1977). *Modern Particle Board and Drying Process Fiberboard Manufacturing*. San Francisco: Miller Freeman Publication.
- Manalu, H. T. (2012). *Studi Kasus Audit Maintenance Rotating Equipment pada PT. Toba Pulp Lestari, Tbk. "Porsea", Medan*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Meeker, W. Q., & Escobar, L. A. (1998). *Statistical Methods for Reliability Data*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Nasution, M. N. (2010). *Manajemen Mutu Terpadu (Total Quality Management)*. Bogor: Ghalia Indonesia.
- O'Connor, P. (2012). *Practical Reliability Engineering*. New York: John Wiley & Sons.
- Permatasari, P., Haryono, & Aksioma, D. F. (2016). Optimasi Waktu Penggantian Komponen Air Cycle Machine (ACM) Pesawat Terbang CRJ-1000 Menggunakan Metode Geometric Process. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 5, 2337-3520.
- PT. Kutai Timber Indonesia. (2016). *Particle Board*. Dipetik Januari 22, 2020, dari PT. Kutai Timber Indonesia: <http://www.kti.co.id/id/particle-board/>
- PT. Kutai Timber Indonesia. (2016). *Profil Singkat PT. Kutai Timber Indonesia*. Dipetik Januari 05, 2020, dari PT. Kutai Timber Indonesia: <http://www.kti.co.id/id/tentang-kti/profil-singkat/>

- Ridgon, S. E., & Basu, A. P. (2000). *Statistical Methods for The Reliability of Repairable System*. New York: John Wiley & Sons, INC.
- Wang, G. J., & Zhang, Y. L. (2014). Geometric Process Model for A System with Inspections and Preventive Repair . *Computers & Industrial Engineering*, 13-19.
- Zhang, Y. L., & Wang, G. J. (2007). A Geometric Process Repair Model for A Series Repairable System with k Dissimilar Components. *Applied Mathematical Modelling* 31, 1998-2007.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem *Feeding Roll*

No.	Tanggal	Lifetime (Jam)	Lifetime (Tahun)	breakdown (Jam)	breakdown (Tahun)
1	20-Apr-18	5748	0,656164384	7,0	0,000799087
2	24-Apr-18	5759,06	0,657426941	2,5	0,000285388
3	26-Jun-18	5855,06	0,668385845	5,8	0,000665906
4	14-Aug-18	7374,66	0,841856164	0,5	5,70776E-05
5	6-Sep-18	8533,11	0,974099315	1,0	0,000114155
6	7-Sep-18	9092,56	1,03796347	0,8	9,51294E-05
7	29-Sep-18	9117,01	1,040754566	1,4	0,00016172
8	17-Oct-18	9658,56	1,102575342	1,5	0,000171233
9	26-Oct-18	10089,91	1,15181621	1,5	0,000171233
10	27-Oct-18	10300,21	1,175823059	1,0	0,000114155
11	3-Nov-18	10310,51	1,176998858	1,3	0,000142694
12	4-Nov-18	10493,26	1,197860731	1,5	0,000171233
13	4-Nov-18	10499,56	1,198579909	1,5	0,000171233
14	4-Nov-18	10510,86	1,199869863	3,5	0,000399543
15	4-Nov-18	10512,86	1,200098174	1,0	0,000114155
16	5-Nov-18	10514,86	1,200326484	1,5	0,000171233
17	16-Nov-18	10515,16	1,200360731	1,4	0,00016172
18	9-Dec-18	10777,96	1,230360731	2,0	0,000228311
19	9-Dec-18	11354,41	1,296165525	2,0	0,000228311
20	2-Jan-19	11365,71	1,297455479	2,0	0,000228311
21	10-Jan-19	11938,41	1,362832192	2,5	0,000285388
22	13-Jan-19	12124,71	1,384099315	1,5	0,000171233
23	18-Jan-19	12183,01	1,390754566	3,0	0,000342466
24	26-Jan-19	12303,01	1,404453196	1,0	0,000114155
25	4-Feb-2019	12490,01	1,425800228	1,5	0,000171233

26	9-Feb-2019	12715,01	1,45148516	4,5	0,000513699
27	14-Feb-2019	12835,61	1,465252283	4,0	0,000456621
28	24-May-19	12954,61	1,478836758	4,0	0,000456621
29	27-Jun-19	15326,61	1,749613014	8,0	0,000913242

Lampiran 2. Data *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem Rotor Chipper

No.	Tanggal	<i>Lifetime</i> (Jam)	<i>Lifetime</i> (Tahun)	<i>breakdown</i> (Jam)	<i>breakdown</i> (Tahun)
1	11-Nov-18	9928,84	1,133429224	7,5	0,000856164
2	11-Nov-18	9936,84	1,134342466	2,0	0,000228311
3	12-Nov-18	9941,99	1,134930365	1,3	0,000142694
4	9-Dec-18	10593,29	1,20927968	0,5	5,70776E-05
5	24-Mar-19	13123,89	1,498160959	0,2	2,85388E-05
6	25-May-19	14606,04	1,667356164	0,4	4,75647E-05
7	26-May-19	14617,09	1,66861758	0,7	7,61035E-05
8	26-May-19	14627,09	1,669759132	0,3	3,80518E-05
9	26-May-19	14628,59	1,669930365	0,4	4,75647E-05
10	8-Sep-19	17134,74	1,956020548	7,0	0,000799087
11	8-Sep-19	17144,74	1,9571621	6,0	0,000684932

