

KEANDALAN SISTEM LINTASAN PRODUKSI PEMBUATAN PIPA

Taufik, Wirli Hidayanti

Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Andalas

Email : wirlihidayanti93@yahoo.com (korespondensi)

Abstract

Production process of power pole involves connected production process flow between machines. Thus, company must ensure the machine availability during production runs. PT Kunango Jantan as a company that produce pole power also considers machine availability. The level of machine availability can be seen from the high level of machine reliability. However, the company are still not been able to guarantee the availability of the machine so it is necessary to study the reliability of the system to help taking the right policy in handling pipe production machinery maintenance. The first step is to determine the distribution of machine damage. Minitab 16 software were used determined the type of distribution and distribution parameters of each machine damage. In addition, mean time between failure (MTBF) was calculated to the pipe manufacturing machine. The machine reliability was obtained based on a formula and parameters. The determination of the system reliability was derived from the block diagram in accordance with the condition of machines in the field. Analysis was performed using fishbone diagram to propose an attempt to increase the machine reliability. The results of this study indicate that the machine reliability in in good level since the reliability value is between 0.901 to 1.000. The machine reliability in series circuit is smaller than the machine reliability in parallel circuit. Rs and R values of the system were 0.980 and 0.998. R system shows that the system has a good performance with a chance of machine damage during production <0.002 (0.2%).

Keywords: Maintenance, Reliability, RBD

Abstrak

Proses produksi tiang listrik melibatkan aliran proses produksi yang saling terhubung antar mesin. Akibatnya perusahaan harus menjamin ketersediaan mesin selama proses produksi berjalan. Hal yang sama juga dilakukan oleh PT Kunango Jantan sebagai perusahaan yang memproduksi tiang listrik. Tingkat ketersediaan mesin dapat dilihat dari tingkat keandalan mesin yang tinggi. Namun kenyataannya, perusahaan belum mampu menjamin ketersediaan mesin sehingga perlu dilakukan penelitian mengenai keandalan sistem guna membantu mengambil kebijakan yang tepat dalam menangani perawatan mesin produksi pipa. Langkah awal yang dilakukan adalah dengan menentukan distribusi kerusakan mesin. Dengan bantuan software minitab 16 dapat ditentukan jenis distribusi serta parameter distribusi kerusakan setiap mesin. Selain itu dilakukan perhitungan MTBF terhadap mesin produksi pipa. Keandalan mesin didapatkan berdasarkan formula dan parameter yang ada. Penentuan keandalan sistem berpedoman pada diagram blok yang sesuai dengan kondisi mesin di lapangan. Analisis dilakukan menggunakan fishbone untuk menentukan usulan peningkatan keandalan mesin. Hasil dari penelitian ini menunjukkan tingkat keandalan mesin dikategorikan baik dengan nilai keandalan antara 0,901 hingga 1,000. Keandalan mesin pada rangkaian seri lebih kecil dibandingkan keandalan mesin yang terangkai secara paralel. Nilai Rs dan R sistem yang diperoleh sebesar 0,980 dan 0,998. R sistem menunjukkan bahwa sistem memiliki performa yang baik dengan peluang mesin mengalami kerusakan selama produksi < 0,002 (0,2%).

Kata Kunci:Perawatan, Keandalan, RBD

1. PENDAHULUAN

Industri merupakan salah satu sektor yang turut berkembang seiring dengan perkembangan teknologi. Terutama pada

industri manufaktur, kemajuan teknologi selalu memberikan dampak berupa perubahan dari peningkatan kualitas bahan baku serta produk yang dihasilkan [1]. Kemajuan teknologi menuntut setiap elemen yang terlibat

didalamnya untuk meningkatkan kemampuannya. Peningkatan untuk mesin produksi, dilakukan dengan tindakan penjaminan mesin dapat digunakan selama proses produksi berlangsung. Penjaminan ketersediaan mesin juga dilakukan oleh PT Kunungo Jantan.

PT Kunungo Jantan sebagai perusahaan dibidang *manufacturing* dan *trading* yang memproduksi tiang listrik, tiang pancang, pagar panel beton, *box culvert* dan lainnya. Tiang listrik sebagai produksi utama dari pabrik ini dipasarkan ke berbagai perusahaan diseluruh Indonesia. Gambar hasil produk dari PT Kunungo Jantan dapat dilihat pada Gambar 1.



(a) Tiang Listrik

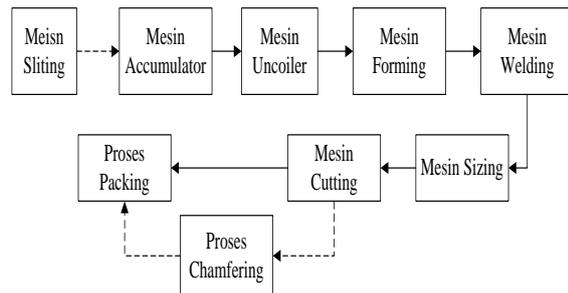


(b) Part Steel Plane dan Cyclone Casing

Gambar 1. (a) (b) Hasil Produk dari PT Kunungo Jantan

Proses produksi tiang listrik dibagi menjadi dua tahap, yaitu proses produksi pipa dan proses penggabungan pipa menjadi tiang listrik. Sebelum menjadi tiang listrik, bahan dasar berupa *coil* diolah dengan serangkaian proses pemessinan membentuk pipa dalam berbagai ukuran. Tahap setelahnya dilakukan penyambungan pipa berbeda ukuran untuk membentuk tiang listrik. Proses pembuatan pipa dapat dilihat pada Gambar 2.

Aliran proses produksi pipa saling terkait antara proses awal dan setelahnya sehingga tidak dibenarkan adanya kerusakan untuk salah satu mesin. Kerusakan mesin menyebabkan terhentinya proses produksi secara total. Semakin sering mesin mengalami kerusakan maka biaya yang dikeluarkan untuk perbaikan akan semakin besar dan waktu produksi akan semakin berkurang. Oleh sebab itu bidang *engineering* selalu berupaya dalam menjaga dan memelihara kondisi mesin agar tetap dapat digunakan selama proses produksi berlangsung.



