

USULAN PENJADWALAN PREVENTIVE MAINTENANCE PADA KOMPONEN KRITIS MESIN *STONE CRUSHER* MENGUNAKAN MODEL *AGE REPLACEMENT*

Rizky Karunia¹, Putro Ferro Ferdinant², Evi Febianti³

¹Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten
e-mail: rizkykaruniati13@gmail.com

²Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten
e-mail: putro.ferro@ft-untirta.ac.id

³Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten
e-mail: evifebianti@yahoo.com

ABSTRAK

PT. Bukit Sanurwijaya merupakan perusahaan yang bergerak di sektor produksi pertambangan yaitu quarry dan stone crusher. Berdasarkan laporan kegiatan produksi harian selama tahun 2016, dari total 3.208 jam operasional, hanya 54% jam efektif digunakan untuk produksi, 46% jam mesin berhenti memproduksi karena aktivitas maintenance. Perawatan mesin yang biasanya dilakukan perusahaan berupa corrective maintenance, sehingga diperlukan suatu tindakan perawatan untuk mencegah terjadinya kerusakan. Strategi yang tepat untuk menjaga keandalan mesin adalah dengan menentukan jadwal preventive maintenance sebagai acuan interval waktu perawatan komponen dan jenis kegiatan perawatan yang optimal dengan tujuan minimasi downtime. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan rekomendasi jenis tindakan dalam aktivitas perawatan yang dilakukan pada komponen kritis mesin stone crusher menggunakan metode Reliability Centered Maintenance (RCM), dan untuk menentukan jadwal preventive maintenance pada komponen kritis mesin stone crusher menggunakan model age replacement. Hasil penelitian usulan jadwal preventive maintenance memiliki nilai Reliability (R) rata-rata 5,61% lebih besar, nilai Availability (A) rata-rata 0,08% lebih besar, serta memiliki nilai Downtime (D) rata-rata 0,08% lebih kecil dibandingkan corrective maintenance. Dalam interval waktu 1 tahun yaitu 8.760 jam, waktu downtime corrective maintenance adalah 730 jam, sedangkan waktu downtime preventive maintenance hanya 485 jam, maka preventive maintenance menurunkan downtime selama 245 jam dalam setahun. Hal ini menunjukkan bahwa usulan jadwal preventive maintenance lebih baik dibandingkan dengan corrective maintenance yang selama ini diterapkan perusahaan.

Kata Kunci: *Age Replacement, Downtime, Grey FMEA, Preventive Maintenance, RCM*

ABSTRACT

PT. Bukit Sanurwijaya is a company in the mining production sector of quarry and stone crusher. Based on reports of daily production activities during 2016, for 3,208 hours of operation, only 54% of operating hours were used effectively for production, and 46% of operating hours, machines stopped producing due to maintenance activities. The maintenance of the company's machine is corrective maintenance, so it needs a maintenance action to prevent the failure. The right strategy to keep the machine reliability is to set the preventive maintenance schedule as the time interval of component maintenance and the type of optimal maintenance activities for minimizing downtime. The purpose of this research is to determine the recommendation of action type in the maintenance activity of the critical component in stone crusher machine using Reliability Centered Maintenance (RCM) method, and to determine the preventive maintenance schedule of the critical component in stone crusher machine using age replacement model. The results of the proposed preventive maintenance schedule have an average 5.61% higher for Reliability (R) value, average 0.08% higher for Availability (A) value, average 0.08 % lower for Downtime (D) value than corrective maintenance. In 1 year interval or 8,760 hours, the downtime corrective maintenance is 730 hours, while the preventive maintenance downtime is only 485 hours, the preventive maintenance decreases downtime for 245 hours in a year. This shows that the proposed preventive maintenance schedule is better than the corrective maintenance that has been applied by the company.

Keywords: *Age Replacement, Downtime, Grey FMEA, Preventive Maintenance, RCM*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

PT. Bukit Sanurwijaya merupakan perusahaan yang bergerak di sektor produksi pertambangan yaitu *quarry* dan *stone crusher*. Berdasarkan laporan kegiatan produksi harian mesin *stone crusher* di PT Bukit Sanurwijaya selama bulan Januari sampai Desember tahun 2016, dari total jam operasional selama satu tahun sebanyak 3.208 jam, hanya 1.725 jam digunakan untuk memproduksi, sisanya sebanyak 1.438 jam digunakan untuk aktivitas *maintenance* seperti pelumasan, pembersihan, dan perbaikan terhadap kerusakan-kerusakan yang terjadi pada mesin *stone crusher* tersebut. Bila dipersentasikan maka 54% jam operasional digunakan secara efektif untuk memproduksi, sedangkan sebanyak 46% mesin berhenti memproduksi untuk melakukan aktivitas *maintenance*. Perawatan mesin yang biasanya dilakukan oleh perusahaan hanya berupa *corrective maintenance* yaitu mengganti atau memperbaiki komponen saat terjadi kerusakan. Oleh sebab itu, diperlukan suatu tindakan perawatan untuk dapat mencegah terjadinya kerusakan. Strategi yang tepat untuk menjaga mesin agar dapat terus beroperasi adalah dengan cara menentukan jadwal *preventive maintenance* sebagai acuan interval waktu perawatan komponen dan jenis kegiatan perawatan yang optimal dengan tujuan minimasi *downtime*.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini untuk menentukan rekomendasi jenis tindakan dalam aktivitas perawatan (*maintenance task*) yang dilakukan pada komponen kritis mesin *stone crusher* menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Dan untuk menentukan jadwal *preventive maintenance* pada komponen kritis mesin *stone crusher* menggunakan model *age replacement*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

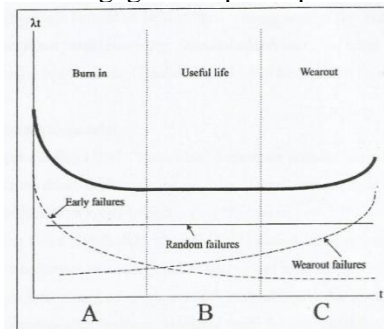
2.1. Perawatan dan Laju Kerusakan

Menurut Ebeling (1997) mendefinisikan perawatan sebagai bentuk kegiatan yang dilakukan untuk mencapai

hasil yang mampu mengembalikan item atau mempertahankannya pada kondisi yang selalu dapat berfungsi.

