

Analisis Reliabilitas pada *Hydraulic Spreader System Container Crane* di PT. Terminal Petikemas Surabaya

Adita Krisdiyantoro, Wibawati, dan Haryono

Departemen Statistika, Fakultas Matematika, Komputasi, dan Sains Data,

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: haryono@statistika.its.ac.id

Abstrak—Potensi ekonomi Indonesia dalam bidang Maritim sangat tinggi termasuk di bidang pelabuhan yaitu terminal bongkar muat barang. Salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang logistik bongkar muat barang adalah PT. Terminal Petikemas Surabaya yang merupakan sebuah terminal berstandar kelas dunia di bidang kepelabuhanan yang menangani ekspor dan impor petikemas baik domestik maupun internasional. Salah satu mesin utama yang digunakan dalam proses bongkar muat barang adalah *Container Crane (CC)*. Rangkaian *Spreader System* pada *CC* terdapat beberapa alat dan komponen yang saling mempengaruhi, salah satu alat yang berperan penting dalam menggerakkan *Spreader* adalah *Hydraulic*. Pada penelitian ini melakukan penentuan waktu optimum pemeliharaan *Hydraulic Spreader System* pada *CC-06* dan *CC-09* menggunakan metode *Geometric Process (GP)*. Waktu optimum untuk melakukan *preventive maintenance* pada *Hydraulic Spreader System Container Crane 06* adalah saat mengalami kerusakan ke-15 dengan estimasi rata-rata biaya sebesar Rp.1.289.800. Sedangkan waktu optimum untuk melakukan kegiatan pemeliharaan pada *Container Crane 09* adalah saat mengalami kerusakan ke-30 dengan estimasi rata-rata biaya sebesar Rp. 417.600.

Kata Kunci—*Container Crane, Hydraulic, Maintenance, Spreader System, Geometric Process.*

I. PENDAHULUAN

INDONESIA merupakan Negara kepulauan terbesar di dunia dan dikenal sebagai Negara bahari. Potensi ekonomi Indonesia yang besar mendorong bidang industri untuk melakukan berbagai upaya untuk meningkatkan perekonomian di bidang Maritim termasuk bidang pelabuhan. Pembangunan infrastruktur maritim sangat berguna untuk meningkatkan efisiensi logistik di jalur laut. Peluang sektor usaha terminal pelabuhan di bidang bongkar muat barang dari dan ke atas kapal di pelabuhan sangat besar dalam meningkatkan perekonomian Negara. Salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang logistik adalah PT. Terminal Petikemas Surabaya. PT.TPS (Terminal Petikemas Surabaya) merupakan sebuah terminal berstandar kelas dunia di Indonesia, berkomitmen untuk mempertahankan posisi TPS yang unik dan menonjol yaitu sebagai Pintu Gerbang ke Kawasan Indonesia Bagian Timur. PT. Terminal Petikemas Surabaya bergerak di bidang kepelabuhanan yang menangani ekspor dan impor petikemas baik domestik maupun internasional. salah satu hal yang mendukung kelancaran kegiatan operasi pada suatu perusahaan adalah mesin. Mesin merupakan faktor yang penting dalam melayani bongkar muat barang di PT. Terminal Petikemas Surabaya dalam mempercepat proses pelayanan. Suatu mesin terdiri dari berbagai komponen penting yang mendukung kelancaran

mesin, apabila terjadi kerusakan pada salah satu komponen maka mesin tidak dapat beroperasi.

Sistem yang sering mengalami kerusakan adalah *Spreader System*. Sistem ini memiliki tingkat kerusakan yang cukup tinggi karena sering mengalami benturan dengan *container* saat peletakan. Dalam rangkaian *Spreader System* terdapat beberapa alat dan komponen yang saling mempengaruhi, salah satu alat yang berperan penting dalam menggerakkan *Spreader* adalah *Hydraulic*. Alat ini sebagai penggerak beberapa komponen dalam *Spreader System* yang berfungsi memanjang dan memendek menyesuaikan dengan ukuran *box container* yang akan diangkat oleh *Spreader*, karena dalam satu kapal yang dilakukan bongkar muat memiliki ukuran *box* yang berbeda - beda. Apabila *Hydraulic* dalam sistem terganggu atau mengalami kerusakan maka *spreader* tidak dapat mengangkat petikemas sehingga *Container Crane* tersebut tidak dapat beroperasi. Oleh karena itu, perlu adanya pemeliharaan untuk menjaga keandalan mesin agar bekerja dengan baik.

Penelitian menggunakan analisis reliabilitas sudah banyak dilakukan dan dikembangkan dengan berbagai macam metode mengenai reliabilitas. PT. Terminal Petikemas Surabaya memiliki laju kerusakan dan lama perbaikan *Container Crane* yang mengalami fluktuasi. Sehingga pada penelitian ini, akan menggunakan ilmu dalam Statistika yaitu analisis reliabilitas penentuan waktu optimum pemeliharaan alat *Hydraulic Spreader System Container Crane* menggunakan metode *Geometric Process (GP)*. Penelitian hanya fokus pada *CC-06* dan *CC-09* Selain digunakan pada sistem yang memiliki laju kerusakan yang naik maupun turun, metode *Geometric Process* juga digunakan pada sistem *repairable* dan *nonrepairable*. Pada metode ini, sistem yang telah dilakukan perbaikan maka akan dianggap memiliki kinerja dan keandalan yang menurun. Menurut [1] dalam [2] pendekatan dengan *Geometric Process* lebih relevan dan realistis untuk memodelkan permasalahan penurunan kinerja mesin setelah dilakukan perbaikan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pemeliharaan

