



INFOMATEK

Volume 21 Nomor 2 Desember 2019

## USULAN *PREVENTIVE MAINTENANCE* KOMPONEN KRITIS PADA MESIN *HIGH PRESSURE PUMP* DI PT. DIAN SWASETIKA SENTOSA DENGAN METODE *GROUP REPLACEMENT*

Ragil Pardiyono<sup>\*)</sup>, Tedi Hartanto

Program Studi Teknik Industri  
Universitas Jenderal Achmad Yani Bandung

---

**Abstrak:** PT Dian Swasetika Sentosa merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di sektor pembangkit listrik tenaga uap. Dalam proses produksinya perusahaan ini memerlukan penggunaan air yang cukup banyak dengan kualitas yang bagus. Agar perusahaan tidak mengalami kerugian akibat biaya penggunaan air tersebut, maka perlu melakukan manajemen perawatan komponen mesin yang lebih baik untuk meminimasi kerugian yang diakibatkan oleh kerusakan mesin. Upaya yang dilakukan untuk meminimasi kerugian tersebut adalah dengan kebijakan perawatan secara berkala yaitu *preventive maintenance* sehingga diharapkan *downtime* yang dihasilkan pada mesin kecil. Model kebijakan yang digunakan adalah *age replacement* sebagai penentu umur pakai dari masing–masing komponen kritis dan *group replacement* sebagai penentu umur pakai satu kelompok pergantian dari komponen kritis tersebut, dengan tujuan memberikan jadwal pergantian mesin yang optimal yang meminimalkan *downtime* pada sehingga total biaya yang dikeluarkan minimum. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh jadwal pergantian optimal yaitu kelompok komponen kritis setiap 26 hari sekali dengan total nilai *downtime* 2,244 hari dari yang awalnya 3,453 hari, dari nilai *downtime* tersebut perusahaan dapat melakukan penghematan 35% /tahun.

**Kata kunci:** *downtime*, *group replacement*, perawatan, *preventive maintenance*

---

### I. PENDAHULUAN

PT Dian Swasetika Sentosa merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di sektor pembangkit listrik tenaga uap, dalam proses produksinya memerlukan penggunaan air yang cukup banyak dengan kualitas yang bagus. *Water treatment plant* adalah bangunan utama pengolahan air bersih, *output* dari pengolahan air yang diolah pada

*water treatment* adalah air *condensate*. Air *condensate* adalah air input *boiler* yang digunakan agar proses pembakaran dapat terfluidasi secara sempurna sehingga menghasilkan uap. Dalam memproduksi air *condensate*, *water treatment plant* memiliki 20 mesin pengolahan air dengan sistem manajemen perawatan *corrective maintenance*, sistem ini mengakibatkan *downtime* yang tinggi pada mesin. *Downtime* yang tinggi ini menyebabkan proses produksi air *condensate* terhenti sehingga perusahaan

---

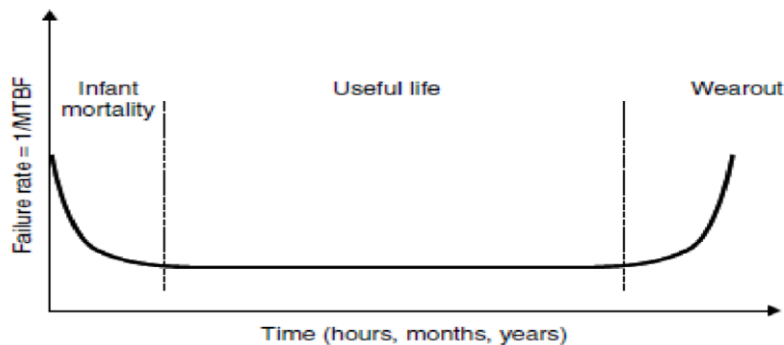
<sup>\*)</sup> ragilpardiyono@gmail.com

harus menggunakan air alternatif untuk input boiler yaitu air *softener* dengan biaya *chemical* yang lebih mahal dari pada air *condensate*. Pemborosan yang telah selama bulan April–Desember tahun 2017 adalah total penggunaan air *softener* selama 2017 sebanyak 44.800 m<sup>3</sup> atau 448 jam dikalikan dengan selisih biaya penggunaan *chemical* air *condensate* dan air *softener* sebesar Rp 12.861.500,00. Sehingga total pemborosan pada bulan April-Desember tahun 2017 adalah Rp 5.761.952.000,00. Dalam mempertimbangkan hal ini perusahaan perlu melakukan manajemen perawatan komponen

mesin yang lebih baik untuk meminimasi kerugian yang diakibatkan oleh kerusakan mesin.

