

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan latar belakang dari penelitian yang dilakukan, identifikasi masalah dari penelitian, perumusan masalah, tujuan dari penelitian, manfaat penelitian yang dilakukan, pembatasan masalah penelitian agar penelitian lebih fokus dan asumsi yang diperlukan untuk menyelesaikan penelitian.

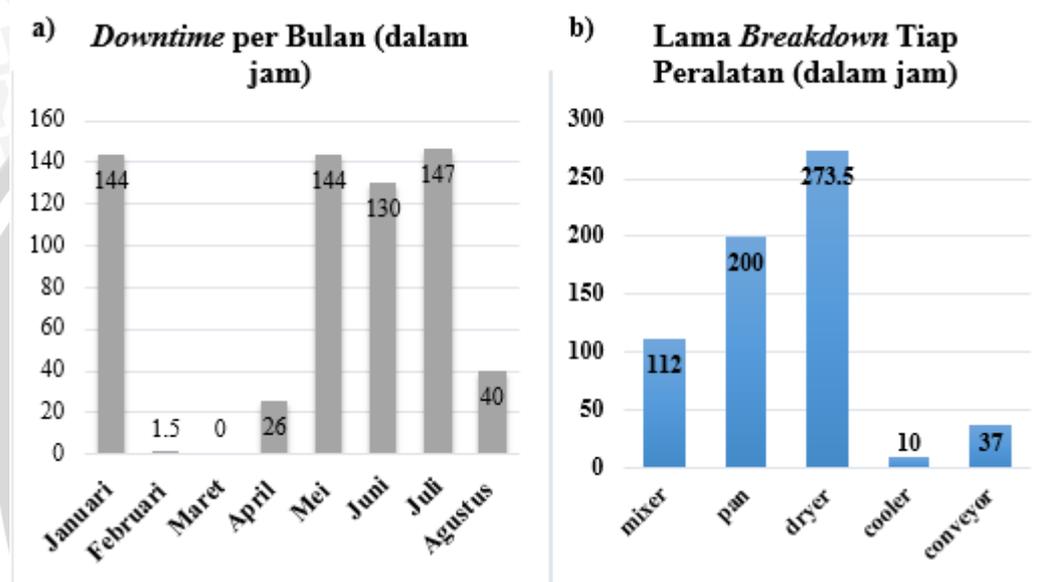
1.1 LATAR BELAKANG

Saat ini peningkatan produktivitas adalah tantangan terbesar bagi perusahaan untuk dapat tetap bersaing. Untuk dapat meningkatkan produktivitas, diperlukan suatu sistem produksi yang beroperasi secara efisien dan efektif. Menurut Lazim dan Ramayah (2010) untuk beroperasi secara efisien dan efektif, perusahaan perlu memastikan bahwa tidak terdapat gangguan produksi yang disebabkan oleh kerusakan, pemberhentian, dan kegagalan mesin. Salah satu upaya untuk menjaga kestabilan produksi adalah melakukan pemeliharaan mesin/peralatan. Sudrajat (2011) mendefinisikan pemeliharaan sebagai suatu aktivitas yang diperlukan untuk menjaga atau mempertahankan kualitas pemeliharaan suatu fasilitas agar fasilitas tersebut tetap dapat berfungsi dengan baik dalam kondisi siap pakai.

PT. Tani Gemilang adalah perusahaan yang bekerjasama dengan Petrokimia Gresik untuk memproduksi pupuk organik berbentuk granul dengan nama Petroganik. Proses produksi pupuk melalui empat tahapan proses permesinan yang berurutan yaitu pencampuran menggunakan mesin *mixer*, granulasi menggunakan mesin *pan granulator*, pengeringan menggunakan mesin *rotary dryer*, dan pengayakan menggunakan mesin *cooler*. Pupuk organik merupakan jenis pupuk yang banyak disubsidi untuk rakyat dan banyak digunakan oleh petani. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, maka mesin dan peralatan yang digunakan dalam proses produksi harus selalu dalam kondisi baik agar target tersebut terpenuhi. Namun, pada rantai produksi sering dijumpai hambatan proses produksi yang disebabkan oleh pemberhentian mesin produksi secara tiba-tiba karena kerusakan mesin.

Rekap data kerusakan mesin pada PT Tani Gemilang disajikan pada Gambar 1. Gambar a) menyajikan *downtime* per bulan pada rantai produksi selama bulan Januari hingga Agustus tahun 2014 yang totalnya mencapai 632,5 jam. Pada bulan Maret tidak terjadi kerusakan mesin karena pada bulan tersebut perusahaan tidak beroperasi akibat

tidak ada permintaan dari Petrokimia Gresik. Berdasarkan informasi dari bagian pemeliharaan, perusahaan ini belum pernah melakukan pengukuran performansi produksi di lantai produksi terkait. Untuk mendukung kelancaran proses produksinya, saat ini perusahaan menerapkan sistem pemeliharaan *corrective maintenance*. Namun pada kenyataannya proses produksi sering terhambat akibat terjadinya kerusakan mesin. Gambar b) menyajikan lama *downtime* untuk tiap mesin yang digunakan untuk tiap proses produksi, kecuali pada proses pengemasan yang masih dilakukan secara manual. Mesin yang paling sering mengalami kerusakan adalah mesin *rotary dryer*, dan yang paling jarang mengalami kerusakan adalah mesin *cooler*.



Gambar 1. a) Downtime peralatan per bulan, b) Grafik *downtime* tiap peralatan

Permasalahan lain yang ada pada PT. Tani Gemilang adalah produk *defect* pada lantai produksi selama bulan Mei hingga Agustus 2014 mencapai 320.917 kg dari total produksi sejumlah 1.059.177 kg. Hal ini menyebabkan *available time* untuk proses produksi menjadi berkurang karena produk *defect* yang dihasilkan tersebut harus diproses kembali agar menjadi produk pupuk yang sesuai standar. Proses *rework* ini mengakibatkan kerugian karena jumlah pupuk yang dihasilkan menjadi berkurang. Data produk *defect* hanya terbatas pada bulan Mei hingga Agustus 2014 karena mulai dilakukan pencatatan data *defect* adalah pada awal bulan Mei.

Perusahaan ingin meningkatkan performansi sistem produksinya, namun pada perusahaan belum ada pengukuran performansi sistem produksi pada tingkat pabrik. Saat ini berkembang konsep *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) untuk menilai efektivitas dari sebuah mesin produksi. Nakajima (1988) mengatakan saat ini telah banyak

digunakan konsep *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) untuk mengukur produktivitas pada tingkat peralatan atau mesin. Konsep ini berkembang pada akhir 1980-an hingga awal 1990-an. Konsep OEE ini dijadikan acuan produktivitas dan performansi peralatan yang digunakan dalam melakukan kegiatan produksi. Ada 3 kunci utama dalam konsep OEE ini yaitu *availability*, *performance*, dan *quality*. Tiga kunci utama OEE ini memegang peran penting dalam mengukur produktivitas peralatan atau mesin. Konsep OEE ini adalah konsep yang tepat jika diterapkan untuk mengukur produktivitas pada tingkat peralatan atau mesin.

Scott dan Pisa (1998) mengungkapkan bahwa OEE adalah hal yang penting dan sering digunakan tetapi OEE tidaklah cukup untuk mengukur performansi produksi pada tingkat pabrik. Perlu adanya suatu pendekatan lagi untuk mengukur performansi dan produktivitas suatu sistem produksi yang saling terintegrasi. Muncul konsep *Overall Throughput Effectiveness* (OTE) sebagai pengembangan OEE untuk mengukur efektivitas dari sistem produksi. Pada konsep OTE ini suatu sistem dipandang sebagai suatu kesatuan subsistem. Pada subsistem ini terdapat peralatan atau mesin yang digunakan dengan kombinasi yang unik yaitu seri, paralel, perakitan, dan ekspansi. Dengan adanya pengukuran performansi ini perusahaan akan mempunyai acuan untuk dapat meningkatkan efektivitas sistem produksi.

Peningkatan performansi produksi dapat dilakukan melalui penerapan *preventive maintenance* (Hardiansyah, 2012). *Corrective maintenance* yang saat ini diterapkan oleh perusahaan masih mengakibatkan *downtime* yang tinggi. Dengan menerapkan *preventive maintenance* maka kerusakan mesin dapat dicegah sehingga *availability* mesin dan efektivitas sistem produksi juga meningkat. Penelitian ini berfokus pada *availability* yang menjadi dasar yang perlu diperhatikan pada pengukuran performansi karena sistem produksi yang ada pada perusahaan merupakan *flowshop* dan termasuk subsistem seri. Jika satu mesin rusak maka mesin yang lain tidak dapat melakukan aktivitas produksinya. Oleh karena itu diperlukan suatu pengukuran efektivitas pada rantai produksi untuk dapat meningkatkan *availability* dan efektivitas sitem produksi.

1.2 IDENTIFIKASI MASALAH

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya, terdapat beberapa masalah di PT. Tani Gemilang, yaitu:

1. Tidak ada pengukuran performansi proses produksi.

2. Rata-rata *downtime* pada rantai produksi tahun 2014 masih melebihi target *downtime* maksimal yang ditentukan oleh perusahaan sebesar 13% yaitu 26%.
3. Tingginya produk *defect* pada perusahaan yang mencapai 320.917 kg dari total produksi pada bulan Mei hingga Agustus 2014.

1.3 RUMUSAN MASALAH

Dari identifikasi permasalahan pada sub bab sebelumnya, maka dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Berapa besarnya nilai efektivitas pada produksi pupuk PT. Tani Gemilang?
2. Mesin mana yang sering mengalami kerusakan serta komponen mana yang akan dijadwalkan perbaikan preventifnya?
3. Bagaimana efektivitas produksi pupuk setelah dijadwalkan perbaikan preventif?

1.4 BATASAN MASALAH

Batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan mulai dari proses pencampuran bahan baku hingga proses pengayakan, dan tidak membahas proses pengemasan produk.
2. Data yang digunakan untuk perhitungan OTE adalah data bulan Juni-Agustus 2014.
3. Penelitian sampai tahap rekomendasi perbaikan.

1.5 TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengukur dan menganalisis nilai OTE pada proses produksi.
2. Menentukan mesin amatan dan komponen kritis yang akan dijadwalkan perbaikan preventifnya.
3. Meningkatkan efektivitas produksi dengan menjadwalkan perbaikan preventif untuk komponen kritis pada mesin di rantai produksi.

1.6 MANFAAT PENELITIAN

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan analisa efektivitas proses produksi pada perusahaan.
2. Kerusakan komponen mesin dapat dicegah sebelum kerusakan tersebut terjadi.
3. Proses produksi pupuk Petroganik menjadi lebih efektif.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai penelitian terdahulu yang pernah dilakukan berkaitan dengan pengukuran performansi sistem produksi dengan *Overall Throughput Effectiveness* (OTE) dan penjadwalan *preventive maintenance* yang sesuai, serta dasar teori yang dapat mendukung penelitian ini.

2.1 PENELITIAN TERDAHULU

Penelitian terdahulu merupakan salah satu jenis referensi yang dapat memberikan pemahaman tentang konsep yang sesuai dengan penelitian ini. Penelitian terdahulu yang menjadi bahan referensi sebagai berikut:

1. Huang, Dismukes, Shi, Su, Razzak, Bodhale, dan Robinson (2003) melakukan pengukuran performansi pabrik pada suatu perusahaan kaca di Clinton, Michigan, Amerika Serikat. Pengukuran performansi pabrik dilakukan menggunakan metode *Overall Throughput Effectiveness* (OTE) dengan menggunakan software. Setelah diketahui nilai OTE kemudian dilakukan simulasi sistem produksi menggunakan *Promodel*. Untuk meningkatkan nilai OTE kemudian dibuat beberapa skenario dengan mengubah nilai *availability*, *performance*, dan *quality effectiveness*. Setelah itu akan didapatkan skenario yang menghasilkan nilai OTE tertinggi.
2. Hardyansyah (2012) melakukan pengukuran performansi pabrik pada perusahaan plat baja PT Gunawan Dianjaya Steel di Surabaya. Pada penelitian ini dibuat *software* untuk menghitung nilai OTE serta menentukan jadwal *preventive maintenance* untuk meningkatkan nilai *availability*. Selain itu tujuannya adalah untuk menentukan stasiun kerja yang mengalami *bottleneck*.
3. Muthiah dan Huang (2006) membahas masalah penerapan OTE untuk mengukur performa pada rantai produksi. OTE dikembangkan dari pemikiran untuk membandingkan produktivitas aktual dengan produktivitas maksimum yang dapat dicapai. Penelitian ini mengungkapkan adanya *gap* yang terjadi ketika menerapkan OEE pada rantai produksi. Pada penelitian ini dikembangkan suatu alat bantu yang berupa *software* untuk mengukur performansi dari sistem produksi pabrik sehingga memudahkan *user* dalam *monitoring* sistem produksinya. Untuk perbaikan produktivitas pada penelitian ini menggunakan metode simulasi ARENA dan

membandingkan beberapa alternatif dengan *sensitivity analysis* untuk mendapatkan alternatif perbaikan yang paling optimal.

Adapun perbedaan kedua penelitian tersebut disajikan pada Tabel 2.1. Penelitian kali ini memerlukan kombinasi dan penyesuaian dari penggunaan metode dari dua penelitian diatas karena perbedaan karakter masalah yang diselesaikan.

Tabel 2.1 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti	Metode			Hasil Penelitian
		OEE	OTE	Preventive Maintenance	
1.	Huang et al.(2003)	√	√	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hasil OTE menggunakan simulasi sistem produksi sebesar 0,85. ▪ Dengan mengurangi <i>downtime</i> nilai OTE menjadi 0,92.
2.	Hardyansyah (2012)	√	√	√	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hasil OTE pada sistem produksi sebesar 0,518. ▪ Penjadwalan penggantian komponen mesin berdasarkan <i>software Weibull++6</i>.
3.	Muthiah dan Huang (2006)	√	√	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stasiun yang menjadi <i>bottleneck</i> ▪ Faktor yang paling sensitif terhadap perubahan nilai OTE
4.	Syaifudin (2014)	√	√	√	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nilai OTE ▪ Komponen mesin kritis yang dijadwalkan perbaikannya. ▪ Jadwal perbaikan mesin.

2.2 OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS (OEE) DAN OVERALL THROUGHPUT EFFECTIVENESS (OTE)

Saat ini telah berkembang konsep dalam mengukur performansi dan produktivitas dalam dunia manufaktur. Beberapa kosep tersebut adalah *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) dan *Overall Throughput Effectiveness* (OTE). OEE adalah konsep dalam menghitung performansi dari level performansi dari level peralatan atau mesin. OTE adalah konsep dalam mengukur performansi dan produktivitas pada level subsistem. Berikut adalah penjelasan tentang OEE dan OTE.

2.2.1 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Konsep *total productive maintenance* (TPM) yang diperkenalkan oleh Seiichi Nakajima (Nakajima 1998) pada tahun 1980-an menyediakan suatu pengukuran kuantitatif yaitu OEE. OEE digunakan untuk mengukur produktivitas dari peralatan

produksi pada suatu pabrik. Saat ini OEE telah banyak digunakan di seluruh dunia. Perhitungan OEE dihitung dengan rumus (Stephens, 2004):

$$OEE = \text{Availability rate} \times \text{Performance rate} \times \text{Rate of quality product} \times 100\% \quad (2-1)$$

Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM) telah menetapkan standar *benchmark* yang telah dipraktekkan secara luas di seluruh dunia. Berikut OEE *benchmark* tersebut yang dikutip dari situs www.leanproduction.com:

1. Jika skor OEE 100%, produksi dianggap sempurna: hanya memproduksi produk tanpa cacat, bekerja dalam *performance* yang cepat, dan tidak ada *downtime*.
2. Jika skor OEE 85%, produksi dianggap kelas dunia. Bagi banyak perusahaan, skor ini merupakan skor yang sesuai untuk dijadikan tujuan jangka panjang.
3. Jika skor OEE 60%, produksi dianggap wajar, tapi menunjukkan ada ruang yang luas untuk perbaikan.
4. Jika skor OEE 40%, produksi dianggap memiliki skor yang rendah tetapi dalam kebanyakan kasus dapat dengan mudah diperbaiki dengan melakukan pengukuran langsung (misalnya dengan menelusuri penyebab *downtime* dan menangani sumber penyebabnya satu per satu).

2.2.1.1 Availability Rate

Availability rate merupakan rasio yang menggambarkan pemanfaatan waktu yang tersedia untuk kegiatan operasi mesin. *Loading time* merupakan waktu mesin bekerja sesuai yang direncanakan. *Downtime* mesin adalah waktu proses mesin yang hilang dikarenakan adanya gangguan pada mesin/peralatan yang mengakibatkan tidak ada *output* yang dihasilkan karena kegagalan mesin, kerusakan alat, *unplanned maintenance*, dan tidak tersedianya bahan baku. *Operation time* merupakan waktu bersih mesin bekerja (tanpa *downtime*). Nilai *availability* dihitung dengan rumus (Stephens, 2004):

$$\text{Operation time} = \text{Loading time} - \text{downtime} \quad (2-2)$$

$$\text{Availability rate} = \frac{\text{Operation time}}{\text{Loading time}} \times 100\% \quad (2-3)$$

2.2.1.2 Performance Rate

Performance rate merupakan suatu rasio yang menggambarkan kemampuan suatu mesin/peralatan dalam menghasilkan suatu produk/barang. Dalam menghitung *performance rate* dibutuhkan tiga variabel yaitu

- a. *Ideal cycle time* (waktu siklus ideal)

- b. *Processed amount* (jumlah produk yang diproses)
- c. *Operation time* (waktu operasi mesin).

Performace rate dapat dihitung dengan rumus (Stephens, 2004):

$$\text{Performance rate} = \frac{\text{Processed amount}}{\text{Ideal cycle time} \times \text{Operation time}} \times 100\% \quad (2-4)$$

2.2.1.3 Rate Of Quality Product

Rate Of Quality Product merupakan rasio yang menggambarkan kemampuan mesin/peralatan untuk menghasilkan suatu produk sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

- a. *Processed amount* (jumlah produk yang diproses)
- b. *Defect amount* (jumlah produk yang cacat).

Rate Of Quality Product dapat dihitung dengan rumus (Stephens, 2004):

$$\text{Rate Of Quality Product} = \frac{\text{Processed amount} - \text{Defect amount}}{\text{Processed amount}} \times 100\% \quad (2-5)$$

2.2.2 Six Big Losses

Six big losses adalah enam faktor yang menyebabkan rendahnya efisiensi mesin/peralatan. *Six big losses* dibagi atas tiga kategori besar (Nakajima, 1998):

1. *Downtime Losses*

a. *Equipment Failure*

Yang tergolong dalam kerugian jenis ini adalah kerugian yang disebabkan jenis kerusakan mesin/peralatan. Kerugian ini akan mengakibatkan waktu yang terbuang sia-sia yang akibat berkurangnya volume produksi atau kerugian material akibat produk cacat yang dihasilkan.

b. *Set-up and adjustment losses*

Kerugian jenis ini adalah semua waktu *setup* termasuk waktu penyesuaian yang diperlukan untuk *setup* mesin mulai dari mesin berhenti hingga mesin beroperasi dengan normal.

2. *Speed Losses*

a. *Reduced speed*

Reduced speed mengacu pada perbedaan antara kecepatan ideal dengan kecepatan actual operasi. Peralatan mungkin bekerja dibawah kecepatan idealnya dengan beberapa alasan antara lain karena peralatan tidak standar, masalah mekanik, atau kelebihan beban kerja terhadap peralatan tersebut.

b. *Idling and minor stoppages*

Idling and minor stoppages disebabkan mesin berhenti sesaat ataupun terganggu oleh faktor eksternal seperti pemadaman listrik dan pembersihan.

3. *Quality Losses*

1. *Start-up losses*

Kerugian ini terjadi di awal produksi, dari mesin dinyalakan sampai mesin stabil untuk memproduksi dengan kualitas yang sesuai standar. Volume dari kerugian ini tergantung dari derajat kestabilan proses. Hal ini bisa dikurangi dengan peningkatan level pemeliharaan terhadap peralatan/mesin.

2. *Quality defect*

Quality defect menunjukkan bahwa ketika suatu produk yang dihasilkan rusak dan harus diperbaiki, maka lama waktu peralatan memproduksinya adalah kerugian.

Pada Tabel 2.2 disajikan tiga jenis kategori *Losses* dan contoh dari kejadian yang dapat terjadi pada mesin di proses produksi yang mengurangi produktivitas. *Losses* tersebut berkontribusi pada rendahnya OEE dari mesin.

Tabel 2.2 Kategori *Loss* pada OEE

<i>OEE Loss Category</i>	<i>OEE Metric</i>	<i>Loss Category Example</i>
<i>Downtime Losses</i>	<i>Availability</i>	1. Kegagalan peralatan 2. Kerusakan alat 3. <i>Unplanned Maintenance</i> 4. Perpindahan mesin 5. Kekurangan material
<i>Speed Losses</i>	<i>Performance</i>	1. Produk salah masuk 2. Komponen 3. Arus produk berhenti 4. Tingkat pelatihan operator mesin 5. Usia peralatan 6. Pemakaian peralatan
<i>Quality Losses</i>	<i>Quality</i>	1. Toleransi penyesuaian 2. Pemanasan proses 3. Rusak 4. Kesalahan perakitan 5. <i>Reject</i> 6. <i>Rework</i>

Sumber: The Complete Guide to Simple OEE EXOR

2.2.3 Overall Throughput Effectiveness (OTE)

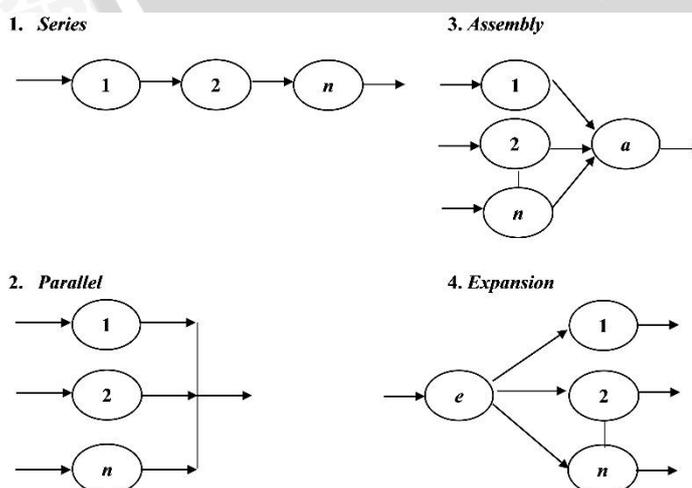
Ada beberapa hal yang melatarbelakangi berkembangnya konsep OTE. Scott dan Pisa (1998) menekankan bahwa ada keuntungan menggunakan OEE. Meskipun

penggunaan OEE penting dan banyak dipakai, namun penggunaan OEE tidaklah cukup. Pada beberapa literatur dikatakan bahwa konsep OEE ini kurang cocok diterapkan pada tingkat perusahaan. Menurut Muthiah dan Huang (2006) bahwa tujuan dari OTE adalah untuk mengukur performansi dari pabrik dan dapat digunakan untuk mendiagnosa adanya *bottleneck*. Pabrik adalah sebuah sistem yang terdiri dari subsistem-subsistem yang menyusunnya. Pabrik tidak dapat disamakan dengan sebuah peralatan dimana ketika ingin menghitung performansi dari peralatan tersebut dapat menggunakan OEE. Hal yang harus diperhatikan adalah pabrik merupakan kumpulan dari peralatan-peralatan yang digunakan untuk menjalankan aktivitas produksinya. Peralatan-peralatan yang ada di pabrik pun sangat beraneka macam yang saling terintegrasi menjadi sebuah sistem yang kompleks.