Lampiran 3. Syntax R Perhitungan Nilai *Laplace Lifetime* Sistem *Feeding Roll*

```

library(readxl)
X<-read_excel("D:/TUGAS
AKHIR/DATA_OLAH/LT_FR.xlsx")
X=as.numeric(X$LT_FR)
N=length(X)
a=0;
T=15500;
i=1;
for (i in 1:N)
{
  a=a+X[i]
  at=a/N
}
b=T/2
c=T*(sqrt(1/(12*(N))))
L=(at-b)/c

L
if (L>0) print("Ada Trend Naik") else print("Ada Trend
Turun")

```

Lampiran 4. *Output* Syntax R Perhitungan Nilai *Laplace Lifetime* Sistem *Feeding Roll*

```

> N
[1] 29
> L
[1] 3.258016
> if (L>0) print("Ada Trend Naik") else print("Ada Trend Tu
run")
[1] "Ada Trend Naik"

```

Lampiran 5. Syntax Perhitungan Nilai *Laplace Breakdown Sistem Feeding Roll*

```

library(readxl)
X<-read_excel("D:/TUGAS
AKHIR/DATA_OLAH/Breakdown_FR.xlsx")
X=as.numeric(X$Breakdown_FR)
N=length(X)
N
a=0
T=10
i=1
for (i in 1:N)
{
  a=a+X[i]
  at=a/N
}
b=T/2
c=T*(sqrt(1/(12*(N))))
L=(at-b)/c

L
if (L>0) print("Ada Trend Naik") else print("Ada Trend
Turun")

```

Lampiran 6. *Output* Syntax R Perhitungan Nilai *Laplace Breakdown Sistem Feeding Roll*

```

> N
[1] 29
> L
[1] -4.776261
> if (L>0) print("Ada Trend Naik") else print("Ada Trend Tu
run")
[1] "Ada Trend Turun"

```


Lampiran 7. Syntax Perhitungan Nilai *Laplace Lifetime* Sistem *Rotor Chipper*

```

library(readxl)
X<-read_excel("D:/TUGAS
AKHIR/DATA_OLAH/LT_RC.xlsx")
X=as.numeric(X$LT_RC)
N=length(X)
N
a=0
T=18000
for (i in 1:N)
{
  a=a+X[i]
  at=a/N
}
b=T/2
c=T*(sqrt(1/(12*(N))))
L=(at-b)/c

L
if (L>0) print("Ada Trend Naik") else print("Ada Trend
Turun")

```

Lampiran 8. *Output* Syntax R Perhitungan Nilai *Laplace Lifetime* Sistem *Rotor Chipper*

```

> N
[1] 11
> L
[1] 2.743646
> if (L>0) print("Ada Trend Naik") else print("Ada Trend Tu
run")
[1] "Ada Trend Naik"

```

Lampiran 9. Syntax Perhitungan Nilai *Laplace Breakdown* Sistem *Rotor Chipper*

```

library(readxl)
X<-read_excel("D:/TUGAS
AKHIR/DATA_OLAH/Breakdown_RC.xlsx")
X=as.numeric(X$Breakdown_RC)
N=length(X)
N
a=0
T=10
i=1
for (i in 1:N)
{
  a=a+X[i]
  at=a/N
}
b=T/2
c=T*(sqrt(1/(12*(N))))
L=(at-b)/c

L
if (L>0) print("Ada Trend Naik") else print("Ada Trend
Turun")

```

Lampiran 10. *Output* Syntax R Perhitungan Nilai *Laplace Breakdown* Sistem *Rotor Chipper*

```

> N
[1] 11
> L
[1] -2.994136
> if (L>0) print("Ada Trend Naik") else print("Ada Trend Tu
run")
[1] "Ada Trend Turun"

```

Lampiran 11. Syntax R Estimasi Parameter dan Pengujian
Geometric Process

```

library(PEIP)
library(readxl)
# Lifetime Sistem Feeding Roll
X<-read_excel("D:/TUGAS
AKHIR/DATA_OLAH/LT_FRTAHUN.xlsx")
X=as.numeric(X$LT_FRTAHUN)
# Breakdown Sistem Feeding Roll
X<-read_excel("D:/TUGAS
AKHIR/DATA_OLAH/Breakdown_FRTahun.xlsx")
X=as.numeric(X$Breakdown_FRTahun)
# Lifetime Sistem Rotor Chipper
X<-read_excel("D:/TUGAS
AKHIR/DATA_OLAH/LT_RCTAHUN.xlsx")
X=as.numeric(X$LT_RCTAHUN)
# Breakdown Sistem Rotor Chipper
X<-read_excel("D:/TUGAS
AKHIR/DATA_OLAH/Breakdown_RCTahun.xlsx")
X=as.numeric(X$Breakdown_RCTahun)

N=length(X)
sigmaXn=0;
sigmaInXn=0;
sigmanmin1lnXn=0;
sigmaInXn2=0;
i=1;
for (i in 1:N)
{
  sigmaXn=sigmaXn+X[i];
  sigmaInXn=sigmaInXn+log(X[i]);
  sigmanmin1lnXn=sigmanmin1lnXn+(i-1)*log(X[i]);
  sigmaInXn2=sigmaInXn2+(log(X[i]))^2;
}
lnrtopi=(6/((N-1)*N*(N+1)))*((N-1)*sigmaXn-
2*sigmanmin1lnXn);
rtopi=exp(lnrtopi);