Gambar 2. Aliran Proses Produksi Pipa PT Kunungo Jantan

Tabel 1 menunjukkan waktu kerusakan mesin yang terjadi selama rentang waktu September 2015 hingga Februari 2016. Terlihat bahwa tingkat kerusakan yang terjadi pada pabrik pipa cukup tinggi. Tingkat kerusakan tertinggi berada pada bulan Oktober 2015 sebesar 1920 menit (32 jam). Tingginya tingkat kerusakan mesin ini sayangnya tidak didukung dengan kebijakan *corrective maintenance* yang diterapkan perusahaan.

Sistem perawatan yang baik dapat mengurangi pengeluaran dan meningkatkan laba perusahaan [2]. Langkah awal dari setiap kebijakan yang diambil mengenai perawatan selalu berpedoman pada tingkat keandalan (*reliability*) dari mesin dan sistem yang ada [3]. Keandalan (*reliability*) mesin didefinisikan sebagai peluang suatu mesin untuk dapat berlaku sesuai dengan fungsi tertentu dalam desain lingkungan atau kondisi operasi yang spesifik selama periode waktu tertentu [4].

Penelitian mengenai analisis keandalan sistem pernah dilakukan dan hasil penelitian berupa distribusi waktu antar kegagalan dari sub sistem *Mainhoist*, *Trolley*, *Spreader*, *Engine & GeneratorSet* dan *PLC & Electric Drive Control* serta interval pemeliharaan berdasarkan pada waktu pemeliharaan terpendek [5]. Penelitian lain tentang analisa terhadap keandalan dan *availability* mesin pabrik kelapa sawit PT. Perkebunan Nusantara 3 juga pernah dilakukan [6]. Penelitian

terdahulu menunjukkan analisa mengenai keandalan sistem diperlukan guna mendapatkan kebijakan perawatan yang lebih baik.

Oleh sebab itu penelitian mengenai keandalan sistem produksi pipa ini perlu dilakukan guna menjadi acuan bagi perusahaan dalam mengambil kebijakan perawatan yang lebih baik.

Tabel 1. Data Kerusakan Mesin Produksi Pipa Periode September 2015 – Februari 2016

Bulan	Sub Mesin	Waktu Kerusakan (Menit)	Total Kerusakan/ Bulan (Menit)
Sep-15	Cutting	560	1790
	Slitting	1200	
	Uncoiler	30	
Okt-15	Slitting	480	1920
	Uncoiler	480	
	Cutting	960	
Nop-15	Slitting	240	240
Des-15	Cutting	480	840
	Uncoiler	60	
	Forming	300	
Jan-16	Slitting	240	240
Feb-16	Uncoiler	30	1020
	Cutting	990	

(Sumber : Bagian *Engineering* PT Kunango Jantan)

2. METODE PENELITIAN

Tahapan pelaksanaan penelitian ini terdiri dari studi pendahuluan, studi pustaka, pengumpulan data, pengolahan data, analisis, dan penutup.

2.1. Studi Pendahuluan

Studi pendahuluan yang dilakukan merupakan tahap observasi lapangan. Pada tahapan ini peneliti melihat langsung proses produksi pipa yang terjadi di PT Kunango Jantan. Studi pendahuluan ini dilakukan dengan melakukan diskusi dan tanya jawab dengan beberapa pihak terkait dengan proses produksi dan proses perawatan mesin yang ada di PT Kunango Jantan.

2.2. Studi Pustaka

Referensi yang digunakan meliputi, konsep perawatan, pola kerusakan mesin, penentuan distribusi kerusakan, *mean time between failure* (MTBF), keandalan (*reliability*), dan lain sebagainya yang berkaitan dengan pokok permasalahan yang diteliti. Referensi ini

kemudian akan digunakan sebagai landasan dalam melakukan penelitian terhadap perawatan mesin di PT Kunango Jantan.

2.3. Identifikasi Masalah

Pengidentifikasi permasalahan berdasarkan hasil observasi dan studi pustaka sebelumnya didapatkan bahwa tingkat kerusakan mesin di PT Kunango Jantan cukup tinggi. Kebijakan perawatan perusahaan yang menerapkan perawatan korektif belum bisa menurunkan tingkat kerusakan mesin. Serta susunan mesin yang didominasi dengan rangkaian seri akan memperbesar peluang terhentinya produksi dikarenakan kerusakan mesin. Sehingga usaha untuk mengoptimalkan penggunaan mesin selama proses produksi berlangsung menjadi penting. Pengoptimalan penggunaan mesin ini terkait dengan kajian mengenai peningkatan keandalan mesin dan sistem pada pabrik pipa PT Kunango Jantan. Kajian ini nantinya akan digunakan sebagai acuan dalam mengambil kebijakan perawatan terhadap mesin produksi.

2.4. Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan dua jenis data berdasarkan cara memperolehnya, yaitu data primer dan data sekunder.

1. Data Primer

Data primer yang didapatkan dari PT Kunango Jantan berupa penjabaran sistem produksi pipa serta penjelasan mengenai mesin – mesin produksi yang digunakan.

2. Data Sekunder

Data sekunder yang didapatkan berupa data historis kerusakan mesin produksi. Data kerusakan mesin yang digunakan adalah data kerusakan mesin yang terjadi pada proses produksi pipa PT Kunango Jantan selama kurun waktu Januari 2015 hingga Maret 2016. Data ini meliputi data waktu waktu penanganan kerusakan, lama waktu perbaikan, serta jenis kerusakan yang terjadi.

2.5. Pengolahan Data

Tahap pengolahan data yang dilakukan dibagi dalam beberapa bagian. Adapun tahapan tersebut dijelaskan sebagai berikut :

1. Penggambaran *Reliability Block Diagram* (RBD)
2. Penentuan waktu kerusakan
3. Penentuan distribusidan parameter distribusi terpilih
4. Pengujian Kecocokan Distribusi Kerusakan
5. Perhitungan MTBF, *reliability* mesin dan *reliability* sistem

2.6. Analisis

Bab analisis berisikan seluruh analisa terhadap pengolahan data yang telah dilakukan pada bab sebelumnya. Analisa dilakukan terhadap waktu kerusakan mesin, distribusi kerusakan mesin terpilih serta parameter distribusi kerusakan tersebut. Selain itu juga dilakukan analisis terhadap nilai keandalan mesin dan sistem yang didapatkan dari pengolahan data sebelumnya. Serta pemberian usulan peningkatan terhadap keandalan mesin yang ada di PT Kunango Jantan. Analisa ini juga didasari pada teori-teori yang mendukung perhitungan tersebut.