Menurut Muthiah dan Huang (2006) bahwa OTE dikembangkan berdasarkan pemikiran untuk membandingkan produktivitas aktual dengan produktivitas maksimum yang dapat dicapai. Hal yang membedakan OEE dan OTE adalah skala penggunaannya. Menurut Huang (2007) jika OEE digunakan pada level peralatan atau mesin maka OTE dapat dijadikan alat untuk mengukur performansi subsistem yang selanjutnya dapat digunakan untuk menghitung performansi pabrik. Rumus persamaan OTE adalah:

$$OTE = \frac{\text{Output baik yang dihasilkan (unit) dari pabrik}}{\text{produk output teoritis (unit) dari pabrik dalam waktu total}} = \frac{P_g(F)}{P_a^{(th)}(F)} \quad (2.6)$$

Produktivitas suatu sistem manufaktur ditentukan dengan memperlakukan seluruh sistem sebagai kombinasi subsistem sederhana, Huang *et al.* (2006). Secara umum, tata letak setiap pabrik dapat dikelompokkan menjadi empat subsistem yang sederhana dan unik. Pada Gambar 2.1 disajikan keempat subsistem yang dimaksud oleh Huang. Keempat subsistem tersebut adalah seri, paralel, *assembly*, dan ekspansi (*expansion*). Subsistem ini mencerminkan alur proses yang terdapat pada sebuah pabrik.



Gambar 2.1 Subsistem pada OTE
 1. Subsistem Seri
 2. Subsistem Paralel
 3. Subsistem *Assembly*
 4. Subsistem Ekspansi

Sumber: Muthiah, Huang, & Mahadevan, 2006

OTE juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi stasiun yang menjadi *bottleneck*. Stasiun yang menjadi *bottleneck* ini adalah stasiun yang memiliki nilai *bottleneck indicator* terkecil. *Bottleneck indicator* terkecil ini yang nantinya akan digunakan untuk mencari nilai OTE pada subsistem seri. Nilai *bottleneck indicator* dapat dicari menggunakan persamaan (2-7).

$$OEE_{(i)} \times R_{th(i)} \times \prod_{j=i+1}^n Q_{eff(j)} \tag{2.7}$$

Untuk menghitung OTE pada tiap-tiap subsistem dapat digunakan persamaan yang terdapat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Rumus Matematis OTE untuk Setiap Subsistem

Subsistem	OTE
Seri	$\frac{\min_{i=1,2,\dots,n-1} \left\{ \min_{i=1,2,\dots,n-1} \left\{ OEE_{(i)} \times R_{th(i)} \times \prod_{j=i+1}^n Q_{eff(j)} \right\} OEE_{(n)} \times R_{th(n)} \right\}}{\min_{i=1,2,\dots,n} \{ R_{th(i)} \}} \tag{2.8}$
Paralel	$\frac{\sum_{i=1}^n (OEE_{(i)} \times R_{th(i)})}{\sum_{i=1}^n R_{th(i)}} \tag{2.9}$
Assembly	$\frac{\min_{i=1,2,\dots,n-1} \left\{ \min_{i=1,2,\dots,n-1} \left\{ OEE_{(i)} \times \frac{R_{th(i)}}{k_{A(i)}} \times Q_{eff(a)} \right\} OEE_{(a)} \times R_{th(a)} \right\}}{\min_{i=1,2,\dots,n-1} \left\{ \min_{i=1,2,\dots,n-1} \left\{ \frac{R_{th(i)}}{k_{A(i)}} \right\} R_{th(a)} \right\}} \tag{2.10}$
Expansion	$\frac{\sum_{i=1}^n \min \{ OEE_{(e)} \times R_{th(e)} \times k_{E(i)} \times Q_{eff(i)} \cdot R_{th(i)} \times OEE_{(i)} \}}{\sum_{i=1}^n \min \{ R_{th(e)} \times k_{E(i)} \cdot R_{th(i)} \}} \tag{2.11}$

Sumber : Muthiah dan Huang, 2006

Dimana:

n = Jumlah peralatan dalam subsistem

$OEE_{(i)}$ = OEE secara teoritis pada peralatan i

$OEE_{(a)}$ = OEE secara teoritis pada peralatan subsistem *assembly*

$OEE_{(e)}$ = OEE secara teoritis pada peralatan subsistem ekspansi

$OEE_{(n)}$ = OEE secara teoritis pada peralatan subsistem n (terakhir pada subsistem seri)

$R_{th(i)}$ = Laju pengolahan rata-rata secara teoritis pada peralatan i

$R_{th(a)}$ = Laju pengolahan rata-rata secara teoritis pada peralatan subsistem *assembly*

$R_{th(e)}$ = Laju pengolahan rata-rata secara teoritis pada peralatan subsistem ekspansi

$R_{th(n)}$ = Laju pengolahan rata-rata secara teoritis pada peralatan subsistem n (terakhir pada subsistem seri)

$Q_{eff(i)}$ = Efisiensi kualitas pada peralatan i

$Q_{eff(j)}$ = Efisiensi kualitas pada peralatan j

$Q_{eff(a)}$ = Efisiensi kualitas dari peralatan pada subsistem *assembly*



$k_{A(i)}$ = Jumlah komponen yang diperlukan dari peralatan i untuk membuat satu produk akhir pada peralatan subsistem *assembly*

$k_{E(i)}$ = Jumlah komponen yang dihasilkan dari satu *part* pada subsistem ekspansi yang akan dikirim ke peralatan i

2.3 PERAWATAN (MAINTENANCE)

Perawatan atau yang lebih dikenal dengan kata *maintenance* dapat didefinisikan sebagai suatu aktivitas yang diperlukan untuk menjaga atau mempertahankan kualitas pemeliharaan suatu fasilitas agar fasilitas tersebut tetap dapat berfungsi dengan baik dalam kondisi siap pakai (Sudrajat, 2011). Sedangkan menurut Patrick (2001) perawatan adalah suatu kegiatan untuk memelihara dan menjaga fasilitas yang ada serta memperbaiki, melakukan penyesuaian atau penggantian yang diperlukan untuk mendapatkan suatu kondisi operasi produksi agar sesuai dengan perencanaan yang ada.

2.3.1 Tujuan Perawatan

Tujuan utama dilakukannya perawatan menurut Patrick (2001) yaitu:

1. Mempertahankan kemampuan alat atau fasilitas produksi guna memenuhi kebutuhan yang sesuai dengan target serta rencana produksi.
2. Mengurangi pemakaian dan penyimpangan diluar batas dan menjaga modal yang diinvestasikan dalam perusahaan selama jangka waktu yang ditentukan sesuai dengan kebijaksanaan perusahaan.
3. Menjaga agar kualitas produk berada pada tingkat yang diharapkan guna memenuhi apa yang dibutuhkan produk itu sendiri dan menjaga agar kegiatan produksi tidak mengalami gangguan.
4. Memperhatikan dan menghindari kegiatan – kegiatan operasi mesin serta peralatan yang dapat membahayakan keselamatan kerja.
5. Mencapai tingkat biaya serendah mungkin, dengan melaksanakan kegiatan *maintenance* secara efektif dan efisien untuk keseluruhannya.
6. Mengadakan suatu kerjasama yang erat dengan fungsi – fungsi utama lainnya dari suatu perusahaan, dalam rangka untuk mencapai tujuan utama perusahaan yaitu tingkat keuntungan atau *return investment* yang sebaik mungkin dan total biaya serendah mungkin.

2.3.2 Sistem Perawatan

Menurut Patrick (2001), sistem perawatan (*maintenance*) dapat dibedakan dalam dua jenis yaitu *preventive maintenance* / PM (pencegahan) dan *corrective maintenance* / CM (perbaikan). Perbedaan PM dan CM dapat dijelaskan berikut ini.

1. *Preventive Maintenance* (PM)

Menurut Adam (1992) pengertian *preventive maintenance* adalah kegiatan perawatan dan pencegahan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan mesin. Mesin akan mengalami depresiasi (penurunan) apabila dipakai terus menerus. Oleh karena itu dibutuhkannya inspeksi dan servis secara rutin maupun periodik. Contohnya apakah mesin sudah dilubrikasi atau belum, apakah ada komponen/*part* yang rusak sehingga harus digantikan komponen lainnya. Dengan adanya *preventive maintenance*, diharapkan semua mesin yang ada akan terjamin kelancaran proses kerjanya sehingga tidak ada yang terhambat dalam proses produksinya dan bisa selalu dalam keadaan optimal.

Menurut pendapat Patrick (2001) *preventive maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan-kerusakan yang tidak terduga dan menemukan kondisi atau keadaan yang dapat menyebabkan fasilitas produksi mengalami kerusakan pada waktu proses produksi. Jadi, semua fasilitas produksi yang mendapatkan perawatan (*preventive maintenance*) akan terjamin kontinuitas kerjanya dan selalu diusahakan dalam kondisi atau keadaan yang siap dipergunakan untuk setiap operasi atau proses produksi pada setiap saat.

Oleh karena itu, dimungkinkan pembuatan suatu jadwal pemeliharaan dan perawatan yang sangat cermat dan rencana produksi yang lebih tepat. *Preventive maintenance* ini sangat penting karena kegunaannya yang sangat efektif dalam menghadapi fasilitas-fasilitas produksi yang termasuk dalam golongan "critical unit" apabila:

- a. Kerusakan fasilitas produksi akan menyebabkan kemacetan seluruh proses produksi.
- b. Kerusakan fasilitas produksi ini akan mempengaruhi kualitas dari produk yang dihasilkan.
- c. Kerusakan fasilitas produksi atau peralatan tersebut akan membahayakan kesehatan atau keselamatan para pekerja.

- d. Modal yang ditanamkan dalam fasilitas tersebut atau harga dari fasilitas ini sudah cukup besar (mahal).

Jika *preventive maintenance* dilaksanakan pada fasilitas-fasilitas atau peralatan yang termasuk dalam "critical unit", maka tugas dari *maintenance* dapat dilakukan dengan suatu perencanaan yang intensif untuk unit yang bersangkutan, sehingga rencana produksi dapat dicapai dengan jumlah hasil produksi yang lebih besar dalam waktu yang relatif singkat. Menurut Patrick (2001) efektivitas dan ekonomi dari *preventive maintenance* dapat ditingkatkan dengan mengambil *account* dari distribusi *time to failure* (TTF) pada komponen yang akan dirawat dan *failure rate* dari sistem yang ada. Dalam perusahaan, *preventive maintenance* dapat dibedakan atas 2 macam berdasarkan kegiatan/aktivitasnya, yaitu *routine maintenance* dan *periodic maintenance*. *Routine maintenance* (perawatan rutin) adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan secara rutin → bisa setiap hari. Contohnya yaitu pembersihan fasilitas atau peralatan, pelumasan (*lubrication*) atau pengecekan oli, pengecekan isi bahan bakarnya dan apakah termasuk dalam pemanasan (*warming up*) dari mesin-mesin selama beberapa menit sebelum dipakai beroperasi sepanjang hari.

Sedangkan *periodic maintenance* (perawatan periodik) adalah kegiatan perawatan yang dilakukan secara *periodic* (secara berkala) atau dalam jangka waktu tertentu. Contohnya yaitu pengecekan setiap seminggu sekali, sebulan atau setahun sekali. Perawatan periodik ini dapat dilakukan dengan memakai lamanya jam kerja mesin atau fasilitas produksi tersebut sebagai jadwal kegiatan, misalnya setiap seratus jam kerja mesin sekali. Jadi, sifat kegiatan perawatannya ini tetap periodik atau secara berkala. Kegiatan ini lebih berat dibandingkan dengan kegiatan perawatan rutin. Contohnya adalah kegiatan pembongkaran *carburetor* atau peralatan di bagian sistem aliran bahan bakar, penggantian roda *bearing* dan *service* mesin besar maupun kecil.

2. *Corrective Maintenance* (CM)

Menurut pendapat Patrick (2001) *corrective maintenance* (CM) merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan setelah mesin atau fasilitas produksi mengalami kerusakan atau gangguan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik. Kegiatan CM ini sering disebut dengan kegiatan reparasi atau perbaikan. CM biasanya tidak dapat

kita rencanakan dahulu karena kita hanya bisa memperbaikinya setelah terjadi kerusakan, bahkan terkadang perbaikan tersebut bisa tertunda dan terlambat.

Perbaikan yang dilakukan karena adanya kerusakan yang dapat terjadi akibat tidak dilakukannya *preventive maintenance* maupun telah diterapkannya *preventive maintenance*, akan tetapi sampai pada suatu waktu tertentu fasilitas produksi atau peralatan yang ada tetap rusak. Dalam hal ini, kegiatan *corrective maintenance* bersifat perbaikan yaitu menunggu sampai kerusakan terjadi terlebih dahulu, kemudian baru diperbaiki agar fasilitas produksi maupun peralatan yang ada dapat dipergunakan kembali dalam proses produksi sehingga operasi dalam proses produksi dapat berjalan lancar dan kembali normal.

Apabila perusahaan hanya mengambil tindakan untuk melakukan *corrective maintenance* saja, maka terdapat faktor ketidakpastian akan lancarnya fasilitas dalam proses produksi maupun peralatannya sehingga akan menimbulkan efek-efek yang dapat menghambat kegiatan produksi jikalau terjadi kerusakan maupun gangguan yang tiba-tiba terjadi pada fasilitas produksi yang dipakai perusahaan.

CM juga biasa yang disebut sebagai *mean active corrective maintenance time* (MACMT), dimana itu hanya meliputi *active time* (meliputi dokumentasi) yang melibatkan *designer*. Tindakan *corrective maintenance* (CM) ini kelihatannya lebih murah biayanya dibandingkan tindakan *preventive maintenance* (PM). Tentu saja pernyataan ini benar selama gangguan kerusakan belum terjadi pada fasilitas maupun peralatan ketika proses produksi berlangsung → tidak melakukan proses produksi.

Namun saat kerusakan terjadi selama proses produksi berlangsung maka biaya perawatan akan mengalami peningkatan akibat terhentinya proses produksi. Selain itu, biaya-biaya perawatan dan pemeliharaan akan membengkak pada saat terjadinya kerusakan tersebut. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa tindakan CM lebih memusatkan permasalahan setelah permasalahan itu terjadi, bukan menganalisis masalah untuk mencegahnya agar tidak terjadi.

Oleh karena tindakan CM itu jauh lebih mahal, maka sedapat mungkin harus dicegah dengan mengintensifkan kegiatan *preventive maintenance*. Diperlukan juga adanya pertimbangan bahwa dalam jangka panjang untuk mesin-mesin yang mahal dan termasuk dalam "critical unit" dari proses produksi, PM akan jauh lebih menguntungkan dibandingkan CM.

Menurut pendapat Patrick (2001) *Corrective Maintenance* dapat dihitung dengan MTTR (*mean time to repair*) dimana *time to repair* ini meliputi beberapa aktivitas yang biasanya dibagi ke dalam 3 grup, yaitu:

a. *Preparation time*

Waktu yang dibutuhkan untuk persiapan seperti mencari orang untuk pekerjaan, travel, peralatan sudah dipenuhi atau belum dan tes perlengkapan.

b. *Active Maintenance time*

Waktu yang diperlukan untuk melakukan pekerjaan tersebut. Meliputi waktu untuk mempelajari *repair charts* sebelum *actual repair* dimulai dan waktu yang dihabiskan dalam menverifikasi bahwa kerusakan tersebut sudah diperbaiki. Kemungkinan juga meliputi waktu untuk *post-repair documentation* ketika hal tersebut harus diselesaikan sebelum perlengkapan tersedia. Contohnya Aircraft.

c. *Delay Time (Logistic time)*

Waktu yang dibutuhkan untuk menunggu komponen dalam mesin untuk diperbaiki.

2.3.3 Kehandalan (Reliability)

Pengertian kehandalan/*reliability* menurut Ebeling (1997) adalah ukuran kemampuan suatu komponen atau peralatan untuk beroperasi terus-menerus tanpa adanya gangguan/kerusakan. Menurut Patrick (2001) *probabilistic reliability* merupakan probabilitas sebuah komponen atau sistem untuk dapat beroperasi sesuai dengan fungsi yang diinginkan untuk suatu periode waktu tertentu ketika digunakan dibawah kondisi operasional tertentu.

Ada empat hal yang signifikan sehubungan dengan pengertian kehandalan (*reliability*), yaitu:

1. Probabilitas (peluang)

Setiap item memiliki umur atau waktu yang berbeda antara satu dengan yang lainnya sehingga terdapat sekelompok item yang memiliki rata-rata hidup tertentu. Jadi, untuk mengidentifikasi distribusi frekuensi dari suatu item dapat dilakukan dengan cara melakukan estimasi waktu hidup dari item tersebut agar diketahui umur pemakaiannya sudah berapa lama.

2. Kinerja kehandalan yang diharapkan (*performance*)

Performance (kinerja) menjelaskan bahwa kehandalan merupakan suatu karakteristik performansi sistem dimana suatu sistem yang handal harus dapat menunjukkan performansi yang memuaskan jika dioperasikan.

3. Waktu (*time*)

Reliability/kehandalan suatu sistem dinyatakan dalam suatu periode waktu karena waktu merupakan parameter yang penting untuk melakukan penilaian kemungkinan suksesnya suatu sistem. Peluang suatu item untuk digunakan selama setahun akan berbeda dengan peluang item untuk digunakan dalam sepuluh tahun. Biasanya faktor waktu berkaitan dengan kondisi tertentu, seperti jangka waktu mesin selesai diperbaiki sampai mesin rusak kembali (*mean time to failure*) dan jangka waktu mesin mulai rusak sampai mesin tersebut diperbaiki (*mean time to repair*)

4. Kondisi operasioanal yang spesifik

Kondisi ini menjelaskan bahwa bagaimana perlakuan yang diterima oleh suatu sistem dalam menjalankan fungsinya dalam arti bahwa dua buah sistem dengan tingkat mutu yang sama dapat memberikan tingkat kehandalan yang berbeda dalam kondisi operasionalnya. Misalnya kondisi temperatur, keadaan atmosfer dan tingkat kebisingan di mana sistem dioperasikan.

2.3.4 Fungsi Distribusi

1. Distribusi Kerusakan (*Failure Distribution*)

Distribusi kerusakan merupakan ekspresi matematis usia dan pola kerusakan mesin atau peralatan. Karakteristik kerusakan setiap peralatan/mesin akan mempengaruhi kedekatan yang digunakan dalam menguji kesesuaian dan menghitung parameter fungsi distribusi kerusakan. Pada umumnya, karakteristik dari kerusakan setiap mesin tidaklah sama terutama jika dioperasikan dalam kondisi lingkungan yang berbeda. Suatu peralatan maupun mesin yang memiliki karakteristik dan dioperasikan dalam kondisi yang sama juga mungkin akan memberikan nilai selang waktu antar kerusakan yang berlainan.

Suatu kondisi yang berhubungan dengan kebijakan perawatan seperti kebijakan perawatan pencegahan (*preventive*) memerlukan informasi tentang selang waktu suatu mesin akan mengalami kerusakan lagi. Biasanya saat terjadi

perubahan kondisi mesin dari kondisi bagus menjadi rusak lagi, tidak dapat diketahui dengan pasti. Akan tetapi, dapat diketahui probabilitas terjadinya perubahan tersebut.

2. Fungsi Distribusi Kumulatif

Fungsi distribusi kumulatif merupakan fungsi yang menggambarkan probabilitas terjadinya kerusakan sebelum waktu t . Probabilitas suatu sistem atau peralatan mengalami kegagalan dalam beroperasi sebelum waktu t , yang merupakan fungsi dari waktu yang secara matematis dapat dinyatakan sebagai:

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt \text{ untuk } t \geq 0 \quad (2.12)$$

Keterangan

$F(t)$: fungsi distribusi kumulatif

$f(t)$: fungsi kepadatan peluang

Jika $t \rightarrow \infty$ maka $F(t) = 1$

3. Fungsi Kehandalan (*Reliability*)

Berdasarkan pendapat dari Ebeling (1997) kehandalan merupakan probabilitas sistem atau komponen akan berfungsi hingga waktu tertentu (t). Pengertian fungsi kehandalan adalah probabilitas suatu sistem atau komponen akan beroperasi dengan baik tanpa mengalami kerusakan pada suatu periode waktu t dalam kondisi operasional yang telah ditetapkan. Probabilitas kerusakan dari suatu fungsi waktu dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$F(t) = P(T \geq t) \quad (2.13)$$

Dimana:

T = variabel acak kontinyu yang menyatakan saat terjadinya kegagalan

$F(t)$ = probabilitas bahwa kerusakan terjadi sebelum waktu $T = t$ (fungsi distribusi)

Kehandalan dapat diuraikan sebagai berikut:

$$R(t) = P(T \geq t) \quad (2.14)$$

$R(t)$ menunjukkan probabilitas bahwa kegagalan tidak akan terjadi sebelum t , atau probabilitas bahwa waktu kerusakan lebih besar atau sama dengan t .

4. *Index of Fit* (r)

Dalam menentukan distribusi yang hendak digunakan untuk menghitung *Mean Time to Failure* (MTTF), *Mean Time to Repair* (MTTR) dan *Reliability*, proses yang harus dilakukan adalah mencari nilai r untuk masing-masing distribusi

sehingga didapatkan nilai r terbesar yang kemudian akan diuji lagi menurut hipotesa distribusinya.

2.3.5 Laju Kerusakan (Failure Rate)

Laju kerusakan (*failure rate*) dari suatu peralatan atau mesin pada waktu t adalah probabilitas dimana peralatan mengalami kegagalan atau kerusakan dalam suatu interval waktu berikutnya yang diberikan dan diketahui kondisinya baik pada awal interval, sehingga dianggap sebagai suatu probabilitas kondisional. Notasinya adalah $\lambda(t)$ atau $R(t)$.

1. Fungsi Laju Kerusakan

Fungsi laju kerusakan diartikan sebagai limit dari laju kerusakan dengan $\Delta t \rightarrow 0$, dengan demikian fungsi laju kerusakan sesaat dan fungsi laju kerusakan ditunjukkan oleh Gambar 2.2 dan dijelaskan pada persamaan 2.19.

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{-[R(t+\Delta t) - R(t)]}{\Delta t} \times \frac{1}{R(t)} \quad (2.15)$$

$$\lambda(t) = \frac{-dR(t)}{dt} \times \frac{1}{R(t)}$$

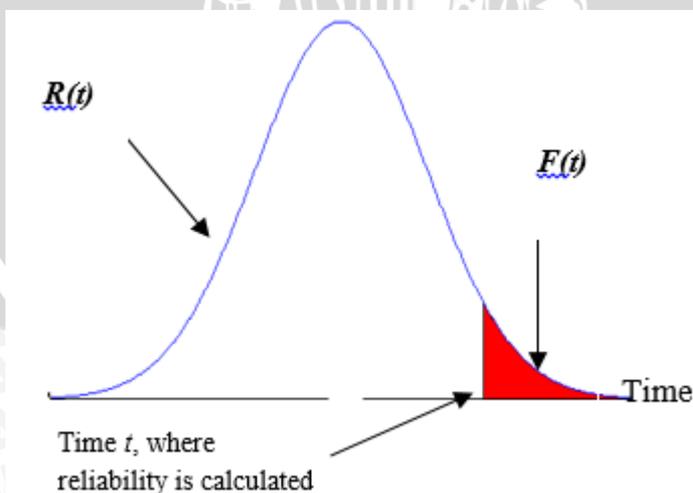
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \text{ untuk } t \geq 0$$

Keterangan

$\lambda(t)$: fungsi laju kerusakan

$f(t)$: fungsi kepadatan peluang

$R(t)$: fungsi kehandalan

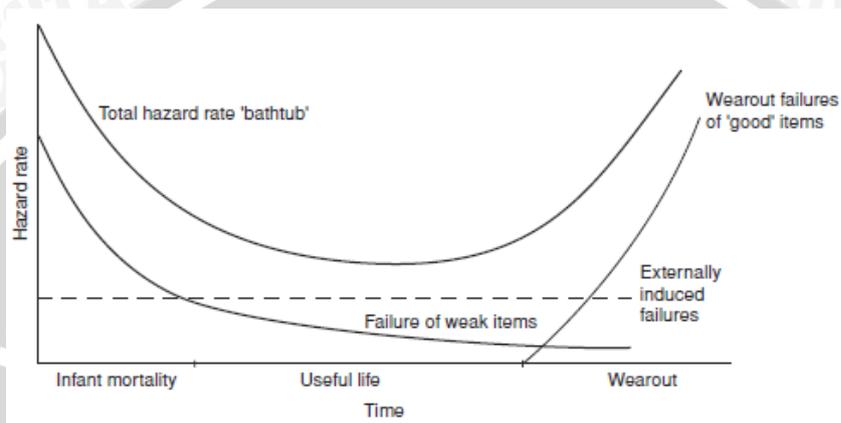


Gambar 2.2 Fungsi kepadatan peluang

Sumber : Patrick, D.T. O'Connor 2011. *Practical Reliability Engineering*. Fifth edition. John Wiley & Sons, LTD.

