

# Optimasi Penentuan Waktu Optimum Pemeliharaan (*Preventive Maintenance*) Mesin

Anisa Nur Fadilah, Diaz Fitra Aksioma, dan Haryono  
Departemen Statistika, Fakultas Matematika, Komputasi, dan Sains Data,  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail* : haryono@statistika.its.ac.id

**Abstrak**—PT X merupakan salah satu perusahaan pengalangan ikan di Indonesia yang terletak di Gempol Kabupaten Pasuruan Jawa Timur. Proses produksi di PT X dilakukan menggunakan bantuan mesin untuk memudahkan dan mengefisieni proses produksi. Salah satu mesin yang penting dalam proses produksi adalah mesin Boiler. Mesin Boiler adalah mesin yang berfungsi untuk mengubah air menjadi *steam* yang digunakan pada proses cooking dan sterilisasi (*retort*). Selama ini pemeliharaan mesin Boiler di PT X adalah *corrective maintenance* karena perhitungan secara sistematis dengan pendekatan ilmu statistika belum pernah dilakukan, sehingga usia pakai komponen mesin masih belum diketahui. Pada penelitian kali ini akan dibahas mengenai penentuan waktu optimum pemeliharaan (*preventive maintenance*) dengan biaya minimum menggunakan metode *Geometric Process*. Metode ini digunakan karena kerusakan mesin memiliki trend. Hasil analisis menghasilkan bahwa waktu optimum untuk melakukan kegiatan pemeliharaan (*preventive maintenance*) mesin Boiler di PT X dengan biaya minimum adalah pada saat kerusakan ke 6 dengan estimasi biaya sebesar Rp 6.301.382. Dengan menerapkan kebijakan pemeliharaan (*preventive maintenance*) mesin Boiler setelah mengalami kerusakan ke-6, PT X dapat menghemat biaya pemeliharaan (*preventive maintenance*) sebesar Rp 10.698.618 jika dibandingkan dengan biaya dikeluarkan oleh perusahaan dalam memelihara mesin Boiler ( $C_R$ ).

**Kata Kunci**—Biaya, *Geometric Process*, Mesin Boiler, *Preventive Maintenance*.

## I. PENDAHULUAN

PRODUKSI ikan tuna kaleng cenderung meningkat yang ditunjukkan oleh *trend* yang meningkat dari ekspor produk tuna kaleng. Ekspor tuna kaleng dari Indonesia ke Arab Saudi contohnya, pada tahun 2015 menghasilkan nilai sebesar US \$ 2.74 juta kemudian meningkat sebesar 95% pada tahun 2016 menjadi US \$ 5,34 juta [1]. Data tersebut mengindikasikan bahwa pasar ekspor untuk produk tuna kaleng cukup baik dan masih berpeluang untuk meningkat. Kandungan gizi ikan tuna per 100 g adalah air 68.1%, protein 20.9%, lemak 9.4%, vitamin A 21 IU/g, vitamin B 16000-42000 IU/g [2]. Dibalik kandungan gizi ikan tuna, penyimpanan yang tidak tepat akan berbahaya bagi seseorang yang mengkonsumsinya. Ikan tuna yang dibiarkan dalam suhu ruang akan menyebabkan kandungan histamin meningkat. Histamin yang tinggi dapat menyebabkan keracunan antara lain gatal, diare, demam, sakit kepala, dan tekanan darah turun [3].

PT X merupakan salah satu perusahaan pengalangan ikan di Indonesia yang terletak di Gempol Kabupaten Pasuruan Jawa Timur. Produk tuna kaleng yang dihasilkan oleh PT X antara lain Hs, Sb, Bt, serta memproduksi produk tuna dalam kaleng tanpa label yang biasa di jual dengan label supermarket terkait. Hasil produksi tuna kalengan PT X sebagian besar diekspor ke beberapa negara di dunia antara lain ke Jepang, Eropa, Timur Tengah, Australia, dan Amerika. PT X telah tersertifikasi *Hazard Analisis Critical Center Point* (HACCP) dari Direktorat Jendral Pengolahan dan Pemasaran hasil Hasil Perikanan pada tahun 1997, pencapaian ini membuktikan komitmen perusahaan untuk menjaga kelangsungan proses produksi sehingga senantiasa menghasilkan produk yang berkualitas.