Secara umum kata pemeliharaan identik dengan pekerjaan memperbaiki, membongkar, atau memeriksa mesin secara seksama dan menyeluruh (MRO – *Maintenance, Repair, and Overhaul*). Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia, *maintainability* atau pemeliharaan diartikan sebagai harta kekayaan. Pada industri manufaktur, harta kekayaan adalah alat yang digunakan dalam proses produksi atau segala hal *operation* yang ada di perusahaan agar tahan lama dan tetap dalam kondisi baik. Pada dasarnya tidak ada mesin yang

mampu beroperasi secara terus menerus, tetapi mampu bertahan atau bekerja sesuai dengan standar operasional yang telah ditetapkan. Jika pemeliharaan tidak terjadwal dan diatur secara baik, maka pemeliharaan dapat menimbulkan biaya dan kerugian yang besar bagi perusahaan [3].

Random variabel dengan $N(t)$ adalah jumlah kejadian yang muncul dari sebuah ke-gagalan pada interval waktu $(0, t)$. Proses dari $\{N(t), t \geq 0\}$ merupakan proses stokastik yang memiliki realisasi berupa proses menghitung atau *counting process*, digunakan untuk mengetahui hubungan dari suatu runtutan peristiwa atau proses kejadian yang bersifat tidak pasti [4].

1. *Renewal Process*

Renewal Process merupakan proses yang apabila suatu komponen rusak, maka komponen tersebut akan dikembalikan kepada kondisi seperti komponen yang baru (*as good as new condition*) setelah mengalami perbaikan [4].

2. *Proses Perbaikan Minimal*

Proses perbaikan minimal merupakan salah satu istilah dari *preventive maintenance* yang memiliki arti bahwa sitem yang mengalami *failure* akan berfungsi kembali setelah perbaikan dilakukan dengan kondisi dan usia efektif yang sama seperti *failure* yang terakhir.

B. *Proses Poisson*

Proses Poisson, apabila sebuah komponen memiliki tingkat kerusakan konstan (λ) atau rusak secara tiba-tiba maka secara langsung diperbaiki atau diganti ketika mengalami kerusakan. N merupakan jumlah kejadian yang muncul dari sebuah kegagalan pada interval waktu $(0, t)$ [5]. Proses Poisson dibagi menjadi dua yaitu proses poisson homogen dan proses poisson nonhomogen. Probabilitas jumlah kerusakan yang memiliki distribusi Poisson adalah sebagai berikut.

$$p(x) = P(N = n) = \frac{e^{-\lambda} (\lambda)^n}{n!} \tag{1}$$

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

λ = nilai rata-rata dan variansi dari jumlah kerusakan suatu sistem.

3. *Homogeneous Poisson Process (HPP)*

Proses Poisson Homogen merupakan proses Poisson dengan laju kerusakan yang bersifat independen dan berdistribusi eksponensial dengan parameter λ , ($\lambda > 0$). Laju kerusakan pada HPP bersifat konstan. Probabilitas jumlah kerusakan pada waktu t pada HPP adalah sebagai berikut [3]

$$P[N(t) = n] = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} \tag{2}$$

4. *Non-Homogeneous Poisson Process (NHPP)*

NHPP menggambarkan proses kerusakan komponen suatu sistem yang memiliki pola tertentu dengan jumlah kumulatif hingga waktu t adalah $N(t)$. *Non-Homogeneous Poisson Process* (NHPP) dapat juga disebut dengan *Weibull process*, karena *Rate of Occurance of Failure (ROCOF)* memiliki fungsi *failure rate* yang sama dengan distribusi *Weibull* dengan parameter *shape* (β) dan parameter *scale* (λ).

Probabilitas jumlah kegagalan pada interval waktu $[t_1, t_2]$ maka menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$P[N(t_2) - N(t_1) = n] = \frac{[W(t_2) - W(t_1)]^n}{n!} e^{-[W(t_2) - W(t_1)]} \tag{3}$$

C. *Pemeriksaan Trend*

Pemeriksaan *trend* data berguna untuk mengetahui laju kerusakan naik atau turun. Salah satu cara yang digunakan untuk melihat naik turunnya laju kerusakan dalam sebuah sitem adalah dengan menggunakan nilai *Laplace*. Statistik uji nilai *Laplace* untuk *time truncated data* adalah sebagai berikut.

$$L = \frac{\left(\frac{\sum_{i=1}^{N_k} t_{i,k}}{N_k} - \frac{T_k}{2} \right)}{\left(T_k \sqrt{\frac{1}{12N_k}} \right)} \tag{4}$$

dengan

L = nilai *Laplace* (pendekatan distribusi normal standar)

$t_{i,k}$ = waktu kerusakan berdasarkan (*lifetime* atau lama waktu perbaikan) ke- i pada sistem ke- k . Pada struktur data *lifetime* dinotasikan x dan y untuk lama perbaikan.

T_k = *time truncated* yang telah ditentukan pada sistem ke- k

N_k = banyaknya kerusakan yang terjadi pada sistem ke- k

Apabila nilai $L > 0$ maka data set kerusakan $\{t_{i,k}; i = 1, 2, \dots, N_k\}$ menunjukkan adanya *trend* naik. Jika nilai

$L < 0$ maka data set kerusakan $\{t_{i,k}; i = 1, 2, \dots, N_k\}$ menunjukkan adanya *trend* turun.