2. Pola Dasar Laju Kerusakan

Pola dasar dari fungsi laju kerusakan $\lambda(t)$ akan berubah sepanjang waktu dari produk tersebut mengalami usaha. Kurva laju kerusakan atau *bathtub curve* merupakan suatu kurva yang menunjukkan pola laju kerusakan sesaat yang umum bagi suatu produk. Pada umumnya laju kerusakan suatu sistem selalu berubah sesuai dengan bertambahnya waktu. Dari hasil percobaan, dapat diketahui bahwa laju kerusakan suatu produk akan mengikuti suatu pola dasar yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 *The Bathtub Curve* (Kurva laju kerusakan)

Sumber : Patrick, D.T. O'Connor 2011. *Practical Reliability Engineering*. Fifth edition. John Wiley & Sons, LTD.

Menurut Patrick (2001) setiap periode waktu mempunyai karakteristik tertentu yang ditentukan oleh laju kerusakannya, yaitu:

a. Kerusakan awal (*early failure*)

Periode ini disebut juga *running period* (*wear in period*) yang ditandai dengan penurunan laju kerusakan. Laju kerusakan yang terjadi pada tahap/fase ini disebut juga kerusakan awal. Bisa disebabkan oleh desain yang tidak tepat, kesalahan pemakaian, kesalahan pengepakan, pengendalian kualitas yang tidak memenuhi syarat, performansi material dan tenaga kerja di bawah standar, dan sebagainya. Apabila kerusakan ini terjadi dan diganti dengan produk atau komponen baru maka akan terjadi peningkatan *reliability*.

b. Pengoperasian normal (*useful life region/chance failure*)

Periode ini ditandai dengan laju kerusakan yang tetap/konstan. Kerusakan yang terjadi pada fasa/tahap ini disebabkan oleh kesalahan manusia atau adanya penambahan beban secara tiba-tiba.

c. Periode *wear out* (*wear out failure*)

Periode ini ditandai dengan peningkatan yang tajam pada laju kerusakan karena memburuknya kondisi peralatan/mesin yang ada. Sebaiknya dilakukan perawatan pencegahan apabila suatu alat telah memasuki fasa ini agar dapat mengurangi terjadinya kerusakan yang lebih fatal. Penyebabnya adalah peralatan atau mesin yang digunakan sudah melebihi umur produk, terjadinya keausan karena pemakaian dan korosi (ditandai dengan berkarat), dan perawatan yang tidak memadai.

Berdasarkan Gambar 2.3, periode kerusakan awal (*early failure*) dapat didekati dengan distribusi *Weibull*, sedangkan periode pengoperasian normal (*chance failure*) dapat dipenuhi dengan distribusi *Weibull* dan distribusi *Eksponensial*. Dan yang terakhir periode *wear out failure* dapat didekati dengan distribusi *Weibull* dan distribusi *Lognormal*. Perhitungan laju kerusakan berdasarkan distribusi menunjukkan tindakan *alternative* pada komponen pada mesin. Apabila identifikasi distribusi menunjukkan bahwa waktu kerusakan memiliki laju kerusakan yang konstan atau menurun (berdistribusi *Weibull* atau *Eksponensial* dengan $\beta \leq 1$, maka kegiatan *preventive maintenance* tidak akan efektif untuk dilaksanakan karena tidak akan meningkatkan kehandalan mesin sehingga usulan tindakan perawatan pencegahan yang dilakukan hanya berupa pemeriksaan saja. Sedangkan bila interval kerusakan memiliki laju kerusakan meningkat (berdistribusi normal, *lognormal* dan *Weibull* dengan $\beta > 1$), maka tindakan *preventive maintenance* yang diusulkan bisa berupa pemeriksaan saja maupun penggantian komponen pada *preventive maintenance*.

2.3.6 Identifikasi Distribusi

Dengan mengumpulkan data dari *downtime*, pencocokan distribusi secara teoritis dapat dipandang sebagai 3 tahapan proses yang terdiri dari:

1. Identifikasi distribusi.

Cara untuk mengidentifikasi data kerusakan mesin adalah dengan mencari nilai r terlebih dahulu. Adapun rumus-rumus yang digunakan untuk mencari nilai r adalah sebagai berikut:

a. Distribusi *Weibull*

$$r_{weibull} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \quad (2.16)$$

Keterangan:

$$x_i = \ln(t_i) \quad (2.17)$$

$$y_i = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1-F(t_i)} \right) \right] \quad (2.18)$$

b. Distribusi *Normal*

$$r_{normal} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i z_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n z_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n z_i^2 - (\sum_{i=1}^n z_i)^2]}} \quad (2.19)$$

Keterangan:

$$x_i = t_i \quad (2.20)$$

$$z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] \rightarrow \text{diperoleh dari } \Phi(z) \quad (2.21)$$

c. Distribusi *Lognormal*

$$r_{lognormal} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i z_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n z_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n z_i^2 - (\sum_{i=1}^n z_i)^2]}} \quad (2.22)$$

Keterangan:

$$x_i = \ln(t_i) \quad (2.23)$$

$$z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] \rightarrow \text{diperoleh dari } \Phi(z) \quad (2.24)$$

d. Distribusi *Eksponensial*

$$r_{eksponensial} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \quad (2.25)$$

Keterangan:

$$x_i = t_i \quad (2.26)$$

$$y_i = \left[\ln \left(\frac{1}{1-F(t_i)} \right) \right] \quad (2.27)$$

2. Pendugaan parameter distribusi kehandalan.

a. Pendugaan parameter distribusi *Weibull* dengan regresi linear

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (2.28)$$

Bisa ditulis dalam bentuk :

$$\frac{1}{1-F(t_i)} = \left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta \quad (2.29)$$

$$\ln \left[\ln \left(\frac{1}{1-F(t_i)} \right) \right] = \beta (\ln t) - \beta (\ln \theta) \quad (2.30)$$

Persamaan diatas dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan garis lurus:

$$y_t = a + bx_i \quad (2.31)$$

Dimana:

$$x_i = \ln(t_i) \quad (2.32)$$

$$y_i = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1-F(t_i)} \right) \right] \quad (2.33)$$

$F(t_i)$ dihitung dengan menggunakan pendekatan *median rank*, yaitu:

$$F(t_i) = \frac{i-0.3}{n+0.4} \quad (2.34)$$

Dimana:

i = data waktu ke- t

n = jumlah data kerusakan

Persamaan $y_t = a + bx_i \rightarrow$ menggambarkan garis lurus dengan gradien b dan konstanta a . Nilai b sebagai gradien lurus menentukan kemiringan garis, maka b disebut parameter bentuk (β). Setelah itu dengan menggunakan metode *Least Square Curve Fitting*, nilai konstanta a dan b dapat diperoleh melalui persamaan:

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (2.35)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (2.36)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.37)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (2.38)$$

Sehingga parameter distribusi *Weibull* dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\beta = b \quad (2.39)$$

$$\theta = e^{-\left(\frac{a}{b}\right)} \quad (2.40)$$

b. Pendugaan parameter distribusi *Lognormal* dengan regresi linear

Dengan menggunakan metode *Least Square Curve Fitting*, nilai konstanta a dan b dapat diperoleh, maka berlaku hubungan sebagai berikut (Ebeling, 1997):

$$F(t) = \Phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right) = \Phi(z) \quad (2.41)$$

$$z = \Phi^{-1}[F(t)] = \frac{1}{s} \ln t - \frac{1}{s} \ln t_{med} \quad (2.42)$$

Sehingga parameter distribusi *Lognormal* dapat ditentukan sebagai berikut:

$$s = \frac{1}{b} \text{ dan } t_{med} = e^{-sa} \quad (2.43)$$

- c. Pendugaan parameter distribusi *Normal* dengan regresi linear

Dengan menggunakan metode *Least Square Curve Fitting*, nilai konstanta a dan b dapat diperoleh, maka berlaku hubungan sebagai berikut (Ebeling, 1997):

$$F(t) = \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) = \Phi(z) \quad (2.44)$$

$$z = \Phi^{-1}[F(t)] = \left(\frac{t_i-\mu}{\sigma}\right) = \frac{t_i}{\sigma} = \frac{\mu}{\sigma} \quad (2.45)$$

Sehingga parameter distribusi *Normal* dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{1}{b} \quad (2.46)$$

$$\mu = -a\sigma \quad (2.47)$$

$$\mu = -\frac{a}{b} \quad (2.48)$$

- d. Pendugaan parameter distribusi *Eksponensial* dengan regresi linear

Dengan menggunakan metode *Least Square Curve Fitting*, nilai konstanta a dan b dapat diperoleh melalui persamaan:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (2.49)$$

Sehingga parameter distribusi *Eksponensial* dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\lambda = b \quad (2.50)$$

3. Menampilkan distribusi data dengan uji kebaikan suai (*goodness of fit test*).

Pengujian *goodness of fit* (uji kebaikan suai) dilakukan dengan membandingkan antara hipotesa nol (H_0) yang menyatakan bahwa data kerusakan mengikuti distribusi pilihan dan hipotesis alternatif (H_1) yang menyatakan bahwa data kerusakan tidak mengikuti distribusi pilihan. Uji ini menghitung secara statistik berdasarkan data sampel (data sampel waktu kerusakan). Hasil perhitungan ini dibandingkan dengan nilai kritis yang diperoleh dari tabel. Jika hasil perhitungan statistik lebih kecil dibandingkan dengan nilai kritis yang diperoleh dari tabel, maka hipotesa nol (H_0) diterima, yang menyatakan bahwa data kerusakan mengikuti distribusi pilihan. Apabila hasil perhitungan statistik lebih besar dibandingkan dengan nilai kritis yang diperoleh dari tabel, maka hipotesa alternatif (H_1) diterima, yang menyatakan bahwa data kerusakan tidak mengikuti distribusi pilihan.

Pengujian yang dilakukan dalam *goodness of fit* ada tiga macam yaitu *Mann's Test* untuk distribusi *Weibull*, *Bartlett's Test* untuk distribusi *Eksponensial* dan *Kolmogorov-Smirnov* untuk distribusi *Normal* dan *Lognormal*. Nilai kritis tergantung pada derajat kepercayaan (α) pengujian sampel yang ada.

- a. *Mann's Test* untuk pengujian distribusi *Weibull*

Menurut Ebeling hipotesa untuk melakukan uji ini adalah:

H_0 =Data kerusakan berdistribusi *Weibull*

H_1 =Data kerusakan tidak berdistribusi *Weibull*

Uji statistiknya adalah:

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} \left[\frac{((\ln t_{i+1} - \ln t_i))}{M_i} \right]} \quad (2.51)$$

$$M = Z_{i+1} - Z_i \quad (2.52)$$

$$Z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i-0,5}{n+0,25} \right) \right] \quad (2.53)$$

Keterangan:

t_i = data waktu kerusakan yang ke-i

$X_i = \ln(t_i)$

r,n=banyaknya data

M_i = nilai pendekatan *Mann* untuk data ke-i

M_{α,k_1,k_2} = nilai M_{tabel} untuk distribusi *Weibull* → lihat distribusi F

$k_1 = r/2$

$k_2 = (r-1)/2$ → bilangan bulat terbesar yang lebih kecil dari (r/2)

Jika $M_{hitung} < M_{tabel(\alpha,k_1,k_2)}$ → maka H_0 diterima.

- b. *Bartlett's Test* untuk pengujian distribusi *Eksponensial*

Menurut Ebeling hipotesa untuk melakukan uji ini adalah:

H_0 =Data kerusakan berdistribusi *Eksponensial*

H_1 =Data kerusakan tidak berdistribusi *Eksponensial*

Uji statistiknya adalah:

$$B = \frac{2r \left[\ln \left(\frac{1}{R} \right) \sum_{i=1}^r t_i - \left(\frac{1}{R} \right) \sum_{i=1}^r \ln t_i \right]}{1 + \frac{(r+1)}{6r}} \quad (2.54)$$

Keterangan:

t_i = data waktu kerusakan yang ke-i

r = jumlah kerusakan

B = nilai uji statistik *Bartlett's Test*

Jika $X_{1-\alpha/2, r-1}^2 < B < X_{\alpha/2, r-1}^2$ → maka H_0 diterima

- c. *Kolmogorov-Smirnov* untuk pengujian distribusi *Normal* maupun *Lognormal*

Menurut Ebeling, Hipotesa untuk melakukan uji ini adalah :

H_0 = Data kerusakan berdistribusi *Normal* atau *Lognormal*

H_1 = Data kerusakan tidak berdistribusi *Normal* dan *Lognormal*

Uji statistiknya adalah : $D_n = \max\{D_1, D_2\}$ (2.55)

Dimana,

$$D_1 = \max_{1 < i < n} \left\{ \Phi \left(\frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) - \frac{i-1}{n} \right\} \quad (2.56)$$

$$D_2 = \max_{1 < i < n} \left\{ \frac{i}{n} - \Phi \left(\frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) \right\} \quad (2.57)$$

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n \frac{\ln t_i}{n} \quad (2.58)$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \bar{t})^2}{n-1} \quad (2.59)$$

Keterangan:

t_i = data waktu kerusakan ke- i

\bar{t} = rata-rata waktu kerusakan

s = standar deviasi

n = banyaknya kerusakan

Jika $D_n < D_{kritis}$ maka terima H_0 . Nilai D_{kritis} diperoleh dari tabel *critical value for Kolmogorov-Smirnov test for normality*

Setelah ketiga langkah diatas dilakukan maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai MTTF dan MTTR.

- d. *Mean Time to Failure* (MTTF)

Mean time to failure merupakan rata – rata selang waktu kerusakan dari suatu distribusi kerusakan dimana rata-rata waktu ini merupakan waktu ekspektasi terjadinya kerusakan dari unit-unit identik yang beroperasi pada kondisi normal. Berikut adalah rumus untuk mencari nilai MTTF untuk tiap-tiap distribusi.

- 1) Distribusi *Weibull*

$$\text{MTTF} = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (2.60)$$

Nilai $\Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \rightarrow$ didapat dari

$\Gamma(x)$ = tabel fungsi Gamma

- 2) Distribusi *Ekspontial*

$$\text{MTTF} = \frac{1}{\lambda} \quad (2.61)$$

3) Distribusi *Normal*

$$\text{MTTF} = \mu \quad (2.62)$$

4) Distribusi *Lognormal*

$$\text{MTTF} = t_{med} e^{\frac{s^2}{2}} \quad (2.63)$$

e. *Mean Time to Repair (MTTR)*

Dalam menghitung rata-rata atau penentuan nilai tengah dari fungsi probabilitas untuk waktu perbaikan, sangatlah perlu diperhatikan distribusi data perbaikannya. Penentuan untuk pengujian ini dilakukan dengan cara yang sama dengan yang sudah dijelaskan sebelumnya. Berikut adalah rumus untuk mencari nilai MTTR untuk tiap-tiap distribusi.

1) Distribusi *Weibull*

$$\text{MTTR} = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (2.64)$$

Nilai $\Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \rightarrow$ didapat dari

$\Gamma(x)$ = tabel fungsi Gamma

2) Distribusi *Eksponential*

$$\text{MTTR} = \frac{1}{\lambda} \quad (2.65)$$

3) Distribusi *Normal* dan *Lognormal*

$$\text{MTTR} = t_{med} e^{\frac{s^2}{2}} \quad (2.66)$$

$$t_{med} = e^{\mu} \quad (2.67)$$



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian merupakan tahap awal yang menjelaskan langkah-langkah urutan pengerjaan suatu penelitian. Metodologi penelitian dibuat untuk mengarahkan urutan pengerjaan penelitian agar proses penelitian dapat berjalan dengan baik dan mencapai tujuan penelitian yang ditetapkan di awal. Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metode penelitian yang digunakan, tempat dan waktu penelitian, data yang digunakan selama penelitian, langkah-langkah penelitian, dan diagram alir penelitian.

3.1 JENIS PENELITIAN

Penelitian ini termasuk penelitian deskriptif, yaitu penelitian yang berusaha mendeskripsikan suatu gejala, peristiwa, kejadian yang terjadi pada saat sekarang (Sujana dan Ibrahim, 1989). Penelitian deskriptif memusatkan perhatian kepada pemecahan masalah-masalah aktual sebagaimana adanya pada saat penelitian dilaksanakan. Penelitian deskriptif lebih berfungsi untuk pemecahan praktis dari pada pengembangan ilmu pengetahuan.

3.2 TEMPAT DAN WAKTU PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di PT. Tani Gemilang pada November 2014 - Maret 2015.

3.3 PROSEDUR PENELITIAN

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Studi Lapangan

Langkah awal yang perlu dilakukan adalah melakukan pengamatan awal untuk mendapatkan gambaran dari kondisi sebenarnya dari objek yang akan diteliti. Hal ini akan bermanfaat bagi peneliti karena dapat memberikan gambaran yang jelas tentang objek penelitiannya. Dari hasil studi lapangan ini, peneliti dapat mengetahui permasalahan yang terjadi pada perusahaan tersebut.

2. Studi Literatur

Studi literatur digunakan untuk mempelajari teori dan ilmu pengetahuan yang berhubungan dengan permasalahan yang akan diteliti. Sumber literatur berasal dari buku,

jurnal, serta studi terhadap penelitian terdahulu dengan topik utama dalam penelitian ini adalah pengukuran performansi sistem produksi dan penjadwalan *preventive maintenance*.

3. Identifikasi Masalah

Pada tahap ini dilakukan identifikasi masalah pada PT Tani Gemilang. Identifikasi masalah dilakukan dengan tujuan mencari permasalahan yang terjadi. Hasil identifikasi masalah terdapat pada subbab 1.2.

4. Perumusan Masalah

Setelah mengidentifikasi masalah dengan seksama, tahap selanjutnya adalah merumuskan masalah sesuai dengan kenyataan di lapangan. Perumusan masalah merupakan rincian dari permasalahan yang dikaji dan nantinya akan menunjukkan tujuan dari penelitian ini. Perumusan masalah terdapat pada subbab 1.3.

5. Penentuan Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ditentukan berdasarkan perumusan masalah yang telah dijabarkan sebelumnya. Hal ini ditujukan untuk menentukan batasan-batasan yang perlu dalam pengolahan dan analisis hasil pengukuran selanjutnya. Tujuan penelitian terdapat pada subbab 1.4.

3.4 TAHAP PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Penjelasan secara sistematis mengenai tahapan pengumpulan dan pengolahan data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini data yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Data *downtime* mesin
2. Data jam kerja mesin
3. Data produksi pupuk
4. Data *defect* pupuk
5. Profil perusahaan PT. Tani Gemilang
6. Proses produksi PT. Tani Gemilang

Metode pengumpulan data yang dilakukan adalah sebagai berikut:

a. Observasi

Observasi merupakan metode pengumpulan data dengan melakukan pengamatan langsung suatu kegiatan yang sedang dilakukan terhadap obyek

penelitian. Observasi yang telah dilakukan yaitu mengamati tahapan-tahapan proses pembuatan pupuk.

b. Wawancara

Wawancara merupakan metode pengumpulan data dengan cara berkomunikasi langsung dengan pihak-pihak yang berhubungan langsung dengan obyek yang diteliti. Hasil wawancara yang telah dilakukan kepada pihak-pihak terkait mengenai penyebab kerusakan mesin.

c. Dokumentasi Perusahaan

Dokumentasi perusahaan merupakan metode pengumpulan data yang berasal dari arsip, dokumen, atau catatan yang dimiliki perusahaan. Dokumen ini digunakan sebagai pelengkap atau penunjang dalam penelitian.

2. Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan data yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Menghitung nilai *Availability Rate*.
- b. Menghitung nilai *Performance Rate*.
- c. Menghitung nilai *Rate Of Quality Product*.
- d. Menghitung nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE).
- e. Menghitung nilai *Overall Throughput Effectiveness* (OTE).
- f. Memilih komponen kritis pada mesin dan peralatan yang akan dijadwalkan perbaikan preventifnya.
- g. Menghitung nilai *Mean Time to Failure* (MTTF).
- h. Menghitung nilai *Mean Time to Repair* (MTTR).
- i. Membuat jadwal perbaikan mesin secara preventif.
- j. Membandingkan efektivitas sebelum dan sesudah dilakukan penjadwalan *preventive maintenance*.

3.5 TAHAP ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Penjelasan secara sistematis mengenai tahapan analisis dan kesimpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pembahasan

Pada tahap ini akan dibahas hasil pengolahan data yang dilakukan untuk dianalisis dan diuraikan secara detil dan sistematis dari hasil pengolahan data yang dilakukan.

2. Rekomendasi Perbaikan

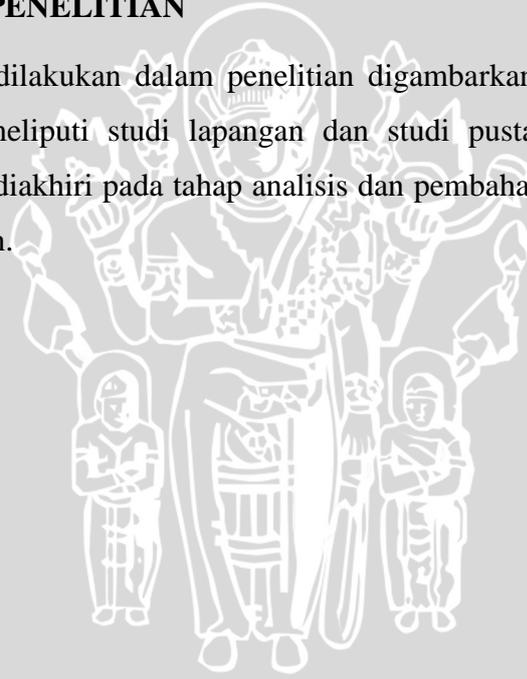
Rekomendasi perbaikan dilakukan dengan meningkatkan nilai *availability rate* pada sistem produksi dengan membuat penjadwalan *preventive maintenance*. Dengan meningkatnya nilai *availability rate* maka *Overall Throughput Effectiveness* (OTE) juga akan meningkat.