```

Lampiran 11. Syntax R Estimasi Parameter dan Pengujian *Geometric Process* (Lanjutan)

```

alfatopi=sigmalnXn/N+(N-1)*lnrtopi/2;
vare=(1/(N-2))*((sigmalnXn2-((sigmalnXn)^2)/N)-
  (lnrtopi*(((N-1)*sigmalnXn/2)-sigmanmin1lnXn)));
#Pengujian Geometric Process
thit=-lnrtopi*sqrt((N-1)*N*(N+1))/sqrt(12*vare);
ttab=qt(1-0.025,(N-2));
if (abs(thit)>ttab) print("Kesimpulan Tolak H0") else
print("Kesimpulan Gagal Tolak H0")

lnrtopi
rtopi
alfatopi
vare
thit
ttab

```

Lampiran 12. *Output* Syntax R Estimasi Parameter dan Pengujian *Geometric Process*

```

# Data Lifetime Sistem Feeding Roll
[1] "Kesimpulan Tolak H0"
> lnrtopi
[1] 0.182864
> rtopi
[1] 1.200651
> alfatopi
[1] 2.711194
> vare
[1] 0.4138597
> thit
[1] -12.80707
> ttab
[1] 2.051831

```

Lampiran 12. *Output Syntax R Estimasi Parameter dan Pengujian Geometric Process (Lanjutan)*

```
# Data Breakdown Sistem Feeding Roll
```

```
[1] "Kesimpulan Tolak H0"
```

```
> lnrtopi
```

```
[1] 1.659689
```

```
> rtopi
```

```
[1] 5.257674
```

```
> alfatopi
```

```
[1] 14.82016
```

```
> vare
```

```
[1] 3.389042
```

```
> thit
```

```
[1] -40.61965
```

```
> ttab
```

```
[1] 2.051831
```

```
# Data Lifetime Sistem Rotor Chipper
```

```
[1] "Kesimpulan Tolak H0"
```

```
> lnrtopi
```

```
[1] 0.4986943
```

```
> rtopi
```

```
[1] 1.64657
```

```
> alfatopi
```

```
[1] 2.89013
```

```
> vare
```

```
[1] 0.4298887
```

```
> thit
```

```
[1] -7.977241
```

```
> ttab
```

```
[1] 2.262157
```

Lampiran 12. *Output Syntax R Estimasi Parameter dan Pengujian Geometric Process (Lanjutan)*

```
# Data Breakdown Sistem Rotor Chipper
[1] "Kesimpulan Tolak H0"
> lnrtopi
[1] 4.471463
> rtopi
[1] 87.48461
> alfatopi
[1] 13.40067
> vare
[1] 2.241334
> thit
[1] -31.32512
> ttab
[1] 2.262157
```

Lampiran 13. Estimasi Rata-rata dan Varians *Lifetime* Sistem *Feeding Roll*

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	LT_FR (Jam)	LT_FR (Tahun)		n	$(r^*(n-1).Gn)$	$(r^*(n-1).Gn)^2$	Miu	Var
2	5748	0.656164384		1	0.656164	0.430551699	5.814254	5202.471
3	5759.06	0.657426941		2	0.78934	0.623058132	4.842584	3608.91
4	5855.06	0.668385845		3	0.96352	0.928371149	4.033299	2503.471
5	7374.66	0.841856164		4	1.457096	2.123129642	3.35926	1736.637
6	8533.11	0.974099315		5	2.024279	4.09770577	2.797866	1204.69
7	9092.56	1.03796347		6	2.589799	6.707057162	2.33029	835.6834
8	9117.01	1.040754566		7	3.117806	9.720712371	1.940856	579.7066
9	9658.56	1.102575342		8	3.965754	15.72720574	1.616503	402.1376
10	10089.91	1.15181621		9	4.974134	24.74200915	1.346355	278.9594
11	10300.21	1.175823059		10	6.096675	37.1694479	1.121354	193.5118
12	10310.51	1.176938858		11	7.327299	53.68930984	0.933955	134.2375
13	10493.26	1.197860731		12	8.953462	80.16447781	0.777874	93.11944
14	10499.56	1.198579909		13	10.75644	115.7009363	0.647877	64.59617
15	10510.86	1.199869863		14	12.92863	167.1493725	0.539605	44.80982
16	10512.86	1.200098174		15	15.52572	241.0480284	0.449427	31.08419
17	10514.86	1.200326484		16	18.64452	347.6181024	0.374319	21.56284
18	10515.16	1.200360731		17	22.3862	501.1419287	0.311764	14.95796
19	10777.96	1.230360731		18	27.54976	758.9893433	0.259662	10.37621
20	11354.41	1.296165525		19	34.84678	1214.297948	0.216268	7.197892
21	11365.71	1.297455479		20	41.88046	1753.972709	0.180125	4.993117
22	11938.41	1.362832192		21	52.81753	2789.691917	0.150023	3.463683
23	12124.71	1.384099315		22	64.40503	4148.007739	0.124951	2.402728
24	12183.01	1.390754566		23	77.69978	6037.2563	0.10407	1.666752
25	12303.01	1.404453196		24	94.20921	8875.375571	0.086678	1.156212
26	12490.01	1.425800228		25	114.8316	13186.30546	0.072192	0.802054
27	12715.01	1.45148516		26	140.3564	19699.92378	0.060128	0.556378
28	12835.61	1.465252283		27	170.1175	28939.94712	0.050079	0.385955
29	12954.61	1.478836758		28	206.1453	42495.89374	0.04171	0.267734
30	15326.61	1.749613014		29	292.8276	85748.01363	0.03474	0.185725
31	Sigma	34.61806849		Sigma	1440.844	217256.4567		
32	r	1.200651		Sigma^2	2076031			
33	$1-r^*(-1)$	0.167118505						
34	$1-r^*(-N)$	0.995023624						
35	Miu G1	5.814253761						
36	Var G1	5202.4708						

