

Perancangan *Preventive Maintenance* dengan Menggunakan Metode *Failure Mode Effect and Criticality Analysis (FMECA)*

Mainita Chandra Saputri, Edy Sianto*, Ig. Joko Mulyono

Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, Jalan Kalijudan 37
Surabaya

*Email : martinus.sianto@gmail.com

ABSTRAK

Perawatan adalah suatu kombinasi dari berbagai tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang atau memperbaikinya, sampai pada suatu kondisi yang bisa di terima. PT. X merupakan perusahaan pengolah minyak kelapa sawit mentah (*crude palm oil*). Permasalahan yang dihadapi oleh PT. X adalah penjadwalan perawatan yang belum terjadwal dengan baik untuk boiler (*burner dengan part induced draft fan, secondary fan, dan forced draft fan*). Identifikasi sistem dengan menggunakan metode *failure mode effect criticality and analysis (FMECA)*. Penerapan dengan FMECA digunakan untuk menentukan tingkat kegagalan. *Preventive maintenance* digunakan menjadwalkan perawatan komponen burner (*secondary fan dan forced draft fan*) sebelum terjadi kerusakan. Jadwal perawatan yang digunakan dengan weibull 3 parameter, dengan melihat waktu kerusakan. Hasil dari pengolahan dan perhitungan data didapatkan nilai *critical forced draft fan* $1,094 \times 10^{-4}$ dan *secondary fan* $5,472 \times 10^{-5}$ dengan interval waktu perawatan dan keandalan yang efektif yakni untuk komponen *secondary fan* menunjukkan waktu operasi dengan *reability* 88% atau sekitar 496 jam untuk dilakukan *trade off* dan *forced draft fan* menunjukkan waktu operasi 98% atau sekitar 201 jam untuk dilakukan *trade off*. Manfaat dari penjadwalan perawatan komponen burner (*secondary fan dan forced draft fan*) bagi perusahaan adalah dapat mengetahui kerusakan sebelum waktunya.

Kata kunci : *Failure Mode Effect Criticality and Analysis (FMECA)*, *Preventive Maintenance*

I. Pendahuluan

Perawatan adalah suatu kombinasi dari berbagai tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang atau memperbaikinya, sampai pada suatu kondisi yang bisa di terima (Supandi, 1990). PT. X merupakan salah satu perusahaan pengolahan minyak kelapa sawit mentah (CPO) *crude palm oil* di Kalimantan Selatan, berdiri tahun 2000. Penjadwalan perawatan yang ada di PT. X belum terjadwal dengan baik terutama untuk boiler (*burner dengan part-part induced draft fan, secondary fan, dan forced draft fan*), dengan penyebab kerusakan pada fan yang korosi dan perputaran fan tidak mencapai 300rpm, sehingga membuat bearing tidak *balanced* dan sehingga performansi tekanan pada fan tidak kontinu. Dalam hal ini diperlukan penjadwalan yang baik sehingga *controlling* dilakukan secara kontinu. Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Gita Eka Rahmadani (2011) tentang analisa keandalan pada dapur bakar induksi 10 ton dengan menggunakan metode *failure mode effect & criticality analysis (FMECA)* didapatkan bahwa hasil yang diperoleh untuk perawatan memiliki hasil penilaian resiko *critical* yang tinggi dengan menggunakan analisa FMECA dan nilai keandalan akan naik sehingga umur komponen semakin panjang. FMECA (*failure mode effect and acriticality analysis*) adalah metode untuk menentukan tingkat kegagalan dari masing-masing komponen dan mengidentifikasi permasalahan secara keseluruhan, pada akhirnya bisa diminimalkan atau menghilangkan faktor-faktor

yang mempengaruhi proses produksi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat *critical* pada komponen burner, mengidentifikasi terjadinya kegagalan dan untuk menyusun jadwal *preventive maintenance* komponen burner yang ada di PT. X.