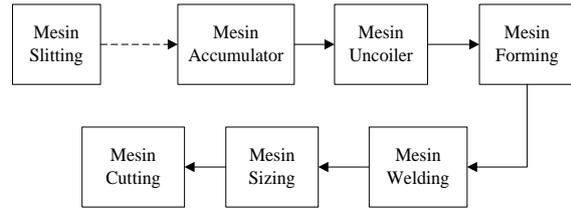
3. PENGOLAHAN DATA

3.1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dilakukan selama penelitian berupa data kerusakan mesin. Data kerusakan mesin yang diperoleh selama selang waktu Januari 2015–Maret 2016. Rekap data kerusakan mesin Slitting produksi pipa PT Kunango Jantan dapat dilihat pada Tabel 2.

3.2. Blok Diagram Sistem

Langkah awal yang dilakukan untuk menganalisis suatu sistem adalah dengan membuat suatu blok diagram. Blok diagram sistem merupakan gambaran aliran proses produksi pipa PT Kunango Jantan. Blok diagram digambarkan dengan melibatkan semua mesin yang terlibat dalam proses produksi pipa. Blok diagram untuk sistem ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. RBD Sistem Produksi Tiang Pipa PT Kunango Jantan

3.3. Konfigurasi Sistem

Berikut adalah konfigurasi sistem berdasarkan RBD pada Gambar 4.

$$R_s = R_{M2} \times \dots \times R_{M6} \times M_{M7} \quad (1)$$

$$R_{sistem} = 1 - (1 - R_{M1})(1 - R_S) \quad (2)$$

Keterangan :

- M1 : Mesin Slitting
- M2 : Mesin Accumulator
- M3 : Mesin Uncoiler
- M4 : Mesin Forming
- M5 : Mesin Welding
- M6 : Mesin Sizing
- M7 : Mesin Cutting

3.4. Penentuan Pola Disrtibusi Kerusakan Mesin

Adapun tahapan yang dilakukan untuk menentukan distribusi tersebut adalah dengan menentukan waktu kerusakan, penentuan distribusi dan parameter distribusi serta pengujian kecocokan distribusi menggunakan uji kebaikan suai (*Goodness of fit test*).

Tabel 2. Rekap Data Kerusakan Mesin Slitting Selama Januari 2015 – Maret 2016.

No.	Tanggal	Sub Mesin	Jenis Gangguan	Waktu Perbaikan (menit)
1	16-Jan-15	Slitting	Perbaikan silinder meja slitting	30
2	19-Jan-15	Slitting	Pemasangan silinder meja slitting	30
3	16-Apr-15	Slitting	Perbaikan silinder tambahan bocor	30
4	20-Apr-15	Slitting	Perbaikan kopling brake	45
5	15-Agust-15	Slitting	Perbaikan as silinder u/ penahan slit	240
6	08-Sep-15	Slitting	Kopling pemotong macet	240
7	28-Sep-15	Slitting	Perbaikan Silinder di Sliting	960
8	01-Okt-15	Slitting	Perbaikan Silinder di Sliting (bocor)	480
9	23-Nop-15	Slitting	Perbaikan mesin potong plat	240
10	28-Jan-16	Slitting	Perbaikan pemotong plat di sliting	240

[Sumber : PT Kunango Jantan]

3.4.1. Penentuan Waktu Kerusakan

Data kerusakan mesin yang telah diperoleh sebelumnya akan dilakukan perhitungan waktu kerusakan *time between failure* (TBF). TBF merupakan waktu kerusakan yang terjadi sejak submesin mengalami kerusakan hingga mesin mengalami kerusakan selanjutnya dikurangi dengan waktu perbaikan sub mesin tersebut. Perhitungan untuk TBF menggunakan persamaan matematis berikut :

$$TBF_{i+1} = O_{i+1} - O_i - TTR_i \quad (3)$$

Keterangan :

TBF_{i+1} = waktu antar kerusakan periode $i+1$

O_{i+1} = waktu kumulatif operasi pada periode $i+1$

O_i = waktu kumulatif operasi pada periode i

TTR_i = waktu perbaikan mesin pada periode i

Berikut adalah perhitungan *Time To Repair* (TTR) dan TBF untuk mesin slitting.

Waktu kerusakan mesin slitting

Mesin slitting merupakan mesin pemotong gulungan *coil* menjadi dua bagian yang kemudian akan dipergunakan dalam membentuk pia baja. Nilai TBF dan TTR dari mesin slitting dapat dilihat pada Tabel 3.

Contoh perhitungan untuk Mesin *Slitting* :

Waktu antar kerusakan periode 4 dan 5 :
Kerusakan 4 (O_4) = 20 April 2015

Kerusakan 5 (O_5) = 15 Agustus 2015

Waktu perbaikan periode ke-4 = 0,75 jam

Waktu Operasi per hari = 8 jam

Waktu kumulatif operasi pada periode 4 (O_4) = 23,50 jam

Waktu kumulatif operasi pada periode 5 (O_5) :
 $O_5 = (15 \text{ Agustus } 2015 - 20 \text{ April } 2015) \times 8 \text{ jam/hari} + 23,50 \text{ jam}$
 $= 95 \text{ hari} \times 8 \text{ jam/hari} + 23,50 \text{ jam}$
 $= 783,50 \text{ jam}$

Jadi, waktu antar kerusakan (TBF_5)
 $= O_5 - O_4 - TTR_4$
 $= 783,50 \text{ jam} - 23,50 \text{ jam} - 0,75 \text{ jam}$
 $= 759,25 \text{ jam}$

Tabel 3. Data Nilai TBF dan TTR Mesin Slitting

No	Tanggal	TTR (jam)	TBF (jam)
1	16-Jan-15	0,50	0,00
2	19-Jan-15	0,50	15,50
3	16-Apr-15	0,50	575,50
4	20-Apr-15	0,75	23,50
5	15-Agust-15	4,00	759,25
6	08-Sep-15	4,00	148,00
7	28-Sep-15	16,00	124,00
8	01-Okt-15	8,00	8,00
9	23-Nop-15	4,00	344,00
10	28-Jan-16	4,00	428,00

3.4.2. Penentuan Distribusi Kerusakan

Penentuan distribusi ini menggunakan software minitab 16 guna menentukan jenis distribusi kerusakan data. Pemilihan distribusi dilakukan dengan memilih nilai koefisien korelasi terbesar yang dihasilkan dalam pengujian terhadap suatu mesin. Parameter didapatkan dari bentuk histogram yang mendekati distribusi sebenarnya. Nilai parameter terlihat dari pembentukan histogram setiap mesin. Berikut adalah contoh perhitungan untuk mesin slitting.