Salah satu faktor yang menentukan kelancaran suatu proses produksi adalah mesin. Penelitian kali ini akan dilakukan pada mesin *Boiler* di PT X, dimana mesin ini berfungsi untuk mengubah air menjadi *steam*, air dari sumur dialirkan kedalam *Boiler* kemudian *steam* yang dihasilkan dialirkan dengan pipa ke *section cooking* dan *retort*. Mesin *Boiler* merupakan salah satu mesin yang kinerjanya vital karena 80% hasil produksi berada di *retort* apabila pada tahap ini produksi *steam* terganggu maka semua produk yang berada pada tahap ini akan mengalami kerusakan dan harus dilakukan pemasakan serta pengemasan ulang. Hal ini tentu dapat menimbulkan kerugian bagi perusahaan. Mesin *Boiler* milik PT X adalah jenis *firetube Boiler* buatan Jerman tahun 2010. Kebijakan *maintenance* yang diterapkan di PT X pada mesin *Boiler* adalah *corrective maintenance*. Selain itu agar mesin *Boiler* bekerja dengan lancar, setiap hari Minggu dilakukan pembersihan pipa secara rutin dari kerak dan abu. Perhitungan secara sistematis dengan pendekatan ilmu statistika belum pernah dilakukan di PT X sehingga usia pakai komponen mesin masih belum diketahui.

Analisis Reliabilitas adalah suatu analisis statistika yang bertujuan untuk mengetahui peluang suatu mesin untuk bekerja dengan sebagaimana mestinya pada waktu dan kondisi tertentu. Laju kerusakan suatu mesin dapat mengalami *trend*, salah satu metode analisis reliabilitas yang dapat mengakomodir adanya *trend* adalah *Geometric Process*. Pada kejadian kerusakan, kerusakan mesin dianggap *random* variabel  $N(t)$  atau jumlah kejadian yang muncul dari sebuah kegagalan pada interval waktu tertentu  $(0, t)$ . Proses terjadinya kerusakan selama kurun waktu

tersebut digunakan untuk mengetahui mesin tersebut memiliki laju kerusakan yang meningkat atau menurun Setelah mesin diperbaiki, maka dianggap memiliki kinerja dan keandalan yang menurun secara linier [4]. Penelitian ini diharapkan dapat memberi saran dan informasi mengenai waktu optimum dan biaya minimum pemeliharaan (*preventive maintenance*) mesin *Boiler* di PT X.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Geometric Process

Dalam masalah pemeliharaan, banyak mesin yang mengalami penurunan kinerja karena pengaruh penuaan dan keausan. Dalam praktiknya, setelah dilakukan pemeliharaan pada mesin, maka mesin akan mengalami kinerja yang tidak seperti mesin baru. Pendekatan Geometric Process (GP) dianggap lebih realistis, relevan, dan langsung memodelkan karakteristik sistem suatu mesin dan dapat memodelkan operasi mesin secara berturut-turut [4]. Terdapat dua definisi *Geometric Process* (GP) yang diberikan sebagai berikut.

**Definisi 1.** 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* (GP),  $r$  disebut sebagai rasio atau parameter dari *Geometric Process* (GP).

**Definisi 2.** Jika  $r > 1$ , 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. Jika  $r = 1$ , maka *Geometric Process* (GP) merupakan suatu *Renewal Process* (RP) dengan :

$G_n$  : *Geometric Process* ( $X_n$  maupun  $Y_n$ ) untuk  $n=1,2,3,\dots,N$

$X_n$  : Umur mesin (*lifetime*) setelah ke  $(n-1)$  perbaikan dengan  $X_0=0$

$Y_n$  : Waktu perbaikan setelah  $n$  kerusakan untuk  $1,2,3,\dots,N$

Komponen yang mengalami penurunan keandalan dapat diasumsikan bahwa umur komponen membentuk *Geometric Process* (GP) yang menurun, sedangkan waktu pemeliharaan akan membentuk *Geometric Process* (GP) yang meningkat. Waktu penggantian komponen pada umumnya bersifat skotastik, sehingga tidak mempertimbangkan usia komponen [5].

### B. Pemeriksaan Trend Laplace

Pemeriksaan *trend Laplace* digunakan untuk memeriksa keberadaan *trend* kerusakan dalam mesin. Nilai Laplace diperoleh menggunakan rumus sebagai berikut.

$$L = \frac{\sum_{n=1}^N \frac{G_n}{N} - \frac{T}{2}}{T \sqrt{\frac{1}{12N}}} \quad (1)$$

$T = \text{Time Truncated}$

$L$  merupakan pendekatan distribusi normal standart untuk  $N \geq 3$  pada 5% level signifikan. Jika nilai  $L$  bernilai lebih dari nol maka dataset  $\{G_1, G_2, \dots, G_N\}$  menunjukkan adanya trend naik, sebaliknya apabila nilai  $L$  kurang dari nol artinya dataset  $\{G_1, G_2, \dots, G_N\}$  menunjukkan adanya trend turun [6].

