

SKRIPSI

**PENERAPAN KONSEP *TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE*
PADA MESIN *AUTOMATIC BOTTLE FILLING*
(Studi Kasus di PT. Guwatirta Sejahtera)**



Disusun Oleh :

YON PUTRA ADE PRIMA PRADANA

14140096E

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK INDUSTRI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SETIA BUDI
SURAKARTA**

2018

SKRIPSI

PENERAPAN KONSEP *TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE* PADA MESIN *AUTOMATIC BOTTLE FILLING* (Studi Kasus di PT. Guwatirta Sejahtera)

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Strata 1 (S1)
Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik
Universitas Setia Budi Surakarta



Disusun Oleh :

**YON PUTRA ADE PRIMA PRADANA
14140096E**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK INDUSTRI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SETIA BUDI
SURAKARTA**

2018

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

PENERAPAN KONSEP *TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE* PADA MESIN *AUTOMATIC BOTTLE FILLING* (Studi Kasus di PT. Guwatirta Sejahtera)

Disusun Oleh :

YON PUTRA ADE PRIMA PRADANA

14140096E

Telah diuji dan dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dalam Sidang
Pendaftaran Skripsi pada :

Hari ~~Selasa~~ Tanggal ~~31~~ Juli - 2018

Penguji :



1. Anita Indrasari, ST, M.Sc
NIS. 01200501012099
2. Ida Giyanti, ST., MT
NIS. 01201503162191


.....

.....

Pembimbing :

1. Ir. Rosleini Ria Putri Z., M. T.
NIS. 01200903162001
2. Bagus Ismail Adi W., ST. MT.
NIS. 01200807161128


.....

.....


Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



Petrus Darmawan, S.T., M.T
NIS. 01199905141068

Kaprodi S1 Teknik Industri


Erni Suparti, ST., MT.
NIS. 01201109162145

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa Laporan Skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Surakarta, 26 Juli 2018
METERAI
TEMPEL
F8E43ADF604396932
6000
ENAM RIBU RUPIAH
Yogyakarta, Pradana



HALAMAN PERSEMBAHAN

*"Bermimpilah Setinggi Langit. Jika Engkau Jatuh, Engkau
Akan Jatuh Diantara Bintang - Bintang"*

-Ir. Soekarno-

Skripsi ini kupersembahkan kepada :

1. Tuhan Yesus Kristus yang telah menyertai setiap langkah serta setiap keputusan yang telah saya ambil.
2. Kedua orang tua tercinta, Ayah dan Mamah yang telah mendidik dengan sabar serta mengajarkan saya bagaimana cara untuk menghadapi kehidupan. Kalian adalah motivasi terbesarku untuk menggapai cita - cita. Terima kasih telah selalu mendoakan anakmu ini, baik dalam susah ataupun senang.
3. Mbak Prima dan Citra, kedua saudaraku. Terus kejar mimpi kalian karena orang hidup untuk mengejar impian dan cita – cita.
4. Teman – teman teknik industri angkatan 2014, kalian adalah teman terhebat yang pernah aku miliki. Terus kejar mimpi kalian meski halangan dan rintangan terus menghadang.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas limpahan anugerah-Nya seluruh tahapan penelitian hingga penyusunan skripsi ini dapat berjalan dengan lancar dan diselesaikan dengan baik. Penulis melaksanakan penelitian ini di PT. Guwatirta Sejahtera. Judul Penelitian ini adalah **PENERAPAN KONSEP *TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE* PADA MESIN AUTOMATIC BOTTLE FILLING.**

Skripsi ini disusun untuk melengkapi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi dan memperoleh gelar Sarjana Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Setia Budi Surakarta. Selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi, penulis banyak memperoleh bantuan, dorongan dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih dan rasa penghargaan yang tulus kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Djoni Tarigan, M.B.A., selaku Rektor Universitas Setia Budi Surakarta.
2. Bapak Petrus Darmawan, ST., MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Setia Budi Surakarta.
3. Ibu Erni Suparti, ST., MT., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Industri Universitas Setia Budi Surakarta.
4. Ibu Ir. Rosleini Ria Putri Z., MT., selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan saran selama penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Bagus Ismail Adhi W. ST., MT., selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan saran selama penyusunan skripsi ini.
6. Ibu Erni Suparti, ST., MT., selaku dosen pembimbing akademik yang memberikan bimbingan serta dukungan selama mengikuti perkuliahan.
7. Jajaran Dosen Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Setia Budi Surakarta.
8. Kedua Orang Tua yang telah memberikan doa, kasih sayang dan dukungan setiap waktu.

9. Pimpinan PT. Guwatirta Sejahtera yang telah mengizinkan penulis melaksanakan penelitian untuk skripsi di perusahaan serta telah memberikan bantuan dalam informasi data yang dibutuhkan.
10. Seluruh teman – teman angkatan 2014 Teknik Universitas Setia Budi Surakarta yang telah membantu dan memberi semangat serta doa dalam penyusunan skripsi ini.
11. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna, maka kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan laporan ini di masa mendatang. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan pihak - pihak yang berkepentingan.

Surakarta, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN SAMPUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
INTISARI.....	xv
ABSTRACT	xvi
BAB I PENDAHULUAN	17
1.1 Latar Belakang.....	17
1.2 Perumusan Masalah	19
1.3 Tujuan Penelitian	19
1.4 Manfaat Penelitian	20
1.5 Batasan Masalah.....	20
1.6 Sistematika Penulisan	20
BAB II LANDASAN TEORI	22
2.1 <i>Maintenance</i>	22
2.1.1 Tujuan <i>Maintenance</i>	22
2.1.2 Jenis – Jenis <i>Maintenance</i>	22
2.1.3 Kegiatan Dalam <i>Maintenance</i>	23
2.2 <i>Total Productive Maintenance</i>	24
2.2.1 Komponen <i>Total Productive Maintenance</i>	25
2.2.2 Tujuan dan Manfaat <i>Total Productive Maintenance</i>	25
2.3 Delapan Pilar <i>Total Productive Maintenance</i>	27
2.3.1 5S (<i>Seiri, Seiton, Seiso, Shiketsu, Shitsuke</i>)	27
2.3.2 <i>Jishu Hozen (Autonomous Maintenance)</i>	29
2.3.3 <i>Kobetsu Kaizen</i>	29
2.3.4 <i>Planned Maintenance</i>	29

2.3.5	<i>Quality Maintenance</i>	30
2.3.6	<i>Training</i>	30
2.3.7	<i>Office TPM</i>	30
2.3.8	<i>Safety, Health, Environment</i>	31
2.4	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>	32
2.4.1	<i>Six Big Losses</i>	34
2.5	<i>Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	36
2.5.1	<i>Process Failure Mode and Effective Analysis (PFMEA)</i>	36
2.5.2	<i>Tingkat Keparahan (Severity)</i>	36
2.5.3	<i>Tingkat Kejadian (Occurence)</i>	37
2.5.4	<i>Metode Deteksi (Detection)</i>	37
2.5.5	<i>Risk Priority Number (RPN)</i>	37
2.5.6	<i>Langkah Dasar FMEA</i>	37
2.6	<i>Metode Penjadwalan Perawatan Mesin</i>	41
2.6.1	<i>Distribusi Kerusakan</i>	41
2.6.2	<i>Identifikasi Distribusi</i>	41
2.6.3	<i>Mean Time To Failure (MTTF)</i>	45
2.6.4	<i>Mean Time To Repair (MTTR)</i>	45
2.6.5	<i>Penentuan Waktu Pemeriksaan Optimal</i>	46
2.7	<i>Biaya Perawatan</i>	47
2.7.1	<i>Langkah – Langkah Menghitung Biaya Perawatan</i>	48
2.8	<i>Studi Literatur</i>	49
BAB III METODE PENELITIAN		52
3.1	<i>Lokasi dan Waktu</i>	52
3.1.1	<i>Lokasi</i>	52
3.1.2	<i>Waktu</i>	52
3.2	<i>Kerangka Pikir</i>	53
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		59
4.1	<i>Pengumpulan Data</i>	59
4.2	<i>Pengolahan Data</i>	63
4.2.1	<i>Analisis Tingkat Efisiensi Mesin</i>	63
4.2.2	<i>Analisis Faktor Kehilangan Terbesar</i>	70
4.2.3	<i>Analisis Biaya Repair Maintenance Mesin</i>	79

4.3	Rekomendasi Perbaikan.....	81
4.3.1	Identifikasi dengan Metode <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA). 81	
4.3.2	Usulan Perbaikan dengan Pendekatan Delapan Pilar <i>Total Productive Maintenance</i> (TPM).....	86
4.3.3	Jadwal Perawatan	90
4.4	Pembahasan.....	115
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		122
5.1	Kesimpulan.....	122
5.2	Saran	123
Daftar Pustaka		124
LAMPIRAN		127

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Delapan Pilar <i>Total Productive Maintenance</i>	27
Gambar 2. 2 <i>World class OEE</i>	33
Gambar 2. 3 Kurva biaya total.....	48
Gambar 4. 1 Grafik <i>availability rate</i>	66
Gambar 4. 2 Grafik <i>performance rate</i>	67
Gambar 4. 3 Grafik <i>rate of quality</i>	69
Gambar 4. 4 Grafik nilai OEE	70
Gambar 4. 5 <i>Time losses</i> pada mesin <i>automatic bottle filling</i>	78

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Frekuensi <i>downtime</i> tahun 2017	18
Tabel 2. 1 Klasifikasi nilai <i>severity</i>	38
Tabel 2. 2 Klasifikasi nilai <i>occurence</i>	39
Tabel 2. 3 Klasifikasi nilai <i>detection</i>	40
Tabel 2. 4 Penelitian - penelitian terdahulu	50
Tabel 4. 1 Data historis waktu kerja dan hasil produksi tahun 2017.....	59
Tabel 4. 2 Data pemakaian <i>sparepart</i> selama tahun 2017	60
Tabel 4. 3 Data waktu antar kerusakan (<i>Time to Failure/TTF</i>)	61
Tabel 4. 4 Data waktu perbaikan mesin (<i>Time to Repair/TTR</i>).....	61
Tabel 4. 5 Data historis <i>downtime</i> mesin <i>automatic bottle filling</i> tahun 2017.....	62
Tabel 4. 6 Data historis jumlah produk cacat (<i>reject</i>) pada	62
Tabel 4. 7 Hasil perhitungan <i>loading time</i>	64
Tabel 4. 8 Hasil perhitungan <i>operation time</i>	64
Tabel 4. 9 Perhitungan <i>availability rate</i> tahun 2017	65
Tabel 4. 10 Perhitungan <i>performance Rate</i> Tahun 2017	67
Tabel 4. 11 Hasil perhitungan <i>rate of quality</i>	68
Tabel 4. 12 Hasil perhitungan OEE	69
Tabel 4. 13 Hasil perhitungan persentase <i>breakdown losses</i>	71
Tabel 4. 14 Hasil perhitungan <i>setup and adjustment losses</i>	72
Tabel 4. 15 Hasil perhitungan <i>idling and minor stoppage losses</i>	73
Tabel 4. 16 Hasil perhitungan <i>reduce speed losses</i>	74
Tabel 4. 17 Hasil perhitungan <i>quality losses</i>	75
Tabel 4. 18 Rekapitulasi persentase <i>six big losses</i>	76
Tabel 4. 19 Hasil perhitungan <i>time losses</i> (Menit)	77
Tabel 4. 20 Hasil rekapitulasi persentase kumulatif <i>time losses six big losses</i> 2017	77
Tabel 4. 21 Hasil perhitungan biaya perbaikan mesin <i>automatic bottle filling</i> tahun 2017 ...	80
Tabel 4. 22 <i>Failure Mode and Failure Effect</i>	81
Tabel 4. 23 Rekap <i>losses</i> setiap kegagalan	83
Tabel 4. 24 Nilai RPN masing - masing <i>failure</i>	84
Tabel 4. 25 Usulan dan dasar rekondasi perbaikan	87
Tabel 4. 26 Peringkat komponen berdasarkan nilai RPN.....	89
Tabel 4. 27 Peringkat komponen berdasarkan nilai RPN.....	91
Tabel 4. 28 Perhitungan <i>index of fit</i> berdasarkan distribusi <i>Weibull</i>	92
Tabel 4. 29 Hasil perhitungan <i>index of fit</i> berdasarkan distribusi Eksponensial	93
Tabel 4. 30 Hasil perhitungan <i>index of fit</i> berdasarkan distribusi Lognormal	94
Tabel 4. 31 Hasil perhitungan <i>index of fit</i> berdasarkan distribusi Normal.....	95
Tabel 4. 32 Hasil pemilihan distribusi waktu antar kerusakan mesin	96
Tabel 4. 33 Hasil pemilihan distribusi waktu perbaikan mesin	98
Tabel 4. 34 Uji <i>Goodness of fit</i> distribusi <i>weibull</i> data waktu antar kerusakan	100
Tabel 4. 35 Hasil uji <i>Goodness of Fit</i>	102
Tabel 4. 36 Perhitungan parameter MTTF	106
Tabel 4. 37 Hasil perhitungan nilai MTTF dan MTTR.....	108
Tabel 4. 38 Hasil perhitungan interval waktu pemeriksaan.....	114

Tabel 4. 39 Jadwal perawatan mesin <i>automatic bottle filing</i>	115
Tabel 4. 40 Hasil perhitungan evaluasi OEE	117
Tabel 4. 41 Hasil perhitungan evaluasi biaya perawatan	119

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Usulan Perbaikan SOP.....	128
Lampiran 2 Usulan Perbaikan <i>Job Description</i>	129
Lampiran 3 Usulan Lembar <i>Checklist</i> Harian	130

INTISARI
PENERAPAN KONSEP TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE
PADA MESIN AUTOMATIC BOTTLE FILLING
(Studi Kasus di PT. Guwatirta Sejahtera)

Oleh

Yon Putra Ade Prima Pradana

14140096E

PT. Guwatirta Sejahtera merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam industri air minum dalam kemasan. Permasalahan yang terjadi pada PT. Guwatirta Sejahtera adalah tidak adanya perawatan rutin pada mesin sehingga kerusakan terutama pada mesin *automatic bottle filling* sering terjadi. Penelitian ini menerapkan metode *total productive maintenance* untuk menentukan tingkat kerusakan dan mengidentifikasi sumber permasalahan sebagai dasar pembuatan rekomendasi perbaikan dalam mengurangi tingkat kerusakan yang sering terjadi pada mesin *automatic bottle filling*. Tahapan penelitian dimulai dengan menentukan nilai efisiensi mesin dan *six big losses* menggunakan parameter *Overall Equipment Effectiveness*(OEE). Kemudian dilanjutkan dengan mengidentifikasi sumber permasalahan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Rekomendasi perbaikan meliputi pembuatan : *checklist* inspeksi harian, kelompok kerja kecil, *Standar Operational Procedure* pengoperasian mesin dan jadwal perawatan rutin. Berdasarkan estimasi perhitungan jika rekomendasi perbaikan diaplikasikan, biaya perawatan yang ditanggung perusahaan akan berkurang sebesar Rp. 5.694.605,48 dan nilai efisiensi mesin akan meningkat sebesar 16,55 %.

Kata Kunci : *Total productive maintenance, six big losses, Overall Equipment Effectiveness* (OEE), *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

ABSTRACT

APPLICATION OF THE TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE CONCEPT ON AUTOMATIC BOTTLE FILLING MACHINES (Case Study at PT. Guwatirta Sejahtera)

By

Yon Putra Ade Prima Pradana

14140096E

PT. Guwatirta Sejahtera is one of the companies engaged in the bottled drinking water industry. Problems that occur at PT. Guwatirta Sejahtera is the absence of routine maintenance on the machine so that damage, especially on automatic bottle filling machines often occurs. This study applied a total productive maintenance method to determine the level of damage and identify the source of the problem as a basis for making recommendations for improvements in reducing the level of damage that often occurs on automatic bottle filling machines. The stage of the study begins by determining the value of the engine efficiency and six big losses using the Overall Equipment Effectiveness (OEE) parameter. Then proceed with identifying the source of the problem using the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method. Recommendations for improvement include making: daily inspection checklists, small work groups, standard operating procedures for machine operation and routine maintenance schedules. Based on estimated if a repair recommendation is applied, the maintenance costs borne by the company will be reduced by Rp. 5,694,605.48 and the value of engine efficiency will increase by 16.55%.

Keyword : *Total productive maintenance, six big losses, Overall Equipment Effectiveness (OEE), Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Guwatirta Sejahtera merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam industri air minum dalam kemasan (AMDK). Perusahaan ini memiliki kantor pusat yang beralamat di Jl. Raya Solo-Sragen Km 7.5 Jaten, Karangayar, Jawa Tengah serta pabrik yang beralamat di Jl. Raya Solo – Tawangmangu Km 33, Desa Milir, RT 1, RW. 2, Salam, Karangpandan. PT. Guwatirta Sejahtera memproduksi beragam jenis produk air minum diantaranya *cup* dengan ukuran 240 ml, botol dengan varian ukuran 330 ml, 600 ml dan 1500 ml, serta galon dengan ukuran 19 liter.