D. *Estimasi Parameter Geometric Process*

Persamaan regresi linier sederhana yang dapat digunakan adalah sebagai berikut.

$$\ln G_n = -(n-1) \ln r + \alpha + e_n \tag{5}$$

dengan $n = 1, 2, \dots, N$ dan e_n = variabel random dari bentuk eror yang menjelaskan pengaruh variabel dependen $\ln G_n$

dengan mean 0 dan varians σ_e^2 untuk $n = 1, 2, \dots, N$

Berikut ini merupakan formula estimasi titik menggunakan metode *Ordinary Least Square* [4].

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

$$\hat{\alpha} = \frac{\sum_{n=1}^N \ln G_n}{N} + \left(\frac{N-1}{2} \right) \ln \hat{r} \tag{7}$$

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{N-2} \left\{ \sum_{n=1}^N (\ln G_n)^2 - \frac{\left(\sum_{n=1}^N \ln G_n \right)^2}{N} - \ln \hat{r} \left[\left(\frac{N-1}{2} \right) \sum_{n=1}^N \ln G_n - \sum_{n=1}^N (n-1) \ln G_n \right] \right\} \tag{8}$$

E. Pengujian Geometric Process

Pengujian *Geometric Process* digunakan untuk mengetahui data berasal dari *Geometric Process* atau tidak. *Geometric Process* merupakan sebuah proses dimana kenaikan kejadian tersebut proposional terhadap waktu sebelumnya dan lajunya bersifat *non-linear* sehingga membentuk pola polinomial. Hipotesis yang digunakan dalam pengujian *Geometric Process* adalah sebagai berikut [1].

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

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

Statistik Uji:

$$t = \frac{-\ln \hat{r} \sqrt{(N-1)N(N+1)}}{\hat{\sigma}_e \sqrt{12}} \quad (9)$$

t memiliki distribusi *student-t* dengan derajat bebas (N-2).

Keputusan tolak H_0 jika $|t| > t_{tabel(N-2);0,025}$ dengan taraf signifikansi 5%. Artinya, data set $\{G_1, G_2, \dots, G_N\}$ berasal dari *Geometric Process*.

F. Estimasi Mean dan Variance dari G_n

Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut [4].

a. Jika rasio $r > 1$ maka estimasi *mean* dan *variance* dari G_1 adalah sebagai berikut.

$$\hat{\mu}_{G_1} = \frac{(1-\hat{r}^{-1}) \sum_{n=1}^N G_n}{1-\hat{r}^{-N}}, \quad (10)$$

dan

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

b. Jika rasio $0 < r < 1$ maka estimasi *mean* dari G_1 adalah sebagai berikut.

$$2\hat{\mu}_{G_1} \ln \mu_{G_1} - 2\hat{\alpha} \hat{\mu}_{G_1}^2 - \sigma_{G_1}^2 = 0, \quad (12)$$

dimana $\hat{\alpha}$ dan $\hat{\sigma}_{G_1}^2$ dihitung masing-masing berdasarkan persamaan (7) dan (11).

c. Jika $r = 1$ maka estimasi *mean* dan *variance* dari G_1 adalah sebagai berikut.

$$\hat{\mu}_{G_1} = \frac{\sum_{n=1}^N G_n}{N}, \quad (13)$$

dan

$$\hat{\sigma}_{G_1}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (G_n - \hat{\mu}_{G_1})^2}{N-1} \quad (14)$$

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

$$\hat{\mu}_{G_n} = \frac{\hat{\mu}_{G_1}}{\hat{r}^{n-1}} \text{ dan } \hat{\sigma}_{G_n}^2 = \frac{\hat{\sigma}_{G_1}^2}{\hat{r}^{2(n-1)}} \quad (15)$$

G. Model Optimum

Salah satu cara pemeliharaan adalah dengan melakukan penggantian komponen. Waktu penggantian komponen rusak yang *repairable* biasanya bersifat stokastik. Oleh karena itu tidak mempertimbangkan usia pakai komponen yang digunakan, sehingga akan membentuk *renewal process*. Waktu penggantian diasumsikan diabaikan untuk mempermudah perhitungan. Persamaan rata-rata biaya jangka panjangnya menjadi sebagai berikut ($w=1$ dan $d_R=0$).

$$l(N) = \frac{c_f \mu_{Y_1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{b^{n-1}} + c_R - \mu_{X_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}}}{\mu_{X_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}} + \mu_{Y_1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{b^{n-1}}} \quad (16)$$

H. Container Crane

Container Crane (CC) merupakan alat bongkar muat *container* yang dipasang permanen dipinggir dermaga dengan menggunakan rel sehingga dapat bergeser ke kanan atau kiri. Alat ini berfungsi untuk bongkar muat.

I. Spreader and Hydraulic

Spreader merupakan salah satu komponen pada *Container Crane* yang berfungsi untuk menempelkan dan mengunci kontainer yang akan dipindahkan ke tempat lain. Sedangkan *Hydraulic* merupakan penggerak (*actuator*) dengan media oli hidrolik bertekanan tinggi yang berguna untuk mengangkat beban berat sesuai hukum Pascal. *Hydraulic* berfungsi untuk mengangkat dan menurunkan *boom*, menggulung *wire rope*, berputar menggunakan sistem jalur hidrolik. Bagian utama *Hydraulic* diantaranya *Oil Tank*, *Motor Pump* atau *Hydraulic Pump*, *Solenoid Valve*, dan *Actuator*. *Hydraulic* pada *spreader* berfungsi untuk mengubah fleksibilitas *spreader* untuk mengangkat *container* sesuai dengan ukurannya.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder pencatatan *equipment performance* mengenai *Container Crane* yang dilakukan oleh *Enginnering Department* di PT. Terminal Petikemas Surabaya. Data yang digunakan adalah data yang ada pada *software* terbaru yaitu *MAXIMO* dengan data yang tersedia pada tahun 2017 hingga 2018.