II. Landasan Teori

II.1 Pengertian Pemeliharaan (*Maintenance*)

Maintenance merupakan kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan pabrik dengan mengadakan perbaikan atau penyesuaian atau penggantian yang diperlukan supaya tercipta suatu keadaan operasional produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang telah direncanakan. (Assauri, 2004). Secara umum *maintenance* dapat didefinisikan sebagai rangkaian aktivitas yang dilakukan dipabrik untuk memelihara, memperbaiki dan menjaga fasilitas suatu produk atau sistem dalam keadaan yang aman sebelum terjadi kerusakan dengan perencanaan yang seoptimal mungkin.

II.2 Tipe Pemeliharaan

a. Metode *Corrective Maintenance*

Corrective maintenance adalah perawatan yang dilakukan untuk mengembalikan kondisi mesin ke kondisi standard melalui pekerjaan repair (perbaikan) atau adjutment (penyetelan).

- b. Metode *Preventive Maintenance*
- c. *Preventive maintenance* (pemeliharaan pencegahan) pertama kali diterapkan di Jepang pada tahun 1971. Konsep ini mencakup semua hal yang berhubungan dengan maintenance dengan segala implementasinya dilapangan. Konsep ini mengikutsertakan pekerja dari bagian produksi untuk ambil bagian dalam kegiatan maintenance tersebut.

II.3 Perawatan dan Interval Waktu Perawatan Pencegahan

Perawatan pencegahan dapat dilakukan jika laju kegagalan semakin tinggi, dimana pada kurva *bathtub* ditunjukkan dengan distribusi *Weibull* yang mempunyai nilai $\beta > 1$. Daerah ini juga disebut dengan nama *wear out area* (daerah keusangan). Kegagalan peralatan atau sistem yang terjadi didaerah ini dapat dicegah dengan perawatan pencegahan (Jardin, 1970). Rumus untuk total biaya per unit waktu tersebut adalah:

$$C(Tp) = \frac{[C_f x (1-R(Tp)) + C_p x R(Tp)]}{Tp x R(Tp) + M(Tp) x (1-R(Tp))}$$

$$M(Tp) = \int_0^{Tp} \frac{t f(t) dt}{(1-R(Tp))}$$

II.4 Konsep *Preventive Maintenance*

Konsep preventive maintenance pertama kali diterapkan di Jepang pada tahun 1971. Konsep ini mencakup semua hal yang berhubungan dengan maintenance dengan segala implementasinya dilapangan.

Secara matematis dapat ditentukan dengan persamaan:

$$nT < t < (n+1)T; n = 0,1,2,$$

II.5 Konsep Keandalan

Keandalan merupakan salah satu karakteristik dari peralatan, sistem, maupun komponen. MIL-STD-721C mendefinisikan keandalan sebagai peluang sebuah perangkat untuk mampu melakukan fungsi yang ditujukan dalam suatu interval waktu dan kondisi tertentu. Perangkat yang dimaksud dalam definisi tersebut dapat berupa sebuah komponen atau kumpulan dari banyak komponen.

II.6 Fungsi Keandalan

Keandalan dari suatu komponen atau perangkat adalah peluang suatu komponen atau perangkat untuk tidak mengalami kerusakan yang dapat menyebabkan suatu komponen atau perangkat berhenti melakukan fungsinya selama

periode waktu (t) atau lebih. Fungsi keandalan terhadap waktu dapat diformulasikan sebagai berikut (Ebeling, 1997):

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt$$

II.7 Laju Kegagalan

Laju kegagalan (λ) adalah jumlah kegagalan suatu komponen atau perangkat per unit waktu. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi komponen atau sistem. Laju kegagalan dinyatakan sebagai berikut (Ebeling, 1997):

$$\lambda = \frac{f}{T}$$

II.8 Ketersediaan (*Availability*)

Availability didefinisikan sebagai kemungkinan bahwa suatu komponen atau perangkat dapat melakukan fungsinya sesuai yang diperlukan pada saat tertentu atau dalam periode tertentu ketika dioperasikan dan dipelihara dengan cara yang sudah ditentukan (Ebeling, 1997). Berikut adalah persamaan *availability* untuk sistem seri dan paralel:

- a. *Availability* untuk sistem seri:

$$A_s(t) = \prod_{i=1}^n A_i(t)$$

- b. *Availability* untuk sistem paralel:

$$A_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - A_i(t))$$

II.9 *Maintainability*

Maintainability adalah peluang dari suatu komponen atau perangkat yang mengalami kerusakan untuk diperbaiki dan kembali berfungsi secara efektif dalam rentang waktu yang disediakan, dimana perbaikan tersebut harus dilakukan sesuai dengan prosedur yang ditetapkan (Ebeling, 1997).