Proses produksi yang dilakukan di PT. Guwatirta didukung oleh beberapa jenis mesin dalam tiap tahapannya seperti mesin *Automatic Bottle Filling*, *Tank sand filter*, *Tank carbon filter*, *Tank membran filter* dan *Ozonator*. *Automatic Bottle Filling* digunakan untuk mencuci, mengisi serta memberikan tutup pada botol. *Tank sand filter* digunakan untuk proses pengendapan partikel debu pada air, *Tank carbon filter* digunakan untuk menghilangkan warna dan bau pada air, *Tank membran filter* digunakan untuk menaikkan tekanan pada pipa penyalur agar air sampai pada proses berikutnya. *Ozonator* digunakan untuk sterilisasi air agar air yang diterima konsumen bebas dari kuman.

Berdasarkan hasil wawancara dengan bagian *maintenance*, saat ini di PT. Guwatirta Sejahtera tidak memiliki jadwal perawatan rutin. Perawatan pada mesin dilakukan hanya pada saat terjadinya *downtime* pada mesin. *Downtime* adalah kerugian yang dapat terlihat dengan jelas karena terjadi kerusakan pada mesin sehingga mesin tidak berproduksi dan mengakibatkan tidak adanya output yang dihasilkan (Winarno dan Susilonoto, 2016).

Permasalahan lain dalam manajemen perawatan mesin di PT. Guwatirta Sejahtera adalah perawatan yang dilakukan selama ini tidak mempertimbangkan adanya komponen kritis. Komponen kritis seharusnya menjadi prioritas dalam perbaikan ataupun perawatan. Manajemen perawatan mesin yang selama ini diterapkan PT. Guwatirta Sejahtera mengakibatkan frekuensi *downtime* mengalami peningkatan setiap bulannya. Peningkatan *downtime* terjadi karena tidak adanya tindakan pencegahan kerusakan pada komponen - komponen mesin. Data frekuensi *downtime* diberikan pada Tabel 1.1.

Tabel 1. 1 Frekuensi *Downtime* Tahun 2017

Bulan	Frekuensi <i>Downtime</i>						
	<i>Automatic Bottle Filling Machine</i>	<i>Automatic Cup Filling Machine</i>	<i>Gallon Filling Machine</i>	<i>Tank Sand Filter</i>	<i>Tank Carbon Filter</i>	<i>Tank Membran Filter</i>	<i>Ozonator</i>
Januari	9	5	4	1	0	0	0
Februari	10	4	4	1	1	1	0
Maret	7	4	4	2	1	1	0
April	9	5	5	1	0	1	0
Mei	10	5	4	0	2	1	0
Juni	7	6	5	1	1	0	0
Juli	9	7	5	1	1	0	1
Agustus	8	5	6	0	0	0	0
September	7	4	5	2	0	2	0
Oktober	11	4	4	1	0	1	0
November	10	5	4	1	0	1	0
Desember	12	5	5	0	1	1	0
TOTAL	109	59	55	11	7	9	1

Dari Tabel 1.1 terlihat bahwa *downtime* yang paling banyak terdapat di mesin *Automatic Bottle Filling* dengan jumlah 99 kali dalam satu tahun. *Downtime* yang terlalu banyak mengakibatkan proses produksi tidak berjalan efektif, karena proses produksi akan berhenti saat terjadi *downtime*

Dengan mempertimbangkan hal tersebut, perlu dilakukan penelitian menggunakan konsep *total productive maintenance* sebagai metode perbaikan.

Konsep *total productive maintenance* mengutamakan peran dari seluruh pihak untuk menjaga dan merawat semua fasilitas produksi, dengan tujuan tercapainya *zero breakdown*, *zero defect* dan *zero accident* selama proses produksi berlangsung.

1.2 Perumusan Masalah

1. Berapa nilai efisiensi serta nilai *six big losses* pada mesin *Automatic Bottle Filling* berdasarkan penilaian parameter *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) ?
2. Apa saja sumber permasalahan yang mengakibatkan peningkatan *downtime* pada mesin *Automatic Bottle Filling*?
3. Bagaimanakah cara untuk mengatasi permasalahan yang mengakibatkan peningkatan *downtime* pada mesin *Automatic Bottle Filling*?
4. Bagaimanakah jadwal perawatan mesin yang baik agar *downtime* yang terjadi pada mesin *Automatic Bottle Filling* dapat diminimalkan?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan nilai efisiensi serta nilai *six big losses* pada mesin *Automatic Bottle Filling* menggunakan parameter penilaian OEE.
2. Mengidentifikasi sumber permasalahan yang mengakibatkan peningkatan *downtime* pada mesin *Automatic Bottle Filling*.
3. Menyusun rekomendasi perbaikan sistem manajemen perawatan pada mesin *Automatic Bottle Filling* menggunakan pendekatan delapan pilar *total productive maintenance*.
4. Membuat rekomendasi jadwal perawatan mesin *Automatic Bottle Filling* sehingga *downtime* yang terjadi dapat diminimalkan.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Perusahaan dapat mengetahui nilai efisiensi mesin *Automatic Bottle Filling* dan faktor dari *six big losses* yang paling berpengaruh terhadap mesin *Automatic Bottle Filling*.
2. Perusahaan dapat mengetahui sumber serta cara penanganan permasalahan yang mengakibatkan peningkatan *downtime* pada mesin *Automatic Bottle Filling*.
3. Perusahaan dapat mengetahui jadwal perawatan mesin yang baik agar *downtime* yang terjadi pada mesin *Automatic Bottle Filling* dapat diminimalkan.

1.5 Batasan Masalah

1. Data yang digunakan dalam penelitian adalah data tahun 2017.
2. Penelitian yang dilakukan berfokus pada implementasi konsep *total productive maintenance* untuk mengetahui besarnya kerugian pada mesin dan cara terbaik untuk mengatasinya.

1.6 Sistematika Penulisan

Penyusunan laporan tugas akhir ini dilakukan dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini membahas tentang teori – teori yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan, paradigma, cara pandang, metode – metode yang telah ada dan atau akan digunakan, serta konsep yang telah diuji kebenarannya.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini membahas tentang waktu dan lokasi penelitian, *flowchart* metode penelitian serta penjelasannya.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang data – data apa saja yang sudah dikumpulkan serta cara pengolahan datanya. Setelah itu dilakukan pembahasan mengenai data dan hasil olahannya.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang membahas rangkuman keseluruhan isi yang sudah dibahas, serta saran yang membahas berisi perluasan, pengembangan, pendalaman, dan pengkajian ulang.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 *Maintenance*

Menurut Blanchard (1995) dalam Said dan Susetyo (2008), perawatan (*maintenance*) merupakan suatu kegiatan yang diarahkan pada tujuan menjamin kelangsungan fungsional suatu sistem produksi sehingga dari sistem itu dapat diharapkan menghasilkan output sesuai dengan yang dikehendaki. Sistem perawatan dapat dipandang sebagai bayangan dari sistem produksi, dimana apabila sistem produksi beroperasi dengan kapasitas yang sangat tinggi maka lebih intensif.

2.1.1 Tujuan *Maintenance*

Menurut Corder (1996), tujuan utama dari *maintenance* adalah sebagai berikut :

- a. Memperpanjang kegunaan aset (yaitu setiap bagian dari suatu tempat kerja, bangunan dan isinya)
- b. Menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi atau jasa untuk mendapatkan laba investasi semaksimal mungkin.
- c. Menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu.
- d. Menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut.

2.1.2 Jenis – Jenis *Maintenance*

Menurut Assauri (2004) dalam Komarasakti (2008) mengatakan bahwa jenis - jenis *maintenace* antara lain :

- a. Pemeliharaan Preventif (*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 digunakan dalam proses produksi.

Preventive maintenance sangat penting karena kegunaannya yang sangat efektif didalam menghadapi fasilitas-fasilitas produksi yang termasuk dalam golongan “*Critical Unit*”, dengan ciri-ciri :

1. Kerusakan fasilitas akan membahayakan kesehatan atau keselamatan para pekerja.
2. Kerusakan fasilitas akan mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan.
3. Kerusakan fasilitas akan menyebabkan kemacetan seluruh proses produksi.
4. Modal yang ditanamkan dalam fasilitas tersebut atau harga dari fasilitas ini adalah cukup besar atau mahal

b. *Corrective Maintenance*

Menurut Assauri (2004) dalam Daulay, Nurutami dan Daniel (2013), *Corrective* atau *breakdown maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan setelah terjadinya suatu kerusakan atau kelainan pada fasilitas atau peralatan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik. Kegiatan *corrective maintenance* yang dilakukan sering disebut dengan kegiatan perbaikan atau reparasi. Perbaikan yang dilakukan karena adanya kerusakan yang dapat terjadi akibat tidak dilakukannya *preventive maintenance* ataupun telah dilakukan *preventive maintenance* tetapi sampai pada suatu waktu tertentu fasilitas atau peralatan tersebut tetap rusak.

2.1.3 Kegiatan Dalam Maintenance

Kegiatan dalam maintenance antara lain sebagai berikut (Assauri (2004) dalam Afirianto, 2018)

a. Inspeksi (*inspection*)

Kegiatan inspeksi meliputi kegiatan pengecekan atau pemeriksaan secara berkala dimana maksud kegiatan ini adalah untuk mengetahui apakah perusahaan selalu mempunyai peralatan atau fasilitas produksi yang baik untuk menjamin kelancaran proses produksi.

b. Kegiatan teknik (*engineering*)

Kegiatan ini meliputi kegiatan percobaan atas peralatan yang baru dibeli, dan kegiatan - kegiatan pengembangan peralatan yang perlu diganti, serta melakukan penelitian - penelitian terhadap kemungkinan pengembangan tersebut.

c. Kegiatan produksi (*Production*)

Kegiatan ini merupakan kegiatan pemeliharaan yang sebenarnya, yaitu merawat, memperbaiki mesin - mesin dan peralatan.

d. Kegiatan administrasi (*Clerical Work*)

Pekerjaan administrasi ini merupakan kegiatan yang berhubungan dengan pencatatan-pencatatan mengenai biaya - biaya yang terjadi dalam melakukan pekerjaan-pekerjaan pemeliharaan dan biaya - biaya yang berhubungan dengan kegiatan pemeliharaan, komponen (*spareparts*) yang dibutuhkan, laporan kemajuan (*progress report*), waktu dilakukannya inspeksi dan perbaikan, serta lamanya perbaikan tersebut, komponen (*spareparts*) yang tersedia di bagian pemeliharaan.

e. Pemeliharaan bangunan (*housekeeping*)

Kegiatan ini merupakan kegiatan untuk menjaga agar bangunan gedung tetap terpelihara dan terjamin kebersihannya.

2.2 *Total Productive Maintenance*

Total productive maintenance (TPM) merupakan suatu metode yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan mesin dalam rangka mendukung total *preventive maintenance system* yang melibatkan partisipasi semua departemen dan setiap orang di perusahaan mulai dari lantai produksi hingga *top management* (Iswardi dan Sayuti, 2016).

Secara umum definisi dari *total productive maintenance* dapat dirangkum ke dalam lima elemen yaitu (Nakajima, 1988) :

1. TPM berfungsi untuk menciptakan suatu sistem *Preventive Maintenance* yang dapat memperpanjang umur penggunaan mesin / peralatan.

2. TPM bertujuan untuk memaksimalkan efektifitas mesin / peralatan secara keseluruhan (*Overall Effectiveness*).
3. TPM dapat diterapkan pada berbagai departemen (seperti *engineering*, produksi dan pemeliharaan).
4. TPM melibatkan semua karyawan dari *top management* sampai karyawan lantai produksi.
5. TPM merupakan sistem pengembangan maintenance berdasarkan *Preventive Maintenance* melalui manajemen motivasi.

2.2.1 Komponen *Total Productive Maintenance*

Menurut Said dan Susetyo (2008) komponen *total productive maintenance* terdiri dari 3 bagian, yaitu :

1. *Total Approach* : semua orang ikut terlibat, bertanggung jawab dan menjaga semua fasilitas yang ada dalam pelaksanaan TPM.
2. *Productive Action*: sikap proaktif dari seluruh karyawan terhadap kondisi dan operasi dari fasilitas produksi.
3. *Maintenance* : pelaksanaan perawatan dan peningkatan efektivitas dari fasilitas dan kesatuan operasi produksi.

2.2.2 Tujuan dan Manfaat *Total Productive Maintenance*

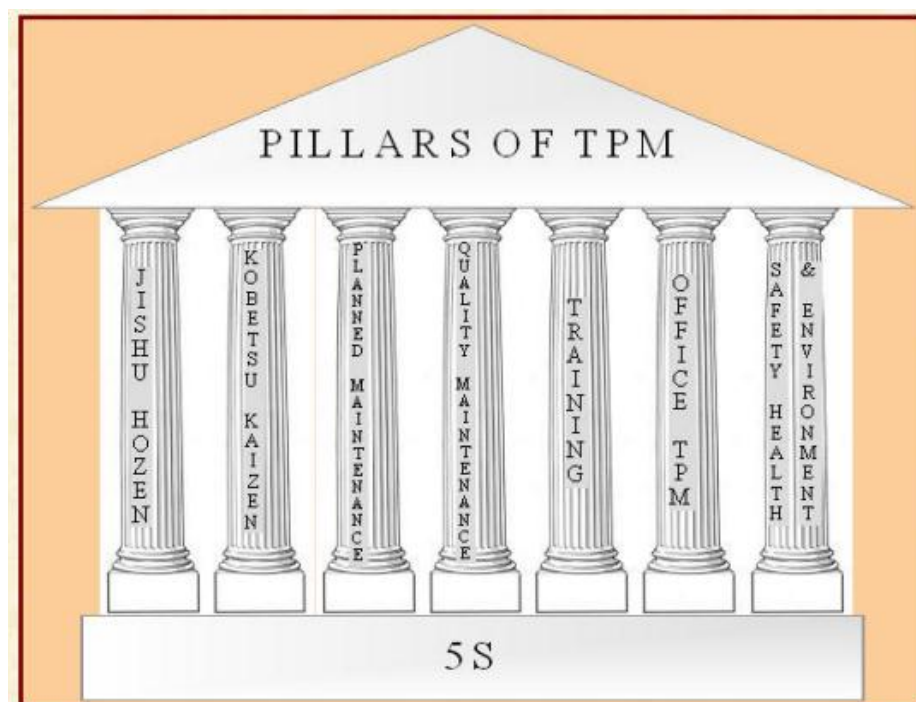
Menurut Corder (1996) pada Iswardi dan Sayuti (2016), TPM merupakan sistem manajemen dalam perawatan peralatan, mesin, utility dengan sasaran tercapainya *zero breakdown*, *zero defect* dan *zero accident*. *Zero breakdown* berarti peralatan tidak pernah rusak, *zero defect* berarti tidak ada produk yang rusak saat dibuat, dan *zero accident* berarti tidak adanya kecelakaan kerja yang mengakibatkan luka pada manusia maupun kerusakan alat/mesin.

Secara rinci *total Productive Maintenance* akan meningkatkan efektifitas pada bidang – bidang sebagai berikut (Nakajima, 1988) :

1. Bidang produktifitas
 - a. Meningkatkan produktifitas pekerja
 - b. Meningkatkan nilai tambah personil
 - c. Meningkatkan tingkat pengoperasian peralatan
 - d. Meningkatkan penanggulangan gangguan
2. Bidang kualitas
 - a. Mengurangi cacat dalam proses
 - b. Mengurangi cacat produk
 - c. Mengurangi keluhan dari pemakai produk
3. Bidang Pembiayaan
 - a. Mengurangi biaya tenaga kerja
 - b. Mengurangi biaya pemeliharaan
 - c. Mengurangi konservasi energi
4. Bidang Logistik
 - a. Peningkatan perputaran inventory
 - b. Pengurangan stock
5. Bidang Keselamatan
 - a. Kecelakaan kerja nihil
 - b. Polusi mendekati nihil
6. Bidang Psikologis Pekerja
 - a. Pertambahan ide yang masuk
 - b. Penambahan pertemuan kelompok kecil

2.3 Delapan Pilar *Total Productive Maintenance*

Menurut Nakajima (1988), TPM terdiri dari delapan bagian berbeda yang dikenal sebagai delapan pilar. Setiap pilar memiliki area tanggung jawabnya sendiri, tetapi terdapat juga area di mana mereka saling tumpang tindih. Pilar - pilar tersebut memiliki peranan yang cukup besar dalam keberhasilan atau kegagalan dalam pelaksanaan *Total productive maintenance*. Delapan pilar tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Delapan Pilar *Total Productive Maintenance*

(Sumber : Dave, 2013)

2.3.1 5S (*Seiri, Seiton, Seiso, Shiketsu, Shitsuke*)

Implementasi TPM pada area kerja dimulai dengan melakukan 5S. 5S bermanfaat untuk mempermudah mencari sumber permasalahan yang tidak dapat terlihat secara jelas karena kondisi tempat kerja tidak teratur. Kegiatan membersihkan dan mengorganisir tempat kerja dapat membantu tim untuk menemukan permasalahan.