Kegiatan perawatan (*maintenance*) diklasifikasikan menjadi kegiatan *preventive maintenance* dan *corrective maintenance*. Menurut Anshori (2013) dalam Jiwantiro (2014), *preventive maintenance* merupakan perawatan yang dilakukan secara terencana untuk mencegah terjadinya potensi kerusakan. Sedangkan *corrective maintenance* dilakukan setelah terjadinya kerusakan, sehingga merupakan bagian dari perawatan yang tidak terencana.

Menurut Ebeling (1997), Laju kerusakan (*failure rate*) merupakan laju dimana kerusakan terjadi pada interval waktu yang ditetapkan. Untuk mengenal laju kerusakan dapat membayangkan sebuah tes atau percobaan yang dilakukan, dimana percobaan tersebut dilakukan dalam jumlah yang besar terhadap komponen – komponen yang identik dioperasikan dan waktu untuk gagal setiap komponen dicatat.



Gambar 1 Bath-tube Curve

Sumber: Ebeling (1997)

Menurut Ebeling (1997) keandalan merupakan probabilitas suatu peralatan atau komponen dapat berfungsi dengan baik dalam satu periode waktu ketika digunakan berdasarkan kondisi operasi yang ditetapkan.

2.2. Reliability Centered Maintenance (RCM)

Menurut Moubrey (1997) dalam Mushofik (2016) Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) adalah sebagai suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang seharusnya dilakukan untuk menjamin suatu sistem dapat berjalan dengan baik sesuai dengan fungsi yang diinginkan oleh pengguna.

Tahap – tahap metode RCM yaitu sebagai berikut :

1. Pemilihan sistem dan pengumpulan informasi.
2. Definisi batasan sistem.
3. Deskripsi sistem.
4. Penentuan fungsi sistem dan kegagalan fungsional.
5. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA).
6. *Logic Tree Analysis* (LTA).
7. Pemilihan tindakan (*task selection*).

Task selection dilakukan untuk menentukan kebijakan yang paling mungkin untuk diterapkan dan memilih task yang efektif untuk setiap mode kegagalan yang ada. Pada proses *task selection* ini dilakukan penentuan hubungan kegagalan dengan jenis *task* yang dalam pelaksanaannya pemilihan tindakan dapat dilakukan dengan empat cara yaitu :

Time Directed (TD)

- a. *Condition Directed* (CD)
- b. *Failure Finding* (FF)
- c. *Run to Failure* (RF)

2.3. MTBF (*Mean Time Between Failure*) dan MTTR (*Mean Time To Repair*)

MTTF (*Mean Time To Failure*) merupakan rata-rata waktu diantara kerusakan (Ebeling, 1997). Untuk komponen mesin yang sifatnya *non repairable* nilai MTBF sama dengan nilai MTTF, karena ketika kerusakan terjadi, komponen tersebut langsung diganti dengan yang baru. MTTF (*Mean Time To Failure*) merupakan rata-rata waktu menuju kerusakan, MTTR (*Mean Time To Repair*) merupakan rata-rata waktu untuk perbaikan dan MTBF (*Mean Time Between Failure*) merupakan rata-rata waktu diantara kerusakan. Berikut ini adalah cara perhitungan MTTF/MTBF untuk masing-masing distribusi:

1. Distribusi Normal

$$MTBF = \mu \quad (2.1)$$

2. Distribusi Eksponensial

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.2)$$

3. Distribusi Weibull

$$MTBF = \eta \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \quad (2.3)$$

2.4. Model Age Replacement

Model *Age Replacement* yaitu dimana interval waktu penggantian komponen dengan memperhatikan umur pemakaian dari komponen tersebut, sehingga dapat menghindari terjadinya penggantian peralatan yang masih baru dipasang akan diganti dalam waktu yang relatif singkat, jika terjadi suatu kerusakan model ini akan menyesuaikan kembali jadwalnya setelah penggantian komponen dilakukan, baik akibat terjadinya kerusakan maupun hanya bersifat sebagai perawatan pencegahan. Dengan rumus sebagai berikut:

$$D(tp) = \frac{t_p \cdot R(tp) + T_f x(1-R(tp))}{(t_p + T_p) \cdot xR(tp) + (M(tp) + T_f) x(1-R(tp))} \quad (2.4)$$

Keterangan:

- t_p = Interval waktu penggantian pencegahan per satuan waktu.
 - T_f = Waktu yang diperlukan untuk penggantian karena kerusakan.
 - T_p = *Downtime* yang terjadi karena kegiatan penggantian.
 - $f(t)$ = Fungsi distribusi interval waktu antar kerusakan.
 - $R(t_p)$ = Kehandalan terjadinya siklus i pada saat t_p .
 - $M(t_p)$ = Waktu rata-rata terjadinya suatu kerusakan, jika penggantian dilakukan saat t_p .
- $$M(tp) = \frac{MTBF}{1-R(tp)} \quad (2.5)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan perpaduan antara pendekatan kualitatif dan kuantitatif dengan jenis penelitian berdasarkan metode yang digunakan adalah penelitian historis. Pada penelitian ini penelitian kualitatif sebagai fasilitator penelitian kuantitatif, berarti penelitian kualitatif berperan sebagai penunjang.

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT. Bukit Sanurwijaya yang bertempat di Jalan Raya Salira KM. 13.7 Kecamatan Pulo Ampel Kabupaten Serang – Banten. Proses penelitian dilakukan selama 2 bulan yaitu bulan Maret 2016 sampai April 2016

2.3 Pengumpulan Data

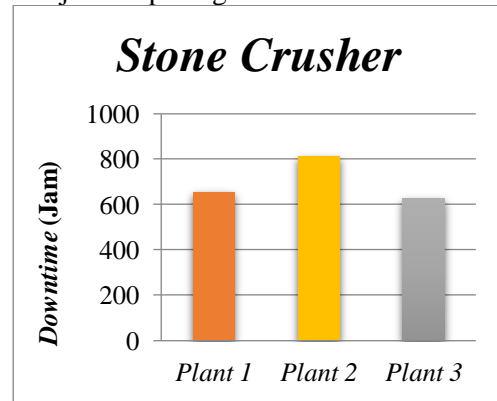
1. Data Primer : Observasi dan wawancara kepada kepala divisi produksi, pihak *maintenance*, dan Operator
2. Data Sekunder : Data *downtime* mesin *stone crusher* dan data waktu kerusakan komponen mesin *stone crusher* berdasarkan laporan kegiatan produksi harian tahun 2016

2.4 Analisis Data

Analisa kualitatif pada penelitian ini menggunakan metode (RCM) *Reliability Centered Maintenance*, hasil yang diperoleh berupa suatu tindakan perawatan yang tepat pada komponen-komponen. Analisa kuantitatif pada penelitian ini adalah menentukan selang waktu perawatan yang ideal dalam melakukan pemeliharaan komponen-komponen mesin dengan menggunakan metode *age replacement*.