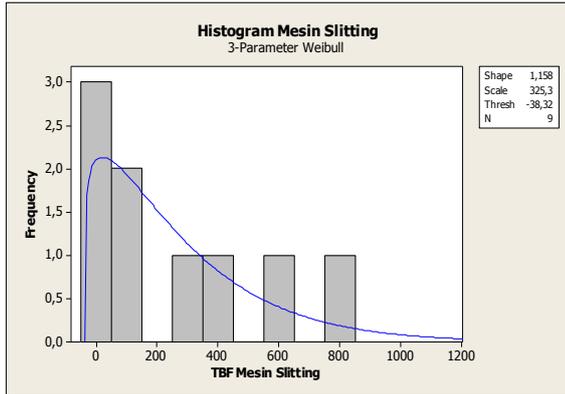
Mesin Slitting

Dengan menggunakan software minitab 16, dilakukan pengujian statistik *reliability/survival* terhadap data kerusakan (TBF) mesin slitting dan didapatkan hasil seperti Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian untuk Mesin Slitting

Distribution	Anderson - Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	1,537	0,974
Lognormal	1,633	0,961
Exponensial	1,685	*
Loglogistic	1,68	0,957
3-Parameter Weibull	1,534	0,978
3-Parameter Lognormal	1,551	0,969
2-Parameter Exponential	1,501	*
3-Parameter Loglogistic	1,589	0,962
Smallest Extreme Value	2,313	0,893
Normal	1,645	0,950
Logistic	1,639	0,946

Berdasarkan nilai koefisien korelasi yang ditampilkan dari pengujian tersebut, maka didapatkan bahwa data TBF mesin slitting mengikuti distribusi weibull dan histogram data kerusakan mesin slitting seperti pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Histogram untuk Data Kerusakan Mesin Slitting

Rekap distribusi standar yang bersesuaian dengan semua mesin produksi pipa PT Kunango Jantan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Bentuk Distribusi Standar yang Bersesuaian dengan Mesin Produksi Pipa PT Kunango Jantan

No	Submesin	Distribusi Terpilih
1	Mesin Slitting	Distribusi Weibull 3 parameter
2	Mesin Accumulator	-
3	Mesin Uncoiler	Distribusi Weibull
4	Mesin Forming	-
5	Mesin Welding	Distribusi Weibull 3 parameter
6	Mesin Sizing	-
7	Mesin Cutting	Distribusi Weibull 3 parameter

Distribusi kerusakan terpilih memiliki nilai koefisien korelasi dan terbesar pada pengujian data TBF mesin produksi.

Tabel 6. ML Estimates of Distribution Parameters

Distribution	Location	Shape	Scale	Threshold
Normal*	239,6591		182,00518	
Box-Cox Transformation	14,21527		6,42990	
Lognormal*	5,04387		1,21645	
3-Parameter Lognormal	5,61446		0,58640	-82,59154
Exponensial			239,65907	
2-Parameter Exponential			255,19009	-15,53243
Weibull		1,24942	255,73691	
3-Parameter Weibull		1,22795	253,31930	1,18789
Smallest Extreme Value	329,01653		165,18973	
Largest Extreme Value	157,16791		137,42113	
Gamma		1,28971	185,82406	
3-Parameter Gamma		26,20939	33,43394	-643,3292
Logistic	226,29426		106,95859	
Loglogistic	5,18518		0,60829	
3-Parameter Loglogistic	4,42260		0,43506	-38,99879
Johnson Trasnpormation	-0,00508		0,73716	

* Scale: Adjusted ML estimate

Tabel 7. Rekapitulasi Parameter Distribusi Kerusakan Mesin Produksi Pipa PT Kunango Jantan

No	Submesin	Nilai Parameter		
		β	H	Γ
1	Mesin Slitting	1,158	325,346	-38,316
2	Mesin Accumulator			
3	Mesin Uncoiler	1,427	347,435	-
4	Mesin Forming			
5	Mesin Welding	3,594	1372,157	-292,739
6	Mesin Sizing			
7	Mesin Cutting	1,228	253,319	1,188

3.4.3. Penentuan Parameter Distribusi Kerusakan

Penentuan parameter distribusi dilakukan untuk setiap sub sistem yang ada. Dimana contoh perhitungan penentuan parameter dilakukan terhadap mesin slitting dan mesin cutting. Berikut adalah perhitungan penentuan parameter distribusi kerusakan.

Mesin Slitting

Berdasarkan *output* dari minitab 16 didapatkan nilai estimasi dari parameter distribusi untuk mesin slitting adalah seperti pada Tabel 6. Serta rekapitulasi nilai parameter untuk setiap distribusi kerusakan mesin produksi pipa PT Kunango Jantan dapat dilihat pada Tabel 7.

3.4.4. Uji Kecocokan Distribusi Kerusakan

Berikut akan dijabarkan contoh perhitungan uji kecocokan distribusi dengan menggunakan uji kolmogorov-smirnov untuk mesin slitting