B. Variabel Penelitian

Tabel 1. Struktur Data

Kegagalan ke- i	Usia Pakai Hidrolik		Lama Perbaikan Hidrolik	
	x_1	x_2	y_1	y_2
1	$x_{1,1}$	$x_{1,2}$	$y_{1,1}$	$y_{1,2}$
2	$x_{2,1}$	$x_{2,2}$	$y_{2,1}$	$y_{2,2}$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
i	$x_{i,1}$	$x_{i,2}$	$y_{i,1}$	$y_{i,2}$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
N	$x_{N,k}$	$x_{N,k}$	$y_{N,k}$	$y_{N,k}$

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah usia pakai (*lifetime*) dan lama perbaikan mesin, struktur datanya disajikan dalam Tabel 1.

Dengan

- x_1 = usia pakai hidrolik di *Container Crane* 06
- x_2 = usia pakai hidrolik di *Container Crane* 09
- $x_{i,1}$ = waktu usia pakai kegagalan ke- i yang terjadi pada *Container Crane* 06
- $x_{i,2}$ = waktu usia pakai kegagalan ke- i yang terjadi pada *Container Crane* 09
- $x_{N,k}$ = waktu usia pakai hingga kumulatif kegagalan ke- N yang terjadi pada *Container Crane* ke- k
- $y_{i,1}$ = lama waktu perbaikan akibat kegagalan ke- i pada *Container Crane* 06
- $y_{i,2}$ = lama waktu perbaikan akibat kegagalan ke- i pada *Container Crane* 09
- $y_{N,k}$ = lama waktu perbaikan akibat kegagalan hingga kumulatif ke- N pada *Container Crane* ke- k
- y_1 = lama perbaikan hidrolik di *Container Crane* 06
- y_2 = lama perbaikan hidrolik di *Container Crane* 09
- N = kumulatif kegagalan yang diamati

Diketahui x dan y pada struktur data adalah sebuah proses stokastik. Proses stokastik tersebut dinotasikan dengan $(G_n, n=1, 2, \dots)$ yang merupakan *Geometric Process (GP)*.

C. Langkah Analisis

Langkah analisis yang dilakukan dalam mencapai tujuan penelitian adalah sebagai berikut.

1. Mengumpulkan data kerusakan *Container Crane* ke dalam kelompok sistem dan kerusakan komponen.
2. Menghitung data usia pakai serta lama perbaikan pada *Hydraulic Spreader System*.
3. Mendeskripsikan karakteristik data usia pakai (*lifetime*) pada *Hydraulic Spreader System* untuk masing-masing *Container Crane*.
4. Melakukan plot data laju kerusakan pada *Hydraulic Spreader System* di PT. Terminal Petikemas Surabaya.
5. Melakukan pemeriksaan *trend* pada data usia pakai dan lama perbaikan pada *Hydraulic Spreader System* di PT. Terminal Petikemas Surabaya dengan statistik uji *Laplace*.
6. Melakukan estimasi parameter $\ln r, \alpha$, dan σ^2 , menggunakan metode *Ordinary Least Square (OLS)* berdasarkan dugaan data mengikuti *Geometric Process*.
7. Melakukan pengujian *Geometric Process (GP)* terhadap data usia pakai (*lifetime*) pada *Hydraulic Spreader System*.
8. Melakukan estimasi parameter *mean* dan *variance* dari G_n .
9. Mendapatkan waktu optimum pemeliharaan (*preventive maintenance*) *Hydraulic Spreader System* dengan biaya yang minimum melalui kurva antara rata-rata biaya jangka panjang per tahun terhadap N .

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

PT Terminal Petikemas Surabaya memiliki beberapa *Container Crane* yang digunakan sebagai alat bongkar muat dari kapal ke dermaga. Salah satu sistem penting pada *Container Crane* adalah *Spreader System*. Salah satu bagian yang sering mengalami kerusakan adalah *Hydraulic* pada *Spreader System*. *Hydraulic* merupakan komponen *repairable* sehingga ketika terjadi suatu kerusakan maka akan

dilakukan proses perbaikan. Proses perbaikan dilakukan agar peralatan berat tersebut dapat beroperasi kembali seperti semula sebelum mengalami kerusakan

A. Karakteristik Data *Lifetime Hydraulic Spreader System*

Data *Lifetime Hydraulic Spreader System* yang digunakan dalam penelitian adalah pada *Container Crane (CC)* 06 dan 09. *Hydraulic* pada kedua *Container Crane* memiliki spesifikasi yang sama. Karakteristik dari *Hydraulic* pada *Spreader System* di masing – masing *CC* dapat dilihat disajikan pada Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2.
Karakteristik Data *Lifetime Hydraulic Spreader System*

<i>Hydraulic</i>	N	Mean	Variance	Min	Max
CC-06	12	2284	2555452	250	5567
CC-09	20	4726	5711806	482	9912