## II. METODOLOGI

Keandalan merupakan probabilitas bahwa sebuah unit akan memberikan kemampuan yang memuaskan untuk suatu tujuan tertentu dalam periode waktu tertentu ketika dalam kondisi lingkungan tertentu (Siagian dkk. [1]). Secara umum konsep keandalan dapat digambarkan dalam *Bathtub Curve* yang menjelaskan siklus hidup item/ komponen.



Gambar 1.  
*Bathtub Curve*

Fungsi keandalan adalah fungsi yang berhubungan dengan waktu (waktu pengoperasian mesin) atau dalam kondisi operasi standar alat tidak akan mengalami kerusakan dan dapat beroperasi dengan baik (Utomo dkk. [2]). Secara statistik fungsi keandalan atau  $R(t)$  didefinisikan sebagai probabilitas dari komponen masih tetap berfungsi pada spesifikasi yang telah

ditentukan pada saat  $t$ , secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$R(t) = P(x > t) \text{ Dimana } x \text{ adalah umur komponen.} \quad (1)$$

Apabila  $f(x)$  menyatakan fungsi kepadatan kemungkinan dan  $F(x)$   $dx$  menyatakan probabilitas dari komponen akan mengalami kegagalan pada interval  $(x, x + \Delta x)$ , dan jumlah probabilitas fungsi keandalan dan

fungsi distribusi kumulatif sama dengan satu, maka didapatkan persamaan berikut :

$$F(x) = P(X < t) \quad (2)$$

Sehingga probabilitas untuk dapat beroperasi pada spesifikasi yang telah ditentukan atau fungsi keandalannya dapat dinyatakan secara matematis sebagai berikut :

$$R(t) = 1 - F(x < t) \quad (3)$$

$$R(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx$$

$$R(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) dt - \int_{-\infty}^{\infty} f(t) dt$$

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (4)$$

Laju kerusakan suatu mesin atau komponen pada saat t adalah besarnya probabilitas bahwa mesin atau komponen tersebut akan mengalami kerusakan pada interval berikutnya. Sedangkan pada saat t mesin atau komponen tersebut masih dalam keadaan baik. secara matematis fungsi lajunya kerusakan dapat diuraikan seperti dibawah ini

$$r(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{\Delta t R(t)} = \frac{1}{R(t)} \left( - \left( \frac{d}{dt} \right) R(t) \right) \quad (5)$$

$$r(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)} \quad (6)$$

Apabila r(t) meningkat sesuai dengan waktu, maka fungsi laju kerusakan menaik

(*increasing failure rate*) dan sebaliknya, jika r(t) menurun terhadap waktu maka disebut sebagai laju kerusakan menurun (*decreasing failure rate*). Dalam melaksanakan kebijakan perawatan terdapat beberapa distribusi kerusakan yang dapat digunakan, yaitu distribusi *Weibull*, distribusi Lognormal, distribusi Eksponensial, dan distribusi normal. Dalam mengidentifikasi distribusi dapat dilakukan dengan *Index of Fit (r)* dan *Goodness of Fit Test*. *Index of Fitter* terdiri dari *Probability Plot* dan *Least-Square Curve Fitting* (Muhammad [3]). *Probability Plot* dipakai untuk sampel kecil atau tidak lengkap, metode *Least-Square Curve Fitting* lebih baik dibanding *Probability Plot*. Perhitungan pada Metode *Least-Square Curve Fitting* yaitu:

$$F(t_i) = \frac{l - 0,3}{n + 0,4} \quad (7)$$

Keterangan :

i = data waktu ke-t

n = r = jumlah data kerusakan

$$\text{Index of fit (r)} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2] [n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \quad (8)$$

*Goodness of Fit Test* dilakukan dengan cara membandingkan dua hipotesis yang berlawanan yaitu:

H<sub>0</sub> : Data kerusakan atau perbaikan mendekati suatu distribusi tertentu.

$H_1$  : Data kerusakan atau perbaikan tidak menghampiri suatu distribusi tertentu.