5S merupakan langkah pembersihan dan penataan tempat kerja yang terdiri dari :

1. *Seiri*

Seiri berarti mengelompokkan dan menyusun item kritis, penting, item yang sering dipakai dan item yang tidak terlalu dibutuhkan. Item - item yang tidak diinginkan dapat diselamatkan. Barang - barang penting harus disimpan untuk digunakan di dekatnya dan barang - barang yang tidak digunakan dalam waktu dekat, harus disimpan di beberapa tempat. Untuk langkah ini, nilai barang harus diputuskan berdasarkan utilitas dan bukan biaya. Sebagai hasil dari langkah ini, waktu pencarian berkurang.

2. *Seiton*

Konsep dari *seiton* adalah “Satu tempat untuk satu item”. Item yang telah digunakan harus kembali ke lokasi penyimpanan yang sama. Untuk mengetahui item dengan mudah, namai wadah dan kartu pengenalan harus dipergunakan. Rak vertikal dapat digunakan dengan item yang paling berat berada di bawah.

3. *Seiso*

Tahap ini meliputi membersihkan dan memastikan bahwa peralatan serta area kerja bebas dari sisa potongan benda kerja, pelumas, oli, sampah benda sisa dan sebagainya.

4. *Shiketsu*

Semua pihak yang berkaitan memutuskan bersama standar untuk menjaga area kerja, mesin, gang agar rapi dan bersih. Standar ini diterapkan ke seluruh organisasi dan diuji coba / diperiksa secara acak.

5. *Shitsuke*

Menerima 5S sebagai cara hidup dan menumbuhkan disiplin diantara karyawan seperti, pemakaian lencana, mengikuti prosedur kerja, dedikasi kepada perusahaan dan sebagainya.

2.3.2 *Jishu Hozen (Autonomous Maintenance)*

Jishu Hozen (Autonomous maintenance) pada dasarnya memberikan tanggung jawab kepada operator untuk merawat dan mengatasi kerusakan - kerusakan kecil sehingga memberikan waktu bagian maintenance untuk melakukan hal lain yang bernilai tambah. Tujuan dari hal tersebut adalah memupuk rasa memiliki dan tanggung jawab untuk memakai mesin atau peralatan dengan hati – hati.

2.3.3 *Kobetsu Kaizen*

Kobetsu Kaizen memiliki arti perbaikan kecil. Perbaikan kecil tetapi dilakukan secara berkelanjutan serta melibatkan seluruh orang dalam organisasi. *Kobetsu Kaizen* hanya memerlukan sedikit investasi atau tidak sama sekali. Prinsip dari *Kobetsu Kaizen* adalah “ Perbaikan kecil jika dilaksanakan secara kontinu lebih efektif daripada perbaikan besar dengan sedikit perubahan”. *Kobetsu Kaizen* bertujuan untuk mengurangi losses di tempat kerja yang mempengaruhi efisiensi. Dengan menggunakan prosedur yang tepat dan cermat dapat menghilangkan losses menggunakan suatu metode dari berbagai *tools kaizen*. Aktifitas tersebut tidak dibatasi hanya di area produksi dapat juga diimplementasikan di area yang lain.

2.3.4 *Planned Maintenance*

Peralatan dan mesin yang digunakan dalam proses produksi selain memerlukan perbaikan juga membutuhkan perawatan periodik agar kinerja mesin dapat terus bekerja dengan baik. Kinerja mesin sangat menentukan kontinuitas suatu proses produksi.

2.3.5 *Quality Maintenance*

Tujuan dari *Quality Maintenance* adalah mendapatkan kepuasan pelanggan yang tinggi melalui produk yang bebas dari *defect*. Fokus dari *quality maintenance* adalah menghilangkan ketidakcocokan dalam sistem. Melalui *Quality Maintenance* dapat mengetahui bagian dari mesin yang berpengaruh terhadap kualitas produk, mengurangi fokus pada masalah kualitas secara umum dan dapat berpindah ke masalah kualitas yang lebih potensial. Transisi tersebut beralih dari reaktif menuju proaktif (dari *Quality Control* menuju *Quality Assurance*).

2.3.6 *Training*

Tujuan dari *training* adalah mendapatkan keahlian yang banyak dengan moral yang tinggi dan mau bekerja serta melaksanakan tugas secara efektif dan mandiri. Pendidikan diberikan kepada operator untuk meningkatkan kemampuan mereka. Tidak cukup hanya mengetahui “*know-how*” saja tapi mereka juga harus mempelajari “*know-why*”.

2.3.7 *Office TPM*

Fase organisasi kerja TPM harus dimulai sesudah melaksanakan fase *autonomous maintenance*, *kaizen*, *quality maintenance* dan *planned maintenance*. Organisasi TPM harus dilakukan untuk memperbaiki produktifitas, efisiensi di fungsi administrasi dan menghilangkan losses. Tahap ini meliputi juga proses analisa dan prosedur menuju organisasi kerja yang mandiri.

Office TPM juga mengklasifikasikan 12 *losses*, antara lain :

1. *Losses* pada proses.
2. *Losses* pada biaya meliputi area pembelian, akuntansi, pemasaran, penjualan yang mengarah pada inventori tinggi.
3. *Losses* pada komunikasi.

4. *Losses* akibat mengganggu.
5. *Losses* akibat set-up.
6. Kerusakan pada peralatan kantor.
7. *Losses* kesalahan akurasi.
8. Kerusakan saluran komunikasi, telepon dan saluran faksimili.
9. *Losses* akibat waktu pencarian informasi.
10. Ketidaksediaan dari stok.
11. Keluhan konsumen akibat logistik.
12. Pengeluaran pada pengiriman atau pembelian darurat.

2.3.8 Safety, Health, Environment

Target dari fase yang terakhir ini adalah *zero accident, zero health damage dan zero fires*. Fase ini berfokus untuk menciptakan area kerja yang aman dan lingkungan yang tidak rusak akibat proses produksi. Fase ini memainkan peran aktif di setiap fase yang lain secara regular.

Agar suatu perusahaan dapat tetap mempertahankan keberadaannya dan senantiasa berkembang maju maka, salah satu prinsip yang harus selalu dijadikan pedoman adalah peningkatan produktifitas pekerja. Menyadari hal tersebut, perusahaan harus benar – benar menjaga dan memelihara tenaga kerja yang ada disisi lain pekerja juga harus berupaya untuk ikut menciptakan lingkungan yang aman dan sehat. Jadi baik perusahaan maupun pekerja juga memiliki tanggung jawab yang sama dalam memelihara keselamatan kerja.

Kecelakaan kerja dapat terjadi karena kurangnya pengetahuan, tidak adanya perhatian, ceroboh, lalai dan tergesa – gesa. Secara umum dua faktor penyebab terjadinya kecelakaan kerja adalah :

1. Perbuatan yang berbahaya, yaitu perbuatan atau tingkah laku seseorang yang dapat menimbulkan kecelakaan.
2. Kondisi yang berbahaya, yaitu keadaan peralatan dan lingkungan kerja yang dapat menimbulkan bahaya.

Dengan memahami adanya bahaya di tempat kerja dan sekitarnya serta dengan teliti mentaati pedoman – pedoman keselamatan kerja maka diharapkan kecelakaan kerja dapat dihindarkan.

2.4 Overall Equipment Effectiveness

Evaluasi penerapan *Total Productive Maintenance* (TPM) dilakukan dengan menggunakan nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) sebagai indikator serta mencari penyebab ketidakefektifan dari mesin tersebut dengan melakukan perhitungan faktor *six big losses* untuk mengetahui faktor yang paling berpengaruh terhadap efektifitas mesin. *Six big losses* adalah enam faktor kerugian yang dapat mempengaruhi tingkat efektifitas suatu mesin. Dengan melakukan perhitungan OEE, perusahaan akan mengetahui dimana posisi mereka dan dimana titik kelemahan serta bagaimana cara melakukan perbaikan (Almeanazel, 2010).

Menurut Nakajima (1988), *OEE* adalah suatu nilai yang disajikan dalam bentuk rasio antara output actual dibagi dengan output maksimum dari peralatan yang digunakan dalam kondisi kinerja terbaik. *OEE* bertujuan untuk menghitung efektivitas dan performansi dari suatu mesin atau proses produksi. OEE dapat dihitung dengan mengalikan antara 3 komponen penting yang mempengaruhi efektivitas mesin yaitu *availability* atau ketersediaan mesin, *performance rate* atau efisiensi produksi, dan *Quality rate* atau kualitas output mesin.

Standar dunia yang digunakan untuk masing – masing faktor berbeda – beda. Berikut adalah standar dunia dari masing – masing variabel (Vorne Industries Inc, 2002) :

Availability	90%
performance	95%
Quality	99%
Overall Equipment Effectiveness	85%

Gambar 2. 2 World Class OEE

Hubungan dari ketiga komponen tersebut dapat dilihat pada rumus berikut ini :

$$OEE = Availability \times Performance Rate \times Quality Rate \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

1. Availability

Availability adalah suatu rasio yang menunjukkan waktu yang tersedia untuk mengoperasikan mesin. *Availability* mempertimbangkan berbagai kejadian yang dapat menghentikan proses produksi yang sudah direncanakan sebelumnya. Dalam menghitung *availability*, diperlukan data operation time yaitu lamanya waktu proses produksi bagi mesin untuk menghasilkan *output*. *Operation time* didapatkan dari loading time atau kapasitas waktu yang tersedia untuk mesin berproduksi dikurangi dengan waktu *downtime*. *Loading time* sendiri didapatkan dari *running time* atau jumlah jam kerja untuk proses produksi dikurangi dengan *downtime* yang telah direncanakan seperti istirahat, *set up* dan lain sebagainya.

$$Availability = \frac{Operation Time}{Loading Time} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

$$Operation time = loading time - downtime$$

$$Loading time = running time - planned downtime$$

2. *Performance Rate*

Performance rate mempertimbangkan faktor yang menyebabkan proses produksi tidak sesuai dengan kecepatan maksimum yang seharusnya ketika dioperasikan. Contohnya adalah ketidakefisiensian operator dalam menggunakan mesin. *Performance rate* didapatkan dengan mengalikan jumlah produksi dengan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu unit produk di bagi dengan waktu operasi. Kemudian diubah ke dalam bentuk persentase

$$PR = \frac{\text{Jumlah produksi} \times \text{Waktu siklus per unit}}{\text{Operation Time}} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.3)$$

3. *Quality Rate*

Quality rate merupakan perbandingan antara produk yang baik dibagi dengan jumlah total produksi. Jumlah produk yang baik ini didapatkan dengan mengurangi jumlah produksi dengan jumlah produk *defect* atau cacat yang diakibatkan oleh salah satu mesin pada saat proses produksi. Kemudian setelah itu diubah ke dalam bentuk persentase

$$\text{Quality Rate} = \frac{\text{Jumlah produksi} - \text{produk defect}}{\text{Jumlah produksi}} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.4)$$

2.4.1 *Six Big Losses*

Menurut Nakajima (1988), tujuan utama dari TPM dan OEE adalah untuk mengurangi *six big losses* yang menjadi penyebab terjadinya kerugian efisiensi saat proses manufaktur. Dalam setiap komponen tersebut terdapat enam kerugian yang dapat mempengaruhi efektivitas dari peralatan. Dalam *availability* terdapat *breakdown losses* dan *setup and adjustment losses*, sedangkan dalam *performance rate* terdapat *reduced speed losses* dan *idling/minor stopages losses*, dan yang terakhir dalam *quality rate* terdapat *defect/rework losses* dan *yield/scrap losses*. Setelah diketahui *Overall Equipment Effectiveness*, maka dapat diketahui pada komponen efektivitas

mana yang memiliki nilai paling rendah kemudian di analisis penyebabnya. Pengertian dari masing – masing losses adalah sebagai berikut:

1. *Breakdown Losses*

Kerugian yang disebabkan oleh kecacatan peralatan dan membutuhkan perbaikan. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{equipment failure losses} = \frac{\text{downtime}}{\text{loading time}} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.5)$$

2. *Set up and adjustment losses*

Kerugian waktu yang disebabkan oleh set up mesin sebelum memulai proses produksi. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Set Up and adjustment losses} = \frac{\text{set up time}}{\text{loading time}} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.6)$$

3. *Idling and minor stoppage losses*

Kerugian yang disebabkan karena mesin berhenti dalam waktu yang singkat dan harus di *restart* dan tidak diperlukan perbaikan. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Stoppage losses} = \frac{\text{non productive time}}{\text{loading time}} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.7)$$

4. *Reduced Speed losses*

Kerugian yang disebabkan karena mesin bekerja lebih lambat dari yang seharusnya. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{RSL} = \frac{\text{operation time} - (\text{ideal cycle time} \times \text{total produksi})}{\text{loading time}} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.8)$$

5. *Quality Defect and Rework*

Kerugian yang disebabkan karena produk tidak di produksi dengan benar dari awal proses. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Defect Losses} = \frac{\text{ideal cycle time} \times \text{total produksi}}{\text{loading time}} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.9)$$

6. *Yield/scrap Losses*

Kerugian yang disebabkan karena adanya kecacatan di awal proses produksi. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut

$$\text{Scrap losses} = \frac{\text{ideal cycle time} \times \text{scrap}}{\text{loading time}} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.10)$$

2.5 Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

FMEA merupakan sebuah metodologi yang digunakan untuk mengevaluasi kegagalan terjadi dalam sebuah sistem, desain, proses, atau pelayanan (*service*). Identifikasi kegagalan potensial dilakukan dengan cara pemberian nilai atau skor masing – masing moda kegagalan berdasarkan atas tingkat kejadian (*occurrence*), tingkat keparahan (*severity*), dan tingkat deteksi (*detection*) (Stamatis (1995) dalam Puspitasari dan Martanto, 2014).

Secara umum, terdapat dua tipe FMEA, FMEA desain dan FMEA proses. Pada FMEA desain, pengamatan difokuskan pada desain produk. Sedangkan FMEA proses, pengamatan difokuskan pada kegiatan proses produksi. Metode yang diterapkan pada penelitian ini adalah FMEA proses, karena pengamatan hanya dilakukan pada kegiatan proses produksi yang sedang berlangsung dan tidak memperhatikan desain produk. Tujuan penerapan metode ini adalah untuk meminimasi kemungkinan terjadi cacat (*defect*.)

2.5.1 *Process Failure Mode and Effective Analysis* (PFMEA)

PFMEA merupakan salah satu tipe dari FMEA. PFMEA mengutamakan analisis moda kegagalan melalui proses produksi, dan tidak bergantung pada perubahan desain produk yang dapat menyebabkan kegagalan pada suatu proses. PFMEA biasanya diselesaikan menurut pertimbangan tenaga kerja, mesin, metode, material, pengukuran, dan lingkungan. Setiap komponen – komponen tersebut memiliki komponen masing – masing, yang bekerja secara individu, bersama, atau bahkan merupakan sebuah interaksi untuk menghasilkan sebuah kegagalan. (Stamatis (1995) dalam Puspitasari dan Martanto, 2014),

2.5.2 *Tingkat Keparahan* (*Severity*)

Severity adalah penilaian terhadap keseriusan dari efek yang ditimbulkan. Dalam arti setiap kegagalan yang timbul akan dinilai seberapa besarkah tingkat keseriusannya. Terdapat hubungan secara langsung antara efek dan *severity*. Sebagai contoh, apabila efek yang terjadi adalah efek yang

kritis, maka nilai *severity* pun akan tinggi. Dengan demikian, apabila efek yang terjadi bukan merupakan efek yang kritis, maka nilai *severity* pun akan sangat rendah. (Stamatis (1995) dalam Puspitasari dan Martanto, 2014)

2.5.3 Tingkat Kejadian (*Occurence*)

Occurance adalah kemungkinan bahwa penyebab tersebut akan terjadi dan menghasilkan bentuk kegagalan selama masa penggunaan produk. *Occurance* merupakan nilai rating yang disesuaikan dengan frekuensi yang diperkirakan dan atau angka kumulatif dari kegagalan yang dapat terjadi. (Stamatis (1995) dalam Puspitasari and Martanto, 2014)

2.5.4 Metode Deteksi (*Detection*)

Nilai *detection* diasosiasikan dengan pengendalian saat ini. *Detection* adalah pengukuran terhadap kemampuan mengendalikan / mengontrol kegagalan yang dapat terjadi. (Stamatis (1995) dalam Puspitasari and Martanto, 2014)

2.5.5 Risk Priority Number (RPN)

Nilai ini merupakan produk dari hasil perkalian tingkat keparahan, tingkat kejadian, dan tingkat deteksi. RPN menentukan prioritas dari kegagalan. RPN tidak memiliki nilai atau arti. Nilai tersebut digunakan untuk meranking kegagalan proses yang potensial. Nilai RPN dapat ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut (Stamatis (1995) dalam Puspitasari and Martanto, 2014) :

$$RPN = severity \times occurrence \times detection \dots \dots \dots (2.11)$$

2.5.6 Langkah Dasar FMEA

Menurut Gaspersz (2005), terdapat langkah dasar dalam proses *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) yaitu sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi fungsi pada produksi.
2. Mengidentifikasi potensi *failure mode* proses produksi.