Pada Tabel 2 dapat diperoleh informasi bahwa rata-rata usia pemakaian *Hydraulic* pada CC-06 yaitu 2284 jam dari 12 kerusakan yang terjadi akibat beberapa kegagalan yang terjadi pada *Hydraulic*. Kerusakan tercepat yang terjadi pada komponen tersebut setelah beroperasi selama 250 jam atau 10 hari akibat kegagalan kabel *motor pump* di *Hydraulic* dan kerusakan paling lama yaitu komponen *motor pump* terjadi setelah beroperasi selama 5567 jam. Sedangkan rata-rata usia pakai CC-09 adalah 4726 jam dari 20 kerusakan, *failure* tercepat yang terjadi setelah *Hydraulic* beroperasi selama 482 jam atau sekitar 20 hari akibat harus dilakukan penambahan oli. Rata-rata waktu usia pakai *Hydraulic* pada CC-09 lebih lama dibandingkan dengan *Hydraulic* pada CC-06. Keragaman usia pakai *Hydraulic* pada CC-06 lebih kecil daripada *Hydraulic* pada CC-09, hal ini berarti bahwa *Hydraulic* pada CC-06 memiliki waktu usia pakai cenderung homogen lebih pendek atau lebih cepat terjadi *failure* dibandingkan lainnya. Sedangkan untuk lama waktu perbaikan disajikan dalam tabel sebagai berikut.

Tabel 3.
Karakteristik Data Lama Waktu Perbaikan *Hydraulic Spreader System*

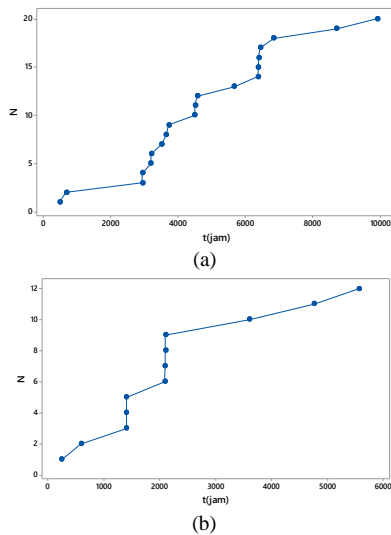
<i>Hydraulic</i>	N	Mean	Variance	Min	Max
CC-06	12	2,182	1,936	0,250	4,267
CC-09	20	27,16	164,42	3,47	43,37

Rata-rata waktu perbaikan kerusakan pada *Hydraulic Spreader System* di CC-09 lebih lama dibandingkan kerusakan di *Hydraulic* pada CC-06 yaitu sebesar 27,16 jam. Waktu perbaikan tercepat pada kerusakan *Hydraulic* di CC-09 yaitu selama 3,47 jam untuk penambahan ulang oli dan paling lama yaitu 43,37 jam dalam proses penggantian *solenoid valve*. Sedangkan rata-rata waktu perbaikan *Hydraulic* di CC-06 selama 2,182 jam. Nilai variansi yang kecil pada CC-06 menunjukkan bahwa waktu perbaikan *Hydraulic* di CC-06 lebih cepat daripada *Hydraulic* pada CC-09, hal ini berarti bahwa *Hydraulic* pada CC-06 memiliki waktu lama perbaikan cenderung homogen lebih pendek atau lebih cepat dibandingkan lainnya.

Secara visual, untuk mengetahui karakteristik dapat dilihat melalui plot antara banyak kerusakan (N) dengan kumulatif *lifetime* yang dialami *Hydraulic Spreader System* pada masing-masing CC. Selain untuk melihat karakteristik dari data, plot juga dapat dijadikan dugaan awal adanya *trend* (mengikuti NHPP) atau tidak pada waktu antar kerusakan.

Plot antara banyak kerusakan (N) dengan kumulatif *lifetime* (t) pada kedua Gambar 1 menunjukkan bahwa titik-titik pengamatan pada plot memiliki kecenderungan semakin

merapat seiring berjalannya waktu. Jarak titik plot yang semakin rapat menandakan *Hydraulic Spreader System* pada *CC* tersebut semakin cepat mengalami kerusakan seiring berjalannya waktu. Sehingga dalam menganalisis perlu dilakukannya pemeriksaan ada atau tidaknya *trend* (naik atau turun) pada data supaya tampak jelas laju kerusakannya. Berdasarkan plot dapat diindikasikan bahwa data tersebut mengikuti *Geometric Process*. Plotnya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Plot Banyak Kerusakan (N) dengan Kumulatif *Lifetime* (t) (a) *CC-06* dan (b) *CC-09*.

B. Pemeriksaan Trend

Pemeriksaan *trend* dilakukan dengan menggunakan nilai *Laplace*. Jika nilai $L > 0$ maka laju kerusakan *Hydraulic Spreader System* memiliki *trend* naik, sedangkan jika sebaliknya memiliki *trend* turun. Hasil perhitungan nilai L pada masing-masing *Container Crane* ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4.
Hasil Nilai *Laplace* pada *Hydraulic Spreader System*

<i>Hydraulic</i>	Variabel	L
<i>CC-06</i>	Usia Pakai	-3,2595
	Lama Waktu Perbaikan	-5,9974
<i>CC-09</i>	Usia Pakai	-0,4249
	Lama Waktu Perbaikan	-7,7039

Pemeriksaan *trend* berdasarkan nilai *Laplace* menghasilkan informasi bahwa data usia pakai *Hydraulic Spreader System* yang terdapat pada kedua *Container Crane* tersebut menunjukkan *trend* turun. Hal ini dapat dilihat dari nilai L yang bertanda negatif atau memiliki nilai kurang dari nol. *Trend* yang menurun, berarti laju kerusakan pada mesin tersebut semakin menurun atau usia pakai *Hydraulic Spreader System* semakin meningkat seiring berjalannya waktu. Apabila dilihat dari plot Gambar 4.1, kedua *Hydraulic Spreader System* memiliki jarak antar plot semakin rapat meskipun terdapat beberapa titik yang jauh. Hal ini yang dapat menyebabkan nilai *Laplace* menunjukkan adanya *trend* menurun.