Distribusi Eksponensial diuji dengan Uji *Bartlett*, Distribusi Normal dan lognormal dengan Uji *Kolmogorov-Smirnov*, serta Distribusi *Weibull* dengan Uji *Mann's Probability plot* dan *least-square curve fitting* berguna untuk identifikasi kerusakan dan waktu perbaikan (Majid dkk [4]). Metode *least-square curve fitting*, distribusi yang nilai *index of fit* terbesar akan dilanjutkan ke uji *Goodness of Fit Test*. Rumus metode *least-square curve fitting* yaitu :

$$F(t_i) = \frac{l - 0,3}{n + 0,4} \tag{9}$$

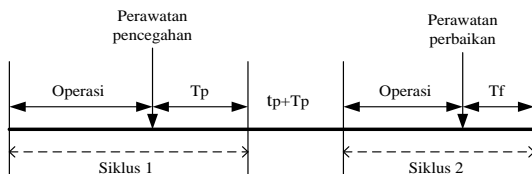
Dimana :

$i$  = data waktu ke- $t$

$n = r$  = jumlah data kerusakan

**Model Age Replacement**

Model *age replacement* adalah interval waktu penggantian komponen dengan memperhatikan umur pemakaian dari komponen. Model *age replacement* terdapat 2 siklus penggantian pencegahan seperti pada gambar berikut:



**Gambar 2.**  
**Model Age Replacement**

Total *downtime* per unit waktu untuk penggantian pencegahan pada saat  $t_p$  didenotasikan dengan  $D(t_p)$  yaitu (Jardine dalam Putra dkk. [5]) :

$$D(t_p) = \frac{\text{Total ekpetasi downtime pergantian persiklus}}{\text{Ekspektasi panjang siklus}} \tag{10}$$

Ekspektasi panjang siklus kondisi gagal juga merupakan penjumlahan dan *downtime* perbaikan kerusakan dengan interval rata-rata terjadinya kerusakan atau  $M(t_p)$ , dimana  $M(t_p)$

$$:M(t_p) = \left(\frac{t_p}{\alpha}\right)^\beta.$$

Maka, rumus model penentuan interval penggantian adalah:

$$D(t_p) = \frac{T_p \cdot R(t_p) + T_f [1-R(t_p)]}{(t_p + T_p) \cdot R(t_p) + [M(t_p) + T_f [1-R(t_p)]]} \tag{11}$$

Dimana :

$T_p$  = waktu untuk melakukan penggantian pencegahan

$T_f$  = Waktu untuk melakukan penggantian kerusakan

$t_p$  = Interval waktu perawatan pencegahan

$F(t)$  = Fungsi distribusi interval antar kerusakan yang terjadi

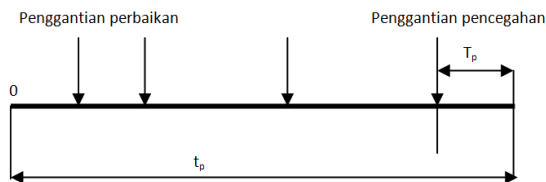
$R(t_p)$  = Probabilitas terjadinya penggantian pencegahan pada saat  $t_p$

$M(t_p)$  = Waktu rata-rata terjadi kerusakan jika penggantian pencegahan dilakukan  $t_p$

$D(t_p)$  = *Downtime* persatuan waktu

### Model *Block Replacement*

Komponen dari mesin kerap kali kedapatan rusak secara tiba-tiba dan ketika kerusakan terjadi harus segera diganti. Karena kerusakan tersebut tidak diharapkan dan tidak dapat diketahui secara tepat, maka sangat beralasan untuk mengasumsikan bahwa ongkos penggantian komponen yang rusak (*failure replacement*) lebih mahal dibandingkan penggantian karena pencegahan (*preventive maintenance*). Model penggantian pencegahan ini dilakukan pada suatu interval yang tetap sedangkan *age replacement* adalah model penggantian pencegahan yang dilakukan tergantung pada umur pakai dari komponen (Mutiara dkk. [6]). Tujuannya adalah menentukan interval waktu optimal antar penggantian pencegahan untuk meminimasi ekspektasi ongkos total penggantian per satuan waktu.