3. Mengidentifikasi potensi efek kegagalan produksi.
4. Mengidentifikasi penyebab – penyebab kegagalan proses produksi.
5. Mengidentifikasi mode – mode deteksi proses produksi.
6. Menentukan rating terhadap *severity*, *occurance*, *detection* dan RPN proses produksi.
7. Memberikan usulan perbaikan.

Pengukuran terhadap besarnya nilai *severity*, *occurance* dan *detection* adalah sebagai berikut :

1. Nilai *Severity*

Severity adalah langkah pertama untuk menganalisa resiko, yaitu menghitung seberapa besar dampak atau intensitas kejadian mempengaruhi hasil akhir proses. Dampak tersebut di rating mulai skala 1 sampai 10, dimana 10 merupakan dampak terburuk dan penentuan terhadap rating terdapat Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Klasifikasi Nilai *Severity*

Rating	Kriteria	Akibat (<i>Effect</i>)
1	Tidak mengakibatkan apa - apa (tidak ada akibat)	Tidak ada akibat (Proses berada dalam pengendalian)
2	Mesin tetap beroperasi dan aman, hanya terjadi sangat sedikit gangguan peralatan yang tidak berarti. Akibat hanya dapat diketahui oleh operator berpengalaman.	Akibat sangat ringan (Proses dalam pengendalian, hanya butuh sedikit penyesuaian)
3	Mesin tetap beroperasi dan aman, hanya sedikit terjadi gangguan. Akibat diketahui oleh rata – rata operator	Akibat ringan (Proses berada diluar pengendalian, membutuhkan beberapa penyesuaian)
4	Mesin tetap beroperasi dan aman, namun terdapat gangguan kecil, akibat diketahui oleh semua operator	<i>Akibat minor (Kurang dari 30 menit downtime atau tidak ada kehilangan waktu produksi).</i>
5	Mesin tetap beroperasi dan aman, tetapi menimbulkan beberapa kegagalan produk. Operator merasa tidak puas karena kinerja kurang.	Akibat Moderat (30 - 60 menit <i>downtime</i>)

Tabel 2. 1 Klasifikasi Nilai *Severity* (Lanjutan)

Rating	Kriteria	Akibat (<i>Effect</i>)
6	Mesin tetap beroperasi dan aman tetapi menimbulkan kegagalan produk. Operator merasa sangat tidak puas dengan kinerja mesin.	Akibat signifikan. (1 – 2 jam <i>downtime</i>)
7	Mesin tetap beroperasi dan aman tetapi tidak dapat dijalankan secara penuh. Operator merasa sangat tidak puas.	<i>Akibat major</i> (2 – 4 jam <i>downtime</i>)
8	Mesin tidak dapat beroperasi, telah kehilangan fungsi utama mesin	Akibat ekstrem (4 – 8 jam <i>downtime</i>)
9	Mesin gagal beroperasi, serta tidak sesuai dengan peraturan keselamatan kerja.	<i>Akibat serius</i> (> 8 jam <i>downtime</i>)
10	Mesin tidak layak dioperasikan, karena dapat menimbulkan kecelakaan secara tiba – tiba, bertentangan dengan peraturan keselamatan kerja.	Akibat berbahaya (> 8 jam <i>downtime</i>)

(Sumber : *Ford Motor Company*, 2011)

2. Nilai *Occurence*

Occurence merupakan kemungkinan bahwa penyebab kegagalan akan terjadi dan menghasilkan bentuk kegagalan selama masa produksi. Penentuan nilai *occurence* bisa dilihat berdasarkan Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Klasifikasi Nilai *Occurence*

<i>Degree</i>	Berdasarkan frekuensi kejadian	Rating
<i>Remote</i>	0,01 per 1000 item	1
<i>Low</i>	0,1 per 1000 item	2
	0,5 per 1000 item	3
<i>Moderate</i>	1 per 1000 item	4
	3 per 1000 item	5
	5 per 1000 item	6
<i>High</i>	10 per 1000 item	7
	20 per 1000 item	8
<i>Very High</i>	50 per 1000 item	9
	100 per 1000 item	10

(Sumber : *Ford Motor Company*, 2011)

3. Nilai *Detection*

Setelah diperoleh nilai *occurance*, selanjutnya adalah menentukan nilai *detection*. *Detection* berfungsi untuk upaya pencegahan terhadap proses produksi dan mengurangi tingkat kegagalan pada proses produksi.

Penentuan nilai *detection* bisa dilihat pada Tabel 2.3

Tabel 2. 3 Klasifikasi Nilai *Detection*

<i>Detection</i>	Kriteria	<i>Rank</i>
<i>Almost Impossible</i>	Kontrol desain tidak dapat mendeteksi potensi sebab kerusakan mekanis dan kerusakan berikutnya atau tidak adanya kontrol desain	10
<i>Very Remote</i>	Sangat jauh kemungkinan kontrol desain akan menemukan potensi sebab kerusakan mekanis atau sebab kegagalan berikutnya	9
<i>Remote</i>	Jauh / tipis kemungkinan kontrol desain akan menemukan potensi sebab kerusakan mekanis atau sebab kegagalan berikutnya	8
<i>Very Low</i>	Sangat rendah kemungkinan kontrol desain akan menemukan potensi sebab kerusakan mekanis atau sebab kegagalan berikutnya	7
<i>Low</i>	Rendah kemungkinan kontrol desain akan menemukan potensi sebab kerusakan mekanis atau sebab kegagalan berikutnya	6
<i>Moderate</i>	Sedang kemungkinan kontrol desain akan menemukan potensi sebab kerusakan mekanis atau sebab kegagalan berikutnya	5
<i>Moderately High</i>	Sangat sedang kemungkinan kontrol desain akan menemukan potensi sebab kerusakan mekanis atau sebab kegagalan berikutnya	4
<i>High</i>	Tinggi kemungkinan kontrol desain akan menemukan potensi sebab kerusakan mekanis atau sebab kegagalan berikutnya	3
<i>Very High</i>	Sangat tinggi kemungkinan kontrol desain akan menemukan potensi sebab kerusakan mekanis atau sebab kegagalan berikutnya	2
<i>Almost certain</i>	Kontrol desain hampir pasti menemukan potensi sebab kerusakan mekanis atau sebab kegagalan berikutnya	1

(Sumber : Ford Motor Company, 2011)

2.6 Metode Penjadwalan Perawatan Mesin

2.6.1 Distribusi Kerusakan

Distribusi kerusakan adalah informasi dasar mengenai umur pakai suatu peralatan dalam suatu peralatan dalam suatu populasi. Distribusi yang umum digunakan adalah distribusi eksponensial, lognormal, normal dan *weibull*, distribusi kerusakan ini dapat memenuhi berbagai macam fase kerusakan. Distribusi eksponensial biasanya digunakan jika laju kerusakan konstan terhadap waktu. Distribusi lognormal memiliki kemiripan dengan distribusi weibull sehingga jika pada suatu kasus memiliki distribusi weibull maka distribusi log normal juga dapat digunakan. Distribusi normal biasanya digunakan pada fenomena terjadinya *wear – out period*. Sedangkan distribusi *weibull* digunakan pada model yang mengalami laju kerusakan menaik maupun menurun.

2.6.2 Identifikasi Distribusi

Kerusakan dan Perbaikan Pengidentifikasi distribusi dapat dilakukan dalam tiga tahap, yaitu identifikasi awal, uji *goodness of fit*, dan estimasi parameter (Ebeling, 1997).

2.6.2.1 Identifikasi Awal

Identifikasi awal pada distribusi data menggunakan metode *Least Square curve Fitting*. Metode ini digunakan untuk menghitung nilai *index of fit* (r). Distribusi data dengan nilai r terbesar akan dipilih untuk diuji dengan menggunakan *Goodness of Fit Test*.

Rumus umum yang terdapat dalam metode *Least Square Curve Fitting* adalah:

$$F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana : i = data waktu ke- t

n = jumlah data kerusakan

$$\text{Index of Fit (r)} = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2][n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}} \dots\dots(2.13)$$

Rumus untuk menghitung nilai x_i dan y_i yang dimiliki masing - masing distribusi :

➤ Distribusi Weibull

$$x_i = \ln t_i, \text{ dimana } t_i \text{ adalah data waktu ke-}i \dots\dots\dots(2.14)$$

$$y_i = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1-F(t_i)} \right) \right] \dots\dots\dots(2.15)$$

$$\text{Parameter : } \beta = b \text{ dan } \theta = e^{\left(\frac{a}{b}\right)}$$

➤ Distribusi Eksponensial

$$x_i = t_i \text{ dimana } t_i \text{ adalah data waktu ke-}i \dots\dots\dots(2.16)$$

$$y_i = \ln \left[\frac{1}{1-F(t_i)} \right] \dots\dots\dots(2.17)$$

$$\text{Parameter : } \lambda = b$$

➤ Distribusi Normal

$$x_i = t_i, \text{ dimana } t_i \text{ adalah data waktu ke-}i \dots\dots\dots(2.18)$$

$$y_i = z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] \dots\dots\dots(2.19)$$

$$\text{Parameter : } \sigma = \frac{1}{b} \text{ dan } \mu = - \left(\frac{a}{b}\right)$$

➤ Distribusi Lognormal

$$x_i = \ln t_i, \text{ dimana } t_i \text{ adalah data waktu ke-}i \dots\dots\dots(2.20)$$

$$y_i = z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] \dots\dots\dots(2.21)$$

$$\text{Parameter : } s = \frac{1}{b} \text{ dan } t_{\text{med}} = e^{-sa}$$

Berikut adalah rumus yang digunakan untuk menghitung parameter pada masing – masing distribusi menggunakan pendekatan regresi :

- Untuk Distribusi Weibull, Normal dan Lognormal

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n Xi.Yi - (\sum_{i=1}^n Xi)(\sum_{i=1}^n Yi)}{n \sum_{i=1}^n Xi^2 - (\sum_{i=1}^n Xi)^2} \dots\dots\dots(2.22)$$

- Untuk Distribusi Eksponensial

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n Xi.Yi}{\sum_{i=1}^n Xi^2} \dots\dots\dots(2.23)$$

$$a = \bar{y} - bx \dots\dots\dots(2.24)$$

2.6.2.2 Goodness of Fit Test

Langkah selanjutnya setelah perhitungan *index of fit* adalah melakukan pengujian *goodness of fit* untuk nilai *index of fit* terbesar. Uji ini dilakukan dengan membandingkan antara dua hipotesis yang dibuat antara lain hipotesis nol (H₀) dan hipotesis alternatif (H₁).

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*.

- *Mann’s Test*

Hipotesis untuk melakukan uji ini adalah :

H₀ : Data kerusakan berdistribusi Weibull

H₁ : Data kerusakan tidak berdistribusi Weibull

Uji statistiknya adalah :

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]} \dots\dots\dots(2.25)$$

Dimana :

$$k_1 = \frac{r}{2} \qquad k_2 = \frac{r-1}{2}$$

$$Mi = Z_{i+1} - Zi \dots\dots\dots(2.26)$$

$$Zi = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i-0.5}{n+0.25} \right) \right] \dots\dots\dots(2.27)$$

Jika nilai $M_{hitung} < M_{tabel}$ maka H_0 diterima. Nilai M_{tabel} diperoleh dari tabel distribusi F dengan $v_1 = k_1$ dan $v_2 = k_2$.

➤ Bartlett's Test

Hipotesis untuk melakukan uji ini adalah :

H_0 : Data kerusakan berdistribusi Eksponential

H_1 : Data kerusakan tidak berdistribusi Eksponential

Uji statistiknya adalah :

$$B = \frac{2r \left[\ln \left(\frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r ti - \left(\frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r \ln ti \right]}{1 + \frac{(r+1)}{6r}} \dots\dots\dots(2.28)$$

dimana :

t_i adalah data waktu kerusakan ke-i

r adalah jumlah kerusakan

B adalah nilai uji statistic untuk uji Bartlett's Test

H_0 diterima jika :

$$\chi^2_{\frac{1-a}{2}, r-1} < B < \chi^2_{\frac{a}{2}, r-1}$$

$\chi^2_{\frac{1-a}{2}, r-1}$ dan $\chi^2_{\frac{a}{2}, r-1}$ didapatkan dari tabel chi-square.

➤ Kolmogorov-Smirnov Test

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 :

$$D_1 = \max_{1 < i < n} \left[\left(\frac{ti - \bar{t}}{s} \right) - \left(\frac{i-1}{n} \right) \right] \dots\dots\dots(2.29)$$

$$D_2 = \max_{1 < i < n} \left[\left(\frac{i-1}{n} \right) - \left(\frac{ti - \bar{t}}{s} \right) \right] \dots\dots\dots(2.30)$$

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n} \qquad s = \sqrt{\frac{\sum (t_i - \bar{t})^2}{n-1}}$$

t_i adalah waktu kerusakan ke- i

s adalah standar deviasi

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

2.6.3 Mean Time To Failure (MTTF)

Mean time to failure (MTTF) adalah nilai rata – rata kerusakan atau nilai yang diharapkan (*expected value*) dari suatu distribusi kerusakan (Ebeling, 1997). MTTF didefinisikan dengan persamaan:

$$MTTF = E(T) = \int_0^{\infty} tf(t)dt \dots \dots \dots (2.31)$$

Sedangkan persamaan MTTF untuk masing - masing distribusi :

- Distribusi Weibull

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

- Distribusi Eksponential

$$MTTF = \frac{1}{\lambda t}$$

λt : Laju kerusakan komponen

- Distribusi Lognormal

$$MTTF = t_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}}$$

- Distribusi Normal

$$MTTF = \mu$$

2.6.4 Mean Time To Repair (MTTR)

Mean Time to Repair (MTTR) merupakan waktu rata – rata dari interval waktu untuk melakukan perbaikan yang dibutuhkan oleh suatu

komponen atau sistem. Untuk dapat menentukan MTTR maka terlebih dahulu harus diketahui dulu jenis distribusi dari datanya. Menurut Ebeling (1997), MTTR diperoleh dengan rumus:

$$MTTR = \int_0^{\infty} th(t)dt = \int_0^{\infty} (1 - H(t))dt \dots \dots \dots (2.32)$$

Dimana:

$h(t)$ = fungsi kepadatan peluang untuk data waktu perbaikan (TTR)

$H(t)$ = fungsi distribusi kumulatif untuk data waktu perbaikan (TTR)

Sedangkan persamaan MTTF untuk masing - masing distribusi :

- Distribusi Weibull

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

- Distribusi Eksponential

$$MTTF = \frac{1}{\lambda}$$

λ : Laju perbaikan komponen

- Distribusi Lognormal

$$MTTF = t_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}}$$

- Distribusi Normal

$$MTTF = \mu$$

2.6.5 Penentuan Waktu Pemeriksaan Optimal

Pemeriksaan secara berkala juga diperlukan dalam tindakan perawatan mesin maupun komponen. Hal ini dilakukan untuk meminimalkan *downtime* akibat kerusakan mesin yang terjadi secara mendadak (Jardine (1973) dalam Majid, Moengin and Witonohadi, 2014)

Langkah-langkah perhitungan interval pemeriksaan yang optimal adalah:

1. Waktu rata – rata satu kali perbaikan :

$$1/\mu = \frac{MTTR}{\text{Jam kerja/bulan}} \dots\dots\dots(2.33)$$

2. Waktu rata – rata satu kali pemeriksaan :

$$1/i = \frac{\text{Waktu satu kali pemeriksaan}}{\text{Jam kerja/bulan}} \dots\dots\dots(2.34)$$

3. Rata – rata kerusakan per bulan :

$$k = \frac{\text{Jumlah kerusakan per tahun}}{12 \text{ bulan}} \dots\dots\dots(2.35)$$

4. Jumlah pemeriksaan optimal :

$$n = \sqrt{\frac{k \times i}{\mu}} \dots\dots\dots(2.36)$$

5. Interval waktu pemeriksaan :

$$I = \frac{\text{Jam kerja/bulan}}{n} \dots\dots\dots(2.37)$$

Dimana :

n = Jumlah inspeksi

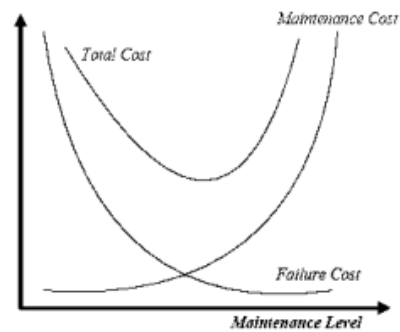
i = Waktu rata – rata inspeksi

k = Rata – rata kerusakan per unit waktu

μ = Waktu rata – rata perbaikan

2.7 Biaya Perawatan

Biaya sebelum dilakukan perbaikan (*failure cost*) merupakan biaya yang harus dikeluarkan oleh perusahaan yang disebabkan adanya kerusakan di luar perkiraan yang menyebabkan terhentinya mesin pada saat proses produksi sedang berjalan. Sedangkan biaya setelah dilakukan perbaikan (*maintenance cost*) merupakan biaya yang harus dikeluarkan oleh perusahaan karena adanya perawatan mesin yang terjadwal dan terencana. Dalam perhitungan tersebut, apabila biaya sebelum perbaikan lebih besar daripada setelah perbaikan maka dapat disimpulkan bahwa terjadi penghematan akibat penerapan dari metode maintenance yang lebih baik.



