



TUGAS AKHIR - KS184822

PENENTUAN WAKTU OPTIMUM *PREVENTIVE MAINTENANCE* SISTEM SPREADER DAN TROLLEY PADA *CONTAINER CRANE* MENGGUNAKAN *GEOMETRIC PROCESS* DENGAN OPTIMASI *GENETIC ALGORITHM* DI PT PELABUHAN INDONESIA III (Persero)

IMAS AYU LESTARI
NRP 062115 4000 0031

Dosen Pembimbing
Dr. Drs. Agus Suharsono, M. S.
Ni Luh Putu Satyaning P. Paramitha, S.Si., M.Sc.

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



TUGAS AKHIR - KS 184822

PENENTUAN WAKTU OPTIMUM *PREVENTIVE MAINTENANCE* SISTEM SPREADER DAN TROLLEY PADA *CONTAINER CRANE* MENGGUNAKAN *GEOMETRIC PROCESS* DENGAN OPTIMASI *GENETIC ALGORITHM* DI PT PELABUHAN INDONESIA III (Persero)

**IMAS AYU LESTARI
NRP 062115 4000 0031**

**Dosen Pembimbing
Dr. Drs. Agus Suharsono, M. S.
Ni Luh Putu Satyaning P. Paramitha, S.Si., M.Sc.**

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



FINAL PROJECT - KS 184822

**DETERMINATION OF OPTIMUM TIME FOR PREVENTIVE
MAINTENANCE ON SPREADER AND TROLLEY
SYSTEMS CONTAINER CRANE USING GEOMETRIC
PROCESS WITH GENETIC ALGORITHM OPTIMIZATION
IN PT PELABUHAN INDONESIA III (Persero)**

**IMAS AYU LESTARI
NRP 062115 4000 0031**

Supervisors

Dr. Drs. Agus Suharsono, M. S.

Ni Luh Putu Satyaning P. Paramitha, S.Si., M.Sc.

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

LEMBAR PENGESAHAN
PENENTUAN WAKTU OPTIMUM *PREVENTIVE*
***MAINTENANCE* SISTEM SPREADER DAN TROLLEY**
PADA *CONTAINER CRANE* MENGGUNAKAN
GEOMETRIC PROCESS* DENGAN OPTIMASI *GENETIC
***ALGORITHM* DI PT. PELABUHAN INDONESIA III**
(Persero)

TUGAS AKHIR

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

Imas Ayu Lestari
NRP. 062115 4000 0031

Disetujui oleh Pembimbing:

Dr. Drs. Agus Suharsono, M. S.

NIP. 19580823 198403 1 003

Ni Luh Putu Satyaning P. Paramitha, S.Si, M.Sc

NIP. 1991201712036

Mengetahui,
Kepala Departemen


Dr. Suhartono
NIP. 19710929 199512 1 001

SURABAYA, JULI 2019

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENENTUAN WAKTU OPTIMUM *PREVENTIVE*
MAINTENANCE SISTEM SPREADER DAN TROLLEY
PADA *CONTAINER CRANE* MENGGUNAKAN
GEOMETRIC PROCESS DENGAN OPTIMASI *GENETIC*
ALGORITHM DI PT PELABUHAN INDONESIA III
(Persero)**

Nama Mahasiswa : Imas Ayu Lestari
NRP : 062115 4000 0031
Departemen : Statistika-FMKSD-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Drs. Agus Suharsono, M. S.
Ni Luh Putu Satyaning P. Paramitha,
S.Si., M.Sc.

Abstrak

PT Pelindo III merupakan perusahaan yang bergerak dibidang pelabuhan yang menyediakan jasa bongkar muat barang. Dalam proses bongkar muat barang tersebut digunakan alat berat yaitu container crane yang berfungsi untuk mengangkat barang boks kontainer dari kapal ke daratan. Untuk menjaga kinerja container crane, selama ini perusahaan melakukan pemeliharaan secara preventive. Namun, preventive maintenance yang dilakukan Pelindo III masih belum efektif. Hal ini dapat dilihat dari sering terjadinya kerusakan ketika container crane sedang beroperasi. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dibahas mengenai penentuan waktu optimum pemeliharaan preventif pada container crane 01 dan container crane 03 untuk meminimumkan biaya dan meningkatkan usia sistem spreader dan sistem trolley menggunakan metode Geometric Process yang selanjutnya dibandingkan dengan Geometric Process dengan optimasi parameter menggunakan Algoritma Genetika. Metode ini digunakan karena dapat menggambarkan kerusakan container crane memiliki trend. Hasil analisis menunjukkan bahwa waktu optimum masing-masing sistem pada kedua container crane berbeda-beda. Dimana rata-rata biaya jangka panjang yang dihasilkan lebih murah jika dibandingkan dengan biaya yang selama ini dikeluarkan perusahaan.

Kata Kunci: *Biaya, Container crane, Geometric Process, Preventive Maintenance*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**DETERMINATION OF OPTIMUM TIME FOR
PREVENTIVE MAINTENANCE ON SPREADER AND
TROLLEY SYSTEMS IN CONTAINER CRANE USING
GEOMETRICS PROCESSES WITH GENETIC
ALGORITHM OPTIMIZATION AT PT PELABUHAN
INDONESIA III (Persero)**

Name : Imas Ayu Lestari
Student Number : 062115 4000 0031
Department : Statistics-FMCDS-ITS
Supervisors : Dr. Drs. Agus Suharsono, M. S.
Ni Luh Putu Satyaning P. Paramitha,
S.Si, M.Sc

Abstract

PT Pelindo III is a port company that provides goods loading and unloading services. In the process of loading and unloading the goods, heavy equipment is used, it called container crane which serve to lift container box items from the ship to the mainland. To maintain the performance of container cranes, the company has carried out preventive maintenance. However, preventive maintenance carried out by Pelindo III is still does not effective yet. It can be seen from the frequent occurrence of failure when a container crane is operating. This study aims to determine the optimum preventive maintenance time to minimize costs and increase the age of the spreader system and trolley system in container cranes 01 and container crane 03 using Geometric Process method which then compared to Geometric Process with parameter optimization using Genetic Algorithms. This method is used because it can describe the trend of failure. The result of the analysis show that the optimum time of each system in the two container cranes is different. Where the average long-term costs produced are cheaper than costs that have been incurred by the company.

Keywords: *Container crane, Cost, Geometric Process, Preventive Maintenance*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas segala berkat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Penentuan Waktu Optimum Preventive Maintenance Sistem Spreader dan Trolley pada Container Crane Menggunakan Geometric Process dengan Optimasi Genetic Algorithm di PT Pelabuhan Indonesia III (Persero)”** dengan lancar.

Keberhasilan penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari banyaknya bantuan yang diberikan berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan motivasi dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Drs. Agus Suharsono M.S. dan Ibu Ni Luh Putu Satyaning P. Paramitha, S.Si., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah dengan sukarela membimbing, memberikan motivasi dan pengarahan hingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Dr. Irhamah M.Si., Ph.D. dan Ibu Wibawati, M.Si. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan yang membangun.
4. Bapak Dr. Suhartono, selaku Kepala Departemen Statistika ITS dan Ibu Dr. Santi Wulan Purnami, S.Si., M.Si. selaku Ketua Program Studi Sarjana Departemen Statistika ITS yang telah memberikan banyak fasilitas untuk menunjang kelancaran penyelesaian Tugas Akhir.
5. Bapak Ir. Setiawan selaku dosen wali dan seluruh dosen beserta civitas akademik Departemen Statistika FMKSD ITS yang selalu memberikan pengarahan dan dukungan selama perkuliahan mahasiswa.
6. Oppie Wahyu, Rima Rahmatul, Nabila Savina, Melvy Agrina Jalil Silea, Vitamin Squad, Kontrakan E-46, dan teman-teman Vivacious Statistika 2015 yang selalu memberikan semangat dan dukungan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Terlepas dari semua itu, penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak kekurangan baik dari segi susunan kalimat

maupun bahasa. Oleh karena itu, dengan terbuka kami menerima segala kritik dan saran dari pembaca sebagai bahan perbaikan bagi penulisan selanjutnya. Akhir kata, besar harapan penulis untuk mendapatkan kritik dan saran yang membangun sehingga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang terkait.

Surabaya, Mei 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN ISI	i
TITLE PAGE	iii
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Manfaat.....	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 <i>Maintenance</i> (Pemeliharaan).....	7
2.2 Proses Stokastik.....	8
2.2.1 <i>Renewal Process</i>	8
2.2.2 Proses Perbaikan Minimal.....	8
2.3 Proses Poisson	9
2.3.1 Proses Poisson Homogen (HPP)	9
2.3.2 Proses Poisson Non-Homogen (NHPP)	9
2.4 <i>Geometric Process</i> (GP).....	10
2.5 Pemeriksaan <i>Trend</i> dengan <i>Laplace</i>	11
2.6 Estimasi Parameter <i>Geometric Process</i>	12
2.7 <i>Genetic Algorithm</i> (GA).....	13
2.8 Pengujian <i>Geometric Process</i> (GP).....	20
2.9 Estimasi Rata-rata dan Varians dari G_n	20
2.10 Model Pemeliharaan Optimum.....	21
2.11 <i>Container Crane</i>	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Sumber Data	25
3.2 Variabel Penelitian	25
3.3 Langkah Analisis	25
3.4 Diagram Alir.....	28

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Karakteristik Data <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i>	29
4.2 Pemeriksaan <i>Trend</i> Data <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i>	33
4.3 Estimasi Parameter $\ln r$, α , dan σ_e^2 untuk Data <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i>	35
4.3.1 Estimasi Parameter dengan OLS	35
4.3.2 Estimasi Parameter dengan OLS-GA	37
4.4 Pengujian <i>Geometric Process</i> Data <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i>	43
4.5 Estimasi Rata-rata <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Masing-masing Sistem	44
4.5.1 Estimasi Rata-rata <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Sistem <i>Spreader Container Crane</i> 01.....	44
4.5.2 Estimasi Rata-rata <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Sistem <i>Trolley Container Crane</i> 01	48
4.5.3 Estimasi Rata-rata <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Sistem <i>Spreader Container Crane</i> 03.....	54
4.5.4 Estimasi Rata-rata <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Sistem <i>Trolley Container Crane</i> 03	57
4.6 Penentuan Kebijakan Waktu Optimum Tindakan <i>Preventive Maintenance</i>	62
4.7 Perbandingan Rata-rata Biaya Jangka Panjang dengan Parameter OLS dan OLS-GA	73
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	75
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN	79
BIODATA	135

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Istilah dalam <i>Genetic Algorithm</i>	14
Gambar 2.2	Ilustrasi Proses Mutasi	19
Gambar 2.3	Ilustrasi <i>Container Crane</i>	24
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	28
Gambar 4.1	Plot Kumulatif <i>Lifetime</i> Sistem (t) dengan Jumlah Kerusakan N(t) pada (a) Sistem Spreader (b) Sistem Trolley <i>Container Crane</i> 01	32
Gambar 4.2	Plot Kumulatif <i>Lifetime</i> Sistem (t) dengan Jumlah Kerusakan N(t) pada (a) Sistem Spreader (b) Sistem Trolley <i>Container Crane</i> 03	33
Gambar 4.3	Ilustrasi Satu Buah Kromosom (a) Data <i>Lifetime</i> dan (b) Data <i>Breakdown</i> Sistem Spreader <i>Container Crane</i> 01.....	38
Gambar 4.4	Ilustrasi Pindah Silang Dua Buah Kromosom	40
Gambar 4.5	Ilustrasi Proses Mutasi pada Estimasi Parameter	41
Gambar 4.6	Plot Jumlah Kerusakan (N) dengan Rata-rata Biaya Sistem Spreader <i>Container Crane</i> 01	64
Gambar 4.7	Plot Jumlah Kerusakan (N) dengan Rata-rata Biaya Sistem Spreader <i>Container Crane</i> 03	67
Gambar 4.8	Plot Jumlah Kerusakan (N) dengan Rata-rata Biaya Sistem Trolley <i>Container Crane</i> 01	69
Gambar 4.9	Plot Jumlah Kerusakan (N) dengan Rata-rata Biaya Sistem Trolley <i>Container Crane</i> 03	72

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Karakteristik Data <i>Lifetime</i> Tiap Sistem (Jam). 30
Tabel 4.2	Karakteristik Data <i>Breakdown</i> (Jam) Tiap Sistem 31
Tabel 4.3	Hasil Pemeriksaan <i>Laplace</i> untuk <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> 34
Tabel 4.4	Estimasi Parameter Data <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> pada <i>Container Crane</i> 01 dengan OLS 35
Tabel 4.5	Estimasi Parameter Data <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> pada <i>Container Crane</i> 03..... 36
Tabel 4.6	Ilustrasi Kromosom Dalam Populasi Awal pada Optimasi Parameter..... 38
Tabel 4.7	Ilustrasi Kromosom Dalam Populasi Awal pada Optimasi Parameter..... 39
Tabel 4.8	Ilustrasi Proses RWS pada Optimasi Parameter 39
Tabel 4.9	Hasil Optimasi Parameter pada Data <i>Lifetime</i> .. 41
Tabel 4.10	Hasil Optimasi Parameter pada Data <i>Breakdown</i> 42
Tabel 4.11	Statistik Uji <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Sistem Spreader dan Sistem Trolley Masing-masing <i>Container Crane</i> 43
Tabel 4.12	Statistik Uji <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Sistem Spreader dan Sistem Trolley Masing-masing <i>Container Crane</i> 44
Tabel 4.13	Estimasi Rata-rata <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Sistem Spreader <i>Container Crane</i> 01 45
Tabel 4.14	Estimasi Rata-rata <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Sistem Spreader pada <i>Container Crane</i> 01..... 46
Tabel 4.15	Estimasi Rata-rata <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Sistem Spreader <i>Container Crane</i> 01 dengan Parameter GA 47
Tabel 4.16	Estimasi- Rata-rata- <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Sistem Spreader <i>Container Crane</i> 01 dengan Parameter GA 48
Tabel 4.17	Estimasi Rata-rata <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Sistem Trolley <i>Container Crane</i> 01..... 49

Tabel 4.18	Estimasi- Rata-rata <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Sistem Trolley <i>Container Crane</i> 01.....	50
Tabel 4.19	Estimasi- Rata-rata <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Sistem Trolley <i>Container Crane</i> 01 dengan Parameter GA.....	51
Tabel 4.20	Estimasi Rata-rata <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Sistem Trolley <i>Container Crane</i> 01 dengan Parameter GA.....	52
Tabel 4.21	Estimasi Rata-rata <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Sistem Spreader <i>Container Crane</i> 03	54
Tabel 4.22	Estimasi Rata-rata <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Sistem Spreader <i>Container Crane</i> 03	55
Tabel 4.23	Estimasi Rata-rata <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Sistem Spreader <i>Container Crane</i> 03 dengan Parameter GA.....	56
Tabel 4.24	Estimasi Rata-rata <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Sistem Spreader <i>Container Crane</i> 03 dengan Parameter GA.....	57
Tabel 4.25	Estimasi Rata-rata <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Sistem Trolley <i>Container Crane</i> 03.....	58
Tabel 4.26	Estimasi Rata-rata <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Sistem Trolley <i>Container Crane</i> 03.....	59
Tabel 4.27	Estimasi Rata-rata <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Sistem Trolley <i>Container Crane</i> 03 dengan Parameter GA.....	59
Tabel 4.28	Estimasi Rata-rata <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> Sistem Trolley <i>Container Crane</i> 03 dengan Parameter GA.....	61
Tabel 4.29	Rata-rata Biaya Jangka Panjang Sistem Spreader CC01	63
Tabel 4.30	Rata-rata Biaya Jangka Panjang Sistem Spreader CC03	66
Tabel 4.31	Rata-rata Biaya Jangka Panjang Sistem Trolley CC01	69
Tabel 4.32	Rata-rata Biaya Jangka Panjang Sistem Trolley CC03	71

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Data <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> pada Sistem Spreader <i>Container Crane</i> 01	79
Lampiran 2.	Data <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> pada Sistem Spreader <i>Container Crane</i> 03	79
Lampiran 3.	Data <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> pada Sistem Trolley <i>Container Crane</i> 01	80
Lampiran 4.	Data <i>Lifetime</i> dan <i>Breakdown</i> pada Sistem Trolley <i>Container Crane</i> 03	81
Lampiran 5.	Syntax R Perhitungan Nilai Laplace <i>Lifetime</i> Sistem Spreader dan Sistem Trolley <i>Container Crane</i> 01	82
Lampiran 6.	Syntax R Perhitungan Nilai Laplace <i>Lifetime</i> Sistem Spreader dan Sistem Trolley <i>Container Crane</i> 03	83
Lampiran 7.	<i>Output</i> Syntax R Perhitungan Nilai Laplace Data <i>Lifetime Container Crane</i> 01 dan <i>Container Crane</i> 03	84
Lampiran 8.	Syntax R Perhitungan Nilai Laplace <i>Breakdown</i> Sistem Spreader dan Sistem Trolley <i>Container Crane</i> 01	85
Lampiran 9.	Syntax R Perhitungan Nilai Laplace <i>Breakdown</i> Sistem Spreader dan Sistem Trolley <i>Container Crane</i> 03	86
Lampiran 10.	<i>Output</i> Syntax R Perhitungan Nilai Laplace Data <i>Breakdown Container Crane</i> 01 dan <i>Container Crane</i> 03	87
Lampiran 11.	Syntax R Estimasi Parameter dengan OLS dan Pengujian <i>Geometric Process</i>	88
Lampiran 12.	<i>Output</i> Estimasi Parameter dengan OLS dan Pengujian <i>Geometric Process</i> Data <i>Lifetime</i>	89
Lampiran 13.	<i>Output</i> Estimasi Parameter dengan OLS dan Pengujian <i>Geometric Process</i> Data <i>Breakdown</i>	91
Lampiran 14.	Syntax Estimasi Parameter <i>Geometric Process</i> dengan GA	93

Lampiran 15.	<i>Output</i> Estimasi Parameter <i>Geometric Process</i> Data <i>Lifetime</i> dengan GA.....	96
Lampiran 16.	<i>Output</i> Estimasi Parameter <i>Geometric Process</i> Data <i>Breakdown</i> dengan GA....	99
Lampiran 17.	Syntax Pengujian <i>Geometric Process</i> dengan Optimasi Parameter Menggunakan GA	102
Lampiran 18.	<i>Output</i> Pengujian <i>Geometric Process</i> dengan Optimasi Parameter Menggunakan GA	105
Lampiran 19.	Estimasi Rata-rata dan Varians <i>Lifetime</i> Sistem Spreader <i>Container Crane</i> 01	110
Lampiran 20.	Estimasi Rata-rata dan Varians <i>Lifetime</i> Sistem Trolley <i>Container Crane</i> 01.....	111
Lampiran 21.	Estimasi Rata-rata dan Varians <i>Lifetime</i> Sistem Spreader <i>Container Crane</i> 03	112
Lampiran 22.	Estimasi Rata-rata dan Varians <i>Lifetime</i> Sistem Trolley <i>Container Crane</i> 03.....	113
Lampiran 23.	Estimasi Rata-rata dan Varians <i>Breakdown</i> Sistem Spreader <i>Container Crane</i> 01	114
Lampiran 24.	Estimasi Rata-rata dan Varians <i>Breakdown</i> Sistem Trolley <i>Container Crane</i> 01.....	115
Lampiran 25.	Estimasi Rata-rata dan Varians <i>Breakdown</i> Sistem Spreader <i>Container Crane</i> 03	116
Lampiran 26.	Estimasi Rata-rata dan Varians <i>Breakdown</i> Sistem Trolley <i>Container Crane</i> 03.....	117
Lampiran 27.	Estimasi Rata-rata dan Varians <i>Lifetime</i> Sistem Spreader <i>Container Crane</i> 01 dengan Parameter Hasil GA.....	118
Lampiran 28.	Estimasi Rata-rata dan Varians <i>Lifetime</i> Sistem Trolley <i>Container Crane</i> 01 dengan Parameter Hasil GA	119
Lampiran 29.	Estimasi Rata-rata dan Varians <i>Lifetime</i> Sistem Spreader <i>Container Crane</i> 03 dengan Parameter Hasil GA	120
Lampiran 30.	Estimasi Rata-rata dan Varians <i>Lifetime</i> Sistem Trolley <i>Container Crane</i> 03 dengan Parameter Hasil GA.....	121

Lampiran 31.	Estimasi Rata-rata dan Varians <i>Breakdown</i> Sistem Spreader <i>Container Crane</i> 01 dengan Parameter Hasil GA.....	122
Lampiran 32.	Estimasi Rata-rata dan Varians <i>Breakdown</i> Sistem Trolley <i>Container Crane</i> 01 dengan Parameter Hasil GA.....	123
Lampiran 33.	Estimasi Rata-rata dan Varians <i>Breakdown</i> Sistem Spreader <i>Container Crane</i> 03 dengan Parameter Hasil GA.....	124
Lampiran 34.	Estimasi Rata-rata dan Varians <i>Breakdown</i> Sistem Trolley <i>Container Crane</i> 03 dengan Parameter Hasil GA.....	125
Lampiran 35.	Syntax Optimasi Biaya dengan <i>Geometric Process</i>	126
Lampiran 36.	Penurunan Rumus Estimasi Parameter α	129
Lampiran 37.	Penurunan Rumus Estimasi Parameter $\ln r$..	130
Lampiran 38.	Surat Pernyataan Data Sekunder.....	132
Lampiran 39.	Surat Keterangan Pengambilan Data.....	133

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transportasi laut memegang peranan penting dalam proses distribusi barang nasional maupun internasional. Adanya proses distribusi barang yang lancar dapat meningkatkan aktivitas perekonomian masyarakat, sehingga untuk mendukung sistem transportasi laut tersebut diperlukan prasarana seperti pelabuhan sebagai tempat untuk melakukan proses bongkar muat barang (Triamodjo, 2015). Salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang layanan jasa bongkar muat barang adalah PT Pelabuhan Indonesia III (Persero) atau lebih dikenal dengan sebutan Pelindo III. Pelindo III memiliki beberapa cabang, salah satunya adalah Cabang Tanjung Perak yang mengelola empat terminal besar yaitu Terminal Nilam, Terminal Jamrud, Terminal Mirah, dan Terminal Kalimas. Dari keempat terminal tersebut, Terminal Nilam merupakan terminal *multipurpose* yang melayani kegiatan bongkar muat peti kemas domestik. Produktivitas bongkar muatnya mencapai rata-rata sekitar 27 ribu boks per bulan (Lasse, 2012).

Menurut catatan Pelindo III, arus peti kemas *transshipment* di Pelabuhan Tanjung Perak tahun 2016 tercatat mencapai 33.374 boks, pada tahun 2017 tumbuh menjadi 35.131 boks, dan pada 2018 mencapai 36.980 boks (Widarti, 2019). Sedangkan arus barang pada tahun 2017 mencapai lebih dari 10 juta ton curah kering, 263 ribu meter kubik kargo, dan 66.253 unit barang (Maulana, 2018). Seiring dengan terus meningkatnya arus bongkar muat barang tersebut tentunya harus didukung dengan peralatan bongkar muat barang yang memadai untuk meminimalisir terjadinya keterlambatan kegiatan bongkar muat barang.

Faktor dominan penyebab keterlambatan proses bongkar muat barang di pelabuhan adalah akibat peralatan bongkar muat yang bermasalah. Oleh karena itu, pemeliharaan alat bongkar muat menjadi penting untuk diperhatikan dalam menjaga kelancaran proses bongkar muat barang di terminal. *Container Crane* merupakan alat bongkar muat utama yang berada di Terminal Nilam. Terdapat dua *Container Crane* di Terminal Nilam yang

berfungsi untuk memindahkan dan membongkar muat peti kemas dari kapal, yaitu *Container Crane* 01 dan *Container Crane* 03. Kedua *Container Crane* tersebut memiliki sistem kerja yang identik namun bekerja secara independen.

Dalam menjaga kinerja *Container Crane* agar dapat beroperasi dengan efisien dan aman Pelindo III melakukan *preventive maintenance* dan *corrective maintenance* pada keseluruhan sistem yang membangun *Container Crane* yaitu sistem trolley, sistem spreader, sistem hoist, sistem gantry, dan *engine*. *Preventive maintenance* dilakukan melalui pengecekan setiap pagi sebelum *Container Crane* beroperasi. Meskipun telah dilakukan *preventive maintenance*, kegiatan *corrective maintenance* tidak bisa dihindari karena seringkali terjadi kerusakan saat *Container Crane* sedang beroperasi. Hal ini tentunya dapat menyebabkan terganggunya proses bongkar muat barang dan membengkaknya biaya perbaikan. Pada tahun 2017 hingga 2018, penyebab utama *Container Crane* tidak beroperasi dengan efisien adalah tingginya kejadian kerusakan pada sistem trolley. Dimana dalam selang dua tahun tersebut sistem trolley pada *Container Crane* 01 mengalami 24 kali kejadian kerusakan dan 18 kali kerusakan pada *Container Crane* 03. Selain itu, kerusakan juga sering terjadi pada sistem spreader yang merupakan sistem utama pada *Container Crane*. Dimana pada tahun 2017 hingga 2018 sistem spreader pada masing-masing *Container Crane* mengalami 9 kali kerusakan.

Berdasarkan kondisi tersebut, perlu diketahui waktu optimum untuk melakukan *preventive maintenance* sistem trolley dan sistem spreader pada mesin *Container Crane* 01 dan *Container Crane* 03 sehingga dapat meningkatkan usia *Container Crane* dan meminimumkan biaya akibat kerusakan. Penentuan waktu optimum pemeliharaan keseluruhan sistem dan penggantian komponen utama sistem dapat dilakukan dengan pendekatan *Geometric Process*. Pendekatan ini menggambarkan kejadian dimana banyak mesin yang mengalami penurunan kinerja karena faktor penuaan maupun keausan sehingga perlu dilakukan pemeliharaan. Namun dalam praktiknya, setelah dilakukan pemeliharaan pada mesin, maka kinerja mesin tersebut tidak seperti mesin ketika baru. Penelitian terdahulu mengenai

penentuan waktu optimum perbaikan mesin menggunakan metode *Geometric Process* telah dilakukan oleh Raudina (2018) mendapatkan hasil waktu optimum untuk melakukan pemeliharaan mesin Pellet Mill 5.12 adalah pada kerusakan ke-8 dan mesin Pellet Mill 8.12 pada kerusakan ke-7. Selain itu, penelitian terkait kebijakan optimasi perbaikan atau penggantian dengan pendekatan *Geometric Process* juga dilakukan oleh Permatasari (2016) untuk komponen *Air Cycle Machine* (ACM) pesawat terbang CRJ-1000. Hasil yang didapatkan menunjukkan waktu penggantian komponen ACM adalah setelah terjadi kerusakan ke-4 dengan meminimumkan biaya penggantian.

Dalam penentuan model *Geometric Process* biasanya digunakan metode kuadrat terkecil (*Ordinary Least Square-OLS*) untuk mendapatkan estimasi parameternya. Namun, metode OLS sangat peka terhadap adanya penyimpangan asumsi pada data. Salah satunya adalah adanya *outlier*, sehingga apabila terdapat data *outlier* kemungkinan hasil estimasi parameter yang diperoleh menjadi bias dan dapat berakibat pada kesalahan penentuan titik optimal sebenarnya. Dari kelemahan tersebut, maka diperlukan adanya langkah untuk mengoptimasi parameternya.

Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan, banyak algoritma optimasi yang dikombinasikan dengan metode statistika. Misalnya pada penelitian oleh Irhamah dkk. (2019) pada studi kasus penentuan klasifikasi kelas risiko pasien pneumonia menggunakan metode analisis diskriminan, hybrid analisis diskriminan linier - *Genetic Algorithm* (GA), dan Naïve Bayes membuktikan bahwa hasil klasifikasi multi-kelas dengan metode hybrid analisis diskriminan dengan optimasi parameter menggunakan *Genetic Algorithm* lebih baik daripada analisis diskriminan dan Naïve Bayes. Selain itu, dalam penelitian yang dilakukan Paterlini dan Minerva (2007) tentang seleksi model regresi menggunakan *Genetic Algorithm* menunjukkan bahwa hasil regresi dengan *Genetic Algorithm* memiliki kecukupan model yang lebih baik dibandingkan regresi *stepwise* tanpa *Genetic Algorithm*.

Oleh karena itu, berdasarkan uraian di atas maka pada penelitian ini akan dilakukan analisis data *lifetime* dan *breakdown* sistem trolley dan sistem spreader *Container Crane* di Tanjung

Perak dengan pendekatan *Geometric Process*. Dengan tujuan untuk menentukan waktu optimum *preventive maintenance* sistem trolley dan sistem spreader pada mesin *Container Crane 01* dan *Container Crane 03* dengan metode *Genetic Algorithm* sebagai metode untuk mengoptimasi parameter *Geometric Process*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, dapat diketahui bahwa sistem trolley dan sistem spreader pada *Container Crane 01* dan *Container Crane 03* di PT Pelindo III (Persero) sering mengalami kerusakan ketika mesin sedang beroperasi. Padahal telah dilakukan pemeliharaan terhadap mesin tersebut secara berkala. Di sisi lain, sistem yang rusak dan diperbaiki tersebut akan memiliki kinerja serta keandalan yang menurun seiring berjalannya waktu. Akibatnya dapat mengganggu proses bongkar muat barang dan membengkaknya biaya perbaikan. Oleh karena itu, permasalahan utama yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana mendapatkan waktu optimum *preventive maintenance* sistem trolley maupun sistem spreader pada *Container Crane 01* dan *03* menggunakan metode *Geometric Process* (GP) dan GP dengan optimasi parameter menggunakan *Genetic Algorithm* (GA), serta perbandingan hasil waktu optimum kedua metode tersebut.

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menentukan rasio atau parameter *Geometric Process* untuk usia sistem (*lifetime*) dan lama perbaikan sistem (*breakdown*) pada sistem spreader dan trolley *Container Crane 01* maupun *Container Crane 03* menggunakan metode *Geometric Process* (GP) dan *Geometric Process* dengan optimasi parameter menggunakan *Genetic Algorithm* (GA).
2. Menentukan rata-rata usia sistem (*lifetime*) dan rata-rata lama waktu perbaikan (*breakdown*) sistem spreader dan trolley pada *Container Crane 01* maupun *Container Crane 03*.

3. Menentukan rata-rata lama operasi keseluruhan sistem spreader dan trolley pada *Container Crane* 01 maupun *Container Crane* 03.
4. Mendapatkan waktu optimum pemeliharaan keseluruhan sistem serta penggantian komponen utama sistem trolley maupun sistem spreader pada *Container Crane* 01 dan 03 berdasarkan fungsi biaya.
5. Mengetahui perbandingan hasil penentuan waktu optimum *preventive maintenance* antara metode *Geometric Poces* (GP) dengan GP dengan optimasi parameter menggunakan *Genetic Algorithm* (GA).

1.4 Manfaat

Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat bagi perusahaan maupun bagi dunia pendidikan. Adapun manfaat yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

1. Bagi perusahaan, diharapkan penelitian ini dapat memberikan informasi sebagai bahan masukan atau evaluasi PT Pelabuhan Indonesia III (Persero) mengenai kebijakan waktu pemeliharaan dan penggantian (*preventive maintenance*) sistem spreader dan sistem trolley pada masing-masing *Container Crane* sehingga dapat meningkatkan usia *Container Crane* dan meminimumkan biaya akibat kerusakan.
2. Bagi dunia pendidikan, penelitian ini dapat menjadi referensi dalam melakukan penelitian selanjutnya mengenai penentuan waktu optimum *preventive maintenance* suatu sistem maupun metode *Geometric Process* (GP) dan GP dengan optimasi parameter menggunakan *Genetic Algorithm* (GA).