Gambar 3.  
Kebijakan *Block Replacement*

Ekspektasi ongkos total per-satuan waktu dalam rangka penggantian pencegahan pada  $t_p$  atau  $D(t_p)$  adalah:

$$D(t_p) = \frac{\text{Ekspektasi ongkos total dalam Interval } (0, t_p)}{\text{panjang siklus}} \quad (12)$$

Ekspektasi ongkos total dalam interval  $(0, t_p) = D_p - D_r \cdot H(t_p)$

Dimana  $H(t_p)$  adalah ekspektasi jumlah kerusakan dalam interval  $(0, t_p)$ , jadi

$$D(t_p) = \frac{D_p + C_f H(t_p)}{t_p} \quad (13)$$

### Model *Group Replacement*

Model yang dikembangkan untuk masalah ini didasarkan pada asumsi bahwa kebijakan penggantian adalah untuk melakukan penggantian kelompok pada interval waktu yang tetap, dimana ada kemungkinan penggantian beberapa komponen dapat dilakukan pada saat bersamaan (Jardine dalam Sormin dkk. [7]).

Model persamaannya adalah sebagai berikut :

$$D(t_p) = \frac{N(T_g) + NH(t_p)T_f}{t_p} \quad (13)$$

Keterangan :

$T_p$  = waktu yang dibutuhkan untuk melakukan penggantian secara bersamaan;

$T_f$  = biaya penggantian kegagalan;

$N$  = jumlah total adalah jumlah frekuensi dalam satu grup;

$H(t_p)$  = jumlah yang diharapkan dari satu item gagal dalam interval  $(0, t_p)$ .

**III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Biaya pemeliharaan perawatan mesin terbagi atas beberapa elemen meliputi komponen pengganti, teknisi, operator dan mesin. Adapun biaya-biaya tersebut adalah sebagai berikut, upah teknisi Rp 4.300.000/bulan, upah operator Rp 4.300.000/bulan, waktu kerja 22 Hari/bulan, Maka upah untuk Tenaga Kerja (jam/shift) adalah teknisi pemeliharaan Rp 179.167/hari,

operator menganggur Rp 179.167/hari. Biaya akibat mesin menganggur (*Downtime*) meliputi selisih biaya yang dikeluarkan antara air *condensate* dan air *softener* sebanyak 100m<sup>3</sup>/jam. Biaya *downtime* adalah sebesar Rp 19.292.250 – Rp 6.430.750 = Rp 12.861.500.

Biaya pembelian komponen pengganti adalah biaya yang dikeluarkan dari harga komponen pengganti. Waktu perawatan adalah data waktu yang digunakan saat melakukan aktivitas perawatan mesin. Berikut adalah harga komponen dan waktu perawatan:

**Tabel 1.**  
**Biaya Komponen Pengganti**

<b>Nama Komponen</b>	<b>Harga Komponen</b>	<b>Waktu <i>failure maintenance</i> (Tf)(Hari)</b>	<b>Waktu <i>preventive maintenance</i> (Tp)(Hari)</b>
<i>Pulley</i>	Rp 659.250	0.158	0.048
<i>Bearing</i>	Rp 1.085.400	0.131	0.039
<i>Hydraulic</i>	Rp 575.900	0.153	0.046
<i>Piston</i>	Rp 465.000	0.133	0.040

Berdasarkan perhitungan distribusi untuk setiap komponen kritis didapat nilai *index of fit* terbesar pada distribusi *weibull*, maka distribusi terpilih untuk komponen semua komponen mesin *high pressure pump*. Pengujian distribusi interval dilakukan untuk membuktikan hasil perhitungan dari distribusi yang sudah terpilih. Dari hasil perhitungan terlihat bahwa  $S_{hitung} < S_{tabel}$ , artinya  $H_0$  diterima, maka semua komponen berdistribusi *weibull*.

Setelah didapat distribusi terpilih yaitu *weibull*, maka parameter yang harus dicari untuk menentukan penggantian komponen adalah  $\alpha$  dan  $\beta$ . Berikut adalah hasil dari rekapitulasi perhitungan uji *man test* dan parameter distribusi dari setiap komponen.