Lampiran 13. Estimasi Rata-rata dan Varians *Lifetime* Sistem *Feeding Roll* (Lanjutan)

- $\text{Sigma} = \text{SUM}(B2:B30)$
- $1-r^{(-1)} = 1-(B32^{(-1)})$
- $1-r^{(-N)} = 1-(B32^{(-29)})$
- $\text{Miu } G1 = B33*B31/B34$
- $\text{Var } G1 = (F31-(E32/29))/28$
- $E2 = (\$B\$32^{(D2-1)})B2$
- $E3 = (\$B\$32^{(D3-1)})B3$
- $F2 = E2^2$
- $F3 = E3^2$
- $G3 = \$G\$2/(\$B\$32^{(D3-1)})$
- $G4 = \$G\$2/(\$B\$32^{(D4-1)})$
- $H3 = \$H\$2/(\$B\$32^{(2*(D3-1))})$
- $H4 = \$H\$2/(\$B\$32^{(2*(D4-1))})$
- $\text{Miu (Jam)} = G2*24*365$

Lampiran 14. Estimasi Rata-rata dan Varians *Breakdown* Sistem *Feeding Roll*

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Breakdown (Ja	Breakdown(Tahun)		n	(r*(n-1).Gn)	(r*(n-1).Gn)^2	Miu	Var
2		7	0.000799087	1	0.0007991	6.3954E-07	0.0065403	6.662E+32
3		2.5	0.000285388	2	0.0015005	2.2514E-06	0.001244	1.267E+32
4		5.8	0.000665906	3	0.0184077	0.00033884	0.0002366	2.41E+31
5		0.5	0.0000571	4	0.0082988	6.8871E-05	4.5E-05	4.584E+30
6		1	0.000114155	5	0.0872307	0.0076092	8.559E-06	8.718E+29
7		0.8	0.0000951	6	0.3820751	0.14598142	1.628E-06	1.658E+29
8		1.4	0.00016172	7	3.4160613	11.669475	3.096E-07	3.154E+28
9		1.5	0.000171233	8	19.017046	361.64802	5.889E-08	5.998E+27
10		1.5	0.000171233	9	99.985426	9997.08537	1.12E-08	1.141E+27
11		1	0.000114155	10	350.45949	122821.856	2.13E-09	2.17E+26
12		1.3	0.000142694	11	2303.2562	5304989.29	4.052E-10	4.127E+25
13		1.5	0.000171233	12	14531.741	211171511	7.707E-11	7.85E+24
14		1.5	0.000171233	13	76403.159	5837442766	1.466E-11	1.493E+24
15		3.5	0.000399543	14	937305.21	8.7854E+11	2.788E-12	2.84E+23
16		1	0.000114155	15	1408011.2	1.9825E+12	5.303E-13	5.401E+22
17		1.5	0.000171233	16	11104328	1.2331E+14	1.009E-13	1.027E+22
18		1.4	0.00016172	17	55139421	3.0404E+15	1.918E-14	1.954E+21
19		2	0.000228311	18	409278527	1.6751E+17	3.648E-15	3.716E+20
20		2	0.000228311	19	2.152E+09	4.6305E+18	6.939E-16	7.068E+19
21		2	0.000228311	20	1.131E+10	1.28E+20	1.32E-16	1.344E+19
22		2.5	0.000285388	21	7.435E+10	5.5286E+21	2.51E-17	2.557E+18
23		1.5	0.000171233	22	2.346E+11	5.5018E+22	4.775E-18	4.863E+17
24		3	0.000342466	23	2.466E+12	6.0835E+24	9.081E-19	9.25E+16
25		1	0.000114155	24	4.323E+12	1.8685E+25	1.727E-19	1.759E+16
26		1.5	0.000171233	25	3.409E+13	1.1622E+27	3.285E-20	3.346E+15
27		4.5	0.000513699	26	5.377E+14	2.8913E+29	6.248E-21	6.364E+14
28		4	0.000456621	27	2.513E+15	6.3151E+30	1.188E-21	1.21E+14
29		4	0.000456621	28	1.321E+16	1.7457E+32	2.26E-22	2.302E+13
30		8	0.000913242	29	1.389E+17	1.9303E+34	4.299E-23	4.379E+12
31	Sigma	0.008076479		Sigma	1.552E+17	1.9484E+34		
32	r	5.257674		Sigma^	2.41E+34			
33	1-r*(-1)	0.809801825						
34	1-r*(-N)		1					
35	Miu G1	0.006540347						
36	Var G1	6.66172E+32						