1. Pemilihan sistem dan pengumpulan informasi.

Pada tahap ini, dilakukan seleksi sistem berdasarkan total frekuensi kerusakan dan *downtime* terbesar yang ditunjukkan pada grafik dibawah ini :



Gambar 2. Downtime Mesin Stone Crusher

Berdasarkan grafik diatas, mesin *stone crusher plant 2* mengalami *downtime* terbesar yaitu 811,5 jam dan paling sering mengalami kerusakan dengan total frekuensi kerusakan, maka sistem yang dipilih adalah mesin *stone crusher plant 2*. Kemudian dilakukan pemilihan komponen kritis dengan menggunakan diagram pareto yang menunjukkan bahwa dari 117 kerusakan komponen, terdapat 35 komponen yang persentase kumulatifnya mendekati 80% memiliki *downtime* dan frekuensi kerusakan terbesar.

2. Definisi batasan sistem.

Berisi tentang batasan bagaimana fungsi komponen dimulai dan diakhiri.

3. Deskripsi sistem.

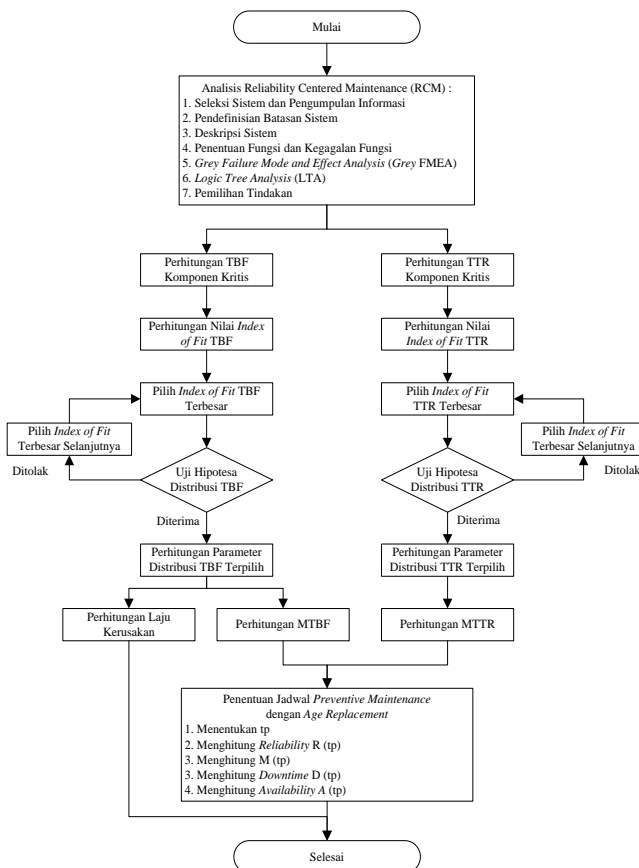
Mendeskripsikan sistem dengan *System Work Breakdown System (SWBS)* untuk mempermudah dalam membedakan komponen satu dengan yang lain.

4. Penentuan fungsi dan kegagalan fungsi.

Menguraikan fungsi komponen serta pengaruhnya terhadap kinerja sistem apabila terjadi kegagalan fungsi.

5. *Grey Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*.

Mengidentifikasi mode kegagalan dan dampak akibat kegagalan fungsi atau *Failure And Effect Analysis (FMEA)* yang diintegrasikan dengan *grey theory* untuk memperoleh peringkat prioritas perbaikan yang lebih akurat.



Gambar 3. Flow Chart Pengolahan Data

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Reliability Centered Maintenance (RCM)

Tabel 1. Tingkat Prioritas Berdasarkan Nilai Derajat Hubungan

No	Komponen	Derajat Relasi	Ranking
1	Corong Jaw Primer	0,492	7
2	Feeder Primer	0,518	14
3	Pressing Jaw Primer	0,504	8
4	Jaw Split Primer	0,587	23
5	Spot Jaw Primer	0,504	9
6	Conveyor Belt Limbah	0,454	3
7	Conveyor Belt 1	0,422	1
8	Kanfas Conveyor 1	0,525	15
9	Pillow Block Conveyor 1	0,567	20
10	Rantai Conveyor 1	0,575	21
11	Conveyor Belt 2	0,561	19
12	Corong Jaw Sekunder	0,542	16
13	Pressing Jaw Sekunder	0,587	24
14	Seam Jaw Sekunder	0,587	25
15	Conveyor Belt 3	0,644	31
16	Corong Ayakan 1	0,625	30
17	Sasis Ayakan 1	0,575	22
18	Klem Ayakan 1	0,658	32
19	Pipa Ayakan 1	0,658	33
20	Ayakan 1	0,504	10
21	Ayakan 5-7	0,504	11
22	Ayakan Base Coarse	0,504	12
23	Conveyor Belt Base Coarse	0,478	6
24	Kanfas Conveyor Base Coarse	0,658	34
25	Conveyor Belt 4	0,436	2
26	Corong Jaw Tersier	0,542	17
27	Pressing Jaw Tersier	0,454	4
28	Jaw Split Tersier	0,504	13
29	Seam Jaw Tersier	0,454	5
30	Bearing Jaw Tersier	0,556	18
31	Toggle Jaw Tersier	0,587	26
32	Sasis Ayakan 2	0,658	35
33	Ayakan 2	0,587	27
34	Ayakan 3-5	0,587	28
35	Ayakan 2-3	0,587	29

6. Logic Tree Analysis (LTA).

Mengklasifikasikan *failure mode* ke dalam beberapa kategori sehingga nantinya dapat ditentukan tingkat prioritas dalam penanganan masing-masing *failure mode* berdasarkan dampaknya. 25 komponen mesin yaitu *conveyor belt 1, conveyor belt 4, pressing jaw tersier, seam jaw tersier, conveyor belt base coarse, pressing jaw primer, spot jaw primer, ayakan 1, ayakan 5-7, ayakan base coarse, jaw split tersier, feeder primer, bearing jaw tersier, conveyor belt 2, rantai conveyor 1, sasis ayakan 1, jaw split primer, pressing jaw sekunder, seam jaw sekunder, toggle jaw tersier, ayakan 2, ayakan 3-5, ayakan 2-3, conveyor*

belt 3, sasis ayakan 2 tergolong kategori B yaitu mempengaruhi kuantitas ataupun kualitas *output*. Sedangkan 10 komponen lainnya yaitu *conveyor belt limbah, corong jaw primer, kanfas conveyor 1, pillow block conveyor 1, corong jaw sekunder, corong jaw tersier, corong ayakan 1, klem ayakan 1, pipa ayakan 1, kanfas conveyor base coarse* tergolong kategori C, karena *failure mode* tidak berdampak pada *safety* maupun operasional *plant*.