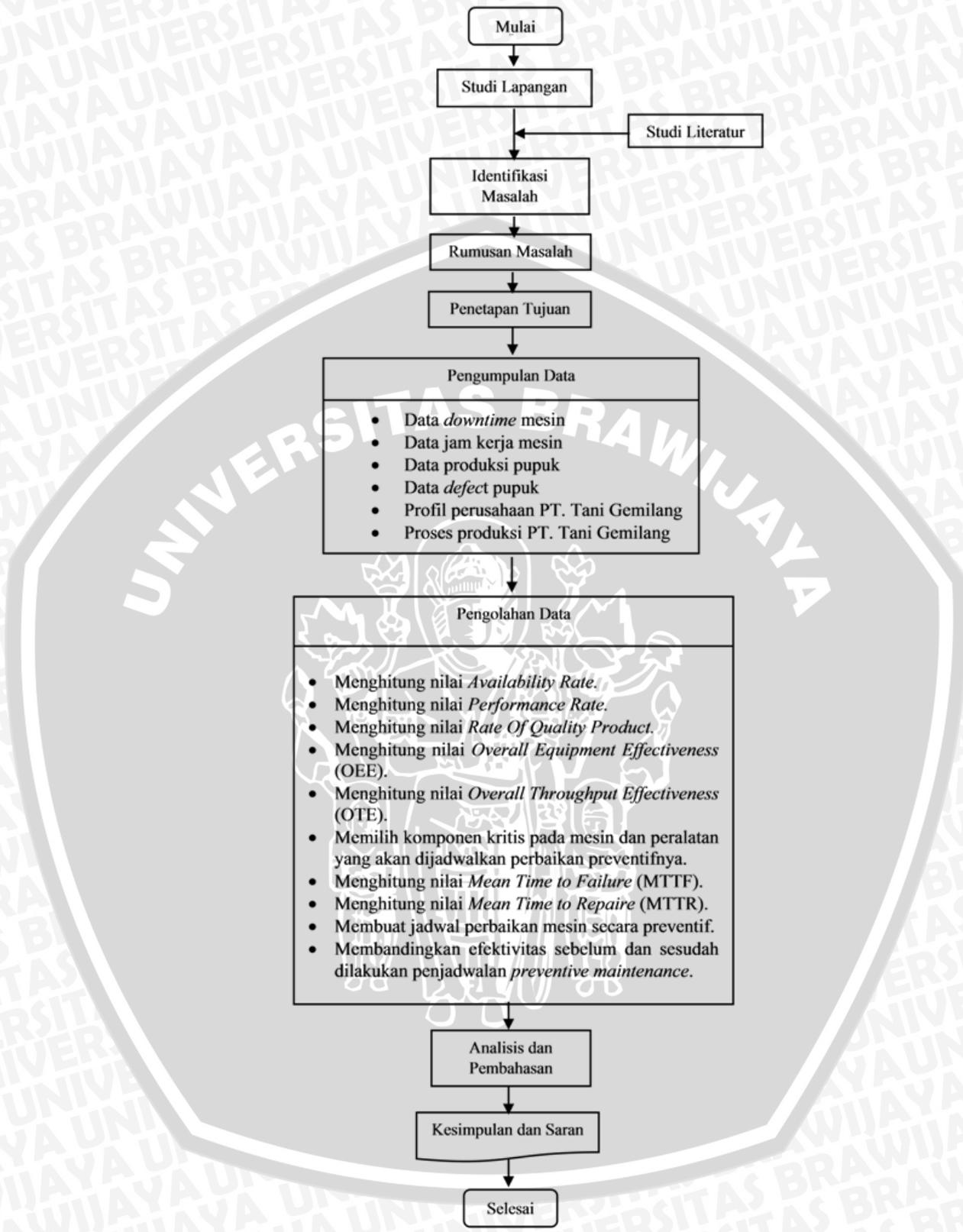
3. Kesimpulan dan Saran

Setelah keseluruhan proses penelitian selesai dilakukan, maka tahapan akhir adalah membuat kesimpulan dari semua proses yang dijalani dengan menuliskan hasil akhir dari penelitian yang menjawab tujuan penelitian di awal. Selain itu juga diberikan saran terkait penelitian apa yang hendaknya dilakukan sebagai bentuk tindak lanjut dari penelitian yang dilakukan saat ini.

3.6 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Tahap-tahap yang dilakukan dalam penelitian digambarkan dalam Gambar 3.1. Penelitian tahap awal meliputi studi lapangan dan studi pustaka guna melakukan identifikasi masalah dan diakhiri pada tahap analisis dan pembahasan berdasarkan hasil pengolahan dan penelitian.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai pengolahan dan analisis data serta rekomendasi perbaikan pada lini produksi yang diteliti.

4.1 GAMBARAN UMUM PERUSAHAAN

Subbab ini menjelaskan gambaran umum objek yang menjadi fokus penelitian ini, meliputi profil perusahaan, produk, dan proses produksi.

4.1.1 Profil Perusahaan

PT. Tani Gemilang merupakan perusahaan yang bermitra dengan PT. Petrokimia Gresik. PT. Tani Gemilang bergerak dalam bidang produksi pupuk organik yang disebut dengan Petroganik. Untuk memenuhi kebutuhan bahan baku pembuatan produk pupuk tersebut, PT. Tani Gemilang bekerjasama dengan supplier dari daerah Blitar. Perusahaan ini hanya melakukan proses produksi pupuk organik, sedangkan untuk pemasarannya dilakukan oleh PT. Petrokimia Gresik.

PT. Tani Gemilang berlokasi di Desa Kerjen yang berada di Kabupaten Blitar Provinsi Jawa Timur dengan luas lahan sebesar 1,8 Ha. Visi PT. Tani Gemilang adalah “Menjadi produsen pupuk yang berdaya saing tinggi dan produknya paling diminati konsumen”. Sedangkan misi PT. Tani Gemilang adalah:

1. Mendukung penyediaan pupuk nasional untuk tercapainya program swasembada pangan.
2. Meningkatkan hasil usaha untuk menunjang kelancaran kegiatan operasional dan pengembangan usaha.

4.1.2 Pupuk Petroganik dan Proses Produksinya

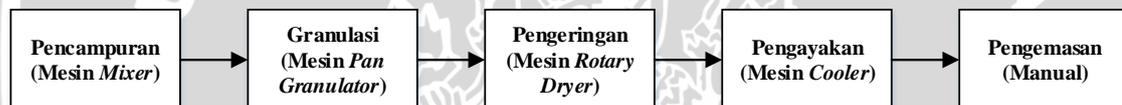
Pupuk organik adalah pupuk yang sebagian besar atau seluruhnya terdiri dari bahan organik yang berasal dari tanaman dan atau hewan yang telah melalui proses rekayasa, dapat berbentuk padat atau cair yang digunakan untuk mensuplai bahan organik tanah, memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Sedangkan pupuk Petroganik ini adalah pupuk organik berbentuk granul (butiran - butiran) yang dibuat dari bahan baku berupa kotoran sapi, kotoran ayam, dan kapur pertanian. Bahan baku tersebut sudah ada takaran tersendiri agar kandungannya sesuai standar pertanian. Contoh produk pupuk Petroganik

yang dihasilkan oleh PT. Tani Gemilang dapat dilihat pada Gambar 4.1. Pupuk ini berbentuk butiran dengan warna coklat.



Gambar 4.1 Pupuk Petroganik PT. Tani Gemilang
Sumber: PT. Tani Gemilang (2014)

Pada Gambar 4.2 disajikan urutan proses pembuatan pupuk organik mulai dari proses pencampuran hingga pengemasan beserta mesin yang digunakan.



Gambar 4.2 Proses produksi pupuk Petroganik
Sumber: PT. Tani Gemilang (2014)

Berikut akan dijelaskan secara rinci proses produksi dari pembuatan pupuk Petroganik meliputi pencampuran, granulasi, pengeringan, pengayakan, dan pengemasan.

1. Proses Pencampuran

Pada tahap ini dilakukan pencampuran bahan baku menggunakan mesin *mixer*. Bahan baku yang dicampurkan yaitu kotoran sapi, kotoran ayam, dan kapur pertanian yang sudah ditimbang sebelumnya sesuai dengan perbandingan takaran masing-masing bahan. Bahan baku tersebut diletakkan pada *conveyor* yang langsung mengarah ke mesin *mixer* dan dicampur hingga merata. Setelah bahan baku tercampur merata kemudian *conveyor* akan membawa campuran tersebut ke dalam mesin *pan granulator*.

2. Proses Granulasi

Proses granulasi adalah proses untuk memperbesar ukuran suatu massa dari partikel-partikel yang ukurannya lebih kecil. Proses ini terjadi di *pan granulator* yang merupakan alat yang digunakan untuk membuat butiran-butiran bahan yang

tercampur menjadi lebih besar dengan merekatkan butiran-butiran tersebut. Pada proses ini butiran-butiran pupuk diberi semprotan perekat saat proses granulasi sedang berlangsung. Proses ini bertujuan agar pupuk yang dihasilkan memiliki butiran yang seragam sehingga mempermudah penggunaannya oleh konsumen dan memiliki kekerasan yang cukup pada saat penyimpanan sehingga tidak mudah menggumpal.

3. Proses Pengeringan

Proses ini adalah proses pengeringan butiran pupuk setelah mengalami proses granulasi. Proses ini dilakukan di dalam mesin *rotary dryer*, yaitu suatu mesin pemanas yang berbentuk tabung berukuran besar. Produk yang telah kering akan keluar dari *rotary dryer* dan dibawa *conveyor* ke proses pengayakan/penyaringan.

4. Proses Pengayakan

Pada proses ini butiran-butiran pupuk akan disaring sehingga akan diketahui butiran yang tidak sesuai standar (2mm – 5mm). Pada saringan awal butiran yang *oversize* ($> 5\text{mm}$) akan dipisahkan dengan butiran yang berukuran $< 5\text{mm}$. Sedangkan pada saringan selanjutnya butiran *undersize* ($< 2\text{mm}$) akan terpisah dengan butiran yang *onsize*. Butiran pupuk *onsize* ini yang kemudian akan dilanjutkan pada proses pengemasan. Sementara produk yang *oversize* dan *undersize* akan diolah lagi sehingga bisa menjadi butiran pupuk *onsize*.

5. Proses Pengemasan

Butiran pupuk yang memiliki ukuran sesuai standar selanjutnya dimasukkan ke dalam karung, ditimbang, kemudian dijahit. Berat pupuk per karung harus 40 kg, setelah dijahit pupuk tersebut diangkut dengan forklift dan disimpan di gudang penyimpanan.

4.2 PENGUMPULAN DATA

Data yang akan diolah pada penelitian ini meliputi data produksi, data waktu kerja, dan data *downtime* untuk semua mesin yang disajikan pada Tabel 4.1, Tabel 4.2, dan Tabel 4.3. Data tersebut yang kemudian diolah pada subbab pengolahan data.

4.2.1 Data Produksi

Lantai produksi pupuk Petroganik di PT. Tani Gemilang mempunyai kapasitas produksi 500 ton/bulan atau 6000 ton/tahun. Dalam setiap produksi pupuk Petroganik

terdapat produk *defect* yang dihasilkan selama proses pengayakan, yaitu proses penyaringan butiran pupuk. Produk *defect* yang dimaksud adalah produk yang ukuran butirannya tidak sesuai dengan standar (*undersize* dan *oversize*). Produk *defect* ini akan diolah kembali ke proses granulasi. Data produksi dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Produksi Juni - Agustus Tahun 2014

Bulan	Bahan Baku (kg)				Defect (kg)	Pupuk Jadi
	Pencampuran	Granulasi	Pengeringan	Pengayakan		
Juni	577.591	583.367	583.367	420.026	116.806	303.220
Juli	291.231	294.143	294.143	219.065	66.505	152.560
Agustus	395.430	399.384	399.384	297.231	99.591	197.640
Total	1.264.252	1.276.895	1.276.895	936.322	282.902	653.420

Sumber: PT. Tani Gemilang (2014)

Berdasarkan rekapitulasi pada Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa total hasil produksi pada bulan Juni - Agustus tahun 2014 adalah sebesar 653,420 ton dan kurang dari target produksi sebesar 1.500 ton dalam 3 bulan. Sedangkan jumlah produk *defect* yang dihasilkan selama proses produksi periode tersebut adalah sebesar 282,902 ton.

4.2.2 Data Jam Kerja

Proses produksi di PT. Tani Gemilang berlangsung selama 16 jam dengan 2 *shift* kerja yang masing-masing *shift* bekerja selama 8 jam/hari tanpa adanya waktu lembur (*overtime*). Data jam kerja pada lantai produksi pupuk Petroganik pada bulan Juni-Agustus tahun 2014 dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Jam Kerja Juni - Agustus Tahun 2014

Bulan	Jam Kerja (hari)	Jam Kerja (jam)	Jam Kerja (menit)
Juni	24	384	23.040
Juli	21	336	20.160
Agustus	20	320	19.200
Total	65	1.040	62.400

Sumber: PT. Tani Gemilang (2014)

Berdasarkan data pada Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa total waktu kerja selama periode bulan Juni-Agustus tahun 2014 adalah sebesar 1.040 jam.

4.2.3 Data Downtime

Berikut ini adalah data *downtime* untuk periode Januari – Agustus 2014 untuk semua mesin dan *material handling* yang terjadi pada PT. Tani Gemilang. Data *downtime* dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data *Downtime* Juni - Agustus Tahun 2014

Bulan	Mesin	Downtime (jam)	Total
Juni	Mixer	32	130
	Pan Granulator	69	
	Rotary Dryer	16	
	Conveyor	8	
	Cooler	5	
Juli	Pan Granulator	80	147
	Mixer	61	
	Cooler	5	
	Conveyor	1	
Agustus	Conveyor	8	40
	Rotary Dryer	32	
Total		317	317

Sumber: PT. Tani Gemilang (2014)

Berdasarkan data pada Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa total *downtime* selama periode bulan Juni - Agustus tahun 2014 adalah sebesar 317 jam.

4.3 PENGOLAHAN DATA

Pada pengolahan data ini akan dihitung nilai dari OEE dan OTE yang dipengaruhi oleh tiga faktor yaitu *availability*, *performance*, dan *quality*. Selanjutnya akan dihitung nilai efektivitas setiap mesin dan efektivitas keseluruhan mesin pada rantai produksi.

4.3.1 Perhitungan Availability Rate

Data yang dibutuhkan untuk menghitung *availability rate* antara lain data jam kerja dan data *downtime* mesin yang dapat dilihat pada Tabel 4.4 hingga Tabel 4.7. Pada perusahaan amatan ketika sebuah mesin mengalami kerusakan atau berhenti bekerja, maka mesin yang lain juga berhenti bekerja karena proses produksi saling terkait satu dengan lainnya. Hal ini disebabkan *output* dari suatu mesin merupakan *input* dari proses setelahnya. Jika satu mesin mati maka tidak ada *output* dari mesin tersebut dan tidak ada bahan baku untuk proses selanjutnya. Sehingga untuk jam *downtime* yang digunakan untuk perhitungan semua mesin adalah jumlah dari *downtime* pada bulan tersebut. Contoh perhitungan *availability rate* mesin *mixer* pada bulan Juni 2014 mengacu pada persamaan (2-2) adalah sebagai berikut:

$$\text{Operation time} = 384 - 130 = 254$$

$$\text{Availability rate} = \frac{254}{384} \times 100\% = 66,15\%$$

Adapun hasil perhitungan *availability rate* mesin *mixer* dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan *Availability Rate* Mesin Mixer

Bulan	Loading Time (Jam)	Downtime (Jam)	Operating time (Jam)	Availability Rate
Juni	384	130	254	66,15%
Juli	336	147	189	56,25%
Agustus	320	40	280	87,50%

Sumber: PT. Tani Gemilang (2014)

Hasil perhitungan *availability rate* mesin *pan granulator* dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan *Availability Rate* Mesin Pan Granulator

Bulan	Loading Time (Jam)	Downtime (Jam)	Operating time (Jam)	Availability Rate
Juni	384	130	254	66,15%
Juli	336	147	189	56,25%
Agustus	320	40	280	87,50%

Sumber: PT. Tani Gemilang (2014)

Hasil perhitungan *availability rate* mesin *rotary dryer* dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan *Availability Rate* Mesin Rotary Dryer

Bulan	Loading Time (Jam)	Downtime (Jam)	Operating time (Jam)	Availability Rate
Juni	384	130	254	66,15%
Juli	336	147	189	56,25%
Agustus	320	40	280	87,50%

Sumber: PT. Tani Gemilang (2014)

Hasil perhitungan *availability rate* mesin *cooler* dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan *Availability Rate* Mesin Cooler

Bulan	Loading Time (Jam)	Downtime (Jam)	Operating time (Jam)	Availability Rate
Juni	384	130	254	66,15%
Juli	336	147	189	56,25%
Agustus	320	40	280	87,50%

Sumber: PT. Tani Gemilang (2014)

Dari Tabel 4.4 hingga Tabel 4.7 dapat diketahui bahwa nilai *availability rate* untuk semua mesin adalah sama pada tiap bulannya yaitu 66,15% pada bulan Juni, 56,25% pada bulan Juli, dan 87,5% pada bulan Agustus yang merupakan nilai tertinggi. Hal ini disebabkan karena proses produksi saling terkait dan tiap proses hanya memiliki satu mesin. Sehingga jika satu mesin mati proses lain tidak bisa berjalan.

4.3.2 Perhitungan Performance Rate

Data yang dibutuhkan dalam perhitungan ini adalah jumlah bahan baku yang diolah, ideal produk yang dihasilkan per jamnya dan waktu operasi yang masing-masing dapat dilihat pada Tabel 4.8 hingga 4.11. Ideal produk yang dihasilkan per-jamnya oleh masing-masing mesin berbeda karena lama waktu proses yang berbeda pada tiap mesin.

Jumlah *processed amount* untuk tiap mesin juga memiliki perbedaan karena pada proses granulasi bahan baku berupa mixtro ditambahkan sejumlah 1% dari jumlah bahan baku lain. Sedangkan pada proses pengayakan berat pupuk yang diolah berkurang karena pada proses pengeringan, air yang ada dalam butiran pupuk menguap. Contoh perhitungan *performance rate* mesin *mixer* pada bulan Juni 2014 mengacu pada persamaan (2-4) adalah sebagai berikut:

$$\text{Performance rate} = \frac{577591}{3750 \times 254} \times 100\% = 60,64\%$$

Adapun hasil perhitungan *performance rate* mesin *mixer* dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan *Performance Rate* Mesin *Mixer*

Bulan	Operating time (Jam)	Processed Amount (Kg)	Ideal Cycle Time (Kg/Jam)	Performance Rate
Juni	254	577.591	3.750	60,64%
Juli	189	291.231	3.750	41,09%
Agustus	280	395.430	3.750	37,66%

Sumber: PT. Tani Gemilang (2014)

Hasil perhitungan *performance rate* mesin *pan granulator* dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan *Performance Rate* Mesin *Pan Granulator*

Bulan	Operating time (Jam)	Processed Amount (Kg)	Ideal Cycle Time (Kg/Jam)	Performance Rate
Juni	254	583.367	2.525	90,96%
Juli	189	294.143	2.525	61,64%
Agustus	280	399.384	2.525	56,49%

Sumber: PT. Tani Gemilang (2014)

Hasil perhitungan *performance rate* mesin *rotary dryer* dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan *Performance Rate* Mesin *Rotary Dryer*

Bulan	Operating time (Jam)	Processed Amount (Kg)	Ideal Cycle Time (Kg/Jam)	Performance Rate
Juni	254	583.367	2.330	98,57%
Juli	189	294.143	2.330	66,79%
Agustus	280	399.384	2.330	61,22%

Sumber: PT. Tani Gemilang (2014)

Hasil perhitungan *performance rate* mesin *cooler* dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan *Performance Rate* Mesin *Cooler*

Bulan	Operating time (Jam)	Processed Amount (Kg)	Ideal Cycle Time (Kg/Jam)	Performance Rate
Juni	254	420.026	1.894	87,32%
Juli	189	219.065	1.894	61,21%
Agustus	280	297.231	1.894	56,05%

Sumber: PT. Tani Gemilang (2014)

Dari Tabel 4.8 hingga Tabel 4.11 dapat diketahui bahwa nilai *performance rate* tertinggi untuk semua mesin terdapat pada bulan Juni, yaitu 60,64% pada mesin *mixer*, 90,96% pada mesin *pan granulator*, 98,57% pada mesin *rotary dryer*, dan pada mesin

cooler sebesar 87,32%. Hal tersebut terjadi karena pada bulan Juni, jumlah bahan baku yang mampu diolah dengan kecepatan idealnya lebih tinggi dibandingkan bulan lainnya.

4.3.3 Perhitungan Rate of Quality

Data yang dibutuhkan dalam perhitungan ini adalah data produksi dan data produk *defect* yang masing-masing dapat dilihat pada Tabel 4.12 hingga Tabel 4.15. Produk yang dikategorikan produk *defect* pada proses pembuatan pupuk adalah butiran yang terlalu besar (*oversize*) atau terlalu kecil (*undersize*). Sehingga untuk inspeksi produk *defect* tidak bisa dilakukan di semua proses. Proses inspeksi dilakukan pada proses pengayakan menggunakan mesin *cooler*. Di dalam mesin *cooler* terdapat saringan yang berfungsi untuk memisahkan butiran pupuk menjadi tiga macam yaitu *oversize*, *undersize*, dan produk jadi (*onsize*). Pupuk *oversize* dan *undersize* ini dapat diolah kembali menggunakan mesin *mixer* dan diolah dari awal sehingga bisa menjadi produk pupuk yang berukuran sesuai (*onsize*).

Karena jenis *defect* tersebut hanya bisa diidentifikasi pada proses pengayakan menggunakan mesin *cooler* maka diasumsikan tidak terdapat *defect* pada proses dan mesin sebelumnya. Contoh perhitungan *rate of quality* mesin *mixer* pada bulan Juni 2014 mengacu pada persamaan (2-5) adalah sebagai berikut:

$$\text{Rate of quality} = \frac{577591-0}{577591} \times 100\% = 100\%$$

Adapun hasil perhitungan *rate of quality* mesin *mixer* dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan *Rate Of Quality* Mesin *Mixer*

Bulan	<i>Processed Amount (Kg)</i>	<i>Defect Amount (Kg)</i>	<i>Rate of Quality</i>
Juni	577.591	0	100,00%
Juli	291.231	0	100,00%
Agustus	395.430	0	100,00%

Sumber: PT. Tani Gemilang (2014)

Hasil perhitungan *rate of quality* mesin *pan granulator* dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan *Rate Of Quality* Mesin *Pan Granulator*

Bulan	<i>Processed Amount (Kg)</i>	<i>Defect Amount (Kg)</i>	<i>Rate of Quality</i>
Juni	583.367	0	100,00%
Juli	294.143	0	100,00%
Agustus	399.384	0	100,00%

Sumber: PT. Tani Gemilang (2014)

Hasil perhitungan *rate of quality* mesin *rotary dryer* dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Hasil Perhitungan *Rate Of Quality* Mesin *Rotary Dryer*

Bulan	Processed Amount (Kg)	Defect Amount (Kg)	Rate of Quality
Juni	583.367	0	100,00%
Juli	294.143	0	100,00%
Agustus	399.384	0	100,00%

Sumber: PT. Tani Gemilang (2014)

Hasil perhitungan *rate of quality* mesin *cooler* dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Hasil Perhitungan *Rate Of Quality* Mesin *Cooler*

Bulan	Processed Amount (Kg)	Defect Amount (Kg)	Rate of Quality
Juni	420.026	116.806	72,19%
Juli	219.065	66.505	69,64%
Agustus	297.231	99.591	66,49%

Sumber: PT. Tani Gemilang (2014)

Dari Tabel 4.12 hingga Tabel 4.15 dapat diketahui bahwa nilai *rate of quality* pada mesin *mixer*, *pan granulator*, dan *rotary dryer* adalah sama yaitu 100%. Sedangkan pada mesin *cooler* adalah sebesar 72,19% pada bulan Juni, 69,64% pada bulan Juli, dan 66,49% pada bulan Agustus.

4.3.4 Perhitungan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE)

Pada tahap ini dilakukan perhitungan nilai OEE dari semua mesin untuk mengetahui efektivitas secara total dari kinerja tiap-tiap peralatan dalam melakukan suatu pekerjaan yang sudah direncanakan, diukur dari data aktual terkait dengan *availability rate*, *performance rate*, dan *rate of quality* yang masing-masing dapat dilihat pada Tabel 4.16 hingga 4.19. Contoh perhitungan OEE mesin *mixer* pada bulan Juni 2014 mengacu pada persamaan (2-1) adalah sebagai berikut:

$$\text{OEE} = 66,15\% \times 60,64\% \times 100,00\% = 40,11\%$$

Adapun hasil perhitungan OEE mesin *mixer* dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Hasil Perhitungan *Overall Equipment Effectiveness* Mesin *Mixer*

Bulan	Availability Rate	Performance Rate	Rate of Quality	OEE
Juni	66,15%	60,64%	100,00%	40,11%
Juli	56,25%	41,09%	100,00%	23,11%
Agustus	87,50%	37,66%	100,00%	32,95%

Sumber: PT. Tani Gemilang (2014)

Hasil perhitungan OEE mesin *pan granulator* dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Hasil Perhitungan *Overall Equipment Effectiveness* Mesin *Pan Granulator*

Bulan	Availability Rate	Performance Rate	Rate of Quality	OEE
Juni	66,15%	90,96%	100,00%	60,17%

Tabel 4.17 Hasil Perhitungan *Overall Equipment Effectiveness* Mesin *Pan Granulator*

Bulan	Availability Rate	Performance Rate	Rate of Quality	OEE
Juli	56,25%	61,64%	100,00%	34,67%
Agustus	87,50%	56,49%	100,00%	49,43%

Sumber: PT. Tani Gemilang (2014)

Hasil perhitungan OEE mesin *rotary dryer* dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Hasil Perhitungan *Overall Equipment Effectiveness* Mesin *Rotary Dryer*

Bulan	Availability Rate	Performance Rate	Rate of Quality	OEE
Juni	66,15%	98,57%	100,00%	65,20%
Juli	56,25%	66,79%	100,00%	37,57%
Agustus	87,50%	61,22%	100,00%	53,57%

Sumber: PT. Tani Gemilang (2014)

Hasil perhitungan OEE mesin *cooler* dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Hasil Perhitungan *Overall Equipment Effectiveness* Mesin *Cooler*

Bulan	Availability Rate	Performance Rate	Rate of Quality	OEE
Juni	66,15%	87,32%	72,19%	41,70%
Juli	56,25%	61,21%	69,64%	23,98%
Agustus	87,50%	56,05%	66,49%	32,61%

Sumber: PT. Tani Gemilang (2014)

Dari Tabel 4.16 hingga Tabel 4.19 dapat diketahui bahwa nilai OEE tertinggi pada mesin *mixer*, *pan granulator*, dan *rotary dryer* terdapat pada bulan Juni, yaitu 40,11% pada mesin *mixer*, 60,17% pada mesin *pan granulator*, 65,2% pada mesin *rotary dryer*, dan pada mesin *cooler* sebesar 41,7%.