Lampiran 14. Estimasi Rata-rata dan Varians *Breakdown* Sistem *Feeding Roll* (Lanjutan)

-	$\text{Sigma} = \text{SUM}(B2:B30)$
-	$1-r^{(-1)} = 1-(B32^{(-1)})$
-	$1-r^{(-N)} = 1-(B32^{(-29)})$
-	$\text{Miu G1} = B33*B31/B34$
-	$\text{Var G1} = (F31-(E32/29))/28$
-	$E2 = (\$B\$32^{(D2-1)})B2$
-	$E3 = (\$B\$32^{(D3-1)})B3$
-	$F2 = E2^2$
-	$F3 = E3^2$
-	$G3 = \$G\$2/(\$B\$32^{(D3-1)})$
-	$G4 = \$G\$2/(\$B\$32^{(D4-1)})$
-	$H3 = \$H\$2/(\$B\$32^{(2*(D3-1))})$
-	$H4 = \$H\$2/(\$B\$32^{(2*(D4-1))})$
-	$\text{Miu (Jam)} = G2*24*365$

Lampiran 15. Estimasi Rata-rata dan Varians *Lifetime* Sistem *Rotor Chipper*

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	LT_RC (Jam)	LT_RC (Tahun)		n	$(r^{(n-1)} \cdot Gn)$	$(r^{(n-1)} \cdot Gn)$	Mfu	Var
2	9928.84	1.133429224		1	1.1334292	1.2846618	6.5846061	8305.8551
3	9936.84	1.134342466		2	1.8677743	3.4885807	3.9989834	5044.3377
4	9941.99	1.134930365		3	3.077015	9.4680213	2.428675	3063.5428
5	10593.29	1.20927968		4	5.3984285	29.14303	1.4749904	1860.5603
6	13123.89	1.498160959		5	11.012331	121.27144	0.8957958	1129.9613
7	14606.04	1.667356164		6	20.180381	407.2478	0.5440375	686.25158
8	14617.09	1.66861758		7	33.253549	1105.7985	0.3304065	416.77644
9	14627.09	1.669759132		8	54.791756	3002.1365	0.2006635	253.11796
10	14628.59	1.669930365		9	90.227713	8141.0402	0.1218676	153.72438
11	17134.74	1.956020548		10	174.01841	30282.407	0.074013	93.36037
12	17144.74	1.9571621		11	286.70072	82197.302	0.0449498	56.699909
13	Sigma	16.69898858		Sigma	681.66151	125300.59		
14	r	1.64657		Sigma ²	464662.41			
15	$1-r^{(-1)}$	0.392676898						
16	$1-r^{(-N)}$	0.99585411						
17	Mfu G1	6.584606092						
18	Var G1	8305.855085						

Lampiran 15. Estimasi Rata-rata dan Varians *Lifetime* Sistem Rotor Chipper (Lanjutan)

- $\text{Sigma} = \text{SUM}(B2:B12)$
- $1-r^{(-1)} = 1-(B14^{(-1)})$
- $1-r^{(-N)} = 1-(B14^{(-11)})$
- $\text{Miu G1} = B15*B13/B16$
- $\text{Var G1} = (F13-(E14/11))/10$
- $E2 = (\$B\$14^{(D2-1)})B2$
- $E3 = (\$B\$14^{(D3-1)})B3$
- $F2 = E2^2$
- $F3 = E3^2$
- $G3 = \$G\$2/(\$B\$14^{(D3-1)})$
- $G4 = \$G\$2/(\$B\$14^{(D4-1)})$
- $H3 = \$H\$2/(\$B\$14^{(2*(D3-1))})$
- $H4 = \$H\$2/(\$B\$14^{(2*(D4-1))})$
- $\text{Miu (Jam)} = G2*24*365$