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Sistem yang dianalisa adalah sistem spreader dan sistem trolley pada *Container Crane* 01 dan *Container Crane* 01 di PT Pelindo III (Persero).
2. Diasumsikan sebelumnya mesin tidak mengalami kerusakan ($X_0=0$).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Maintenance* (Pemeliharaan)

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

1. *Preventive Maintenance* (Pemeliharaan Preventif) merupakan tindakan yang umumnya memerlukan *shutdown* operasional sistem untuk meningkatkan usia (*lifetime*) atau keandalan. Tindakan pemeliharaan preventif dapat berupa servis yang relatif kecil yang membutuhkan waktu *downtime* 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 disarankan (Blischke & Murthy, 2003)
2. *Corrective Maintenance* (Pemeliharaan Korektif) terdiri dari tindakan yang dilakukan untuk mengembalikan sistem yang gagal atau sistem ke keadaan operasional. Tindakan pemeliharaan korektif dilakukan secara tidak terjadwal yang dimaksudkan untuk memulihkan sistem dari kondisi gagal menjadi kondisi baik. Tindakan ini melibatkan perbaikan atau penggantian komponen yang gagal (Blischke & Murthy, 2003).

Strategi pemeliharaan menjadi penting untuk diperhatikan bagi perusahaan untuk menekan biaya yang harus dikeluarkan. Hal ini dikarenakan kegiatan pemeliharaan secara proporsional memiliki konsekuensi terhadap biaya keseluruhan operasi. Untuk

itu perlu dilakukan suatu penjadwalan dalam pemeliharaan suatu sistem, mesin, ataupun komponen.

2.2 Proses Stokastik

Proses dari $\{N(t), t \geq 0\}$ disebut sebagai *stochastic process* atau proses stokastik 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 waktu $(0, t)$. Proses stokastik digunakan untuk mengetahui hubungan dari suatu runtutan peristiwa atau proses kejadian yang bersifat tidak pasti (Hoyland & Rausand, 1994). Pada proses stokastik terdapat dua proses kejadian yaitu *renewal process* dan proses perbaikan minimal.

2.2.1 Renewal Process

Menurut Hoyland and Rausand (1994) *renewal process* merupakan suatu proses yang apabila sistem atau komponen rusak, maka sistem atau komponen tersebut dikembalikan kepada kondisi seperti komponen yang baru (*as good as new condition*) setelah mengalami perbaikan. Secara umum, terdapat dua jenis komponen yaitu *repairable* dan *non-repairable*. *Repairable system* adalah sebuah komponen dimana ketika terjadi kerusakan, maka komponen tersebut dapat diperbaiki dengan beberapa proses perbaikan selain penggantian pada seluruh sistem. Sedangkan *non-repairable system* adalah suatu komponen yang ketika mengalami kerusakan maka komponen tersebut tidak dapat diperbaiki dalam artian harus diganti dengan komponen baru, apabila diperbaiki kemungkinan membutuhkan biaya lebih mahal dibandingkan dengan dengan melakukan penggantian. Untuk *non-repairable system* umur hidup suatu komponen merupakan variabel random (O'Connor, 2012).

2.2.2 Proses Perbaikan Minimal

Proses perbaikan minimal (*minimal repair*) 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. Asumsi dari proses perbaikan minimal adalah dianggap bahwa waktu perbaikan sangat

minimum. Oleh karena itu, untuk mendapatkan model yang fleksibel dari suatu sistem kegagalan yang akan diperbaiki dalam proses perbaikan minimal, 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 Proses Poisson

Proses Poisson menggambarkan proses stokastik dimana banyaknya suatu kejadian selama selang waktu tertentu mengikuti proses acak poisson. Apabila suatu komponen memiliki tingkat kerusakan konstan (λ) atau rusak secara tiba-tiba maka secara langsung diperbaiki atau diganti ketika mengalami kerusakan. N menunjukkan jumlah kejadian yang muncul dari sebuah kegagalan pada interval waktu $(0,t)$, banyaknya kerusakan yang memiliki distribusi Poisson dituliskan dalam persamaan berikut (Ridgon & Basu, 2000).

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

dengan λ menunjukkan rata-rata dan varians jumlah kerusakan. Terdapat dua macam proses Poisson yaitu proses poisson homogen (HPP) dan proses poisson non homogen (NHPP).

2.3.1 Proses Poisson Homogen (HPP)

Proses Poisson Homogen (HPP) adalah proses Poisson dengan fungsi intensitas konstan, dimana waktu kedatangan bersifat independen dan berdistribusi eksponensial dengan parameter yang sama yaitu λ untuk *failure rate* (Hoyland & Rausand, 1994). Untuk mendapatkan probabilitas jumlah kegagalan oleh waktu ke- t maka digunakan persamaan seperti berikut.

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

2.3.2 Proses Poisson Non-Homogen (NHPP)

Proses Poisson Non Homogen atau *Non Homogenous Poisson Process* (NHPP) merupakan proses Poisson dengan fungsi

intensitas tidak konstan atau laju kerusakan dipengaruhi oleh waktu. Proses Poisson Non Homogen dapat diaplikasikan untuk sistem dengan laju kerusakan yang menurun atau meningkat (Ridgon & Basu, 2000). Proses Poisson Non Homogen menggambarkan proses kerusakan komponen yang memiliki pola tertentu dengan jumlah kumulatif hingga waktu t adalah $N(t)$.

2.4 Geometric Process (GP)

Dalam memodelkan sejumlah kejadian berurutan dari sebuah sistem yang diperbaiki, menurut Lam (1992) metode statistika yang umum digunakan adalah memodelkan dengan sebuah *point process*. Apabila data menunjukkan tidak ada *trend*, maka dapat dilakukan pemodelan dengan *stationary point process*. Namun pada umumnya, data antar waktu yang berurutan akan menunjukkan adanya suatu *trend*, sebagai contoh pada kasus pemeliharaan. Dalam permasalahan pemeliharaan, banyak mesin yang mengalami penurunan kinerja karena faktor penuaan maupun keausan sehingga perlu dilakukan pemeliharaan. Namun dalam praktiknya, setelah dilakukan pemeliharaan pada mesin, maka kinerja mesin tersebut tidak seperti mesin ketika baru. Berdasarkan kondisi tersebut, Lam (1992) dalam Leung & Fong (2000) pertama kali mengusulkan pendekatan *Geometric Process* (GP) untuk memodelkan fenomena tersebut. Dalam pemodelannya, Lam meneliti 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).

Pendekatan *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) dibedakan menjadi dua pengertian sebagaimana dijelaskan pada definisi berikut.

Definisi 1. Apabila diberikan variabel random 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,

$G_n =$ *Geometric Process* (X_n 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 n kerusakan untuk $1, 2, 3, \dots, N$.

Komponen yang mengalami penurunan 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 pada umumnya bersifat stokastik, sehingga tidak mempertimbangkan usia komponen.

2.5 Pemeriksaan *Trend* dengan *Laplace*

Sistem yang mengikuti Proses Poisson Non Homogen (NHPP) pada umumnya memiliki *trend* kerusakan yang naik ataupun turun. Untuk memeriksa adanya *trend* kerusakan dalam suatu sistem atau mesin dapat dilakukan pemeriksaan nilai *Laplace* menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$L = \frac{\sum_{n=1}^N G_n}{N} - \frac{T}{2} \quad (2.3)$$

$$T \sqrt{\frac{1}{12N}}$$

dimana L merupakan pendekatan distribusi normal standar untuk $N \geq 3$ pada taraf signifikansi 5% dan T merupakan *time truncated* yang telah ditentukan pada sistem. Apabila nilai L lebih dari nol maka dataset $\{G_1, G_2, \dots, G_N\}$ menunjukkan adanya *trend* naik, sedangkan apabila nilai L kurang dari nol maka dataset $\{G_1, G_2, \dots, G_N\}$ menunjukkan adanya *trend* turun (Adams, 2017).

2.6 Estimasi Parameter *Geometric Process*

Dalam melakukan estimasi parameter salah satu metode yang dapat digunakan adalah *Ordinary Least Square*. Menurut Lam (1992), untuk mengestimasi parameter model *geometric process* dapat digunakan regresi linier dengan persamaan awal ditunjukkan pada persamaan (2.4).

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

Selanjutnya persamaan (2.4) diubah dalam bentuk logaritma natural, sehingga diperoleh persamaan (2.5).

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

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

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

Adapun $E(\ln Y_n) = \alpha$ 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 $n = 1, 2, \dots, N$. Berdasarkan persamaan (2.4), (2.5) dan (2.6) selanjutnya diperoleh persamaan regresi sesuai pada persamaan di bawah ini.

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

Menurut Lam (1992) dalam Leung & Fong (2000), estimasi parameter $\ln r$, dan α menggunakan metode *Ordinary Least Square* dapat dihitung dengan persamaan berikut berdasarkan penurunan rumus pada lampiran 36 dan 37.

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

dan,

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

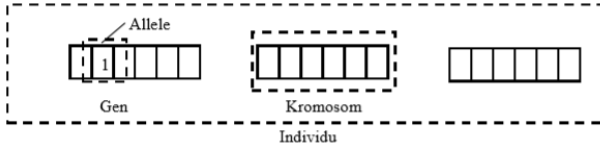
Dengan varians error σ_e^2 sebagaimana ditunjukkan pada persamaan berikut.

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

2.7 Genetic Algorithm (GA)

Genetic Algorithm (GA) merupakan sebuah teknik pencarian *heuristic* yang didasarkan pada mekanisme genetika dan evolusi secara alami. Fraser, Bremermann, dan Reed pada tahun (1970) pertama kali mengusulkan GA yang selanjutnya dipopulerkan oleh Holland. Model GA mengikuti konsep evolusi genetika, dimana sifat individu dinyatakan dengan menggunakan genotip. Secara mendasar, konsep GA terdiri dari seleksi dan rekombinasi. Seleksi digunakan untuk memodelkan ketahanan hidup, sedangkan rekombinasi digunakan untuk memodelkan reproduksi (Widodo, 2012).

Genetic Algorithm banyak digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah praktis yang berfokus pada pencarian parameter optimal. Sehingga kebanyakan orang akan mengira bahwa *Genetic Algorithm* hanya bisa digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi. Lebih dari itu, *Genetic Algorithm* juga banyak diterapkan untuk menyelesaikan persoalan dan pemodelan dalam bidang teknologi, bisnis, serta hiburan atau *entertainment*. Beberapa keunggulan *Genetic Algorithm* jika dibandingkan dengan metode lain yaitu *Genetic Algorithm* tidak terlalu banyak membutuhkan persyaratan matematika sehingga cocok untuk menyelesaikan permasalahan yang sangat besar, kompleks, sulit dipahami, hingga berbentuk model non-linear (Suyanto, 2005). Konsep *Genetic Algorithm* mengacu pada ilmu genetika sehingga istilah-istilah yang digunakan dalam *Genetic Algorithm* banyak mengadopsi dari istilah-istilah yang digunakan dalam ilmu tersebut. Adapun ilustrasi istilah-istilah dalam *Genetic Algorithm* adalah sebagai berikut.



Gambar 2.1 Istilah dalam *Genetic Algorithm*

Gen menunjukkan nilai yang menyatakan satuan dasar yang membentuk suatu arti tertentu dalam satu kesatuan gen yang dinamakan kromosom. Gen mengandung nilai yang disebut *allele*. Tipe data *allele* dapat berupa biner, *floating point*, atau integer, sesuai dengan representasi genetik yang digunakan. Sementara gabungan *allele* dapat memberi nilai pada kromosom yang disebut fenotip (Gunawan, 2012). Kromosom adalah gabungan gen-gen yang membentuk nilai tertentu. Individu merupakan satu nilai atau keadaan yang menyatakan salah satu solusi yang mungkin dari permasalahan yang diangkat. Dalam kasus ini, setiap individu terdiri dari satu kromosom. Jumlah gen pada setiap kromosom pada GA untuk optimasi parameter adalah sebanyak jumlah parameter dalam model yang akan dioptimasi. Pada pemodelan *Geometric Process* parameter yang digunakan ada 2 yaitu $\ln r$ dan α . *Allele* pada optimasi parameter adalah bilangan riil.

Adapun prosedur dalam menjalankan *Genetic Algorithm* adalah sebagai berikut (Setiawan, 2003).

1. Menentukan representasi genetik. Pada proses GA bentuk kromosom harus ditentukan paling awal sebagai tempat penampungan *allele* yang bergabung. Pada kasus optimasi parameter, panjang kromosom dari program yang dibuat harus sesuai dengan banyaknya parameter yang ingin dioptimasi (parameter model).
2. Menetapkan rumusan fungsi *fitness*. Fungsi *fitness* digunakan untuk mengetahui seberapa baik solusi yang diperoleh satu individu. Dalam penelitian ini fungsi *fitness* yang digunakan adalah untuk meminimalkan fungsi SSE yang merupakan salah satu nilai untuk melihat kesesuaian model regresi (Draper & Smith, 1981). Melalui nilai *fitness* juga dapat dicari probabilitas kumulatif, yang berguna dalam pemilihan individu sebagai *parent*. Salah satu permasalahan yang sering terjadi adalah terdapat beberapa kromosom yang

mendominasi populasi sehingga dapat mengakibatkan kondisi konvergen yang terlalu dini (*premature convergence*) dan jika kromosom tersebut mempunyai nilai *fitness* yang tinggi tetapi tidak optimal dapat mengakibatkan proses terjebak ke kondisi yang bersifat lokal (*local optimal*).

3. Menentukan nilai parameter. Adapun beberapa parameter yang harus diberi nilai adalah sebagai berikut.
 - a. Ukuran Populasi
Ukuran populasi menunjukkan banyaknya individu yang terdapat di dalam populasi. Populasi merupakan sekumpulan individu yang akan diproses bersama dalam satu siklus proses iterasi. Semakin banyak dan beragamnya individu dalam populasi akan memberikan peluang yang lebih besar untuk menemukan individu yang mendekati sempurna.
 - b. Jumlah Generasi
Generasi menyatakan satuan siklus dalam iterasi. Semakin besar jumlah generasi maka individu yang dihasilkan selalu baik dan sempurna. Tetapi, tidak berarti semakin besar jumlah generasi maka individu yang dihasilkan selalu lebih baik karena ada suatu saat dimana nilai *fitness* semua individu akan menjadi sama. Jika hal itu terjadi maka generasi-generasi selanjutnya akan cenderung mempunyai nilai *fitness* yang sama dengan generasi sebelumnya, walaupun ada perubahan, perubahan tersebut tidak terlalu besar.
 - c. Probabilitas pindah silang (P_c)
Semakin besar probabilitas pindah silang maka semakin banyak kemungkinan terjadi perkawinan silang antara dua individu yang akan menghasilkan individu-individu baru.
 - d. Probabilitas mutasi (P_m)
Semakin besar probabilitas mutasi maka semakin besar kemungkinan operasi mutasi suatu kromosom yang akan menghasilkan individu-individu baru.
 - e. Probabilitas reproduksi
Probabilitas reproduksi merupakan probabilitas penentu individu-individu yang pantas untuk bertahan dalam

generasi mendatang dikarenakan *offspring* yang dihasilkan dengan *parent*.

Menurut Suyanto (2005), 7 komponen yang membangun *Genetic Algorithm* adalah sebagai berikut.

1. Skema Pengkodean. Skema pengkodean yang paling umum digunakan dalam pengkodean kromosom antara lain:
 - a. *Binary Encoding*: tiap gen hanya bisa bernilai 0 atau 1.
 - b. *Real number encoding*: nilai gen berada dalam interval $[0,R]$, dengan R adalah bilangan riil positif dan biasanya $R=1$.
 - c. *Discrete encoding*: nilai gen berada dalam interval bilangan bulat $[0,9]$.
 - d. *Value encoding*: nilai gen yang berasal dari sembarang nilai yang sesuai dengan permasalahan (bilangan bulat maupun riil). Pada penelitian ini, pengkodean *value number encoding* digunakan untuk optimasi parameter.
2. Nilai *Fitness*. Nilai *fitness* adalah ukuran performansi dari satu individu yang akan bertahan hidup. Di dalam evolusi alam, individu yang memiliki nilai *fitness* tinggi akan tetap diikuti dalam iterasi berikutnya dan sebaliknya individu yang memiliki nilai *fitness* rendah tidak dapat diikuti dalam iterasi berikutnya. Pada masalah optimasi apabila solusi yang dicari adalah memaksimalkan sebuah fungsi h , maka nilai *fitness* yang digunakan adalah nilai dari fungsi h tersebut, yakni $f=h$ (dimana f adalah nilai *fitness*). Tetapi apabila masalahnya adalah meminimumkan fungsi h , maka fungsi h tidak bisa digunakan secara langsung. Oleh karena itu, nilai *fitness* yang bisa digunakan adalah $f=1/h$, yang artinya semakin kecil nilai h semakin besar nilai f . Maka dalam penelitian ini fungsi *fitness* yang digunakan adalah $f=1/SSE$.
3. Seleksi orang tua, bertujuan untuk memberikan kesempatan reproduksi bagi anggota populasi yang memiliki *fitness* rendah. Nilai *fitness* setiap observasi akan dibandingkan dengan bilangan random yang telah dibangkitkan. Metode seleksi yang dipakai adalah *roulette wheel selection*. Pada metode ini, masing-masing kromosom menempati potongan lingkaran pada roda *roulette* secara proporsional sesuai dengan nilai *fitness*-nya. Keuntungan menggunakan metode

ini adalah semua kromosom memiliki kesempatan untuk dipilih. Tahapan RWS adalah sebagai berikut (Rajamani dkk., 2008).

- a. Menghitung nilai *fitness* masing-masing kromosom dengan ukuran populasi sebesar n . Berikut kromosom untuk optimasi parameter.

Kromosom ke-	$\ln r$	α	Nilai <i>Fitness</i>
1	$\ln r_1$	α_1	f_1
2	$\ln r_2$	α_2	f_2
...
N	$\ln r_N$	α_N	f_N

- b. Menghitung total nilai *fitness* dalam populasi.

$$F = \sum_{h=1}^{n_{pop}} f(h) \quad (2.11)$$

- c. Menghitung proporsi masing-masing kromosom.

$$P_h = \frac{f(h)}{F} \quad (2.12)$$

- d. Menghitung nilai kumulatif proporsi untuk masing-masing kromosom.

$$S_h = \sum_{q=1}^h P_q \quad (2.13)$$

- e. Membangkitkan sebuah r angka dengan *range* $[0,R]$.
 f. Jika $r \leq S_1$, maka pilih kromosom v_1 , lainnya pilih v_h , sehingga $S_{h-1} < r \leq S_h$.
 g. Mengulangi tahapan e hingga semua kromosom yang berjumlah N terpilih semuanya.

Keterangan,

F = total nilai *fitness* semua kromosom dalam populasi.

N = jumlah kromosom dalam satu populasi.

$f(h)$ = nilai *fitness* kromosom ke- h .

P_h = nilai proporsi *fitness* kromosom ke- h .

S_h = nilai *fitness* kumulatif kromosom ke- h .

R = sebuah bilangan random.

v_i = kromosom ke- i .

4. Pindah silang (*Crossover*). Proses pindah silang merupakan satu proses yang terjadi pada dua kromosom yang bertujuan

untuk menambah keanekaragaman kromosom dalam satu populasi dengan penyilangan antar kromosom yang diperoleh dari proses reproduksi sebelumnya. Macam-macam proses pindah silang diantaranya yaitu pindah silang satu titik, dua titik, dan seragam. Salah satu contoh proses pindah silang satu titik potong sebagai berikut.

Orang tua 1 : [0 1 0 1 **1 1 0 0**]

Orang tua 2 : [1 0 1 0 **0 0 1 1**]

Jika dilakukan pindah silang pada titik ke-4 maka anak yang akan dihasilkan adalah sebagai berikut.

Anak 1 : [0 1 0 1 **0 0 1 1**]

Anak 2 : [1 0 1 0 **1 1 0 0**]

Pindah silang dilakukan dengan suatu nilai probabilitas tertentu. Nilai probabilitas pindah silang menunjukkan seberapa sering proses pindah silang akan terjadi antara dua kromosom orang tua. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, sebaiknya nilai probabilitas pindah silang tinggi, yaitu antara 0,8-0,9 agar memberikan hasil yang baik.

5. Mutasi, digunakan untuk mencegah algoritma yang terjebak pada solusi optimum dan melakukan tugasnya untuk mengembalikan atau membenahi material genetika yang hilang karena informasi acak genetika yang mengganggu. Proses mutasi cukup sederhana, jika bilangan random yang dibangkitkan kurang dari peluang mutasi yang ditentukan maka gen tersebut akan diubah menjadi kebalikannya (Sivanandam & Deepa, 2008). Nilai probabilitas mutasi menyatakan seberapa sering gen dalam kromosom akan mengalami mutasi. Proses mutasi ini bersifat acak sehingga tidak menjamin akan diperoleh kromosom dengan *fitness* yang lebih baik setelah terjadinya mutasi tersebut. Solusi yang optimum (konvergensi dini) dapat terjadi apabila proses pencarian solusi terperangkap dalam salah satu ruang pencarian kromosom dengan *fitness* rendah yang terus bertahan. Hal ini mengakibatkan tidak mempunyai mengeksplorasi bagian-bagian yang lain. Oleh karena itu diperlukan operator mutasi untuk menjaga perbedaan kromosom dalam populasi. Operasi mutasi juga ditentukan dengan probabilitas mutasi (P_m) yang biasanya bernilai kecil,

antara 0,001 sampai dengan 0,01 untuk memastikan agar solusi terbaik tidak menyimpang. Ada beberapa jenis mutasi yang telah berkembang, salah satunya adalah mutasi acak yang terjadi ketika beberapa posisi potongan terpilih secara acak dan nilai potongan tersebut akan menjadi negasinya. Ilustrasi proses mutasi yang terjadi pada posisi ke-5 dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.2 Ilustrasi Proses Mutasi

6. Elitisme, yaitu suatu proses pengopian individu agar individu yang memiliki *fitness* tertinggi tidak hilang selama proses evolusi. Elitisme mengganti kromosom yang memiliki kualitas buruk pada populasi baru dengan kromosom terbaik pada populasi orang tua, jumlah kromosom yang diganti sebesar 10%-20% dari jumlah populasi. Tahapan ini dapat mempercepat iterasi *Genetic Algorithm* karena konvergensi cepat tercapai. Hal ini dikarenakan individu yang memiliki *fitness* terendah tidak selalu terpilih karena proses seleksi dilakukan secara random (Rajamani dkk., 2008).
7. Penggantian Populasi (*Generation Replacement*), hal ini menyatakan bahwa individu dalam satu populasi dari suatu generasi digantikan sekaligus oleh N individu baru hasil pindah silang dan mutasi. Presentasi populasi yang digantikan dalam tiap generasi dinyatakan dalam G. Nilai $G = 1$ pada skema penggantian populasi dan untuk $G = 1/N$ merupakan skema penggantian yang paling ekstrem dimana hanya mengganti satu individu pada tiap generasi. Dalam setiap generasi sejumlah G individu harus dihapus agar ukuran populasi tetap N. Terdapat beberapa prosedur penghapusan individu ini seperti penghapusan individu yang paling tua atau individu yang memiliki nilai *fitness* yang paling rendah. Ada kemungkinan penghapusan individu dilakukan pada semua individu dalam populasi tersebut.

2.8 Pengujian *Geometric Process* (GP)

Pengujian *Geometric Process* (GP) digunakan untuk mengetahui apakah data mengikuti *Geometric Process* (GP) atau tidak. Adapun hipotesis yang digunakan dalam pengujian *Geometric Process* (GP) menurut Lam (1992) dalam Leung & Fong (2000) adalah sebagai berikut.

$H_0: r = 1$ (rasio keandalan sama dengan 1 atau dataset mengikuti *renewal process*)

$H_1: r \neq 1$ (rasio keandalan tidak sama dengan 1 atau dataset mengikuti *geometric process*)

Adapun statistik uji yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$t = \frac{-\ln \hat{r} \sqrt{((N-1)N)(N+1)}}{\hat{\sigma} \sqrt{12}} \quad (2.14)$$

Nilai t memiliki distribusi *student-t* dengan derajat bebas $N - 2$. Jika nilai $|t|$ lebih besar daripada nilai kritis $t_{(N-2);0,025}$ maka hipotesis null atau H_0 ditolak pada taraf signifikansi 5%. Artinya dataset $\{G_1, G_2, \dots, G_N\}$ mengikuti *Geometric Process* (GP).

2.9 Estimasi Rata-rata dan Varians dari G_n

Setelah diketahui hasil pengujian *Geometric Process* (GP), apabila hasil pengujian menunjukkan bahwa dataset mengikuti *Geometric Process* (GP) maka 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 memperoleh estimasi rata-rata dan varians dari G_1 adalah sebagai berikut.

1. Apabila rasio $r > 1$, maka estimasi rata-rata dan varians dari G_1 ditunjukkan pada persamaan berikut.

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

dan

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

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

$$2\mu_{G_i}^2 \ln \mu_{G_i} - 2\hat{\alpha}\mu_{G_i}^2 - \sigma_{G_i}^2 = 0 \quad (2.17)$$

Dimana $\hat{\alpha}$, dan $\sigma_{G_i}^2$ masing-masing dapat ditentukan dengan persamaan (2.9) dan (2.16).

3. Apabila nilai rasio $r=1$, maka estimasi rata-rata dan varians dari G_I adalah sebagai berikut.

$$\hat{\mu}_{G_i} = \frac{\sum_{n=1}^N G_n}{N} \quad (2.18)$$

dan

$$\hat{\sigma}_{G_i}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (G_n - \hat{\mu}_{G_i})^2}{N - 1} \quad (2.19)$$

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

$$\hat{\mu}_{Gn} = \frac{\hat{\mu}_{G1}}{r^{n-1}} \quad (2.20)$$

$$\hat{\sigma}_{Gn}^2 = \frac{\hat{\sigma}_{G1}^2}{r^{2(n-1)}} \quad (2.21)$$

2.10 Model Pemeliharaan Optimum

Tindakan pemeliharaan suatu sistem atau komponen salah satunya adalah dengan melakukan penggantian komponen. Apabila 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 *renewal process*. Berikut ini merupakan penerapan teori *renewal process*.

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

Rata-rata biaya jangka panjang diberikan sebagai berikut.

$$l(N) = \frac{c_f \mu_{Y_1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{b^{n-1}} + c_R - w \mu_{X_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}}}{\mu_{X_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}} + \mu_{Y_1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{b^{n-1}} + d_R}, \text{ untuk } N=1, 2, \dots \quad (2.22)$$

Dengan:

C_f = Biaya rata-rata perbaikan

C_R = Biaya rata-rata penggantian

α = Parameter *Geometric Process* umur 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

Pada umumnya komponen rusak yang dapat diperbaiki memiliki waktu penggantian komponen yang bersifat stokastik, dimana waktu penggantinya tidak mempertimbangkan berapa umur komponen digunakan sehingga akan membentuk *renewal process*. Untuk mempermudah perhitungan, waktu penggantian diasumsikan diabaikan. Oleh karena itu, $w = 1$ dan $d_R = 0$ sehingga persamaan (2.19) yaitu rata-rata biaya jangka panjang (Lam, 1988) menjadi persamaan berikut.

$$l(N) = \frac{c_f \mu_{Y_1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{b^{n-1}} + c_R - \mu_{X_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}}}{\mu_{X_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}} + \mu_{Y_1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{b^{n-1}}}, \text{ untuk } N=1, 2, \dots \quad (2.23)$$

Kebijakan penggantian optimal ditentukan dengan meminimalkan $l_1(N)$ terhadap N . Adapun langkah-langkah dalam menentukan kebijakan waktu penggantian yang optimal adalah sebagai berikut.

1. Menghitung rata-rata biaya jangka panjang $l_1(N)$ untuk $N=1, 2, 3, \dots$ menggunakan persamaan (2.23)
2. Membuat plot rata-rata biaya jangka panjang $l_1(N)$ terhadap N , kemudian dapat diperoleh waktu penggantian optimal yang ditunjukkan oleh titik minimum pada kurva.

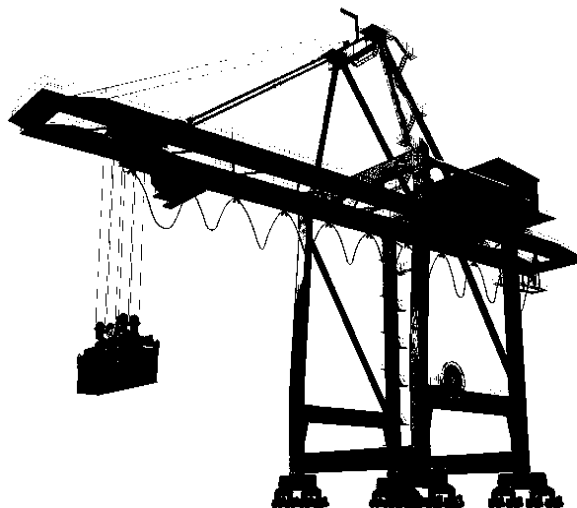
2.11 Container Crane

Container Crane merupakan salah satu alat berat yang berada di dermaga untuk mengangkat dan memindahkan peti kemas dari dan ke kapal. *Container Crane* dipasang di atas rel di sepanjang dermaga (Triamodjo, 2015). Dalam proses kerjanya sistem dari *Container Crane* terdiri dari subsistem power, hoist, gantry,

trolley, spreader, boom, dan subsistem pendukung. Berikut merupakan penjelasan dari masing-masing sistem.

1. Sistem power merupakan sistem yang memberikan daya pada *Container Crane*.
2. Sistem hoist merupakan sistem yang mendukung gerakan atau kegiatan mengangkat dan menurunkan peti kemas dari trailer ke area penumpukan dan sebaliknya. Subsistem hoist dalam melakukan gerakan naik turun dibantu subsistem trolley yang merupakan tempat dari kabin maupun tempat spreader digantungkan. Komponen utama subsistem trolley yang sering mengalami kerusakan adalah *gearbox*.
3. Sistem gantry yang mendukung dalam hal gerakan RTG dari satu blok ke blok yang lain atau berjalan sepanjang area lintasan penumpukan peti kemas.
4. Sistem boom yang mendukung *Container Crane* dalam melakukan lintasan menyeberang (ke arah laut). Serta, subsistem pendukung yang bekerja untuk mendukung jalannya kerja *Container Crane*.
5. Sistem spreader yang merupakan tempat untuk menaikkan, membawa serta menumpuk peti kemas. Subsistem ini terdiri dari pompa spreader, wire rope, pulley, guides, twistlock, *electrical cable* dan basket, rantai dan sambungannya, serta motor penggerak utama spreader (Sutopo, 2001).

Adapun ilustrasi dari *Container Crane* ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Ilustrasi *Container Crane*

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Dalam penelitian ini digunakan data sekunder yang diperoleh dari laporan performansi kinerja *Container Crane* 01 dan *Container Crane* 03 pada Divisi *Engineering* PT Pelabuhan Indonesia III (Persero) Cabang Tanjung Perak. Data yang digunakan meliputi data lama sistem bekerja dengan baik (*lifetime*) dan data lama waktu perbaikan sistem (*breakdown*) pada *Container Crane* 01 dan *Container Crane* 03 selama kurun waktu Januari 2017 hingga Desember 2018. Adapun sistem yang digunakan adalah sistem spreader dan sistem trolley.

3.2 Variabel Penelitian

Adapun variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah lamanya sistem bekerja dengan baik (*lifetime*) dalam satuan jam dan lamanya waktu perbaikan kerusakan sistem (*downtime*) dalam satuan jam. Sistem yang dianalisa adalah Sistem Spreader dan Sistem Trolley pada masing-masing *Container Crane* 01 dan *Container Crane* 03 dengan struktur data ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Struktur Data (Jam)

Data Kerusakan Ke-	Spreader CC01 (G ₁)	Trolley CC01 (G ₂)	Spreader CC03 (G ₃)	Trolley CC03 (G ₄)
1	G _{1,1}	G _{1,2}	G _{1,3}	G _{1,4}
2	G _{2,1}	G _{2,2}	G _{2,3}	G _{2,4}
3	G _{3,1}	G _{3,2}	G _{3,3}	G _{3,4}
n	G _{n,1}	G _{n,2}	G _{n,3}	G _{n,4}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
N	G _{N,1}	G _{N,2}	G _{N,3}	G _{N,4}

G_n pada Tabel 3.1 menunjukkan *Geometric Process* (x_n maupun z_n) untuk $n = 1, 2, \dots, N$. Dimana,

$x_{n,1}$ = umur komponen atau lama sistem spreader CC01 beroperasi sampai terjadinya kerusakan ke- n .