Gambar 2. 3 Kurva Biaya Total
(Sumber : Daulay, Nurutami and Daniel, 2013)

Pada kurva tersebut terlihat bahwa biaya perbaikan yang timbul akibat kerusakan berbanding terbalik dengan biaya perawatan. Semakin tinggi *maintenance level* yang dilakukan, maka *failure cost* akan semakin kecil, dan begitu juga sebaliknya. Sedangkan biaya perawatan (*maintenance cost*) akan semakin besar seiring dengan meningkatnya *maintenance level*, dan begitu juga sebaliknya.

2.7.1 Langkah – Langkah Menghitung Biaya Perawatan

Langkah–langkah yang digunakan dalam menentukan kebijakan *preventive maintenance* antara lain (Reksohadiprodjo (1995) dalam Djunaidi dan Bakdiyono, 2012):

1. Hitung jumlah *breakdown* kumulatif yang diharapkan dari kerusakan (B_n) untuk semua mesin selama periode *preventive maintenance* (n).
2. Tentukan jumlah rata-rata *breakdowns* per minggu (B) dengan menentukan perbandingan jumlah *breakdown* kumulatif (B_n) dengan periode *preventive maintenance* (n).
3. Perkiraan repair per periode

$$TCr = B \times Cr \dots\dots\dots(2.38)$$

$$B = \frac{N}{Tb} \dots\dots\dots(2.39)$$

$$Tb = \sum_i^a p_i T_i \dots\dots\dots(2.40)$$

$$Cr = (BTK \times WK \times JTK) + (BK) \dots\dots\dots(2.41)$$

Dimana :

TCr = *expected cost of repair* per minggu

B = Jumlah rata-rata breakdown / minggu untuk N mesin

Tb = Rata – rata *run time* per mesin sebelum rusak

N = Jumlah mesin

Cr = Biaya Repair

BTK = Biaya Tenaga Kerja

WK = Waktu Kerja

JTK = Jumlah Tenaga Kerja

BK = Biaya Komponen

4. Perkiraan biaya preventive maintenance per periode

$$TCm(n) = (BTK \times WK \times JTK) + (BK) \dots \dots \dots (2.42)$$

Dimana :

$TCm(n)$ = biaya *preventive maintenance* per periode

n = jumlah periode

BTK = Biaya Tenaga Kerja

WK = Waktu Kerja

JTK = Jumlah Tenaga Kerja

BK = Biaya Komponen

5. Biaya total perawatan

$$TMC(n) = TCr(n) + TCm(n) \dots \dots \dots (2.43)$$

2.8 Studi Literatur

Dalam melakukan penelitian ilmiah harus didahului dengan melakukan studi literatur. Studi literatur dilakukan agar peneliti dapat mengetahui gambaran penelitian – penelitian yang telah dilakukan serta dapat menjadi tolak ukur perbedaan dalam penelitian yang akan dilakukan. Daftar penelitian mengenai konsep TPM beserta metode dan ruang lingkup yang digunakan dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Penelitian - penelitian terdahulu

Tahun	Peneliti	Judul	Metode yang digunakan			Ruang Lingkup Penelitian	
			OEE	<i>Six Big Losses</i>	FMEA	Penjadwalan Maintenance (MTTF & MTTR)	Biaya
2008	Said	<i>Analisis Total Productive Maintenance</i>	V	V			
2011	Afirianto	<i>Penerapan Total Productive Maintenance (TPM) dengan Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness</i>	V	V			
2012	Djunaidi	<i>Minimasi Biaya Perawatan dengan Menggunakan Metode Preventive Maintenance Policy</i>					V
2013	Daulay	<i>Analisis Maintenance Reability Terhadap MTBF (Mean Time Between Failure) Facilities Pada Industri Pulp & Paper</i>				V	
2014	Majid	<i>Usulan Penerapan Total Productive Maintenance (TPM) dengan Pengukuran Overall Equipment Effectiveness (OEE) untuk Perencanaan Perawatan Pabrik Bar Mill pada PT. Krakatau Wajatama</i>	V	V		V	
2014	Puspitasari	<i>Penggunaan FMEA Dalam Mengidentifikasi Resiko Kegagalan Proses Produksi Sarung ATM (Alat Tenun Mesin)</i>			V		

Tabel 2. 4 Penelitian - penelitian terdahulu (lanjutan)

Tahun	Peneliti	Judul	Metode yang digunakan			Ruang Lingkup Penelitian	
			OEE	<i>Six Big Losses</i>	FMEA	Penjadwalan Maintenance (MTTF & MTTR)	Biaya
2014	Nurlestari	Strategi Perawatan Pada mesin AMUT 1 dengan konsep Total Productive Maintenance	V	V	V		
2015	Revitasari	Penentuan Jadwal Preventive Maintenance Mesin - Mesin di Stasiun Gilingan	V		V	V	
2016	Iswardi	Analisis Produktivitas Perawatan Mesin dengan Metode TPM (Total Productive Maintenance) Pada Mesin Mixing Section	V				
2018	Yon	Penerapan Konsep Total Productive Maintenance Pada Mesin Automatic Bottle Filling	V	V	V	V	V

**BAB III
METODE PENELITIAN**

3.1 Lokasi dan Waktu

3.1.1 Lokasi

Lokasi penelitian adalah pabrik PT. Guwatirta Sejahtera, Karangpandan, Kabupaten Karanganyar

3.1.2 Waktu

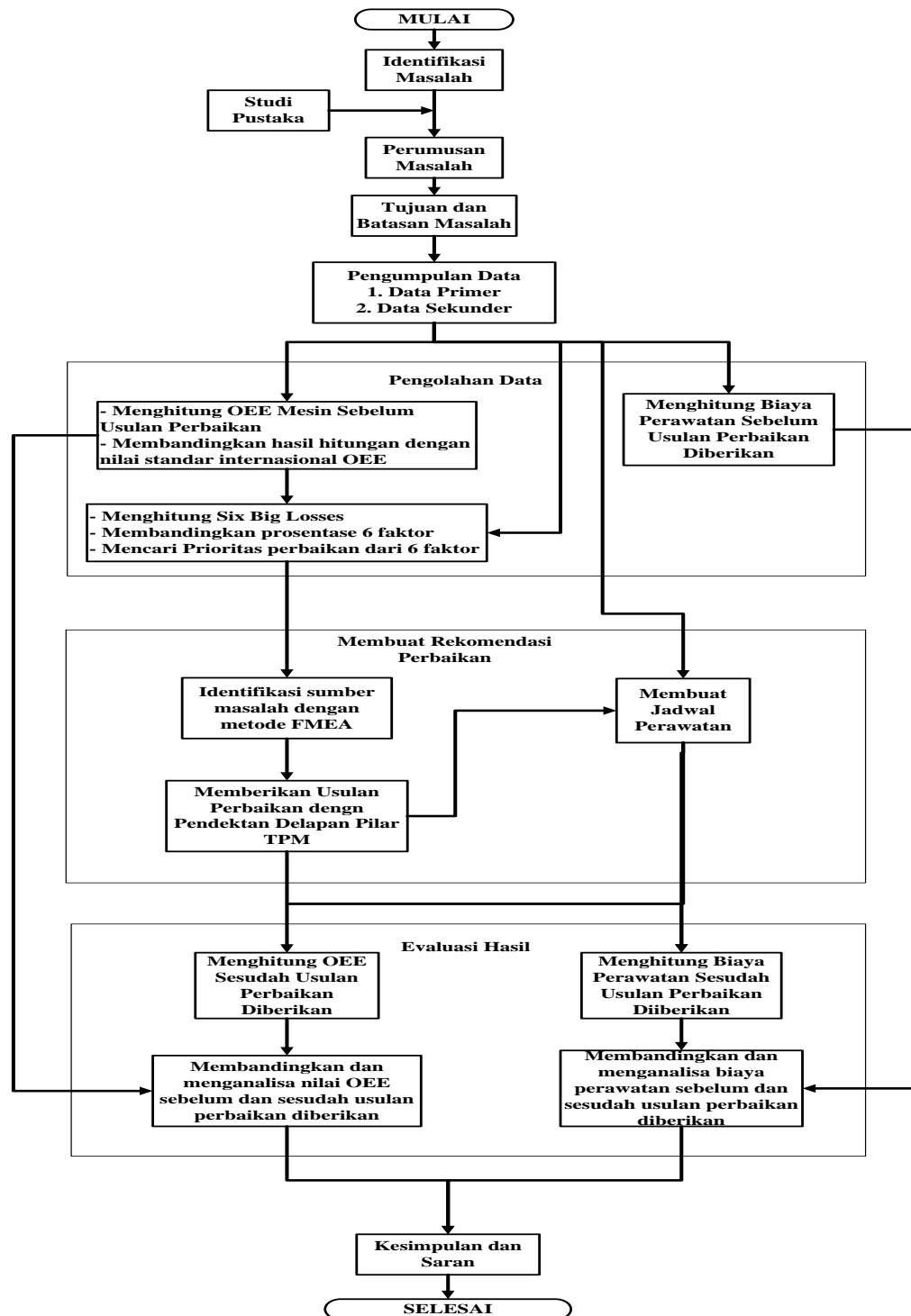
Jadwal kegiatan dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3. 1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Uraian Kegiatan	Tahun 2018																			
		Maret				April				Mei				Juni				Juli			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Penyusunan Proposal																				
2	Ujian Proposal																				
3	Pengambilan Data																				
4	Pengolahan dan Analisa Data																				
5	Penyusunan Skripsi																				
6	Sidang Skripsi																				

3.2 Kerangka Pikir

Berdasarkan teori pada BAB II maka dapat disusun kerangka berpikir sebagai berikut :



Gambar 3. 1 *Flowchart* Metode Penelitian

Penjelasan :

1. Identifikasi Masalah.

Identifikasi Masalah merupakan tahapan pertama yang harus dilakukan. Tahapan ini dilakukan untuk mengetahui gambaran permasalahan yang ada di pabrik PT. Guwatirta Sejahtera bagian produksi.

2. Studi Pustaka.

Studi pustaka dilakukan untuk mencari informasi – informasi yang dapat digunakan sebagai pedoman teoritis pada waktu melakukan penelitian lapangan dan untuk mendukung serta untuk menganalisis data.

3. Perumusan Masalah.

Dalam tahap ini dilakukan perumusan masalah berdasarkan identifikasi masalah diatas. Dalam penelitian ini perumusan masalah adalah, bagaimana keadaan manajemen perawatan dari PT. Guwatirta Sejahtera dan bagaimana solusi yang baik untuk perbaikan *maintenance* tersebut.

4. Tujuan dan Batasan Masalah.

Dalam tahap ini dilakukan penentuan tujuan yaitu untuk mengetahui bagaimana keadaan manajemen perawatan pada PT. Guwatirta Sejahtera dan bagaimana rekomendasi perbaikan yang baik. Sedangkan pemberian batasan masalah digunakan agar penelitian tidak meluas dan dikhususkan pada satu tempat saja.

5. Pengumpulan Data.

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data dengan cara wawancara dan observasi serta menggunakan data sekunder.

- Data Primer (Observasi Langsung)

Observasi langsung dilakukan di area kerja mesin *Automatic Bottle Filling*. Tujuan obsevasi secara langsung yang ingin dicapai adalah dapat mengetahui kondisi lapangan secara riil.

Data hasil observasi yang dibutuhkan antara lain :

- Gambaran riil proses produksi.

- Jumlah tenaga kerja.
- Jam kerja.
- Jumlah dan jenis mesin atau peralatan yang digunakan.
- Data Sekunder (Dokumen Perusahaan).

Data sekunder sangat dibutuhkan di dalam penelitian ini karena penelitian yang dilakukan merupakan penelitian kuantitatif. Data yang dibutuhkan antara lain :

- Data waktu antar kerusakan mesin.
Jarak antara mesin selesai diperbaiki / *service* hingga mesin mengalami kerusakan.
- Data waktu pemeliharaan mesin.
Lama waktu yang digunakan untuk merawat / memperbaiki mesin.
- Data waktu set up mesin.
- Data produksi mesin.
Jumlah produk yang berhasil diproduksi oleh mesin.
- Data sparepart mesin.
Daftar sparepart beserta *quantity* dan harga yang digunakan pada mesin.
- Data jumlah produk cacat.
Jumlah produk cacat yang terjadi karena kesalahan pada mesin.

6. Pengolahan Data.

Pada tahap pengolahan data terdapat beberapa aktivitas yang dilakukan, antara lain:

a. Analisa tingkat efisiensi Mesin

- Menghitung nilai OEE mesin dengan menggunakan persamaan 2.1.
 - Nilai *availability* dapat dicari dengan persamaan 2.2.
 - Nilai *Performance Rate* dengan persamaan 2.3.
 - Nilai *Quality Rate* dengan persamaan 2.4

- Nilai OEE mesin dibandingkan dengan nilai standar internasional OEE untuk menentukan tingkat efisiensi mesin apakah sudah baik atau belum
- b. Analisa faktor kehilangan terbesar
- Menghitung nilai *six big losses* pada mesin dengan menggunakan persamaan 2.5 sampai 2.10.
 - Membandingkan hasil dari perhitungan pada faktor *six big losses*.
 - Hasil prosentase terbesar dari perhitungan faktor *six big losses* merupakan prioritas perbaikan yang harus segera dilaksanakan.
- c. Analisa Biaya Perawatan Mesin
- Melakukan perhitungan biaya yang harus ditanggung oleh perusahaan sebelum dilakukan perbaikan metode perawatan mesin dengan menggunakan persamaan 2.46 sampai 2.49.
7. Membuat Rekomendasi Perbaikan.
- Mengidentifikasi sumber permasalahan *losses* terbesar berdasarkan perhitungan dengan metode *six big losses* menggunakan metode *failure mode and effect analysis* (FMEA).
 - Membuat rekomendasi perbaikan menggunakan pendekatan delapan pilar *total productive maintenance* (TPM) terhadap prioritas sumber permasalahan berdasarkan peringkat *risk priority number* pada metode FMEA.
 - Membuat jadwal perawatan berdasarkan hasil rekomendasi perbaikan
 - a. Menentukan nama – nama komponen yang membutuhkan perawatan rutin.
 - b. Menentukan jenis distribusi data masing – masing komponen dengan cara melakukan perhitungan nilai *index of fit* menggunakan persamaan
 - c. Melakukan pengujian distribusi data menggunakan uji Goodness of fit (Uji Kolmogorov-Smirnov untuk data yang berdistribusi normal dan lognormal, uji Mann untuk data yang berdistribusi

Weibull dan uji Bartlett untuk data yang berdistribusi eksponensial).

- d. Menghitung nilai *mean time to failure* (MTTF) dan *mean time to repair* (MTTR) mesin *automatic bottle filling* menggunakan persamaan 2.31 dan 2.32.
 - e. Menentukan nilai interval waktu penggantian pencegahan menggunakan nilai hasil dari perhitungan MTTF.
 - f. Menghitung nilai interval waktu pemeriksaan mesin menggunakan persamaan 2.33 samai 2.45.
 - g. Merekap hasil perhitungan waktu penggantian pencegahan dan waktu pemeriksaan pada masing – masing komponen.
- Hasil usulan jadwal perawatan menjadi salah satu parameter dalam menghitung biaya setelah dilakukan usulan perbaikan serta menghitung nilai *overall effectiveness equipment* (OEE) pada mesin setelah usulan perbaikan dilakukan.
8. Evaluasi Hasil.

Setelah membuat rekomendasi perbaikan menggunakan metode FMEA dan konsep delapan pilar TPM, selanjutnya adalah evaluasi dari rekomendasi yang telah dibuat. Evaluasi perlu untuk dilakukan karena dapat mengetahui efektifitas berlakunya rekomendasi yang telah dibuat. Selain itu evaluasi juga dapat membantu perusahaan untuk mengambil keputusan apakah usulan yang dibuat perlu untuk dilaksanakan atau tidak.