Penentuan jadwal perawatan dilakukan setelah didapat nilai parameter  $\alpha$  dan  $\beta$ , tujuannya untuk mencari tanggal yang memiliki nilai *downtime* ( $D_{tp}$ ) yang minimum untuk

melakukan aktivitas perawatan. Tabel 3 dari setiap komponen kritis adalah hasil rekapitulasi pergantian komponen

**Tabel 2.**  
**Perhitungan Uji Mann Test , alpha dan beta**

No	Nama Komponen	s hitung	s tabel	α	β
1	Pulley Motor	0.466	0.860	49.380591	2.2803166
2	Hydraulic	0.592	0.860	43.073354	3.1735838
3	Bearing Motor	0.352	0.860	45.654891	4.9038337
4	Piston Compressor	0.539	0.860	46.578821	5.2239113

**Tabel 3.**  
**Hasil Rekapitulasi Pergantian Komponen Kritis**

i	Nama Komponen	αi	βi	T(pi)	T(fi)	Ti* (Hari)
1	Pulley	49.380591	2.2803166	0.0475475	0.1584918	24
2	Bearing	43.073354	3.1735838	0.0394144	0.1313814	22
3	Hydraulic	45.654891	4.9038337	0.0459209	0.1530697	27
4	Piston Compressor	46.578821	5.2239113	0.0397898	0.1326326	28

Dari tabel 3 di atas dapat dilihat dari komponen *pulley motor* melakukan pergantian setiap 24 hari dan waktu persatu kali pergantian sebesar 0.0475, *bearing* 22hari dan waktu persatu kali pergantian sebesar 0.0394, *hydraulic* 27 hari dan waktu persatu kali pergantian sebesar 0.0459, dan *piston compressor* 28 hari dengan waktu persatu kali pergantian sebesar 0.0398. Penentuan jadwal penggantian *grup replacement* digunakan untuk mengelompokan jadwal dari semua komponen kritis yang telah dihitung sebelumnya. Berikut adalah perhitungan jadwal perawatan *group replacement*.

$$H(tp) A = \left(\frac{tp}{\alpha}\right)^\beta$$

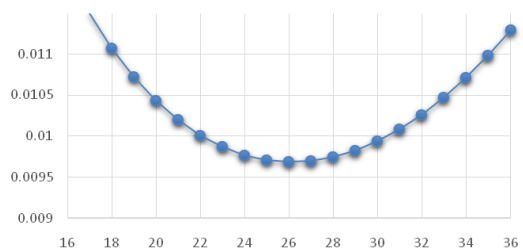
$$= \left(\frac{16}{49,3806}\right)^{2,2803}$$

$$= 0,0765$$

$$j(t) = \frac{N(T_p) + NH(t_p)T_f}{t_p}$$

$$= \frac{0,17267 + 0,019196}{16}$$

$$= 0.011992$$



**Gambar 4.**

**Grafik Downtime Perhitungan Grup Replacement**

Dari Gambar 4 diatas dapat terlihat bahwa total waktu penggantian pada 1 kelompok komponen kritis mesin *high preassure pump* adalah setiap 26 hari. Biaya pemeliharaan

adalah biaya yang dikeluarkan perusahaan untuk melakukan kegiatan *preventive maintenance* terhadap komponen kritis mesin *high preassure pump*. Data yang digunakan diperoleh dari hasil wawancara diperoleh komponen biaya pemeliharaan adalah 1)

Biaya Teknisi Pemeliharaan (BT), 2) Biaya Operator (BO), 3) Biaya *Downtime* Mesin (BD), 4) Biaya Pembelian Komponen Pengganti (HK). Contoh perhitungan biaya pemeliharaan untuk komponen *pulley motor* seperti pada Tabel 4.

**Tabel 4.**  
**Perhitungan biaya pemeliharaan pencegahan komponen *pulley motor***

No	Elemen Biaya	Ongkos Pencegahan	Tp	Tf	Ongkos Pencegahan
1	Harga Komponen	659,250	0.0475475	0.1584918	659,250
2	Biaya Teknisi	179,167	0.0475475	0.1584918	8,519
3	Biaya Downtime	308,676,000	0.0475475	0.1584918	14,676,787
4	Biaya Operator Menganggur	179,167	0.0475475	0.1584918	8,519
Total					15,353,075

Tabel 5 adalah hasil rekapitulasi dari biaya pemeliharaan persatu kali pergantian pencegahan komponen kritis *high preassure pump*.