4.3.5 Perhitungan *Overall Throughput Effectiveness* (OTE)

Pada tahap ini dilakukan penghitungan nilai *Overall Throughput Effectiveness* dari sistem produksi untuk mengetahui efektivitas suatu sistem yang terdiri dari peralatan - peralatan yang saling terintegrasi. Sebelum menghitung nilai OTE, terlebih dahulu dihitung nilai *bottleneck indicator* dari tiap mesin yang masing-masing dapat dilihat pada Tabel 4.20 hingga 4.23. Contoh perhitungan *bottleneck indicator* mesin *mixer* pada bulan Juni 2014 mengacu pada persamaan (2.7) adalah sebagai berikut:

$$\text{bottleneck indicator} = 40,11\% \times 3750 \times 100,00\% \times 100,00\% \times 72,19\% = 1.085,853$$

Adapun hasil perhitungan *bottleneck indicator* mesin *mixer* dapat dilihat pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Hasil Perhitungan *Bottleneck Indicator* Mesin *Mixer*

Bulan	OEE	Ideal Cycle Time (Kg/Jam)	$\prod_{j=i+1}^n Q_{eff(j)}$	Bottleneck Indicator
Juni	40,11%	3.750	72,19%	1.085,853
Juli	23,11%	3.750	69,64%	603,623

Tabel 4.20 Hasil Perhitungan *Bottleneck Indicator* Mesin Mixer

Bulan	OEE	Ideal Cycle Time (Kg/Jam)	$\prod_{j=i+1}^n Q_{eff(j)}$	Bottleneck Indicator
Agustus	32,95%	3.750	66,49%	821,676

Sumber: PT. Tani Gemilang (2014)

Hasil perhitungan *bottleneck indicator* mesin *pan granulator* dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Hasil Perhitungan *Bottleneck Indicator* Mesin Pan Granulator

Bulan	OEE	Ideal Cycle Time (Kg/Jam)	$\prod_{j=i+1}^n Q_{eff(j)}$	Bottleneck Indicator
Juni	60,17%	2.525	72,19%	1.096,711
Juli	34,67%	2.525	69,64%	609,660
Agustus	49,43%	2.525	66,49%	829,892

Sumber: PT. Tani Gemilang (2014)

Hasil perhitungan *bottleneck indicator* mesin *rotary dryer* dapat dilihat pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Hasil Perhitungan *Bottleneck Indicator* Mesin Rotary Dryer

Bulan	OEE	Ideal Cycle Time (Kg/Jam)	$\prod_{j=i+1}^n Q_{eff(j)}$	Bottleneck Indicator
Juni	65,20%	2.330	72,19%	1.096,711
Juli	37,57%	2.330	69,64%	609,660
Agustus	53,57%	2.330	66,49%	829,892

Sumber: PT. Tani Gemilang (2014)

Hasil perhitungan *bottleneck indicator* mesin *cooler* dapat dilihat pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Hasil Perhitungan *Bottleneck Indicator* Mesin Cooler

Bulan	OEE	Ideal Cycle Time (Kg/Jam)	Bottleneck Indicator
Juni	41,70%	1.894	789,635
Juli	23,98%	1.894	454,048
Agustus	32,61%	1.894	617,625

Sumber: PT. Tani Gemilang (2014)

Dari Tabel 4.20 hingga Tabel 4.23 dapat diketahui bahwa mesin yang memiliki nilai *bottleneck indicator* terkecil untuk setiap bulan adalah mesin *cooler*. Dari nilai *bottleneck indicator* terkecil selanjutnya dicari nilai OTE rangkaian subsitem seri Berdasarkan persamaan (2.8):

Sehingga diperoleh:

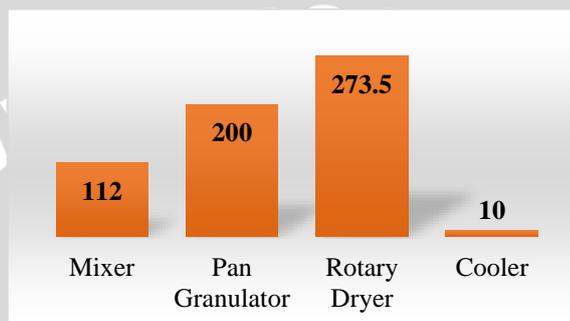
- nilai OTE rantai produksi pada bulan Juni = $\frac{789,635}{1894} = 41,7\%$
- nilai OTE rantai produksi pada bulan Juli = $\frac{454,048}{1894} = 24\%$
- nilai OTE rantai produksi pada bulan Agustus = $\frac{617,625}{1894} = 32,6\%$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh nilai performansi sistem produksi perusahaan yang ditunjukkan dalam bentuk nilai OTE. Jika OEE mengukur efektivitas

produksi mesin maka OTE menggambarkan efektivitas sistem produksi secara keseluruhan. Dari hasil pengukuran performansi subsistem didapatkan 41,7% pada bulan Juni, 24% pada bulan Juli, dan 32,6% pada bulan Agustus tahun 2014. Nilai OTE ini dipengaruhi oleh nilai OEE dari setiap mesin.

4.3.6 Pemilihan Komponen Kritis

Dalam penulisan penelitian ini, penulis meneliti waktu kerusakan pada mesin periode Januari hingga Agustus 2014. Data *downtime* untuk semua mesin pada bulan Januari – Agustus 2014 disajikan pada Gambar 4.3.

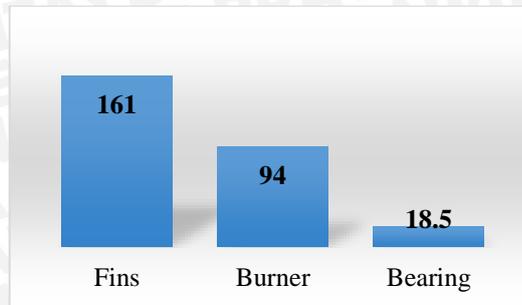


Gambar 4.3 *Downtime* semua mesin bulan Januari – Agustus tahun 2014
Sumber: PT. Tani Gemilang 2014

Dari Gambar 4.3 dapat diketahui *downtime* tertinggi yaitu mesin *rotary dryer* selama 273,5 jam, kemudian mesin *pan granulator* selama 200 jam, mesin *mixer* selama 112 jam, dan mesin *cooler* 10 jam. Dari data kerusakan mesin tersebut akan dianalisis komponen yang memiliki *downtime* tertinggi pada tiap mesin, setelah itu akan dipilih komponen kritis yang akan dijadwalkan perbaikan preventifnya. Berikut penjelasan kerusakan komponen pada tiap mesin.

1. Mesin *Rotary Dryer*

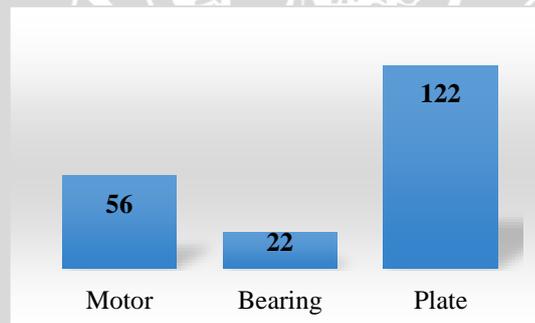
Pada Gambar 4.4 disajikan data kerusakan komponen pada mesin *rotary dryer* yang menyebabkan *downtime* mesin. Komponen yang memiliki *downtime* tertinggi adalah *fins*/sirip dengan kerusakan 161 jam. Komponen lain yang mengalami kerusakan pada mesin *rotary dryer* selain *fins* adalah *burner*/kompor selama 94 jam dan *bearing* selama 18,5 jam. Untuk komponen *burner* perusahaan menyatakan bahwa penyebab kerusakan adalah karena penggantian mekanisme yang awalnya menggunakan bahan bakar batu bara diganti menggunakan gas. Dan saat ini komponen *burner* sudah diganti dengan yang baru serta menggunakan bahan baku batu bara. Sedangkan untuk *bearing* sudah ada *lifetime* dari produsen sehingga bisa diperkirakan waktu kerusakannya.



Gambar 4.4 Downtime komponen mesin *rotary dryer* bulan Januari – Agustus tahun 2014
Sumber: PT. Tani Gemilang 2014

2. Mesin *Pan Granulator*

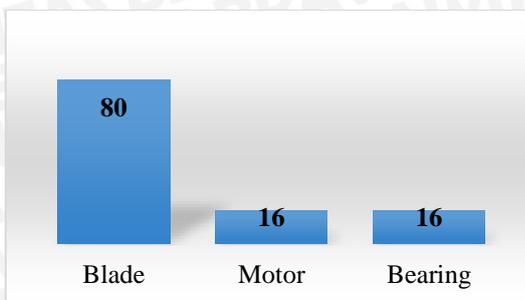
Pada Gambar 4.5 disajikan data kerusakan komponen pada mesin *pan granulator* yang menyebabkan *downtime* mesin. Komponen yang memiliki *downtime* tertinggi pada mesin *pan granulator* adalah *plate* dengan *downtime* 122 jam. Komponen lain yang mengalami kerusakan selain *plate* adalah *bearing* selama 22 jam dan motor penggerak selama 56 jam. *Plate* adalah komponen yang berfungsi sebagai wadah tempat bahan baku yang akan diputar atau digerakkan oleh motor. Namun selama pabrik ini beroperasi sejak tahun 2009 komponen ini baru mengalami kerusakan 2 kali pada masing – masing *plate*. Sementara kerusakan pada motor penggerak lebih sering disebabkan karena suatu kecelakaan.



Gambar 4.5 Downtime komponen mesin *pan granulator* bulan Januari – Agustus tahun 2014
Sumber: PT. Tani Gemilang 2014

3. Mesin *Mixer*

Pada Gambar 4.6 disajikan data kerusakan komponen pada mesin *mixer* yang menyebabkan *downtime* mesin. Komponen yang memiliki *downtime* tertinggi pada mesin *mixer* adalah *blade/pisau* dengan *downtime* selama 80 jam. Komponen lain yang mengalami kerusakan selain *blade* adalah *bearing* selama 16 jam dan motor penggerak selama 16 jam. *Blade* merupakan komponen dari mesin *mixer* yang fungsinya adalah untuk mengaduk bahan baku yang dicampur.



Gambar 4.6 Downtime komponen mesin *mixer* bulan Januari – Agustus tahun 2014
Sumber: PT. Tani Gemilang 2014

4. Mesin *Cooler*

Komponen yang pernah mengalami kerusakan pada mesin *cooler* adalah *filter*/ayakan dengan *downtime* selama 10 jam. Perusahaan menyatakan bahwa penyebab dari rusaknya ayakan itu sendiri bukan berasal dari bahan baku atau pupuk melainkan tertusuk oleh benda lain, sehingga tidak perlu dijadwalkan perbaikan preventifnya. Dari hasil diskusi dengan pihak perusahaan maka komponen kritis yang akan dijadwalkan perbaikan preventifnya adalah *fins* dan *blade*. Meskipun *plate* juga memiliki *downtime* yang tinggi, namun frekuensi kerusakan selama perusahaan beroperasi sejak 2009 adalah dua kali, sehingga tidak bisa dicari nilai MTTF nya. Sementara komponen *bearing* sudah memiliki *lifetime* dari produsen sehingga bisa diperkirakan kapan komponen tersebut harus diganti, namun perlu dilakukan jadwal pelumasan serta pembersihan. Data historis yang digunakan untuk menghitung nilai MTTF dan MTTR komponen *fins* dan *blade* adalah data kerusakan mulai bulan Januari tahun 2012 hingga Agustus tahun 2014. Pada Tabel 4.24 disajikan data waktu kerusakan komponen *fins* bulan Januari tahun 2012 hingga Agustus tahun 2014.

Tabel 4.24 Data Waktu Kerusakan *Fins* September 2012-Mei 2014

Tanggal	TTR(Jam)	TTF(Jam)
13 September 2012	72	
04 Maret 2013	88	1.440
23 September 2013	93	1.504
02 Januari 2014	80	992
14 Mei 2014	81	640

Sumber: PT. Tani Gemilang

Data kerusakan komponen *blade* bulan Juli tahun 2012 hingga Juli tahun 2014 disajikan pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Data Waktu Kerusakan *Blade* Juli 2012- Juli 2014

Tanggal	TTR(Jam)	TTF(Jam)
06 Juli 2012	54	
21 November 2012	56	1.084

Tabel 4.25 Data Waktu Kerusakan *Blade* Juli 2012- Juli 2014

Tanggal	TTR(Jam)	TTF(Jam)
26 April 2013	44	1.168
07 September 2013	48	1.216
10 Januari 2014	32	1.136
4 Juli 2014	48	940

Sumber: PT. Tani Gemilang

4.3.7 Penentuan Interval Waktu Perbaikan Komponen Kritis

Untuk menjadwalkan perbaikan secara preventif terhadap *fins* dan *blade* maka perlu dicari selisih nilai *mean time to failure* (MTTF) dan nilai *mean time to repair* (MTTR). Nilai MTTF dan MTTR diperoleh setelah diketahui distribusi yang sesuai dari data kerusakan.

4.3.7.1 Perhitungan Index of Fit (r) dan Pendugaan Parameter Distribusi Data Waktu Time To Failure (TTF)

Perhitungan *index of fit* (r) dilakukan untuk mengetahui jenis distribusi yang dipakai dari data *time to failure*. Dari distribusi yang dipakai, dapat diketahui rumus mana yang akan digunakan untuk melakukan perhitungan *mean time to failure* (MTTF). Ada 4 distribusi yang akan dipakai dalam mencari nilai *index of fit* (r), yaitu distribusi *Weibull*, *Normal*, *Lognormal*, dan *Exponential*.

1. *Index of Fit* (r) pada komponen *fins*

a. Distribusi *Weibull time to failure* (TTF)

Berdasarkan persamaan (2.34) maka diperoleh nilai $F(t_1) = \frac{1-0.3}{4+0.4} = 0,1591$

Berdasarkan persamaan (2.17) maka diperoleh nilai $x_1 = \ln(640) = 6,4615$

Berdasarkan persamaan (2.18) maka diperoleh nilai

$$y_1 = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1-0.1591} \right) \right] = -1,7529$$

Hasil dari perhitungan untuk mencari *index of fit* berdistribusi *Weibull* disajikan pada Tabel 4.26.

Tabel 4.26 Perhitungan *Index of fit* Berdasarkan Distribusi *Weibull* Data Waktu TTF pada Komponen *Fins*

i	t_i	$x_i = \ln(t_i)$	$F(t_i)$	y_i	$x_i y_i$	x_i^2	y_i^2
1	640	6,4615	0,1591	-1,7529	-11,3263	41,7506	3,0726
2	992	6,8997	0,3864	-0,7167	-4,9452	47,6062	0,5137
3	1440	7,2724	0,6136	-0,0503	-0,3656	52,8878	0,0025
4	1504	7,3159	0,8409	0,6088	4,4541	53,5222	0,3707
Σ	4576	27,9495	2,0000	-1,9110	-12,1828	195,7667	3,9595

Berdasarkan persamaan (2.16) maka diperoleh nilai *index of fit*:

$$r_{weibull} = \frac{(4 \times -12,1828) - 27,9495 \times (-1,9110)}{\sqrt{[4 \times 195,7667 - (27,9495)^2][4 \times 3,9595 - (-1,9110)^2]}} = 0,9745$$

b. Distribusi *Normal time to failure* (TTF)

Berdasarkan persamaan (2.21) maka diperoleh nilai $y_{1(0.1591)} = -0,9982$

Hasil dari perhitungan untuk mencari *index of fit* berdistribusi *normal* disajikan pada Tabel 4.27.

Tabel 4.27 Perhitungan *Index of fit* Berdasarkan Distribusi *Normal* Data Waktu TTF pada Komponen *Fins*

i	t_i	$x_i = t_i$	$F(t_i)$	$y_i = z_i$	$x_i z_i$	x_i^2	z_i^2
1	640	640	0,1591	-0,9982	-638,8536	409.600	0,9964
2	992	992	0,3864	-0,2888	-286,5006	984.064	0,0834
3	1440	1440	0,6136	0,2888	415,8944	2.073.600	0,0834
4	1504	1504	0,8409	0,9982	1501,3330	2.262.016	0,9965
Σ	4576	4576	2,0000	0,0000	991,8733	5.729.280	2,1597

Berdasarkan persamaan (2.19) maka diperoleh nilai *index of fit*:

$$r_{normal} = \frac{(4 \times 991,8733) - (4576 \times 0)}{\sqrt{[4 \times 5729280 - (4576)^2][4 \times 2,1597 - (0)^2]}} = 0,9599$$

c. Distribusi *Lognormal time to failure* (TTF)

Berdasarkan persamaan (2.24) maka diperoleh nilai $y_{1(0.1591)} = -0,9982$

Hasil dari perhitungan untuk mencari *index of fit* berdistribusi *lognormal* disajikan pada Tabel 4.28.

Tabel 4.28 Perhitungan *Index of fit* Berdasarkan Distribusi *Lognormal* Data Waktu TTF pada Komponen *Fins*

i	t_i	$x_i = \ln(t_i)$	$F(t_i)$	$y_i = z_i$	$x_i z_i$	x_i^2	z_i^2
1	640	6,4615	0,1591	-0,9982	-6,4499	41,7506	0,9964
2	992	6,8997	0,3864	-0,2888	-1,9927	47,6062	0,0834
3	1440	7,2724	0,6136	0,2888	2,1004	52,8878	0,0834
4	1504	7,3159	0,8409	0,9982	7,3029	53,5222	0,9965
Σ	4576	27,9495	2,0000	0,0000	0,9607	195,7667	2,1597

Berdasarkan persamaan (2.22) maka diperoleh nilai *index of fit*:

$$r_{lognormal} = \frac{(4 \times 0,9607) - (27,9495 \times 0)}{\sqrt{[4 \times 195,7667 - (27,9495)^2][4 \times 2,1597 - (0)^2]}} = 0,9499$$

d. Distribusi *Eksponential time to failure* (TTF)

Berdasarkan persamaan (2.27) maka diperoleh nilai

$$y_1 = \left[\ln \left(\frac{1}{1 - 0,1591} \right) \right] = 0,1733$$

Hasil dari perhitungan untuk mencari *index of fit* berdistribusi *eksponential* disajikan pada Tabel 4.29.

Tabel 4.29 Perhitungan *Index of fit* Berdasarkan Distribusi *Ekspontial* Data Waktu TTF pada Komponen *Fins*

i	t_i	$x_i = t_i$	$F(t_i)$	y_i	$x_i y_i$	x_i^2	y_i^2
1	640	640	0,1591	0,1733	110,8939	409.600	0,0300
2	992	992	0,3864	0,4884	484,4459	984.064	0,2385
3	1440	1440	0,6136	0,9510	1369,4059	2.073.600	0,9044
4	1504	1504	0,8409	1,8383	2764,7723	2.262.016	3,3793
Σ	4576	4576	2,0000	3,4509	4729,5181	5.729.280	4,5521

Berdasarkan persamaan (2.25) maka diperoleh nilai *index of fit*:

$$r_{\text{eksponensial}} = \frac{(4 \times 4729,5181) - (4576 \times 3,4509)}{\sqrt{[4 \times 5729280 - (4576)^2][4 \times 4,5521 - (3,4509)^2]}} = 0,8859$$

Berikut ini adalah ringkasan nilai *index of fit* (r) hasil keempat distribusi di atas:

$$r_{\text{weibull}} = 0,9745 (\text{paling besar})$$

$$r_{\text{normal}} = 0,9599$$

$$r_{\text{lognormal}} = 0,9499$$

$$r_{\text{eksponensial}} = 0,8859$$

Berdasarkan hasil ringkasan di atas, terlihat bahwa nilai *index of fit* (r) yang terbesar adalah dengan menggunakan distribusi *Weibull*, maka parameter yang digunakan adalah β dan θ .

Persamaan $y_t = a + bx_i \rightarrow$ menggambarkan garis lurus dengan gradien b dan konstanta a . Nilai b sebagai gradien lurus menentukan kemiringan garis, maka b disebut parameter bentuk (β)

$$\text{Berdasarkan persamaan (2.36) maka diperoleh nilai } \bar{y} = \frac{-1,9110}{4} = -0,4778$$

$$\text{Berdasarkan persamaan (2.37) maka diperoleh nilai } \bar{x} = \frac{27,9495}{4} = 6,9874$$

Berdasarkan persamaan (2.35) maka diperoleh nilai konstanta b .

$$b = \frac{(4 \times -12,1828) - (27,9495 \times -1,9110)}{(4 \times 195,7667) - (27,9495)^2} = 2,472126$$

Berdasarkan persamaan (2.38) maka diperoleh nilai konstanta a .

$$a = -0,4778 - (2,472126 \times) = -17,75142$$

Berdasarkan persamaan (2.39) maka diperoleh nilai $\beta = b \rightarrow \beta = 2,472126$

Berdasarkan persamaan (2.38) maka diperoleh nilai

$$\theta = e^{-\left(\frac{a}{b}\right)} = e^{-\left(\frac{-17,75142}{2,472126}\right)} = 1313,7239$$

Dengan nilai $\beta > 2$ ini menunjukkan bahwa laju kerusakan untuk komponen *fins* terus meningkat.

2. *Index of Fit* (r) pada komponen *blade*

a. Distribusi *Weibull time to failure* (TTF)

Berdasarkan persamaan (2.34) maka diperoleh nilai $F(t_1) = \frac{1-0.3}{5+0.4} = 0,1296$

Berdasarkan persamaan (2.17) maka diperoleh nilai $x_1 = \ln(940) = 6,8459$

Berdasarkan persamaan (2.18) maka diperoleh nilai

$$y_1 = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1-0,1296} \right) \right] = -1,9745$$

Hasil dari perhitungan untuk mencari *index of fit* berdistribusi *weibull* disajikan pada Tabel 4.30.

Tabel 4.30 Perhitungan *Index of fit* Berdasarkan Distribusi *Weibull* Data Waktu TTF pada Komponen *Blade*

i	t_i	$x_i = \ln(t_i)$	$F(t_i)$	y_i	$x_i y_i$	x_i^2	y_i^2
1	940	6,8459	0,1296	-1,9745	-13,5169	46,8661	3,8985
2	1084	6,9884	0,3148	-0,9727	-6,7975	48,8379	0,9461
3	1136	7,0353	0,5000	-0,3665	-2,5785	49,4950	0,1343
4	1168	7,0630	0,6852	0,1448	1,0225	49,8866	0,0210
5	1216	7,1033	0,8704	0,7145	5,0750	50,4572	0,5104
Σ	5544	35,0359	2,5000	-2,4544	-16,7955	245,5428	5,5103

Berdasarkan persamaan (2.16) maka diperoleh nilai *index of fit*:

$$r_{weibull} = \frac{(4 \times -16,7955) - 35,0359 \times (-2,4544)}{\sqrt{[4 \times 245,5428 - (35,0359)^2][4 \times 5,5103 - (-2,4544)^2]}} = 0,9775$$

b. Distribusi *Normal time to failure* (TTF)

Berdasarkan persamaan (2.21) maka diperoleh nilai $y_{1(0,1296)} = -1,1218$

Hasil dari perhitungan untuk mencari *index of fit* berdistribusi *Normal* disajikan pada Tabel 4.31.