### C. Estimasi Parameter

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk estimasi parameter, salah satunya adalah *Ordinary Least Square*. Persamaan regresi linier sederhana yang dapat digunakan adalah sebagai berikut.

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

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

Dimana  $e_n$  adalah variabel random dari bentuk eror yang menjelaskan pengaruh atau efek variabel dependen  $\ln G_n$  dengan mean 0 dan varians  $\sigma_e^2$  untuk semua  $n=1,2,\dots,N$ .

Estimasi parameter  $\ln r$ ,  $\alpha$ , dan  $\sigma_e^2$  dapat dilakukan dengan menggunakan teknik regresi linier sederhana. Estimasi titik menggunakan metode *least square*  $\ln r$ ,  $\alpha$ , dan  $\sigma_e^2$  dihitung menggunakan formula [7],

$$\ln \hat{r} = \frac{6}{(N-1)N(N+1)} \left[ (N-1) \sum_{n=1}^N G_n - 2 \sum_{n=1}^N (n-1) \ln G_n \right] \quad (3)$$

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

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{N-2} \left\{ \sum_{n=1}^N (\ln G_n)^2 - \frac{\left( \sum_{n=1}^N \ln G_n \right)^2}{N} \right\} + \left\{ -\frac{1}{N-2} \left[ \ln \hat{r} \left[ \left( \frac{N-1}{2} \right) \sum_{n=1}^N \ln G_n - \sum_{n=1}^N (n-1) \ln G_n \right] \right] \right\} \quad (5)$$

### D. Pengujian Geometric Process

Pengujian *Geometric Process* digunakan untuk mengetahui apakah data berasal dari *Geometric Process* atau tidak. Hipotesis yang digunakan dalam pengujian *Geometric Process* adalah sebagai berikut

$H_0: r = 1$  (rasio keandalan sama dengan 1 atau bukan *geometric process*)

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

Statistik Uji:

$$t = \frac{-\ln \hat{r} \sqrt{(N-1)N(N+1)}}{\hat{\sigma}_e \sqrt{12}} \quad (6)$$

$t$  berdistribusi *student-t* dengan derajat bebas  $(N-2)$ . Jika  $|t| >$  nilai kritis  $t_{(N-2),0,025}$  maka  $H_0$  ditolak pada level signifikansi 5% yang berarti data set  $\{G_1, G_2, \dots, G_N\}$  berasal dari *Geometric Process* [4].

### E. Pengujian Geometric Process

Pertama, estimasi rata-rata dan variansi dari  $G_n$  dilakukan dengan menggunakan estimasi yang sesuai

dengan nilai  $r$  yang didapatkan. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut [7].

- a. Jika rasio  $r > 1$ , estimasi rata-rata dan variansi dari  $G_1$  sebagai berikut.

$$\hat{\mu}_{G_1} = \frac{(1 - \hat{r}^{-1}) \sum_{n=1}^N G_n}{1 - \hat{r}^{-N}} \quad (7)$$

Dan

$$\hat{\sigma}_{G_1}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (\hat{r}^{n-1} G_n)^2 - \frac{\left(\sum_{n=1}^N \hat{r}^{n-1} G_n\right)^2}{N}}{N-1} \quad (8)$$

- b. Jika  $0 < r < 1$ , rata-rata dari  $G_1$  diestimasi menggunakan persamaan berikut ini.

$$2\hat{\mu}_{G_1}^2 \ln \mu_{G_1} - 2\hat{\alpha} \hat{\mu}_{G_1}^2 - \sigma_{G_1}^2 = 0 \quad (9)$$

Dimana  $\hat{\alpha}$  dan  $\hat{\sigma}_{G_1}^2$  masing-masing ditentukan oleh persamaan (4) dan (8).

- c. Jika  $r = 1$ , estimasi  $\hat{\mu}_{G_1}$  dan  $\hat{\sigma}_{G_1}^2$  masing-masing ditentukan sebagai berikut.

$$\hat{\mu}_{G_1} = \frac{\sum_{n=1}^N G_n}{N} \quad \text{dan} \quad \hat{\sigma}_{G_1}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (G_n - \hat{\mu}_{G_1})^2}{N-1} \quad (10)$$

Kedua, estimasi mean dan varians dari  $G_n$  untuk  $n = 2, 3, \dots, N$  dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\hat{\mu}_{G_n} = \frac{\sum_{n=1}^N G_n}{N} \quad \text{dan} \quad \hat{\sigma}_{G_n}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (G_n - \hat{\mu}_{G_1})^2}{N-1} \quad (11)$$