- a. *Mean Time To Repair* (MTTR)

MTTR adalah waktu rata-rata yang diperlukan untuk melakukan suatu perbaikan atau perawatan yang dibutuhkan untuk mengembalikan suatu komponen atau perangkat ke kondisi dapat beroperasi kembali. MTTR ini dapat diperoleh dengan menghitung total waktu pada setiap kali dilakukan sebuah perbaikan dibagi dengan jumlah perbaikan yang dilakukan (Ebeling, 1997).

$$MTBF(\theta) = \frac{\text{Waktu Perbaikan}}{\text{Jumlah Perbaikan}}$$

b. *Inherent Availability*

Inherent availability dari sebuah perangkat pada kondisi *steady state* dapat dimodelkan dengan sebuah persamaan matematis yang menyatakan rasio antara periode dimana sistem dapat beroperasi (T_{op}) dengan total waktu operasi ($T_{op} + T_{down}$) (Ebeling, 1997).

$$Availability = \frac{T_{op}}{T_{op} + T_{down}} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{\mu}{\mu + \lambda}$$

II.10 Pengujian Distribusi

Dengan bantuan perangkat lunak *Weibull ++6* dilakukan penentuan distribusi waktu antar kegagalan dan lama waktu perbaikan yang paling sesuai dengan menggunakan tiga macam pengujian distribusi, yaitu:

1. *Average Goodness of Fit (AvGOF)*

Untuk menganalisis kesesuaian data dapat dimanfaatkan uji *goodness of fit* (kesesuaian) antara distribusi frekuensi hasil pengamatan dengan distribusi frekuensi yang diharapkan. Uji *goodness of fit* berdasarkan pada uji *Kolmogorov-Smirnov*, yang beranggapan bahwa distribusi variabel yang sedang diuji bersifat kontinu dan sampel diambil dari populasi sederhana.

Nilai *AvGOF* didapatkan dari uji *Kolmogorov-Smirnov (KS)* dengan membandingkan distribusi empiris data dengan distribusi teoritis tertentu yang dihipotesiskan. Pada prinsipnya jika nilai *KS* lebih kecil maka akan lebih baik.

Persamaan untuk menghitung parameter *KS* adalah:

$$D_n = \max |S_n(t) - Q(t)|$$

dengan:

$S_n(t)$ = fraksi kumulatif jumlah data kegagalan hasil observasi pada (t) terhadap total (t) pengamatan.

$Q(t)$ = fraksi kumulatif jumlah kegagalan hasil dari perhitungan jenis distribusi yang diharapkan pada (t) terhadap total (t) perhitungan.

Hipotesa yang digunakan adalah:

H_0 = data mengikuti suatu distribusi kontinyu tertentu

H_1 = data mengikuti suatu distribusi kontinyu yang lain

Jika $D_n < D_{kritis}$, maka H_0 gagal ditolak, dengan D_{kritis} bisa didapatkan dari tabel uji *KS* yang tersedia di buku statistik. Pada

perangkat lunak *Weibull++6*, nilai *AvGOF* adalah selisih dari nilai data aktual dan data yang dihasilkan dari referensi distribusi yang dimiliki perangkat lunak *Weibull++6* (Reliasoft, 2005). sehingga semakin kecil *AvGOF* maka semakin baik distribusi yang diuji dibandingkan dengan yang lain.

2. *Average of Plot (AvPlot)*

AvPlot didasarkan pada *normalized index* dari uji *plot fit*. Hasil uji ditunjukkan dalam *AvPlot index* yang merupakan normalisasi dari koefisien korelasi (ρ'). Nilai koefisien korelasi adalah $-1 \leq \rho' \leq 1$. Jika nilai mutlaknya mendekati 1, maka akan semakin baik. Pada perangkat lunak *Weibull ++6*, nilai *AvPlot index* didapatkan dengan melakukan normalisasi dari koefisien korelasi diatas. Ketentuan yang dipakai adalah jika semakin kecil nilai *AvPlot*, maka distribusi yang diuji akan lebih baik dari pada yang lain.