1. Hipotesis awal untuk pengujian kecocokan distribusi adalah :

H_0 : Data TBF Mesin Slitting mengikuti distribusi weibull 3 parameter

H_1 : Data TBF Mesin Slitting tidak mengikuti distribusi weibull 3 parameter

2. Uji statistik : $D_n = \text{Max} \{D_1, D_2\}$

Perhitungan :

$$\beta = 1,158$$

$$\eta = 325,346$$

$$\gamma = -38,316$$

$$x_1 = \ln(t_1) = \ln(8,000) = 2,079$$

Cumulative probability

$$(i = 1) = 1 - e^{\left[-\left(\frac{8,000 - (-38,316)}{325,346}\right)^{(1,158)}\right]} = 0,099$$

$$D_{1(i=1)} = \phi\left(\frac{t_1 - \bar{t}}{s}\right) - \frac{i-1}{n} = 0,099$$

$$D_{2(i=1)} = \frac{i}{n} - \phi\left(\frac{x_i - \bar{x}}{s}\right) = 0,012$$

$$D_{1(i)} = \max\{D_{1(1)}, D_{1(2)}, \dots, D_{1(9)}\} \\ = \max\{0,099, 0,025, \dots, 0,052\} \\ = 0,144$$

$$D_{2(i)} = \max\{D_{2(1)}, D_{2(2)}, \dots, D_{2(9)}\} = \max\{0,012, 0,086, \dots, 0,059\} \\ = 0,197$$

$$D_n = \text{Max} \{D_1, D_2\} = \max(0,145, 0,197)$$

$$D_n = 0,197$$

$$D_{\text{tabel}} = D_{(0,05, 9)} = 0,432 \text{ \{lihat tabel kritis uji kolmogorov-smirnov\}}$$

Maka , didapatkan :

$$D_{\text{hitung}} < D_{\text{tabel}} = 0,197 < 0,432$$

3. Keputusan : Terima H_0

4. Kesimpulan : Data TBF mesin Slitting mengikuti distribusi weibull 3 parameter

Pengujian kecocokan distribusi dilakukan untuk setiap distribusi kerusakan mesin dan rekapitulasi pengujian kecocokan distribusi dengan menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov adalah seperti pada Tabel berikut.

Tabel 8. Perhitungan Uji K-S untuk Mesin Slitting

i	ti	xi = ln(ti)	(i -1)/n	i/n	Cumulative Probability	D1(i)	D2(i)
1	8,000	2,079	0,000	0,111	0,099	0,099	0,012
2	23,500	3,157	0,111	0,222	0,136	0,025	0,086
3	23,500	3,157	0,222	0,333	0,136	-0,086	0,197
4	124,000	4,820	0,333	0,444	0,360	0,027	0,084
5	148,000	4,997	0,444	0,556	0,408	-0,036	0,147
6	344,000	5,841	0,556	0,667	0,700	0,145	-0,034
7	428,000	6,059	0,667	0,778	0,781	0,114	-0,003
8	575,500	6,355	0,778	0,889	0,876	0,098	0,013
9	759,250	6,632	0,889	1,000	0,941	0,052	0,059

Tabel 9. Rekapitulasi Hasil Pengujian K-S Mesin Produksi Tiang Pipa PT Kunango Jantan

No	Submesin	Distribusi Terpilih	Dn	Dtabel	Hasil Uji K-S
1	Mesin Slitting	Distribusi Weibull 3 parameter	0,197	0,432	Terima H_0
2	Mesin Accumulator	-	-	-	-
3	Mesin Uncoiler	Distribusi Weibull	0,212	0,457	Terima H_0
4	Mesin Forming	-	-	-	-
5	Mesin Welding	Distribusi Weibull 3 parameter	0,354	0,708	Terima H_0
6	Mesin Sizing	-	-	-	-
7	Mesin Cutting	Distribusi Weibull 3 parameter	0,165	0,391	Terima H_0

3.5. Penentuan Fungsi PDF dan CDF

Setelah didapatkan distribusi kerusakan mesin dan parameter distribusi maka dapat ditentukan fungsi kepadatan peluang (pdf) dan fungsi distribusi kumulatif (cdf) dari mesin produksi pipa. Rekapitulasi fungsi kepadatan peluang (pdf) dan fungsi distribusi kumulatif (cdf) keseluruhan mesin produksi pipa PT Kunango Jantan dapat dilihat pada Tabel 10.

3.6. Perhitungan Mean Time Between Failure (MTBF)

Perhitungan *mean time between failure* (MTBF) dilakukan untuk mesin Slitting, Uncoiler, Forming, Welding, dan Cutting. Nilai MTBF untuk mesin Accumulator dan Sizing tidak dapat ditentukan karena data kerusakan mesin yang tidak mencukupi. Rekapitulasi nilai MTBF untuk setiap sub sistem pabrik pipa PT Kunango Jantan dapat dilihat pada Tabel 11.

3.7. Perhitungan Nilai Keandalan

Perhitungan nilai keandalan mesin dilakukan berdasarkan pada distribusi kerusakan mesin yang terpilih. Fungsi dan nilai

reliability (R) subsistem pabrik pipa PT Kunango Jantan adapat dilihat pada Tabel 12.

Contoh perhitungan R(t) :

- a. Mesin Slitting (distribusi weibull 3 parameter)

$$t = 8 \text{ jam}$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t+38,316}{325,346}\right)^{1,158}}$$

$$R(t) = 2,718^{-\left(\frac{8+38,316}{325,346}\right)^{1,158}}$$

$$R(t) = 0,901$$

- b. Mesin Uncoiler (distribusi weibull)

$$t = 8 \text{ jam}$$

$$R(t) = e^{-\left[\frac{t}{347,435}\right]^{(1,427)}}$$

$$R(t) = e^{-\left[\frac{8}{347,435}\right]^{(1,427)}}$$

$$R(t) = 0,995$$

Tabel 10. Rekapitulasi Fungsi PDF dan CDF

No	Submesin	Probability Density Function (PDF)	Cumulative Distribution Function (CDF)
1	Mesin Slitting	$f(t) = 3,56 \times 10^{-3} \left(\frac{t+38,316}{325,346}\right)^{0,158} e^{-\left(\frac{t+38,316}{325,346}\right)^{1,158}}$	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t+38,316}{325,346}\right)^{1,158}}$
2	Mesin Accumulator	Tidak Terdefinisi	Tidak Terdefinisi
3	Mesin Uncoiler	$f(t) = 3,37 \times 10^{-4} t^{(0,086)} e^{-\left[\frac{t}{347,435}\right]^{(1,427)}}$	$F(t) = 1 - e^{-\left[\frac{t}{347,435}\right]^{(1,427)}}$
4	Mesin Forming	Tidak Terdefinisi	Tidak Terdefinisi
5	Mesin Welding	$f(t) = 2,62 \times 10^{-3} \left(\frac{t+292,739}{1372,157}\right)^{2,594} e^{-\left(\frac{t+292,739}{1372,157}\right)^{3,594}}$	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t+292,739}{1372,157}\right)^{3,594}}$
6	Mesin Sizing	Tidak Terdefinisi	Tidak Terdefinisi
7	Mesin Cutting	$f(t) = 4,85 \times 10^{-3} \left(\frac{t-1,188}{253,319}\right)^{0,228} e^{-\left(\frac{t-1,188}{253,319}\right)^{1,228}}$	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-1,188}{253,319}\right)^{1,228}}$