$z_{n,1}$ = waktu perbaikan sistem spreader CC01 setelah n kerusakan.

3.3 Langkah Analisis

Tahapan analisis data yang dilakukan untuk mengembangkan model optimasi dalam menentukan waktu *preventive maintenance*

sistem spreader dan trolley pada masing-masing *Container Crane* secara keseluruhan dijelaskan sebagai berikut.

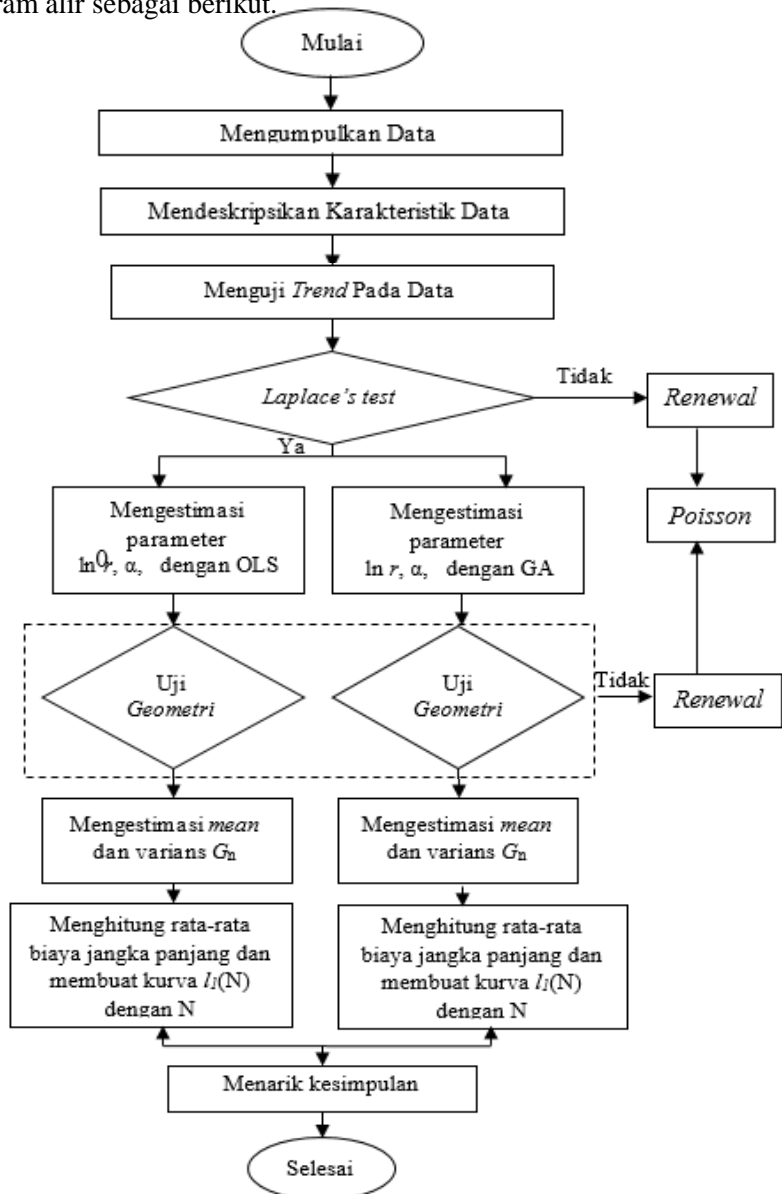
1. Mengumpulkan data lama perbaikan (*breakdown*) dan lama sistem spreader maupun sistem trolley bekerja (*lifetime*) pada masing-masing *Container Crane* 01 dan *Container Crane* 03.
2. Mendeskripsikan karakteristik data lama sistem beroperasi (*lifetime*) dan lama perbaikan sistem spreader maupun sistem trolley (*breakdown*) pada masing-masing *Container Crane* 01 dan *Container Crane* 03.
3. Melakukan pemeriksaan *trend* pada data lama sistem bekerja (*lifetime*) dan lama perbaikan sistem spreader maupun sistem trolley (*breakdown*) pada masing-masing *Container Crane* 01 dan *Container Crane* 03 dengan statistik Uji *Laplace* pada persamaan (2.3).
4. Berdasarkan poin 3, apabila terdapat *trend* pada data lama sistem bekerja (*lifetime*) dan lama perbaikan sistem spreader maupun sistem trolley (*breakdown*) pada masing-masing *Container Crane* 01 dan *Container Crane* 03, maka diduga data mengikuti *Geometric Process (GP)*. Sehingga dapat dilakukan estimasi parameter $\ln r$ dan α , serta σ_e^2 .
5. Melakukan estimasi parameter *Geometric Process* dengan OLS dan *Genetic Algorithm*.
 - a. Estimasi parameter $\ln r$ dan α menggunakan persamaan (2.8) dan (2.9).
 - b. *Genetic Algorithm (GA)*: berikut langkah estimasi parameter menggunakan GA.
 - i. Menentukan fungsi *fitness* untuk setiap kromosom yang didapatkan dari meminimalkan nilai SSE, yaitu

$$fitness = \frac{1}{SSE}$$
 - ii. Menyusun kromosom dengan membangkitkan 50 kromosom, kromosom yang dibangkitkan terdiri dari 2 gen yang menunjukkan parameter *Geometric Process* yaitu $\ln r$ dan α . Nilai inisial kromosom diperoleh dari nilai parameter $\ln r$ dan α dari langkah 5a.
 - iii. Mengevaluasi masing-masing kromosom dengan menggunakan nilai *fitness*.

- iv. Melakukan proses seleksi sebanyak 50 kromosom dari sejumlah 50 induk yang berasal dari populasi menggunakan seleksi *roulette wheel*.
 - v. Melakukan proses pindah silang jika nilai bilangan random r yang dibangkitkan kurang dari probabilitas pindah silang (P_s) = 0,8.
 - vi. Melakukan proses mutasi jika nilai bilangan random r yang dibangkitkan kurang dari nilai probabilitas proses mutasi (P_m) = 0,01.
 - vii. Melakukan proses elitisme dimana dua kromosom dengan nilai *fitness* terbaik akan bertahan ke generasi selanjutnya.
 - viii. Melakukan pergantian populasi lama dengan generasi baru dengan cara memilih kromosom terbaik berdasarkan nilai *fitness* yang telah melalui proses seleksi, pindah silang, dan elitism.
 - ix. Melakukan pengecekan terhadap solusi yang telah didapatkan. Solusi dikatakan telah mencapai kriteria apabila nilai *fitness* terbaik telah konvergen jika kondisi ini belum terpenuhi maka proses *genetic algorithn* diulang dari langkah v-viii.
6. Melakukan pengujian *Geometric Process* (GP) pada data lama sistem bekerja (*lifetime*) dan lama perbaikan sistem spreader maupun sistem trolley (*breakdown*) pada masing-masing *Container Crane* 01 dan *Container Crane* 03 menggunakan persamaan (2.14).
 7. Menghitung estimasi *mean* dan varians dari G_n menggunakan persamaan (2.15) dan (2.16).
 8. Mendapatkan model optimasi untuk menentukan waktu pemeliharaan (*preventive maintenance*) yang meminimumkan biaya akibat kerusakan sistem spreader dan sistem trolley pada *Container Crane* 01 maupun *Container Crane* 03 dengan menggunakan *Geometric Process*.
 9. Menghitung rata-rata biaya jangka panjang dengan persamaan (2.23) dengan mencobakan jumlah kerusakan (N) dan membuat kurva antara $l_t(N)$ terhadap N .
 10. Menarik kesimpulan dari hasil analisis yang telah dilakukan.

3.4 Diagram Alir

Langkah analisis dalam penelitian ini dapat dirangkum dalam diagram alir sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai penentuan waktu optimum pemeliharaan preventif sistem spreader dan sistem trolley pada *Container Crane* di PT Pelabuhan Indonesia III (Persero). Dalam proses bongkar muat barang di Terminal Nilam, PT Pelabuhan Indonesia III (Persero) menggunakan dua *Container Crane* yang berkerja secara independen atau terpisah namun memiliki spesifikasi yang sama yaitu *Container Crane* 01 dan *Container Crane* 03. Kedua *Container Crane* tersebut beroperasi selama 23 jam dalam sehari. Dalam kerjanya *Container Crane* didukung oleh beberapa sistem, dua diantaranya yang sering mengalami kerusakan adalah sistem spreader dan trolley. Kedua sistem tersebut merupakan sistem yang dapat diperbaiki atau *repairable system* sehingga ketika terjadi kerusakan akan dilakukan perbaikan.

Penentuan waktu optimum pemeliharaan preventif sistem spreader dan sistem trolley pada masing-masing *Container Crane* akan dilakukan menggunakan metode *Geometric Process* dengan optimasi *Genetic Algorithm*. Adapun tahapan penentuan waktu optimum untuk pemeliharaan preventif 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 yang selanjutnya dilakukan optimasi dengan *Genetic Algorithm*, 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 pemeliharaan preventif masing-masing sistem.

4.1 Karakteristik Data *Lifetime* dan *Breakdown*

Sebelum melakukan analisis lebih lanjut, sebelumnya dilakukan analisis statistika deskriptif pada data *lifetime* maupun data *breakdown* sistem spreader dan trolley pada masing-masing *Container Crane*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik data dari kedua sistem pada masing-masing *Container Crane* di PT Pelabuhan Indonesia III (Persero). Data *lifetime* merupakan data

usia sistem yang dihitung saat *Container Crane* mulai beroperasi hingga sistem berhenti karena mengalami kerusakan. Sementara data *breakdown* merupakan data lama perbaikan ketika sistem mengalami kerusakan hingga sistem dapat beroperasi kembali. Adapun karakteristik data *lifetime* dari sistem spreader dan sistem trolley pada kedua *Container Crane* ditunjukkan pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Karakteristik Data *Lifetime* Tiap Sistem (Jam)

Sistem	N	Rata-rata	Varians	Minimal	Maksimal
Spreader CC01	9	8.913	8.813.590	5.210	12.638
Trolley CC01	24	9.607	3.091.083	6.329	13.163
Spreader CC03	9	3.203	1.373.652	1.611	4.798
Trolley CC03	17	2.776	708.167	1.478	5.207

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa jumlah kerusakan sistem pada masing-masing *Container Crane* dalam kurun waktu 2017 hingga 2018 berbeda-beda. Secara keseluruhan dapat diketahui bahwa *Container Crane* 01 lebih sering mengalami kerusakan dibandingkan *Container Crane* 03. Hal ini dapat dilihat dari jumlah kerusakan yang terjadi pada sistem trolley *Container Crane* 01 lebih tinggi dibandingkan kerusakan pada sistem trolley *Container Crane* 03, sedangkan jumlah kerusakan pada sistem spreader masing-masing *Container Crane* sama yaitu 9 kali kerusakan. Keadaan tersebut sesuai dengan kondisi lapangan dimana *Container Crane* 01 lebih sering beroperasi dibandingkan dengan *Container Crane* 03 sehingga kemungkinan *Container Crane* 01 mengalami kerusakan lebih tinggi dibandingkan *Container Crane* 03.

Jika dilihat dari rata-rata *lifetime* masing-masing sistem maka dapat dikatakan bahwa *Container Crane* 01 memiliki usia sistem yang lebih lama dibandingkan dengan *Container Crane* 03. Hal ini sesuai dengan Tabel 4.1 yang menunjukkan bahwa rata-rata *lifetime* sistem spreader yaitu 8.913 jam maupun sistem trolley pada *Container Crane* 01 yaitu 9.607 jam memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan usia sistem pada *Container Crane* 03. Artinya, sampai terjadinya suatu kerusakan sistem spreader maupun sistem trolley pada *Container Crane* 01 mampu beroperasi lebih lama dibandingkan dengan sistem spreader maupun sistem trolley pada *Container Crane* 03. Sedangkan jika

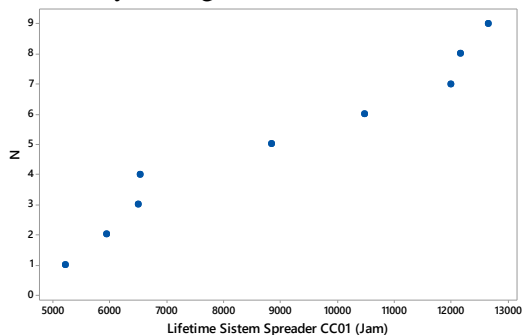
dilihat dari nilai varians *lifetime* sistem spreader maupun sistem trolley pada tiap *Container Crane* yang tinggi menunjukkan bahwa data *lifetime* masing-masing sistem tidak homogen.

Selain karakteristik data *lifetime* juga perlu dilakukan analisis statistika deskriptif untuk mengetahui karakteristik data *breakdown* atau lama waktu perbaikan sistem. Adapun karakteristik data *breakdown* sistem spreader dan sistem trolley pada masing-masing *Container Crane* ditunjukkan pada Tabel 4.2.

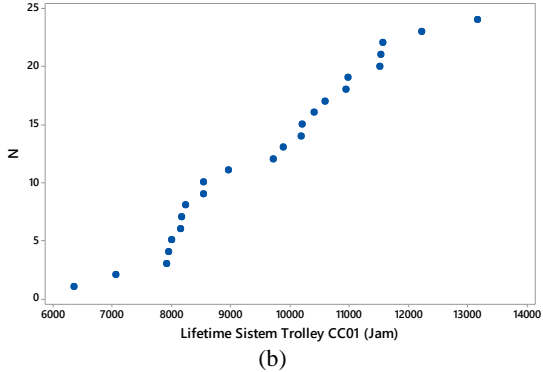
Tabel 4.2 Karakteristik Data Breakdown (Jam) Tiap Sistem

Sistem	N	Rata-rata	Varians	Minimal	Maksimal
Spreader CC01	9	2,167	5,188	0,5	8
Trolley CC01	24	3,833	9,558	0,5	10,5
Spreader CC03	9	1,944	4,403	0,5	7
Trolley CC03	17	48,6	14.410,6	0,5	407,5

Pada Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa sistem yang membutuhkan waktu perbaikan paling lama adalah sistem trolley pada *Container Crane* 03 dengan rata-rata waktu perbaikan sistem selama 48,6 jam dan varians sebesar 14.410,6. Nilai varians yang besar dapat diartikan bahwa keragaman data *breakdown* pada sistem trolley *Container Crane* 03 tidak merata atau heterogen. Hal ini dapat dilihat dari data lama perbaikan minimal sistem trolley *Container Crane* 03 yaitu 0,5 jam terpaut jauh dengan waktu perbaikan sistem paling lama yaitu 407,5 jam. Sedangkan sistem spreader pada kedua *Container Crane* tersebut, serta sistem trolley pada *Container Crane* 03 memiliki rata-rata lama perbaikan sistem dan varians data yang relatif sama. Karakteristik data dari sistem spreader dan sistem trolley juga dapat dilihat secara visual melalui plot *lifetime* kumulatif masing-masing sistem dengan jumlah kerusakannya sebagai berikut.

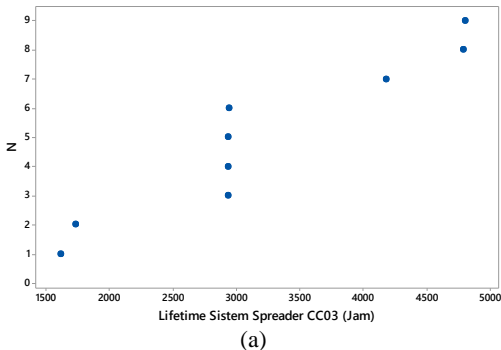


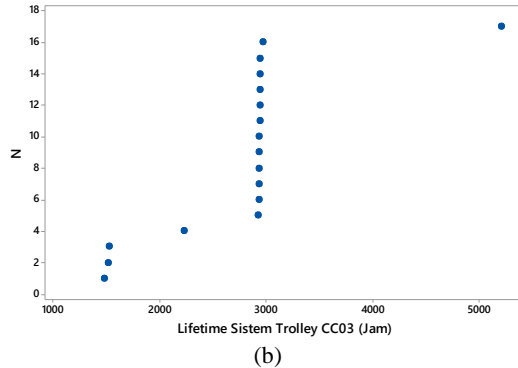
(a)



Gambar 4.1 Plot Kumulatif *Lifetime* Sistem (t) dengan Jumlah Kerusakan $N(t)$ pada (a) Sistem Spreader (b) Sistem Trolley *Container Crane* 01

Gambar 4.1 menunjukkan plot antara banyak kerusakan yang terjadi (N) dengan kumulatif usia sistem atau *lifetime* (t). Dari Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa pada sistem spreader seiring dengan berjalannya waktu jarak antar titik-titik pada plot lebar namun semakin lama semakin menyempit, sedangkan pada sistem trolley jarak antar titik pada plot semakin menyempit. Jarak antar titik pada plot yang semakin lama semakin menyempit menunjukkan bahwa dari hari ke hari usia sistem spreader maupun sistem trolley pada *Container Crane* 01 semakin menurun. Artinya sistem sering mengalami kerusakan seiring berjalannya waktu. Hal ini sesuai dengan data yang diperoleh pada Lampiran 1 dan Lampiran 3. Selanjutnya untuk *lifetime* kumulatif sistem pada *Container Crane* 03 dengan jumlah kerusakan yang terjadi ditunjukkan secara visual sebagai berikut.





Gambar 4.2 Plot Kumulatif *Lifetime* Sistem (t) dengan Jumlah Kerusakan $N(t)$ pada (a) Sistem Spreader (b) Sistem Trolley *Container Crane* 03

Berdasarkan Gambar 4.2 dapat diketahui bahwa selama dua tahun sistem spreader *Container Crane* 03 mengalami 9 kali kerusakan, sedangkan sistem trolley *Container Crane* 03 mengalami 17 kali kerusakan. Gambar 4.2 menunjukkan bahwa seiring berjalannya waktu jarak antar titik-titik pada plot (a) dan (b) cenderung semakin menyempit dengan kenaikan yang konstan. Hal ini mengindikasikan bahwa kedua sistem tersebut memiliki *lifetime* yang menurun seiring berjalannya waktu. Hal ini sesuai dengan data lapangan pada Lampiran 2 dan Lampiran 4.

4.2 Pemeriksaan *Trend Data Lifetime* dan *Breakdown*

Pada sub bab sebelumnya telah diketahui bahwa secara visual data *lifetime* dari masing-masing sistem memiliki *trend* naik. Oleh karena itu, untuk mengetahui adanya *trend* pada data *lifetime* dan data *breakdown* sistem spreader maupun sistem trolley dari kedua *Container Crane* harus dilakukan pemeriksaan *trend*. Pemeriksaan *trend* dilakukan dengan menggunakan nilai *Laplace* pada Persamaan (2.3) sebagai dugaan awal bahwa data mengikuti *Geometric Process*. Menurut Adams (2017), apabila nilai *Laplace* yang diperoleh bernilai positif maka laju kerusakan memiliki *trend* naik, sedangkan apabila bernilai negatif maka laju kerusakan memiliki *trend* turun. Adapun hasil perhitungan nilai *Laplace* pada masing-masing sistem dari kedua *Container Crane* dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Hasil Pemeriksaan *Laplace* untuk *Lifetime* dan *Breakdown*

Variabel	<i>Container Crane 01</i>		<i>Container Crane 03</i>	
	Spreader	Trolley	Spreader	Trolley
Usia Sistem (<i>Lifetime</i>)	1,665401	3,591177	0,855486	0,067631
Waktu Perbaikan (<i>Breakdown</i>)	-4,295486	-5,883128	-5,146866	-5,447773

Berdasarkan hasil pemeriksaan nilai *Laplace* pada Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa *lifetime* masing-masing sistem pada kedua *Container Crane* memiliki nilai *Laplace* lebih besar dari nol atau bertanda positif. Hal ini mengindikasikan bahwa masing-masing *lifetime* sistem tersebut memiliki *trend* naik. Artinya, seiring berjalannya waktu sistem spreader dan trolley pada *Container Crane* di PT Pelabuhan Indonesia III (Persero) memiliki laju kerusakan yang semakin meningkat. Laju kerusakan yang semakin meningkat ini menyebabkan usia (*lifetime*) kedua sistem tersebut dari hari ke hari semakin mengalami penurunan yang berarti pemeliharaan preventif yang dilakukan masih belum efektif. Hasil pemeriksaan *trend* ini sesuai dengan plot kumulatif pada Gambar 4.1 dan 4.2, dimana sistem spreader dan sistem trolley pada *Container Crane 01* maupun *Container Crane 03* memiliki jarak antar titik-titik pada plot yang semakin lama semakin menyempit.

Di sisi lain, Tabel 4.3 menunjukkan bahwa nilai statistik *Laplace* untuk data lama waktu perbaikan masing-masing sistem bernilai kurang dari nol atau bertanda negatif yaitu -4,295486 untuk sistem spreader pada *Container Crane 01*, -5,883128 untuk sistem trolley pada *Container Crane 01*, -5,146866 untuk sistem spreader pada *Container Crane 03*, dan -5,44773 pada *Container Crane 03*. Nilai ini menunjukkan bahwa lama waktu perbaikan masing-masing sistem memiliki *trend* menurun. Adanya *trend* menurun tersebut menunjukkan bahwa pemeliharaan preventif yang dilakukan oleh perusahaan masih belum optimum, karena lama waktu perbaikan masing-masing sistem semakin meningkat seiring berjalannya waktu. Dari pemeriksaan *trend* pada data usia dan lama waktu perbaikan sistem yang menghasilkan adanya *trend* dapat menjadi dugaan awal bahwa data mengikuti *Geometric Process*. Oleh karena itu, 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 diketahui bahwa data *lifetime* dan *breakdown* sistem spreader maupun sistem trolley pada kedua *Container Crane* menunjukkan adanya *trend* naik dan *trend* turun sehingga diduga data berasal dari *Geometric Process*. Oleh karena itu, untuk memastikan hal tersebut perlu dilakukan pengujian *Geometric Process*. Namun sebelum melakukan pengujian *Geometric Process*, perlu dilakukan perhitungan estimasi parameter $\ln \hat{r}$, $\hat{\alpha}$, dan σ_e^2 . Dalam penelitian ini estimasi parameter dilakukan menggunakan metode *Ordinary Least Square* (OLS) dan *Genetic Algorithm* (GA). Adapun hasil dari estimasi parameter masing-masing metode dijelaskan pada sub bab di bawah ini.

4.3.1 Estimasi Parameter dengan OLS

Dalam mengestimasi parameter $\ln \hat{r}$, $\hat{\alpha}$, dan σ_e^2 pada perhitungan ini dilakukan dengan metode *Least Square* (kuadrat terkecil) pada persamaan (2.8), (2.9), dan (2.10). Adapun hasil perhitungan estimasi parameter untuk data *lifetime* dan *breakdown* pada masing-masing *Container Crane* 01 ditunjukkan pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Estimasi Parameter Data *Lifetime* dan *Breakdown* pada *Container Crane* 01 dengan OLS

Parameter	<i>Lifetime</i>		<i>Breakdown</i>	
	Spreader	Trolley	Spreader	Trolley
$\ln \hat{r}$	0,508976	0,220348	5,110341	1,904514
\hat{r}	1,663587	1,246511	165,7269	6,716142
$\hat{\alpha}$	2,043739	2,652432	11,86090	13,84637
σ_e^2	0,675585	0,334323	2,369481	3,780540

Parameter $\ln r$ menunjukkan estimasi parameter untuk usia sistem dan lama waktu perbaikan sistem. Berdasarkan Tabel 4.4 dapat diketahui bahwa nilai r untuk data *lifetime* dan data *breakdown* sistem spreader maupun sistem trolley pada *Container Crane* 01 memiliki nilai lebih besar dari 1. Hal ini menunjukkan bahwa seiring lamanya sistem beroperasi maka lama kelamaan usia sistem akan semakin memendek hingga akhirnya akan sering mengalami kerusakan. Nilai parameter r pada *lifetime* sistem spreader yaitu 1,663587 lebih besar dari pada nilai parameter r

pada sistem trolley yaitu 1,246511 menunjukkan bahwa sistem spreader akan lebih cepat mengalami kerusakan jika dibandingkan dengan sistem trolley. Selain nilai parameter r , dapat diketahui bahwa estimasi parameter σ_e^2 pada masing-masing sistem memiliki nilai yang tergolong kecil yaitu 0,675585 untuk sistem spreader dan 0,3343234 untuk *lifetime* sistem trolley. Hal ini menunjukkan bahwa parameter yang dihasilkan oleh model regresi untuk usia sistem spreader dan sistem trolley pada *Container Crane 01* baik dalam menangkap keberadaan *trend*.

Dari Tabel 4.4 juga diketahui bahwa nilai estimasi parameter r untuk data lama perbaikan sistem memiliki nilai yang bernilai lebih dari 1. Hal ini mengindikasikan bahwa waktu perbaikan pada kedua sistem cenderung akan semakin berkurang menuju ke 0. Selain itu nilai estimasi varians dari kedua sistem yaitu 2,369481 pada sistem spreader dan 3,780540 pada sistem trolley tergolong kecil, sehingga dapat dikatakan bahwa estimasi parameter yang dihasilkan model regresi untuk data lama waktu perbaikan baik untuk menangkap adanya *trend*. Selanjutnya untuk hasil estimasi parameter *Geometric Process* pada sistem di *Container Crane 03* dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Estimasi Parameter Data *Lifetime* dan *Breakdown* pada *Container Crane 03*

Parameter	<i>Lifetime</i>		<i>Breakdown</i>	
	Spreader	Trolley	Spreader	Trolley
$\ln \hat{r}$	0,710666	0,444542	5,240874	2,549051
\hat{r}	2,035347	1,559776	188,8351	12,79496
$\hat{\alpha}$	1,813826	2,405735	12,15771	12,77312
σ_e^2	1,002991	0,699366	3,000207	4,390058

Tabel 4.5 di atas menunjukkan hasil estimasi parameter untuk usia (*lifetime*) sistem spreader dan sistem trolley *Container Crane 03*. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa kedua sistem pada *Container Crane 03* memiliki nilai estimasi parameter r lebih besar dari 1 yaitu masing-masing 2,035347 dan 1,559776. Artinya, seiring dengan pemakaian *Container Crane 03* usia sistem spreader dan sistem trolley pada alat tersebut akan semakin memendek sehingga menyebabkan terjadinya kerusakan. Nilai parameter r pada sistem spreader lebih besar jika dibandingkan nilai parameter r pada sistem trolley yang berarti bahwa sistem

spreader akan mengalami kerusakan lebih cepat jika dibandingkan sistem trolley. Disisi lain, apabila dilihat dari nilai parameter σ_e^2 masing-masing sistem dapat dikatakan bahwa kedua sistem memiliki nilai variansi yang relatif kecil. Nilai σ_e^2 yang relatif kecil menunjukkan bahwa estimasi parameter yang dihasilkan model regresi tersebut baik dalam menangkap adanya *trend*.

Tabel 4.5 yang menunjukkan nilai estimasi r data lama waktu perbaikan masing-masing sistem lebih dari 1 juga menggambarkan bahwa semakin lamanya sistem bekerja maka lama waktu perbaikan sistem akan semakin berkurang dan akan cenderung menuju 0. Hasil estimasi σ_e^2 kedua sistem juga relatif kecil mengindikasikan bahwa estimasi parameter yang dihasilkan model regresi sudah cukup baik. Maka, secara keseluruhan dapat dikatakan bahwa masing-masing *Container Crane* memiliki sistem yang dari hari ke hari pemakaian alat menyebabkan usia sistem tersebut semakin memendek. Dari kedua sistem tersebut, sistem spreader akan lebih cepat mengalami kerusakan dibandingkan sistem trolley.

4.3.2 Estimasi Parameter dengan OLS-GA

Setelah didapatkan estimasi parameter *Geometric Process* dengan OLS, untuk mendapatkan nilai parameter yang lebih optimal selanjutnya dilakukan optimasi nilai parameter $\ln r$ dan α menggunakan *Genetic Algorithm*. Langkah pertama yang dilakukan dalam mengoptimasi parameter dengan GA adalah membuat inisialisasi kromosom. Dimana dalam penelitian ini digunakan inisialisasi kromosom sebanyak 50. Kromosom yang dibangkitkan memiliki dua gen yang terdiri dari parameter $\ln r$ dan α . Adapun gen pertama merupakan hasil parameter pada estimasi sebelumnya. Berikut merupakan ilustrasi kromosom untuk optimasi parameter *Geometric Process* pada data *lifetime* dan *breakdown* sistem spreader *Container Crane* 01.

Parameter	$\ln r$	α
Kromosom	0,5089	2,0437

(a)

Parameter	$\ln r$	α
Kromosom	5,1103	11,8609

(b)

Gambar 4.3 Ilustrasi Satu Buah Kromosom (a) Data Lifetime dan (b) Data Breakdown Sistem Spreader Container Crane 01

Gambar 4.3 (a) menunjukkan inisialisasi pada kromosom pertama untuk data *lifetime* dan Gambar 4.3 (b) menunjukkan inisialisasi pada kromosom pertama pada data *breakdown* sistem spreader *Container Crane* 01. Kromosom yang terbentuk selanjutnya akan mengikuti proses GA untuk dioptimasi yang meliputi seleksi pindah silang, mutasi, dan elitism. Adapun nilai *fitness* yang digunakan adalah nilai $1/SSE$. Setelah dilakukan inisialisasi selanjutnya dibentuk 50 kromosom awal yang dibangkitkan untuk populasi awal parameter *Geometric Process* pada data *lifetime* sistem spreader seperti ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.6 Ilustrasi Kromosom Dalam Populasi Awal pada Optimasi Parameter

Populasi	<i>Lifetime</i>	
	Spreader $\ln r$	Spreader α
1	1,0415	8,7433
2	0,5997	5,2074
3	1,2464	10,380
⋮	⋮	⋮
50	0,9693	8,1641

Langkah selanjutnya adalah melakukan evaluasi pada masing-masing kromosom yang telah terbentuk dengan nilai *fitness* yang telah ditentukan. Adapun fungsi *fitness* yang digunakan adalah untuk meminimumkan jumlah kuadrat eror yaitu dengan nilai *fitness* sama dengan $1/SSE$. Dimana semakin besar nilai *fitness* yang dihasilkan atau semakin kecil nilai SSE yang dihasilkan masing-masing kromosom, maka semakin besar suatu kromosom tersebut dapat bertahan hidup dan terpilih untuk proses selanjutnya. Berikut merupakan hasil dari nilai *fitness* masing-masing kromosom untuk data *lifetime* dan data *breakdown* sistem spreader *Container Crane* 01 pada populasi awal.

Tabel 4.7 Ilustrasi Kromosom Dalam Populasi Awal pada Optimasi Parameter

Populasi	<i>Lifetime</i>		
	Spreader $\ln r$	Spreader α	Nilai <i>Fitness</i>
1	1,0415	8,7433	0,003712
2	0,5998	5,2074	0,009803
3	1,2464	10,380	0,002676
⋮	⋮	⋮	⋮
50	0,9693	8,1641	0,004229

Setelah diketahui nilai *fitness* dari masing-masing kromosom selanjutnya dilakukan pembentukan kromosom orang tua dengan menggunakan metode *Roulette Wheel Selection* (RWS). Berikut merupakan ilustrasi dari RWS.