3. Nilai dari *Likelihood Function Ratio (LKV)*

LKV adalah suatu metode untuk menentukan jenis distribusi dari suatu data dengan cara membandingkan kemiripan dari dua model. Uji ini berdasarkan pada *likelihood ratio*, yang menggambarkan berapa kali terdapat kecocokan suatu kelompok data terhadap karakteristik suatu model. *Likelihood ratio* diukur berdasarkan nilai logaritmanya sehingga sering disebut *log-likelihood ratio*. Persamaan *log-likelihood* adalah:

$$\Lambda = \ln(L) = \prod_{i=1}^n \ln f(x_i; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$$

Nilai maksimum dari persamaan 2.24 didapatkan dengan menurunkan persamaan tersebut secara parsial dan kemudian disamakan dengan nol.

$$\frac{\partial \Lambda}{\partial j} = 0, j = 1, 2, 3, \dots, k$$

II.11 Failure Mode Effect & Criticality Analysis

Failure Mode Effect & Criticality Analysis adalah metode yang digunakan untuk menentukan tingkat kegagalan dari masing-masing komponen dan untuk mengidentifikasi permasalahan secara keseluruhan yang pada akhirnya bisa diminimalkan atau menghilangkan faktor-faktor yang mempengaruhi proses produksi.

a. *Peringkat Kekritisian*

Dapat dilakukan dengan menggunakan penilaian kekritisian mode kegagalan berdasarkan nilai kuantitatif dan kualitatif. Angka-angka kritis dihitung dengan menggunakan nilai berikut:

$$C_m = \lambda_p \alpha \beta t$$

- b. *Tingkat Kegagalan FMECA*
Tingkat Kegagalan FMECA diperoleh formula sebagai berikut:

$$\lambda_m = \alpha \lambda_p$$

III. Metode Penelitian

Penelitian membutuhkan sebuah metode yang sesuai dengan gagasan dan tujuan yang diinginkan. Adapun metodologi penelitian yang dilakukan sebagai berikut yaitu studi literatur untuk mengetahui cara atau metode yang akan digunakan untuk menyelesaikan suatu masalah yang bertujuan untuk mendapatkan teori – teori yang berhubungan dengan penyelesaian masalah yaitu perawatan mesin. Selanjutnya dilakukan studi lapangan yang bertujuan untuk mengumpulkan data – data dan informasi langsung dengan mengamati mesin – mesin yang akan dijadikan objek penelitian. Kemudian dilakukan pengumpulan data sebagai proses awal dalam melakukan penelitian, data – data yang dikumpulkan berupa : data komponen mesin, data kerusakan mesin *burner (IDFan, FDFan, dan Secondary Fan)*, data perbaikan komponen *buner (IDFan, FDFan, dan Secondary Fan)*, dan data komponen kritis. Setelah dilakukan pengumpulan data selanjutnya menentukan identifikasi *failure effect* yang bertujuan untuk menentukan kompoonen – komponen kritis dengan mencari penyebab, dampak, bentuk kegagalan yang terjadi pada komponen yang akan dijadikan objek penelitian. Pengolahan data bertujuan untuk membuat suatu penjadwalan perawatan mesin yang efektif, adapun langkah pengolahan data sebagai

berikuut : menentukan dan mengolah komponen *burner*, pengujian distribusi dengan *weibull++6*, menentukan fungsi keandalan dan waktu antar perbaikan dengan menganalisa identifikasi *failure effect* agar dilakukan perangkingan menggunakan FMEA dengan mengalikan *severity, detection, dan occurance* agar diperoleh nilai RPN tertinggi, selanjutnya dianalisa dengan metode FMECA agar diperoleh nilai kritis tertinggi dengan cara mengalikan semua elemen yang ada di FMECA. Dengan diperolehnya nilai kritis selanjutnya akan dibuat penjadwalan *preventive maintenance* komponen *burner (IDFan dan Secondary Fan)*

IV. Hasil Penelitian dan Pembahasan

IV.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan cara wawancara dan obesrvasi di perusahaan. Data yang dikumpulkan sebagai berikut : Data kerusakan komponen *burner (Secondary fan, forced draft fan, dan induced draft fan)*, data identifikasi *failure effect*, berikut data penilaian titik kritis.