Tabel 11. Rekapitulasi Nilai MTBF Subsistem Pabrik Pipa PT Kunango Jantan

No	Submesin	Distribusi Terpilih	Nilai MTBF (jam)
1	Mesin Slitting	Distribusi Weibull 3 parameter	270,726
2	Mesin Accumulator	-	-
3	Mesin Uncoiler	Distribusi Weibull	315,734
4	Mesin Forming	-	-
5	Mesin Welding	Distribusi Weibull 3 parameter	943,624
6	Mesin Sizing	-	-
7	Mesin Cutting	Distribusi Weibull 3 parameter	238,115

Tabel 12. Rekapitulasi Fungsi *Reliability* (R) dan Nilai R(t) Tiap Mesin Produksi Pipa PT Kunango Jantan

No	Submesin	Fungsi Keandalan (R(t))	Nilai R(t)
1	Mesin Slitting	$R(t) = e^{-\left(\frac{t+38,316}{325,346}\right)^{1,158}}$	0,901
2	Mesin Accumulator	Tidak Terdefinisi	1,000
3	Mesin Uncoiler	$R(t) = e^{-\left[\left(\frac{t}{347,435}\right)^{(1,427)}\right]}$	0,995
4	Mesin Forming	Tidak Terdefinisi	1,000
5	Mesin Welding	$R(t) = e^{-\left(\frac{t+292,739}{1372,157}\right)^{3,594}}$	0,996
6	Mesin Sizing	Tidak Terdefinisi	1,000
7	Mesin Cutting	$R(t) = e^{-\left(\frac{t-1,188}{253,319}\right)^{1,228}}$	0,988

3.8. Perhitungan Nilai Keandalan

Perhitungan nilai keandalan mesin dilakukan berdasarkan pada distribusi kerusakan mesin yang terpilih. Fungsi dan nilai *reliability* (R) subsistem pabrik pipa PT Kunango Jantan adapat dilihat pada Tabel 12.

Berdasarkan pada Tabel 12. maka dapat ditentukan nilai *reliability* sistem produksi tiang pipa PT Kunango Jantan. Nilai *reliability* sistem dijabarkan sebagai berikut :

$$R_s = R_{M2} \times R_{M3} \times R_{M4} \times R_{M5} \times R_{M6} \times R_{M7}$$

$$R_s = 1,000 \times 0,995 \times 1,000 \times 0,996 \times 1,000 \times 0,988 = 0,980$$

maka,

$$R_{\text{sistem}} = 1 - (1 - R_{M1})(1 - R_s)$$

$$R_{\text{sistem}} = 1 - (1 - 0,901)(1 - 0,980)$$

$$R_{\text{sistem}} = 1 - 0,002$$

$$R_{\text{sistem}} = 0,998$$

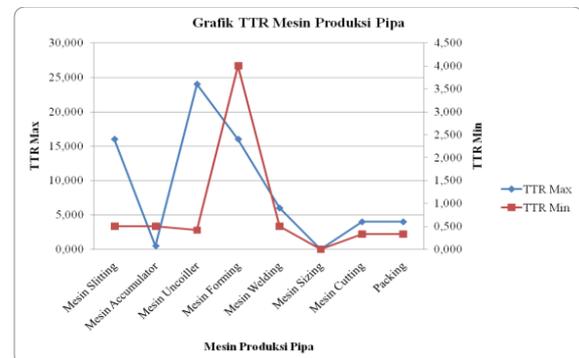
4. ANALISIS

Analisis ini terdiri atas analisis mengenai waktu antar kerusakan mesin, distribusi kerusakan mesin dan parameternya, keandalan sistem dan usulan yang dapat diberikan untuk meningkatkan keandalan.

4.1. Analisis waktu antar kerusakan

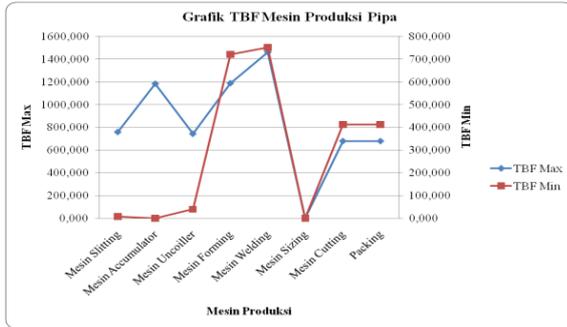
Perhitungan waktu antar kerusakan mesin menggunakan data waktu kerusakan dan data perbaikan selama Januari 2015 hingga Maret

2016. Semakin besar waktu antar kerusakan mesin maka diartikan tingkat kerusakan semakin jarang terjadi. Tetapi semakin kecil tingkat kerusakan mesin maka nilai waktu antar kerusakan akan semakin kecil. Berikut dapat dilihat perbandingan nilai TTR dan TBF per mesin.



Gambar 6. Grafik Nilai TTR Mesin Produksi Pipa PT Kunango Jantan

Gambar 6 memperlihatkan mesin yang memiliki nilai TTR tertinggi terdapat pada mesin Uncoiler yaitu sebesar 24 jam atau setara dengan 3 hari kerja. Hal ini diakibatkan suku cadang yang digunakan untuk mengganti komponen yang rusak harus melalui proses bubut terlebih dahulu sebelum dapat digunakan pada mesin uncoiler. Sedangkan nilai TTR terendah terdapat pada mesin accumulator yaitu 0,5 jam. Waktu perbaikan yang kecil ini menandakan kerusakan pada mesin accumulator tidak terlalu serius dan dapat diperbaiki dalam waktu yang relatif singkat.



Gambar 7. Nilai TBF Mesin Produksi Pipa PT Kunungo Jantan

Gambar 7 menunjukkan nilai TBF mesin produksi pipa yang cukup bervariasi. Dimana tiga mesin yang memiliki nilai TBF tertinggi terdapat pada mesin welding (1461,00 jam), mesin forming (1188,00 jam) dan mesin accumulator (1175,50 jam). Nilai TBF mesin welding sebesar 1461,00 jam menunjukkan mesin pernah beroperasi selama 1461,00 jam atau setara dengan 183 hari kerja sebelum mengalami kerusakan.