Lampiran 16. Estimasi Rata-rata dan Varians *Breakdown* Sistem Rotor Chipper

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Breakdown_RC	Breakdown_RCTahun	n	$(r^{(n-1).Gn})$	$(r^{(n-1).Gn})^2$	Miu	Var	
2	7,5	0,000856164	1	0,000856164	7,33017E-07	0,002971826	2,9265E+31	
3	2	0,000228311	2	0,019973699	0,000398949	3,39697E-05	3,34516E+29	
4	1,25	0,000142694	3	1,092116661	1,192718801	3,88293E-07	3,82371E+27	
5	0,5	0,0000571	4	38,23235839	1461,713228	4,43842E-09	4,37072E+25	
6	0,25	0,0000285	5	1669,442635	2787038,711	5,07337E-11	4,99599E+23	
7	0,42	0,0000476	6	243930,0211	59501855170	5,79916E-13	5,7107E+21	
8	0,67	0,0000761	7	34117297,1	1,16399E+15	6,62878E-15	6,52767E+19	
9	0,33	0,0000381	8	1494330279	2,23302E+18	7,57708E-17	7,4615E+17	
10	0,42	0,0000476	9	1,63328E+11	2,6676E+22	8,66104E-19	8,52893E+15	
11	7	0,000799087	10	2,39872E+14	5,75384E+28	9,90007E-21	9,74907E+13	
12	6	0,000684932	11	1,79872E+16	3,2354E+32	1,13164E-22	1,11437E+12	
13	Sigma	0,003006188	Sigma	1,82273E+16	3,23598E+32			
14	r	87,48461	Sigma2	3,32233E+32				
15	$1-r^{(-1)}$	0,988569418						
16	$1-r^{(-N)}$	1						
17	Miu G1	0,002971826						
18	Var G1	2,93395E+31						

Lampiran 16. Estimasi Rata-rata dan Varians *Breakdown* Sistem
Rotor Chipper (Lanjutan)

- $\text{Sigma} = \text{SUM}(B2:B12)$
- $1-r^{(-1)} = 1-(B14^{(-1)})$
- $1-r^{(-N)} = 1-(B14^{(-11)})$
- $\text{Miu } G1 = B15*B13/B16$
- $\text{Var } G1 = (F13-(E14/11))/10$
- $E2 = (\$B\$14^{(D2-1)})B2$
- $E3 = (\$B\$14^{(D3-1)})B3$
- $F2 = E2^2$
- $F3 = E3^2$
- $G3 = \$G\$2/(\$B\$14^{(D3-1)})$
- $G4 = \$G\$2/(\$B\$14^{(D4-1)})$
- $H3 = \$H\$2/(\$B\$14^{(2*(D3-1))})$
- $H4 = \$H\$2/(\$B\$14^{(2*(D4-1))})$
- $\text{Miu (Jam)} = G2*24*365$

Lampiran 17. Estimasi Rata-rata *Lifetime* Sistem *Feeding Roll* Hingga Kerusakan Ke- n (Jam)

<i>N</i>	<i>Lifetime</i>	<i>N</i>	<i>Lifetime</i>	<i>N</i>	<i>Lifetime</i>	<i>N</i>	<i>Lifetime</i>	<i>N</i>	<i>Lifetime</i>
1	50933	16	3279	31	211	46	14	61	1
2	42421	17	2731	32	176	47	11	62	1
3	35332	18	2275	33	146	48	9	63	1
4	29427	19	1895	34	122	49	8	64	1
5	24509	20	1578	35	102	50	7	65	0
6	20413	21	1314	36	85	51	5		
7	17002	22	1095	37	70	52	5		
8	14161	23	912	38	59	53	4		
9	11794	24	759	39	49	54	3		
10	9823	25	632	40	41	55	3		
11	8181	26	527	41	34	56	2		
12	6814	27	439	42	28	57	2		
13	5675	28	365	43	24	58	2		
14	4727	29	304	44	20	59	1		
15	3937	30	253	45	16	60	1		

Lampiran 18. Syntax Optimasi Biaya dengan *Geometric Process*

```
# Feeding Roll
a=1.200651;
b=5.257674;
muX1=5.814253761;
muY1=0.006540347;
CF=69.95;
CR=550.75;
```

Lampiran 18. Syntax Optimasi Biaya dengan *Geometric Process*
(Lanjutan)

```

# Rotor Chipper
a=1.64657;
b=87.48461;
muX1=6.584606092;
muY1=0.002971826;
CF=217;
CR=1200;
# Estimasi Biaya
i=1;
j=1;
N=25;
EstimasiBiaya=0
for (j in 1:N)
{
  sigma1pera=0
  sigma1perb=0
  if(j==1)
  {
    sigma1pera=1
    sigma1perb=1
  }
  else
  {
    for (i in 1:(j-1))
    { sigma1perb=sigma1perb+(1/(b^(i-1)))}
    for (i in 1:j)
    { sigma1pera=sigma1pera+(1/(a^(i-1)))}
  }
  EstimasiBiaya[j]=((CF*muY1*sigma1perb)-
                    (muX1*sigma1pera)+CR)/((muX1*sigma1pera)+(muY1*sigma1perb))
}
EstimasiBiaya