Tabel 4.8 Ilustrasi Proses RWS pada Optimasi Parameter

Populasi	<i>Fitness</i>	Proporsi	Nilai	<i>Random Number</i>
		Nilai <i>Fitness</i>	<i>Fitness</i> Kumulatif	
1	0,003712	0,181782	0,181782	0,2679
2	0,009803	0,480068	0,661851	0,5170
3	0,002676	0,131047	0,792899	0,8874
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
50	0,004229	0,207101	1,000000	0,9345

Berdasarkan Tabel 4.8 diketahui bahwa bilangan *random* pertama yaitu sebesar 0,2679, maka kromosom orang tua 2 didapatkan dari nilai *fitness* kumulatif yang lebih besar dari 0,2679 yang pertama yaitu kromosom 2, maka kromosom tersebut menjadi kromosom 1 pada populasi baru. Bilangan *random* diperoleh dengan membangkitkan 50 data berdistribusi *uniform* dengan *range* 0 sampai 1. Tahapan tersebut berhenti bila telah diperoleh 50 kromosom orang tua berdasarkan bilangan *random* yang telah dibangkitkan. Langkah selanjutnya yang harus dilakukan dalam GA adalah melakukan pindah silang dengan ilustrasi sesuai pada Gambar 4.4.

Pada penelitian ini pindah silang dilakukan dengan peluang sebesar 0,8. Dimana proses pindah silang pada *Genetic Algorithm* diilustrasikan terjadi pada kromosom orang tua 4 dan 5 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.4.

	$\ln r$	α	
Orang Tua	0,5997	5,2074	Bilangan acak
4	0,6287	4,3457	
5			0,32
	Pindah Silang		0,53
Anak	0,6287	3,0987	
4			
5	0,7981	2,0591	

Gambar 4.4 Ilustrasi Pindah Silang Dua Buah Kromosom

Proses pindah silang tersebut dilanjutkan hingga semua pasangan kromosom yang memiliki bilangan random kurang dari peluang pindah silang. Proses pindah silang dilakukan menggunakan metode *local arithmetic crossover* dengan perhitungan sebagai berikut (Dumitrescu dkk., 2000).

$$C_4 = \alpha P_4 + (1 - \alpha) P_5 \quad \text{dan} \quad C_5 = \alpha P_5 + (1 - \alpha) P_4$$

dimana P_4 merupakan kromosom orang tua ke-4 dan P_5 merupakan kromosom orang tua ke-5, C_4 menunjukkan kromosom anak hasil pindah silang pada kromosom ke-4 sedangkan C_5 menunjukkan kromosom anak hasil pindah silang pada kromosom ke-5, serta α merupakan bilangan acak *uniform* yang bernilai pada *range* 0 sampai 1. Berdasarkan Gambar 4.3 diperoleh nilai $\alpha = 0,811$ sehingga diperoleh anak hasil pindah silang sebagaimana nilainya diilustrasikan pada Gambar 4.4. Adapun hasil perhitungan *crossover* pada parameter $\ln r$ pada kromosom ke-4 adalah sebagai berikut.

$$C_4 = 0,811 \times 0,5997 + (1 - 0,811) \times 0,6287 = 0,6287$$

Perhitungan pindah silang di atas berlaku untuk setiap parameter yang terpilih untuk mengikuti proses pindah silang. Kemudian, tahapan yang harus dilakukan setelah pindah silang adalah melakukan proses mutasi yaitu dengan memberikan kesempatan yang sama pada setiap gen untuk dilakukan proses mutasi. Langkah pertama dalam melakukan mutasi adalah dengan membangkitkan bilangan random pada setiap gen dan membandingkan dengan peluang mutasi sebesar 0,01. Jika nilai bilangan random yang dibangkitkan pada suatu gen kurang dari peluang mutasi, maka proses mutasi dilakukan pada gen tersebut. Proses ini dilakukan dengan mengubah *allele* dengan bilangan riil

yang lain yang masih berada dalam *range* pada gen yang mengalami proses mutasi. Berikut ilustrasi proses mutasi.

Kromosom	$\ln r$	α
	0,469	0,006
6	2,146	0,6499
Mutasi		
6	2,146	0,7589

Gambar 4.5 Ilustrasi Proses Mutasi pada Estimasi Parameter

Setelah dilakukan mutasi, selanjutnya dilakukan proses elitism untuk mempertahankan kromosom terbaik dalam populasi. Kromosom yang dipertahankan adalah sebesar 10% dari total kromosom dalam populasi yaitu sebanyak 5 kromosom. Proses optimasi parameter dilakukan hingga didapat nilai *fitness* yang konvergen. Pada optimasi parameter ini batas atas dan batas bawah pada data *lifetime* untuk parameter $\ln r$ adalah 0 dan 1, sedangkan untuk parameter α sebesar 0 dan 3,5. Sementara untuk data *breakdown* masing-masing sistem batas atas dan batas bawah untuk parameter $\ln r$ adalah 0 dan 5, sedangkan untuk parameter α digunakan 0 dan 15. Batas ini dipilih ± 1 dari parameter terpilih pada proses estimasi sebelumnya dengan fungsi *fitness* yang digunakan adalah nilai $1/SSE$. Adapun hasil optimasi parameter pada sistem spreader dan sistem trolley *Container Crane* 01 dan *Container Crane* 03 adalah sebagai berikut.

Tabel 4.9 Hasil Optimasi Parameter pada Data *Lifetime*

Parameter	<i>Container Crane</i> 01		<i>Container Crane</i> 03	
	Spreader	Trolley	Spreader	Trolley
$\ln \hat{r}$	0,186087	0,059129	0,200717	0,074912
\hat{r}	1,204527	1,060912	1,222279	1,077789
$\hat{\alpha}$	2,994119	2,926306	2,177329	1,819147
σ_e^2	0,334129	0,116292	0,410538	0,204533

Tabel di atas menunjukkan hasil parameter $\ln r$ dan α paling optimum yang diperoleh menggunakan prosedur *Genetic Algorithm*. Dimana parameter $\ln r$ dan α paling optimum pada data *lifetime* sistem spreader *Container Crane* 01 adalah 0,186087 dan 2,994119, parameter $\ln r$ dan α data sistem trolley *Container Crane* 01 sebesar 0,059129 dan 2,926306. Sementara parameter $\ln r$ dan α pada sistem spreader *Container Crane* 03 sebesar 0,200717 dan

2,177329, serta parameter $\ln r$ dan α pada sistem trolley *Container Crane* 03 sebesar 0,074912 dan 1,819147. Adapun hasil optimasi parameter pada data *breakdown* masing-masing sistem ditunjukkan pada Tabel 4.10 berikut.

Tabel 4.10 Hasil Optimasi Parameter pada Data *Breakdown*

Parameter	Container Crane 01		Container Crane 03	
	Spreader	Trolley	Spreader	Trolley
$\ln \hat{r}$	0,856304	0,284038	0,849664	0,756442
\hat{r}	2,354443	1,328484	2,338861	2,130682
$\hat{\alpha}$	6,851414	6,529867	6,797628	12,10903
σ_e^2	0,980550	1,330308	1,391595	4,748866

Berdasarkan Tabel 4.10 dapat diketahui bahwa hasil optimasi parameter $\ln r$ dan α menunjukkan bahwa estimasi parameter paling optimum menggunakan *Genetic Algorithm* pada data *breakdown* sistem spreader *Container Crane* 01 masing-masing adalah 0,8563041 dan 6,851414, hasil optimasi parameter $\ln r$ dan α pada sistem trolley *Container Crane* 01 sebesar 0,2840384 dan 6,529867. Sementara untuk sistem spreader *Container Crane* 03 diperoleh nilai parameter $\ln r$ dan α sebesar 0,8496642 dan 6,797628, sedangkan untuk sistem trolley *Container Crane* 03 sebesar 0,7564422 dan 12,10903.

Berdasarkan kedua tabel di atas dapat diketahui bahwa hasil parameter $\ln r$ dan α dengan *Genetic Algorithm* tidak jauh berbeda dengan nilai estimasi parameter dengan OLS. Dimana hasil estimasi parameter untuk usia (*lifetime*) sistem spreader dan sistem trolley masing-masing *Container Crane* memiliki nilai estimasi parameter $\ln r$ kurang dari 1 atau nilai parameter r lebih besar dari 1. Artinya, seiring dengan pemakaian masing-masing sistem pada kedua *Container Crane*, usia sistem spreader dan sistem trolley pada kedua *Container Crane* di PT Pelabuhan Indonesia III (Persero) akan semakin memendek sehingga menyebabkan terjadinya kerusakan.

Sementara nilai estimasi r pada data lama waktu perbaikan masing-masing sistem memiliki nilai lebih dari 1 juga menggambarkan bahwa semakin lama sistem bekerja maka lama waktu perbaikan sistem akan semakin berkurang dan akan cenderung menuju 0. Oleh karena itu, secara keseluruhan dapat dikatakan bahwa usia sistem spreader dan sistem trolley pada

masing-masing *Container Crane* dari hari ke hari semakin memendek.

4.4 Pengujian *Geometric Process Data Lifetime dan Breakdown*

Setelah diperoleh hasil estimasi parameter $\ln \hat{r}$, $\hat{\alpha}$, dan σ_e^2 pada sub bab 4.3 selanjutnya dilakukan pengujian *Geometric Process*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui data *lifetime* dan data *breakdown* masing-masing sistem mengikuti *Geometric Process* atau tidak. Berdasarkan persamaan (2.14) maka diperoleh hasil pengujian *Geometric Process* sebagai berikut.

Tabel 4.11 Statistik Uji *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem Spreader dan Sistem Trolley Masing-masing *Container Crane*

Sistem	Statistik Uji		Titik Kritis
	<i>Lifetime</i>	<i>Breakdown</i>	
Spreader CC01	-4,796595	-25,71573	2,364624
Trolley CC01	-12,92336	-33,21667	2,073873
Spreader CC03	-5,496583	-23,43709	2,364624
Trolley CC03	-10,73719	-24,57387	2,131450

Berdasarkan Tabel 4.11 dapat diketahui bahwa hasil pengujian *Geometric Process* dengan tingkat signifikansi 5% menunjukkan bahwa data *lifetime* dan *breakdown* sistem spreader maupun sistem trolley kedua *Container Crane* berasal dari *Geometric Process*. Hal ini dapat diketahui dari masing-masing sistem yang memiliki nilai statistik uji lebih besar dari nilai kritis ($|t| > t_{n,0.025}$), sehingga hipotesis null atau H_0 ditolak. Artinya, dapat disimpulkan bahwa data *lifetime* maupun data *breakdown* pada sistem spreader dan sistem trolley masing-masing *Container Crane* mengikuti *Geometric Process*.

Pada sub bab ini juga dijelaskan mengenai hasil pengujian *Geometric Process* untuk parameter yang telah dioptimasi menggunakan *Genetic Algorithm*. Dengan menggunakan parameter hasil dari estimasi parameter OLS yang selanjutnya dioptimasi dengan menggunakan metode *Genetic Algorithm*, maka berdasarkan persamaan (2.14) diperoleh hasil pengujian *Geometric Process* seperti ditunjukkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Statistik Uji *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem Spreader dan Sistem Trolley Masing-masing *Container Crane*

Sistem	Statistik Uji		Titik Kritis
	<i>Lifetime</i>	<i>Breakdown</i>	
Spreader CC01	-2,493645	-6,698365	2,364624
Trolley CC01	-5,879982	-8,351218	2,073873
Spreader CC03	-2,426511	-5,57913	2,364624
Trolley CC03	-3,345776	-7,011499	2,131450

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui bahwa pengujian *Geometric Process* untuk parameter yang telah dioptimasi menggunakan GA dengan tingkat signifikansi 5% diperoleh kesimpulan tolak H_0 . Artinya, data *lifetime* dan *breakdown* sistem spreader maupun sistem trolley pada kedua *Container Crane* berasal dari *Geometric Process*. Hal ini dapat diketahui dari masing-masing sistem yang memiliki nilai statistik uji lebih besar dari nilai kritis ($|t| > t_{n,0.025}$). Kondisi tersebut menggambarkan kondisi sistem yang apabila mengalami kerusakan dan kemudian diperbaiki maka kinerja sistem akan menurun seiring bertambahnya usia sistem, serta tingkat laju kerusakan sistem yang semakin meningkat.

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

Pada sub bab sebelumnya telah dilakukan pengujian *Geometric Process* pada data *lifetime* dan data *breakdown* masing-masing sistem pada *Container Crane* 01 maupun *Container Crane* 03. Berdasarkan pengujian tersebut dapat diketahui bahwa masing-masing sistem berasal dari *Geometric Process*. Oleh karena itu, selanjutnya dilakukan estimasi rata-rata atau *mean* untuk mengetahui rata-rata lama sistem spreader dan sistem trolley pada masing-masing *Container Crane* beroperasi dengan baik dan rata-rata lama sistem dalam kondisi perbaikan. Adapun hasil estimasi rata-rata masing-masing sistem dijelaskan pada sub bab berikut.

4.5.1 Estimasi Rata-rata *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem Spreader *Container Crane* 01

Estimasi rata-rata lama sistem spreader dapat beroperasi dengan baik hingga terjadinya kerusakan pertama atau *lifetime* dan rata-rata lama waktu perbaikan atau *breakdown* sistem spreader

Container Crane 01 hingga terjadinya kerusakan pertama diperoleh menggunakan persamaan (2.15) dengan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.13 Estimasi Rata-rata *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem Spreader

<i>Container Crane</i> 01		
Estimasi Parameter	Nilai	
	<i>Lifetime</i>	<i>Breakdown</i>
μ_{X1} (jam)	32.330,49	19,38233
μ_{X1} (tahun)	3,851161	0,002309

Tabel 4.13 menunjukkan bahwa rata-rata *lifetime* sistem spreader pada *Container Crane* 01 setelah mengalami kerusakan pertama adalah 32.330,49 jam atau 3,85 tahun. Sedangkan rata-rata lama waktu perbaikan sistem spreader pada *Container Crane* 01 setelah kerusakan pertama adalah selama 19 jam. Sedangkan untuk rata-rata lama sistem spreader dapat beroperasi dengan baik hingga terjadinya kerusakan kedua dan seterusnya, serta rata-rata lama waktu perbaikan sistem spreader *Container Crane* 01 setelah terjadinya kerusakan kedua dan seterusnya dapat diperoleh melalui persamaan (2.20). Berdasarkan nilai rasio *lifetime* pada Tabel 4.4 dan estimasi rata-rata *lifetime* pada Tabel 4.13 dapat dihitung rata-rata sistem spreader *Container Crane* 01 dapat beroperasi dengan baik hingga mengalami kerusakan kedua, ketiga, dan seterusnya dengan persamaan berikut.

$$\mu_{Gn}(\text{jam}) = \frac{32.330,49}{1,663587^{n-1}}$$

Sedangkan rata-rata lama waktu perbaikan sistem spreader *Container Crane* 01 hingga terjadinya kerusakan kedua hingga ke- n dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

$$\mu_{Gn}(\text{jam}) = \frac{19,38233}{165,7269^{n-1}}$$

Menilik kedua persamaan di atas, maka hasil perhitungan rata-rata sistem spreader pada *Container Crane* 01 dapat beroperasi dengan baik dan rata-rata lama waktu perbaikan sistem spreader pada *Container Crane* 01 hingga mengalami kerusakan kedua, ketiga sampai kerusakan ke- n dapat dilihat pada Tabel 4.14 berikut.

Tabel 4.14 Estimasi Rata-rata *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem Spreader pada *Container Crane 01*

N	<i>Lifetime</i> (Jam)	N	<i>Lifetime</i> (Jam)	N	<i>Breakdown</i> (Jam)
1	32.330	12	119	1	19,38
2	19.434	13	71	2	0,11
3	11.682	14	43	3	0
4	7.022	15	26		
5	4.221	16	15		
6	2.537	17	9		
7	1.525	18	5		
8	916	19	3		
9	551	20	2		
10	331	21	1		
11	199	22	0		

Tabel 4.14 di atas menjelaskan rata-rata usia sistem bekerja dengan baik sampai mengalami kerusakan ke-N serta rata-rata lamanya perbaikan sistem setelah mengalami kerusakan ke-N. Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui bahwa rata-rata *lifetime* sistem spreader pada *Container Crane 01* sampai mengalami kerusakan kedua adalah 19.434 jam atau 2,31 tahun dengan rata-rata lama perbaikan setelah mengalami kerusakan kedua yaitu 0,11 jam. Selain itu juga dapat diketahui bahwa sistem spreader pada *Container Crane 01* tidak dapat beroperasi kembali setelah mengalami 21 kali kerusakan. Secara menyeluruh sistem ini diprediksi akan mampu beroperasi atau berfungsi dengan baik selama 81.042 jam atau 9,6 tahun. Oleh karena itu, agar sistem dapat beroperasi kembali maka harus dilakukan pemeliharaan, ataupun penggantian komponen penyebab kerusakan.

Sementara jika dilihat dari rata-rata *breakdown* sistem, dapat diketahui bahwa rata-rata lama waktu perbaikan sistem spreader pada *Container Crane 01* mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena pihak perusahaan telah belajar dari pengalaman kerusakan pertama sehingga pada kerusakan kedua perbaikan dapat lebih efisien. Selain itu juga dapat diketahui bahwa setelah kerusakan kedua perusahaan sebaiknya melakukan penggantian pada komponen yang terdapat di sistem spreader tersebut. Selanjutnya apabila digunakan parameter yang telah dioptimasi menggunakan GA diperoleh estimasi rata-rata *lifetime* dan

breakdown sistem spreader *Container Crane* 01 sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Estimasi Rata-rata *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem Spreader *Container Crane* 01 dengan Parameter GA

Estimasi Parameter	Nilai	
	<i>Lifetime</i>	<i>Breakdown</i>
μ_{x_1} (jam)	16.761,66	11,22283
μ_{x_1} (tahun)	1,996624	0,001337

Pada Tabel 4.15 menunjukkan rata-rata usia sistem spreader pada *Container Crane* 01 setelah mengalami kerusakan pertama adalah 2 tahun. Sedangkan rata-rata lama waktu perbaikan sistem spreader pada *Container Crane* 01 setelah kerusakan pertama adalah selama 11 jam. Berdasarkan Tabel 4.14 dapat dikatakan bahwa setelah dilakukan optimasi dengan GA, rata-rata usia sistem spreader tidak lebih lama dibandingkan jika tidak dilakukan optimasi. Sementara rata-rata lama waktu perbaikan sistem lebih pendek jika dibandingkan dengan perhitungan dengan parameter tanpa dioptimasi. Sedangkan untuk rata-rata lama sistem spreader dapat beroperasi dengan baik hingga terjadinya kerusakan kedua dan seterusnya, serta rata-rata lama waktu perbaikan sistem spreader *Container Crane* 01 setelah terjadinya kerusakan kedua dan seterusnya dapat diperoleh melalui persamaan (2.20). Berdasarkan nilai rasio *lifetime* pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10, serta estimasi rata-rata *lifetime* pada Tabel 4.15 dapat dihitung rata-rata sistem spreader *Container Crane* 01 dapat beroperasi dengan baik hingga mengalami kerusakan kedua, ketiga, dan seterusnya dengan persamaan berikut.

$$\mu_{Gn}(\text{jam}) = \frac{16.761,66}{1,20453^{n-1}}$$

Sedangkan rata-rata lama waktu perbaikan sistem spreader *Container Crane* 01 hingga terjadinya kerusakan kedua hingga ke- n dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

$$\mu_{Gn}(\text{jam}) = \frac{11,22283}{2,35444^{n-1}}$$

Adapun perhitungan rata-rata *lifetime* dan *breakdown* setelah mengalami beberapa kali kerusakan adalah sebagai berikut.

Tabel 4.16 Estimasi Rata-rata *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem Spreader *Container Crane* 01 dengan Parameter GA

N	<i>Lifetime</i> (Jam)	N	<i>Lifetime</i> (Jam)	N	<i>Lifetime</i> (Jam)	N	<i>Breakdown</i> (Jam)
1	16.762	20	488	39	14	1	11
2	13.916	21	405	40	12	2	5
3	11.553	22	337	41	10	3	2
4	9.591	23	279	42	8	4	1
5	7.963	24	232	43	7	5	0
6	6.610	25	193	44	6		
7	5.488	26	160	45	5		
8	4.556	27	133	46	4		
9	3.783	28	110	47	3		
10	3.140	29	92	48	3		
11	2.607	30	76	49	2		
12	2.164	31	63	50	2		
13	1.797	32	52	51	2		
14	1.492	33	43	52	1		
15	1.238	34	36	53	1		
16	1.028	35	30	54	1		
17	854	36	25	55	1		
18	709	37	21	56	1		
19	588	38	17	57	0		

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui bahwa rata-rata *lifetime* sistem spreader pada *Container Crane* 01 sampai mengalami kerusakan kedua adalah 13.916 jam atau 1,65 tahun dengan rata-rata lama perbaikan setelah kerusakan kedua selama 5 jam. Selain itu, dapat diketahui bahwa sistem spreader pada *Container Crane* 01 tidak dapat beroperasi kembali setelah mengalami 56 kali kerusakan. Secara menyeluruh sistem ini diprediksi akan mampu beroperasi atau berfungsi dengan baik selama 98.712 jam atau 12 tahun. Selain itu juga dapat diketahui bahwa setelah kerusakan keempat perusahaan sebaiknya melakukan penggantian pada komponen yang terdapat di sistem spreader tersebut.

4.5.2 Estimasi Rata-rata *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem Trolley *Container Crane* 01

Berikut merupakan hasil estimasi rata-rata *lifetime* dan *breakdown* sistem trolley *Container Crane* 01 setelah terjadinya

kerusakan pertama yang diperoleh berdasarkan persamaan (2.15).

Tabel 4.17 Estimasi Rata-rata *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem Trolley *Container Crane* 01

Estimasi Parameter	Nilai	
	<i>Lifetime</i>	<i>Breakdown</i>
μ_{X1} (jam)	45.827,62	76,30166
μ_{X1} (tahun)	5,458919	0,009327

Pada Tabel 4.17 dapat diketahui bahwa rata-rata usia sistem trolley pada *Container Crane* 01 dapat berfungsi dengan baik hingga mengalami kerusakan pertama adalah 45.827,62 jam atau 5,4 tahun. Sedangkan rata-rata lama waktu perbaikan sistem trolley pada *Container Crane* 01 setelah mengalami kerusakan pertama adalah selama 76,3 jam atau 3 hari. Sementara rata-rata lama sistem trolley dapat beroperasi dengan baik hingga terjadinya kerusakan kedua dan seterusnya, serta rata-rata lama waktu perbaikan sistem trolley *Container Crane* 01 setelah terjadinya kerusakan kedua dan seterusnya dapat diperoleh melalui persamaan (2.20). Berdasarkan nilai rasio *lifetime* pada Tabel 4.4 dan estimasi rata-rata *lifetime* pada Tabel 4.17 dapat dihitung rata-rata sistem trolley *Container Crane* 01 dapat beroperasi dengan baik hingga mengalami kerusakan kedua, ketiga, dan seterusnya dengan persamaan berikut.

$$\mu_{Gn}(\text{jam}) = \frac{45.827,62}{1,246511^{n-1}}$$

Sedangkan rata-rata lama waktu perbaikan sistem spreader *Container Crane* 01 hingga terjadinya kerusakan kedua hingga ke- n dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

$$\mu_{Gn}(\text{jam}) = \frac{76,30166}{6,716142^{n-1}}$$

Berdasarkan kedua persamaan di atas, maka hasil perhitungan rata-rata sistem trolley pada *Container Crane* 01 dapat beroperasi dengan baik dan rata-rata lama waktu perbaikan sistem trolley pada *Container Crane* 01 hingga mengalami kerusakan kedua, ketiga sampai kerusakan ke- n dapat dilihat pada Tabel 4.18 berikut.

Tabel 4.18 Estimasi Rata-rata *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem Trolley *Container Crane 01*

N	<i>Lifetime</i> (Jam)	N	<i>Lifetime</i> (Jam)	N	<i>Lifetime</i> (Jam)	N	<i>Breakdown</i> (Jam)
1	45.827	18	1.082	35	25	1	78,30
2	36.764	19	868	36	20	2	11,65
3	29.494	20	696	37	16	3	1,73
4	23.661	21	558	38	13	4	0,25
5	18.982	22	448	39	10	5	0,03
6	15.228	23	359	40	8	6	0
7	12.216	24	288	41	6		
8	9.800	25	231	42	5		
9	7.862	26	185	43	4		
10	6.307	27	148	44	3		
11	5.060	28	119	45	2		
12	4.059	29	95	46	2		
13	3.256	30	76	47	1		
14	2.612	31	61	48	1		
15	2.095	32	49	49	1		
16	1.681	33	39	50	0		
17	1.348	34	31				

Apabila dilihat dari rata-rata usia sistem trolley setelah mengalami beberapa kali kerusakan, maka sistem trolley pada *Container Crane 01* akan tidak dapat beroperasi kembali setelah mengalami kerusakan sebanyak 50 kali, sehingga perlu dilakukan tindakan pemeliharaan agar sistem dapat beroperasi kembali. Sistem trolley pada *Container Crane 01* diprediksi akan dapat berfungsi dengan baik secara menyeluruh selama 231.702 jam atau 27,6 tahun.

Selain rata-rata usia sistem berfungsi dengan baik, pada Tabel 4.18 dapat diketahui bahwa rata-rata lama perbaikan sistem trolley pada *Container Crane 01* dari waktu ke waktu mengalami penurunan. Sama halnya dengan kondisi sistem spreader yang telah dibahas sebelumnya maka dapat dikatakan bahwa perusahaan telah belajar dari kerusakan pertama, sehingga proses perbaikan sistem trolley pada kerusakan selanjutnya dapat dilakukan dengan lebih efisien. Dari tabel di atas juga dapat diketahui bahwa perusahaan tidak akan melakukan perbaikan pada sistem setelah sistem mengalami kerusakan kelima. Hal ini mengindikasikan

bahwa perusahaan harus melakukan pergantian komponen ketika sistem telah mengalami kerusakan sebanyak 5 kali. Berikutnya apabila digunakan parameter yang telah dioptimasi menggunakan GA, berdasarkan persamaan (2.15) diperoleh estimasi rata-rata *lifetime* dan *breakdown* sistem trolley *Container Crane* 01 hingga terjadinya kerusakan pertama sebagai berikut.

Tabel 4.19 Estimasi Rata-rata *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem Trolley *Container Crane* 01 dengan Parameter GA

Estimasi Parameter	Nilai	
	<i>Lifetime</i>	<i>Breakdown</i>
μ_{x1} (jam)	17.461,6	22,77306
μ_{x1} (tahun)	2,080100	0,002713

Menilik Tabel 4.19 menunjukkan rata-rata usia sistem trolley pada *Container Crane* 01 sampai mengalami kerusakan pertama adalah 2 tahun. Sedangkan rata-rata lama waktu perbaikan sistem trolley pada *Container Crane* 01 setelah kerusakan pertama adalah selama 23 jam. Berdasarkan Tabel 4.19 dapat dikatakan bahwa setelah dilakukan optimasi dengan GA, rata-rata usia sistem spreader lebih lama dibandingkan jika tidak dilakukan optimasi. Disisi lain, rata-rata lama waktu perbaikan sistem lebih pendek jika dibandingkan dengan perhitungan dengan parameter tanpa dioptimasi.

Sementara rata-rata lama sistem trolley dapat beroperasi dengan baik hingga terjadinya kerusakan kedua dan seterusnya, serta rata-rata lama waktu perbaikan sistem trolley *Container Crane* 01 setelah terjadinya kerusakan kedua dan seterusnya dapat diperoleh melalui persamaan (2.20). Berdasarkan nilai rasio *lifetime* pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10, serta estimasi rata-rata *lifetime* pada Tabel 4.19 dapat dihitung rata-rata sistem trolley *Container Crane* 01 dapat beroperasi dengan baik hingga mengalami kerusakan kedua, ketiga, dan seterusnya dengan persamaan berikut.

$$\mu_{Gn}(\text{jam}) = \frac{17.461,6}{1,060912^{n-1}}$$

Sedangkan rata-rata lama waktu perbaikan sistem spreader *Container Crane* 01 hingga terjadinya kerusakan kedua hingga ke- n dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

$$\mu_{Gn}(\text{jam}) = \frac{22,77306}{1,3284^{n-1}}$$

Berdasarkan kedua persamaan di atas, maka hasil perhitungan rata-rata sistem trolley pada *Container Crane* 01 dapat beroperasi dengan baik dan rata-rata lama waktu perbaikan sistem trolley pada *Container Crane* 01 hingga mengalami kerusakan kedua, ketiga sampai kerusakan ke- n dapat dilihat pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Estimasi Rata-rata *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem Trolley *Container Crane* 01 dengan Parameter GA

N	<i>Lifetime</i> (Jam)	N	<i>Lifetime</i> (Jam)	N	<i>Lifetime</i> (Jam)	N	<i>Lifetime</i> (Jam)
1	17.462	29	3.336	57	637	85	122
2	16.459	30	3.144	58	601	86	115
3	15.514	31	2.964	59	566	87	108
4	14.624	32	2.794	60	534	88	102
5	13.784	33	2.633	61	503	89	96
6	12.993	34	2.482	62	474	90	91
7	12.247	35	2.340	63	447	91	85
8	11.544	36	2.205	64	421	92	80
9	10.881	37	2.079	65	397	93	76
10	10.257	38	1.959	66	374	94	72
11	9.668	39	1.847	67	353	95	67
12	9.113	40	1.741	68	333	96	64
13	8.590	41	1.641	69	313	97	60
14	8.097	42	1.547	70	295	98	56
15	7.632	43	1.458	71	279	99	53
16	7.194	44	1.374	72	263	100	50
17	6.781	45	1.295	73	247	101	47
18	6.392	46	1.221	74	233	102	45
19	6.025	47	1.151	75	220	103	42
20	5.679	48	1.085	76	207	104	40
21	5.353	49	1.023	77	195	105	37
22	5.046	50	964	78	184	106	35
23	4.756	51	909	79	174	107	33
24	4.483	52	856	80	164	108	31
25	4.226	53	807	81	154	109	29
26	3.983	54	761	82	145	110	28
27	3.754	55	717	83	137	111	26
28	3.539	56	676	84	129	112	25

Tabel 4.20 Estimasi Rata-rata *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem Trolley *Container Crane* 01 dengan Parameter GA (Lanjutan)

N	<i>Lifetime</i> (Jam)	N	<i>Lifetime</i> (Jam)	N	<i>Lifetime</i> (Jam)	N	<i>Breakdown</i> (Jam)
113	23	132	8	152	2	1	23
114	22	133	7	153	2	2	17
115	21	134	7	154	2	3	13
116	19	135	6	155	2	4	10
117	18	136	6	156	2	5	7
118	17	137	6	157	2	6	6
119	16	138	5	158	2	7	4
120	15	139	5	159	2	8	3
121	14	140	5	160	1	9	2
122	14	141	4	161	1	10	2
123	13	142	4	162	1	11	1
124	12	143	4	163	1	12	1
125	11	144	4	164	1	13	0
126	11	145	4	165	1		
127	10	147	3	166	1		
128	10	148	3	167	1		
129	9	149	3	168	0		
130	9	150	3				
131	8	151	2				

Adapun perhitungan rata-rata usia sistem dan rata-rata lama waktu perbaikan sistem setelah mengalami beberapa kali kerusakan pada Tabel 4.20 yang menunjukkan bahwa sistem trolley pada *Container Crane* 01 memiliki rata-rata sistem dapat beroperasi dengan baik hingga kerusakan kedua selama 16.459 jam atau 1,96 tahun. Sementara rata-rata lama yang diperlukan untuk melakukan perbaikan setelah sistem mengalami kerusakan kedua adalah selama 17 jam. Selain itu, pada Tabel 4.20 juga dapat diketahui bahwa sistem trolley pada *Container Crane* 01 tidak dapat beroperasi kembali setelah mengalami 167 kali kerusakan. Dimana, secara menyeluruh sistem ini diprediksi akan mampu beroperasi atau berfungsi dengan baik selama 36 tahun. Selain itu juga dapat diketahui bahwa setelah kerusakan ke-12 perusahaan sebaiknya melakukan penggantian pada komponen yang terdapat di sistem trolley tersebut.