Tabel 4.31 Perhitungan *Index of fit* Berdasarkan Distribusi *Normal* Data Waktu TTF pada Komponen *Blade*

i	t_i	$x_i = t_i$	$F(t_i)$	$y_i = z_i$	$x_i z_i$	x_i^2	z_i^2
1	940	940	0,1296	-1,1218	-1054,5276	883.600	1,2585
2	1084	1084	0,3148	-0,4823	-522,7616	1.175.056	0,2326
3	1136	1136	0,5000	0,0000	0,0000	1.290.496	0,0000
4	1168	1168	0,6852	0,4822	563,2637	1.364.224	0,2326
5	1216	1216	0,8704	1,1282	1371,8451	1.478.656	1,2727
Σ	5544	5544	2,5000	0,0063	357,8196	6.192.032	2,9964

Berdasarkan persamaan (2.19) maka diperoleh nilai *index of fit*:

$$r_{normal} = \frac{(4 \times 357,8196) - (5544 \times 0,0063)}{\sqrt{[4 \times 6192032 - (5544)^2][4 \times 2,9964 - (0,0063)^2]}} = 0,9570$$

c. Distribusi *Lognormal time to failure* (TTF)

Berdasarkan persamaan (2.24) maka diperoleh nilai $y_{1(0,1296)} = -1,1218$

Hasil dari perhitungan untuk mencari *index of fit* berdistribusi *Lognormal* disajikan pada Tabel 4.32.

Tabel 4.32 Perhitungan *Index of fit* Berdasarkan Distribusi *Lognormal* Data Waktu TTF pada Komponen *Blade*

i	t_i	$x_i = \ln(t_i)$	$F(t_i)$	$y_i = z_i$	$x_i z_i$	x_i^2	z_i^2
1	940	6,8459	0,1296	-1,1218	-7,6800	46,8661	1,2585
2	1084	6,9884	0,3148	-0,4823	-3,3702	48,8379	0,2326
3	1136	7,0353	0,5000	0,0000	0,0000	49,4950	0,0000
4	1168	7,0630	0,6852	0,4822	3,4061	49,8866	0,2326
5	1216	7,1033	0,8704	1,1282	8,0137	50,4572	1,2727
Σ	5544	35,0359	2,5000	0,0063	0,3697	245,5428	2,9964

Berdasarkan persamaan (2.22) maka diperoleh nilai *index of fit*:

$$r_{\lognormal} = \frac{(4 \times 0,3697) - (35,0359 \times 0,0063)}{\sqrt{[4 \times 245,5428 - (35,0359)^2][4 \times 2,9964 - (0,0063)^2]}} = 0,9456$$

d. Distribusi *Exponential time to failure* (TTF)

Berdasarkan persamaan (2.27) maka diperoleh nilai

$$y_1 = \left[\ln \left(\frac{1}{1 - 0,1296} \right) \right] = 0,1388$$

Hasil dari perhitungan untuk mencari *index of fit* berdistribusi *Exponential* disajikan pada Tabel 4.33.

Tabel 4.33 Perhitungan *Index of fit* Berdasarkan Distribusi *Exponential* Data Waktu TTF pada Komponen *Blade*

i	t_i	$x_i = t_i$	$F(t_i)$	y_i	$x_i y_i$	x_i^2	y_i^2
1	940	940	0,1296	0,1388	130,5063	883.600	0,0193
2	1084	1084	0,3148	0,3781	409,8237	1.175.056	0,1429
3	1136	1136	0,5000	0,6931	787,4152	1.290.496	0,4805
4	1168	1168	0,6852	1,1558	1349,9402	1.364.224	1,3358
5	1216	1216	0,8704	2,0431	2484,3779	1.478.656	4,1742
Σ	5544	5544	2,5000	4,4089	5162,0632	6.192.032	6,1526

Berdasarkan persamaan (2.25) maka diperoleh nilai *index of fit*:

$$r_{eksponensial} = \frac{(4 \times 5162,0632) - (5544 \times 4,4089)}{\sqrt{[4 \times 6192032 - (5544)^2][4 \times 6,1526 - (4,4089)^2]}} = 0,8581$$

Berikut ini adalah ringkasan nilai *index of fit* (r) hasil keempat distribusi di atas:

$$r_{weibull} = 0,9775 \text{ (paling besar)}$$

$$r_{normal} = 0,9570$$

$$r_{lognormal} = 0,9456$$

$$r_{eksponensial} = 0,8581$$

Berdasarkan hasil ringkasan di atas, terlihat bahwa nilai *index of fit* (r) yang terbesar adalah dengan menggunakan distribusi *Weibull*, maka parameter yang digunakan adalah β dan θ .

Persamaan $y_t = a + bx_i \rightarrow$ menggambarkan garis lurus dengan gradien b dan konstanta a . Nilai b sebagai gradien lurus menentukan kemiringan garis, maka b disebut parameter bentuk (β)

Berdasarkan persamaan (2.36) maka diperoleh nilai $\bar{y} = \frac{-2,4544}{5} = -0,4909$

Berdasarkan persamaan (2.37) maka diperoleh nilai $\bar{x} = \frac{35,0359}{5} = 7,0072$

Berdasarkan persamaan (2.37) maka diperoleh nilai

$$b = \frac{(5 \times -16,7955) - (35,0359 \times -2,4544)}{(5 \times 245,5428) - (35,0359)^2} = 10,2024$$

Berdasarkan persamaan (2.38) maka diperoleh nilai konstanta a.

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = -0,4909 - (10,2024 \times 7,0072) = -71,9808$$

Berdasarkan persamaan (2.39) maka diperoleh nilai $\beta = b \rightarrow \beta = 10,2024$

Berdasarkan persamaan (2.38) maka diperoleh nilai

$$\theta = e^{-\left(\frac{a}{b}\right)} = e^{-\left(\frac{-71,9808}{10,2024}\right)} = 1158,9745$$

Dengan nilai $\beta > 2$ ini menunjukkan bahwa laju kerusakan untuk komponen *fins* terus meningkat.

4.3.7.2 Uji Kesesuaian (Goodness of Fit Test) Distribusi Data Waktu Time To Failure (TTF)

Tahap ini bertujuan untuk mengetahui apakah data kerusakan membentuk suatu distribusi tertentu. Pengujian ini dilakukan berdasarkan nilai *index of fit* yang terbesar. Kemudian membandingkan antara hipotesis nol (H_0) yang menyatakan bahwa data kerusakan mengikuti distribusi pilihan dan hipotesis alternatif (H_1) yang menyatakan bahwa data kerusakan tidak mengikuti distribusi terpilih.

1. Uji kesesuaian distribusi data waktu TTF pada komponen *fins*

Karena nilai *index of fit* yang terbesar terdapat pada distribusi *Weibull*, maka pengujian yang dilakukan dengan menggunakan uji *Mann* (perhitungan manual).

Adapun hipotesisnya adalah sebagai berikut:

H_0 = Data kerusakan berdistribusi *Weibull*

H_1 = Data kerusakan tidak berdistribusi *Weibull*

$\alpha = 0.05 \rightarrow M_{tabel} = M_{0,05,2,1} \rightarrow$ lihat tabel distribusi F = 200

Berdasarkan persamaan (2.53) maka diperoleh nilai

$$Z_1 = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1-0,5}{4+0,25} \right) \right] = -2,1389$$

Berdasarkan persamaan (2.52) maka diperoleh nilai

$$M_1 = -0,9027 - (-2,1389) = 1,2362$$

Pada Tabel 4.34 disajikan rekap hasil perhitungan yang digunakan untuk mencari nilai M_{hitung}

Tabel 4.34 Uji Kesesuaian Distribusi *Weibull* Data Waktu TTF pada Komponen *Fins*

i	t_i	$\ln(t_i)$	Z_i	M_i	$\ln(t_{i+1}) - \ln(t_i)$	$\ln(t_{i+1}) - \ln(t_i) / M_i$
1	640	6,4615	-2,1389	1,2362	0,4383	0,3545
2	992	6,8997	-0,9027	0,6931	0,3037	0,4381
3	1440	7,2034	-0,2096	0,6178	0,1125	0,1821
4	1504	7,3159	0,4082			
Σ	4576	27,8805	-2,8430	2,5471	0,8544	0,9747

Berdasarkan persamaan (2.51) maka diperoleh nilai

$$M_{hitung} = \frac{2 \times 0,1821}{1 \times 0,7926} = 0,4594$$

Dari hasil perhitungan terlihat bahwa $M_{hitung} < M_{tabel} \rightarrow 0,4594 < 200$ sehingga H_0 diterima yang artinya data waktu TTF pada komponen *fins* berdistribusi *Weibull*.

2. Uji kesesuaian distribusi data waktu TTF pada komponen *blade*

Karena nilai *index of fit* yang terbesar terdapat pada distribusi *Weibull*, maka pengujian yang dilakukan dengan menggunakan uji *Mann* (perhitungan manual). Adapun hipotesisnya adalah sebagai berikut:

H_0 = Data kerusakan berdistribusi *Weibull*

H_1 = Data kerusakan tidak berdistribusi *Weibull*

$\alpha = 0.05 \rightarrow M_{tabel} = M_{0,05,3,2} \rightarrow$ lihat distribusi F = 19,2

Berdasarkan persamaan (2.53) maka diperoleh nilai

$$Z_1 = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1-0,5}{5+0,25} \right) \right] = -2,3506$$

Berdasarkan persamaan (2.52) maka diperoleh nilai

$$M = Z_{i+1} - Z_i = -1,1143 - (-2,3506) = 1,2063$$

Pada Tabel 4.35 disajikan rekap hasil perhitungan yang digunakan untuk mencari nilai M_{hitung}

Tabel 4.35 Uji Kesesuaian Distribusi *Weibull* Data Waktu TTF pada Komponen *Blade*

i	t_i	$\ln(t_i)$	Z_i	M_i	$\ln(t_{i+1}) - \ln(t_i)$	$\ln(t_{i+1}) - \ln(t_i) / M_i$
1	940	6,8459	-2,3506	1,2063	0,1425	0,1182
2	1084	6,9884	-1,1443	0,6436	0,0469	0,0728
3	1136	7,0353	-0,5007	0,5122	0,0278	0,0542
4	1168	7,0630	0,0115	0,5219	0,0403	0,0772
5	1216	7,1033	0,5334			
Σ	5544	35,0359	-3,4506	2,8840	0,2574	0,3224

Berdasarkan persamaan (2.51) maka diperoleh nilai $M_{hitung} = \frac{3 \times 0,0772}{2 \times 0,3995} = 0,4721$

Dari hasil perhitungan terlihat bahwa $M_{hitung} < M_{tabel} \rightarrow 0,4721 < 19,2$ sehingga H_0 diterima yang artinya data waktu TTF pada komponen *blade* berdistribusi *Weibull*.

4.3.7.3 Perhitungan Nilai Mean Time to Failure (MTTF)

Setelah kita melakukan uji kesesuaian distribusi data melalui *goodness of fit test*, maka langkah selanjutnya kita melakukan perhitungan MTTF berdasarkan rumus dari distribusi sesuai dengan parameter yang telah ada.

1. Perhitungan nilai MTTF komponen *fins*

Distribusi yang terbentuk adalah *Weibull*, maka parameter yang digunakan adalah β (*shape parameter*) dan θ (*scale parameter*)

Dari hasil perhitungan pada tahap pendugaan parameter distribusi, didapatkan nilai:

$$\beta = 2,4721$$

$$\theta = 1313,7239$$

Dengan Berdasarkan persamaan (2.60) maka diperoleh nilai:

$$MTTF = 1313,7239 \Gamma\left(1 + \frac{1}{2,4721}\right)$$

$$MTTF = 1313,7239 \Gamma(1,40) \rightarrow \text{diperoleh dari Tabel fungsi Gamma}$$

$$MTTF = 1313,7239(0,88726) = 1165,615$$

Jadi, nilai rata-rata *time to failure* dari komponen *fins* adalah 1165,615 jam.

2. Perhitungan nilai MTTF komponen *blade*

Distribusi yang terbentuk adalah *Weibull*, maka parameter yang digunakan adalah β (*shape parameter*) dan θ (*scale parameter*)

Dari hasil perhitungan pada tahap pendugaan parameter distribusi, didapatkan nilai:

$$\beta = 10,2024$$

$$\theta = 1158,9745$$

Dengan Berdasarkan persamaan (2.60) maka diperoleh nilai:

$$MTTF = 1158,9745 \Gamma\left(1 + \frac{1}{10,2024}\right)$$

$$MTTF = 1158,9745 \Gamma(1,10) \rightarrow \text{diperoleh dari Tabel fungsi Gamma}$$

$$MTTF = 1158,9745(0,95153) = 1102,799$$

Jadi, nilai rata-rata *time to failure* dari komponen *blade* adalah 1102,799 jam.

4.3.7.4 Perhitungan Index of Fit (r) dan Pendugaan Parameter Distribusi Data Waktu Time To Repair (TTR)

Perhitungan *index of fit* (r) dilakukan untuk mengetahui jenis distribusi yang dipakai dari data *time to repair*. Dari distribusi yang dipakai, dapat diketahui rumus mana yang akan digunakan untuk melakukan perhitungan *mean time to repair* (MTTR). Ada 4 distribusi yang akan dipakai dalam mencari nilai *index of fit* (r), yaitu distribusi *Weibull*, *Normal*, *Lognormal*, dan *Exponential*.

1. *Index of Fit* (r) pada komponen *fins*

a. Distribusi *Weibull time to repair* (TTR)

Berdasarkan persamaan (2.34) maka diperoleh nilai $F(t_1) = \frac{1-0.3}{5+0.4} = 0,1296$

Berdasarkan persamaan (2.17) maka diperoleh nilai $x_1 = \ln(72) = 4,2767$

Berdasarkan persamaan (2.18) maka diperoleh nilai

$$y_1 = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1-0,1296} \right) \right] = -1,9745$$

Hasil dari perhitungan untuk mencari *index of fit* berdistribusi *Weibull* disajikan pada Tabel 4.36.

Tabel 4.36 Perhitungan *Index of fit* Berdasarkan Distribusi *Weibull* Data Waktu TTR pada Komponen *Fins*

i	t_i	$x_i = \ln(t_i)$	$F(t_i)$	y_i	$x_i y_i$	x_i^2	y_i^2
1	72	4,2767	0,1296	-1,9745	-8,4441	18,2899	3,8985
2	80	4,3820	0,3148	-0,9727	-4,2623	19,2022	0,9461
3	81	4,3944	0,5000	-0,3665	-1,6106	19,3112	0,1343
4	88	4,4773	0,6852	0,1448	0,6482	20,0465	0,0210
5	93	4,5326	0,8704	0,7145	3,2383	20,5445	0,5104
Σ	414	22,0631	2,5000	-2,4544	-10,4305	97,3942	5,5103

Berdasarkan persamaan (2.16) maka diperoleh nilai *index of fit*:

$$r_{weibull} = \frac{(4 \times -10,4305) - (-10,4305 \times (-2,4544))}{\sqrt{[4 \times 97,3942 - (22,0631)^2][4 \times 5,5103 - (-2,4544)^2]}} = 0,984$$

b. Distribusi *Normal time to repair* (TTR)

Berdasarkan persamaan (2.21) maka diperoleh nilai $y_{1(0,1296)} = -1,1218$

Hasil dari perhitungan untuk mencari *index of fit* berdistribusi *Normal* disajikan pada Tabel 4.37.

Tabel 4.37 Perhitungan *Index of fit* Berdasarkan Distribusi *Normal* Data Waktu TTR pada Komponen *Fins*

i	t_i	$x_i = t_i$	$F(t_i)$	$y_i = z_i$	$x_i z_i$	x_i^2	z_i^2
1	72	72	0,1296	-1,1218	-80,7723	5.184	1,2585
2	80	80	0,3148	-0,4823	-38,5802	6.400	0,2326
3	81	81	0,5000	0,0000	0,0000	6.561	0,0000
4	88	88	0,6852	0,4822	42,4377	7.744	0,2326

Tabel 4.37 Perhitungan *Index of fit* Berdasarkan Distribusi *Normal* Data Waktu TTR pada Komponen *Fins*

i	t_i	$x_i = t_i$	$F(t_i)$	$y_i = z_i$	$x_i z_i$	x_i^2	z_i^2
5	93	93	0,8704	1,1282	104,9191	8.649	1,2727
Σ	414	414	2,5000	0,0063	28,0042	34.538	2,9964

Berdasarkan persamaan (2.19) maka diperoleh nilai *index of fit*:

$$r_{normal} = \frac{(4 \times 28,0042) - (414 \times 0,0063)}{\sqrt{[4 \times 34,538 - (414)^2][4 \times 2,996 - (0,0063)^2]}} = 0,987$$

- c. Distribusi *Lognormal time to repair* (TTR)

Berdasarkan persamaan (2.24) maka diperoleh nilai $y_{1(0,1296)} = -1,1218$

Hasil dari perhitungan untuk mencari *index of fit* berdistribusi *Lognormal* disajikan pada Tabel 4.38.

Tabel 4.38 Perhitungan *Index of fit* Berdasarkan Distribusi *Lognormal* Data Waktu TTR pada Komponen *Fins*

i	t_i	$x_i = \ln(t_i)$	$F(t_i)$	$y_i = z_i$	$x_i z_i$	x_i^2	z_i^2
1	72	4,2767	0,1296	-1,1218	-4,7977	18,2899	1,2585
2	80	4,3820	0,3148	-0,4823	-2,1132	19,2022	0,2326
3	81	4,3944	0,5000	0,0000	0,0000	19,3112	0,0000
4	88	4,4773	0,6852	0,4822	2,1592	20,0465	0,2326
5	93	4,5326	0,8704	1,1282	5,1135	20,5445	1,2727
Σ	414	22,0631	2,5000	0,0063	0,3617	97,3942	2,9964

Berdasarkan persamaan (2.22) maka diperoleh nilai *index of fit*:

$$r_{lognormal} = \frac{(4 \times 0,3617) - (22,0631 \times 0,0063)}{\sqrt{[4 \times 97,3942 - (22,0631)^2][4 \times 2,9964 - (0,0063)^2]}} = 0,985$$

- d. Distribusi *Eksponensial time to repair* (TTR)

Berdasarkan persamaan (2.27) maka diperoleh nilai

$$y_1 = \left[\ln \left(\frac{1}{1 - 0,1296} \right) \right] = 0,1733$$

Hasil dari perhitungan untuk mencari *index of fit* berdistribusi *Eksponensial* disajikan pada Tabel 4.39.

Tabel 4.39 Perhitungan *Index of fit* Berdasarkan Distribusi *Eksponensial* Data Waktu TTR pada Komponen *Fins*

i	t_i	$x_i = t_i$	$F(t_i)$	y_i	$x_i y_i$	x_i^2	y_i^2
1	72	72	0,1296	0,1388	9,9962	5.184	0,0193
2	80	80	0,3148	0,3781	30,2453	6.400	0,1429
3	81	81	0,5000	0,6931	56,1449	6.561	0,4805
4	88	88	0,6852	1,1558	101,7078	7.744	1,3358
5	93	93	0,8704	2,0431	190,0059	8.649	4,1742
Σ	414	414	2,5000	4,4089	388,1001	34.538	6,1526

Berdasarkan persamaan (2.25) maka diperoleh nilai *index of fit*:

$$r_{eksponensial} = \frac{(4 \times 388,1001) - (414 \times 4,4089)}{\sqrt{[4 \times 34,538 - (414)^2][4 \times 6,1526 - (4,4089)^2]}} = 0,952$$

Berikut ini adalah ringkasan nilai *index of fit* (r) hasil keempat distribusi di atas:

$$r_{weibull} = 0,984$$

$$r_{normal} = 0,987(\text{paling besar})$$

$$r_{lognormal} = 0,985$$

$$r_{eksponensial} = 0,952$$

Berdasarkan hasil ringkasan di atas, terlihat bahwa nilai *index of fit* (r) yang terbesar adalah dengan menggunakan distribusi *Normal*, maka parameter yang digunakan adalah μ dan σ .

2. *Index of Fit* (r) pada komponen *blade*

a. Distribusi *Weibull time to repair* (TTR)

Berdasarkan persamaan (2.34) maka diperoleh nilai $F(t_1) = \frac{1-0.3}{6+0.4} = 0,1094$

Berdasarkan persamaan (2.17) maka diperoleh nilai $x_1 = \ln(32) = 3,4657$

Berdasarkan persamaan (2.18) maka diperoleh nilai

$$y_1 = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1-0,1094} \right) \right] = -2,1556$$

Hasil dari perhitungan untuk mencari *index of fit* berdistribusi *Weibull* disajikan pada Tabel 4.40.

Tabel 4.40 Perhitungan *Index of fit* Berdasarkan Distribusi *Weibull* Data Waktu TTR pada Komponen *Blade*

i	t_i	$x_i = \ln(t_i)$	$F(t_i)$	y_i	$x_i y_i$	x_i^2	y_i^2
1	32	3,4657	0,1094	-2,1556	-7,4708	12,0113	4,6467
2	44	3,7842	0,2656	-1,1753	-4,4474	14,3201	1,3813
3	48	3,8712	0,4219	-0,6015	-2,3287	14,9862	0,3619
4	48	3,8712	0,5781	-0,1473	-0,5702	14,9862	0,0217
5	54	3,9890	0,7344	0,2819	1,1246	15,9120	0,0795
6	56	4,0254	0,8906	0,7943	3,1975	16,2035	0,6310
Σ	282	23,0067	3,0000	-3,0035	-10,4951	88,4193	7,1219

Berdasarkan persamaan (2.16) maka diperoleh nilai *index of fit*:

$$r_{weibull} = \frac{(4 \times -10,4951) - 23,0067 \times (-3,0035)}{\sqrt{[4 \times 88,4193 - (23,0067)^2][4 \times 7,1219 - (-3,0035)^2]}} = 0,9601$$

b. Distribusi *Normal time to repair* (TTR)

Berdasarkan persamaan (2.21) maka diperoleh nilai $y_{1(0,1094)} = -1,2299$

Hasil dari perhitungan untuk mencari *index of fit* berdistribusi *Normal* disajikan pada Tabel 4.41.

Tabel 4.41 Perhitungan *Index of fit* Berdasarkan Distribusi *Normal* Data Waktu TTR pada Komponen *Blade*

i	t_i	$x_i = t_i$	$F(t_i)$	$y_i = z_i$	$x_i z_i$	x_i^2	z_i^2
1	32	32	0,1094	-1,2299	-39,3557	1.024	1,5126

Tabel 4.41 Perhitungan *Index of fit* Berdasarkan Distribusi *Normal* Data Waktu TTR pada Komponen *Blade*

i	t_i	$x_i = t_i$	$F(t_i)$	$y_i = z_i$	$x_i z_i$	x_i^2	z_i^2
2	44	44	0,2656	-0,6261	-27,5487	1.936	0,3920
3	48	48	0,4219	-0,1971	-9,4609	2.304	0,0388
4	48	48	0,5781	0,1971	9,4607	2.304	0,0388
5	54	54	0,7344	0,6261	33,8101	2.916	0,3920
6	56	56	0,8906	1,2299	68,8726	3.136	1,5126
Σ	282	282	3,0000	0,0000	35,7780	13.620	3,8869

Berdasarkan persamaan (2.19) maka diperoleh nilai *index of fit*:

$$r_{normal} = \frac{(4 \times 35,7780) - (282 \times 0)}{\sqrt{[4 \times 13.620 - (282)^2][4 \times 3,8869 - (0)^2]}} = 0,9486$$

c. Distribusi *Lognormal time to repair* (TTR)

Berdasarkan persamaan (2.24) maka diperoleh nilai $y_{1(0,1094)} = -1,2299$

Hasil dari perhitungan untuk mencari *index of fit* berdistribusi *Lognormal* disajikan pada Tabel 4.42.