IV.2 Pengolahan Data

- a. Pengolahan data dilakukan dengan menilai *risk priority number* dengan bantuan FMEA, kemudian dilanjutkan dengan menilai *criticality number* dengan FMECA.

Tabel 4.3 Penentuan titik kritis berdasarkan FMEA

Sub peralatan	Bentuk kegagalan	Penyebab	Dampak	S	O	D	RPN
<i>Induced Draught Fan</i>	1. <i>Bearing</i> tidak <i>balanced</i> akibat tidak ada pelumasan 2. Kerak di <i>fan</i> mengakibatkan perputaran <i>fan</i> tidak <i>kontunu</i>	1. Tidak dilakukan pembersihan di <i>fan</i> secara kontinu	Proses pembakaran tidak terjadi secara sempurna	3	4	5	60
<i>Forced Draft Fan</i>	1. <i>Bearing</i> tidak <i>balanced</i> kurangnya pelumasan 2. Kerak di <i>fan</i> dikarenakan perputaran <i>fan</i> tidak kontinu	1. Tidak dilakukan pembersihan di <i>fan</i> secara kontinu 2. Sistem udara gas buang tidak merata	Proses pembakaran tidak terjadi secara sempurna	4	4	6	96
<i>Secondary fan</i>	1. Putaran <i>secoundery</i> tidak mencapai 3000Rpm 2. Korosi	1. <i>Belt</i> slip 2. Pelumasan <i>bearing</i> tidak diperhatikan	Penyemburan BBM tidak merata	3	3	7	63

Tabel 4.5 FMECA

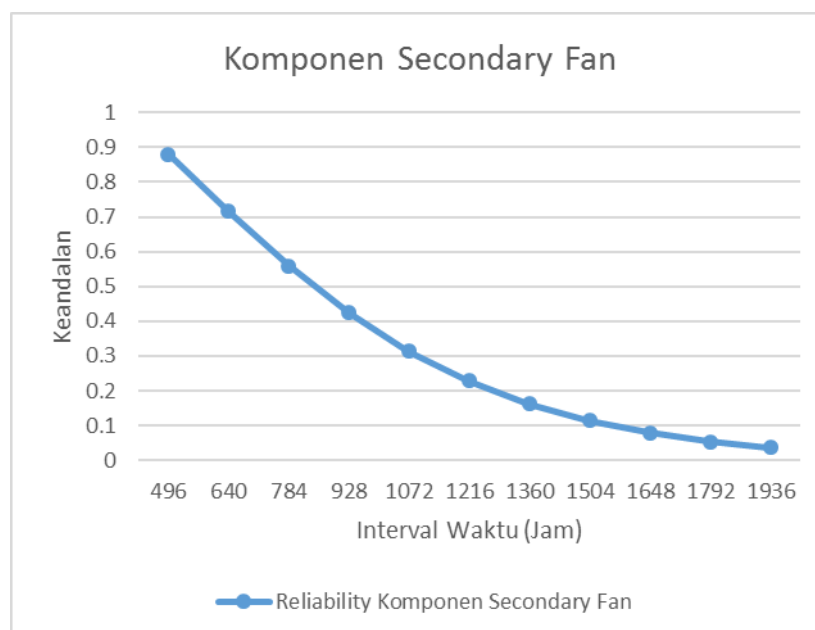
Item	Potential failure modes	Failure mechanism (cause)	Severity	Redundancy		Failure rate (λ_p)	Failure effect probability (β)	Failure mode ratio (α)	Operating time (t)	Failure mode critical number (Cm) = $\beta\alpha\lambda_p t$	Item critical number ($\sum cm$)
				Have (IN)	Need (M)						
Forced Draft Fan	Bearing tidak balanced dan kerak di fan	Bearing tidak balanced membuat performansi tekanan menurun	4	1	1	$4,56 \times 10^{-4}$	0,1	0,2	12	1.094×10^{-4}	1.094×10^{-4}
Secondary fan	Putaran <i>secondary fan</i> tidak mencapai 3000Rpm dan terjadinya korosi	Capaian suhu <i>secondary fan</i> tidak mencapai 300rpm sehingga tidak dapat membagi suhu panas ke dalam pembakaran	3	2	2	$2,28 \times 10^{-4}$	0,1	0,2	12	2.188×10^{-4}	2.188×10^{-4}