4.5.3 Estimasi Rata-rata *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem Spreader *Container Crane* 03

Adapun estimasi rata-rata usia atau *lifetime* dan rata-rata lama perbaikan atau *breakdown* sistem spreader *Container Crane* 03 hingga mengalami kerusakan pertama diperoleh menggunakan persamaan (2.15) dengan hasil ditunjukkan pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Estimasi Rata-rata *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem Spreader *Container Crane* 03

Estimasi Parameter	Nilai	
	<i>Lifetime</i>	<i>Breakdown</i>
μ_{X_1} (jam)	14.687,2	17,407351
μ_{X_1} (tahun)	1,74952	0,002073

Berdasarkan Tabel 4.21 dapat diketahui bahwa rata-rata usia sistem spreader pada *Container Crane* 03 dari pertama kali digunakan hingga mengalami kerusakan pertama adalah 30 tahun. Sedangkan rata-rata lama waktu perbaikan sistem spreader pada *Container Crane* 03 setelah kerusakan pertama adalah selama 17 jam. Sementara rata-rata lama sistem spreader dapat beroperasi dengan baik hingga terjadinya kerusakan kedua dan seterusnya, serta rata-rata lama waktu perbaikan sistem spreader *Container Crane* 03 setelah terjadinya kerusakan kedua dan seterusnya dapat diperoleh melalui persamaan (2.20). Berdasarkan nilai rasio *lifetime* pada Tabel 4.5 dan estimasi rata-rata *lifetime* pada Tabel 4.21 dapat dihitung rata-rata sistem spreader *Container Crane* 03 dapat beroperasi dengan baik hingga mengalami kerusakan kedua, ketiga, dan seterusnya dengan persamaan berikut.

$$\mu_{Gn}(\text{jam}) = \frac{14.687,2}{2,035347^{n-1}}$$

Sedangkan rata-rata lama waktu perbaikan sistem spreader *Container Crane* 03 hingga terjadinya kerusakan kedua hingga ke- n dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

$$\mu_{Gn}(\text{jam}) = \frac{17,407351}{188,8851^{n-1}}$$

Berdasarkan kedua persamaan di atas, maka hasil perhitungan rata-rata sistem spreader pada *Container Crane* 03 dapat beroperasi dengan baik dan rata-rata lama waktu perbaikan

spreader pada *Container Crane* 03 hingga mengalami kerusakan kedua, ketiga sampai kerusakan ke- n dapat dilihat pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Estimasi Rata-rata *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem Spreader *Container Crane* 03

N	<i>Lifetime</i> (Jam)	N	<i>Lifetime</i> (Jam)	N	<i>Lifetime</i> (Jam)	N	<i>Breakdown</i> (Jam)
1	14.687	6	420	11	12	1	17,41
2	7.216	7	206	12	5	2	0,09
3	3.545	8	101	13	2	3	0
4	1.741	9	49	14	1		
5	855	10	24	15	0		

Pada Tabel 4.22 dapat diketahui bahwa sistem spreader pada *Container Crane* 03 memiliki rata-rata sistem dapat beroperasi dengan baik hingga kerusakan kedua selama 14.687 jam atau 1,75 tahun dengan rata-rata lama perbaikan setelah mengalami kerusakan kedua yaitu 0,09 jam. Sementara jika dilihat dari rata-rata usia sistem spreader setelah mengalami beberapa kali kerusakan, maka sistem spreader pada *Container Crane* 03 akan tidak dapat beroperasi kembali setelah mengalami kerusakan sebanyak 14 kali, sehingga perlu dilakukan tindakan pemeliharaan agar sistem dapat beroperasi kembali. Sistem spreader pada *Container Crane* 03 diprediksi akan dapat berfungsi dengan baik secara menyeluruh selama 28.864 jam atau 3,4 tahun.

Tabel 4.22 juga menjelaskan rata-rata lama sistem spreader diperbaiki setelah mengalami kerusakan ke-N, dapat diketahui bahwa rata-rata lama waktu perbaikan sistem spreader pada *Container Crane* 03 mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena pihak perusahaan telah belajar dari pengalaman kerusakan pertama sehingga pada kerusakan kedua perbaikan dapat lebih efisien. Selain itu juga dapat diketahui bahwa setelah sistem spreader pada *Container Crane* 03 mengalami kerusakan sebanyak 2 kali maka pihak perusahaan akan melakukan penggantian komponen pada sistem. Adapun hasil estimasi rata-rata *lifetime* dan *breakdown* sistem spreader *Container Crane* 03 sampai terjadinya kerusakan pertama apabila parameter yang digunakan adalah parameter *Geometric Process* yang telah dioptimasi menggunakan GA ditunjukkan pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Estimasi Rata-rata *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem Spreader *Container Crane* 03 dengan Parameter GA

Estimasi Parameter	Nilai	
	<i>Lifetime</i>	<i>Breakdown</i>
μ_{X1} (jam)	6.272,06	10,02251
μ_{X1} (tahun)	0,74712	0,001193

Tabel 4.23 menunjukkan rata-rata usia sistem spreader pada *Container Crane* 03 setelah terjadi kerusakan pertama adalah 0,7 tahun. Sedangkan rata-rata lama waktu perbaikannya setelah kerusakan pertama adalah selama 10 jam. Berdasarkan Tabel 4.23 dapat dikatakan juga bahwa setelah dilakukan optimasi dengan GA, rata-rata usia sistem spreader *Container Crane* 03 tidak lebih lama dibandingkan jika tidak dilakukan optimasi. Sementara rata-rata lama waktu perbaikan sistem lebih pendek jika dibandingkan dengan perhitungan dengan parameter tanpa dioptimasi.

Selain itu, rata-rata lama sistem spreader dapat beroperasi dengan baik hingga terjadinya kerusakan kedua dan seterusnya, serta rata-rata lama waktu perbaikan sistem spreader *Container Crane* 03 setelah terjadinya kerusakan kedua dan seterusnya dapat diperoleh melalui persamaan (2.20). Berdasarkan nilai rasio *lifetime* pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10, serta estimasi rata-rata *lifetime* pada Tabel 4.23 dapat dihitung rata-rata sistem spreader *Container Crane* 03 dapat beroperasi dengan baik hingga mengalami kerusakan kedua, ketiga, dan seterusnya dengan persamaan berikut.

$$\mu_{Gn}(\text{jam}) = \frac{6.272,06}{1,22228^{n-1}}$$

Sedangkan rata-rata lama waktu perbaikan sistem spreader *Container Crane* 03 hingga terjadinya kerusakan kedua hingga ke- n dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

$$\mu_{Gn}(\text{jam}) = \frac{10,02251}{2,33886^{n-1}}$$

Menilik kedua persamaan di atas, maka hasil perhitungan rata-rata sistem spreader pada *Container Crane* 03 dapat beroperasi dengan baik dan rata-rata lama waktu perbaikan spreader pada *Container Crane* 03 hingga mengalami kerusakan kedua, ketiga sampai kerusakan ke- n dapat dilihat pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24 Estimasi Rata-rata *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem Spreader *Container Crane* 03 dengan Parameter GA

N	<i>Lifetime</i> (Jam)	N	<i>Lifetime</i> (Jam)	N	<i>Lifetime</i> (Jam)	N	<i>Breakdown</i> (Jam)
1	6.272	17	253	32	12	1	10.0
2	5.131	18	207	33	10	2	4.3
3	4.198	19	169	34	8	3	1.8
4	3.435	20	138	35	7	4	0
5	2.810	21	113	36	6		
6	2.299	22	93	37	5		
7	1.881	23	76	38	4		
8	1.539	24	62	39	3		
9	1.259	25	51	40	2		
10	1.030	26	42	41	2		
11	843	27	34	42	2		
12	690	28	28	43	1		
13	564	29	23	44	1		
14	462	30	19	45	1		
15	378	31	15	46	0		
16	309						

Dari Tabel 4.24 dapat diketahui bahwa rata-rata sistem spreader pada *Container Crane* 03 dapat beroperasi dengan baik hingga sistem tersebut mengalami kerusakan kedua adalah selama 5.131 jam atau 0,6 tahun. Dengan rata-rata lama perbaikan setelah terjadinya kerusakan kedua adalah selama 4,3 jam. Selain itu, Tabel 4.24 menjelaskan bahwa sistem spreader pada *Container Crane* 03 tidak dapat beroperasi kembali setelah mengalami 45 kali kerusakan. Secara menyeluruh sistem ini diprediksi akan mampu beroperasi atau berfungsi dengan baik selama 34.485 jam atau 4,1 tahun. Selain itu juga dapat diketahui bahwa setelah kerusakan ketiga perusahaan sebaiknya melakukan penggantian pada komponen yang terdapat di sistem spreader *Conatiner Crane* 03.

4.5.4 Estimasi Rata-rata *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem Trolley *Container Crane* 03

Estimasi rata-rata usia atau *lifetime* dan rata-rata lama perbaikan atau *breakdown* sistem trolley *Container Crane* 03 hingga mengalami kerusakan pertama diperoleh menggunakan persamaan (2.15) dengan hasil ditunjukkan pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Estimasi Rata-rata *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem Trolley *Container Crane 03*

Estimasi Parameter	Nilai	
	<i>Lifetime</i>	<i>Breakdown</i>
μ_{X1} (jam)	16.945,5	761,904
μ_{X1} (tahun)	2,018521	0,09075

Tabel 4.25 di atas menjelaskan bahwa rata-rata usia sistem trolley pada *Container Crane 03* setelah mengalami kerusakan pertama adalah 16.945,5 jam atau 2 tahun. Sedangkan rata-rata lama waktu perbaikan sistem trolley pada *Container Crane 03* setelah kerusakan pertama adalah selama 761,904 jam atau sekitar 33 hari. Selain itu, rata-rata lama sistem trolley dapat beroperasi dengan baik hingga terjadinya kerusakan kedua dan seterusnya, serta rata-rata lama waktu perbaikan sistem trolley *Container Crane 03* setelah terjadinya kerusakan kedua dan seterusnya dapat diperoleh melalui persamaan (2.20). Berdasarkan nilai rasio *lifetime* pada Tabel 4.4, serta estimasi rata-rata *lifetime* pada Tabel 4.25 dapat dihitung rata-rata sistem trolley *Container Crane 03* dapat beroperasi dengan baik hingga mengalami kerusakan kedua, ketiga, dan seterusnya dengan persamaan berikut.

$$\mu_{Gn}(\text{jam}) = \frac{16.945,5}{1,559776^{n-1}}$$

Sedangkan rata-rata lama waktu perbaikan sistem trolley *Container Crane 03* hingga terjadinya kerusakan kedua hingga ke- n dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

$$\mu_{Gn}(\text{jam}) = \frac{761,904}{12,79496^{n-1}}$$

Berdasarkan kedua persamaan di atas maka hasil perhitungan rata-rata usia sistem dan rata-rata lama waktu perbaikan sistem setelah mengalami beberapa kali kerusakan dapat dilihat pada Tabel 4.26. Pada Tabel 4.26 dapat diketahui bahwa sistem trolley pada *Container Crane 03* dapat beroperasi dengan baik hingga terjadinya kerusakan kedua adalah selama 10864 jam atau 1,29 tahun. Dengan rata-rata lama sistem diperbaiki setelah mengalami kerusakan kedua adalah selama 59,54 jam. Selain itu, Tabel 4.26 juga menunjukkan bahwa sistem trolley *Container Crane 03* tidak dapat beroperasi kembali setelah mengalami 23

kali kerusakan. Dimana agar sistem dapat beroperasi kembali maka harus dilakukan pemeliharaan, ataupun penggantian komponen penyebab kerusakan.

Tabel 4.26 Estimasi Rata-rata *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem Trolley *Container Crane* 03

N	<i>Lifetime</i> (Jam)	N	<i>Lifetime</i> (Jam)	N	<i>Breakdown</i> (Jam)
1	16.945	14	52	1	761,90
2	10.864	15	33	2	59,54
3	6.965	16	21	3	4,65
4	4.465	17	13	4	0,36
5	2.862	18	8	5	0,02
6	1.835	19	5	6	0
7	1.176	20	3		
8	754	21	2		
9	483	22	1,5		
10	310	23	1		
11	198	24	0		
12	127				
13	81				

Berdasarkan Tabel 4.26 di atas memberikan informasi bahwa secara menyeluruh sistem trolley pada *Container Crane* 03 diprediksi akan mampu beroperasi atau berfungsi dengan baik selama 47.204,5 jam atau 7,7 tahun. Sementara jika dilihat dari rata-rata lama perbaikan sistem menunjukkan bahwa rata-rata lama perbaikan sistem trolley *Container Crane* 03 mengalami penurunan. Dimana setelah kerusakan ketujuh perusahaan sebaiknya melakukan penggantian pada komponen yang terdapat di sistem trolley tersebut.

Adapun hasil estimasi rata-rata *lifetime* dan *breakdown* pada sistem trolley *Container Crane* 03 setelah mengalami kerusakan pertama dengan melibatkan parameter yang telah dioptimasi menggunakan *Genetic Algorithm* adalah sebagai berikut

Tabel 4.277 Estimasi Rata-rata *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem Trolley *Container Crane* 03 dengan Parameter GA

Estimasi Parameter	Nilai	
	<i>Lifetime</i>	<i>Breakdown</i>
μ_{x_1} (jam)	4.729,73	438,596
μ_{x_1} (tahun)	0,56339	0,05224

Tabel 4.27 menunjukkan rata-rata usia sistem trolley pada *Container Crane* 03 setelah terjadi kerusakan pertama adalah 0,5 tahun. Sedangkan rata-rata lama waktu perbaikan sistem trolley pada *Container Crane* 03 setelah kerusakan pertama adalah selama 19 hari. Berdasarkan Tabel 4.27 juga dapat dikatakan bahwa setelah dilakukan optimasi dengan GA, rata-rata usia sistem spreader sampai kerusakan pertama tidak lebih lama dibandingkan jika tidak dilakukan optimasi. Sementara rata-rata lama waktu perbaikan sistem lebih pendek jika dibandingkan dengan perhitungan dengan parameter tanpa dioptimasi.

Sementara, rata-rata lama sistem trolley dapat beroperasi dengan baik hingga terjadinya kerusakan kedua dan seterusnya, serta rata-rata lama waktu perbaikan sistem trolley *Container Crane* 03 setelah terjadinya kerusakan kedua dan seterusnya dapat diperoleh melalui persamaan (2.20). Berdasarkan nilai rasio *lifetime* pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10, serta estimasi rata-rata *lifetime* pada Tabel 4.27 dapat dihitung rata-rata sistem trolley *Container Crane* 03 dapat beroperasi dengan baik hingga mengalami kerusakan kedua, ketiga, dan seterusnya dengan persamaan berikut.

$$\mu_{Gn}(\text{jam}) = \frac{4.729,73}{1,07778^{n-1}}$$

Sedangkan rata-rata lama waktu perbaikan sistem trolley *Container Crane* 03 hingga terjadinya kerusakan kedua hingga ke- n dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

$$\mu_{Gn}(\text{jam}) = \frac{438,596}{2,13068^{n-1}}$$

Berdasarkan kedua persamaan di atas maka dapat dilakukan perhitungan rata-rata sistem trolley *Container Crane* 03 dapat beroperasi dengan baik hingga mengalami kerusakan kedua dan seterusnya, serta rata-rata lama waktu perbaikan sistem trolley *Container Crane* 03 setelah mengalami kerusakan kedua, ketiga, dan seterusnya sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.28. Pada Tabel 4.28 menunjukkan bahwa rata-rata sistem trolley *Container Crane* 03 dapat beroperasi dengan baik setelah perbaikan pertama hingga kerusakan kedua adalah selama 4388 jam atau 0,52 tahun. Dengan rata-rata lama perbaikan setelah mengalami kerusakan

kedua adalah 205,8 jam. Berikut merupakan rata-rata *lifetime* dan *breakdown* sistem trolley *Container Crane* 03 setelah mengalami kerusakan kedua.

Tabel 4.28 Estimasi Rata-rata *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem Trolley *Container Crane* 03 dengan Parameter GA

N	<i>Lifetime</i> (Jam)	N	<i>Lifetime</i> (Jam)	N	<i>Lifetime</i> (Jam)	N	<i>Breakdown</i> (Jam)
1	4.729	39	237	77	15	1	438.6
2	4.388	40	220	78	14	2	205.8
3	4.071	41	204	79	13	3	96.6
4	3.777	42	219	80	12	4	45.3
5	3.505	43	203	81	11	5	21.3
6	3.252	44	188	82	10	6	10.0
7	3.017	45	175	83	10	7	4.7
8	2.799	46	162	84	9	8	2.2
9	2.597	47	150	85	8	9	1.0
10	2.410	48	139	86	8	10	0
11	2.236	49	129	87	7		
12	2.074	50	120	88	7		
13	1.925	51	111	89	6		
14	1.786	52	103	90	6		
15	1.657	53	96	91	5		
16	1.537	54	89	92	5		
17	1.426	55	82	93	4		
18	1.323	56	76	94	4		
19	1.228	57	71	95	4		
20	1.139	58	66	96	3		
21	1.057	59	61	97	3		
22	980	60	56	98	3		
23	910	61	52	99	3		
24	844	62	49	100	2		
25	783	63	45	101	2		
26	726	64	42	102	2		
27	674	65	39	103	2		
28	625	66	36	104	2		
29	580	67	33	105	2		
30	538	68	31	106	1		
31	499	69	29	107	1		
32	463	70	26	108	1		
33	430	71	24	109	1		
34	399	72	23	110	1		

Tabel 4.28 Estimasi Rata-rata *Lifetime* dan *Breakdown* Sistem Trolley *Container Crane* 03 dengan Parameter GA (Lanjutan)

	<i>Lifetime</i> (Jam)	N	<i>Lifetime</i> (Jam)	N	<i>Lifetime</i> (Jam)
35	370	73	21	111	1
36	343	74	19	112	1
37	318	75	18	113	1
38	295	76	17	114	0

Tabel 4.28 menunjukkan bahwa sistem trolley *Container Crane* 03 tidak dapat beroperasi kembali setelah mengalami 113 kali kerusakan. Secara menyeluruh sistem ini diprediksi akan mampu beroperasi atau berfungsi dengan baik selama 7,7 tahun. Selain itu juga dapat diketahui bahwa setelah kerusakan ke-9 perusahaan sebaiknya melakukan penggantian pada komponen yang terdapat di sistem trolley *Container Crane* 03.

4.6 Penentuan Kebijakan Waktu Optimum Tindakan *Preventive Maintenance*

Dalam menentukan waktu untuk melakukan tindakan pemeliharaan preventif (*preventif maintenance*) pada suatu komponen memerlukan perhitungan waktu yang tepat, begitu pula dengan penentuan waktu pemeliharaan preventif pada sistem spreader dan sistem trolley *Container Crane*. Disisi lain, tindakan *maintenance* juga mempertimbangkan biaya. Oleh karena itu, pada sub bab ini dibahas mengenai waktu optimum untuk melakukan penggantian komponen sistem spreader dan sistem trolley pada *Container Crane* di PT Pelabuhan Indonesia III (Persero). 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 untuk penggantian komponen.

Berdasarkan informasi yang diperoleh dari PT Pelabuhan Indonesia III (Persero), estimasi rata-rata biaya yang diperlukan untuk melakukan perawatan dan perbaikan jika sistem mengalami kerusakan pada kedua sistem tersebut adalah sebesar Rp 12.485.000 per bulan. Biaya ini didapatkan dari biaya untuk teknisi serta biaya alat dan bahan perawatan. Sedangkan estimasi rata-rata biaya penggantian komponen pada sistem spreader adalah sebesar

Rp 50.000.000, biaya ini merupakan biaya penggantian motor yang merupakan salah satu komponen utama sistem spreader. Sementara estimasi biaya penggantian untuk trolley didapatkan dari biaya penggantian komponen gearbox yang merupakan salah satu komponen utama pada trolley yaitu sebesar Rp 20.000.000. Nilai estimasi biaya tersebut selanjutnya disubstitusikan ke dalam persamaan $l(N)$ (2.23). Berikut merupakan fungsi rata-rata biaya perawatan dan penggantian untuk sistem spreader dan sistem trolley pada masing-masing *Container Crane*.

$$l(N) = \frac{12.485.000 \mu_{y_1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{b^{n-1}} + 50.000.000 - \mu_{x_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}}}{\mu_{x_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}} + \mu_{y_1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{b^{n-1}}}$$

Dengan merujuk nilai rasio dan estimasi rata-rata usia sistem pada pembahasan sebelumnya, selanjutnya disubstitusikan dalam persamaan matematis di atas maka dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

$$l(N) = \frac{12.485.000 \times 0,002309 \times \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{1,246511^{n-1}} + 50.000.000 - 3,851161 \times \sum_{n=1}^N \frac{1}{1,663587^{n-1}}}{3,851161 \times \sum_{n=1}^N \frac{1}{1,663587^{n-1}} + 0,002309 \times \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{1,246511^{n-1}}}$$

Sedangkan persamaan rata-rata biaya jangka panjang untuk sistem spreader pada *Container Crane 01* dengan parameter yang telah dioptimasi dengan *Genetic Algorithm* adalah sebagai berikut.

$$l(N) = \frac{12.485.000 \times 0,001337 \times \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{2,354443^{n-1}} + 50.000.000 - 1,996624 \times \sum_{n=1}^N \frac{1}{1,204527^{n-1}}}{1,996624 \times \sum_{n=1}^N \frac{1}{1,204527^{n-1}} + 0,001337 \times \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{2,354443^{n-1}}}$$

Berdasarkan persamaan di atas maka diperoleh rata-rata biaya jangka panjang untuk sistem spreader pada *Container Crane 01* sebagai berikut.

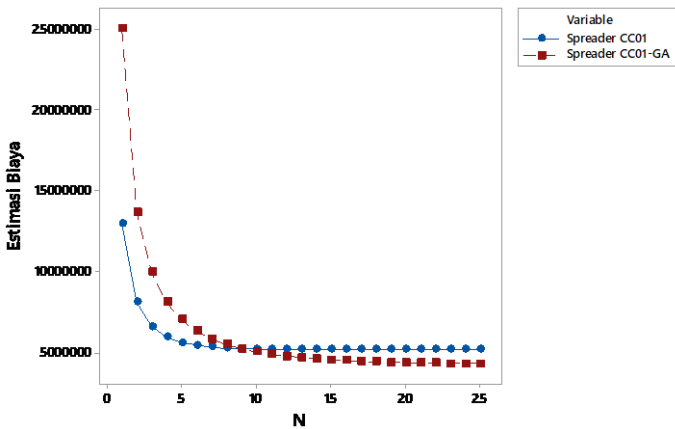
Tabel 4.29 Rata-rata Biaya Jangka Panjang Sistem Spreader CC01

Kerusakan ke (N)	$l_1(N)$	$l_1(N) - GA$
1	12.982.799	25.033.867
2	8.110.445	13.682.357
3	6.617.580	9.940.598
4	5.958.320	8.101.522
5	5.621.672	7.022.889
6	5.437.013	6.323.890

Tabel 4.29 Rata-rata Biaya Jangka Panjang Sistem Spreader CC01 (Lanjutan)

Kerusakan ke (N)	$l_1(N)$	$l_1(N) - GA$
7	5.331.738	5.841.218
8	5.270.396	5.493.140
9	5.234.196	5.234.195
10	5.212.675	5.037.065
11	5.199.823	4.884.347
12	5.192.128	4.764.422
13	5.187.514	4.669.245
14	5.184.744	4.593.071
15	5.183.080	4.531.694
16	5.182.081	4.481.971
17	5.181.480	4.441.512
18	5.181.119	4.408.474
19	5.180.902	4.381.418
20	5.180.772	4.359.206
21	5.180.693	4.340.936
22	5.180.646	4.325.884
23	5.180.618	4.313.467
24	5.180.601	4.303.213
25	5.180.591	4.294.737

Dari Tabel 4.29 di atas selanjutnya dibuat plot antara $l_1(N)$ dengan N sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.3 berikut.

**Gambar 4.6** Plot Jumlah Kerusakan (N) dengan Rata-rata Biaya Sistem Spreader Container Crane 01

Estimasi rata-rata biaya jangka panjang sistem spreader pada *Container Crane* 01 per tahun ditunjukkan melalui Gambar 4.6. Dimana plot warna merah menunjukkan plot estimasi biaya jangka panjang dengan perhitungan parameter r setelah dioptimasi menggunakan GA dan plot warna biru dengan parameter yang diperoleh melalui OLS. Berdasarkan plot tersebut, estimasi rata-rata biaya jangka panjang sistem spreader pada *Container Crane* 01 semakin lama semakin menurun sejalan dengan jumlah kerusakan yang terjadi. Meskipun semakin lama estimasi rata-rata biaya jangka panjang tersebut menuju stasioner atau memiliki nilai yang mendekati konvergen, namun apabila sistem sering mengalami kerusakan dan membutuhkan beberapa kali perbaikan maka usia sistem tersebut juga akan semakin memendek. Penurunan usia sistem spreader *Container Crane* 01 dari waktu ke waktu ditunjukkan pada Tabel 4.14. Oleh karena itu, untuk mengantisipasi terjadinya kerusakan terus menerus pada sistem tersebut dapat dilakukan pemeliharaan preventif dengan melakukan pengecekan keseluruhan komponen sistem dan melakukan penggantian komponen motor baru.

Berdasarkan Gambar 4.6, maka pemeliharaan preventif pada sistem spreader *Container Crane* 01 paling optimum dengan parameter tanpa dioptimasi adalah saat mesin mengalami kerusakan ke-7. Estimasi biaya pada kerusakan ke-7 hingga seterusnya cenderung memiliki nilai yang hampir sama dengan selisih biaya yang tidak terlalu signifikansi. Selain itu, apabila perusahaan tidak melakukan pemeliharaan pada kerusakan ke-7 maka mesin hanya dapat bekerja selama 9,3 tahun. Oleh karena itu, kegiatan pemeliharaan preventif yang optimum pada sistem spreader *Container Crane* 01 dilakukan saat terjadi kerusakan ke-9 dengan estimasi biaya sebesar Rp 5.331.738. Sedangkan jika menggunakan perhitungan yang melibatkan parameter yang telah dioptimasi menunjukkan bahwa pemeliharaan preventif pada sistem spreader *Container Crane* 01 paling optimum adalah saat mesin mengalami kerusakan ke-9 juga dengan estimasi biaya Rp 5.234.195 atau setelah sistem spreader beroperasi selama 9,5 tahun.

Sementara rata-rata biaya jangka panjang untuk sistem spreader pada *Container Crane* 03 dapat diperoleh dengan

persamaan berikut, dengan merujuk nilai rasio dan estimasi rata-rata *lifetime* dan *breakdown* pada kerusakan pertama.

$$I(N) = \frac{12.485.000 \times 0,002073 \times \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{188,8351^{n-1}} + 50.000.000 - 1,74952 \times \sum_{n=1}^N \frac{1}{2,035347^{n-1}}}{1,74952 \times \sum_{n=1}^N \frac{1}{2,035347^{n-1}} + 0,002073 \times \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{188,8351^{n-1}}}$$

Sedangkan persamaan rata-rata biaya jangka panjang dengan parameter yang telah dioptimasi dengan *GA* sebagai berikut.

$$I(N) = \frac{12.485.000 \times 0,001193 \times \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{2,338861^{n-1}} + 50.000.000 - 0,74712 \times \sum_{n=1}^N \frac{1}{1,222279^{n-1}}}{0,74712 \times \sum_{n=1}^N \frac{1}{1,222279^{n-1}} + 0,001193 \times \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{2,338861^{n-1}}}$$

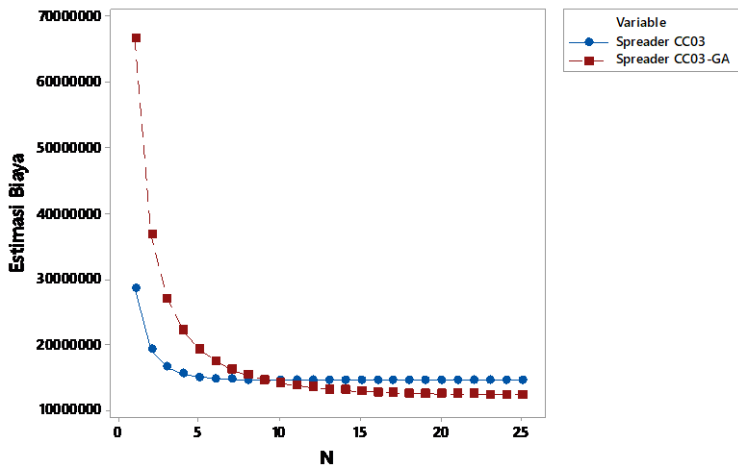
Berdasarkan persamaan di atas maka diperoleh rata-rata biaya jangka panjang untuk sistem spreader pada *Container Crane 03* sebagai berikut

Tabel 4.30 Rata-rata Biaya Jangka Panjang Sistem Spreader CC03

Kerusakan ke (N)	$I_1(N)$	$I_1(N) - GA$
1	28.560.262	66.836.864
2	19.158.509	36.787.432
3	16.491.254	26.890.742
4	15.435.458	22.041.543
5	14.964.744	19.208.184
6	14.743.836	17.380.439
7	14.637.673	16.125.139
8	14.586.072	15.225.473
9	14.560.852	14.560.826
10	14.548.493	14.058.721
11	14.542.429	13.672.976
12	14.539.451	13.372.779
13	14.537.988	13.136.806
14	14.537.270	12.949.852
15	14.536.917	12.800.808
16	14.536.743	12.681.397
17	14.536.658	12.585.346
18	14.536.616	12.507.838
19	14.536.596	12.445.132
20	14.536.586	12.394.295
21	14.536.581	12.353.011
22	14.536.578	12.319.438
23	14.536.577	12.292.107
24	14.536.576	12.269.835

25	14.536.576	12.251.674
----	------------	------------

Berikut merupakan plot antara $I_j(N)$ dengan N jumlah kerusakan pada sistem spreader *Container Crane 03*.



Gambar 4.7 Plot Jumlah Kerusakan (N) dengan Rata-rata Biaya Sistem Spreader *Container Crane 03*

Gambar 4.7 di atas menunjukkan plot estimasi rata-rata biaya jangka panjang sistem spreader pada *Container Crane 03* per tahun ditunjukkan dengan jumlah kerusakan yang terjadi. Plot di atas menggambarkan estimasi rata-rata biaya jangka panjang sistem spreader pada *Container Crane 03* semakin lama semakin menurun sejalan dengan jumlah kerusakan yang terjadi. Meskipun semakin lama estimasi rata-rata biaya jangka panjang tersebut stasioner, jika sistem spreader mengalami kerusakan dan memerlukan beberapa kali perbaikan maka usia sistem tersebut juga akan semakin menurun. Penurunan usia sistem spreader *Container Crane 03* dari waktu ke waktu ditunjukkan pada Tabel 4.22. Sama halnya dengan sistem spreader *Container Crane 01*, untuk mengantisipasi terjadinya kerusakan terus menerus pada sistem tersebut dapat dilakukan pemeliharaan preventif dengan melakukan pengecekan keseluruhan komponen sistem dan melakukan penggantian komponen motor baru.

Plot pada Gambar 4.7 menunjukkan bahwa pemeliharaan preventif pada sistem spreader *Container Crane 03* paling optimum adalah saat mesin mengalami kerusakan ke-7. Dimana

selisih estimasi biaya jangka panjang yang dihitung menggunakan parameter tanpa dioptimasi pada kerusakan ke-7 dan seterusnya cenderung memiliki selisih biaya yang tidak terlalu signifikan. Selain itu, apabila perusahaan tidak melakukan pemeliharaan pada kerusakan ke-7 maka mesin hanya dapat bekerja selama 3,2 tahun. Oleh karena itu, kegiatan pemeliharaan preventif yang optimum pada sistem spreader *Container Crane* 03 dilakukan saat terjadi kerusakan ke-7 dengan estimasi biaya sebesar Rp 14.637.637. Sedangkan jika menggunakan perhitungan yang melibatkan parameter yang telah dioptimasi menunjukkan bahwa pemeliharaan preventif pada sistem spreader *Container Crane* 03 paling optimum adalah saat mesin mengalami kerusakan ke-9 dengan estimasi biaya Rp 14.560.836 atau setelah sistem spreader beroperasi selama 3,4 tahun.