#### F. Model Pemeliharaan Optimum

Salah satu tindakan pemeliharaan adalah melakukan penggantian komponen. Diberikan  $Z_n$  merupakan waktu antara penggantian ke (n-1) dan penggantian ke-n dengan  $Z_0=0$ , maka  $\{Z_n, n=1,2,\dots\}$  membentuk *renewal process*. Menerapkan hasil yang telah diketahui dari teori *renewal* sebagai berikut [8].

$$l(N) = \frac{c_f \mu_{Y_1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{b^{n-1}} + c_R - w \mu_{X_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}}}{\mu_{X_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}} + \mu_{Y_1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{b^{n-1}} + d_R} \quad (12)$$

Untuk  $N = 1, 2, \dots$

Keterangan :

$c_f$  : rata-rata biaya penggantian

$c_R$  : rata-rata biaya pemeliharaan

$a$  : parameter *Geometric Process* umur mesin

$b$  : parameter *Geometric Process* waktu perbaikan

$\mu_{X_1}$  : rata-rata umur mesin setelah kerusakan pertama

$\mu_{Y_1}$  : rata-rata perbaikan mesin setelah kerusakan pertama

$w$  : pendapatan rata-rata dari kerja mesin per hari

$d_R$  : rata-rata lama waktu perbaikan

$l(N)$ : biaya rata-rata jangka panjang per satuan waktu, fungsi dari jumlah kerusakan  $N$

$N$  : jumlah kerusakan

Waktu penggantian untuk komponen rusak yang dapat diperbaiki biasanya bersifat stokastik, sehingga tidak mempertimbangkan berapa umur komponen yang digunakan, maka akan membentuk *renewal process*. Untuk mempermudah perhitungan, waktu penggantian diasumsikan diabaikan. Oleh sebab itu,  $w = 1$  dan  $d_R = 0$  sehingga persamaan (12) yaitu rata-rata biaya jangka panjang per satuan waktu menjadi [4] :

$$l_1(N) = \frac{c_f \mu_{Y_1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{b^{n-1}} - \mu_{X_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}} + c_R}{\mu_{X_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}} + \mu_{Y_1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{b^{n-1}}} \quad (13)$$

Untuk  $N = 1, 2, \dots$

Kebijakan penggantian optimal ditentukan dengan meminimalkan  $l_1(N)$  terhadap  $N$ . Berikut merupakan langkah-langkah penentuan kebijakan waktu penggantian optimal.

1. Menghitung rata-rata biaya jangka panjang per satuan waktu  $l_1(N)$  untuk  $N = 1, 2, \dots$  menggunakan persamaan 2.13.
2. Plot rata-rata biaya jangka panjang per satuan waktu  $l_1(N)$  terhadap  $N$ , kemudian dapat diperoleh waktu penggantian optimal yang ditunjukkan dengan titik minimum pada kurva.

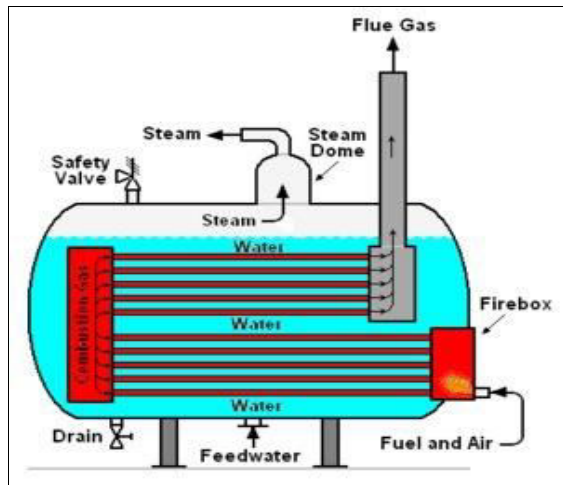
#### G. Mesin Boiler Firetube

*Boiler* atau ketel uap adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan *steam*. *Steam* diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar [9]. *Boiler* mengubah energi kimia menjadi bentuk energi melakukan proses produksi. *Boiler* dirancang untuk melakukan atau memindahkan kalor dari suatu sumber pembakaran, yang biasanya berupa pembakaran bahan bakar. Sistem boiler terdiri dari: sistem air umpan (*feed water system*), sistem steam (*steam system*) dan sistem bahan bakar (*fuel system*). Sistem air umpan (*feed water system*) menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan steam.

Mesin *Boiler* terdiri dari beberapa komponen untuk menghasilkan *steam*. Berikut merupakan komponen penting yang terdapat dalam mesin *Boiler* :

1. *Burner/ Heater* merupakan komponen utama karena memiliki fungsi untuk menghasilkan panas dalam *Boiler*.
2. *Heat exchanger* berfungsi untuk memanaskan air dalam sistem, menghantarkan panas dari *burner* ke air tanpa kontak langsung.
3. *Firebox* adalah tempat bahan bakar sistem memenuhi udara, menciptakan nyala api.
4. *Steam drum* merupakan tempat penampungan air panas dan pembangkitan *steam*

5. *Safety valve* merupakan saluran buang steam jika terjadi keadaan dimana tekanan steam melebihi kemampuan boiler menahan tekanan steam.
- 6.