b. Pengujian distribusi

Uji distribusi menggunakan *weibull++6* dengan hasil olah data sebagai berikut : komponen *secondary fan* diperoleh rata-rata waktu kerusakan sebesar 1216 jam, waktu perbaikan sebesar 156 jam, dan waktu mulai operasi sebesar 2056 jam. Sedangkan komponen *forced draft fan* diperoleh rata-rata waktu kerusakan sebesar 1929 jam, waktu perbaikan 170 jam, dan waktu mulai operasi sebesar 1571 jam.

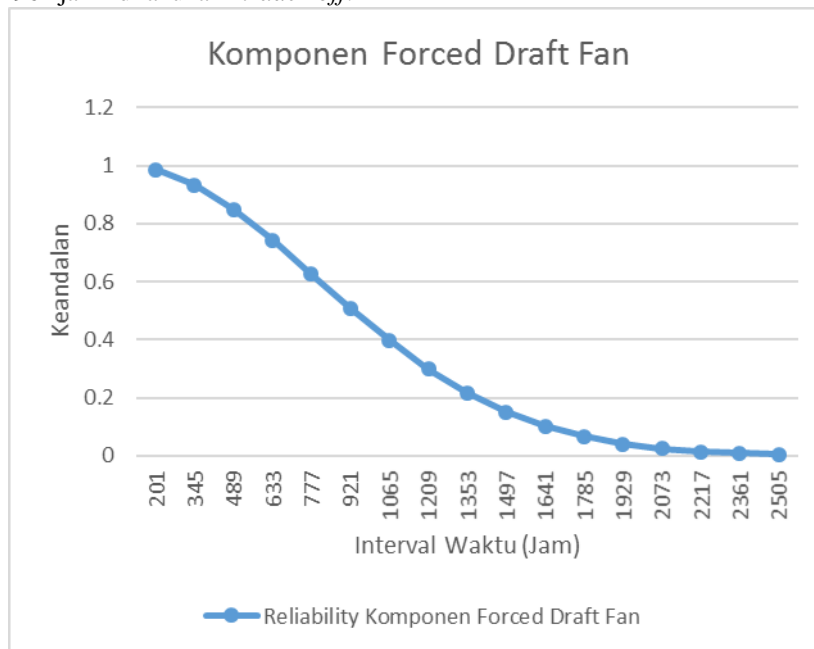
IV.3 Analisa

Analisa yang diperoleh sebagai berikut : Nilai *risk priority number* (RPN) merupakan peringkat risiko untuk setiap mode kegagalan yang didapatkan dengan mangalikan tiga elemen yaitu *severity*, *occurance*, dan *detetction* diperoleh komponen *secondary fan* memiliki RPN tertinggi dengan nilai 96 dan *forced draft fan* dengan nilai 63. Kemudian dilakukan analisa *failure mode effect criticality and analysis* diperoleh komponen *secondary fan* memiliki nilai kritis 2.188×10^{-4} dan komponen *forced draft fan* memiliki nilai 1.094×10^{-4} . Dengan diperoleh nilai *critical number* maka akan dibuat penjadwalan *preventive maintenance*.

Gambar 5.1 Pengaruh interval waktu terhadap keandalan komponen *burner* (*secondary fan*)

Berdasarkan grafik Gambar 5.1 diperoleh hasil grafik *reliability* komponen *burner (secondary fan)* terhadap waktu yang menunjukkan waktu operasi dengan *reliability* 88%. Jika dilakukan dengan keandalan 88%, maka sekitar 496 jam dilakukan *trade off*.

Sedangkan keandalan terendah dihasilkan pada interval waktu perawatan 1936 jam dengan nilai keandalan 3,6%. Dengan asumsi nilai keandalan mencapai 88%, maka komponen tersebut dilakukan perawatan secara kontinu.