Tabel 4.42 Perhitungan *Index of fit* Berdasarkan Distribusi *Lognormal* Data Waktu TTR pada Komponen *Blade*

i	t_i	$x_i = \ln(t_i)$	$F(t_i)$	$y_i = z_i$	$x_i z_i$	x_i^2	z_i^2
1	32	3,4657	0,1094	-1,2299	-4,2624	12,0113	1,5126
2	44	3,7842	0,2656	-0,6261	-2,3693	14,3201	0,3920
3	48	3,8712	0,4219	-0,1971	-0,7630	14,9862	0,0388
4	48	3,8712	0,5781	0,1971	0,7630	14,9862	0,0388
5	54	3,9890	0,7344	0,6261	2,4976	15,9120	0,3920
6	56	4,0254	0,8906	1,2299	4,9506	16,2035	1,5126
Σ	282	23,0067	3,0000	0,0000	0,8165	88,4193	3,8869

Berdasarkan persamaan (2.22) maka diperoleh nilai *index of fit*:

$$r_{lognormal} = \frac{(4 \times 0,8165) - (23,0067 \times 0)}{\sqrt{[4 \times 88,4193 - (23,0067)^2][4 \times 3,8869 - (0)^2]}} = 0,9226$$

d. Distribusi *Ekspontional time to repair* (TTR)

Berdasarkan persamaan (2.27) maka diperoleh nilai

$$y_1 = \left[\ln \left(\frac{1}{1 - 0,1094} \right) \right] = 0,1158$$

Hasil dari perhitungan untuk mencari *index of fit* berdistribusi *Ekspontional* disajikan pada Tabel 4.43.

Tabel 4.43 Perhitungan *Index of fit* Berdasarkan Distribusi *Ekspontional* Data Waktu TTR pada Komponen *Blade*

i	t_i	$x_i = t_i$	$F(t_i)$	y_i	$x_i y_i$	x_i^2	y_i^2
1	32	32	0,1094	0,1158	3,7066	1.024	0,0134
2	44	44	0,2656	0,3087	13,5844	1.936	0,0953
3	48	48	0,4219	0,5480	26,3023	2.304	0,3003
4	48	48	0,5781	0,8630	41,4262	2.304	0,7448

Tabel 4.43 Perhitungan *Index of fit* Berdasarkan Distribusi *Ekspontional* Data Waktu TTR pada Komponen *Blade*

i	t_i	$x_i = t_i$	$F(t_i)$	y_i	$x_i y_i$	x_i^2	y_i^2
5	54	54	0,7344	1,3257	71,5862	2.916	1,7574
6	56	56	0,8906	2,2130	123,9265	3.136	4,8972
Σ	282	282	3,0000	5,3742	280,5322	13.620	7,8085

Berdasarkan persamaan (2.25) maka diperoleh nilai *index of fit*:

$$r_{\text{eksponensial}} = \frac{(4 \times 280,5322) - (282 \times 5,3742)}{\sqrt{[4 \times 13,620 - (282)^2][4 \times 7,8085 - (5,3742)^2]}} = 0,8440$$

Berikut ini adalah ringkasan nilai *index of fit* (r) hasil keempat distribusi di atas:

$$r_{\text{weibull}} = 0,9601 \text{ (paling besar)}$$

$$r_{\text{normal}} = 0,9486$$

$$r_{\text{lognormal}} = 0,9226$$

$$r_{\text{eksponensial}} = 0,8440$$

Berdasarkan hasil ringkasan di atas, terlihat bahwa nilai *index of fit* (r) yang terbesar adalah dengan menggunakan distribusi *Weibull*, maka parameter yang digunakan adalah β dan θ .

Persamaan $y_t = a + bx_i \rightarrow$ menggambarkan garis lurus dengan gradien b dan konstanta a . Nilai b sebagai gradien lurus menentukan kemiringan garis, maka b disebut parameter bentuk (β)

$$\text{Berdasarkan persamaan (2.36) maka diperoleh nilai } \bar{y} = \frac{-3,0035}{6} = -0,5006$$

$$\text{Berdasarkan persamaan (2.37) maka diperoleh nilai } \bar{x} = \frac{23,0067}{6} = 3,8344$$

Berdasarkan persamaan (2.37) maka diperoleh nilai

$$b = \frac{(6 \times -10,4951) - (23,0067 \times -3,0035)}{(6 \times 88,4193) - (23,0067)^2} = 5,0696$$

Berdasarkan persamaan (2.38) maka diperoleh nilai konstanta a .

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = -0,5006 - (5,0696 \times 3,8344) = -19,9339$$

Berdasarkan persamaan (2.39) maka diperoleh nilai $\beta = b \rightarrow \beta = 5,0696$

Berdasarkan persamaan (2.38) maka diperoleh nilai

$$\theta = e^{-\left(\frac{a}{b}\right)} = e^{-\left(\frac{-19,9339}{5,0696}\right)} = 50,007$$

Dengan nilai $\beta > 2$ ini menunjukkan bahwa laju kerusakan untuk komponen *fins* terus meningkat.

4.3.7.5 Uji Kesesuaian (Goodness of Fit Test) Distribusi Data Waktu Time To Repair (TTR)

Tahap ini bertujuan untuk mengetahui apakah data kerusakan membentuk suatu distribusi tertentu. Pengujian ini dilakukan berdasarkan nilai *index of fit* yang terbesar. Kemudian membandingkan antara hipotesis nol (H_0) yang menyatakan bahwa data kerusakan mengikuti distribusi pilihan dan hipotesis alternatif (H_1) yang menyatakan bahwa data kerusakan tidak mengikuti distribusi terpilih.

1. Uji kesesuaian distribusi data waktu TTR pada komponen *fins*

Karena nilai *index of fit* yang terbesar terdapat pada distribusi *Normal*, maka pengujian yang dilakukan dengan menggunakan uji *Kolmogorov Smirnov* (perhitungan manual). Adapun hipotesisnya adalah sebagai berikut:

H_0 = Data kerusakan berdistribusi *Normal*

H_1 = Data kerusakan tidak berdistribusi *Normal*

$$\alpha = 0.05 \rightarrow D_{kritis} = D_{0,05,5}$$

→ Lihat tabel nilai kritis pengujian *Kolmogorov-Smirnov* = 0,337

Berdasarkan persamaan (2.58) maka diperoleh nilai $\bar{t} = \mu = \frac{22,0631}{5} = 4,4126$

Berdasarkan persamaan (2.67) maka diperoleh nilai $t_{med} = e^{4,4126} = 82,4849$

Berdasarkan persamaan (2.67) maka diperoleh nilai $s^2 = \frac{0,0383}{4} = 0,0096$

→ nilai $s = 0,0979$

Pada Tabel 4.44 disajikan rekap hasil perhitungan yang digunakan untuk mencari nilai D_n

Tabel 4.44 Uji Kesesuaian Distribusi *Normal* Data Waktu TTR pada Komponen *Fins*

i	t_i	$\ln(t_i)$	$\ln(t_i) - \bar{t}$	$\frac{(\ln(t_i) - \bar{t})^2}{s^2}$	$\frac{(\ln(t_i) - \bar{t})}{s}$	$\frac{(i-1)}{n}$	$\frac{i}{n}$	Nilai Tabel	D_1	D_2
1	72	4,2767	-0,1359	0,0185	-1,3887	0	0,2	0,08379	0,0838	0,1162
2	80	4,3820	-0,0306	0,0009	-0,3125	0,2	0,4	0,37828	0,1783	0,0217
3	81	4,3944	-0,0182	0,0003	-0,1856	0,4	0,6	0,42857	0,0286	0,1714
4	88	4,4773	0,0647	0,0042	0,6611	0,6	0,8	0,74537	0,1454	0,0546
5	93	4,5326	0,1200	0,0144	1,2257	0,8	1	0,88877	0,0888	0,1112
Σ	414	22,0631		0,0383					0,1783	0,1714

Berdasarkan persamaan (2.56) maka diperoleh nilai

$$D_1 = 0,378281 - 0,2 = 0,1783$$

Berdasarkan persamaan (2.57) maka diperoleh nilai

$$D_2 = 0,6 - 0,428576 = 0,1714$$

Berdasarkan persamaan (2.55) didapatkan nilai D_n adalah 0,1783

Dari hasil perhitungan terlihat bahwa $D_n < D_{kritis} \rightarrow 0,1783 < 0,337$ sehingga H_0 diterima yang artinya data waktu TTR pada komponen *fins* berdistribusi *Normal*.

2. Uji kesesuaian distribusi data waktu TTR pada komponen *blade*

Karena nilai *index of fit* yang terbesar terdapat pada distribusi *Weibull*, maka pengujian yang dilakukan dengan menggunakan uji *Mann* (perhitungan manual).

Adapun hipotesisnya adalah sebagai berikut:

H_0 = Data kerusakan berdistribusi *Weibull*

H_1 = Data kerusakan tidak berdistribusi *Weibull*

$\alpha = 0.05 \rightarrow M_{tabel} = M_{0,05,3,2} \rightarrow$ lihat distribusi F = 19,2

Berdasarkan persamaan (2.53) maka diperoleh nilai

$$Z_1 = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1-0,5}{6+0,25} \right) \right] = -2,5252$$

Berdasarkan persamaan (2.52) maka diperoleh nilai

$$M = Z_{i+1} - Z_i = -1,3380 - (-2,5252) = 1,1872$$

Pada Tabel 4.45 disajikan rekap hasil perhitungan yang digunakan untuk mencari nilai M_{hitung}

Tabel 4.45 Uji Kesesuaian Distribusi *Weibull* Data Waktu TTF pada Komponen *Blade*

i	t_i	$\ln(t_i)$	Z_i	M_i	$\ln(t_{i+1}) - \ln(t_i)$	$\ln(t_{i+1}) - \ln(t_i) / M_i$
1	32	3,4657	-2,5252	1,1872	0,3185	0,2682
2	44	3,7842	-1,3380	0,6155	0,0870	0,1414
3	48	3,8712	-0,7226	0,4653	0,0000	0,0000
4	48	3,8712	-0,2572	0,4216	0,1178	0,2794
5	54	3,9890	0,1644	0,4625	0,0364	0,0786
6	56	4,0254	0,6269			
Σ	282	23,0067	-4,0517	3,1521	0,5596	0,7676

Berdasarkan persamaan (2.51) maka diperoleh nilai

$$M_{hitung} = \frac{3 \times 0,3580}{2 \times 0,4096} = 1,1256$$

Dari hasil perhitungan terlihat bahwa $M_{hitung} < M_{tabel} \rightarrow 1,1256 < 19,2$ sehingga H_0 diterima yang artinya data waktu TTR pada komponen *blade* berdistribusi *Weibull*.

4.3.7.6 Perhitungan Nilai Mean Time to Repair (MTTR)

Setelah kita melakukan uji kesesuaian distribusi data melalui *goodness of fit test*, maka langkah selanjutnya kita melakukan perhitungan MTTR berdasarkan rumus dari distribusi sesuai dengan parameter yang telah ada.

1. Perhitungan nilai MTTR komponen *fins*

Distribusi yang terbentuk adalah *Normal*, maka parameter yang digunakan adalah μ (rata-rata) dan σ (standar deviasi) dimana nilai $\mu = t_{med}$ dan $\sigma = s$

Dari hasil perhitungan pada tahap pendugaan parameter distribusi, didapatkan nilai:

$$s = 0,0979$$

$$t_{med} = 82,4849$$

Berdasarkan persamaan (2.66) maka diperoleh nilai:

$$MTTR = 82,4849 e^{\frac{0,0979^2}{2}}$$

$$MTTR = 82,4849 e^{0,0048}$$

$$MTTR = 82,484 (1,0492) = 86,5432$$

Jadi, nilai rata-rata *time to repair* dari komponen *fins* adalah 86,5432 jam.

2. Perhitungan nilai MTTR komponen *blade*

Distribusi yang terbentuk adalah *Weibull*, maka parameter yang digunakan adalah β (*shape parameter*) dan θ (*scale parameter*)

Dari hasil perhitungan pada tahap pendugaan parameter distribusi, didapatkan nilai:

$$\beta = 5,0696$$

$$\theta = 50,007$$

Berdasarkan persamaan (2.60) maka diperoleh nilai:

$$MTTR = 50,007 \Gamma \left(1 + \frac{1}{5,0696} \right)$$

$$MTTR = 50,007 \Gamma(1,20) \rightarrow \text{diperoleh dari Tabel fungsi Gamma}$$

$$MTTR = 50,007 (0,9182)$$

$$MTTR = 45,915$$

Jadi, nilai rata-rata *time to repair* dari komponen *blade* adalah 45,915 jam.

4.3.7.7 Penentuan Interval Waktu Penggantian Komponen Kritis

Periode perawatan pencegahan didapatkan melalui selisih antara nilai MTTF dengan nilai MTTR.

1. Untuk komponen *fins*

$$\text{Periode Perawatan} = \text{Nilai MTTF} - \text{Nilai MTTR}$$

$$\text{Periode Perawatan} = 1165,615 - 86,5432 = 1079,071 \text{ jam}$$

Jadi, untuk setiap 1079,071 jam operasional komponen kritis akan perlu dilakukan tindakan perawatan pencegahan berupa penggantian komponen *fins*.

2. Untuk komponen *blade*

Periode Perawatan = Nilai MTTF – Nilai MTTR

Periode Perawatan = 1102,799 – 45,915 = 1056,884 jam

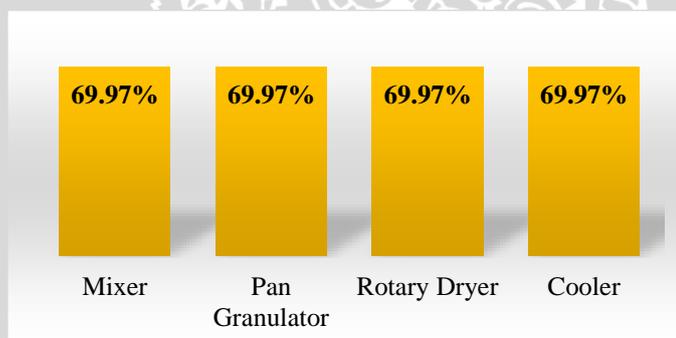
Jadi, untuk setiap 1056,884 jam operasional komponen kritis akan perlu dilakukan tindakan perawatan pencegahan berupa penggantian komponen *blade*.

4.4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada tahap ini akan dilakukan analisis terhadap nilai *availability rate*, *performance rate*, *rate of quality*, OEE, OTE, MTTF serta MTTR. Berikut adalah pembahasan dari tiap-tiap nilai tersebut.

4.4.1 Analisis Availability Rate

Dari hasil perhitungan *availability rate* di bulan Juni, Juli, dan Agustus mesin *mixer* yang disajikan pada Tabel 4.16, mesin *pan granulator* pada Tabel 4.17, mesin *rotary dryer* pada Tabel 4.18, dan mesin *cooler* pada Tabel 4.19 didapatkan rata-rata *availability rate* untuk setiap mesin yang disajikan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Rata-rata nilai *availability rate* pada semua mesin
Sumber: PT. Tani Gemilang

Semua mesin menunjukkan nilai yang sama yaitu 69,97%. Nilai tersebut berada jauh dibawah standard *World Class OEE* untuk *availability rate* yaitu sebesar 90%. Dari nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa mesin-mesin pada perusahaan belum berproduksi penuh sesuai kapasitas waktu yang sudah ditentukan. Mesin hanya beroperasi sebesar 69,97% dari total waktu yang sudah ditargetkan oleh perusahaan. Nilai *availability rate* yang rendah tersebut disebabkan oleh tingginya *downtime* pada perusahaan. *Downtime* tersebut disebabkan oleh kerusakan mesin serta tidak adanya bahan baku.

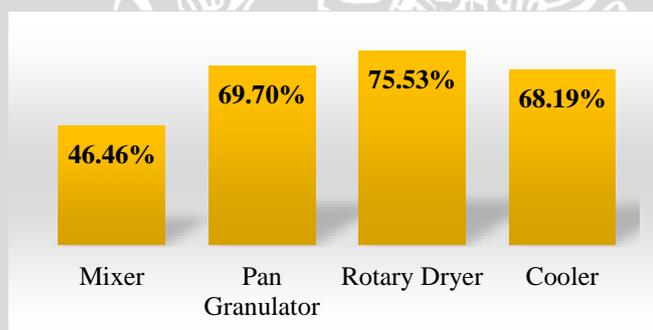
Kerusakan pada satu mesin mempunyai efek pada *downtime* mesin secara keseluruhan. Hal ini terjadi karena jika salah satu mesin rusak, maka proses produksi akan berhenti karena output dari satu mesin merupakan bahan baku dari mesin selanjutnya.

Selain itu mesin pada perusahaan merupakan suatu rangkaian yang terhubung oleh *conveyor* dan hanya mempunyai satu mesin untuk tiap-tiap proses. Sehingga jika satu mesin rusak, tidak ada mesin lain yang dapat menggantikan fungsi dari mesin tersebut.

Availability rate suatu mesin dipengaruhi oleh *scheduled* dan *unscheduled downtime*. Pada sistem yang berfungsi dengan baik *unscheduled downtime* diminimalkan, sementara *scheduled downtime* dioptimalkan (Mobley, 2008). *Planned downtime* ini dapat berupa usaha perbaikan mesin secara preventif yaitu berupa penggantian komponen, ataupun pengecekan mesin secara berkala. Sehingga agar dapat meningkatkan nilai *availabilty rate*, maka *planned downtime* berupa *preventive maintenance* perlu dioptimalkan.

4.4.2 Analisis Performance Rate

Dari hasil perhitungan *performance rate* di bulan Juni, Juli, dan Agustus mesin *mixer* yang disajikan pada Tabel 4.20, mesin *pan granulator* pada Tabel 4.21, mesin *rotary dryer* pada Tabel 4.22, dan mesin *cooler* pada Tabel 4.23 didapatkan rata-rata *performance rate* untuk setiap mesin yang disajikan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Rata-rata nilai *performance rate* pada semua mesin
Sumber: PT. Tani Gemilang

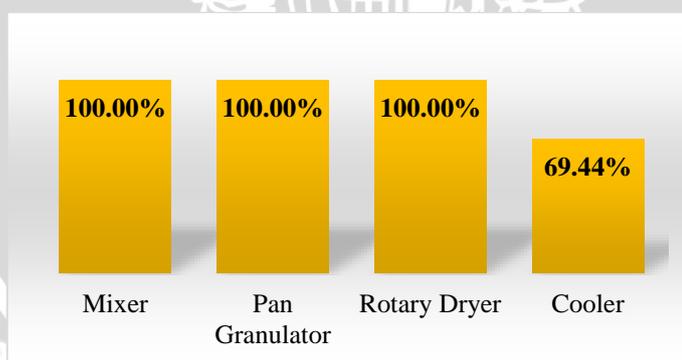
Dari Gambar 4.7 dapat diketahui bahwa mesin yang memiliki rata-rata *performance rate* terendah adalah mesin *mixer* dengan 46,46%. Sedangkan mesin yang memiliki *performance rate* tertinggi adalah mesin *rotary dryer* dengan 75,53%. Nilai *performance rate* semua mesin masih berada dibawah standard *World Class OEE* untuk *performance rate* yaitu sebesar 95%. *Performance* merupakan pengukuran dari seberapa baik mesin bekerja selama *operating time* (Iannone and Nenni, 2013). Hal ini menandakan bahwa semua mesin belum mampu bekerja secara baik sesuai dengan *operating time* yang dimiliki mesin tersebut.

Nilai *performance rate* berbeda pada setiap mesin karena jumlah produk aktual yang dihasilkan mesin dan lama waktu yang dihabiskan mesin untuk menyelesaikan produk juga berbeda. Semakin lama mesin tersebut mampu beroperasi diharapkan jumlah output yang dihasilkan juga makin tinggi. Penurunan *performance rate* dapat terjadi karena *idling* peralatan (menunggu bahan baku yang akan diolah), dan output yang rendah karena mengurangi kecepatan mesin. Hal tersebut dapat disebabkan oleh rendahnya keahlian operator, atau perancangan sistem manufaktur yang buruk (Mobley, 2008). Rendahnya nilai *performance rate* pada mesin *mixer* terjadi karena *setting* kecepatan pengolahan yang terlalu rendah.

Dengan merancang sistem manufaktur yang baik maka nilai *performance rate* juga akan tinggi. Hal ini dapat dilakukan dengan perancangan *layout* yang baik, dengan membuat mesin-mesin yang dipakai mempunyai kecepatan ideal produksi yang sama atau hampir sama. Dengan kecepatan ideal suatu mesin yang sama atau hampir sama maka *idling* antar peralatan menjadi tidak ada atau sangat rendah sehingga mesin dapat menghasilkan jumlah produk yang sesuai dengan waktu operasi yang ditentukan.

4.4.3 Analisis Rate of Quality

Dari hasil perhitungan *rate of quality* di bulan Juni, Juli, dan Agustus mesin *mixer* yang disajikan pada Tabel 4.24, mesin *pan granulator* pada Tabel 4.25, mesin *rotary dryer* pada Tabel 4.26, dan mesin *cooler* pada Tabel 4.27 didapatkan rata-rata *rate of quality* untuk setiap mesin yang disajikan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Rata-rata nilai *rate of quality* pada semua mesin
Sumber: PT. Tani Gemilang

Dari Gambar 4.9 terlihat bahwa mesin yang memiliki rata-rata *rate of quality* terendah adalah mesin *cooler* dengan 69,44%. Nilai *rate of quality* mesin *cooler* masih berada dibawah standard *World Class OEE* untuk *rate of quality* yaitu sebesar 99,9%. Sedangkan mesin yang lain memiliki *rate of quality* yang sama yaitu 100%. Hal ini dapat

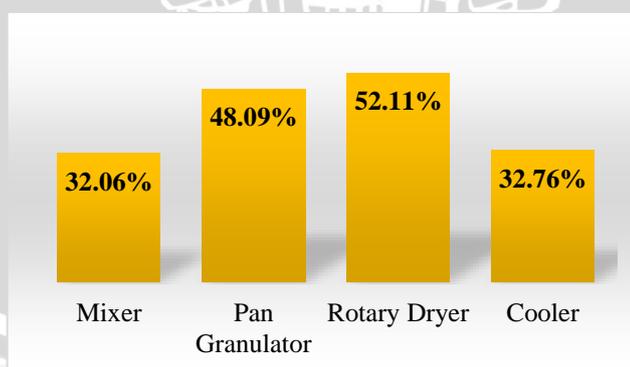
terjadi karena jenis *defect* yang hanya bisa diidentifikasi pada proses pengayakan menggunakan mesin *cooler*. Sehingga diasumsikan tidak terdapat *defect* pada proses dan mesin sebelumnya.

Produk yang dikategorikan produk *defect* pada proses pembuatan pupuk adalah butiran yang terlalu besar (*oversize*) atau terlalu kecil (*undersize*). Proses yang membentuk bahan baku menjadi butiran-butiran dilakukan pada mesin *pan granulator*. Namun pada proses granulasi maupun pada proses pengeringan belum bisa dilakukan identifikasi *defect* produk. Pada proses granulasi butiran-butiran pupuk masih basah dan akan pecah bila terkena saringan.

Mesin *pan granulator* merupakan mesin semi otomatis yang dioperasikan oleh operator. Pihak perusahaan menyatakan bahwa *defect* produk tersebut bukan disebabkan oleh kerusakan mesin ataupun penurunan performa mesin, tapi karena faktor *human error* dan keahlian dari operator. Namun produk *defect* yang dihasilkan masih dapat di proses kembali dengan cara dijadikan bubuk lalu diolah kembali.

4.4.4 Analisis Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan Overall Throughput Effectiveness (OTE)

Dari hasil perhitungan OEE di bulan Juni, Juli, dan Agustus mesin *mixer* yang disajikan pada Tabel 4.28, mesin *pan granulator* pada Tabel 4.29, mesin *rotary dryer* pada Tabel 4.30, dan mesin *cooler* pada Tabel 4.31 didapatkan rata-rata OEE untuk setiap mesin yang disajikan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Rata-rata nilai OEE pada semua mesin
Sumber: PT. Tani Gemilang

Dari Gambar 4.10 terlihat bahwa mesin yang memiliki rata-rata tertinggi adalah mesin *rotary dryer* kemudian mesin *pan granulator*, mesin *cooler*, dan yang terendah adalah mesin *mixer*. Secara keseluruhan nilai OEE pada rantai produksi perusahaan masih jauh dibawah standar *World Class* OEE yaitu sebesar 85%. Komposisi dari nilai tersebut

adalah *availability rate* sebesar 90%, *performance rate* sebesar 95%, dan *rate of quality* sebesar 99,9% (www.oee.com). Dari Gambar 4.6 hingga Gambar 4.8 dapat disimpulkan bahwa nilai *availability rate*, *performance rate*, dan *rate of quality* belum mencapai target *World Class OEE*.