- Evaluasi dilakukan dengan membandingkan hasil dari perhitungan nilai OEE setelah usulan perbaikan diberikan kemudian dibandingkan dengan nilai OEE sebelum usulan perbaikan diberikan menggunakan persamaan 2.1 sampai 2.4.
- Evaluasi lainnya menggunakan nilai biaya perawatan yang sebelumnya dihitung menggunakan persamaan 2.46 sampai 2.49 dengan biaya sesudah dibuatnya rekomendasi menggunakan persamaan 2.46 dan 2.51.

Evaluasi dikatakan sukses jika nilai OEE lebih tinggi daripada penilaian sebelum diberikan rekomendasi perbaikan serta biaya perawatan yang ditanggung perusahaan lebih sedikit setelah diberikan rekomendasi perbaikan.

9. Kesimpulan dan Saran.

Setelah dilakukan pembahasan maka dapat disimpulkan tentang hasil yang diperoleh dan memberikan saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data

Data yang didapatkan dari PT. Guwatirta Sejahtera antara lain data historis waktu kerja, data hasil produksi, data pemakaian *sparepart* pada mesin *automatic bottle filling*, data waktu antar kerusakan pada mesin (*Time To Failure / TTF*), data waktu perbaikan mesin setiap terjadi kerusakan (*Time To Repair / TTR*), data historis *downtime* mesin *automatic bottle filling* dan data historis jumlah produk cacat (*reject*) pada mesin *automatic bottle filling*. Data historis waktu kerja dan hasil produksi selama tahun 2017 dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Data historis waktu kerja dan hasil produksi tahun 2017

Bulan	Waktu <i>Set Up</i> (Menit)	Waktu Kerja			<i>Cycle Time</i> (Menit)	Hasil Produksi (Botol)
		Hari	Jam Kerja / Hari (Menit)	Total Jam kerja (Menit)		
Januari	15	29	480	13.920	0,5	20.776
Februari	15	28	480	13.440	0,5	20.059
Maret	15	30	480	14.400	0,5	21.492
April	15	28	480	13.440	0,5	20.059
Mei	15	28	480	13.440	0,5	20.060
Juni	15	25	480	12.000	0,5	17.910
Juli	15	31	480	14.880	0,5	22.208
Agustus	15	30	480	14.400	0,5	21.492
September	15	29	480	13.920	0,5	20.777
Oktober	15	31	480	14.880	0,5	22.208
November	15	30	480	14.400	0,5	21.492
Desember	15	29	480	13.920	0,5	20.776
Total				167.040		249.309

Data pemakaian *sparepart* pada mesin *automatic bottle filling* selama tahun 2017 dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Data pemakaian *sparepart* selama tahun 2017

No	Spare Parts	Harga (Rp)	Frekuensi Penggantian
1	<i>Motor Penggerak SPS</i>	5.500.000	0
2	<i>Motor Conveyor UCF 205 I</i>	2.100.000	0
3	<i>Filling Roller</i>	150.000	7
4	<i>Buffering Support</i>	330.000	0
5	<i>Spie Support</i>	15.000	6
6	<i>Nilon Y Wasner</i>	20.000	7
7	<i>Pegas Tiang Filler</i>	450.000	8
8	<i>Nozzle Spring Filler</i>	250.000	5
9	<i>Air Compressor</i>	4.750.000	4
10	<i>Filling Tank Float Sensor</i>	300.000	6
11	<i>Filling Nozzle O-Rings</i>	15.000	5
12	<i>Filling Sealing Pads</i>	20.000	6
13	<i>Photoelectric sensor</i>	1.500.000	6
14	<i>Heater Stick</i>	450.000	0
15	<i>Nylon Gear for Capping Head</i>	560.000	0
16	<i>Stop Rotary Knife</i>	325.000	0
17	<i>Solenoid Valve</i>	250.000	0
18	<i>Washing Fork</i>	2.250.000	0
19	<i>Baut penopang washing fork</i>	750.000	9
20	<i>Star Wheel</i>	1.500.000	4
21	<i>Capping Bearings</i>	980.000	0
22	<i>Driving Wheel</i>	475.000	4
23	<i>Passive Wheel</i>	200.000	7
24	<i>Pull Spring Washer</i>	40.000	6
25	<i>Snap Ring Washer</i>	50.000	8
26	<i>Filling Valve</i>	3.000.000	4
27	<i>Bottle Neck Exchange</i>	5.000.000	0
28	<i>Capping Head Exchange</i>	1.050.000	0
29	<i>Real Bottle Conveyor Chain</i>	785.000	0
30	<i>Bottle Neck Cushion</i>	700.000	0
31	<i>Bottle Neck Gripper</i>	825.000	0
32	<i>Capping Head</i>	1.425.000	0
33	<i>Washing Head</i>	1.200.000	0
34	<i>Feet Base</i>	230.000	0
35	<i>Valve Sleeving</i>	425.000	0
36	<i>Washing Nozzle</i>	1.500.000	7

Data waktu antar kerusakan dan data waktu perbaikan pada mesin *automatic bottle filling* dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Tabel 4. 3 Data waktu antar kerusakan (*Time to Failure/TTF*) mesin *automatic bottle filling* tahun 2017

No	Komponen	Jarak waktu antara kerusakan ke-n dengan ke-n+1 (Menit)									TOTAL
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
1	Baut Penopang Washing Fork	14.905	15.854	18.260	19.705	22.580	21.600	19.680	17.783	15.360	165.727
2	Filling nozzle O-rings	32.690	33.630	36.080	34.586	28.845					165.831
3	Nozzle Spring	28.410	33.225	39.360	34.120	30.796					165.911
4	Filling Valve	44.665	40.827	38.400	42.720						166.612
5	Passive Wheel	24.480	25.140	24.007	24.480	25.440	21.600	20.640			165.787
6	Filling Tank Float Sensor	26.400	28.875	32.640	32.210	24.960	20.640				165.725
7	Photoelectric Sensor	29.280	28.320	24.580	26.400	27.869	29.280				165.729
8	Star Wheel	41.400	42.720	44.640	37.080						165.840
9	Pull Spring Washer	13.567	19.792	30.720	34.080	41.280	26.400				165.839
10	Pegas Tiang Filler	16.800	18.337	20.640	24.480	26.070	20.640	19.680	18.820		165.467
11	Filling Sealing Pads	21.600	30.240	20.660	30.240	36.960	25.935				165.635
12	Filling Roller	18.720	20.375	28.320	29.875	25.920	24.117	18.240			165.567
13	Snap Ring Washer	17.782	19.680	23.520	24.480	22.560	20.182	18.240	19.680		166.124
14	Spie Support	25.548	28.428	29.280	27.468	20.640	34.188				165.552
15	Nilon Y Wasner	31.200	14.934	20.692	28.320	29.332	25.920	15.894			166.292
16	Air Compressor	52.800	38.020	41.760	33.197						165.777
17	Driving Wheel	29.345	56.640	44.160	35.585						165.730
18	Washing Nozzle	21.700	19.780	20.745	23.520	24.480	30.340	24.960			165.525

Tabel 4. 4 Data waktu perbaikan mesin (*Time to Repair/TTR*) mesin *automatic bottle filling* tahun 2017

No	Komponen	Waktu perbaikan kerusakan ke-n (Menit)									TOTAL
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
1	Baut Penopang Washing Fork	141	144	145	147	149	151	146	142	148	1313
2	Filling nozzle O-rings	239	241	249	243	237					1209
3	Nozzle Spring	225	215	228	237	224					1129
4	Filling Valve	108	114	105	101						428
5	Passive Wheel	179	183	172	174	179	181	185			1253
6	Filling Tank Float Sensor	215	218	221	219	220	222				1315
7	Photoelectric Sensor	222	225	218	211	222	213				1311
8	Star Wheel	293	297	301	309						1200
9	Pull Spring Washer	210	192	197	201	205	196				1201
10	Pegas Tiang Filler	194	198	195	197	201	199	192	197		1573
11	Filling Sealing Pads	233	234	231	240	235	232				1405
12	Filling Roller	215	214	212	208	205	209	210			1473
13	Snap Ring Washer	114	115	117	119	112	115	113	111		916
14	Spie Support	243	247	249	255	251	243				1488
15	Nilon Y Wasner	107	104	103	108	106	109	111			748
16	Air Compressor	310	315	321	317						1263
17	Driving Wheel	324	332	329	325						1310
18	Washing Nozzle	214	213	216	218	221	222	211			1515

Data historis *downtime* pada mesin *automatic bottle filling* selama tahun 2017 dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Data historis *downtime* mesin *automatic bottle filling* tahun 2017

Bulan	Frekuensi <i>Downtime</i> Mesin <i>Automatic Bottle Filling</i>	Lama <i>Downtime</i> Mesin <i>Automatic Bottle Filling</i> (Menit)	<i>Planned Downtime</i> (Menit)
Januari	9	1.818,87	1.410
Februari	10	1.840,7	1.260
Maret	7	1.790,81	1.410
April	9	1.839,75	1.275
Mei	10	1.842,4	1.335
Juni	7	1.755,46	1.100
Juli	9	1.833,81	1.350
Agustus	8	1.830,96	1.335
September	7	1.802,15	1.275
Oktober	11	1.891,42	1.410
November	10	1.876,9	1.335
Desember	12	1.926,6	1.350
TOTAL	109	22.049,83	15.845

Data historis jumlah cacat (*reject*) pada mesin *automatic bottle filling* tahun 2017 dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Data historis jumlah produk cacat (*reject*) pada mesin *automatic bottle filling* tahun 2017

Bulan	Produk <i>Reject</i> Keseluruhan (Botol)	Produk <i>Reject</i> Pada Mesin <i>Automatic Bottle Filling</i> (Botol)
Januari	394	4
Februari	408	5
Maret	420	5
April	422	6
Mei	438	6
Juni	450	7
Juli	461	7
Agustus	454	6
September	442	5
Oktober	418	5
November	404	5
Desember	389	4

Data jumlah produk cacat pada botol yang terdapat pada tabel 4.6 merupakan cacat yang terjadi pada saat produk sedang diproses pada mesin *automatic bottle filling*. Berdasarkan hasil wawancara dengan karyawan bagian produksi, cacat yang terjadi saat proses sedang berlangsung dapat disebabkan oleh

beberapa hal seperti posisi *washing fork* yang miring. Posisi *washing fork* yang miring akan melukai leher botol pada saat membalikkan botol untuk dicuci dan mengembalikannya lagi ke dalam posisi semula.

Beberapa penyebab lain yang dapat menyebabkan cacat pada botol adalah tidak berputarnya alat *press* yang digunakan untuk menekan tutup botol pada saat proses pemasangan tutup botol. Hal tersebut menyebabkan ulir dalam tutup botol dan ulir di luar mulut botol rusak, sehingga botol tidak tertutup secara sempurna. Posisi botol yang tidak sejajar dengan alat *press* juga menyebabkan mulut botol rusak saat proses penekanan tutup botol. Penyebab lain yang dapat menyebabkan cacat pada botol adalah *nozzle filling* yang tidak terbuka maksimal saat proses *filling* sehingga membuat kuantitas air pada botol tidak sesuai dengan takarannya.

4.2 Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan data terdapat beberapa aktivitas yang dilakukan antara lain analisa tingkat efisiensi mesin, analisa faktor kehilangan terbesar dan analisa biaya perawatan mesin.

4.2.1 Analisis Tingkat Efisiensi Mesin

Aktivitas pertama yang dilakukan adalah analisa tingkat efisiensi mesin. Analisa tingkat efisiensi mesin dilakukan dengan menghitung nilai *overall equipment effectiveness* (OEE) pada mesin *automatic bottle filling*. Nilai OEE didapatkan dari perkalian antara nilai *availability rate*, *performance rate* dan *rate of quality*.

4.2.1.1 Availability Rate

Dalam menghitung *availability*, diperlukan data *operation time* yaitu lamanya waktu proses produksi bagi mesin untuk menghasilkan produk. *Operation time* didapatkan dari persamaan :

$$- \textit{Operation time} = \textit{Loading time} - \textit{Downtime}$$

$$\textit{Dimana} : \textit{Loading time} = \textit{Running time} - \textit{Planned Downtime}$$

Running time merupakan jumlah jam kerja untuk proses produksi yang didapatkan dari data pada Tabel 4.1. Sedangkan, *downtime* dan *Planned downtime* didapatkan dari data pada Tabel 4.5. Hasil perhitungan *loading time* dan *operation time* dapat dilihat pada tabel 4.7 dan tabel 4.8.

Tabel 4. 7 Hasil perhitungan loading time tahun 2017

Bulan	Running Time (Menit)	Planned Downtime (Menit)	Loading Time (Menit)
Januari	13.920	1.410	12.510
Februari	13.440	1.260	12.180
Maret	14.400	1.410	12.990
April	13.440	1.275	12.165
Mei	13.440	1.335	12.105
Juni	12.000	1.100	10.900
Juli	14.880	1.350	13.530
Agustus	14.400	1.335	13.065
September	13.920	1.275	12.645
Oktober	14.880	1.410	13.470
November	14.400	1.335	13.065
Desember	13.920	1.350	12.570
TOTAL			151.195

Tabel 4. 8 Hasil perhitungan operation time tahun 2017

Bulan	Loading Time (Menit)	Downtime (Menit)	Operation Time (Menit)
Januari	12.510	1.818,87	10.691,13
Februari	12.180	1.840,7	10.339,3
Maret	12.990	1.790,81	11.199,19
April	12.165	1.839,75	10.325,25
Mei	12.105	1.842,4	10.262,6
Juni	10.900	1.755,46	9.144,54
Juli	13.530	1.833,81	11.696,19
Agustus	13.065	1.830,96	11.234,04
September	12.645	1.802,15	10.842,85
Oktober	13.470	1.891,42	11.578,58
November	13.065	1.876,9	11.188,1
Desember	12.570	1.926,6	10.643,4
TOTAL			129.145,17

Setelah ditemukan nilai *loading time* dan *operation time* pada masing – masing bulan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan nilai *availability*.

Berikut adalah contoh perhitungan untuk mencari nilai *availability rate* pada bulan Januari :

$$\text{Availability bulan Januari} = \frac{\text{Operation Time}}{\text{Loading Time}} \times 100 \%$$

$$\text{Availability bulan Januari} = \frac{10.691,13}{12.150} \times 100 \%$$

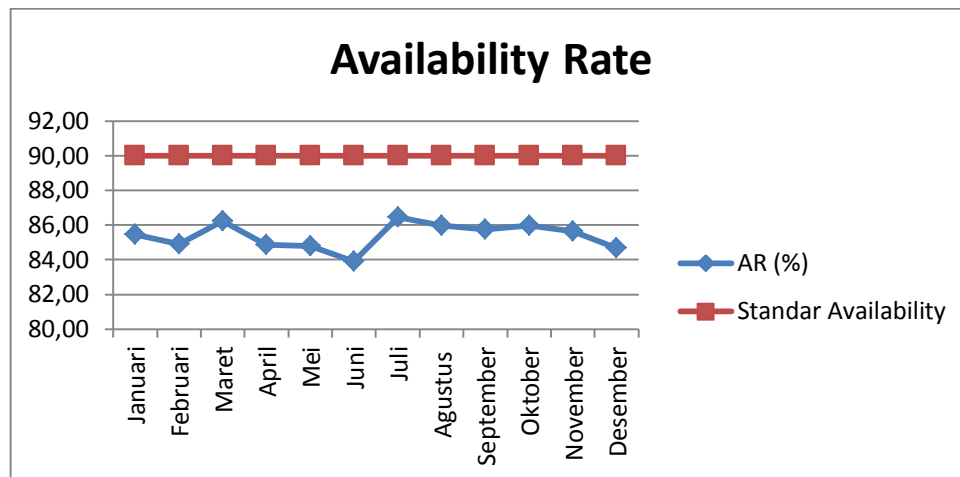
$$\text{Availability bulan Januari} = 85,46 \%$$

Dengan cara yang sama nilai *availability rate* untuk bulan Januari 2017 – Desember 2017 dapat dilihat pada tabel 4.9

Tabel 4. 9 Perhitungan *availability rate* tahun 2017

Bulan	<i>Loading Time</i> (Menit)	<i>Downtime</i> (Menit)	<i>Operating Time</i> (Menit)	AR (%)
Januari	12.510	1.818,87	10.691,13	85,46
Februari	12.180	1.840,7	10.339,3	84,89
Maret	12.990	1.790,81	11.199,19	86,21
April	12.165	1.839,75	10.325,25	84,88
Mei	12.105	1.842,4	10.262,6	84,78
Juni	10.900	1.755,46	9.144,54	83,89
Juli	13.530	1.833,81	11.696,19	86,45
Agustus	13.065	1.830,96	11.234,04	85,99
September	12.645	1.802,15	10.842,85	85,75
Oktober	13.470	1.891,42	11.578,58	85,96
November	13.065	1.876,9	11.188,1	85,63
Desember	12.570	1.926,6	10.643,4	84,67
Rata – Rata				85,38

Dari hasil perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa nilai availability rate mesin *automatic bottle filling* pada tahun 2017 belum memenuhi standar nilai *availability* yang ditetapkan oleh Vorne Industries sebesar 90%. Grafik *availability rate* dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Grafik *Availability Rate*

4.2.1.2 *Performance Rate*

Performance rate didapatkan dengan mengalikan jumlah produksi dengan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu unit produk dibagi dengan waktu operasi. Kemudian diubah ke dalam bentuk persentase.