```

Lampiran 19. Penurunan Rumus Estimasi Parameter α

$$\ln G_n = -(n-1)\ln r + \alpha + e_n$$

$$e_n = \ln G_n - (\alpha - (n-1)\ln r)$$

$$\sum_{n=1}^N e_n = \sum_{n=1}^N [\ln G_n - (\alpha - (n-1)\ln r)]$$

$$\sum_{n=1}^N (e_n)^2 = \sum_{n=1}^N [\ln G_n - (\alpha - (n-1)\ln r)]^2$$

$$\frac{\partial \sum_{n=1}^N (e_n)^2}{\partial \hat{\alpha}} = \frac{\sum_{n=1}^N [\ln G_n - (\hat{\alpha} - (n-1)\ln r)]^2}{\partial \hat{\alpha}}$$

$$0 = 2 \sum_{n=1}^N [\ln G_n - (\hat{\alpha} - (n-1)\ln r)] \cdot (0 - (1-0))$$

$$0 = -2 \sum_{n=1}^N [\ln G_n - (\hat{\alpha} - (n-1)\ln r)]$$

$$0 = - \sum_{n=1}^N [\ln G_n - (\hat{\alpha} - (n-1)\ln r)]$$

$$0 = - \sum_{n=1}^N \ln G_n + \sum_{n=1}^N (\hat{\alpha} - (n-1)\ln r)$$

$$0 = - \sum_{n=1}^N \ln G_n + N\hat{\alpha} - \sum_{n=1}^N ((n-1)\ln r)$$

$$N\hat{\alpha} = \sum_{n=1}^N \ln G_n + \sum_{n=1}^N ((n-1)\ln r)$$

$$N\hat{\alpha} = \sum_{n=1}^N \ln G_n + \frac{(N-1)N}{2} \ln r$$

$$\hat{\alpha} = \frac{\sum_{n=1}^N \ln G_n}{N} + \frac{(N-1)}{2} \ln r$$

Lampiran 20. Penurunan Rumus Estimasi Parameter $\ln r$

$$\ln G_n = -(n-1)\ln r + \alpha + e_n$$

$$e_n = \ln G_n - (\alpha - (n-1)\ln r)$$

$$\sum_{n=1}^N e_n = \sum_{n=1}^N [\ln G_n - (\alpha - (n-1)\ln r)]$$

$$\sum_{n=1}^N (e_n)^2 = \sum_{n=1}^N [\ln G_n - (\alpha - (n-1)\ln r)]^2$$

$$\frac{\partial \sum_{n=1}^N (e_n)^2}{\partial \ln \hat{r}} = \frac{\sum_{n=1}^N [\ln G_n - (\hat{\alpha} - (n-1)\ln r)]^2}{\partial \ln \hat{r}}$$

$$0 = 2 \sum_{n=1}^N [\ln G_n - (\hat{\alpha} - (n-1)\ln r)] \cdot (0 - (0 - (n-1)))$$

$$0 = 2 \sum_{n=1}^N [\ln G_n - (\hat{\alpha} - (n-1)\ln r)] (n-1)$$

$$0 = \sum_{n=1}^N [\ln G_n - (\hat{\alpha} - (n-1)\ln r)] (n-1)$$

$$0 = \sum_{n=1}^N \ln G_n (n-1) - \sum_{n=1}^N (\alpha - (n-1)\ln \hat{r}) (n-1)$$

$$0 = \sum_{n=1}^N \ln G_n (n-1) - \sum_{n=1}^N \alpha (n-1) + \sum_{n=1}^N (n-1)\ln \hat{r} (n-1)$$

$$0 = \sum_{n=1}^N \ln G_n (n-1) - \sum_{n=1}^N (n-1) \left(\frac{\sum_{n=1}^N \ln G_n}{N} + \frac{\sum_{n=1}^N (n-1)\ln \hat{r}}{N} \right) + \sum_{n=1}^N (n-1)^2 \ln \hat{r}$$

$$\sum_{n=1}^N \ln G_n (n-1) = \sum_{n=1}^N (n-1) \left(\frac{\sum_{n=1}^N \ln G_n}{N} + \frac{\sum_{n=1}^N (n-1)\ln \hat{r}}{N} \right) - \sum_{n=1}^N (n-1)^2 \ln \hat{r}$$

Lampiran 21. Penurunan Rumus Estimasi Parameter $\ln r$

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^N \ln G_n(n-1) &= \frac{\sum_{n=1}^N (n-1) \ln G_n}{N} + \frac{\ln \hat{r} \left(\sum_{n=1}^N (n-1) \right)}{N} - \sum_{n=1}^N (n-1)^2 \ln \hat{r} \\ \sum_{n=1}^N \ln G_n(n-1) &= \frac{\frac{1}{2} N(N-1) \sum_{n=1}^N \ln G_n}{N} + \frac{\left(\frac{1}{2} N(N-1) \right)^2 \ln \hat{r}}{N} \\ &\quad - \frac{1}{6} N(N-1)(2N-1) \ln \hat{r} \\ \sum_{n=1}^N \ln G_n(n-1) &= \frac{1}{2} (N-1) \sum_{n=1}^N \ln G_n + \frac{1}{4} N(N-1)^2 \ln \hat{r} \\ &\quad - \frac{1}{6} N(N-1)(2N-1) \ln \hat{r} \\ \sum_{n=1}^N \ln G_n(n-1) &= \frac{1}{2} (N-1) \sum_{n=1}^N \ln G_n + N(N-1) \ln \hat{r} \left(\frac{1}{4} (N-1) - \frac{1}{6} (2N-1) \right) \\ \sum_{n=1}^N \ln G_n(n-1) - \frac{1}{2} (N-1) \sum_{n=1}^N \ln G_n &= N(N-1) \ln \hat{r} \left(\frac{3N-3-4N+2}{12} \right) \\ \sum_{n=1}^N \ln G_n(n-1) - \frac{1}{2} (N-1) \sum_{n=1}^N \ln G_n &= N(N-1) \ln \hat{r} \left(\frac{N+1}{12} \right) \\ \frac{(N-1)N(N+1)}{12} \ln \hat{r} &= \frac{1}{2} (N-1) \sum_{n=1}^N \ln G_n - \sum_{n=1}^N \ln G_n(n-1) \\ \ln \hat{r} &= \frac{6(N-1) \sum_{n=1}^N \ln G_n - 12 \sum_{n=1}^N \ln G_n(n-1)}{(N-1)N(N+1)} \\ \ln \hat{r} &= \frac{6}{(N-1)N(N+1)} \left((N-1) \sum_{n=1}^N \ln G_n - 2 \sum_{n=1}^N \ln G_n(n-1) \right) \end{aligned}$$