Mesin *mixer* mempunyai nilai OEE yang paling rendah disebabkan nilai *performance rate* yang rendah. Sedangkan mesin *cooler* memiliki nilai OEE yang rendah karena nilai *rate of quality* yang rendah. Namun rendahnya nilai *rate of quality* pada mesin *cooler* bukan disebabkan oleh buruknya kemampuan mesin dalam mengolah produk, tapi karena produk yang cacat hanya bisa diidentifikasi pada mesin tersebut. Sementara nilai OEE yang rendah pada semua mesin secara umum disebabkan oleh rendahnya nilai *availability rate*.

Dari perhitungan pada halaman 43 dan 44 diperoleh nilai performansi sistem produksi perusahaan yang ditunjukkan dalam bentuk nilai OTE. Jika OEE mengukur efektivitas produksi pada satu mesin maka OTE mengukur efektivitas sistem produksi secara keseluruhan. Dari hasil perhitungan OTE diperoleh nilai rata-rata sebesar 32,7%. OTE sangat baik dalam menilai kinerja system produksi perusahaan karena dalam mendapatkan nilai OTE dilakukan perhitungan beberapa parameter pengukuran efektivitas seperti *availability rate*, *performance rate*, dan *rate of quality*, dan OEE. Dengan demikian OTE lebih representatif dalam mencerminkan efektivitas system produksi secara keseluruhan. Nilai OTE yang rendah dipengaruhi oleh nilai OEE, sementara nilai OEE dipengaruhi oleh nilai *availability rate*, *performance rate*, dan *rate of quality*.

Manfaat dari pengukuran performansi dengan OTE adalah dapat digunakan untuk menghitung nilai *bottleneck indicator*. *Bottleneck indicator* dapat dijadikan sebagai acuan dalam menemukan stasiun yang merupakan *bottleneck* sistem. Dari rekap perhitungan pada Tabel 4.20 hingga Tabel 4.23, mesin *cooler* merupakan mesin yang memiliki nilai *bottleneck indicator* yang paling kecil dibandingkan mesin lainnya. Hal ini menandakan mesin *cooler* merupakan mesin dengan *work in process* (WIP) paling besar dalam sistem produksi, sehingga terdapat banyak WIP yang menumpuk pada mesin *cooler* untuk menunggu diproses. *Bottleneck* pada proses pendinginan akan berdampak pada proses lain karena harus menunggu mesin *cooler* selesai memproses produk sehingga mengalami keterlambatan. Keuntungan OTE dan *bottleneck indicator* adalah mesin *bottleneck* dapat diidentifikasi dan dijadikan fokus perbaikan bagi pihak perusahaan, dengan demikian

perusahaan akan terhindar dari perbaikan performansi yang tidak perlu pada mesin yang lain. Perbaikan performansi mesin *cooler* dapat dilakukan dengan menambah kapasitas produksi dari mesin *cooler* sehingga kecepatan untuk memproduksi bertambah.

Dari Tabel 4.28, 4.29, 4.30, dan Tabel 4.31 dapat dilihat bahwa meskipun mesin *mixer* memiliki efektivitas yang lebih rendah dibandingkan mesin *cooler* namun mesin *cooler* yang menjadi *bottleneck* sistem. Hal ini menandakan nilai performansi yang tinggi pada mesin tidak berarti mesin tersebut bukan *bottleneck*, karena *bottleneck* mempertimbangkan faktor kecepatan ideal proses pada subsistem tersebut. Dari hasil pengukuran performansi sistem produksi didapatkan nilai efektivitas system produksi sebesar 32,7%. Nilai ini mencerminkan efektivitas dari sistem produksi secara keseluruhan, dan nilai ini dapat ditingkatkan lagi salah satunya dengan meningkatkan performansi mesin *bottleneck* yaitu mesin *cooler*.

Agar nilai efektivitas dapat meningkat, ada beberapa aspek yang bisa ditingkatkan baik dari segi *availability rate*, *performance rate*, maupun *rate of quality*. Pada penelitian ini akan berfokus pada peningkatan *availability rate* dengan menurunkan jumlah *downtime* mesin. Untuk *rate of quality* atau masalah yang berkaitan dengan kualitas tidak akan dibahas pada penelitian ini, karena dari pihak perusahaan menyatakan bahwa penyebab dari *defect* produk yang terjadi bukan dari segi mesin, namun dari *human error*. Sedangkan untuk penyebab rendahnya nilai *performance rate* tidak hanya dipengaruhi *downtime* mesin saja namun juga perancangan sistem manufaktur.

Untuk menyelesaikan permasalahan pada perusahaan amatan, peneliti akan membuat penjadwalan perbaikan mesin secara preventif (*preventif maintenance*). Menurut Dhillon (2002) beberapa karakter dari pabrik yang membutuhkan program *preventive maintenance* yang baik adalah rendahnya penggunaan peralatan karena adanya kegagalan, besarnya waktu *idle* operator karena kegagalan peralatan, dan penurunan harga peralatan karena menurunnya waktu produktif peralatan akibat buruknya perbaikan.

4.4.5 Analisis Mean Time To Failure (MTTF) dan Mean Time to Repair (MTTR)

Dari pencatatan data kerusakan *fins* dan *blade* selama periode Januari 2012-Agustus 2014, didapatkan hasil MTTF untuk masing-masing komponen, yaitu *fins* sebesar 1165,615 jam dan komponen *blade* sebesar 1102,799 jam. Artinya pada saat kedua komponen tersebut mengalami kerusakan, maka mesin tidak dapat beroperasi sehingga

mengakibatkan kerugian produksi. Komponen *blade* memiliki MTTF yang nilainya lebih kecil dibandingkan MTTF *fins* karena *blade* lebih rentan terhadap kerusakan. Karena dalam prakteknya *blade* merupakan bagian yang digunakan untuk mengaduk bahan baku berupa kotoran yang bersifat korosif.

Dari pembahasan ini dapat disimpulkan bahwa nilai MTTF menjadi dasar kebijakan perusahaan untuk melakukan tindakan terhadap perawatan mesin. Tetapi untuk kebijakan yang diambil atas dasar MTTF ini, masih perlu pertimbangan karena banyak hal yang membuat komponen mesin tidak beroperasi sesuai dengan umur pakainya. Tetapi dipengaruhi oleh kondisi lain yang menjadi penyebab mesin itu tidak dapat beroperasi dengan baik. Kondisi tersebut bisa berupa lingkungan kerja, pemberian oli, perawatan terhadap mesin secara rutin, pembersihan, dan lain-lain.

4.5 REKOMENDASI PERBAIKAN

Pembuatan jadwal *preventive maintenance* dianggap sesuai untuk mengatasi permasalahan perusahaan berupa rendahnya nilai efektivitas yang disebabkan oleh rendahnya *availability rate*. Penyebab rendahnya *availability rate* tersebut adalah tingginya *downtime*. Mobley (2008) menyatakan bahwa *availability rate* suatu mesin dipengaruhi oleh *scheduled* dan *unscheduled downtime*. Pada sistem yang berfungsi dengan baik *unscheduled downtime* diminimalkan, sementara *scheduled downtime* dioptimalkan. *Scheduled downtime* atau *planned downtime* adalah salah satu upaya *preventive maintenance*. Sehingga untuk meningkatkan efektivitas dapat dilakukan dengan *preventive maintenance*.

Penjadwalan *preventive maintenance* ini diterapkan untuk dua komponen mesin, yaitu *fins* yang merupakan komponen mesin *rotary dryer* dan *blade* yang merupakan komponen mesin *mixer*. Gambar mesin *mixer* dan mesin *rotary dryer* disajikan pada Gambar 4.11. Kedua komponen dari dua mesin tersebut yang akan dijadwalkan pengantiannya. Sementara untuk komponen lain tidak dijadwalkan pengantiannya karena kurangnya data historis serta frekuensi *downtime* yang rendah. Selain dijadwalkan pengantian kedua komponen, pada penjadwalan *preventive maintenance* ini juga dijadwalkan pemberian pelumas pada *bearing* serta pembersihan mesin. Pemberian pelumas pada *bearing* perlu dilakukan secara rutin karena *bearing* juga menjadi komponen kritis pada setiap mesin. Sementara pembersihan mesin juga perlu dilakukan secara rutin karena lingkungan perusahaan yang berdebu akibat bahan baku. Bahan baku

produksi berupa kotoran yang sudah dikeringkan dan dihancurkan sehingga menjadi bubuk yang mudah berhamburan jika terkena angin dan bersifat korosif terhadap mesin.



Gambar 4.11 (a) Mesin *mixer*, (b) Mesin *rotary dryer*

Sumber: PT. Tani Gemilang (2015)

Untuk memperbaiki mesin produksi yang rusak, perusahaan membeli komponen dari bengkel. Sedangkan dari pihak bengkel tidak menyediakan komponen jadi, namun hanya bahan baku untuk membuat komponen tersebut. Untuk komponen-komponen yang rusak tidak bisa langsung dibeli dan dipasang, tapi komponen tersebut harus di pesan terlebih dahulu bahan bakunya baru kemudian dibentuk sehingga membutuhkan waktu perbaikan yang lama. Perusahaan tidak pernah memesan sebelum kerusakan mesin terjadi karena tidak ada dasar penentuan waktu kerusakan yang akan terjadi. Dengan adanya penjadwalan perbaikan mesin secara preventif maka waktu penggantian komponen akan lebih cepat dibandingkan dengan perbaikan setelah mesin mengalami kerusakan. Untuk mengantisipasi terjadinya kerusakan terjadi sebelum waktu yang diperkirakan maka dibuat persediaan komponen kritis agar penggantian komponen lebih cepat. Menggunakan formulasi *safety stock* pada *Microsoft Excel* diperoleh persediaan komponen untuk *fins* dan *blade*. Untuk komponen *blade* perusahaan harus memesan 1 part komponen *blade*, sedangkan untuk komponen *fins* sejumlah 20 (satu set) setiap kali komponen rusak. Jadwal *preventive maintenance* untuk bulan Maret hingga Juli tahun 2015 disajikan di lampiran.

Dari jadwal kalender pada lampiran, maka perawatan dilakukan sebagai berikut.

1. Kegiatan pelumasan untuk *bearing* pada semua mesin dan *conveyor* dilakukan secara rutin setiap hari untuk menjaga kelancaran mesin selama proses produksi dengan estimasi waktu ± 15 menit.

2. Kegiatan pembersihan untuk semua mesin dilakukan secara rutin setiap hari agar tidak ada debu atau kotoran yang mengganggu selama proses produksi dengan estimasi waktu ± 15 menit.
3. Kegiatan penggantian komponen *fins* dilakukan setelah 1079,071 jam ≈ 1079 jam kerja dengan estimasi waktu selama 1 hari. Pada jadwal *preventive maintenance* di lampiran, penggantian komponen *fins* dilakukan pada bulan April dan Juli.
4. Kegiatan penggantian komponen *blade* dilakukan setelah 1056,884 jam ≈ 1056 jam dengan estimasi waktu selama 1 hari. Pada jadwal *preventive maintenance* di lampiran, penggantian komponen *blade* dilakukan pada bulan April dan Juli.
5. Interval penggantian komponen jadwal *preventive maintenance* dihitung dengan cara berikut:
 - a. Jam kerja per hari setelah *preventive maintenance*
 = Jam kerja normal per hari – (pelumasan *bearing* + pembersihan mesin)
 = 16 jam – (15 menit + 15 menit)
 = 15,5 jam/hari kerja
 - b. Interval penggantian komponen *fins* = $\frac{1079 \text{ jam}}{15,5 \frac{\text{jam}}{\text{hari kerja}}} \approx 69$ hari kerja
 - c. Interval penggantian komponen *blade* = $\frac{1056 \text{ jam}}{15,5 \frac{\text{jam}}{\text{hari kerja}}} \approx 68$ hari kerja

Dengan adanya penjadwalan *preventive maintenance* diharapkan mesin-mesin pada lantai produksi dapat beroperasi tanpa adanya gangguan berupa kerusakan mesin. Selain itu tujuan penerapan *preventive maintenance* menurut Stephens (2010) adalah untuk meningkatkan keandalan peralatan, dan meningkatkan produktivitas. Untuk mengetahui apakah terjadi peningkatan produktivitas maka perlu untuk melakukan pengukuran estimasi OEE dan OTE. Pada pengukuran kali ini, *availability rate* dihitung dengan menggunakan data *downtime* yang disesuaikan dengan penjadwalan *preventive maintenance* yang dicantumkan di lampiran. Sementara nilai *performance rate* dan *rate of quality* diasumsikan tetap karena dengan penurunan *downtime* tidak berpengaruh pada *performance rate* dan *rate of quality* berdasarkan persamaan (2-4) dan (2-5). Sehingga pada perhitungan kali ini digunakan nilai *performance rate* dan *rate of quality* rata-rata dari hasil perhitungan sebelumnya. Berdasarkan persamaan (2-2) diperoleh nilai estimasi *availability rate* untuk bulan Mei adalah $= \frac{403}{416} \times 100\% = 96,88\%$

Contoh perhitungan OEE mesin *mixer* mengacu pada persamaan (2-1) adalah sebagai berikut: $OEE = 96,88\% \times 46,46\% \times 100,00\% = 45,01\%$

Adapun hasil perhitungan OEE pada bulan Mei tahun 2015 menggunakan estimasi *availability rate* setelah penjadwalan *preventive maintenance* disajikan pada Tabel 4.46.

Tabel 4.46 Estimasi Nilai OEE Setelah Penjadwalan *Preventive Maintenance* Mei 2015

Mesin	Availability Rate	Performance Rate	Rate of Quality	OEE
<i>Mixer</i>	96,88%	46,46%	100,00%	45,01%
<i>Pan Granulator</i>	96,88%	69,70%	100,00%	67,52%
<i>Rotary Dryer</i>	96,88%	75,53%	100,00%	73,17%
<i>Cooler</i>	96,88%	68,19%	69,44%	46,16%

Setelah diperoleh nilai OEE untuk setiap mesin maka dihitung nilai *bottleneck indicator* pada setiap mesin untuk mendapatkan nilai OTE. Contoh perhitungan *bottleneck indicator* mesin *mixer* mengacu pada persamaan (2.7) adalah sebagai berikut: $bottleneck\ indicator = 3.750 \times 100,00\% \times 100,00\% \times 69,44\% \times 45,01\% = 1.172,131$

Adapun hasil perhitungan OTE pada bulan Mei tahun 2015 menggunakan nilai estimasi *availability rate* setelah penjadwalan *preventive maintenance* disajikan pada Tabel 4.47.

Tabel 4.47 Estimasi Nilai OTE Setelah Penjadwalan *Preventive Maintenance* Mei 2015

Mesin	OEE	Ideal Cycle Time (Kg/Jam)	$\prod_{j=i+1}^n Q_{eff}$	Bottleneck Indicator
<i>Mixer</i>	45,01%	3.750	69,44%	1.172,131
<i>Pan Granulator</i>	67,52%	2.525	69,44%	1.183,853
<i>Rotary Dryer</i>	73,17%	2.330	69,44%	1.191,662
<i>Cooler</i>	46,16%	1.894	69,44%	874,081

Dari nilai *bottleneck indicator* terkecil selanjutnya dicari nilai OTE berdasarkan persamaan (2.8) sehingga diperoleh nilai OTE rantai produksi = $\frac{874,081}{1894} = 46,1\%$

Dari hasil perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa nilai rata-rata OTE yang diperoleh dengan menggunakan *availability rate* berdasarkan penjadwalan *preventive maintenance* adalah sebesar 46,1%. Nilai tersebut naik sebesar 13,4% dari nilai OTE sebelumnya sebesar 32,7%. Meskipun masih tergolong rendah namun nilai tersebut masih dapat bertambah jika dilakukan perbaikan pada *performance rate* dan *rate of quality product*. Artinya masih perlu adanya perbaikan dari segi *performance rate* dan *rate of quality* jika perusahaan ingin mencapai standard *World Class OEE*.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini akan dijelaskan tentang kesimpulan dari hasil penelitian serta saran yang dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya.

5.1 KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Nilai efektivitas di lantai produksi pupuk Petroganik pada PT. Tani Gemilang pada bulan Juni-Agustus 2014 adalah sebesar 41,7%, 24%, dan 32,6% atau diperoleh rata-rata sebesar 32,7%. Nilai efektivitas tersebut masih belum memenuhi standar efektivitas kelas dunia yaitu sebesar 85%. Nilai sebesar atau dibawah 40% menunjukkan bahwa efektivitas pada perusahaan tergolong rendah. Namun pada banyak perusahaan nilai tersebut dapat ditingkatkan dengan melakukan analisis terhadap penyebab rendahnya nilai tersebut. Setelah diketahui penyebabnya, nilai efektivitas ditingkatkan dengan menyelesaikan satu per satu masalah.
2. Komponen kritis yang dijadwalkan perbaikan preventifnya adalah *fins* dan *blade*. *Fins* merupakan komponen dari mesin *rotary dryer* yang berfungsi untuk membawa butiran pupuk keluar dari dalam tabung menuju conveyor. Sedangkan *blade* adalah komponen dari mesin *mixer* yang berfungsi untuk mengaduk bahan baku berupa kotoran dan kapur pertanian. Alasan pemilihan komponen kritis tersebut adalah berdasarkan frekuensi dan tingginya *downtime*. Selain menjadwalkan perbaikan dua komponen tersebut, dijadwalkan juga pemberian pelumas pada *bearing* serta pembersihan pada semua mesin. Dari hasil perhitungan menggunakan distribusi yang terpilih didapatkan hasil MTTF untuk masing-masing komponen, yaitu *fins* sebesar 1165,615 jam dan komponen *blade* sebesar 1102,799 jam. Nilai MTTF ini yang akan dijadikan dasar dalam penentuan interval penggantian komponen *fins* dan *blade*.
3. Penjadwalan *preventive maintenance* dibagi menjadi *preventive maintenance* rutin dan *preventive maintenance* utama. Pada penelitian ini *preventive maintenance* rutin yang dijadwalkan berupa pembersihan peralatan yang kotor dan pelumasan *bearing*. Sementara penjadwalan *preventive maintenance* utama berupa penggantian komponen kritis sebelum terjadi kerusakannya. Setelah dibuat jadwal *preventive maintenance* kemudian dihitung efektivitas sistem produksi

menggunakan rumus OTE. Dari hasil perhitungan OTE menggunakan *availability rate* yang didapatkan dari jadwal *preventive maintenance* pada bulan Mei 2015 maka diperoleh nilai sebesar 46,1%. Nilai tersebut naik sebesar 13,4% dari nilai OTE sebelumnya sebesar 32,7%.

5.2 SARAN

Saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya, diharapkan peneliti dapat memberikan metode untuk dapat menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan *performance rate* mesin dan *rate of quality* produk.
2. Untuk penelitian selanjutnya, diharapkan peneliti dapat melakukan analisis untuk menghitung *reliability* mesin serta biaya perbaikan mesin.



DAFTAR PUSTAKA

- Ebeling, Charles E. 1997. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Michigan: McGraw–Hill.
- Hardyansyah, Ade. 2012. *Perancangan Program Aplikasi untuk Mengukur Performansi Sistem Produksi dengan Metode Overall Throughput Effectiveness (OTE) dan Penjadwalan Preventive Maintenance*. S–1 Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh November.
- Huang, S. H., Dismukes, J. P., Shi, J., Su, Q., Wang, G., Razzak, M. A. & Robinson, D. E. 2003. Manufacturing Productivity Improvement Using Effectiveness Metric and Simulation Analysis. *International Journal of Production Research*, Vol. 41, page:513–527.
- Huang, SH & Muthiah, KMN. 2007. Overall Throughput Effectiveness (OTE) Metric for Factory–level Performance Monitoring and Bottleneck Detection. *International Journal of Production Research*, Vol. 45, page:4753–4769.
- Iannone, Raffaele & Nenni, M. Elena. 2013. Managing OEE to Optimize Factory Performance. *Intechopen Operations Management*, Chapter 2, Page: 31–50
- Lazim, H. M., & Ramayah, T. 2010. Maintenance Strategy in Malaysian Manufacturing Companies: A Total Productive Maintenance (TPM). *Approach Journal Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 11, page:387–396.
- Mobley, R. Keith. 2008. *Maintenance Engineering Handbook* (Seventh Edition). New York: McGraw–Hill.
- Muthiah, K., & Huang, S. H. 2006. A Review of Literature on Manufacturing Systems Productivity Measurement and Improvement. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*. Vol. 1, page:461–484.
- Nakajima, S. 1988. *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Cambridge, MA: Productivity Press.
- O’Connor, Patrick. 2001. *Practical Reliability Engineering* (Fourth Edition). Chichester: John Wiley & Sons, LTD.
- OEE Benchmarks. www.leanproduction.com/oee.html. (diakses pada 10 Februari 2015)
- Scott, D., & Pisa, R. 1998. *Can Overall Factory Effectiveness Prolong Moore's Law?*, *Solid State Technology*, Vol.41, page:75–82.
- Soendari, Tjuju. 2014. *Metode Penelitian Deskriptif*. http://file.upi.edu/direktori/fip/jur.pend.luarbiasa/195602141980032-tjuju_soendari/power_point_perkuliahan/metode_ppkhh/penelitian_deskriptif.ppt_%5bcompatibility_mode%5d.pdf. (diakses tanggal 20 November 2014).
- Stephens, Mattew. 2004. *Productivity and Reliability Based Maintenance Management*. New Jersey: Pearson Education Inc
- Sudrajat, Ating. 2011. *Pedoman Praktis Manajemen Perawatan Mesin Industri*. Bandung: Refika Aditama.
- World Class OEE. www.oee.com/world-class-oee.html. (diakses pada 10 Februari 2015)

a. Jadwal Perawatan bulan Maret

Berikut ini adalah jadwal perawatan pada bulan maret.

Maret 15						
Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu
Februari 23	24	25	26	27	28	Maret 1
2	3	4	5	6	7	8
-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan						
9	10	11	12	13	14	15
-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan						
16	17	18	19	20	21	22
-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan						
23	24	25	26	27	28	29
-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan						
30	31					
-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan	-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan					

b. Jadwal Perawatan bulan April

Berikut ini adalah jadwal perawatan pada bulan april.

April 15						
Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu
Maret 30	31	April 1	2	3	4	5
		-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan				
6	7	8	9	10	11	12
-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan						
13	14	15	16	17	18	19
-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan						
20	21	22	23	24	25	26
Penggantian Komponen <i>Blade</i>	Penggantian Komponen <i>Fins</i>	-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan				
27	28	29	30	Mei 1	2	3
-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan						

c. Jadwal Perawatan Bulan Mei

Berikut ini adalah jadwal perawatan pada bulan mei.

Mei 15						
Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu
April 27	28	29	30	Mei 1	2	3
				-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan	-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan	
4	5	6	7	8	9	10
-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan						
11	12	13	14	15	16	17
-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan	Libur Isra' Mikraj					
18	19	20	21	22	23	24
-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan						
25	26	27	28	29	30	31
-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan						

d. Jadwal Perawatan Bulan Juni

Berikut ini adalah jadwal perawatan pada bulan Juni.

Juni 15						
Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu
Juni 1	2	3	4	5	6	7
-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan						
8	9	10	11	12	13	14
-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan						
15	16	17	18	19	20	21
-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan						
22	23	24	25	26	27	28
-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan						
29	30	Juli 1	2	3	4	5
-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan	-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan					

e. Jadwal Perawatan Bulan Juli

Berikut ini adalah jadwal perawatan pada bulan juli.

Juli 15						
Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu
Juni 29	30	Juli 1	2	3	4	5
		-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan				
6	7	8	9	10	11	12
-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan	Penggantian Komponen <i>Blade</i>	Penggantian Komponen <i>Fins</i>				
13	14	15	16	17	18	19
-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan	-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan	Libur Idul Fitri	Libur Idul Fitri	Libur Idul Fitri	Libur Idul Fitri	
20	21	22	23	24	25	26
Libur Idul Fitri	Libur Idul Fitri	-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan		-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan	-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan	
27	28	29	30	31	Agustus 1	2
-Membersihkan Peralatan -Memberikan pelumas pada <i>bearing</i> tiap peralatan						