Gambar 5.2 Pengaruh interval waktu terhadap keandalan komponen *burner (forced draft fan)*

Berdasarkan grafik Gambar 5.2 diperoleh hasil grafik *reliability* komponen *burner (forced draft fan)* terhadap waktu yang menunjukkan waktu operasi dengan *reliability*. Jika dilakukan keandalan 98%, maka sekitar 201 jam akan dilakukan *trade off*. Sedangkan keandalan terendah dihasilkan pada interval waktu perawatan 2505 jam dengan nilai keandalan 0,4%. Dengan asumsi nilai keandalan mencapai 98%, maka komponen tersebut dilakukan perawatan secara kontinu.

dan *forced draft fan*. Dengan asumsi kegagalan seperti *bearing* tidak *balanced* sehingga mengalami performansi menurun dan pelumasan, tekanan perputaran *fan* yang tidak mencapai 300rpm.

3. Penjadwalan perawatan komponen *burner (secondary fan)* setelah mencapai keandalan 88% maka sekitar 496 jam akan dilakukan *trade off* secara kontinu. Sedangkan pada komponen *burner (forced draft fan)* setelah mencapai keandalan 98% maka harus dilakukan *trade off* kontinu.

V. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil identifikasi *critical* dengan menggunakan *failure mode effect analysis* dengan mencari nilai RPN tertinggi untuk menentukan komponen yang memiliki resiko, kemudian dianalisa dengan metode *failure mode effect criticality and analysis* diperoleh komponen *secondary fan* sebagai komponen kritis tertinggi dan *forced draft fan*.
2. Hasil analisa dengan menggunakan metode *failure mode effect criticality analysis* diperoleh nilai kritis sebesar 96 dan 63 pada komponen *secondary fan*

Daftar Pustaka

1. ARMY, (2006). Failure Modes, Effect and Criticality Analysis (FMECA) For Command, Control, Communication, Computer, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance (C4ISR). Washington.
2. Benjamin S. Blanchard, 1995, Maintainability : A key to Effective Serviceability And Maintenance Management, A Willey – Interscience Publication New York

3. Chrysler Motors. (1986). Design Feasibility and Reliability Assurance. In FMEA. Highland Park, Mich : Chrysler Motors Engineering Office.
4. Eka, Rahmadani Gita. 2011. *Analisa Keandalan Pada Dapur Bakar Induksi 10 ton dengan Metode Failure Mode Effect & Criticality Analysis (FMECA)*. Jurusan Teknik Kesehatan & Keselamatan Kerja Fakultas Teknik Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
5. Eko. 2010. <http://elib.unikom.ac.id/gdl.php?mod=browse&op=read&&id=jbptunikompp-gdlekoprasety-27053>.
6. Ivan.2012.<https://ivanemmoy.wordpress.com/2012/07/10/penjelasan-umum-takuma-boiler/>, diakses pada tanggal 22 Oktober 2017
7. Miftah, G. 2012. *Pemilihan Prioritas Perbaikan Komponen Kritis Forming Machine pada Mesin ERW 325 dengan Metode FMECA – TOPSIS (Studi Kasus PT. KHI)*. Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon.
8. Mohr, R.R., 1994. Failure Modes and Effect Analysis 8Th Edition, Sverdrup. Ford Motor Company, 1992, Failure Mode and Effect Analysis, System - Design Process Handbook, Europe
9. Prakoso, Y. S., (2012), *Penentuan Waktu Perawatan Pencegahan pada Proses Continuous Soap Making (CSM) Pembuatan Sabun Mandi Batang dengan Menggunakan Simulasi Monte Carlo*, Tesis yang tidak dipublikasikan, Program Studi Magister Manajemen Teknologi ITS, Surabaya
10. Reliasoft Corporation, (2005), *How are the value in the AVGOF and AVPLOT columns calculated in Weibull++'s Distribution Wizard*. <http://www.weibull.com/hotwire/issue51/tooltips/51.htm>, diakses pada tanggal 22 Oktober 2017
11. Supandi, 1990. Manajemen Perawatan Industri Ganeca Exact Bandung