Salah satu contoh perhitungan untuk mencari nilai *performance rate* pada bulan Januari adalah sebagai berikut :

$$PR \text{ Bulan Januari} = \frac{\text{Jumlah produksi} \times \text{Waktu siklus per unit}}{\text{Operation Time}} \times 100 \%$$

$$PR \text{ Bulan Januari} = \frac{20.776 \times 0,5}{10.691,13} \times 100 \%$$

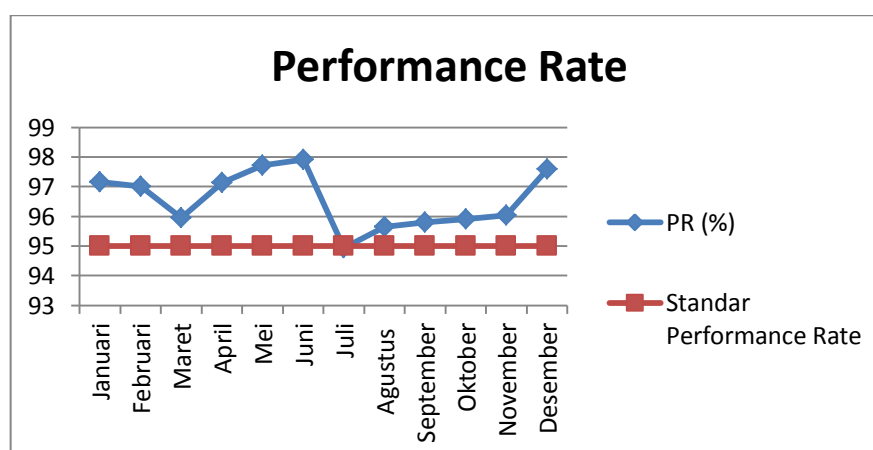
$$PR \text{ Bulan Januari} = 97,16 \%$$

Dengan cara yang sama nilai *performance rate* untuk bulan Februari 2017 – Desember 2017 dapat dilihat pada Tabel 4.10

Tabel 4. 10 Perhitungan *Performance Rate* Tahun 2017

Bulan	Hasil Produksi	Cycle Time	Hasil Produksi x Cycle Time	Operating Time (Menit)	PR (%)
Januari	20.776	0,5	10.388	10.691,13	97,16
Februari	20.059	0,5	10.029,5	10.339,3	97,00
Maret	21.492	0,5	10.746	11.199,19	95,95
April	20.059	0,5	10.029,5	10.325,25	97,13
Mei	20.060	0,5	10.030	10.262,6	97,73
Juni	17.910	0,5	8.955	91.44,54	97,92
Juli	22.208	0,5	11.104	11.696,19	94,93
Agustus	21.492	0,5	10.746	11.234,04	95,65
September	20.777	0,5	10.388,5	10.842,85	95,80
Oktober	22.208	0,5	11.104	11.578,58	95,90
November	21.492	0,5	10.746	11.188,1	96,04
Desember	20.776	0,5	10.388	10.643,4	97,60
Rata – Rata					96,57

Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa nilai *performance rate* mesin *automatic bottle filling* pada tahun 2017 memenuhi standar nilai yang ditetapkan oleh Vorne Industries sebesar 95%. Hal tersebut terjadi karena nilai rata - rata *performance rate* mesin *automatic bottle filling* mencapai 96,57 %. Hasil perhitungan dan perbandingannya terhadap standar *performance rate* dapat dilihat pada Gambar 4.2.

**Gambar 4. 2** Grafik *Performance Rate*

4.2.1.3 *Rate of Quality*

Quality rate merupakan perbandingan antara produk yang baik dibagi dengan jumlah total produksi. Jumlah produk yang baik ini didapatkan dengan mengurangi jumlah produksi dengan jumlah produk *defect* atau cacat yang diakibatkan oleh salah satu mesin pada saat proses produksi. Kemudian setelah itu diubah ke dalam bentuk persentase.

Salah satu contoh perhitungan untuk mencari nilai *quality rate* pada bulan Januari adalah sebagai berikut :

$$\text{Quality Rate Bulan Januari} = \frac{\text{Jumlah produksi} - \text{produk defect}}{\text{Jumlah produksi}} \times 100 \%$$

$$\text{Quality Rate Bulan Januari} = \frac{20.776 - 4}{20.776} \times 100 \%$$

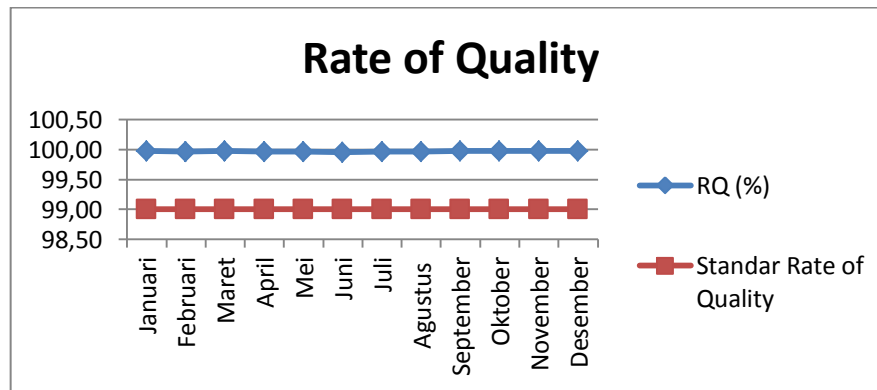
$$\text{Quality Rate Bulan Januari} = 99,98 \%$$

Dengan cara yang sama nilai *quality of rate* untuk bulan Februari 2017 – Desember 2017 dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Hasil perhitungan *rate of quality*

Bulan	Hasil Produksi	Produk <i>Defect</i> Pada Mesin Automatic Bottle Filling (Botol)	RQ (%)
Januari	20.776	4	99,98
Februari	20.059	5	99,98
Maret	21.492	5	99,98
April	20.059	6	99,97
Mei	20.060	6	99,97
Juni	17.910	7	99,96
Juli	22.208	7	99,97
Agustus	21.492	6	99,97
September	20.777	5	99,98
Oktober	22.208	5	99,98
November	21.492	5	99,98
Desember	20.776	4	99,98
Rata – Rata			99,97

Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa nilai *rate of quality* mesin *automatic bottle filling* pada tahun 2017 memenuhi standar nilai yang ditetapkan oleh Vorne Industries sebesar 99%. Hal tersebut dibuktikan bahwa nilai *rate of quality* dari bulan Januari sampai Desember 2017 selalu berada di atas standar nilainya. Grafik *rate of quality* dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Grafik rate of quality

4.2.1.4 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai OEE dari mesin *automatic bottle filling*. Hasil dari perhitungan *availability rate*, *performance rate* dan *quality of rate* yang telah dihitung kemudian dikalikan untuk mendapatkan nilai OEE.

Salah satu contoh perhitungan nilai OEE adalah sebagai berikut :

$$OEE = Availability \times Performance Rate \times Quality Rate$$

$$OEE = 85,46 \% \times 97,16 \% \times 99,98 \%$$

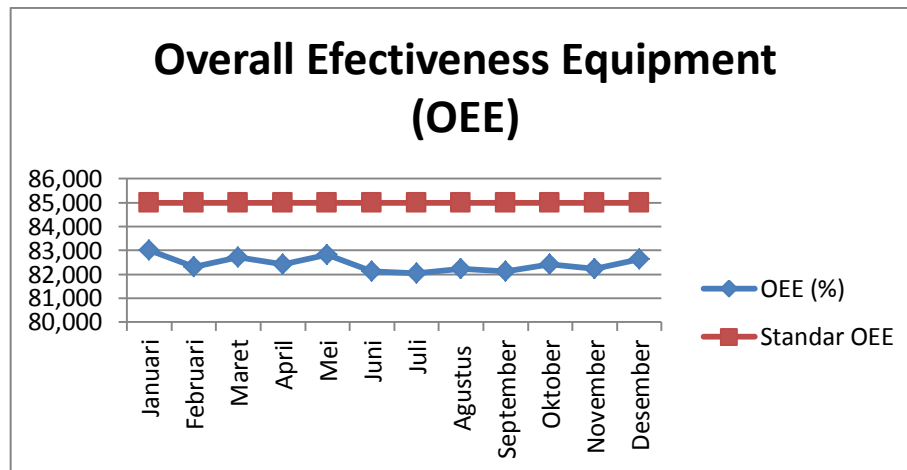
$$OEE = 83,022 \%$$

Nilai OEE untuk bulan Januari 2017 – Desember 2017 dapat dilihat pada Tabel 4.12

Tabel 4. 12 Hasil perhitungan OEE

Bulan	Availability Rate (%)	Performance Rate (%)	Quality Rate (%)	OEE (%)
Januari	85,46	97,16	99,98	83,02
Februari	84,89	97,00	99,98	82,32
Maret	86,21	95,95	99,98	82,70
April	84,88	97,14	99,97	82,42
Mei	84,78	97,73	99,97	82,83
Juni	83,89	97,93	99,96	82,12
Juli	86,45	94,94	99,97	82,04
Agustus	85,99	95,66	99,97	82,22
September	85,75	95,81	99,98	82,13
Oktober	85,96	95,90	99,98	82,41
November	85,63	96,05	99,98	82,23
Desember	84,67	97,60	99,98	82,62
Rata – Rata				82,42

Dari hasil perhitungan nilai OEE pada tahun 2017 dapat diketahui bahwa besar nilai rata – rata OEE tahun 2017 sebesar 82,42 %. Sedangkan standar nilai OEE yang ditetapkan oleh *Vorne Industries* seharusnya berada di atas 85 %. Grafik hasil perhitungan nilai OEE mesin *automatic bottle filling* dapat dilihat pada Gambar 4.4



Gambar 4. 4 Grafik nilai OEE

Dari Gambar 4.4 dapat diketahui bahwa nilai efektivitas dari mesin *automatic bottle filling* memerlukan evaluasi untuk dilakukan perbaikan dalam upaya untuk meningkatkan nilai efektifitas mesin, sehingga nilai OEE mesin *automatic bottle filling* dapat ditingkatkan hingga mencapai nilai standar minimal yaitu 85 %.

4.2.2 Analisis Faktor Kehilangan Terbesar

Faktor kehilangan terbesar dapat dicari dengan menggunakan perhitungan faktor *six big losses*. *Six big losses* adalah enam faktor kerugian yang dapat mempengaruhi tingkat efektifitas suatu mesin. Perhitungan *six big losses* dibagi atas tiga kategori besar yaitu *losses* pada *availability rate*, *losses* pada *performance rate* dan *losses* pada *quality rate*.

4.2.2.1 Losses Pada Availability Rate

Losses pada *availability rate* terdiri dari *breakdown losses* dan *setup and adjustment losses*.

a. Breakdown Losses

Rumus dan contoh perhitungan *breakdown losses* bulan Januari :

$$\text{equipment failure losses} = \frac{\text{downtime}}{\text{loading time}} \times 100 \%$$

$$\text{equipment failure losses} = \frac{1.818,87}{12.510} \times 100 \%$$

$$\text{equipment failure losses} = 14,54 \%$$

Hasil perhitungan persentase *breakdown losses* untuk bulan Januari 2017 sampai Desember 2017 dapat dilihat pada tabel 4.13

Tabel 4. 13 Hasil perhitungan persentase *breakdown losses*

Bulan	<i>Downtime</i> (Menit)	<i>Loading Time</i>	%
Januari	1.818,87	12.510	14,54
Februari	1.840,7	12.180	15,11
Maret	1.790,81	12.990	13,79
April	1.839,75	12.165	15,12
Mei	1.842,4	12.105	15,22
Juni	1.755,46	10.900	16,11
Juli	1.833,81	13.530	13,55
Agustus	1.830,96	13.065	14,01
September	1.802,15	12.645	14,25
Oktober	1.891,42	13.470	14,04
November	1.876,9	13.065	14,37
Desember	1.926,6	12.570	15,33
Total	22.049,83	15.1195	

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 4.13 dapat diketahui bahwa nilai *breakdown losses* tertinggi yaitu pada bulan Juni 2017 sebesar 16,11 %, sedangkan nilai terendah pada bulan Juli 2017 sebesar 13,55 %.

b. *Setup and adjustment losses*

Rumus dan contoh perhitungan *setup and adjustment losses* bulan Januari:

$$\text{Set Up and adjusment losses} = \frac{\text{set up time}}{\text{loading time}} \times 100 \%$$

$$\text{Set Up and adjusment losses} = \frac{435}{12.510} \times 100 \%$$

$$\text{Set Up and adjusment losses} = 3,48 \%$$

Hasil perhitungan *setup and adjustment losses* didapatkan dari waktu *setup* yang ditetapkan oleh perusahaan sebesar 15 menit dalam 1 hari dikali dengan jumlah hari kerja dalam 1 bulan kemudian dibagi dengan *loading time*. Hasil perhitungan *setup and adjustment losses* tahun 2017 dapat dilihat pada tabel 4.14.

Tabel 4. 14 Hasil perhitungan *setup and adjustment losses*

Bulan	<i>Loading Time</i> (Menit)	<i>Set Up Time</i> (Menit)	%
Januari	12.510	435	3,48
Februari	12.180	420	3,45
Maret	12.990	450	3,46
April	12.165	420	3,45
Mei	12.105	420	3,47
Juni	10.900	375	3,44
Juli	13.530	465	3,44
Agustus	13.065	450	3,44
September	12.645	435	3,44
Oktober	13.470	465	3,45
November	13.065	450	3,44
Desember	12.570	435	3,46
Total	151.195		

4.2.2.1 Losses Pada Performance Rate

Losses pada *performance rate* terdiri dari *idling and minor stoppages* dan *reduce speed losses*.

a. *Idling and Minor Stoppage Losses*

Rumus dan contoh perhitungan *idling and minor stoppages* bulan Januari :

$$\text{Stoppage losses} = \frac{\text{non productive time}}{\text{loading time}} \times 100 \%$$

$$\text{Stoppage losses} = \frac{15}{12.510} \times 100 \%$$

$$\text{Stoppage losses} = 0,11 \%$$

Faktor *idling and stoppage losses* pada mesin *automatic bottle filling* tidak memiliki nilai yang signifikan. Hal tersebut dapat terjadi karena PT. Guwatirta Sejahtera memiliki generator set yang selalu digunakan saat terjadi pemadaman listrik sehingga nilai *non productive time* yang didapatkan dari waktu untuk melakukan *setting* pada *generator set* tidak terlalu berpengaruh terhadap penilaian *performance rate*. Hasil perhitungan *idling and minor stoppage losses* dapat dilihat pada tabel 4.15.

Tabel 4. 15 Hasil perhitungan *idling and minor stoppage losses*

Bulan	<i>Loading Time</i> (Menit)	<i>Non Productive Time</i> (Menit)	%
Januari	12.510	15	0,12
Februari	12.180	0	0,00
Maret	12.990	0	0,00
April	12.165	15	0,12
Mei	12.105	30	0,25
Juni	10.900	0	0,00
Juli	13.530	0	0,00
Agustus	13.065	0	0,00
September	12.645	0	0,00
Oktober	13.470	15	0,11
November	13.065	0	0,00
Desember	12.570	30	0,24
Total	151.195	105	

b. *Reduce Speed Losses*

Rumus dan contoh perhitungan *Reduce Speed losses* bulan Januari :

$$RSL = \frac{\text{operation time} - (\text{ideal cycle time} \times \text{hasil produksi})}{\text{loading time}} \times 100 \%$$

$$RSL = \frac{10.691,13 - (0,5 \times 20.776)}{13.920} \times 100 \%$$

$$RSL = 2,18 \%$$

Hasil produksi dan *cycle time* didapatkan dari data pada tabel 4.1.

Hasil perhitungan *reduce speed losses* selama bulan Januari tahun 2017 sampai bulan Desember tahun 2017 dapat dilihat pada tabel 4.16.