Selanjutnya dalam penentuan waktu optimum pemeliharaan preventif pada sistem trolley masing-masing *Container Crane* digunakan fungsi rata-rata biaya perawatan dan penggantian untuk sistem sebagai berikut.

$$I(N) = \frac{12.485.000\mu_{Y_1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{b^{n-1}} + 20.000.000 - \mu_{X_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}}}{\mu_{X_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}} + \mu_{Y_1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{b^{n-1}}}$$

Dengan merujuk nilai rasio dan estimasi rata-rata usia sistem pada pembahasan sebelumnya, selanjutnya disubstitusikan dalam persamaan matematis di atas maka rata-rata biaya jangka panjang untuk sistem trolley pada *Container Crane* 01 dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

$$I(N) = \frac{12.485.000 \times 0,009327 \times \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{6,716142^{n-1}} + 20.000.000 - 5,458919 \times \sum_{n=1}^N \frac{1}{1,246511^{n-1}}}{5,458919 \times \sum_{n=1}^N \frac{1}{1,246511^{n-1}} + 0,009327 \times \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{6,716142^{n-1}}}$$

Sedangkan persamaan rata-rata biaya jangka panjang dengan parameter yang telah dioptimasi dengan *Genetic Algorithm* adalah.

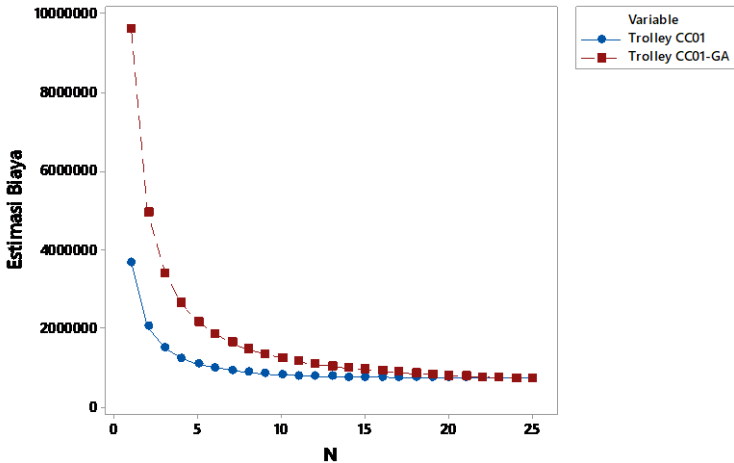
$$I(N) = \frac{12.485.000 \times 0,002713 \times \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{1,328484^{n-1}} + 20.000.000 - 2,080100 \times \sum_{n=1}^N \frac{1}{1,060912^{n-1}}}{2,080100 \times \sum_{n=1}^N \frac{1}{1,060912^{n-1}} + 0,002713 \times \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{1,328484^{n-1}}}$$

Berdasarkan fungsi rata-rata biaya jangka panjang di atas selanjutnya diperoleh hasil rata-rata biaya jangka panjang untuk sistem trolley pada *Container Crane 01* sebagai berikut.

Tabel 4.31 Rata-rata Biaya Jangka Panjang Sistem Trolley CC01

Kerusakan ke (N)	$I_1(N)$	$I_1(N) - GA$	Kerusakan ke (N)	$I_1(N)$	$I_1(N) - GA$
1	3.678.774,8	9.618.660	14	764.142,9	986.574
2	2.042.775	4.954.605	15	756.971,1	944.539
3	1.506.761,3	3.403.569	16	751.314,3	908.067
4	1.244.444,8	2.629.062	17	746.836,9	876.174
5	1.091.887,3	2.165.127	18	743.283,3	848.095
6	994.110,2	1.856.509	19	740.456,9	823.226
7	927.479,2	1.636.676	20	738.204,9	801.082
8	880.152,6	1.472.359	21	736.408,1	781.273
9	845.539,6	1.345.071	22	734.973	763.477
10	819.679,5	1.243.716	23	733.825,7	747.428
11	800.049,7	1.161.228	24	732.907,9	732.906
12	784.968,7	1.092.896	25	732.173,3	719.725
13	773.275,1	1.035.456			

Adapun plot estimasi rata-rata biaya jangka panjang sistem trolley pada *Container Crane 01* dengan N jumlah kerusakan ditunjukkan pada Gambar 4.8 berikut.



Gambar 4.8 Plot Jumlah Kerusakan (N) dengan Rata-rata Biaya Sistem Trolley *Container Crane 01*

Estimasi rata-rata biaya jangka panjang sistem trolley pada *Container Crane* 01 per tahun ditunjukkan pada Gambar 4.8. Berdasarkan plot tersebut, estimasi rata-rata biaya jangka panjang sistem trolley pada *Container Crane* 01 semakin lama semakin menurun sejalan dengan jumlah kerusakan yang terjadi. Meskipun semakin lama estimasi rata-rata biaya jangka panjang tersebut menuju stasioner, apabila sistem sering mengalami kerusakan dan dilakukan beberapa kali perbaikan maka usia sistem tersebut juga akan semakin memendek. Penurunan usia sistem trolley *Container Crane* 01 dari waktu ke waktu ditunjukkan pada Tabel 4.18. Oleh karena itu, untuk mengantisipasi terjadinya kerusakan terus menerus pada sistem tersebut dapat dilakukan pemeliharaan preventif dengan melakukan pengecekan keseluruhan komponen sistem dan melakukan penggantian komponen motor baru.

Berdasarkan Gambar 4.8, maka pemeliharaan preventif pada sistem trolley *Container Crane* 01 paling optimum adalah saat mesin mengalami kerusakan ke-5. Estimasi biaya jangka panjang yang dihitung menggunakan parameter tanpa dioptimasi pada kerusakan ke-5 hingga seterusnya cenderung memiliki nilai yang sama dengan selisih biaya yang tidak terlalu signifikan. Selain itu, apabila perusahaan tidak melakukan pemeliharaan pada kerusakan ke-5 maka mesin hanya dapat bekerja selama 18 tahun. Kondisi ini dapat mengganggu kinerja *Container Crane* karena sistem harus diperbaiki lagi dalam jangka waktu yang pendek. Oleh karena itu, kegiatan pemeliharaan preventif yang optimum pada sistem trolley *Container Crane* 01 dilakukan saat terjadi kerusakan ke-5 dengan estimasi biaya sebesar Rp 1.091.887.

Sementara jika menggunakan perhitungan yang melibatkan parameter yang telah dioptimasi menunjukkan bahwa pemeliharaan preventif pada sistem trolley *Container Crane* 01 paling optimum adalah saat mesin mengalami kerusakan ke-7 dengan estimasi biaya Rp 1.636.676 atau setelah sistem spreader beroperasi selama 12 tahun. Adapun hasil rata-rata biaya jangka panjang untuk sistem trolley pada *Container Crane* 03 dapat diperoleh dengan persamaan matematis sebagai berikut.

$$l(N) = \frac{12.485.000 \times 0,09075 \times \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{12,79496^{n-1}} + 20.000.000 - 2,018521 \times \sum_{n=1}^N \frac{1}{1,559776^{n-1}}}{2,018521 \times \sum_{n=1}^N \frac{1}{1,559776^{n-1}} + 0,09075 \times \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{12,79496^{n-1}}}$$

Sedangkan persamaan rata-rata biaya jangka panjang untuk sistem trolley *Container Crane* 03 dengan parameter yang telah dioptimasi dengan *Genetic Algorithm* adalah sebagai berikut.

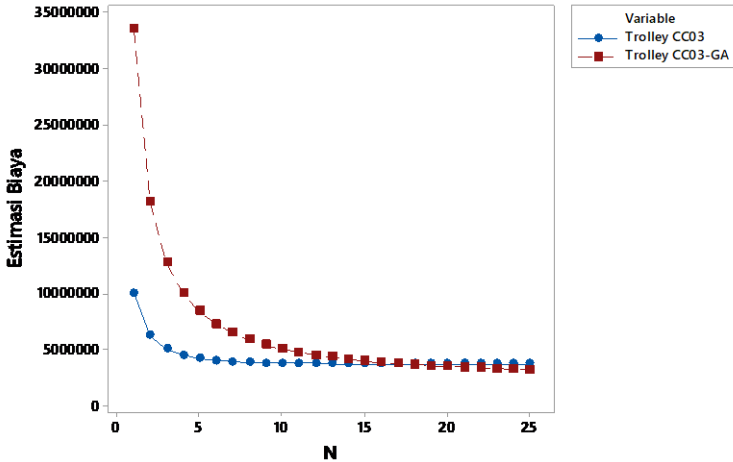
$$l(N) = \frac{12.485.000 \times 0,05225 \times \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{2,130682^{n-1}} + 20.000.000 - 0,56339 \times \sum_{n=1}^N \frac{1}{1,077789^{n-1}}}{0,56339 \times \sum_{n=1}^N \frac{1}{1,077789^{n-1}} + 0,05225 \times \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{2,130682^{n-1}}}$$

Berdasarkan fungsi rata-rata biaya jangka panjang di atas selanjutnya diperoleh hasil rata-rata biaya jangka panjang untuk sistem trolley pada *Container Crane* 03 sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.32.

Tabel 4.32 Rata-rata Biaya Jangka Panjang Sistem Trolley CC03

Kerusakan ke (N)	$l_1(N)$	$l_1(N) - GA$	Kerusakan ke (N)	$l_1(N)$	$l_1(N) - GA$
1	10.019.113	33.546.474	19	3.710.283	3.524.184
2	6.209.429	18.142.119	20	3.710.002	3.446.528
3	5.004.921	12.718.393	21	3.709.821	3.377.476
4	4.447.980	10.003.896	22	3.709.706	3.315.838
5	4.151.420	8.359.777	23	3.709.632	3.260.627
6	3.981.209	7.255.143	24	3.709.584	3.211.019
7	3.879.236	6.462.702	25	3.709.554	3.166.324
8	3.816.562	5.867.758			
9	3.777.436	5.405.818			
10	3.752.770	5.037.728			
11	3.737.126	4.738.314			
12	3.727.164	4.490.647			
13	3.720.805	4.282.926			
14	3.716.740	4.106.668			
15	3.714.138	3.955.626			
16	3.712.472	3.825.093			
17	3.711.405	3.711.456			
18	3.710.721	3.611.897			

Adapun plot estimasi rata-rata biaya jangka panjang sistem trolley pada *Container Crane* 03 dengan N jumlah kerusakan ditunjukkan pada Gambar 4.9 berikut.



Gambar 4.9 Plot Jumlah Kerusakan (N) dengan Rata-rata Biaya Sistem Trolley *Container Crane 03*

Berdasarkan plot tersebut, estimasi rata-rata biaya jangka panjang sistem trolley pada *Container Crane 03* semakin lama semakin menurun sejalan dengan jumlah kerusakan yang dialami. Meskipun semakin lama estimasi rata-rata biaya jangka panjang semakin stasioner, apabila sistem sering mengalami kerusakan dan beberapa kali diperbaiki maka usia sistem tersebut juga akan semakin pendek. Penurunan usia sistem trolley *Container Crane 03* dari waktu ke waktu ditunjukkan pada Tabel 4.26. Oleh karena itu, untuk mengantisipasi terjadinya kerusakan terus menerus pada sistem tersebut dapat dilakukan pemeliharaan preventif dengan melakukan pengecekan keseluruhan komponen sistem dan melakukan penggantian komponen gearbox baru.

Pemeliharaan preventif pada sistem trolley *Container Crane 03* paling optimum adalah ketika sistem mengalami kerusakan ke-5. Estimasi biaya pada kerusakan ke-5 hingga seterusnya cenderung memiliki nilai yang hampir sama dengan selisih biaya yang tidak terlalu signifikan. Selain itu, apabila perusahaan tidak melakukan pemeliharaan pada kerusakan ke-5 maka mesin hanya dapat bekerja selama 5 tahun. Kondisi ini dapat mengganggu kinerja *Container Crane* karena sistem harus diperbaiki lagi dalam jangka waktu yang pendek. Oleh karena itu, kegiatan pemeliharaan preventif yang optimum pada sistem trolley *Container Crane 03*

dilakukan saat terjadi kerusakan ke-5 dengan estimasi biaya sebesar Rp 4.151.420.

Sementara jika menggunakan perhitungan yang melibatkan parameter yang telah dioptimasi menunjukkan bahwa pemeliharaan preventif pada sistem trolley *Container Crane* 03 paling optimum adalah saat mesin mengalami kerusakan ke-9 dengan estimasi biaya Rp 5.748.673 atau setelah sistem trolley beroperasi selama 5,2 tahun.

4.7 Perbandingan Rata-rata Biaya Jangka Panjang dengan Parameter OLS dan OLS-GA

Pada sub bab sebelumnya telah dijelaskan hasil perhitungan rata-rata biaya jangka panjang untuk melakukan *preventive maintenance* dengan menggunakan parameter *Geometric Process* yang diperoleh dari OLS dan menggunakan parameter *Geometric Process* yang telah dioptimasi dengan *Genetic Algorithm*. Hasil rata-rata biaya jangka panjang dengan jumlah kerusakan ke- n ditunjukkan oleh Gambar 4.6, Gambar 4.7, Gambar 4.8, dan Gambar 4.9.

Berdasarkan keempat plot tersebut, menunjukkan bahwa masing-masing sistem memiliki nilai rata-rata biaya jangka panjang yang berbeda-beda di setiap kerusakannya. Selain itu, jika merujuk gambar tersebut waktu optimum untuk melakukan *preventive maintenance* untuk masing-masing sistem juga berbeda-beda. Dari keempat plot di atas menunjukkan bahwa rata-rata biaya jangka panjang yang diperoleh dengan menggunakan parameter *Geometric Process* dengan OLS memiliki nilai yang lebih cepat mendekati konvergen dibandingkan dengan rata-rata biaya jangka panjang jika menggunakan parameter OLS yang dioptimasi dengan GA.

Pada pembahasan sebelumnya telah dibahas mengenai rata-rata biaya jangka panjang sistem spreader *Container Crane* 01. Berdasarkan pembahasan tersebut dapat diketahui bahwa waktu optimum pemeliharaan preventif pada sistem spreader *Container Crane* 01 diperoleh dengan menggunakan *Geometric Process* dengan optimasi parameter menggunakan *Genetic Algorithm* yaitu pada kerusakan ke-9 atau setelah beroperasi selama 9,5 tahun dengan estimasi biaya sebesar Rp 5.234.195. Dimana biaya jangka

panjang yang dihasilkan lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil rata-rata biaya jangka panjang pada pemodelan dengan OLS saja. Sama halnya dengan sistem spreader *Container Crane 03*, waktu optimum pemeliharaan preventif pada sistem spreader *Container Crane 03* diperoleh dengan menggunakan *Geometric Process* dengan optimasi parameter menggunakan *Genetic Algorithm* dengan waktu optimum pada kerusakan ke-9 atau setelah beroperasi selama 3,4 dengan estimasi biaya sebesar Rp 14.560.836. Dimana biaya jangka panjang yang dihasilkan lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil rata-rata biaya jangka panjang pada pemodelan dengan OLS saja.

Sementara waktu optimum pemeliharaan preventif pada sistem trolley *Container Crane 01* dan *Container Crane 03* diperoleh menggunakan *Geometric Process* dengan parameter tanpa dioptimasi. Dimana hasil rata-rata biaya jangka panjang yang dihasilkan lebih murah jika dibandingkan rata-rata biaya jangka panjang jika parameter dalam model dioptimasi dengan *Genetic Algorithm*. Adapun waktu optimum *preventive maintenance* sistem trolley pada *Container Crane 01* adalah pada kerusakan ke-5 atau setelah mesin beroperasi selama 18 tahun dengan estimasi biaya sebesar Rp 1.091.887. Sedangkan waktu optimum pemeliharaan preventif pada sistem trolley *Container Crane 03* adalah pada kerusakan ke-5 atau setelah mesin beroperasi selama 5 tahun dengan estimasi biaya sebesar Rp 4.151.420 per tahun.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada bab sebelumnya maka didapatkan waktu optimum pemeliharaan masing-masing sistem pada kedua *Container Crane* sebagai berikut.

1. Waktu optimum pemeliharaan preventif pada sistem spreader *Container Crane* 01 diperoleh dengan menggunakan *Geometric Process* dengan optimasi parameter menggunakan *Genetic Algorithm* yaitu pada kerusakan ke-9 atau setelah beroperasi selama 9,5 tahun dengan estimasi biaya sebesar Rp 5.234.195.
2. Waktu optimum pemeliharaan preventif pada sistem spreader *Container Crane* 03 diperoleh dengan menggunakan *Geometric Process* dengan optimasi parameter menggunakan *Genetic Algorithm* yaitu pada kerusakan ke-9 atau setelah beroperasi selama 3,4 dengan estimasi biaya sebesar Rp 14.560.836.
3. Waktu optimum pemeliharaan preventif pada sistem trolley *Container Crane* 01 diperoleh menggunakan *Geometric Process* yaitu pada kerusakan ke-5 atau setelah mesin beroperasi selama 18 tahun dengan estimasi biaya sebesar Rp 1.091.887.
4. Waktu optimum pemeliharaan preventif pada sistem trolley *Container Crane* 03 diperoleh menggunakan *Geometric Process* yaitu pada kerusakan ke-5 atau setelah mesin beroperasi selama 5 tahun dengan estimasi biaya sebesar Rp 4.151.420.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat direkomendasikan untuk penelitian selanjutnya dan untuk kebijakan pemeliharaan (*preventive maintenance*) di PT Pelindo III (Persero) adalah sebagai berikut.

1. Kegiatan pemeliharaan (*preventive maintenance*) *Container Crane* sebaiknya dilakukan dengan melihat perbedaan fungsi masing-masing sistem. Dimana masing-masing sistem memiliki *lifetime* yang berbeda-beda sehingga waktu untuk melakukan pemeliharaan juga berbeda. Oleh karena itu untuk tindakan pemeliharaan dapat dilakukan sesuai dengan hasil yang telah dipaparkan pada pembahasan sebelumnya.

2. Penelitian ini hanya terbatas pada kerusakan sistem yang disebabkan oleh faktor internal saja, namun kerusakan mesin juga bisa disebabkan oleh faktor eksternal. Oleh karena itu pada penelitian selanjutnya diharapkan peneliti mempertimbangkan faktor eksternal tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Adams, T. C. (2017, Juni 6). Retrieved from kscddms.ksc.nasa.gov :https://kscddms.ksc.nasa.gov/Reliability/Documents/Laplace_Test.pdf
- Blischke, W. R., & Murthy, D. P. (2003). *Case Studies In*. Canada: A John Wiley & Sons Publication.
- Draper, N. R., & Smith, H. (1981). *Applied Regression Analysis, Second Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Dumitrescu, D., Lazzzerini, B., Jain, L. C., Dumitrescu, A. (2000). *Evolutionary Computation*. Florida: CRC.
- Gunawan, D. (2012). Evolutionary Neural Network for Othello Game. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 419-425.
- Hoyland, A., & Rausand, M. (1994). *System Reliability Engineering Theory*. New York: John Wiley & Sons.
- Irhamah, Rahmatin, S. M., Kuswanto, H., & Wulandari, L. (2019, Maret 31). Classification of Pneumonia Patients Risk Using Genetic Algorithm-Discriminant Analysis and Naive Bayes. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 1845-1855.
- Lam, Y. (1992). A Note On The Optimal Replacement Problem. *Advances in Applied Probability*, Vol 20, 479-482.
- Lam, Y. (1992). Nonparametric Inference for Geometric Processes. *Communications in Statistics*, 2083-2105.
- Lasse, D. A. (2012). *Manajemen Muatan Aktivitas Rantai Pasok Di Area Pelabuhan*. Surabaya: Bisnis.com.
- Leung, F. K., & Fong, C. (2000). A-Repair Replacement Study for Gearboxes Using Geometric Processes. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol 17 (3), 285-304.
- Maulana, R. (2018). *Genjot Arus Barang, Pelindo III Tambah 5 Crane di Tanjung Perak*. Surabaya: Bisnis.com.
- O'Connor, P. (2012). *Practical Reliability Engineering*. New York: John Wiley & Sons.
- Paterlini, S., & Minerva, T. (2007). Regression Model Selection Using Genetic Algorithms. *Recent Advances in Neural*

- Network, Fuzzy Systems & Revolutionary Computing*, 19-27.
- Permatasari, P. (2016). *Optimasi Waktu Penggantian Komponen Air Cycle Machine (ACM) Pesawat Terbang CRJ-1000 Menggunakan Metode Geometric Process Studi Kasus Pada PT Garuda Maintenance Facility (GMF) AeroAsia*. Surabaya: ITS.
- Rajamani, L., Jadaan, O. A., & Rao, C. R. (2008). Improved Selection Operator for GA. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology (JATIT)*, 269-277.
- Raudina, Z. L. (2018). *Penentuan Waktu Optimum Preventive Maintenance Pada Mesin Pellet Mill Di PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk. Unit Margomulyo Menggunakan Metode Geometric Process*. Surabaya: ITS.
- Ridgon, S. E., & Basu, A. P. (2000). *Statistical Methods for The Reliability of Repairable System*. New York: John Wiley & Sons, INC.
- Setiawan, K. (2003). *Paradigma Sistem Cerdas*. Malang: Bayumedia.
- Sivanandam, S. N., & Deepa, S. N. (2008). *Introduction to Genetic Algorithms*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Sutopo. (2001). *Analisis Keselamatan Kerja Pada Proses Bongkar Muat Di Terminal Peti Kemas Surabaya*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Suyanto. (2005). *Algoritma Genetika dalam MATLAB*. Yogyakarta: Andi.
- Triamodjo, B. (2015). *Perencanaan Pelabuhan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Wang, G. J., & Zhang, Y. L. (2014). Geometric Process Model For A System With Inspections And Preventive Repair. *Computers & Industrial Engineering*, 13-19.
- Widarti, P. (2019). *Tarif Transshipment Turun 35 Persen Volume Kontainer Domestik Tanjung Perak Diyakini Naik 30 Persen*. Surabaya: Bisnis.com.
- Widodo, T. S. (2012). *Komputasi Evolusioner Algoritma Genetik, Pemrograman Genetik, dan Pemrograman Evolusioner*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data *Lifetime* dan *Breakdown* pada Sistem Spreader Container Crane 01

No	Tanggal	Sistem Spreader CC01			
		<i>Breakdown</i> (Jam)	<i>Breakdown</i> (Tahun)	<i>Lifetime</i> (Jam)	<i>Lifetime</i> (Tahun)
1	8 Januari 2017	2,5	0,00010	5210,05	0,62061
2	20 Februari 2017	1	0,00012	5926,54	0,70596
3	25 Maret 2017	1	0,00012	6478,29	0,77168
4	28 Maret 2017	2	0,00024	6523,56	0,77708
5	16 September 2017	0,5	0,00006	8837,23	1,05268
6	9 Januari 2018	1,5	0,00018	10468,4	1,24699
7	10 Juni 2018	8	0,00095	11983,9	1,42751
8	6 Juli 2018	2	0,00024	12154,3	1,44780
9	22 Agustus 2018	1	0,00012	12638,5	1,50547

Lampiran 2. Data *Lifetime* dan *Breakdown* pada Sistem Spreader Container Crane 03

No	Tanggal	Ssitem Spreader CC01			
		<i>Breakdown</i> (Jam)	<i>Breakdown</i> (Tahun)	<i>Lifetime</i> (Jam)	<i>Lifetime</i> (Tahun)
1	12 Januari 2017	0,5	0,00006	1610,56	0,19185
2	19 Januari 2017	0,5	0,00006	1726,35	0,20564
3	4 Juli 2017	2	0,00024	2931,16	0,34916
4	7 Juli 2017	7	0,00083	2931,16	0,34916
5	3 Agustus 2017	2	0,00024	2933,2	0,34940
6	30 Desember 2017	0,5	0,00006	2937,36	0,34989
7	4 Agustus 2018	3	0,00016	4175,31	0,49736
8	29 September 2018	0,5	0,00006	4781,81	0,56960
9	30 September 2018	1,5	0,00018	4797,89	0,57152

Lampiran 3. Data *Lifetime* dan *Breakdown* pada Sistem Trolley Container Crane 01

No	Tanggal	Sistem Trolley CC01			
		<i>Breakdown</i> (Jam)	<i>Breakdown</i> (Tahun)	<i>Lifetime</i> (Jam)	<i>Lifetime</i> (Tahun)
1	16 Maret 2017	1	0,00012	6329,35	0,75394
2	4 Mei 2017	1	0,00012	7018,14	0,83837
3	12 Juli 2017	7	0,00083	7909,58	0,94218
4	14 Juli 2017	2,5	0,00010	7934,30	0,94512
5	18 Juli 2017	3	0,00016	7993,02	0,95212
6	29 Juli 2017	1	0,00012	8146,31	0,97018
7	30 Juli 2017	4	0,00048	8162,44	0,97230
8	3 Agustus 2017	0,5	0,00006	8223,53	0,97957
9	23 Agustus 2017	4	0,00048	8518,16	1,01467
10	24 Agustus 2017	2	0,00024	8530,50	1,01614
11	23 September 2017	9	0,00107	8953,08	1,06648
12	17 November 2017	1	0,00012	9701,57	1,15587
13	27 November 2017	7,5	0,00089	9872,11	1,17595
14	19 Desember 2017	5,5	0,00066	10181,3	1,21278
15	20 Desember 2017	10,5	0,00125	10201,6	1,21519
16	1 Januari 2018	0,5	0,00006	10199,5	1,23877
17	17 Januari 2018	7,5	0,00089	10583,6	1,26070
18	8 Februari 2018	2	0,00024	10933,5	1,30238
19	10 Februari 2018	3,5	0,00042	10968,0	1,30649
20	22 April 2018	1	0,00012	11513,2	1,37143
21	23 April 2018	2,5	0,00010	11517,7	1,37197
22	27 April 2018	4	0,00048	11562,5	1,37730
23	13 Juli 2018	2	0,00024	12224,1	1,45612
24	22 November 2018	9,5	0,00113	13163,5	1,56801

Lampiran 4. Data *Lifetime* dan *Breakdown* pada Sistem Trolley Container Crane 03

No	Tanggal	Sistem Trolley CC01			
		<i>Breakdown</i> (Jam)	<i>Breakdown</i> (Tahun)	<i>Lifetime</i> (Jam)	<i>Lifetime</i> (Tahun)
1	1 Januari 2017	13	0,00155	1478,08	0,176067
2	4 Januari 2017	1	0,00012	1518,32	0,180860
3	5 Januari 2017	9	0,00107	1531,18	0,182392
4	22 Februari 2017	1	0,00012	2230	0,265634
5	20 April 2017	2,5	0,00010	2926	0,348541
6	25 April 2017	1	0,00012	2929,23	0,348926
7	30 April 2017	0,5	0,00006	2929,23	0,348926
8	4 Mei 2017	1	0,00012	2929,23	0,348926
9	1 Juni 2017	407,5	0,04854	2929,23	0,348926
10	4 Juli 2017	319	0,01800	2931,16	0,349155
11	18 Agustus 2017	5	0,00060	2937,35	0,349893
12	19 Agustus 2017	12	0,00143	2937,35	0,349893
13	31 Agustus 2017	1	0,00012	2937,35	0,349893
14	6 September 2017	2	0,00024	2937,36	0,349894
15	10 September 2017	50	0,00596	2937,36	0,349894
16	21 Februari 2018	0,5	0,00006	2967,39	0,353471
17	29 November 2018	0,5	0,00006	5206,91	0,620239

Lampiran 5. Syntax R Perhitungan Nilai Laplace *Lifetime* Sistem Spreader dan Sistem Trolley *Container Crane* 01

```
Lifetime=read.csv("E:/data.csv", header = TRUE, sep =",")

data = Lifetime[,1]
N=length (data)

a=0
T=13500
i=1
for (i in 1:N)
{
  a=a+data[i]
  at=a/N
}
b=T/2
c=T*(sqrt(1/(12*(N))))
L=(at-b)/c

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

Lampiran 6. Syntax R Perhitungan Nilai Laplace *Lifetime* Sistem Spreader dan Sistem Trolley *Container Crane* 03

```
Lifetime=read.csv("E:/data.csv", header = TRUE, sep = ",")

data = Lifetime[,1]
N=length (data)

a=0
T=5500
i=1
for (i in 1:N)
{
  a=a+data[i]
  at=a/N
}
b=T/2
c=T*(sqrt(1/(12*(N))))
L=(at-b)/c

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

Lampiran 7. *Output Syntax R Perhitungan Nilai Laplace Data Lifetime Container Crane 01 dan Container Crane 03*

```
# Laplace Sistem Spreader Container Crane 01
```

```
> N
```

```
[1] 9
```

```
> L
```

```
[1] 1.668404
```

```
[1] "Ada Tren Naik"
```

```
# Laplace Sistem Trolley Container Crane 01
```

```
> N
```

```
[1] 24
```

```
> L
```

```
[1] 3.591177
```

```
[1] "Ada Tren Naik"
```

```
# Laplace Sistem Spreader Container Crane 03
```

```
> N
```

```
[1] 9
```

```
> L
```

```
[1] 0.855461
```

```
[1] "Ada Tren Naik"
```

```
# Laplace Sistem Trolley Container Crane 03
```

```
> N
```

```
[1] 17
```

```
> L
```

```
[1] 0.06763047
```

```
[1] "Ada Tren Naik"
```

Lampiran 8. Syntax R Perhitungan Nilai Laplace *Breakdown* Sistem Spreader dan Sistem Trolley *Container Crane* 01

```
Breakdown=read.csv("E:/data.csv", header = TRUE, sep =",")

data = Breakdown[,1]
N=length (data)

a=0
T=25
i=1
for (i in 1:N)
{
  a=a+data[i]
  at=a/N
}
b=T/2
c=T*(sqrt(1/(12*(N))))
L=(at-b)/c

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

Lampiran 9. Syntax R Perhitungan Nilai Laplace *Breakdown* Sistem Spreader dan Sistem Trolley *Container Crane* 03

```
Breakdown=read.csv("E:/data.csv", header = TRUE, sep = ",")

data = Breakdown[,1]
N=length (data)

a=0
T=410
i=1
for (i in 1:N)
{
  a=a+data[i]
  at=a/N
}
b=T/2
c=T*(sqrt(1/(12*(N))))
L=(at-b)/c

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

Lampiran 10. *Output Syntax R Perhitungan Nilai Laplace Data Breakdown Container Crane 01 dan Container Crane 03*

```
# Laplace Sistem Spreader Container Crane 01
```

```
> N
```

```
[1] 9
```

```
> L
```

```
[1] -4.295486
```

```
[1] "Ada Tren Turun"
```

```
# Laplace Sistem Trolley Container Crane 01
```

```
> N
```

```
[1] 24
```

```
> L
```

```
[1] -5.883128
```

```
[1] "Ada Tren Turun"
```

```
# Laplace Sistem Spreader Container Crane 03
```

```
> N
```

```
[1] 9
```

```
> L
```

```
[1] -5.146866
```

```
[1] "Ada Tren Turun"
```

```
# Laplace Sistem Trolley Container Crane 03
```

```
> N
```

```
[1] 17
```

```
> L
```

```
[1] -5.447773
```

```
[1] "Ada Tren Turun"
```

Lampiran 11. Syntax R Estimasi Parameter dengan OLS dan Pengujian *Geometric Process*

Syntax Geometric Process

```

library(PEIP)
Lifetime= read.csv("E:/Data_LT.csv", header = TRUE, sep
    =",")
Breakdown= read.csv("E:/Data_BD.csv", header = TRUE, sep
    =",")

X=Lifetime[,1]
X=Breakdown[,1]

N=length(X)
sigmaXn=0;
sigmalnXn=0;
sigmanmin1lnXn=0;
sigmalnXn2=0;
i=1;
for (i in 1:N)
{
    sigmaXn=sigmaXn+X[i];
    sigmalnXn=sigmalnXn+log(X[i]);
    sigmanmin1lnXn=sigmanmin1lnXn+(i-1)*log(X[i]);
    sigmalnXn2=sigmalnXn2+(log(X[i]))^2;
}
lnrtopi=(6/((N-1)*N*(N+1)))*((N-1)*sigmaXn-
    2*sigmanmin1lnXn);
rtopi=exp(lnrtopi);
alfatopi=sigmalnXn/N+(N-1)*lnrtopi/2;
vare=(1/(N-2))*((sigmalnXn2-((sigmalnXn)^2)/N)-
    (lnrtopi*(((N-1)*sigmalnXn/2)-
    sigmanmin1lnXn)));