Sedangkan untuk data lama waktu perbaikan juga memiliki nilai negatif yang berarti waktu perbaikan *Hydraulic Spreader System* memiliki *trend* turun. Hal ini menunjukkan bahwa *preventive maintenance* yang dilakukan oleh perusahaan belum optimum dalam meningkatkan keandalan mesin. Adanya *trend* pada data usia pakai dan lama waktu perbaikan diduga mengikuti *Geometric Process*.

Untuk membuktikan dugaan tersebut, maka perlu dilakukan pengujian lebih lanjut. Namun, sebelumnya harus melakukan estimasi parameter sebagai berikut.

C. Estimasi Parameter

Sebelum melakukan pengujian *Geometric Process*, perlu dilakukannya estimasi parameter $\ln r, \alpha$, dan σ_e^2 yang diperoleh dari model regresi linier sederhana melalui metode OLS. Hasil perhitungannya ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5.
Estimasi Parameter *Lifetime* dan Lama Waktu Perbaikan *Hydraulic Spreader System*

<i>Parameter</i>	Usia Pakai Hidrolik		Lama Waktu Perbaikan	
	<i>CC-06</i>	<i>CC-09</i>	<i>CC-06</i>	<i>CC-09</i>
$\ln \hat{r}$	0,647357	0,27759	3,72436	1,59524
\hat{r}	1,91048	1,31994	41,4449	4,92949
$\hat{\alpha}$	1,94386	1,82368	11,9105	9,2072
$\hat{\sigma}_e^2$	2,83533	1,68019	13,2453	6,68759

Hasil estimasi parameter r usia pakai (*lifetime*) memberikan informasi bahwa nilainya lebih dari 1. Hal ini mengindikasikan usia pakai komponen *Hydraulic Spreader System* semakin memendek, sehingga akan sering mengalami kerusakan. Nilai parameter \hat{r} pada *CC-06* lebih besar dibandingkan dengan *CC-09*, berarti *Hydraulic Spreader System* pada *CC-06* lebih cenderung mengalami kerusakan dibandingkan dengan *CC-09*. Nilai estimasi $\hat{\sigma}_e^2$ relatif kecil memberikan informasi bahwa parameter yang dihasilkan model regresi untuk usia pakai *Hydraulic Spreader System* pada kedua *CC* tersebut cukup baik menangkap adanya *trend*.

Estimasi parameter \hat{r} lama waktu perbaikan juga memiliki nilai yang lebih besar dari satu, hal ini menunjukkan bahwa lama waktu perbaikan *Hydraulic Spreader System* akan semakin berkurang atau cenderung menuju nol. Sedangkan untuk estimasi lama waktu perbaikan relatif kecil yaitu sebesar 13,2453 dan 6,68759. Artinya, estimasi parameter yang dihasilkan model regresi untuk usia pakai *Hydraulic Spreader System* pada kedua *CC* tersebut cukup baik menangkap adanya *trend*.

D. Pengujian Geometric Process

Pengujian *Geometric Process* digunakan untuk mengetahui data usia pakai *Hydraulic Spreader System* mengikuti *Geometric Process* atau tidak. Hasil perhitungan statistik uji nya ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6.
Statistik Uji Usia Pakai *Hydraulic Spreader System*

Hidrolik	Statistik Uji		t-tabel
	Usia Pakai	Lama Waktu Perbaikan	
<i>CC-06</i>	-2,73029	-3,36246	2,22814
<i>CC-09</i>	-4,17774	-6,15129	2,10092

Pada Tabel 6 dapat diketahui bahwa nilai statistik uji $|t|$ kedua data usia pakai dan lama waktu perbaikan pada *CC-06* dan *CC-09* lebih besar dari nilai kritis ($|t| > t_{n,0,025}$) masing-masing. Hal ini memberikan kesimpulan tolak H_0 pada taraf signifikansi 5%. Artinya, data usia pakai dan lama waktu perbaikan *hydraulic spreader system* pada masing – masing

CC mengikuti *Geometric Process*. Selain dapat diperoleh informasi lain yaitu apabila *Hydraulic Spreader System* mengalami kerusakan kemudian diperbaiki, maka kinerja atau keandalan akan menurun seiring dengan berjalannya waktu serta laju kerusakan *Hydraulic Spreader System* juga akan meningkat.

E. *Estimasi rata-rata Usia Pakai dan Lama Waktu Perbaikan Hydraulic Spreader System*

Estimasi rata-rata usia pakai *Hydraulic Spreader System* disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7.
Estimasi Rata-Rata Usia Pakai *Hydraulic Spreader System*

Estimasi Parameter	Hidrolik CC-06	Hidrolik CC-09
$\hat{\mu}_{x_1}$ (tahun)	1,49055	2,6104
$\hat{\mu}_{x_1}$ (jam)	13066,16	22882,77

Sedangkan untuk $n = 2, 3, \dots, N$ menggunakan rumus (15) sehingga diperoleh hasil berdasarkan rumus sebagai berikut.