Gambar 1. Komponen Mesin Boiler Firetube.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Sumber Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder dari data lama mesin bekerja dengan baik atau usia (*lifetime*) serta data waktu lama pemeliharaan (*downtime*) dari mesin Boiler selama kurun waktu Januari 2015- Desember 2017.

#### B. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah lamanya mesin bekerja (*lifetime*) dalam satuan tahun dan data pemeliharaan kerusakan mesin (*downtime*) dalam satuan jam.

#### C. Langkah Penelitian

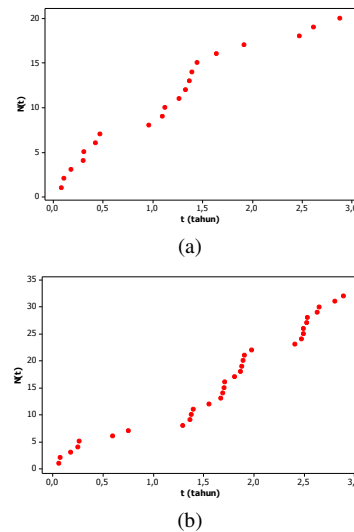
Langkah-langkah analisis yang dilakukan untuk mencapai tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut.

1. Mengumpulkan data performa mesin Boiler (*Downtime* dan *Lifetime*) pada kurun waktu tertentu.
2. Mendeskripsikan data performa mesin Boiler di PT X.
3. Menguji apakah data usia mesin Boiler terdapat *trend* dengan menggunakan statistik uji Laplace pada persamaan (1).
4. Berdasarkan langkah 3 jika terdapat *trend*, maka dalam data diduga data berasal dari suatu *Geometric Process*, sehingga perlu dilakukan estimasi parameter  $\ln r$ ,  $\alpha$ , dan  $\sigma_n^2$  dengan persamaan (2)-(5).
5. Melakukan uji *Geometric Process* (GP) data usia mesin Boiler apakah berasal dari *Geometric Process* (GP) menggunakan persamaan (6).
6. Melakukan estimasi parameter mean dan varians dari  $G_n$  dengan menggunakan persamaan (7) dan (8).
7. Mendapatkan waktu optimum pemeliharaan (*preventive maintenance*) dengan biaya minimum untuk mesin Boiler di PT X melalui kurva antara rata-rata biaya jangka panjang per hari terhadap N.
8. Menarik kesimpulan dan saran.

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Karakteristik Data

Terdapat 7 mesin Boiler di PT X namun hanya 2 mesin Boiler yang paling sering digunakan dan memiliki kapasitas paling besar. Mesin Boiler bekerja secara independen dan memiliki spesifikasi yang sama. Karakteristik data dari setiap mesin Boiler secara visual adalah sebagai berikut.



Gambar 2 Plot Kumulatif Usia Mesin (t) dan Banyaknya Kerusakan N(t) (a) Boiler 6 (b) Boiler 7.

Gambar 2 merupakan plot antara kumulatif usia mesin Boiler (t) dengan banyaknya kerusakan yang terjadi N(t). Berdasarkan Plot (a) diketahui selama 3 tahun mesin Boiler 6 telah mengalami 20 kerusakan, sedangkan untuk Boiler 7 telah mengalami 32 kerusakan seperti yang terlihat pada Plot (b). Jarak antar titik pengamatan yang semakin kecil menandakan bahwa mesin Boiler semakin cepat mengalami kerusakan seiring dengan berjalannya waktu. Usia mesin (*lifetime*) pada mesin Boiler 6 meningkat seiring berjalannya waktu seperti yang terlihat pada Plot (a), sedangkan usia mesin (*lifetime*) pada mesin Boiler 7 menurun seiring berjalannya waktu seperti yang terlihat pada Plot (b). Hal ini sesuai dengan data yang diperoleh dari lapangan.

#### B. Pemeriksaan Trend Data

Langkah pertama dalam analisis dengan *Geometric Process* adalah melakukan pemeriksaan apakah terdapat *trend* pada data usia (*lifetime*) dan waktu perbaikan mesin Boiler di PT X. Hasil pengujian dapat dilihat dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1.  
Statistika Deskriptif *Lifetime* dan *Downtime* Mesin Boiler

Data	Mesin	
	Boiler 6	Boiler 7
Usia Mesin	-1,70836	1,07095
Waktu Perbaikan	-7,73612	-9,7759

Nilai statistik uji Laplace yang dihasilkan untuk usia dan waktu perbaikan mesin Boiler 6 dan 7 di PT X masing-masing bernilai lebih dari 0. Sehingga usia dan waktu perbaikan mesin Boiler 6 dan 7 di PT X memiliki *trend*.