4.2. Analisis distribusi dan parameter distribusi kerusakan

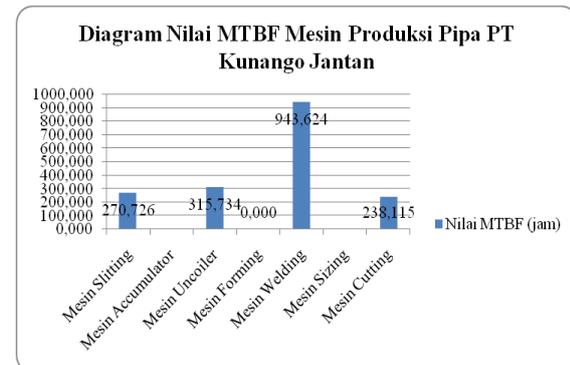
Penentuan distribusi kerusakan untuk setiap mesin produksi dilakukan dengan melihat kecenderungan bentuk histogram data kerusakan. Berdasarkan bentuk histogram yang didapatkan dengan menggunakan *software* minitab 16 didapatkan distribusi kerusakan mesin produksi pipa yang mendekati distribusi yang diujikan. Berdasarkan nilai dari koefisien korelasi, mesin slitting, welding dan cutting mengikuti distribusi weibull 3 parameter sedangkan mesin uncoiler mengikuti distribusi weibull. Mesin lainnya tidak dapat ditentukan dikarenakan data kerusakan mesin yang tidak mencukupi. Selain itu kurangnya data juga menyebabkan pola kecenderungan distribusi kerusakan data dari mesin produksi pipa tidak begitu jelas terlihat.

Perhitungan mengenai parameter dilakukan setelah penentuan distribusi kerusakan mesin. Berdasarkan pada distribusi yang terpilih terdapat dua distribusi standar yang mewakili setiap data kerusakan mesin produksi pipa. Parameter yang didapat dari distribusi weibull 3 parameter berupa parameter η , β dan γ . Nilai η disebut sebagai parameter skala, nilai β menggambarkan kemiringan dari kurva weibull 3 parameter yang terbentuk sedangkan nilai γ merupakan parameter lokasi. Nilai β pada mesin slitting, uncoiler, dan cutting berada pada rentang $1 < \beta < 2$, dimana hal ini diartikan tingkat kerusakan pada mesin tersebut

cenderung meningkat dengan bentuk kurva kerusakan mesin menyerupai konkaf (cekung). Nilai β pada mesin welding sebesar 3,594 menunjukkan bahwa laju kerusakan mesin cenderung meningkat dengan bentuk kurva simetris mendekati distribusi normal.

4.3. Analisis Mean Time Between Failure (MTBF)

Mean Time Between Failure (MTBF) menunjukkan waktu rata-rata antar kerusakan pada mesin produksi. Nilai MTBF dipengaruhi oleh parameter dan jenis distribusi kerusakan masing-masing mesin produksi. Perubahan parameter η , β dan γ pada distribusi weibull 3 parameter pada mesin slitting, welding dan cutting, dan parameter η dan β pada mesin uncoiler, akan mempengaruhi nilai MTBF dari mesin. Nilai MTBF berbanding lurus dengan perubahan parameter η . Sedangkan nilai MTBF berbanding terbalik dengan nilai parameter β .



Gambar 8. Diagram Nilai MTBF Mesin Produksi Pipa PT Kunungo Jantan

Gambar 8 memperlihatkan bahwa nilai MTBF terendah terdapat pada mesin cutting sebesar 238,115 jam. Nilai MTBF tersebut menunjukkan bahwa rata-rata mesin cutting akan mengalami kerusakan setelah 238,115 jam operasi. Mesin yang memiliki nilai MTBF terbesar yaitu mesin welding sebesar 943,624 jam. Nilai MTBF mesin accumulator, forming dan sizing tidak dapat ditentukan karena data kerusakan mesin sangat kecil sehingga tidak dapat ditentukan nilai *mean time between failure* (MTBF) mesin tersebut.

4.4. Analisis Keandalan Mesin dan Sistem

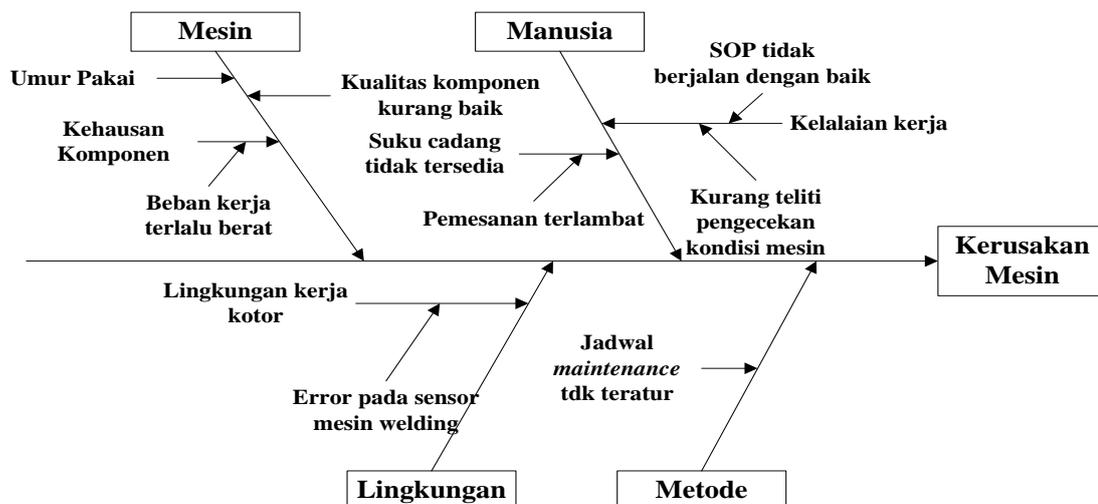
Nilai keandalan mesin menunjukkan peluang suatu mesin dapat beroperasi dalam selang waktu yang ditentukan tanpa mengalami kerusakan. Nilai keandalan yang ditampilkan pada Tabel 10 sebelumnya menunjukkan bahwa secara umum mesin

produksi pipa PT Kunango Jantan dikatakan baik pada waktu operasi (t) selama 8 jam. Hal ini terlihat dari nilai sebagian besar mesin memiliki nilai keandalan diatas 0,901. Nilai tersebut berarti peluang mesin mampu menjalankan fungsinya sebesar 90,1%.