7. Pemilihan tindakan (*task selection*).

Tabel 2. Rekomendasi Tindakan Perawatan

No	Komponen	Kategori Tindakan
1	Conveyor Belt 1	CD
2	Conveyor Belt 4	CD
3	Pressing Jaw Tersier	CD
4	Seam Jaw Tersier	CD
5	Conveyor Belt Base Coarse	CD
6	Pressing Jaw Primer	CD
7	Spot Jaw Primer	CD
8	Ayakan 1	CD
9	Ayakan 5-7	CD
10	Ayakan Base Coarse	CD
11	Jaw Split Tersier	CD
12	Feeder Primer	CD
13	Bearing Jaw Tersier	TD
14	Conveyor Belt 2	CD
15	Rantai Conveyor 1	CD
16	Sasis Ayakan 1	CD
17	Jaw Split Primer	CD
18	Pressing Jaw Sekunder	CD
19	Seam Jaw Sekunder	CD
20	Toggle Jaw Tersier	CD
21	Ayakan 2	CD
22	Ayakan 3-5	CD
23	Ayakan 2-3	CD
24	Conveyor Belt 3	CD
25	Sasis Ayakan 2	CD
26	Conveyor Belt Limbah	CD
27	Corong Jaw Primer	CD
28	Kanfas Conveyor 1	TD
29	Pillow Block Conveyor 1	TD
30	Corong Jaw Sekunder	CD
31	Corong Jaw Tersier	CD
32	Corong Ayakan 1	CD
33	Klem Ayakan 1	CD
34	Pipa Ayakan 1	CD
35	Kanfas Conveyor Base Coarse	TD

Condition Directed (CD) adalah tindakan yang bertujuan untuk mendeteksi kerusakan dengan cara memeriksa alat.

Apabila dalam pendeteksian ditemukan gejala – gejala kerusakan, maka dilanjutkan dengan perbaikan atau penggantian komponen. *Time directed* (TD) adalah

tindakan yang bertujuan melakukan pencegahan langsung terhadap sumber kerusakan peralatan yang didasarkan pada waktu atau umur komponen.

4.2 Identifikasi Distribusi dan Estimasi Parameter

1. *Time Between Failure* (TBF)

Tabel 3. Identifikasi Distribusi dan Estimasi Parameter TBF

No	Komponen Kritis	Distribusi TBF	Parameter TBF			
			β	η (Menit)	μ (Menit)	σ (Menit)
1	Conveyor Belt 1	Weibull	1,19884	7.157,91	-	-
2	Conveyor Belt 4	Weibull	0,95086	10.639,40	-	-
3	Pressing Jaw Tersier	Weibull	0,52341	30.346,95	-	-
4	Seam Jaw Tersier	Weibull	0,82207	20.641,13	-	-
5	Conveyor Belt Base Coarse	Weibull	0,819	17.450,56	-	-
6	Pressing Jaw Primer	Weibull	0,54089	39.625,95	-	-
7	Spot Jaw Primer	Normal	-	-	56.590	63.429,15
8	Ayakan 1	Normal	-	-	46.671,43	67.884,21
9	Ayakan 5-7	Normal	-	-	73.800	93.497,90
10	Ayakan Base Coarse	Weibull	0,71564	41.362,15	-	-
11	Jaw Split Tersier	Weibull	0,65228	31.851,99	-	-
12	Feeder Primer	Normal	-	-	36.843	44.293,72
13	Bearing Jaw Tersier	Normal	-	-	42.900	50.016,44
14	Conveyor Belt 2	Weibull	0,76296	47.694,77	-	-
15	Rantai Conveyor 1	Normal	-	-	71.520	53.688,40
16	Sasis Ayakan 1	Normal	-	-	61.968,75	93.853,65
17	Jaw Split Primer	Normal	-	-	55.490	75.212,39
18	Pressing Jaw Sekunder	Normal	-	-	101.940	154.395,31
19	Seam Jaw Sekunder	Weibull	0,66996	74.570,10	-	-
20	Toggle Jaw Tersier	Weibull	0,5689	44.244,82	-	-
21	Ayakan 2	Normal	-	-	118.035	294.919,08
22	Ayakan 3-5	Weibull	0,62127	67.657,75	-	-
23	Ayakan 2-3	Normal	-	-	127.132,50	93.842,89
24	Conveyor Belt 3	Normal	-	-	99.288	143.825,87
25	Sasis Ayakan 2	Weibull	0,63241	49.190,77	-	-
26	Conveyor Belt Limbah	Weibull	0,84768	17.253,74	-	-
27	Corong Jaw Primer	Normal	-	-	34.180	40.202,95
28	Kanfas Conveyor 1	Normal	-	-	31.219,29	21.690,62
29	Pillow Block Conveyor 1	Normal	-	-	31.501,88	39.787,55
30	Corong Jaw Sekunder	Weibull	0,59135	58.807,29	-	-
31	Corong Jaw Tersier	Normal	-	-	39.375	33.798,75
32	Corong Ayakan 1	Normal	-	-	107.955	238.690,72
33	Klem Ayakan 1	Normal	-	-	83.772	139.728,27
34	Pipa Ayakan 1	Normal	-	-	90.960	173.125,32
35	Kanfas Conveyor Base Coarse	Normal	-	-	84.445	136.242,10

$$\beta = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i \sum y_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$= \frac{(71 \times (-255,30263)) - (506,160 \times 596,73647)}{(71 \times 5,083,65919) - 506,160^2}$$