Apabila bernilai negatif artinya memiliki *trend* turun, sedangkan nilai  $L$  bertanda positif berarti memiliki *trend* naik. Adanya *trend* pada data usia mesin *Boiler* ini menyebabkan usia mesin *Boiler* diduga mengikuti *Geometric process*. Keandalan atau kinerja akan semakin menurun seiring berjalannya waktu, sedangkan tingkat laju kerusakan akan semakin meningkat. Dugaan tersebut harus dibuktikan dengan pengujian *Geometric process*, namun sebelumnya harus dilakukan estimasi parameter sebagai berikut.

C. *Estimasi Parameter*

Sebelum dilakukan pengujian *Geometric process* harus dilakukan perhitungan estimasi parameter  $\ln r$ ,  $\alpha$ , dan  $\sigma_e^2$  dengan Persamaan (3) - (5) yang didapatkan dari hasil model regresi. Hasil perhitungan dapat dilihat dalam Tabel 2 berikut.

Tabel 2.  
Estimasi Parameter Lifetime dan Waktu Perbaikan Mesin Boiler

Parameter	Usia Mesin ( <i>Lifetime</i> )		Waktu Perbaikan	
	Boiler 6	Boiler 7	Boiler 6	Boiler 7
$\ln r$	0,668059	0,608139	2,48295	1,6157
$r$	1,950448	1,837009	11,9766	5,0315
$\hat{\alpha}$	3,848587	6,267308	14,7665	16,3002
$\sigma_e^2$	3,751981	0,702249	4,1806	-3,2204

Kedua nilai  $r$  bernilai lebih dari 1 mengindikasikan bahwa seiring dengan seringnya pemakaian mesin *Boiler* di PT X maka usia (*lifetime*) mesin akan semakin memendek hingga akhirnya akan mengalami kerusakan. Nilai  $r$  untuk mesin *Boiler* 6 dan 7 yang hampir sama menunjukkan bahwa *trend* kerusakan mesin *Boiler* tersebut adalah sama. Sehingga waktu optimum untuk melakukan pemeliharaan mesin *Boiler* di PT X dapat dilakukan secara bersamaan dengan kata lain, dalam analisis ini akan dihasilkan satu kesimpulan waktu pemeliharaan yang optimum untuk mesin *Boiler* di PT X. Nilai  $\sigma_e^2$  relatif kecil mengindikasikan bahwa, estimasi parameter yang dihasilkan model regresi untuk data *lifetime* dan waktu perbaikan mesin sudah cukup baik untuk menangkap keberadaan *trend*.

D. *Pengujian Geometric process*

Pengujian *Geometric process* dilakukan untuk mengetahui apakah data usia mesin mengikuti *Geometric process*. Pengujian dilakukan dengan Persamaan (6) menghasilkan nilai seperti pada Tabel 3 berikut

Tabel 3.  
Pengujian *Geometric process*

Nilai Statistik Uji	Nilai Kritis	Keputusan
-8,89397	-2,10092	Tolak $H_0$

Nilai statistik uji  $|t|$  yang dihasilkan sebesar 8,89397, nilai tersebut lebih besar dari nilai kritis  $t_{(18;0,025)}$  yaitu -2,10092. Sehingga  $H_0$  ditolak pada taraf signifikansi 5% artinya, usia mesin *Boiler* di PT X mengikuti *Geometric process*. Hal ini menunjukkan bahwa jika mesin *Boiler* rusak kemudian diperbaiki, maka kinerja mesin akan menurun atau keandalan mesin semakin turun seiring berjalannya waktu serta tingkat laju kerusakan mesin akan meningkat.