Lampiran 22. Surat Keterangan Data Sekunder**SURAT PERNYATAAN**

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

Nama : Kicky Novefa Herdin Pertiwi

NRP : 06211640000004

menyatakan bahwa data yang digunakan dalam Tugas Akhir/Thesis ini merupakan data sekunder yang diambil dari ~~penelitian/buku/Tugas Akhir/Thesis/publikasi~~ lainnya yaitu:

Sumber : Divisi Engineering PT. Kutai Timber Indonesia Particle Board

Keterangan : Journal Breakdown Activities Engineering Particle Board PT. Kutai Timber Indonesia periode Januari 2018 sampai September 2019

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

Mengetahui

Pembimbing Tugas Akhir

Surabaya, 13 Juni 2020




Dr. Drs. Agus Suharsono, M. S.

Kicky Novefa Herdin Pertiwi

NIP. 19580823 198403 1 003

NRP. 062116 4000 0004

Lampiran 23. Surat Keterangan Pengambilan Data

SURAT KETERANGAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa:

1. Mahasiswa Statistika FSAD-ITS dengan identitas berikut:
 Nama : Kicky Novefa Herdin Pertiwi
 NRP : 0621164000004
 Telah mengambil data di instansi/perusahaan kami
 Nama Instansi : PT. Kutai Timber Indonesia
 Divisi/bagian : ~~Divisi Engineering PT. Kutai Timber Indonesia Particle Board~~
 Sejak Januari 2020 sampai dengan Februari 2020 untuk keperluan Tugas Akhir/Thesis Semester ~~Gasal/Genap~~* 2020/2021.
2. Tidak Keberatan/~~Keberatan~~* nama perusahaan dicantumkan dalam Tugas Akhir/Thesis mahasiswa Statistika yang akan disimpan 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.


 Probolinggo, 20 Februari 2020
~~Manager Engineering~~
~~Divisi Engineering PT-ITI~~
~~Particle Board~~
 MEGA

*(coret yang tidak perlu)

BIODATA PENULIS



Kicky Novefa Herdin Pertiwi biasa dipanggil dengan nama Kicky yang merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dan dilahirkan di Kabupaten Lumajang pada tanggal 08 November 1997. Pendidikan yang telah ditempuh oleh penulis adalah SDN 5 Kaliboto Lor (2004-2008), SDN 4 Kademangan (2008-2010), SMPN 10 Probolinggo (2010-2013), dan SMAN 1 Probolinggo (2013-2016). Kemudian penulis dinyatakan lolos SNMPTN dan melanjutkan untuk menempuh pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Departemen Statistika. Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam organisasi kampus sebagai Staf Departemen Kewirausahaan HIMASTA-ITS periode 2017/2018 dan sebagai Ketua Departemen Kewirausahaan HIMASTA-ITS 2018/2019. Selain itu, penulis juga pernah tergabung dalam beasiswa Karya Salemba Empat dan menjadi Staf Sosial Pendidikan KSE-ITS 2017/2018. Selain itu, penulis juga aktif dalam mengikuti kepanitiaan yang diadakan oleh tingkat jurusan, ITS, maupun nasional seperti Pemandu Integralistik dalam kegiatan GERIGI ITS 2018, Staf Konsumsi dalam kegiatan ITS Futsal Competiton 2017 Koor Acara Data Analysis Competition pada *big event* Statistika ITS yang biasa dikenal dengan Pekan Raya Statistika (PRS) 2017. Selama menjalani perkuliahan penulis juga berkesempatan dalam menjalani program *internship* di PT Astra Daihatsu Motor, Jakarta dan penulis juga pernah mengikuti kegiatan Program Magang BUMN Bersertifikat di PT. Pertamina (Persero) Jakarta Pusat pada divisi *Market Analysis & Development*. Selain itu penulis juga pernah menjadi semifinalis pada kompetisi analisis data *National Statistics Challenge* (NSC

2019). Jika pembaca ingin memberikan saran, kritik, dan diskusi lebih lanjut, dapat menghubungi penulis melalui email: novefakicky05@gmail.com.