$$= 1,19884$$

$$\eta = \exp^{\frac{-\alpha}{\beta}}$$

$$= \exp^{\frac{-(-10,64088)}{1,19884}}$$

$$= 7.157,91 \text{ menit}$$

$$\alpha = \frac{\sum y_i - (\beta \sum x_i)}{n}$$

$$= \frac{(-40,11040) - (1,19884 \times 596,73647)}{71}$$

$$= -10,64088$$

2. Time To Repair (TTR)

Tabel 3. Identifikasi Distribusi dan Estimasi Parameter TTR

No	Komponen Kritis	Distribusi TTR	Parameter TTR			
			β	η (Menit)	μ (Menit)	σ (Menit)
1	Conveyor Belt 1	Weibull	2,01835	82,57	-	-
2	Conveyor Belt 4	Weibull	2,67977	77	-	-
3	Pressing Jaw Tersier	Normal	-	-	130,71	210,29
4	Seam Jaw Tersier	Normal	-	-	60	27,12
5	Conveyor Belt Base Coarse	Weibull	1,57514	87,92	-	-
6	Pressing Jaw Primer	Normal	-	-	75	49,38
7	Spot Jaw Primer	Normal	-	-	63	48,86
8	Ayakan 1	Normal	-	-	94,29	74,58
9	Ayakan 5-7	Normal	-	-	77	34,12
10	Ayakan Base Coarse	Normal	-	-	63	18,48
11	Jaw Split Tersier	Normal	-	-	195	276,35
12	Feeder Primer	Normal	-	-	105	84,01
13	Bearing Jaw Tersier	Normal	-	-	360	209,15
14	Conveyor Belt 2	Normal	-	-	63	18,48
15	Rantai Conveyor 1	Normal	-	-	77	40,15
16	Sasis Ayakan 1	Normal	-	-	150	391,52
17	Jaw Split Primer	Normal	-	-	270	175,58
18	Pressing Jaw Sekunder	Normal	-	-	96	127,64
19	Seam Jaw Sekunder	Normal	-	-	150	245,68
20	Toggle Jaw Tersier	Weibull	1,14875	130,65	-	-
21	Ayakan 2	Normal	-	-	83	88,66
22	Ayakan 3-5	Normal	-	-	105	93,45
23	Ayakan 2-3	Weibull	2,45284	61,3	-	-
24	Conveyor Belt 3	Normal	-	-	84	44,71
25	Sasis Ayakan 2	Normal	-	-	78	63,82
26	Conveyor Belt Limbah	Weibull	2,36646	82,62	-	-
27	Corong Jaw Primer	Weibull	1,45198	105,18	-	-
28	Kanfas Conveyor 1	Normal	-	-	62,14	28,3
29	Pillow Block Conveyor 1	Normal	-	-	110,63	109,34
30	Corong Jaw Sekunder	Normal	-	-	60	22,85
31	Corong Jaw Tersier	Normal	-	-	64	23,96
32	Corong Ayakan 1	Normal	-	-	83	36,1
33	Klem Ayakan 1	Normal	-	-	66	21,27
34	Pipa Ayakan 1	Normal	-	-	60	26,59
35	Kanfas Conveyor Base Coarse	Weibull	2,86526	63,66	-	-

4.3 Perhitungan MTBF dan MTTR

1. Mean Time Between Failure (MTBF)

$$\begin{aligned}
 MTBF &= \eta \Gamma(x) \\
 &= \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \\
 x &= 1 + \frac{1}{\beta} \\
 &= 1 + \frac{1}{1,19884} \\
 &= 1,83414 \\
 \Gamma(x) &= \Gamma(1,83414) \\
 &= 0,94089 \\
 MTBF &= \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \\
 &= 1,19884 \times 0,94089 \\
 &= 6.734,81 \text{ Menit} \approx 5 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

2. Mean Time To Repair (MTTR)

$$\begin{aligned}
 MTTR &= \eta \Gamma(x) \\
 &= \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \\
 x &= 1 + \frac{1}{\beta} \\
 &= 1 + \frac{1}{2,01835} \\
 &= 1,49546 \\
 \Gamma(x) &= \Gamma(1,83414) \\
 &= 0,88608 \\
 MTTR &= \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \\
 &= 82,57 \times 0,88608 \\
 &= 73,16 \text{ menit} \approx 1,22 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. Rekapitulasi MTBF dan MTTR Komponen Kritis

No	Komponen	MTBF		MTTR	
		Menit	Hari	Menit	Jam
1	Conveyor Belt 1	6.734,81	5	73,16	1,22
2	Conveyor Belt 4	10.883,69	8	68,47	1,14
3	Pressing Jaw Tersier	55.974,67	39	130,71	2,18
4	Seam Jaw Tersier	22.948,68	16	60	1
5	Conveyor Belt Base Coarse	19.450,57	14	78,95	1,32
6	Pressing Jaw Primer	69.250,40	48	75	1,25
7	Spot Jaw Primer	56.590	39	63	1,06
8	Ayakan 1	46.671,43	32	94,29	1,57
9	Ayakan 5-7	73.800	51	77	1,29
10	Ayakan Base Coarse	51.289,92	36	63,33	1,06
11	Jaw Split Tersier	43.350,31	30	195	3,25
12	Feeder Primer	36.843	26	105	1,75
13	Bearing Jaw Tersier	42.900	30	360	6
14	Conveyor Belt 2	56.005,71	39	63,33	1,06
15	Rantai Conveyor 1	71.520	50	77	1,29
16	Sasis Ayakan 1	61.968,75	43	150	2,5
17	Jaw Split Primer	55.490	39	270	4,5
18	Pressing Jaw Sekunder	101.940	71	96	1,6
19	Seam Jaw Sekunder	98.618,39	68	150	2,5
20	Toggle Jaw Tersier	71.616,95	50	124,38	2,07
21	Ayakan 2	118.035	82	83	1,38
22	Ayakan 3-5	97.428,01	68	105	1,75
23	Ayakan 2-3	127.132,50	88	54,4	0,91
24	Conveyor Belt 3	99.288	69	84	1,4
25	Sasis Ayakan 2	69.346,49	48	78	1,3
26	Conveyor Belt Limbah	18.803,43	13	73,23	1,22
27	Corong Jaw Primer	34.180	24	96	1,59
28	Kanvas Conveyor 1	31.219,29	22	62,14	1,04
29	Pillow Block Conveyor 1	31.501,88	22	110,63	1,84
30	Corong Jaw Sekunder	90.194,35	63	60	1
31	Corong Jaw Tersier	39.375	27	64	1,06
32	Corong Ayakan 1	107.955	75	83	1,38
33	Klem Ayakan 1	83.772	58	66	1,1
34	Pipa Ayakan 1	90.960	63	60	1
35	Kanvas Conveyor Base Coarse	84.445	59	57	0,95

4.4 Perhitungan Laju Kerusakan

Tabel 5. Perhitungan Laju Kerusakan
Komponen Conveyor Belt 1

No	t_i	$\lambda(t)$ (Kerusakan/menit)
1	540	0,000100184
2	540	0,000100184
3	1.020	0,000113689
4	1.200	0,000117423
5	1.260	0,000118568
6	1.320	0,000119670
7	1.380	0,000120732
...
...
...
...
...
71	43.140	0,000239381

t_i = Time Between Failure ke-i

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

$$= \frac{1,19884}{7157,91} \left(\frac{540}{7.157,91}\right)^{1,19884-1}$$

$$= 0,000100184 \text{ kerusakan/menit}$$

Berdasarkan contoh perhitungan laju kerusakan diatas, pada saat t 540 menit laju kerusakannya adalah 0,000100184 kerusakan/menit. Dapat dilihat bahwa laju kerusakan komponen conveyor belt 1 meningkat dari waktu ke waktu (Increase Failure Rate) atau IFR.