E. *Estimasi Rata-Rata Lifetime dan Waktu Perbaikan Mesin Boiler*

1. *Estimasi Rata-Rata Lifetime Mesin Boiler*

Estimasi rata-rata *lifetime* mesin *Boiler* dilakukan menggunakan persamaan (7) sehingga didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.  
Estimasi Rata-Rata Umur Mesin Boiler

Estimasi Parameter	Nilai
$\hat{\mu}_{x_1}$ (jam)	12303,3
$\hat{\mu}_{x_1}$ (tahun)	1,404487
$\hat{\mu}_{x_n}$ (jam)	$\frac{12303,3}{1,950448^{n-1}}$

Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui bahwa rata-rata lama umur mesin *Boiler* di PT X dapat berfungsi baik saat pertama kali digunakan (baru) hingga mengalami kerusakan yang pertama adalah sebesar 12303 jam apabila tanpa adanya kegiatan pemeliharaan (*preventive maintenance*). Dari Persamaan 11 dapat diketahui bahwa mesin *Boiler* tidak dapat beroperasi kembali setelah 16 kali mengalami kerusakan jika tanpa adanya tindakan pemeliharaan (*preventive maintenance*). Agar mesin *Boiler* kembali berfungsi dengan baik maka harus dilakukan tindakan pemeliharaan (*preventive maintenance*) seperti pengecekan seluruh kondisi komponen mesin, penggantian komponen, dan pemberian pelumas. Mesin *Boiler* di PT X diprediksi akan bekerja atau berfungsi dengan baik secara menyeluruh selama 25248 jam (1052 hari) digunakan apabila tanpa adanya kegiatan pemeliharaan (*preventive maintenance*).

2. *Estimasi Rata-Rata Waktu Perbaikan Mesin Boiler*

Estimasi rata-rata waktu perbaikan mesin *Boiler* dilakukan menggunakan persamaan (7) sehingga didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 5.  
Estimasi Rata-Rata Umur Mesin Boiler

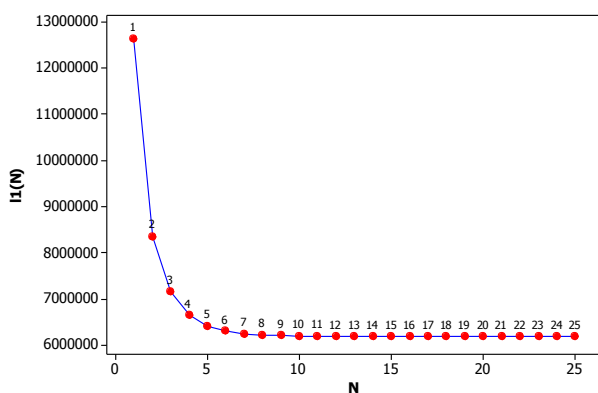
Estimasi Parameter	Nilai
$\hat{\mu}_{y_1}$ (jam)	31,318
$\hat{\mu}_{y_1}$ (tahun)	0,003575
$\hat{\mu}_{y_n}$ (jam)	$\frac{31.318}{11,9766^{n-1}}$

Berdasarkan Tabel 5 dapat diketahui bahwa rata-rata lama waktu perbaikan mesin *Boiler* di PT X pada kerusakan pertama adalah adalah 31,318 jam. Berdasarkan Persamaan 11 dapat diketahui bahwa rata-rata lama waktu perbaikan mengalami penurunan, hal ini dapat terjadi karena PT X telah belajar dari pengalaman kerusakan pertama sehingga pada kerusakan kedua perbaikan dapat lebih efisien. Perusahaan tidak akan melakukan perbaikan pada komponen mesin *Boiler* setelah mengalami 2 kali kerusakan, hal ini mengindikasikan bahwa PT X akan melakukan penggantian pada komponen mesin *Boiler* jika komponen tersebut telah mengalami kerusakan yang kedua.



#### F. Penentuan Waktu Optimum Preventive Maintenance Mesin Boiler

Penentuan waktu untuk tindakan pemeliharaan (*preventive maintenance*) pada mesin memerlukan perhitungan waktu yang tepat. Salah satu bentuk pemeliharaan (*preventive maintenance*) adalah melakukan penggantian komponen. PT X memiliki standar perhitungan biaya dalam melakukan kegiatan perbaikan serta penggantian komponen mesin *Boiler*. Standar biaya perbaikan (cost of repair) sebesar Rp 17.000.000,00 dalam satu kali perbaikan dan biaya apabila terjadi kerusakan (cost of failure) sebesar Rp 205.000.000,00. Biaya perbaikan (cost of repair) tersebut merupakan biaya perbaikan untuk komponen burner. Hal ini karena komponen tersebut adalah komponen utama dalam mesin *Boiler*. Dengan Persamaan 13 didapatkan hasil  $I_1(N)$  dengan  $N$  kemudian menghasilkan plot sebagai berikut,



Gambar 3. Plot Jumlah Kerusakan (N) dengan Rata-Rata Biaya Biaya Pemeliharaan (*Preventive Maintenance*) Mesin Boiler.