**Tabel 5.**  
**Rekapitulasi Biaya Pemeliharaan**

Komponen	BT	BO	BD	HK	TC
<i>Pulley Motor</i>	8,519	8,519	14,676,787	659,250	15,353,075
<i>Bearing Motor</i>	7,062	7,062	12,166,284	575,900	12,756,307
<i>Hydraulic</i>	8,227	8,227	14,174,686	1,085,400	15,276,541
<i>Piston Compressor</i>	7,129	7,129	12,282,153	465,000	12,761,411
<b>Total</b>					<b>56,147,334</b>

Biaya pemeliharaan padagrup *replacement* dilakukan karena data interval penggantian pada komponen kritis mesin *high preassure*

*pump* saling berdekatan sehingga biaya yang dikeluarkan mengikuti 1 kelompok pergantian komponen.

**Tabel 6.**  
**Perhitungan biaya pemeliharaan pencegahan grup *replacement***

No	Elemen Biaya	Ongkos Pencegahan	Tf	Ongkos Pencegahan
1	Harga Komponen	2,785,550	0.1726727	2,785,550
2	Biaya Teknisi	179,166	0.1726727	30,937
3	Biaya Downtime	308,676,000	0.1726727	53,299,909
4	Biaya Operator Menganggur	179,166	0.1726727	30,937
Total				56,147,334



Maka jika pemeliharaan pencegahan dengan *group replacement* sebanyak 13 kali dalam 1 tahun, maka total biayanya adalah Rp 56.147.334 x 13 = Rp 729.915.346.

## V. KESIMPULAN

Setelah melakukan pengamatan, pengumpulan dan pengolahan data, maka simpulan dari penelitian ini adalah:

1. Frekuensi kerusakan dan *downtime* mesin tertinggi, mesin terpilih yang digunakan dalam penelitian adalah *high pressure pump* dan pergantian komponen kritis yang dijadwalkan yaitu komponen *piston compresor, pulley motor, bearing motor, dan hydraulic*.
2. Biaya yang dikeluarkan saat terjadi *downtime* pada mesin dalam satu hari adalah teknisi pemeliharaan sebesar Rp 179.167, operator menganggur sebesar Rp 179.167, biaya *downtime* sebesar Rp 308.676.000 dan harga komponen yang akan dijadwalkan yaitu *pulley motor* sebesar Rp 659.250, *bearing* sebesar Rp 1.085.400, *hydraulic* sebesar Rp 575.900 dan *piston compresor* sebesar Rp 465.000.
3. Penjadwalan pergantian komponen *pulley motor, bearing, hydraulic* dan *piston compresor* akan dilakukan dengan *group replacement* setiap 26 hari dengan total nilai *downtime* yang awalnya 3,453 hari menjadi 2,244 hari, sehingga biaya

penggantiananya sebesar Rp 729.915.346 per tahun.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Siagian, D. C., Napitupulu, H., Siregar, I. "Usulan Perawatan Mesin Berdasarkan Keandalan Spare Part sebagai Solusi Penurunan Biaya Perawatan pada PT. Xyz," *Jurnal Teknik Industri USU*, vol. 3, no. 5, 2014.
- [2] Utomo, M. N., Widjajati, F. A. "Menentukan Keandalan Komponen Mesin Produksi Pada Model Stress Strength yang Berdistribusi Gamma," *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 3(2), A22-A27, 2014.
- [3] Muhammad, Z. A., Edi, H., Nurvita, A. "Perencanaan Pemeliharaan Dan Optimasi Biaya Perawatan Pada Sistem Utility Dengan Metode Preventive Maintenance," In *Proceedings Conference on Marine Engineering and its Application* Vol. 1, No. 1, pp. 55-60, 2018.
- [4] Majid, A. M., Moengin, P., Witonohadi, A. "Usulan Penerapan Total Productive Maintenance (Tpm) Dengan Pengukuran Overall Equipment Effectiveness (Oee) Untuk Perencanaan Perawatan Pabrik Bar Mill Pada PT. Krakatau Wajatama," *Jurnal Teknik Industri*, vol 4, no. 3), 2014.
- [5] Putra, M. A., Marie, I. A. "Rancangan Perawatan Bus Transjakarta Menggunakan Pendekatan Reliability Centered Maintenance di Perum Damri SBU Busway Koridor I & VIII," *Jurnal Ilmiah Teknik*

*Industri*, vol. 3, no.3, 2017

- [6] Mutiara, S. D., Rahman, A., Hamdala, I.  
“Perencanaan Preventive Maintenance  
Komponen Cane Cutter I dengan  
Pendekatan Age Replacement (Studi  
Kasus Di Pg Kebon Agung Malang),”

*Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem*

*Industri*, vol. 2 no. 2, pp. 396-405, 2014.