```


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

```
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* Estimasi Parameter dengan OLS dan Pengujian *Geometric Process Data Lifetime*

```
# Data Spreader CC01

> lnrtopi
[1] 0.5089762
> rtopi
[1] 1.663587
> alfatopi
[1] 2.043739
> vare
[1] 0.675585
> thit
[1] -4.796595
> ttab
[1] 2.364624
"Kesimpulan Tolak H0"
```

Lampiran 12. *Output* Estimasi Parameter dengan OLS dan Pengujian *Geometric Process Data Lifetime* (Lanjutan)

```
# Data Trolley CC01
> Inrtopi
[1] 0.2203483
> rtopi
[1] 1.246511
> alfatopi
[1] 2.652432
> vare
[1] 0.3343234
> thit
[1] -12.92336
> ttab
[1] 2.073873
“Kesimpulan Tolak H0”

# Data Spreader CC03
> Inrtopi
[1] 0.7106661
> rtopi
[1] 2.035347
> alfatopi
[1] 1.813826
> vare
[1] 1.002991
> thit
[1] -5.496583
> ttab
[1] 2.364624
“Kesimpulan Tolak H0”
```

Lampiran 12. *Output* Estimasi Parameter dengan OLS dan Pengujian *Geometric Process Data Lifetime* (Lanjutan)

```
# Data Trolley CC03
> lnrtopi
[1] 0.444542
> rtopi
[1] 1.559776
> alfatopi
[1] 2.405735
> vare
[1] 0.6993661
> thit
[1] -10.73719
> ttab
[1] 2.13145
“Kesimpulan Tolak H0”
```

Lampiran 13. *Output* Estimasi Parameter dengan OLS dan Pengujian *Geometric Process Data Breakdown*

```
# Data Spreader CC01
> lnrtopi
[1] 5.110341
> rtopi
[1] 165.7269
> alfatopi
[1] 11.8609
> vare
[1] 2.369481
> thit
[1] -25.71573
> ttab
[1] 2.364624
“Kesimpulan Tolak H0”
```

Lampiran 13. *Output* Estimasi Parameter dengan OLS dan Pengujian *Geometric Process Data Breakdown* (Lanjutan)

```
# Data Trolley CC01
> lnrtopi
[1] 1.904514
> rtopi
[1] 6.716142
> alfatopi
[1] 13.84637
> vare
[1] 3.78054
> thit
[1] -33.21667
> ttab
[1] 2.073873
“Kesimpulan Tolak H0”

# Data Spreader CC03
> lnrtopi
[1] 5.240874
> rtopi
[1] 188.8351
> alfatopi
[1] 12.15771
> vare
[1] 3.000207
> thit
[1] -23.43709
> ttab
[1] 2.364624
“Kesimpulan Tolak H0”
```

Lampiran 13. *Output* Estimasi Parameter dengan OLS dan Pengujian *Geometric Process Data Breakdown* (Lanjutan)

```
# Data Trolley CC03

> Inrtopi
[1] 2.549051
> rtopi
[1] 12.79496
> alfatopi
[1] 12.77312
> vare
[1] 4.3900058
> thit
[1] -24.57387
> ttab
[1] 2.13145
“Kesimpulan Tolak H0”
```

Lampiran 14. Syntax Estimasi Parameter *Geometric Process* dengan GA

```
library(e1071)
library(GA)

Lifetime= read.csv("E:/Data_LT.csv", header = TRUE, sep
=";")
Breakdown= read.csv("E:/Data_BD.csv", header = TRUE, sep
=";")
data=Lifetime
data=Breakdown
X=data[,1]
Y=data[,2]

N=length(X)
```

Lampiran 14. Syntax Estimasi Parameter *Geometric Process* dengan GA (Lanjutan)

```
#mulai OLS
OLS = function(data, b0, b1)
{
  attach(data, warn.conflicts = F)
  Y_hat=b0-b1*X
  i=1
  e=0
  for (i in 1:N)
  {
    SSE=e+(Y[i]-Y_hat[i])^2
  }
  fitnes=1/SSE
  detach(data)
  return(fitnes)
}
#GA Lifetime
ga.OLS = ga(type='real-valued',
  lower=c(0, 0),
  upper=c(3.5, 1),
  population=gaControl("real-valued")$population,
  selection=gaControl("real-valued")$selection,
  crossover=gaControl("real-valued")$crossover,
  mutation=gaControl("real-valued")$mutation,
  popSize=50,
  pcrossover=0.8,
  pmutation=0.01,
  maxiter=50,
  names=c('alfa', 'lnr'),
  keepBest=T,
  fitness = function(b) OLS(data, b[1],b[2]),seed
  =123456)
```

Lampiran 14. Syntax Estimasi Parameter *Geometric Process* dengan GA (Lanjutan)

```
#GA Breakdown
ga.OLS = ga(type='real-valued',
  lower=c(0, 0),
  upper=c(15, 5),
  population=gaControl("real-valued")$population,
  selection=gaControl("real-valued")$selection,
  crossover=gaControl("real-valued")$crossover,
  mutation=gaControl("real-valued")$mutation,
  popSize=50,
  pcrossover=0.8,
  pmutation=0.01,
  maxiter=50,
  names=c('alfa', 'lnr'),
  keepBest=T,
  fitness = function(b) OLS(data, b[1],b[2]),seed
  =123456)

ga.model = summary(ga.OLS)
ga.model
```

Lampiran 15. *Output Estimasi Parameter Geometric Process Data Lifetime dengan GA*

```

# SPREADER CC01
-- Genetic Algorithm -----

GA settings:
Type           = real-valued
Population size = 50
Number of generations = 50
Elitism        = 2
Crossover probability = 0.8
Mutation probability = 0.01
Search domain =
    alfa lnr
lower 0.0  0
upper 3.5  1

GA results:
Iterations           = 50
Fitness function value = 51.03062858
Solution =
    alfa    lnr
[1,] 2.994119 0.1860872

# TROLLEY CC01
-- Genetic Algorithm -----

GA settings:
Type           = real-valued
Population size = 50
Number of generations = 50
Elitism        = 2
Crossover probability = 0.8
Mutation probability = 0.01

```


Lampiran 15. *Output* Estimasi Parameter *Geometric Process*
Data *Lifetime* dengan GA (Lanjutan)

```

Search domain =
  alfa lnr
lower 0.0 0
upper 3.5 1

GA results:
Iterations      = 50
Fitness function value = 58.9059938
Solution =
  alfa    lnr
[1,] 2.926306 0.05912907

# SPREADER CC03
-- Genetic Algorithm -----

GA settings:
Type           = real-valued
Population size = 50
Number of generations = 50
Elitism        = 2
Crossover probability = 0.8
Mutation probability = 0.01
Search domain =
  alfa lnr
lower 0.0 0
upper 3.5 1

GA results:
Iterations      = 50
Fitness function value = 117.008973
Solution =
  alfa    lnr
[1,] 2.177329 0.2007168

```

Lampiran 15. *Output* Estimasi Parameter *Geometric Process Data Lifetime* dengan GA (Lanjutan)

```
# TROLLEY CC03
-- Genetic Algorithm -----

GA settings:
Type           = real-valued
Population size = 50
Number of generations = 50
Elitism        = 2
Crossover probability = 0.8
Mutation probability = 0.01
Search domain =
    alfa lnr
lower 0.0 0
upper 3.5 1

GA results:
Iterations           = 50
Fitness function value = 102.3856598
Solution =
    alfa    lnr
[1,] 1.819147 0.07491149
```

Lampiran 16. *Output Estimasi Parameter Geometric Process Data Breakdown dengan GA*

```

# SPREADER CC01
-- Genetic Algorithm -----

GA settings:
Type           = real-valued
Population size = 50
Number of generations = 50
Elitism        = 2
Crossover probability = 0.8
Mutation probability = 0.01
Search domain =
    alfa lnr
lower  0  0
upper 15  5

GA results:
Iterations           = 50
Fitness function value = 1.2661E+13
Solution =
    alfa    lnr
[1,] 6.851414 0.8563041

# TROLLEY CC01
-- Genetic Algorithm -----

GA settings:
Type           = real-valued
Population size = 50
Number of generations = 50
Elitism        = 2
Crossover probability = 0.8
Mutation probability = 0.01

```

Lampiran 16. *Output Estimasi Parameter Geometric Process Data
Breakdown (Lanjutan)*

```
Search domain =
  alfa lnr
lower 0 0
upper 15 5

GA results:
Iterations      = 50
Fitness function value = 1376.217089
Solution =
  alfa  lnr
[1,] 6.529867 0.2840384

# SPREADER CC03
-- Genetic Algorithm -----
GA settings:
Type           = real-valued
Population size = 50
Number of generations = 50
Elitism        = 2
Crossover probability = 0.8
Mutation probability = 0.01
Search domain =
  alfa lnr
lower 0 0
upper 15 5

GA results:
Iterations      = 50
Fitness function value = 3206.352512
Solution =
  alfa  lnr
[1,] 6.797628 0.8496642
```

Lampiran 16. *Output Estimasi Parameter Geometric Process Data
Breakdown (Lanjutan)*

```
# TROLLEY CC03
-- Genetic Algorithm -----

GA settings:
Type           = real-valued
Population size = 50
Number of generations = 50
Elitism        = 2
Crossover probability = 0.8
Mutation probability = 0.01
Search domain =
  alfa lnr
lower  0  0
upper 15  5

GA results:
Iterations           = 50
Fitness function value = 3482.344756
Solution =
  alfa    lnr
[1,] 12.10903 0.7564422
```

Lampiran 17. Syntax Pengujian *Geometric Process* dengan Optimasi Parameter Menggunakan GA

```

Syntax Geometric Process-GA
library(PEIP)
Lifetime= read.csv("E:/Data_LT.csv", header = TRUE, sep
    =",")
Breakdown= read.csv("E:/Data_BD.csv", header = TRUE, sep
    =",")
X=Lifetime[,1]; X=Breakdown[,1]

N=length(X)
sigmaXn=0; sigmalnXn=0;
sigmanmin1lnXn=0;
sigmalnXn2=0;
i=1;
for (i in 1:N)
{
    sigmaXn=sigmaXn+X[i];
    sigmalnXn=sigmalnXn+log(X[i]);
    sigmanmin1lnXn=sigmanmin1lnXn+(i-1)*log(X[i]);
    sigmalnXn2=sigmalnXn2+(log(X[i]))^2;
}
# Uji GP untuk parameter GA (Lifetime);
# Spreader CC01
alfatopi=2.994119
lnrtopi=0.1860872
rtopi=exp(lnrtopi)
vare=(1/(N-2))*((sigmalnXn2-((sigmalnXn)^2)/N)-
    (lnrtopi*(((N-1)*sigmalnXn/2)-
    sigmanmin1lnXn)));
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")

```

Lampiran 17. Syntax Pengujian *Geometric Process* dengan Optimasi Parameter Menggunakan GA (Lanjutan)

```

# Trolley C01
alfatopi= 2.926306; lnrtopi= 0.05912907;
rtopi=exp(lnrtopi)
vare=(1/(N-2))*((sigmalnXn2-((sigmalnXn)^2)/N)-
               (lnrtopi*(((N-1)*sigmalnXn/2)-
               sigmanmin1lnXn)));
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")

# Spreader CC03
alfatopi= 2.177329; lnrtopi= 0.2007168;
rtopi=exp(lnrtopi)
vare=(1/(N-2))*((sigmalnXn2-((sigmalnXn)^2)/N)-
               (lnrtopi*(((N-1)*sigmalnXn/2)-
               sigmanmin1lnXn)));
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")

# Trolley CC03
alfatopi= 1.819147; lnrtopi= 0.07491149;
rtopi=exp(lnrtopi)
vare=(1/(N-2))*((sigmalnXn2-((sigmalnXn)^2)/N)-
               (lnrtopi*(((N-1)*sigmalnXn/2)-
               sigmanmin1lnXn)));
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")

```

Lampiran 17. Syntax Pengujian *Geometric Process* dengan Optimasi Parameter Menggunakan GA (Lanjutan)

```
# Uji GP untuk parameter GA (Breakdown);
# Spreader CC01
alfatopi= 6.851414; lnrtopi= 0.8563041;
rtopi=exp(lnrtopi)
vare=(1/(N-2))*((sigmalnXn2-((sigmalnXn)^2)/N)-
(Inlrtopi*(((N-1)*sigmalnXn/2)-
sigmanmin1lnXn)));
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")

# Trolley C01
alfatopi= 6.529867; lnrtopi= 0.2840384;
rtopi=exp(lnrtopi)
vare=(1/(N-2))*((sigmalnXn2-((sigmalnXn)^2)/N)-
(Inlrtopi*(((N-1)*sigmalnXn/2)-
sigmanmin1lnXn)));
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")

# Spreader CC03
alfatopi= 6.797628; lnrtopi= 0.8496642;
rtopi=exp(lnrtopi)
vare=(1/(N-2))*((sigmalnXn2-((sigmalnXn)^2)/N)-
(Inlrtopi*(((N-1)*sigmalnXn/2)-
sigmanmin1lnXn)));
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")
```


Lampiran 17. Syntax Pengujian *Geometric Process* dengan Optimasi Parameter Menggunakan GA (Lanjutan)

```
# Trolley CC03
alfatopi= 12.10903; lnrtopi= 0.7564422;
rtopi=exp(lnrtopi)
vare=(1/(N-2))*((sigmalnXn2-((sigmalnXn)^2)/N)-
               (lnrtopi*(((N-1)*sigmalnXn/2)-
               sigmanmin1lnXn)));
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")
```

Lampiran 18. *Output* Pengujian *Geometric Process* dengan Optimasi Parameter Menggunakan GA

```
# LIFETIME

# Spreader CC01
[1] "Kesimpulan Tolak H0"
> lnrtopi
[1] 0.1860872
> rtopi
[1] 1.204527
> alfatopi
[1] 2.994119
> vare
[1] 0.3341295
> thit
[1] -2.493645
> ttab
[1] 2.364624
```

Lampiran 18. *Output Pengujian Geometric Process dengan Optimasi Parameter Menggunakan GA (Lanjutan)*

```
# Trolley CC01
> if (abs(thit)>ttab) print ("Kesimpulan Tolak H0") else
      print("Kesimpulan Gagal Tolak H0")
[1] "Kesimpulan Tolak H0"
> lnrtopi
[1] 0.05912907
> rtopi
[1] 1.060912
> alfatopi
[1] 2.926306
> vare
[1] 0.1162915
> thit
[1] -5.879982
> ttab
[1] 2.073873

# Spreader CC03
> if (abs(thit)>ttab) print ("Kesimpulan Tolak H0") else
      print("Kesimpulan Gagal Tolak H0")
[1] "Kesimpulan Tolak H0"
> lnrtopi
[1] 0.2007168
> rtopi
[1] 1.222279
> alfatopi
[1] 2.177329
> vare
[1] 0.4105387
> thit
[1] -2.426511
> ttab
[1] 2.364624
```

Lampiran 18. *Output Pengujian Geometric Process dengan Optimasi Parameter Menggunakan GA (Lanjutan)*

```

# Trolley CC03
> if (abs(thit)>ttab) print ("Kesimpulan Tolak H0") else
      print("Kesimpulan Gagal Tolak H0")
[1] "Kesimpulan Tolak H0"
> lnrtopi
[1] 0.07491149
> rtopi
[1] 1.077789
> alfatopi
[1] 1.819147
> vare
[1] 0.204533
> thit
[1] -3.345776
> ttab
[1] 2.13145

# BREAKDOWN #Spreader CC01
> if (abs(thit)>ttab) print ("Kesimpulan Tolak H0") else
      print("Kesimpulan Gagal Tolak H0")
[1] "Kesimpulan Tolak H0"
> lnrtopi
[1] 0.8563041
> rtopi
[1] 2.354443
> alfatopi
[1] 6.851414
> vare
[1] 0.98055
> thit
[1] -6.698365
> ttab
[1] 2.364624

```

Lampiran 18. *Output Pengujian Geometric Process dengan Optimasi Parameter Menggunakan GA (Lanjutan)*

```
# Trolley CC01
> if (abs(thit)>ttab) print ("Kesimpulan Tolak H0") else
      print("Kesimpulan Gagal Tolak H0")
[1] "Kesimpulan Tolak H0"
> lnrtopi
[1] 0.2840384
> rtopi
[1] 1.328484
> alfatopi
[1] 6.529867
> vare
[1] 1.330308
> thit
[1] -8.351218
> ttab
[1] 2.073873

# Spreader CC03
> if (abs(thit)>ttab) print ("Kesimpulan Tolak H0") else
      print("Kesimpulan Gagal Tolak H0")
[1] "Kesimpulan Tolak H0"
> lnrtopi
[1] 0.8496642
> rtopi
[1] 2.338861
> alfatopi
[1] 6.797628
> vare
[1] 1.391595
```

Lampiran 18. *Output Pengujian Geometric Process dengan Optimasi Parameter Menggunakan GA (Lanjutan)*