Gambar 3 memberikan informasi bahwa estimasi rata-rata biaya pemeliharaan (*preventive maintenance*) mesin *Boiler* berupa pengecekan maupun penggantian komponen burner akan semakin menurun seiring dengan jumlah kerusakan yang dialami. Tetapi apabila komponen burner telah mengalami beberapa kali kerusakan maka, umur mesin *Boiler* akan semakin menurun. Komponen yang terlalu sering diperbaiki, hasil perbaikannya tidak efektif lagi karena waktu perbaikannya semakin bertambah dan hal yang efektif dilakukan adalah menggantinya dengan komponen yang baru. Berdasarkan Gambar 4.2 kegiatan pemeliharaan (*preventive maintenance*) mesin *Boiler* berupa pengecekan maupun penggantian komponen *burner* yang optimum berdasarkan biaya minimum adalah ketika kerusakan yang ke-6 dengan biaya sebesar Rp 6.301.382. Selisih biaya pemeliharaan mulai kerusakan ke-7 hingga ke-25 tidaklah signifikan dan tidak memiliki arti bagi perusahaan, oleh karena itu kebijakan yang dipilih adalah pada kerusakan ke-6. Biaya pemeliharaan (*preventive maintenance*) mesin *Boiler* berupa pengecekan maupun penggantian komponen *burner* adalah pada kerusakan yang ke-6 ini lebih murah daripada biaya yang selama ini

dikeluarkan oleh perusahaan dalam memelihara mesin *Boiler* ( $C_R$ ).

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan maka didapatkan waktu optimum untuk melakukan kegiatan pemeliharaan (*preventive maintenance*) mesin *Boiler* berupa pengecekan maupun penggantian komponen burner di PT X dengan biaya minimum adalah pada saat kerusakan ke 6 dengan estimasi biaya sebesar Rp 6.301.382. Pada kerusakan ke-6 ini biaya pemeliharaan (*preventive maintenance*) lebih murah dibandingkan pada kerusakan ke-2. Dengan menerapkan kebijakan pemeliharaan (*preventive maintenance*) mesin *Boiler* setelah mengalami kerusakan ke-6, PT X dapat menghemat biaya pemeliharaan (*preventive maintenance*) sebesar Rp 10.698.618 jika dibandingkan dengan biaya dikeluarkan oleh perusahaan dalam memelihara mesin *Boiler* ( $C_R$ ).

### B. Saran

Beberapa saran yang dapat direkomendasikan untuk penelitian selanjutnya dan untuk kebijakan pemeliharaan (*preventive maintenance*) mesin *Boiler* di PT X adalah sebagai berikut,

1. Kegiatan pemeliharaan (*preventive maintenance*) mesin *Boiler* di PT X sebaiknya dilakukan ketika mesin *Boiler* mengalami kerusakan ke-6 dengan estimasi biaya sebesar Rp 6.301.382.
2. Penelitian ini hanya terbatas pada kerusakan mesin yang disebabkan oleh faktor internal saja, namun kerusakan mesin juga disebabkan oleh faktor eksternal sehingga pada penelitian selanjutnya sebaiknya mempertimbangkan faktor eksternal. Dimana membutuhkan pencatatan data kerusakan oleh faktor eksternal oleh perusahaan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Deny, "Stop dari Thailand, Perusahaan Arab Pilih Impor Ikan Tuna dari RI," 2017. .
- [2] Hadiwiyoto, *Teknologi Hasil Perikanan*. Jakarta: Liberty, 1993.
- [3] M. Kerr, P. Lawicki, S. Aguirre, and C. Rayner, "Effect of Storage Condition on Histamine Formation in Fresh and Canned Tuna," Victoria, 2002.
- [4] F. K. Leung and C. Fong, "A Repair-Replacement Study for Gearboxes Using Geometric processes," *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 17, no. 3, pp. 285–304, 2000.
- [5] Y. Lam, "A Note On the Optimal Replacement Problem," *Adv. Appl. Probab.*, vol. 20, pp. 479–482, 1988.
- [6] T. Adams, "kscddms.ksc.nasa.gov," 2017. [Online]. Available: [https://kscddms.ksc.nasa.gov/Reliability/Documents/Laplace\\_Test.pdf](https://kscddms.ksc.nasa.gov/Reliability/Documents/Laplace_Test.pdf).
- [7] Y. Lam, "Communications in Statistic-Theory and Methods," *Nonparametric Inference Geom. Process.*, vol. 21, pp. 2083–2105, 1992.
- [8] S. Ross, *Applied Probability Models with Optimization Applications*. San Fransisco: Holden-Day, 1970.
- [9] E. Yohana and Askhabulyamin, "Perhitungan Efisiensi dan Konversi dari Bahan Bakar Solar ke Gas pada Boiler Ebara HKL 1800 KA," *J. Tek. Mesin*, vol. 14, no. 2, pp. 7–10, 2012.