4.5 Penentuan Jadwal Preventive Maintenance

1. *Preventive Maintenance*

$$\begin{aligned} \beta &= 1,19884 \\ \eta &= 7.157,91 \text{ menit} \\ MTBF &= 6.734,81 \text{ menit} \\ T_p &= 30 \text{ menit} \\ T_f &= MTTR = 73,16 \text{ menit} \\ R(T_p) &= \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] \\ &= \exp\left[-\left(\frac{4.620}{7.157,91}\right)^{1,19984}\right] \\ &= 0,55343 \\ &= 55,34\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M(T_p) &= \frac{MTBF}{1-R(tp)} \\ &= \frac{6.734,81}{1-0,55343} \\ &= 15.081,08 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D(T_p) &= \frac{(T_p \times R(tp)) + (T_f \times (1-R(tp)))}{((tp+T_p) \times R(tp)) + ((M(tp)+T_f) \times (1-R(tp)))} \\ &= \frac{(30 \times 0,55343) + (73,16 \times (1-0,55343))}{((4.620+30) \times 0,55343) + ((15.081,08+73,16) \times (1-0,55343))} \\ &= 0,0070399983 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A(T_p) &= 1 - D(T_p) \\ &= 1 - 0,0070399983 \\ &= 0,9929600017 \end{aligned}$$

Tabel 6. Age Replacement Komponen Conveyor Belt 1

Jam	tp Menit	R (T _p) (Probabilitas)	M (T _p) (Menit)	D (T _p) (Rasio)	A (T _p) (Rasio)
1	60	0,99677	2.082.483,84	0,0087593802	0,9912406198
30	1.800	0,82604	38.715,45	0,0075192468	0,9924807532
60	3.600	0,64488	18.964,64	0,0070905812	0,9929094188
70	4.200	0,58993	16.423,71	0,0070486075	0,9929513925
71	4.260	0,58462	16.213,54	0,0070464089	0,9929535911
72	4.320	0,57934	16.009,95	0,0070445442	0,9929554558
73	4.380	0,57409	15.812,64	0,0070430066	0,9929569934
74	4.440	0,56887	15.621,35	0,0070417895	0,9929582105
75	4.500	0,56369	15.435,82	0,0070408866	0,9929591134
76	4.560	0,55854	15.255,80	0,0070402915	0,9929597085
77	4.620	0,55343	15.081,08	0,0070399983	0,9929600017
78	4.680	0,54835	14.911,43	0,0070400010	0,9929599990
79	4.740	0,54330	14.746,64	0,0070402938	0,9929597062
80	4.800	0,53829	14.586,53	0,0070408710	0,9929591290
90	5.400	0,49003	13.206,17	0,0070611427	0,9929388573
100	6.000	0,44516	12.138,19	0,0071045555	0,9928954445
110	6.600	0,40361	11.292,69	0,0071672120	0,9928327880
112	6.734,81	0,39473	11.126,90	0,0071836001	0,9928163999
120	7.200	0,36529	10.610,91	0,0072459158	0,9927540842

2. *Corrective Maintenance*

$$\begin{aligned} \beta &= 1,19884 \\ \eta &= 7.157,91 \text{ menit} \\ MTBF &= 6.734,81 \text{ menit} \\ MTTR &= 73,16 \text{ menit} \\ R_{MTBF} &= \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] \\ &= \exp\left[-\left(\frac{6.734,81}{7.157,91}\right)^{1,19984}\right] \\ &= 0,3947 \\ &= 39,47\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_{MTBF} &= \frac{MTTR}{MTBF+MTTR} \\ &= \frac{73,16}{6.734,81+73,16} \\ &= 0,0107462283 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{MTBF} &= 1 - D_{MTBF} \\ &= 1 - 0,0107462283 \\ &= 0,9892537717 \end{aligned}$$