```
> thit
[1] -5.57913
> ttab
[1] 2.364624

# Trolley CC03
> if (abs(thit)>ttab) print ("Kesimpulan Tolak H0") else
  print("Kesimpulan Gagal Tolak H0")
[1] "Kesimpulan Tolak H0"
> lnrtopi
[1] 0.7564422
> rtopi
[1] 2.130682
> alfatopi
[1] 12.10903
> vare
[1] 4.748866
> thit
[1] -7.011499
> ttab
[1] 2.13145
```

Lampiran 19. Estimasi Rata-rata dan Varians *Lifetime* Sistem Spreader Container Crane 01

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	SpreaderCC01	SpreaderCC01 (Tahun)	n	$(r^{-(n-1)} \cdot Gn)$	$(r^{-(n-1)} \cdot Gn)^2$	Miu	Var	
2	5210.05	0.62061346	1	0.62061346	0.385161067	3.851160675	895.6734683	
3	5926.54	0.705960691	2	1.174427028	1.379278844	2.314974014	323.6373779	
4	6478.29	0.771684336	3	2.13565315	4.561014378	1.391555725	116.9412247	
5	6523.56	0.777076831	4	3.577671938	12.79973649	0.836479081	42.25485367	
6	8837.23	1.052677784	5	8.062644839	65.0062418	0.502816553	15.26812005	
7	10468.44	1.24698511	6	15.88871801	252.4513601	0.302248427	5.516892611	
8	11983.91	1.427505658	7	30.2587474	915.5917945	0.181684773	1.993441496	
9	12154.3	1.447802263	8	51.05377696	2606.488142	0.109212667	0.720298414	
10	12638.46	1.505474687	9	88.31563609	7799.651579	0.065648906	0.260268388	
11	Sigma	9.555780822	SUM	201.0878889	11658.31431	SPREADER CC01		
12	r	1.663587	SUM2	40436.33906				
13	$1-r^{(-1)}$	0.398889268						
14	$1-r^{(-N)}$	0.989753151						
15	Miu G1	3.851160675						
16	Var G1	895.6734683						

- Sigma =SUM(B2:B10)
- $1-r^{(-1)} = 1-(B12^{(-1)})$
- $1-r^{(-N)} = 1-(B12^{(-9)})$
- Miu G1 =B13*B11/B14
- Var G1 =(F11-(E12/9))/8
- E2 =(B\$12^(D2-1))*B2
- E3 =(B\$12^(D3-1))*B3
- F2 =E2^2
- F3 =E3^2
- G3 =\$G\$2/(\$B\$12^(D3-1))
- G4 =\$G\$2/(\$B\$12^(D4-1))
- H3 =\$H\$2/(\$B\$12^(2*(D3-1)))
- H4 =\$H\$2/(\$B\$12^(2*(D4-1)))
- Miu (Jam) =G2*23*365

Lampiran 20. Estimasi Rata-rata dan Varians *Lifetime* Sistem Trolley Container Crane 01

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	TrolleyC C01	TrolleyCC01 (Tahun)		n	$(r^{-(n-1)} \cdot Gn)$	$(r^{-(n-1)} \cdot Gn)^2$	Miu	Var
2	6329.35	0.753942823		1	0.753942823	0.568429781	5.458919	4326.44
3	7038.14	0.838372841		2	1.045040968	1.092110626	4.379358	2784.444
4	7909.58	0.942177487		3	1.463945649	2.143136863	3.513293	1792.034
5	7934.3	0.945122096		4	1.830527522	3.350831009	2.818501	1153.331
6	7993.02	0.952116736		5	2.298659587	5.283835898	2.261112	742.2697
7	8146.31	0.970376415		6	2.92025522	8.527890552	1.813953	477.7157
8	8162.44	0.972297796		7	3.64733785	13.30307339	1.455224	307.452
9	8223.53	0.979574747		8	4.580473639	20.98073875	1.167438	197.8723
10	8518.16	1.014670637		9	5.914172883	34.97744088	0.936564	127.3482
11	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
25	13163.48	1.568014294		24	249.0925109	62047.07897	0.034363	0.171439
26	sigma	27.46424538	SUM		1097.896259	149732.1265		
27	r	1.246511	SUM2		1205376.196			
28	$1-r^{(-1)}$	0.19776079						
29	$1-r^{(-N)}$	0.994949978						
30	Miu G1	5.458918518						
31	Var G1	4326.439928						

- Sigma =SUM(B2:B25)
- $1-r^{(-1)} = 1-(B27^{(-1)})$
- $1-r^{(-N)} = 1-(B27^{(-24)})$
- Miu G1 =B28*B26/B29
- Var G1 =(F26-(E27/24))/23
- E2 =(B\$27^(D2-1))*B2
- E3 =(B\$27^(D3-1))*B3
- F2 =E2^2
- F3 =E3^2
- G3 =\$G\$2/(B\$27^(D3-1))
- G4 =\$G\$2/(B\$27^(D4-1))
- H3 =\$H\$2/(B\$27^(2*(D3-1)))
- H4 =\$H\$2/(B\$27^(2*(D4-1)))
- Miu (Jam) =G2*23*365

Lampiran 21. Estimasi Rata-rata dan Varians *Lifetime* Sistem
Spreader *Container Crane* 03

	A	B	C	D	E	F	G	H
	Spreader CC03	Spreader CC03 (Tahun)		n	$r^{(n-1)} \cdot Gr^{(n-1)} \cdot Gn$	$(n-1) \cdot Gn$	Miu	Var
1								
2	1610.56	0.19185		1	0.19185	0.03681	1.74952	3242.59
3	1726.35	0.20564		2	0.41855	0.17518	0.85957	782.736
4	2931.16	0.34916		3	1.44642	2.09214	0.42232	188.946
5	2931.16	0.34916		4	2.94398	8.66699	0.20749	45.6101
6	2933.2	0.3494		5	5.99618	35.9542	0.10194	11.0099
7	2937.36	0.34989		6	12.2216	149.368	0.05009	2.65771
8	4175.31	0.49736		7	35.3589	1250.25	0.02461	0.64155
9	4781.81	0.5696		8	82.4216	6793.31	0.01209	0.15487
10	4797.89	0.57152		9	168.321	28331.8	0.00594	0.03738
11	Sigma	3.43357		SUM	309.32	36571.7	SPREADER CC03	
12	r	2.03535		SUM2	95678.7			
13	$1-r^{(-1)}$	0.50868						
14	$1-r^{(-N)}$	0.99833						
15	Miu G1	1.74952						
16	Var G1	3242.59						

- Sigma =SUM(B2:B10)
- $1-r^{(-1)} = 1-(B12^{(-1)})$
- $1-r^{(-N)} = 1-(B12^{(-9)})$
- Miu G1 =B13*B11/B14
- Var G1 =(F11-(E12/9))/8
- E2 =(B\$12^(D2-1))*B2
- E3 =(B\$12^(D3-1))*B3
- F2 =E2^2
- F3 =E3^2
- G3 =\$G\$2/(B\$12^(D3-1))
- G4 =\$G\$2/(B\$12^(D4-1))
- H3 =\$H\$2/(B\$12^(2*(D3-1)))
- H4 =\$H\$2/(B\$12^(2*(D4-1)))
- Miu (Jam) =G2*23*365

Lampiran 22. Estimasi Rata-rata dan Varians *Lifetime* Sistem Trolley Container Crane 03

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	TrolleyCC01	TrolleyCC03 (Tahun)		n	$(r^{(n-1)} \cdot Gn)$	$(r^{(n-1)} \cdot Gn)^2$	Miu	Var
2	1478.08	0.176066706		1	0.176066706	0.030999485	2.01852134	35765.96505
3	1518.32	0.180860036		2	0.282101143	0.079581055	1.29410975	14700.95271
4	1531.18	0.1823919		3	0.443741467	0.196906489	0.82967667	6042.560582
5	2230	0.265634306		4	1.00802398	1.016112343	0.5319204	2483.68518
6	2926	0.348540798		5	2.063015808	4.256034226	0.34102358	1020.873848
7	2929.23	0.348925551		6	3.221394709	10.37738387	0.21863625	419.6117216
8	2929.23	0.348925551		7	5.024654154	25.24714937	0.14017157	172.4738048
9	2929.23	0.348925551		8	7.837334958	61.42381925	0.08986648	70.89223637
10	2929.23	0.348925551		9	12.22448697	149.4380817	0.05761499	29.13897089
11	2931.16	0.34915545		10	19.08002449	364.0473345	0.03693799	11.97704668
12	2937.35	0.349892793		11	29.82341239	889.4359269	0.0236816	4.922948301
13	2937.35	0.349892793		12	46.51784289	2163.909707	0.01518269	2.023488813
14	2937.35	0.349892793		13	72.55741491	5264.578459	0.00973389	0.831718459
15	2937.36	0.349893985		14	113.1736997	12808.2863	0.00624057	0.341862822
16	2937.36	0.349893985		15	176.5256206	31161.29473	0.00400094	0.140516527
17	2967.39	0.353471114		16	278.1553599	77370.40424	0.00256507	0.057756775
18	5206.91	0.620239428		17	761.2987363	579575.7659	0.00164451	0.0223739877
19	sigma	5.621528291	SUM	1529.412931	709849.7887	TROLLEY CC03		
20	r	1.559776	SUM2	2339103.914				
21	$1-r^{(-1)}$	0.358882301						
22	$1-r^{(-N)}$	0.999477674						
23	Miu G1	2.018521335						
24	Var G1	35765.96505						

- Sigma =SUM(B2:B18)
- $1-r^{(-1)} = 1-(B20^{(-1)})$;
- $1-r^{(-N)} = 1-(B20^{(-17)})$
- Miu G1 =B19*B21/B22
- Var G1 =(F19-(E20/17))/16
- E2 =(B\$20^(D2-1))*B2
- E3 =(B\$20^(D3-1))*B3
- F2 =E2^2
- F3 =E3^2
- G3 =\$G\$2/(B\$20^(D3-1))
- G4 =\$G\$2/(B\$20^(D4-1))
- H3 =\$H\$2/(B\$20^(2*(D3-1)))
- H4 =\$H\$2/(B\$20^(2*(D4-1)))
- Miu (Jam) =G2*23*365

Lampiran 23. Estimasi Rata-rata dan Varians *Breakdown* Sistem Spreader Container Crane 01

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	SpreaderCC01	SpreaderCC01 (Tahun)	n	$(r^{(n-1)} \cdot Gn)$	$(r^{(n-1)} \cdot Gn)^2$	Miu	Var	
2	2.5	0.000297796	1	0.000297796	8.86826E-08	0.002308795	5.09006E+26	
3	1	0.000119119	2	0.019741144	0.000389713	1.39313E-05	1.85326E+22	
4	1	0.000119119	3	3.271638521	10.70361861	8.40619E-08	6.74763E+17	
5	2	0.000238237	4	1084.39702	1175916.897	5.07232E-10	2.45677E+13	
6	0.5	5.95593E-05	5	44928.43912	2018564642	3.06065E-12	894497701	
7	1.5	0.000178678	6	22337552.81	4.98966E+14	1.8468E-14	32568.15942	
8	8	0.000952948	7	19743644701	3.89812E+20	1.11436E-16	1.185788411	
9	2	0.000238237	8	8.18013E+11	6.69146E+23	6.7241E-19	4.31739E-05	
10	1	0.000119119	9	6.77834E+13	4.59459E+27	4.05734E-21	1.57194E-09	
11	Sigma	0.002322811	SUM	6.86212E+13	4.59526E+27	SPREADER CC01		
12	r	165.7269	SUM2	4.70887E+27				
13	$1-r^{(-1)}$	0.993965977						
14	$1-r^{(-N)}$	1						
15	Miu G1	0.002308795						
16	Var G1	5.09006E+26						

- Sigma =SUM(B2:B10)
- $1-r^{(-1)} = 1-(B12^{(-1)})$
- $1-r^{(-N)} = 1-(B12^{(-9)})$
- Miu G1 =B13*B11/B14
- Var G1 =(F11-(E12/9))/8
- E2 =(B\$12^(D2-1))*B2
- E3 =(B\$12^(D3-1))*B3
- F2 =E2^2
- F3 =E3^2
- G3 =\$G\$2/(B\$12^(D3-1))
- G4 =\$G\$2/(B\$12^(D4-1))
- H3 =\$H\$2/(B\$12^(2*(D3-1)))
- H4 =\$H\$2/(B\$12^(2*(D4-1)))
- Miu (Jam) =G2*23*365

Lampiran 24. Estimasi Rata-rata dan Varians *Breakdown* Sistem Trolley Container Crane 01

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	TrolleyCC01	TrolleyCC01 (Tahun)	n	$(r^{n-1} \cdot Gn)$	$(r^{n-1} \cdot Gn)^2$	Miu	Var	
2	1	0.000119119	1	0.000119119	1.41892E-08	0.00912	5.93728E+30	
3	1	0.000119119	2	0.000800017	6.40027E-07	0.00136	1.31628E+29	
4	7	0.00083383	3	0.03761119	0.001414602	0.0002	2.91815E+27	
5	2.5	0.000297796	4	0.090215034	0.008138752	3E-05	6.46946E+25	
6	3	0.000357356	5	0.727076376	0.528640056	4.5E-06	1.43426E+24	
7	1	0.000119119	6	1.627716062	2.649459578	6.7E-07	3.17972E+22	
8	4	0.000476474	7	43.72788883	1912.128261	9.9E-08	7.04935E+20	
9	0.5	5.95593E-05	8	36.71033884	1347.648978	1.5E-08	1.56282E+19	
10	4	0.000476474	9	1972.414788	3890420.096	2.2E-09	3.46473E+17	
11	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
25	9.5	0.001131626	24	1.19525E+16	1.42863E+32	8.6E-22	5.32198E-08	
26	sigma	0.010720667	SUM	1.24501E+16	1.43016E+32	TROLLEY CC01		
27	r	6.716142	SUM2	1.55006E+32				
28	$1-r^{(-1)}$	0.851104995						
29	$1-r^{(-N)}$	1						
30	Miu G1	0.009124413						
31	Var G1	5.93728E+30						

- Sigma =SUM(B2:B25)
- $1-r^{(-1)} = 1-(B27^{(-1)})$
- $1-r^{(-N)} = 1-(B27^{(-24)})$
- Miu G1 =B28*B26/B29
- Var G1 =(F26-(E27/24))/23
- E2 =(B\$27^(D2-1))*B2
- E3 =(B\$27^(D3-1))*B3
- F2 =E2^2
- F3 =E3^2
- G3 =\$G\$2/(\$B\$27^(D3-1))
- G4 =\$G\$2/(\$B\$27^(D4-1))
- H3 =\$H\$2/(\$B\$27^(2*(D3-1)))
- H4 =\$H\$2/(\$B\$27^(2*(D4-1)))
- Miu (Jam) =G2*23*365

Lampiran 25. Estimasi Rata-rata dan Varians *Breakdown* Sistem Spreader *Container Crane* 03

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	SpreaderCC03	SpreaderCC03 (Tahun)		n	$(r^{(n-1)} \cdot Gn)$	$(r^{(n-1)} \cdot Gn)^2$	Miu	Var
2	0.5	5.95593E-05		1	5.95593E-05	3.54731E-09	0.002073538	9.35059E+27
3	0.5	5.95593E-05		2	0.011249857	0.000126559	1.09778E-05	2.62086E+23
4	2	0.000238237		3	8.499721501	72.2452656	5.81188E-08	7.34595E+18
5	7	0.00083383		4	5619.14761	31574819.86	3.07694E-10	2.05898E+14
6	2	0.000238237		5	303249.5024	91960260681	1.629E-12	5771082555
7	0.5	5.95593E-05		6	14319828.14	2.05057E+14	8.62429E-15	161756.5539
8	3	0.000357356		7	16228813026	2.63374E+20	4.56589E-17	4.533843085
9	0.5	5.95593E-05		8	5.10897E+11	2.61016E+23	2.41729E-19	0.000127078
10	1.5	0.000178678		9	2.89502E+14	8.38116E+28	1.27977E-21	3.56185E-09
11	Sigma	0.002084574		SUM	2.9003E+14	8.38119E+28	SPREADER CC03	
12	r	188.8851		SUM2	8.41171E+28			
13	$1-r^{(-1)}$	0.994705776						
14	$1-r^{(-N)}$	1						
15	Miu G1	0.002073538						
16	Var G1	9.35059E+27						

- Sigma =SUM(B2:B10)
- $1-r^{(-1)} = 1-(B12^{(-1)})$
- $1-r^{(-N)} = 1-(B12^{(-9)})$
- Miu G1 =B13*B11/B14
- Var G1 =(F11-(E12/9))/8
- E2 =(B\$12^(D2-1))*B2
- E3 =(B\$12^(D3-1))*B3
- F2 =E2^2
- F3 =E3^2
- G3 =\$G\$2/(\$B\$12^(D3-1))
- G4 =\$G\$2/(\$B\$12^(D4-1))
- H3 =\$H\$2/(\$B\$12^(2*(D3-1)))
- H4 =\$H\$2/(\$B\$12^(2*(D4-1)))
- Miu (Jam) =G2*23*365

Lampiran 26. Estimasi Rata-rata dan Varians *Breakdown* Sistem Trolley Container Crane 03

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	TrolleyCC03	TrolleyCC03 (Tahun)		n	$(r^{(n-1)} \cdot Gn)$	$(r^{(n-1)} \cdot Gn)^2$	Miu	Var
2	13	0.001548541		1	0.001548541	2.39798E-06	0.09075691	7.14781E+25
3	1	0.000119119		2	0.001524117	2.32293E-06	0.00709318	4.36611E+23
4	9	0.001072067		3	0.175509114	0.030803449	0.00055437	2.66696E+21
5	1	0.000119119		4	0.249514677	0.062257574	4.3327E-05	1.62907E+19
6	2.5	0.000297796		5	7.981325783	63.70156126	3.3863E-06	9.95088E+16
7	1	0.000119119		6	40.84829766	1668.583421	2.6466E-07	6.07832E+14
8	0.5	5.95593E-05		7	261.3261673	68291.36571	2.0685E-08	3.71284E+12
9	1	0.000119119		8	6687.315715	44720191.47	1.6166E-09	22679209698
10	407.5	0.048540798		9	34867304.36	1.21573E+15	1.2635E-10	138531983.2
11	319	0.037998809		10	349237101.6	1.21967E+17	9.8748E-12	846198.3741
12	5	0.000595593		11	70038789.12	4.90543E+15	7.7177E-13	5168.85467
13	12	0.001429422		12	2150744412	4.6257E+18	6.0319E-14	31.57304412
14	1	0.000119119		13	2293224061	5.25888E+18	4.7142E-15	0.192858414
15	2	0.000238237		14	58683420254	3.44374E+21	3.6845E-16	0.001178042
16	50	0.005955926		15	1.87713E+13	3.52362E+26	2.8796E-17	7.19586E-06
17	0.5	5.95593E-05		16	2.40178E+12	5.76855E+24	2.2506E-18	4.39547E-08
18	0.5	5.95593E-05		17	3.07307E+13	9.44375E+26	1.759E-19	2.68489E-10
19	sigma	0.098451459	SUM	5.19673E+13	1.30251E+27	TROLLEY CC03		
20	r	12.79496	SUM2	2.70061E+27				
21	$1-r^{(-1)}$	0.921844226						
22	$1-r^{(-N)}$		1					
23	Miu G1	0.090756909						
24	Var G1	7.14781E+25						

- Sigma =SUM(B2:B18)
- $1-r^{(-1)} = 1-(B20^{(-1)})$;
- $1-r^{(-N)} = 1-(B20^{(-17)})$
- Miu G1 =B19*B21/B22
- Var G1 =(F19-(E20/17))/16
- E2 =(B\$20^(D2-1))*B2
- E3 =(B\$20^(D3-1))*B3
- F2 =E2^2
- F3 =E3^2
- G3 =\$G\$2/(B\$20^(D3-1))
- G4 =\$G\$2/(B\$20^(D4-1))
- H3 =\$H\$2/(B\$20^(2*(D3-1)))
- H4 =\$H\$2/(B\$20^(2*(D4-1)))
- Miu (Jam) =G2*23*365

Lampiran 27. Estimasi Rata-rata dan Varians *Lifetime* Sistem Spreader *Container Crane* 01 dengan Parameter Hasil GA

	A	B	C	D	E	F	G
1	SpreaderCC01	SpreaderCC01 (Tahun)		n	$(r^{(n-1)} \cdot Gn)$	$(r^{(n-1)} \cdot Gn)^2$	Miu
2	5210.05	0.62061346		1	0.62061346	0.385161067	1.996624775
3	5926.54	0.705960691		2	0.850348918	0.723093283	1.657600281
4	6478.29	0.771684336		3	1.119625995	1.253562368	1.376141739
5	6523.56	0.777076831		4	1.358044162	1.844283947	1.142474521
6	8837.23	1.052677784		5	2.215960599	4.910481377	0.948483716
7	10468.44	1.24698511		6	3.161873482	9.997443919	0.787432318
8	11983.91	1.427505658		7	4.359911793	19.00883084	0.653727254
9	12154.3	1.447802263		8	5.326301666	28.36948944	0.542725149
10	12638.46	1.505474687		9	6.671240705	44.50545254	0.450571069
11	Sigma	9.555780822		SUM	25.68392078	110.9977988	SPREAD
12	r	1.204527291		SUM2	659.6637867		
13	$1-r^{(-1)}$	0.169798802					
14	$1-r^{(-N)}$	0.812651507					
15	Miu G1	1.996624775					
16	Var G1	4.712727811					

- Sigma =SUM(B2:B10)
- $1-r^{(-1)} = 1-(B12^{(-1)})$
- $1-r^{(-N)} = 1-(B12^{(-9)})$
- Miu G1 =B13*B11/B14
- Var G1 =(F11-(E12/9))/8
- E2 =(B\$12^(D2-1))*B2
- E3 =(B\$12^(D3-1))*B3
- F2 =E2^2
- F3 =E3^2
- G3 =\$G\$2/(\$B\$12^(D3-1))
- G4 =\$G\$2/(\$B\$12^(D4-1))
- H3 =\$H\$2/(\$B\$12^(2*(D3-1)))
- H4 =\$H\$2/(\$B\$12^(2*(D4-1)))
- Miu (Jam) =G2*23*365

Lampiran 28. Estimasi Rata-rata dan Varians *Lifetime* Sistem Trolley *Container Crane* 01 dengan Parameter Hasil GA

	A	B	C	D	E	F	G	H
	TrolleyCC 01	TrolleyCC01 (Tahun)		n	$(r^{(n-1)} \cdot Gn)$	$(r^{(n-1)} \cdot Gn)^2$	Miu	Var
1								
2	6329.35	0.753942823		1	0.75394282	0.568429781	2.0801	2.312612
3	7038.14	0.838372841		2	0.88943994	0.791103415	1.960671	2.054679
4	7909.58	0.942177487		3	1.06045338	1.124561369	1.8481	1.825513
5	7934.3	0.945122096		4	1.12856403	1.273656765	1.741991	1.621908
6	7993.02	0.952116736		5	1.20616831	1.454841996	1.641975	1.441011
7	8146.31	0.970376415		6	1.30417952	1.700884223	1.547701	1.28029
8	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
25	13163.48	1.568014294		24	6.10909502	37.321042	0.533897	0.152352
26	sigma	27.46424538	SUM		63.0169126	218.6538762		
27	r	1.060912164	SUM2		3971.13127			
28	$1-r^{(-1)}$	0.057414898						
29	$1-r^{(-N)}$	0.758067781						
30	Miu G1	2.080100079						
31	Var G1	2.312611871						

- Sigma =SUM(B2:B25)
- $1-r^{(-1)} = 1-(B27^{(-1)})$
- $1-r^{(-N)} = 1-(B27^{(-24)})$
- Miu G1 =B28*B26/B29
- Var G1 =(F26-(E27/24))/23
- E2 =(B\$27^(D2-1))*B2
- E3 =(B\$27^(D3-1))*B3
- F2 =E2^2
- F3 =E3^2
- G3 =\$G\$2/(B\$27^(D3-1))
- G4 =\$G\$2/(B\$27^(D4-1))
- H3 =\$H\$2/(B\$27^(2*(D3-1)))
- H4 =\$H\$2/(B\$27^(2*(D4-1)))
- Miu (Jam) =G2*23*365

Lampiran 29. Estimasi Rata-rata dan Varians *Lifetime* Sistem Spreader *Container Crane* 03 dengan Parameter Hasil GA

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Spreader CC03	Spreader CC03 (Tahun)		n	$r^{(n-1)} \cdot Gr$	$(n-1) \cdot Gn$	Miu	Var
2	1610.6	0.1918		1	0.1918	0.0368	0.7471	0.8831
3	1726.4	0.2056		2	0.2513	0.0632	0.6113	0.5911
4	2931.2	0.3492		3	0.5216	0.2721	0.5001	0.3957
5	2931.2	0.3492		4	0.6376	0.4065	0.4091	0.2649
6	2933.2	0.3494		5	0.7798	0.6081	0.3347	0.1773
7	2937.4	0.3499		6	0.9545	0.9111	0.2739	0.1187
8	4175.3	0.4974		7	1.6584	2.7503	0.2241	0.0794
9	4781.8	0.5696		8	2.3215	5.3892	0.1833	0.0532
10	4797.9	0.5715		9	2.847	8.1055	0.15	0.0356
11	Sigma	3.4336		SUM	10.164	18.543	SPREADER CC03	
12	r	1.2223		SUM2	103.3			
13	$1-r^{(-1)}$	0.1819						
14	$1-r^{(-N)}$	0.8358						
15	Miu G1	0.7471						
16	Var G1	0.8831						

- Sigma =SUM(B2:B25)
- $1-r^{(-1)} = 1-(B27^{(-1)})$
- $1-r^{(-N)} = 1-(B27^{(-24)})$
- Miu G1 =B28*B26/B29
- Var G1 =(F26-(E27/24))/23
- $E2 = (\$B\$27^{(D2-1)}) * B2$
- $E3 = (\$B\$27^{(D3-1)}) * B3$
- F2 =E2^2
- F3 =E3^2
- $G3 = \$G\$2 / (\$B\$27^{(D3-1)})$
- $G4 = \$G\$2 / (\$B\$27^{(D4-1)})$
- $H3 = \$H\$2 / (\$B\$27^{(2*(D3-1))})$
- $H4 = \$H\$2 / (\$B\$27^{(2*(D4-1))})$
- Miu (Jam) =G2*23*365

Lampiran 30. Estimasi Rata-rata dan Varians *Lifetime* Sistem Trolley Container Crane 03 dengan Parameter Hasil GA

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	TrolleyCC01	TrolleyCC03 (Tahun)		n	$(r^{n-1} \cdot Gn)$	$(r^{n-1} \cdot Gn)^2$	Miu	Var
2	1478.08	0.176066706		1	0.176066706	0.030999485	0.56339844	0.199950095
3	1518.32	0.180860036		2	0.194928912	0.037997281	0.52273549	0.172129109
4	1531.18	0.1823919		3	0.211871646	0.044889594	0.48500738	0.148179126
5	2230	0.265634306		4	0.332571556	0.11060384	0.45000226	0.127561534
6	2926	0.348540798		5	0.470314327	0.221195566	0.41752362	0.109812667
7	2929.23	0.348925551		6	0.507459055	0.257514693	0.38738911	0.094533372
8	2929.23	0.348925551		7	0.546933662	0.29913643	0.35942953	0.081380032
9	2929.23	0.348925551		8	0.589478948	0.347485431	0.33348792	0.070056843
10	2929.23	0.348925551		9	0.63533378	0.403649012	0.30941863	0.060309158
11	2931.16	0.34915545		10	0.685206771	0.469508318	0.28708653	0.051917763
12	2937.35	0.349892793		11	0.740067725	0.547700238	0.26636623	0.044693944
13	2937.35	0.349892793		12	0.79763667	0.636224257	0.24714141	0.038475244
14	2937.35	0.349892793		13	0.859683831	0.739056289	0.22930413	0.033121812
15	2937.36	0.349893985		14	0.926560717	0.858514762	0.21275424	0.028513255
16	2937.36	0.349893985		15	0.998636718	0.997275295	0.19739883	0.024545931
17	2967.39	0.353471114		16	1.087323137	1.182271604	0.18315169	0.021130619
18	5206.91	0.620239428		17	2.056353234	4.228588621	0.16993283	0.018190512
19	sigma	5.621528291	SUM	11.81642739	11.41261072	TROLLEY CC03		
20	r	1.077788752	SUM2	139.6279564				
21	$1-r^{(-1)}$	0.072174395						
22	$1-r^{(-N)}$	0.720148264						
23	Miu G1	0.563398437						
24	Var G1	0.199950095						

- Sigma =SUM(B2:B18)
- $1-r^{(-1)} = 1-(B20^{(-1)})$;
- $1-r^{(-N)} = 1-(B20^{(-17)})$
- Miu G1 =B19*B21/B22
- Var G1 =(F19-(E20/17))/16
- E2 =(B\$20^(D2-1))*B2
- E3 =(B\$20^(D3-1))*B3
- F2 =E2^2
- F3 =E3^2
- G3 =G\$2/(B\$20^(D3-1))
- G4 =G\$2/(B\$20^(D4-1))
- H3 =H\$2/(B\$20^(2*(D3-1)))
- H4 =H\$2/(B\$20^(2*(D4-1)))
- Miu (Jam) =G2*23*365

Lampiran 31. Estimasi Rata-rata dan Varians *Breakdown* Sistem Spreader *Container Crane* 01 dengan Parameter Hasil GA

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	SpreaderCC01	SpreaderCC01 (Tahun)	n	$(r^{(n-1)} \cdot Gn)$	$(r^{(n-1)} \cdot Gn)^2$	Miu	Var	
2	2.5	0.000297796	1	0.000297796	8.86826E-08	0.001336847	0.003932472	
3	1	0.000119119	2	0.000280458	7.86565E-08	0.000567798	0.000709397	
4	1	0.000119119	3	0.000660322	4.36025E-07	0.00024116	0.000127971	
5	2	0.000238237	4	0.00310938	9.66824E-06	0.000102428	2.30854E-05	
6	0.5	5.95593E-05	5	0.001830214	3.34968E-06	4.3504E-05	4.16448E-06	
7	1.5	0.000178678	6	0.012927403	0.000167118	1.84774E-05	7.5125E-07	
8	8	0.000952948	7	0.162329765	0.026350953	7.84789E-06	1.35521E-07	
9	2	0.000238237	8	0.095549037	0.009129618	3.33323E-06	2.44473E-08	
10	1	0.000119119	9	0.112482371	0.012652284	1.41572E-06	4.41017E-09	
11	Sigma	0.002322811	SUM	0.389466745	0.048313594	SPREADER CC01		
12	r	2.354442808	SUM2	0.151684346				
13	$1-r^{(-1)}$	0.575271059						
14	$1-r^{(-N)}$	0.999550213						
15	Miu G1	0.001336847						
16	Var G1	0.003932472						

- Sigma =SUM(B2:B10)
- $1-r^{(-1)} = 1-(B12^{(-1)})$
- $1-r^{(-N)} = 1-(B12^{(-9)})$
- Miu G1 =B13*B11/B14
- Var G1 =(F11-(E12/9))/8
- E2 =(B\$12^(D2-1))*B2
- E3 =(B\$12^(D3-1))*B3
- F2 =E2^2
- F3 =E3^2
- G3 =\$G\$2/(B\$12^(D3-1))
- G4 =\$G\$2/(B\$12^(D4-1))
- H3 =\$H\$2/(B\$12^(2*(D3-1)))
- H4 =\$H\$2/(B\$12^(2*(D4-1)))
- Miu (Jam) =G2*23*365

Lampiran 32. Estimasi Rata-rata dan Varians *Breakdown* Sistem Trolley Container Crane 01 dengan Parameter Hasil GA

	A	B	C	D	E	F	G	H
	TrolleyCC 01	TrolleyCC01 (Tahun)		n	$(r^{(n-1)} \cdot Gn)$	$(r^{(n-1)} \cdot Gn)^2$	Miu	Var
1								
2	1	0.00011912		1	0.000119	1.42E-08	0.002713	0.025338
3	1	0.00011912		2	0.000158	2.5E-08	0.002042	0.014357
4	7	0.00083383		3	0.001472	2.17E-06	0.001537	0.008135
5	2.5	0.0002978		4	0.000698	4.88E-07	0.001157	0.004609
6	3	0.00035736		5	0.001113	1.24E-06	0.000871	0.002612
7	1	0.00011912		6	0.000493	2.43E-07	0.000656	0.00148
8	4	0.00047647		7	0.002619	6.86E-06	0.000493	0.000838
9	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
25	9.5	0.00113163		24	0.777854	0.605057	3.95E-06	5.36E-08
26	sigma	0.0109589	SUM	1.543516	0.682033	TROLLEY CC01		
27	r	1.32848394	SUM2	2.382441				
28	$1-r^{(-1)}$	0.24726226						
29	$1-r^{(-N)}$	0.99890491						
30	Miu G1	0.00271269						
31	Var G1	0.02533757						

- Sigma =SUM(B2:B10)
- $1-r^{(-1)} = 1-(B12^{(-1)})$
- $1-r^{(-N)} = 1-(B12^{(-9)})$
- Miu G1 =B13*B11/B14
- Var G1 =(F11-(E12/9))/8
- $E2 = (\$B\$12^{(D2-1)}) * B2$
- $E3 = (\$B\$12^{(D3-1)}) * B3$
- $F2 = E2^2$
- $F3 = E3^2$
- $G3 = \$G\$2 / (\$B\$12^{(D3-1)})$
- $G4 = \$G\$2 / (\$B\$12^{(D4-1)})$
- $H3 = \$H\$2 / (\$B\$12^{(2*(D3-1))})$
- $H4 = \$H\$2 / (\$B\$12^{(2*(D4-1))})$
- Miu (Jam) =G2*23*365

Lampiran 33. Estimasi Rata-rata dan Varians *Breakdown* Sistem
Spreader *Container Crane* 03 dengan Parameter
Hasil GA

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	SpreaderCC03	SpreaderCC03 (Tahun)		n	$(r^{(n-1)} \cdot Gn)$	$(r^{(n-1)} \cdot Gn)^2$	Miu	Var
2	0.5	5.95593E-05		1	5.95593E-05	3.54731E-09	0.00119387	0.008349481
3	0.5	5.95593E-05		2	0.000139301	1.94047E-08	0.00051045	0.001526337
4	2	0.000238237		3	0.001303222	1.69839E-06	0.00021825	0.000279024
5	7	0.00083383		4	0.01066819	0.00011381	9.3313E-05	5.10073E-05
6	2	0.000238237		5	0.007128977	5.08223E-05	3.9897E-05	9.32446E-06
7	0.5	5.95593E-05		6	0.004168422	1.73757E-05	1.7058E-05	1.70457E-06
8	3	0.000357356		7	0.058496165	0.003421801	7.2934E-06	3.11606E-07
9	0.5	5.95593E-05		8	0.022802403	0.00051995	3.1183E-06	5.69635E-08
10	1.5	0.000178678		9	0.159994976	0.025598392	1.3333E-06	1.04133E-08
11	Sigma	0.002084574		SUM	0.264761215	0.029723873	SPREADER CC03	
12	r	2.33886133		SUM2	0.070098501			
13	$1-r^{(-1)}$	0.572441518						
14	$1-r^{(-N)}$	0.999522515						
15	Miu G1	0.001193867						
16	Var G1	0.008349481						

- Sigma =SUM(B2:B18)
- $1-r^{(-1)} = 1-(B20^{(-1)})$;
- $1-r^{(-N)} = 1-(B20^{(-17)})$
- Miu G1 =B19*B21/B22
- Var G1 =(F19-(E20/17))/16
- E2 =(B\$20^(D2-1))*B2
- E3 =(B\$20^(D3-1))*B3
- F2 =E2^2
- F3 =E3^2
- G3 =\$G\$2/(B\$20^(D3-1))
- G4 =\$G\$2/(B\$20^(D4-1))
- H3 =\$H\$2/(B\$20^(2*(D3-1)))
- H4 =\$H\$2/(B\$20^(2*(D4-1)))
- Miu (Jam) =G2*23*365

Lampiran 34. Estimasi Rata-rata dan Varians *Breakdown* Sistem
Trolley *Container Crane* 03 dengan Parameter
Hasil GA

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	TrolleyCC03	TrolleyCC03 (Tahun)		n	$(r^{(n-1)} \cdot Gn)$	$(r^{(n-1)} \cdot Gn)^2$	Miu	Var
2	13	0.00154854		1	0.001548541	2.39798E-06	0.05224505	3238.102132
3	1	0.00011912		2	0.000253804	6.44163E-08	0.02452034	713.2687482
4	9	0.00107207		3	0.004866975	2.36875E-05	0.01150821	157.1143486
5	1	0.00011912		4	0.00115222	1.32761E-06	0.00540119	34.60815941
6	2.5	0.0002978		5	0.006137535	3.76693E-05	0.00253496	7.623267437
7	1	0.00011912		6	0.005230855	2.73618E-05	0.00118974	1.67920535
8	0.5	5.9559E-05		7	0.005572645	3.10544E-05	0.00055838	0.369884781
9	1	0.00011912		8	0.023747069	0.000563923	0.00026207	0.08147589
10	407.5	0.0485408		9	20.61846355	425.1210391	0.000123	0.017946996
11	319	0.03799881		10	34.39046457	1182.704053	5.7727E-05	0.003953251
12	5	0.00059559		11	1.148513322	1.319082852	2.7093E-05	0.000870797
13	12	0.00142942		12	5.873080483	34.49307436	1.2716E-05	0.000191814
14	1	0.00011912		13	1.04280566	1.087443644	5.9679E-06	4.22515E-05
15	2	0.00023824		14	4.443774869	19.74713509	2.8009E-06	9.3069E-06
16	50	0.00595593		15	236.706798	56030.10821	1.3146E-06	2.05007E-06
17	0.5	5.9559E-05		16	5.04346956	25.4365852	6.1697E-07	4.51575E-07
18	0.5	5.9559E-05		17	10.74603071	115.477176	2.8957E-07	9.94702E-08
19	sigma	0.09845146		SUM	320.0619103	57835.49449	TROLLEY CC03	
20	r	2.13068218		SUM2	102439.6265			
21	$1-r^{(-1)}$	0.53066675						
22	$1-r^{(-N)}$	0.9999974						
23	Miu G1	0.05224505						
24	Var G1	3238.10213						

- Sigma =SUM(B2:B18)
- $1-r^{(-1)} = 1-(B20^{(-1)})$;
- $1-r^{(-N)} = 1-(B20^{(-17)})$
- Miu G1 =B19*B21/B22
- Var G1 =(F19-(E20/17))/16
- E2 =(B\$20^(D2-1))*B2
- E3 =(B\$20^(D3-1))*B3
- F2 =E2^2
- F3 =E3^2
- G3 =\$G\$2/(B\$20^(D3-1))
- G4 =\$G\$2/(B\$20^(D4-1))
- H3 =\$H\$2/(B\$20^(2*(D3-1)))
- H4 =\$H\$2/(B\$20^(2*(D4-1)))
- Miu (Jam) =G2*23*365

Lampiran 35. Syntax Optimasi Biaya dengan *Geometric Process*

```
## Spreader CC01  
a=1.663587  
b=165.7194  
cf=12485000  
cR=50000000  
muX1=3.851160675  
muY1=0.002308795
```

```
## Spreader CC03  
a=2.035347  
b=188.8351  
cf=12485000  
cR=50000000  
muX1=1.749517032  
muY1=0.002073535
```

```
## Trolley CC01  
a=1.246511  
b=6.716142  
cf=12485000  
cR=20000000  
muX1=5.458918518  
muY1=0.009327178
```

```
## Trolley CC03  
a=1.559776  
b=12.79496  
cf=12485000  
cR=20000000  
muX1=2.017513925  
muY1=0.090756909
```

Lampiran 35. Syntax Optimasi Biaya dengan *Geometric Process*
(Lanjutan)

```
#-----GA-----  
## Spreader CC01  
aa=0.186087  
bb=0.8563041  
a=exp(aa)  
b=exp(bb)  
cf=12485000  
cR=50000000  
muX1=1.996624  
muY1=0.001337  
  
## Spreader CC03  
aa=0.200717  
bb=0.8496642  
a=exp(aa)  
b=exp(bb)  
cf=12485000  
cR=50000000  
muX1=0.74712  
muY1=0.001193  
  
## Trolley CC01  
aa=0.059129  
bb=0.2840384  
a=exp(aa)  
b=exp(bb)  
cf=12485000  
cR=20000000  
muX1=2.080100  
muY1=0.002713
```

Lampiran 35. Syntax Optimasi Biaya dengan *Geometric Process*
(Lanjutan)

```

## Trolley CC03
aa=0.074912
bb=0.7564422
a=exp(aa)
b=exp(bb)
cf=12485000
cR=20000000
muX1=0.56339
muY1=0.05224

## ESTIMASI BIAYA GP
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 36. Penurunan Rumus Estimasi Parameter α

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Lampiran 37. Penurunan Rumus Estimasi Parameter $\ln r$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$-\frac{1}{6}N(N-1)(2N-1)\ln \hat{r}$$

Lampiran 37. Penurunan Rumus Estimasi Parameter $\ln r$

$$\sum_{n=1}^N \ln G_n(n-1) = \frac{1}{2}(N-1) \sum_{n=1}^N \ln G_n + \frac{1}{4}N(N-1)^2 \ln \hat{r} - \frac{1}{6}N(N-1)(2N-1) \ln \hat{r}$$

$$\sum_{n=1}^N \ln G_n(n-1) = \frac{1}{2}(N-1) \sum_{n=1}^N \ln G_n + N(N-1) \ln \hat{r} \left(\frac{1}{4}(N-1) - \frac{1}{6}(2N-1) \right)$$

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

$$\sum_{n=1}^N \ln G_n(n-1) - \frac{1}{2}(N-1) \sum_{n=1}^N \ln G_n = -N(N-1) \ln \hat{r} \left(\frac{N+1}{12} \right)$$

$$\frac{(N-1)N(N+1)}{12} \ln \hat{r} = \frac{1}{2}(N-1) \sum_{n=1}^N \ln G_n - \sum_{n=1}^N \ln G_n(n-1)$$

$$\ln \hat{r} = \frac{6(N-1) \sum_{n=1}^N \ln G_n - 12 \sum_{n=1}^N \ln G_n(n-1)}{(N-1)N(N+1)}$$

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

Lampiran 38. Surat Keterangan Data Sekunder**SURAT PERNYATAAN**

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

Nama : Imas Ayu Lestari
NRP : 062115 4000 0031

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. Pelindo III (persero) Cabang Tanjung Perak

Keterangan : Data *Lifetime* dan *Breakdown Container Crane* 01 dan *Container Crane* 03 Periode Januari-Desember 2017 dan 2018

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

Mengetahui
Pembimbing Tugas Akhir



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

Surabaya, Juli 2019



Imas Ayu Lestari
NRP. 062115 4000 0031

Lampiran 39. Surat Keterangan Pengambilan Data



SURAT - KETERANGAN

Nomor : HM.01.02 / 132 / RJTM-2019

Memperhatikan surat dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Nomor: 14697/IT2.VI.9.2/TU.00.09/2019 tanggal 19 Februari 2019 perihal Permohonan Ijin Penelitian, dengan ini disampaikan bahwa yang bertanda tangan di bawah ini CEO Regional Jawa Timur PT Pelabuhan Indonesia III (Persero) Pelabuhan Tanjung Perak memberitahukan bahwa:

NO	NAMA	FAKULTAS	NRP
1	IMAS AYU LESTARI	Matematika, Komputasi, dan Sains Data	06211540000031

- Mahasiswi dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya telah selesai melaksanakan Penelitian / Riset di Lingkungan Regional Jawa Timur PT Pelabuhan Indonesia III (Persero) dengan materi Pengambilan data Perbaikan / Perawatan Mesin Container Crane beserta Waktu Kerusakannya di Terminal Niliam terhitung mulai tanggal 20 Februari s/d 22 Maret 2019.
- Mahasiswi diperbolehkan mencantumkan nama PT Pelabuhan Indonesia III (Persero) untuk kepentingan Thesis Mahasiswi yang akan di simpan di Perpustakaan ITS untuk dibaca di lingkungan ITS dan dipublikasikan dalam E Journal ITS yaitu Jurnal Sians dan Seni ITS.
- Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya

Surabaya, 09 JUL 2019
 An. CEO Regional Jawa Timur
 Manager Regional SDM & Umum
 Deputy Manager SDM & Legal


DADEK SUMARTONO

REGIONAL JAWA TIMUR

Jl. Perak Timur No. 620 T: +62 31 3291992 - 6
 Surabaya, Jawa Timur 60165 - Indonesia F: +62 31 3293994

www.pelindo.co.id

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA



Penulis bernama Imas Ayu Lestari atau akrab disapa Imas merupakan anak sulung dari dua bersaudara. Penulis lahir di Ponorogo, 24 Desember 1996, putri dari pasangan Alm. Sudarmin dan Tusinem Indarti. Pendidikan formal penulis ditempuh di SDN 2 Siwalan, SMPN 1 Kec. Mlarak, dan SMAN 1 Ponorogo. Pada tahun 2015, penulis dinyatakan lolos SNMPTN sebagai mahasiswa Departemen Statistika, Fakultas Matematika, Komputasi, dan Sains Data di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam kepanitiaan dan organisasi kampus sebagai Staf Analisis Data pada Divisi Professional Statistics (PSt) HIMASTA-ITS tahun 2016/2017 dan melanjutkan sebagai Supervisor I pada tahun 2017/2018, serta sebagai Staf BK Muslim Preneur JMMI ITS tahun 2016/2017 dan lanjut sebagai Direktur Pemasaran BK Muslim Preneur pada tahun 2017/2018. Selain aktif dalam organisasi dan kepanitiaan, penulis juga mengikuti beberapa kegiatan perlombaan di bidang statistika dan karya tulis ilmiah. Penulis tercatat pernah menjadi 2nd Winner Indonesian Research Competition (IRC 4th ISCO) dan mengikuti program “ITS GOES GLOBAL” yang diselenggarakan oleh ITS *International Office* di Singapura pada September 2017. Penulis memiliki pengalaman kerja praktik di PT SMART Tbk pada tahun 2018, dan pernah tergabung dalam penyusunan Buku Profil Kepuasan Pelanggan PDAM Kota Surabaya tahun 2018, serta Buku Profil Kota Pasuruan Tahun 2019. Bagi pembaca yang memiliki kritik dan saran serta menginginkan diskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini, pembaca dapat menghubungi penulis melalui email penulis yaitu imasayulestari.gm@gmail.com