Mesin produksi pipa PT Kunango Jantan terangkai seri pada mesin accumulator, uncoiler, forming, welding, sizing dan mesin cutting. Sedangkan mesin slitting terangkai paralel dan bersifat redundancy aktif. Dikatakan paralel dan redundancy aktif karena jika mesin mengalami kerusakan hal tersebut tidak mempengaruhi sistem selama mesin tidak diperlukan didalam sistem. Keandalan sistem produksi pipa PT Kunango Jantan dikatakan baik dengan nilai keandalan sistem sebesar 0,998. Hal ini berarti mesin memiliki performa yang baik dalam pengoperasiannya dengan kemungkinan sistem mengalami kegagalan selama proses operasi kurang dari 0,002 (0,2 %).

4.5. Usulan Peningkatan Keandalan Mesin dan Sistem

Peningkatan keandalan mesin dapat dilihat dari penurunan frekuensi kerusakan mesin produksi. Semakin kecil frekuensi kerusakan mesin maka keandalan mesin tersebut semakin baik. Diagram sebab-akibat atau *fishbonediagram* merupakan salah satu metode dalam menentukan penyebab permasalahan sehingga tindakan penanganannya yang ditetapkan akan lebih tepat. Diagram sebab-akibat didapatkan berdasarkan hasil kajian serta wawancara yang dilakukan terhadap kerusakan mesin yang terjadi pada pabrik pipa PT Kunango Jantan. Adapun diagram sebab-akibat dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram Sebab-Akibat Kerusakan Mesin Produksi Pipa PT Kunango Jantan

Berdasarkan diagram sebab-akibat tersebut maka ada beberapa usulan yang dapat diberikan untuk mengurangi kerusakan mesin yang terjadi guna meningkatkan keandalan mesin produksi. Adapun usulan-usulan yang dapat diberikan adalah sebagai berikut :

1. Memperbaiki standar kualitas komponen yang digunakan pada mesin produksi.
2. Menyediakan suku cadang untuk mesin dengan tingkat kerusakan tinggi.
3. Mensosialisasikan *Standard Operational Procedure* (SOP) penggunaan mesin produksi.
4. Menjaga kebersihan dan kerapian area kerja.
5. Melakukan penjadwalan *maintenance* yang lebih teratur.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian mengenai analisis keandalan sistem ini adalah sebagai berikut :

1. Keandalan subsistem secara umum berkisar antara 0,901 hingga 1,000. Hal ini berarti mesin memiliki keandalan yang baik. Nilai keandalan 0,901 diartikan peluang mesin mengalami kerusakan selama proses produksi berlangsung sebesar 9,9 %.
2. Semakin banyak subsistem yang terpasang secara seri akan menyebabkan penurunan keandalan sistem. Hal tersebut dapat dilihat pada nilai *Rs* sebesar 0,980 lebih kecil dibandingkan nilai *reliability* masing-masing mesin yang ada.

3. Rangkaian paralel pada subsistem akan meningkatkan keandalan sistem. Hal ini terlihat pada nilai R_{sistem} sebesar 0,998 yang lebih besar dari nilai keandalan mesin secara individu.
4. *Reliability* sistem pabrik pipa PT Kunango Jantan dikatakan baik pada waktu operasi (t) = 8 jam dengan nilai *reliability* sistem sebesar 0,998. Hal ini berarti mesin memiliki performa yang baik dalam pengoperasiannya dengan kemungkinan sistem mengalami kegagalan selama proses operasi kurang dari 0,002 (0,2 %).
5. Usulan peningkatan keandalan yang dapat diberikan terhadap sistem produksi pipa PT Kunango Jantan adalah dengan memperbaiki kualitas komponen yang digunakan pada mesin produksi, menyediakan suku cadang untuk mesin yang memiliki tingkat kerusakan tertinggi, mensosialisasikan SOP penggunaan mesin produksi, menjaga kebersihan area kerja serta melakukan penjadwalan *maintenance* yang lebih teratur.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil yang didapatkan adalah sebagai berikut :

1. Kajian mengenai ketersediaan suku cadang untuk komponen mesin dengan tingkat kerusakan tinggi perlu dilakukan untuk mengurangi waktu produksi yang terbuang akibat perbaikan mesin.
2. Kajian mengenai biaya perawatan mesin juga perlu dilakukan guna mengoptimalkan keuntungan perusahaan.
3. Penentuan *reliability* sistem juga perlu dilakukan pada pabrik elbow PT Kunango Jantan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sayuti, M., Muhammad, S.R.I. (2013). Evaluasi Manajemen Perawatan Mesin Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance Pada PT. Z. *Malikussaleh Industrial Engineering Journal*, 2(1), pp. 9-13.
- [2] Wahyudi, D. dan Amelia (2004). Analisa Penjadwalan dan Biaya Perawatan Mesin Press untuk Pembentukan Kampas Rem. *Jurnal Teknik Mesin*, 2(1), pp. 50-61.
- [3] Shalihati, R. (2002). *Analisis Reliability Sistem (Studi Kasus: Sistem Penambangan Batu Kapur LA-2 Departemen Tambang PT Semen Padang)*. Tugas Akhir. Universitas Andalas, Padang.
- [4] Sodikin, I. (2010). Analisis Penentuan

Waktu Perawatan Dan Jumlah Persediaan Suku Cadang Rantai Garu Yang Optimal. *Jurnal Teknologi*, 3(1), pp. 44-52.

- [5] Bahri, Hayyi Syaiful dan Bobby Oedy P.S. (2005). *Analisis Keandalan Sebagai Dasar Optimasi Interval Pemeliharaan Pada Quay Container Crane Merk Kone Crane Studi Kasus Di PT. Portek Indonesia*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [6] Yuhelson, Y., Syam, B., Sinullingga, S. dan Isranuri, I. (2010). Analisis Reliability dan Availability Mesin Pabrik Kepala Sawit PT. Perkebunan Nusantara 3. *Jurnal Dinamis*, 2(6), pp. 6-22.