Tabel 7. Perbandingan Preventive Maintenance dengan Corrective Maintenance

No	Komponen	Corrective Maintenance (MTBF) (Hari)	Preventive Maintenance (T _p) (Hari)	R _{MTBF}	R (T _p)	D _{MTBF}	D (T _p)	A _{MTBF}	A (T _p)
1	Conveyor Belt 1	5	3	39,47%	55,34%	1,07%	0,70%	98,93%	99,30%
2	Conveyor Belt 4	8	6	35,99%	41,93%	0,63%	0,44%	99,37%	99,56%
3	Pressing Jaw Tersier	39	34	25,22%	27,48%	0,23%	0,17%	99,77%	99,83%
4	Seam Jaw Tersier	16	14	33,59%	38,60%	0,26%	0,18%	99,74%	99,82%
5	Conveyor Belt Base Coarse	14	9	33,52%	44,47%	0,40%	0,28%	99,60%	99,72%
6	Pressing Jaw Primer	48	34	25,86%	32,73%	0,11%	0,08%	99,89%	99,92%
7	Spot Jaw Primer	39	33	41,53%	49,95%	0,11%	0,08%	99,89%	99,92%
8	Ayakan 1	32	30	37,48%	40,41%	0,20%	0,14%	99,80%	99,86%
9	Ayakan 5-7	51	42	39,85%	46,21%	0,10%	0,07%	99,90%	99,93%
10	Ayakan Base Coarse	36	30	31,15%	35,50%	0,12%	0,09%	99,88%	99,91%
11	Jaw Split Tersier	30	26	29,44%	32,54%	0,45%	0,32%	99,55%	99,68%
12	Feeder Primer	26	22	39,57%	45,51%	0,28%	0,19%	99,72%	99,81%
13	Bearing Jaw Tersier	30	28	36,12%	37,04%	0,83%	0,44%	99,17%	99,56%
14	Conveyor Belt 2	39	31	32,29%	38,53%	0,11%	0,08%	99,89%	99,92%
15	Rantai Conveyor 1	50	33	44,20%	63,55%	0,11%	0,07%	99,89%	99,93%
16	Sasis Ayakan 1	43	41	33,17%	34,45%	0,24%	0,16%	99,76%	99,84%
17	Jaw Split Primer	39	32	35,29%	38,64%	0,48%	0,28%	99,52%	99,72%
18	Pressing Jaw Sekunder	71	69	40,19%	41,36%	0,09%	0,07%	99,91%	99,93%
19	Seam Jaw Sekunder	68	64	29,94%	31,62%	0,15%	0,11%	99,85%	99,89%
20	Toggle Jaw Tersier	50	45	26,84%	29,08%	0,17%	0,13%	99,83%	99,87%
21	Ayakan 2	82	74	33,24%	35,20%	0,07%	0,05%	99,93%	99,95%
22	Ayakan 3-5	68	62	28,53%	30,65%	0,11%	0,08%	99,89%	99,92%
23	Ayakan 2-3	88	71	45,53%	52,24%	0,04%	0,02%	99,96%	99,98%
24	Conveyor Belt 3	69	59	32,55%	34,08%	0,08%	0,06%	99,92%	99,94%
25	Sasis Ayakan 2	48	44	28,86%	30,99%	0,11%	0,08%	99,89%	99,92%
26	Conveyor Belt Limbah	13	10	34,11%	41,02%	0,39%	0,27%	99,61%	99,73%
27	Corong Jaw Primer	24	20	38,72%	44,93%	0,28%	0,20%	99,72%	99,80%
28	Kanfas Conveyor 1	22	20	43,30%	45,51%	0,20%	0,13%	99,80%	99,87%
29	Pillow Block Conveyor 1	22	18	37,74%	44,29%	0,35%	0,24%	99,65%	99,76%
30	Corong Jaw Sekunder	63	59	27,59%	29,02%	0,07%	0,05%	99,93%	99,95%
31	Corong Jaw Tersier	27	22	44,79%	55,29%	0,16%	0,11%	99,84%	99,89%
32	Corong Ayakan 1	75	73	31,41%	47,71%	0,08%	0,05%	99,92%	99,95%
33	Klem Ayakan 1	58	43	36,38%	44,41%	0,08%	0,05%	99,92%	99,95%
34	Pipa Ayakan 1	63	58	35,49%	37,67%	0,07%	0,04%	99,93%	99,96%
35	Kanfas Conveyor Base Coarse	59	43	34,77%	42,11%	0,07%	0,04%	99,93%	99,96%

$$\begin{aligned}
 \text{Downtime Corrective Maintenance} &= D_{MTBF} \times \text{Interval Waktu 1 Tahun} \\
 &= 1,07\% \times 8.760 \text{ Jam} \\
 &= 93,73 \approx 94 \text{ Jam} \\
 \text{Downtime Preventive Maintenance} &= D (T_p) \times \text{Interval Waktu 1 Tahun} \\
 &= 0,70\% \times 8.760 \text{ Jam} \\
 &= 61,67 \approx 62 \text{ Jam}
 \end{aligned}$$

Tabel 8. Perbandingan Waktu Downtime Preventive Maintenance dengan Corrective Maintenance

No	Komponen	Downtime Corrective Maintenance (Jam)	Downtime Preventive Maintenance (Jam)	Δ Downtime (Jam)
1	Conveyor Belt 1	94	62	32
2	Conveyor Belt 4	55	38	16
3	Pressing Jaw Tersier	20	15	5
4	Seam Jaw Tersier	23	16	7
5	Conveyor Belt Bescos	35	24	11
6	Pressing Jaw Primer	9	7	3
7	Spot Jaw Primer	10	7	3
8	Ayakan 1	18	12	6
9	Ayakan 5-7	9	6	3
10	Ayakan Bescos	11	8	3
11	Jaw Tersier	39	28	11
12	Feeder Primer	25	17	8
13	Bearing Jaw Tersier	73	38	35
14	Conveyor Belt 2	10	7	3
15	Rantai Conveyor 1	9	6	4
16	Sasis Ayakan 1	21	14	7
17	Jaw Split Primer	42	25	18
18	Pressing Jaw Sekunder	8	6	3
19	Seam Jaw Sekunder	13	10	4
20	Toggle Jaaw Tersier	15	11	4
21	Ayakan 2	6	4	2
22	Ayakan 3-5	9	7	3
23	Ayakan 2-3	4	2	2
24	Conveyor Belt 3	7	5	2
25	Sasis Ayakan 2	10	7	3
26	Conveyor Belt Limbah	34	24	10
27	Corong Jaw Primer	25	17	7
28	Kanvas Conveyor 1	17	11	6
29	Pillow Block Conveyor 1	31	21	10
30	Corong Jaw Sekunder	6	4	2
31	Corong Jaw Tersier	14	9	5
32	Corong Ayakan 1	7	5	2
33	Klem Ayakan 1	7	5	2
34	Pipa Ayakan 1	6	4	2
35	Kanvas Conveyor Bescos	6	4	2
Total Downtime		730	485	245

Dalam interval waktu 1 tahun, downtime yang terjadi pada *corrective maintenance* adalah selama 730 jam, sedangkan downtime yang terjadi pada *preventive maintenance* hanya selama 485 jam, maka *preventive maintenance* menurunkan downtime selama 245 jam dalam setahun. Hal ini menunjukkan bahwa usulan jadwal *preventive maintenance* lebih baik dibandingkan dengan *corrective maintenance* yang selama ini diterapkan perusahaan.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan dalam penelitian ini yaitu rekomendasi jenis tindakan dalam aktivitas perawatan (*maintenance task*) yang dilakukan pada komponen kritis mesin *stone crusher plant 2* menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) adalah tindakan *Time Directed* (TD) untuk 4 komponen yaitu komponen *bearing jaw tersier*, *kanvas conveyor 1*, *pillow block conveyor 1*, dan *kanvas conveyor base coarse* Dan rekomendasi tindakan tindakan *Condition Directed* (CD) untuk 31

komponen lainnya yaitu komponen *conveyor belt 1*, *conveyor belt 4*, *pressing jaw tersier*, *seam jaw tersier*, *conveyor belt base coarse*, *pressing jaw primer*, *spot jaw primer*, ayakan 1, ayakan 5-7, ayakan *base coarse*, *jaw split* tersier, *feeder primer*, *bearing jaw tersier*, *conveyor belt 2*, rantai *conveyor 1*, sasis ayakan 1, *jaw split* primer, *pressing jaw sekunder*, *seam jaw sekunder*, *toggle jaw tersier*, ayakan 2, ayakan 3-5, ayakan 2-3, *conveyor belt 3*, sasis ayakan 2, *conveyor belt* limbah, corong *jaw primer*, corong *jaw sekunder*, corong *jaw tersier*, corong ayakan 1, klem ayakan 1, dan pipa ayakan 1.