1. *Container Crane 06*

$$\hat{\mu}_{x_n} \text{ (jam)} = \frac{13066,16}{1,91048^{n-1}}$$

2. *Container Crane 09*

$$\hat{\mu}_{x_n} \text{ (jam)} = \frac{22882,77}{1,31994^{n-1}}$$

Estimasi rata – rata usia pakai *Hydraulic Spreader System* seperti yang disajikan pada Tabel 7, memberikan informasi bahwa rata-rata *Hydraulic Spreader System* dapat berfungsi baik saat pertama kali digunakan hingga mengalami kerusakan untuk pertama kalinya adalah setelah beroperasi selama 13067 jam (hidrolik CC-06) dan 22883 jam (hidrolik CC-09). Hasil perhitungan rata-rata usia pakai *Hydraulic Spreader System* berfungsi dengan baik hingga kerusakan ke- n . Berdasarkan perhitungan diperoleh informasi bahwa *Hydraulic Spreader System CC-06* tidak dapat beroperasi setelah 16 kali mengalami kegagalan atau kerusakan apabila tidak dilakukan pemeliharaan. Sedangkan pada *Hydraulic Spreader System CC-09* tidak dapat beroperasi kembali setelah 39 kali mengalami kegagalan atau kerusakan jika tidak dilakukan pemeliharaan. Estimasi *Hydraulic Spreader System CC-06* dapat berfungsi dengan baik untuk pertama kali secara keseluruhan selama 27419 jam atau 1143 hari tanpa adanya *preventive maintenance*. Sedangkan untuk *Hydraulic Spreader System CC-09* selama 94405 jam atau 3934 hari tanpa adanya pemeliharaan. Oleh karena itu, perlu dilakukannya *preventive maintenance* dengan melakukan pengecekan seluruh komponen yang ada pada *Hydraulic Spreader System* atau melakukan penggantian komponen apabila diperlukan agar keandalan CC tetap terjaga sehingga tidak menimbulkan kerugian akibat tidak adanya kegiatan operasional. Sedangkan estimasi rata-rata lama waktu perbaikan *Hydraulic Spreader System* disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8.
Estimasi Rata-Rata Lama Waktu Perbaikan *Hydraulic Spreader System*

Estimasi Parameter	Hidrolik CC-06	Hidrolik CC-09
$\hat{\mu}_{y_1}$ (tahun)	0,00291486	0,0493915
$\hat{\mu}_{y_1}$ (jam)	25,5517	432,97

Sedangkan untuk $n = 2, 3, \dots, N$ menggunakan rumus (15) sehingga diperoleh hasil berdasarkan rumus sebagai berikut.

1. *Container Crane 06*

$$\hat{\mu}_{y_n} \text{ (jam)} = \frac{25,5517}{41,4449^{n-1}}$$

2. *Container Crane 09*

$$\hat{\mu}_{y_n} \text{ (jam)} = \frac{432,97}{4,92949^{n-1}}$$

Estimasi rata – rata lama waktu perbaikan *Hydraulic Spreader System* berdasarkan perhitungan rumus di atas, memberikan informasi bahwa rata-rata lama perbaikan *Hydraulic Spreader System* pada saat pertama kali mengalami kerusakan selama 26 jam (hidrolik CC-06) dan 433 jam (hidrolik CC-09). Hasil perhitungan rata-rata lama waktu perbaikan *Hydraulic Spreader System* setelah mengalami kegagalan atau kerusakan ke- n .

Berdasarkan perhitungan dapat diperoleh informasi bahwa rata-rata lama waktu perbaikan *Hydraulic Spreader System* apabila dilihat secara keseluruhan mengalami penurunan, hal ini dikarenakan perusahaan terus meningkatkan kecepatan dan efisiensi waktu perbaikan ketika terjadi kegagalan atau kerusakan. Perusahaan akan melakukan penggantian komponen pada *Hydraulic Spreader System CC-06* dan *CC-09* setelah mengalami kerusakan ke-2 pada komponen yang sama. Perbaikan atau penggantian komponen juga disesuaikan dengan kegagalan yang terjadi dan ketersediaan komponen yang diperlukan. Rata-rata lama waktu perbaikan *Hydraulic Spreader System* secara menyeluruh adalah 27 jam (hidrolik CC-06) dan 443 jam atau 19 hari (hidrolik CC-09). Apabila dikaitkan antara lamanya waktu perbaikan pada CC-06 dengan kegiatan operasional maka dapat menimbulkan kerugian rata – rata sebanyak 675 *box* akibat terjadinya *failure* pada *Hydraulic Spreader System*. Sedangkan pada CC-09 rata – rata sebanyak 11075 *box* akibat terjadinya *failure* pada *Hydraulic Spreader System*.

F. *Penentuan Waktu Optimum Kebijakan Preventive Maintenance*

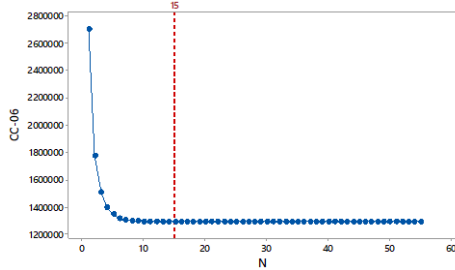
Penentuan waktu optimum kebijakan *preventive maintenance* harus dilakukan dengan perhitungan yang tepat. Sehingga hasil analisisnya bermanfaat bagi perusahaan yaitu meminimumkan terjadinya *failure* saat produksi berlangsung. Pada *Hydraulic Spreader System CC-06*, komponen yang sering mengalami kerusakan yaitu *motor pump* sedangkan *Hydraulic Spreader System CC-09* adalah *solenoid valve*. Sehingga biaya perbaikan disesuaikan dengan komponen yang sering mengalami kerusakan pada *Hydraulic Spreader System* di masing – masing *Container Crane*. Berikut ini adalah fungsi rata – rata biaya *preventive maintenance* jangka panjang untuk *Hydraulic Spreader System CC-06*.

$$I_1(N) = \frac{12.563.750\mu_{y_1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{b^{n-1}} + 4.000.000 - \mu_{x_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}}}{\mu_{x_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}} + \mu_{y_1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{b^{n-1}}}$$

Hasil perhitungann secara visual dapat dilihat pada Gambar 2.

Pengecekan maupun penggantian komponen *motor pump* yang optimum berdasarkan biaya yang minimum adalah ketika terjadi kerusakan ke-15. Hal ini juga memperhatikan biaya, pemilihannya berdasarkan besarnya biaya sebelum

mendekati nilai yang konstan maka dikatakan optimum dengan biaya Rp. 1.289.800. Kegagalan maupun kerusakan yang terjadi dapat mengganggu proses produksi bongkar muat dan menimbulkan kerugian yang cukup besar. Hal ini dikarenakan dalam satu jam proses bongkar muat dapat menghasilkan produksi 25 box tiap jam. Sehingga perlu adanya perhitungan *preventive maintenance* yang tepat.

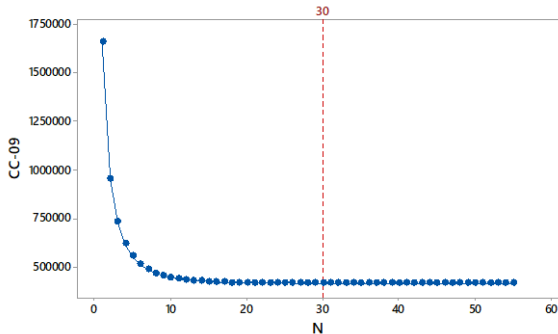


Gambar 2. Plot Banyak Kerusakan (N) dengan Rata-rata Biaya jangka Panjang $I_1(N)$ Hydraulic Spreader System CC-06.

Selanjutnya, fungsi rata – rata biaya *preventive maintenance* jangka panjang untuk Hydraulic Spreader System CC-09 adalah sebagai berikut.

$$I_1(N) = \frac{8.525.000\mu_{y_1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{b^{n-1}} + 4.000.000 - \mu_{x_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}}}{\mu_{x_1} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a^{n-1}} + \mu_{y_1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{1}{b^{n-1}}}$$

Hasil perhitungann secara visual dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Plot Banyak Kerusakan (N) dengan Rata-rata Biaya jangka Panjang $I_1(N)$ Hydraulic Spreader System CC-09.

Grafik tersebut semakin menurun seiring dengan jumlah kerusakan atau kegagalan yang terjadi menurun seiring dengan jumlah kerusakan atau kegagalan yang terjadi. Pengecekan maupun penggantian komponen *solenoid valve* yang optimum berdasarkan biaya yang minimum adalah ketika terjadi kerusakan ke-30 dengan biaya Rp. 417.600. Biaya pemeliharaan (*preventive maintenance*) Hydraulic Spreader System CC-09 berupa pengecekan atau penggantian pada komponen *solenoid valve* mengeluarkan biaya yang lebih murah dibandingkan dengan biaya pemeliharaan Hydraulic Spreader System CC-09 yang telah dikeluarkan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan dengan menggunakan metode *Geometric Process* memberikan informasi waktu optimum untuk melakukan kebijakan *preventive maintenance Hydraulic Spreader System* di PT. Terminal Petikemas Surabaya baik berupa pengecekan maupun penggantian komponen. Waktu optimum untuk melakukan kegiatan pemeliharaan berupa penggantian komponen pada *Hydraulic Spreader System Container Crane 06* adalah saat mengalami kerusakan ke-15 dengan estimasi rata-rata biaya sebesar Rp.1.289.800 dan estimasi rata-rata usia pakai selama 3 tahun. Sedangkan waktu optimum untuk melakukan kegiatan pemeliharaan berupa penggantian komponen yang sering mengalami kerusakan pada *Hydraulic Spreader System Container Crane 09* adalah saat mengalami kerusakan ke-30 dengan estimasi rata-rata biaya sebesar Rp. 417.600 dan estimasi rata-rata usia pakai selama 10 tahun.

B. Saran

Ada beberapa saran yang diberikan dari hasil analisis dan penelitian selanjutnya, diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Penentuan waktu *preventive maintenance* yang optimum bagi perusahaan adalah ketika terjadi kegagalan atau kerusakan ke-15 untuk *Container Crane 06* sedangkan *Container Crane 09* pada kerusakan maupun kegagalan ke-30.
2. Rekomendasi bagi perusahaan mengenai pencatatan data. Pencatatan data *failure* dan biaya harus lebih detail dan seragam dalam penamaan komponen, sehingga memudahkan dalam mengolah dan menganalisis data serta memberikan hasil analisis yang lebih spesifik dan akurat.
3. Penelitian selanjutnya sebaiknya menambahkan waktu penggantian dan peneliti memperhatikan perbedaan ukuran pada *box container* yang diangkat oleh *Spreader* secara random dengan menggunakan metode *Bayesian* serta memperhatikan *supply chain* terkait stok komponen yang digunakan dibutuhkan dalam *maintenance* saat terjadi *breakdown time*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Lam, “Communications in Statistic-Theory and Methods,” *Nonparametric Inference Geom. Process.*, vol. 21, pp. 2083–2105, 1992.
- [2] 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.
- [3] L. Hingginis, R. Mobley, and R. Smith, *Maintenance Engineering Handbook*. New York: McGraw Hill, 2002.
- [4] M. Rausand and A. Hoyland, *System Reliability Theory Models, Statistical Methods, and Applications*, 2nd ed. New Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2004.
- [5] S. Rigdon and A. Basu, *Statistical Methods for the Reliability of Repairable Systems*. New York: John Wiley & Sons, 2000.