Jadwal *preventive maintenance* pada komponen kritis mesin *stone crusher plant 2* menggunakan model *age replacement* pada komponen *conveyor belt 1* adalah setiap 3 hari, *conveyor belt 4* adalah setiap 6 hari, *pressing jaw* tersier adalah setiap 34 hari, *seam jaw* tersier adalah setiap 14 hari, *conveyor belt base coarse* adalah setiap 9 hari, *pressing jaw* primer adalah setiap 34 hari, *spot jaw* primer adalah setiap 33 hari, ayakan 1 adalah setiap 30 hari, ayakan 5-7 adalah setiap 42 hari, ayakan *base coarse* adalah setiap 30 hari, *jaw split* tersier adalah setiap 26 hari, *feeder primer* adalah setiap 22 hari, *bearing jaw* tersier adalah setiap 28 hari, *conveyor belt 2* adalah setiap 31 hari, rantai *conveyor 1* adalah setiap 33 hari, sasis ayakan 1 adalah setiap 41 hari, *jaw split* primer adalah setiap 32 hari, *pressing jaw* sekunder adalah setiap 69 hari, *seam jaw* sekunder adalah setiap 64 hari, *toggle jaw* tersier adalah setiap 45 hari, ayakan 2 adalah setiap 74 hari, ayakan 3-5 adalah setiap 62 hari, ayakan 2-3 adalah setiap 71 hari, *conveyor belt 3* adalah setiap 59 hari, sasis ayakan 2 adalah setiap 44 hari, *conveyor belt* limbah adalah setiap 10 hari, corong *jaw primer* adalah setiap 20 hari, kanfas *conveyor 1* adalah setiap 20 hari, *pillow block conveyor 1* adalah setiap 18 hari, corong *jaw sekunder* adalah setiap 59 hari, corong *jaw tersier* adalah setiap 22 hari, corong ayakan 1 adalah setiap 73 hari, klem ayakan 1 adalah setiap 43 hari, pipa ayakan 1 adalah setiap 58 hari, kanfas *conveyor base coarse* adalah setiap 43 hari.

6. DAFTAR PUSTAKA (APA STYLE)

1. Abbas, Bahtiar. S. (2009). Penjadwalan Preventive Maintenance Mesin B. Flute pada PT. AMW. *Jurnal Teknik Industri*. Vol 10 No 2 : 97-104.
2. Bentley, John. 1999. *Introduction to Reliability and Quality Engineering*, 2nd edition, Addison-Wesley, England.
3. Bakri, Khoirul. Usulan Waktu Preventive Maintenance untuk Menurunkan Downtime dan Biaya Perawatan Mesin Three Roll Bending dengan Reliability Block Diagram di PT. Asyatek Indonesia. (Skripsi). Cilegon: Jurusan Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
4. Dharma, Surya. (2008). *Pendekatan, Jenis, dan Metode Penelitian Pendidikan*. Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta.
5. Ebeling, C. 1987. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. University of Dayton. Dayton.
6. Jiwantoro, A.Y. 2014 Usulan Strategi Perawatan dengan Mempertimbangkan Reliability Block Diagram pada Mesin Crane Ship Unloader di PT. KBS. (Skripsi). Cilegon: Jurusan Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
7. Kartika. I. 2016. Usulan Waktu Preventive Maintenance untuk Meningkatkan Keandalan Mesin Maachining Center dengan Reliability Block Diagram di PT. Surya Tato Indonesia. (Skripsi). Cilegon: Jurusan Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
8. Lukmandani, Antonius. 2011. Penjadwalan Perawatan di PT. Steel Pipe Industry of Indonesia. *Jurnal Teknik Industri*. Vol 10 No 1 : 103-116.
9. Mardiansyah. 2013. Perancangan dan Perbaikan Sistem Kerja Dalam Upaya Mengendalikan Kecacatan pada Proses

- Pembuatan Nata De Coco. *Jurnal Sekolah Tinggi Teknologi Garut*. Vol 12 No 1.
10. Mushofik. 2016. Usulan Perencanaan Perawatan Mesin Roughing Stand dengan Pendekatan Reliability Centered Maintenance di PT. Krakatau Wajatama. (*Skripsi*). Cilegon: Jurusan Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
11. Nazarudin, Muhammad. 2014. Analisa Penjadwalan Perawatan pada Mesin Three Roll Bending di PT. XYZ dengan Reliability Block Diagram. (*Skripsi*). Cilegon: Jurusan Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
12. Pati, Roni. 2016. Analisa Perencanaan Pemeliharaan Mesin *Pulverizer*. (*Skripsi*). Cilegon: Jurusan Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
13. Suhandini, Yustina. 2016. Penentuan Prioritas Perbaikan Kegagalan Proses dalam Pengendalian Kualitas dengan Mengintegrasikan FMEA dan Grey Theory. *Jurnal Teknik Industri*. Vol 8 No 2 : 170-175.
14. Syalihin. 2010. Perencanaan Pemeliharaan Mesin Berbasis RCM (Reliability Centered Maintenance) di Slab Plant 1 PT. Krakatau Steel. (*Skripsi*). Cilegon: Jurusan Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
15. Tamin, Wilbert. 2013. Penerapan Preventive Maintenance dengan menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance dengan Mengaplikasikan Grey FMEA pada PT. WXY. *Jurnal Teknik Industri*. Vol 1 No 3 : 53-59.
16. Taufik, 2015. Penentuan Interval Waktu Perawatan Komponen Kritis pada Mesin Turbin di PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkit Ombilin. *Jurnal Teknik Industri*. Vol 14 No 2 : 238-258.
17. Yemima, Ola. (2014) . Penerapan Peta Kendali Demerit dan Diagram Pareto Pada Pengontrolan Kualitas Produksi. *Jurnal Statistika FMIPA*. Vol 5 No 2 : 197 – 202.
18. Zaki, Nurahadin. 2010 Penerapan Reliability Centered Maintenance II (RCM II) dalam Perencanaan Kegiatan pada Mesin Boiler di PT PG Candi Baru Sidoarjo. (*Skripsi*). Cilegon: Jurusan Teknik Industri Universitas Pembangunan Nasional.