Tabel 4. 16 Hasil perhitungan *reduce speed losses*

Bulan	Hasil Produksi	Operating Time (Menit)	Loading Time (Menit)	Ideal Cycle Time (Menit)	%
Januari	20.776	10.691,13	12.510	0,5	2,42
Februari	20.059	10.339,3	12.180	0,5	2,54
Maret	21.492	11.199,19	12.990	0,5	3,49
April	20.059	10.325,25	12.165	0,5	2,43
Mei	20.060	10.262,6	12.105	0,5	1,92
Juni	17.910	9.144,54	10.900	0,5	1,74
Juli	22.208	11.696,19	13.530	0,5	4,38
Agustus	21.492	11.234,04	13.065	0,5	3,74
September	20.777	10.842,85	12.645	0,5	3,59
Oktober	22.208	11.578,58	13.470	0,5	3,52
November	21.492	11.188,1	13.065	0,5	3,38
Desember	20.776	10.643,4	12.570	0,5	2,03
Total	249.309	129.145,17	151.195		

4.2.2.2 *Losses Pada Quality Rate*

Losses pada *quality rate* terdiri dari *quality losses* dan *yield losses*.

a. *Quality Losses*

Rumus dan contoh perhitungan *quality losses* bulan januari :

$$\text{Defect Losses} = \frac{\text{ideal cycle time} \times \text{hasil produksi cacat}}{\text{loading time}} \times 100 \%$$

$$\text{Defect Losses} = \frac{0,5 \times 4}{12.510} \times 100 \% = 0,02 \%$$

Hasil perhitungan *quality losses* pada bulan Januari tahun 2017 sampai bulan Desember tahun 2017 dapat dilihat pada tabel 4.17.

Tabel 4. 17 Hasil perhitungan *quality losses*

Bulan	<i>Loading Time</i> (Menit)	Produk <i>Reject</i> Pada Mesin Automatic Bottle Filling (Botol)	<i>Ideal Cycle Time</i> (Menit)	<i>Quality Defect Losses</i> (%)
Januari	12510	4	0.5	0.02
Februari	12180	5	0.5	0.02
Maret	12990	5	0.5	0.02
April	12165	6	0.5	0.02
Mei	12105	6	0.5	0.02
Juni	10900	7	0.5	0.03
Juli	13530	7	0.5	0.03
Agustus	13065	6	0.5	0.02
September	12645	5	0.5	0.02
Oktober	13470	5	0.5	0.02
November	13065	5	0.5	0.02
Desember	12570	4	0.5	0.02
Total	151195	65		

b. Yield losses

Yield losses merupakan kerugian yang disebabkan karena adanya kecacatan di awal proses produksi. Berikut adalah rumus dan contoh perhitungan *yield losses* bulan Januari :

$$\text{Scrap losses} = \frac{\text{ideal cycle time} \times \text{scrap}}{\text{loading time}} \times 100 \%$$

$$\text{Scrap losses} = \frac{0,3 \times 0}{12.510} \times 100 \%$$

$$\text{Scrap losses} = 0 \%$$

Hasil perhitungan di atas menghasilkan nilai *yield losses* 0%. Hal tersebut dapat terjadi karena pada saat proses *set up mesin* tidak ada produk yang diuji coba. *Losses* terbesar pada faktor *quality rate* disebabkan oleh *quality defect losses*.

4.2.2.4 Rekapitulasi *Time Losses*

Langkah selanjutnya adalah merekapitulasi *time losses* pada masing - masing faktor kehilangan. Hal ini dilakukan untuk mencari tahu pada faktor apa *time losses* terbesar terjadi. Untuk mengetahui *time losses* dapat dihitung dengan perkalian antara masing - masing *six big losses* dengan *loading time*. Hasil perhitungan *time losses* dapat dilihat pada Tabel 4.18. Dari total waktu dalam setiap *six big losses* dapat dihitung persentase dan kumulatifnya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.19.

Tabel 4. 18 Rekapitulasi persentase *six big losses*

Bulan	<i>Breakdown Losses (%)</i>	<i>Set Up Losses (%)</i>	<i>Idling and Minor Stoppages (%)</i>	<i>Reduce Speed Losses (%)</i>	<i>Quality Defect and Yield Loses (%)</i>
Januari	14.54	3.48	0.12	2.42	0.02
Februari	15.11	3.45	0.00	2.54	0.02
Maret	13.79	3.46	0.00	3.49	0.02
April	15.12	3.45	0.12	2.43	0.02
Mei	15.22	3.47	0.25	1.92	0.02
Juni	16.11	3.44	0.00	1.74	0.03
Juli	13.55	3.44	0.00	4.38	0.03
Agustus	14.01	3.44	0.00	3.74	0.02
September	14.25	3.44	0.00	3.59	0.02
Oktober	14.04	3.45	0.11	3.52	0.02
November	14.37	3.44	0.00	3.38	0.02
Desember	15.33	3.46	0.24	2.03	0.02

Berikut adalah salah satu contoh hasil perhitungan *time losses* untuk faktor *breakdown losses* bulan Januari 2017 :

$$\text{Breakdown Losses (Menit)} = \frac{\text{Persentase } \textit{breakdown losses}}{100} \times \text{waktu loading}$$

$$\text{Breakdown Losses (Menit)} = \frac{14,54}{100} \times 12.510$$

$$\text{Breakdown Losses (Menit)} = 1818,87 \text{ menit}$$

Dengan menggunakan cara yang sama untuk semua faktor *time losses*. Data hasil perhitungan *time losses* dalam menit dapat dilihat pada tabel 4.19

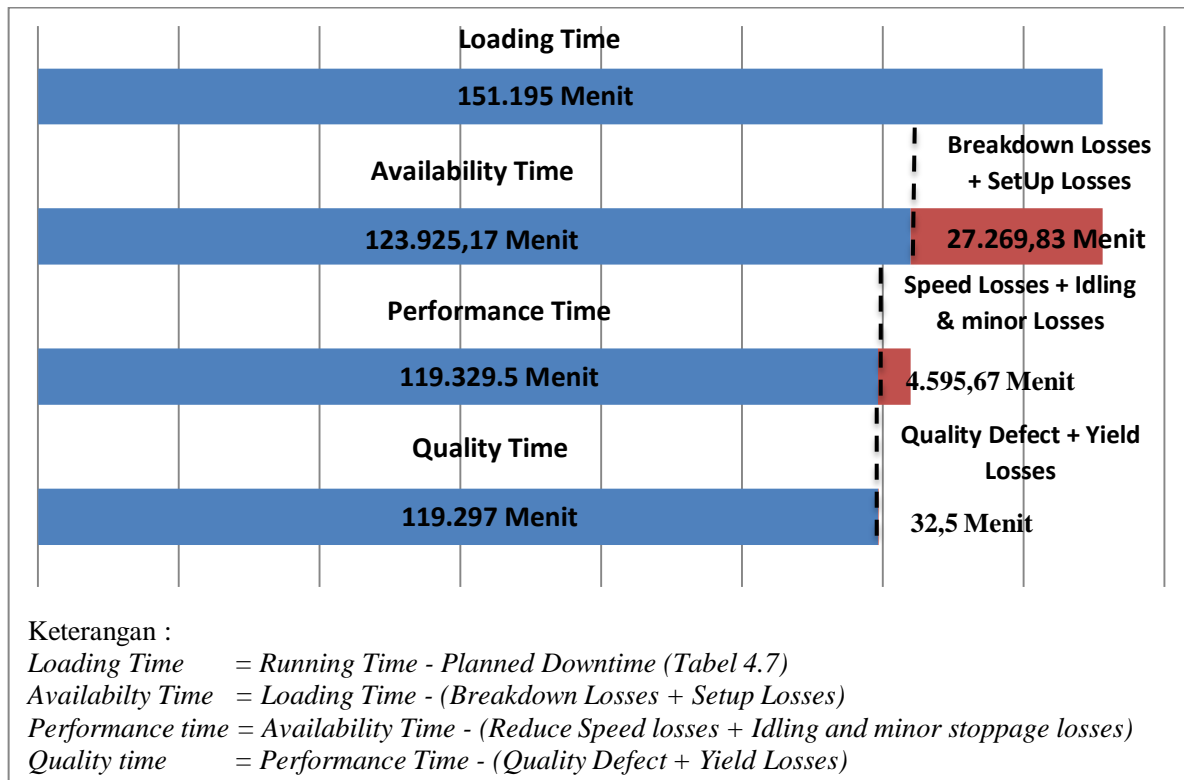
Tabel 4. 19 Hasil Perhitungan *time losses* (Menit)

Bulan	<i>Breakdown Losses</i> (Menit)	<i>Set Up Losses</i> (Menit)	<i>Idling and Minor Stoppages</i> (Menit)	<i>Reduce Speed Losses</i> (Menit)	<i>Quality Defect and Yield Loses</i> (Menit)
Januari	1.818,87	435	15	303,13	2
Februari	1.840,7	420	0	309,8	2,5
Maret	1.790,81	450	0	453,19	2,5
April	1.839,75	420	15	295,75	3
Mei	1.842,4	420	30	232,6	3
Juni	1.755,46	375	0	189,54	3,5
Juli	1.833,81	465	0	592,19	3,5
Agustus	1.830,96	450	0	488,04	3
September	1.802,15	435	0	454,35	2,5
Oktober	1.891,42	465	15	474,58	2,5
November	1.876,9	450	0	442,1	2,5
Desember	1.926,6	435	30	255,4	2
Total	22.049,83	5.220	105	4.490,67	32,5

Tabel 4. 20 Hasil rekapitulasi persentase dan rangking *time losses six big losses* 2017

<i>Six Big Losses</i>	Total Time Losses (Menit)	Prosentase (%)	Rangking
<i>Breakdown Losses</i>	22.049,83	69,12	1
<i>Set Up Losses</i>	5.220	16,36	2
<i>Idling and Minor Stoppages</i>	105	0,32	4
<i>Reduce Speed Losses</i>	4.490,67	14,07	3
<i>Quality Defect and Yield Loses</i>	32,5	0,10	5
Total	31.898	100	

Dari Tabel 4.20 dapat disimpulkan bahwa faktor terbesar yang menyebabkan *losses* yang berpengaruh terhadap efektivitas mesin *automatic bottle filling* adalah faktor *breakdown losses* sebesar 69,12 %. Sedangkan faktor *Quality Defect and Yield Loses* memberikan pengaruh yang paling kecil yaitu sebesar 0,1 %. Grafik rekapitulasi *time losses* dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 *Time Losses* pada mesin *automatic bottle filling*

Pada gambar 4.5 diperlihatkan bahwa *loading time* terdiri tiga komponen yaitu *availability time*, *performance time*, dan *quality time*. Pada masing - masing komponen *loading time* terdapat beberapa *time losses*. *Time losses* yang terjadi diantaranya *breakdown losses* sebesar 22.049,83 menit dan *setup losses* sebesar 5.220 menit pada komponen *availability time*, *speed losses* sebesar 4.490,67 menit dan *idling and minor stoppage losses* sebesar 105 menit pada komponen *performance time* serta *quality defect and yield losses* sebesar 32,5 menit pada *quality time*. Karena *breakdown losses*, *setup losses* dan *speed losses* memiliki nilai yang paling besar maka, pada tahap selanjutnya akan berfokus untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan pada ketiga losses tersebut.

4.2.3 Analisis Biaya *Repair Maintenance* Mesin

Biaya sebelum dilakukan perbaikan (*failure cost*) merupakan biaya yang harus dikeluarkan oleh perusahaan yang disebabkan adanya kerusakan di luar perkiraan yang menyebabkan terhentinya mesin pada saat proses produksi sedang berjalan.

Total biaya *repair maintenance* mesin *automatic bottle filling* selama tahun 2017 adalah sebesar Rp.81.232.369,48. Nilai tersebut didapatkan dari penjumlahan total biaya perbaikan per komponen. Contoh perhitungan biaya *repair maintenance* untuk mesin *automatic bottle filling* pada komponen baut penopang washing fork adalah sebagai berikut :

- Waktu perbaikan = Frekuensi kerusakan x rata – rata waktu perbaikan
 - = 9 x 149,95 menit
 - = 1349,63 menit
 - = 22,49 jam
- Biaya penggantian komponen = Frekuensi kerusakan x harga komponen
 - = 9 x Rp 750.000
 - = Rp 6.750.000
- Biaya tenaga kerja = waktu perbaikan x tarif karyawan/jam
 - = 22,49 jam x Rp 7.500 x 2 mekanik
 - = Rp 337.408,875
- Total Biaya Perbaikan = Biaya Penggantian Komponen + Biaya Tenaga Kerja
 - = Rp 6.750.000 + Rp 337.408,875
 - = Rp 7.087.408,875
- Frekuensi kerusakan dan rata - rata waktu perbaikan didapatkan dari data pada tabel 4.3.
- Tarif karyawan/jam sebesar Rp. 7.500/jam merupakan ketentuan dari perusahaan.

Dengan cara yang sama, hasil perhitungan biaya *repair maintenance* per komponen dapat dilihat pada tabel 4.21

Tabel 4. 21 Hasil perhitungan biaya perbaikan mesin *automatic bottle filling* tahun 2017

NO	Komponen	Frekuensi Kerusakan	Harga Komponen (Rp)	Rata - Rata Waktu Perbaikan (Menit)	Waktu Perbaikan (menit)	Waktu Perbaikan (Jam)	Biaya Penggantian Komponen (Rp)	Biaya Tenaga Kerja (Rp.7500/Jam x 2 Mekanik)	Total Biaya (Rp)
		A	B	C	(A x C)	E	(A x B)	(E x Rp 15.000,-)	F + G
					D		F	G	
1	Baut Penopang Washer Fork	9	750.000	149,95	1.349,63	22,49	6.750.000	337.408,875	7.087.408,875
2	Filling nozzle O-rings	5	15.000	386,98	1.934,92	32,24	75.000	483.732,375	558.732,375
3	Nozzle Spring	5	250.000	225,8	1.129	18,81	1.250.000	282.250	1.532.250
4	Filling Valve	4	3.000.000	107	428	7,13	12.000.000	107.000	12.107.000
5	Passive Wheel	7	200.000	179	1.253	20,88	1.400.000	313.250	1.713.250
6	Filling Tank Float Sensor	6	300.000	219,16	1.315,01	21,91	1.800.000	328.753,65	2.128.753,65
7	Photoelectric Sensor	6	1.500.000	218,5	1.311	21,85	9.000.000	327.750	9.327.750
8	Star Wheel	4	1.500.000	209,23	836,94	13,94	6.000.000	209.236,6	6.209.236,6
9	Pull Spring Washer	6	40.000	320,37	1.922,26	32,03	240.000	480.565,05	720.565,05
10	Pegas Tiang Filler	8	450.000	206,89	1.655,15	27,58	3.600.000	413.788,8	4.013.788,8
11	Filling Sealing Pads	6	20.000	246,60	1.479,61	24,66	120.000	369.904,2	489.904,2
12	Filling Roller	7	150.000	222,22	1.555,57	25,92	1.050.000	388.894,45	1.438.894,45
13	Snap Ring Washer	8	50.000	114,5	916	15,26	400.000	229.000	629.000
14	Spie Support	6	15.000	256,7	1.540,21	25,67	90.000	385.054,5	475.054,5
15	Nilon Y Wasner	7	20.000	106,85	747,99	12,46	140.000	186.999,925	326.999,925
16	Air Compressor	4	4.750.000	337,51	1.350,04	22,50	19.000.000	337.510,7	19.337.510,7
17	Driving Wheel	4	475.000	343,44	1.373,76	22,89	1.900.000	343.441,9	2.243.441,9
18	Washing Nozzle	7	1.500.000	224,47	1.571,31	26,18	10.500.000	392.828,45	10.892.828,45
TOTAL									81.232.369,48

4.3 Rekomendasi Perbaikan

4.3.1 Identifikasi dengan Metode *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

Berdasarkan hasil rekapitulasi perhitungan *time losses* pada Tabel 4.20, ditemukan adanya *losses* yang paling signifikan mempengaruhi nilai efektifitas (OEE) yaitu *breakdown losses*, *setup losses* dan *reduced speed losses*. Untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan pada *breakdown losses*, *setup losses* dan *reduced speed losses*, maka dilakukan suatu analisis dengan menggunakan metode FMEA. Hasil dari FMEA berupa data kegagalan (*failure*), penyebab kegagalan (*failure mode*) serta efek yang ditimbulkan dari adanya kegagalan (*failure effect*) didapatkan dari *brainstorming* dengan pihak manajemen perusahaan, khususnya manajer operasional. Data *failure*, *failure mode* dan *failure effect* dapat dilihat pada tabel 4.22.

Tabel 4. 22 *Failure Mode and Failure Effect*

No	<i>Failure</i>	<i>Failure Mode</i>	<i>Failure Effect</i>
1	Baut Pemegang <i>Washing Fork</i> Patah	Baut berkarat	<i>Washing fork</i> lepas
2	Pegas tiang <i>filler</i> patah	Saluran <i>nozzle filling</i> tersumbat partikel	Proses <i>Filling</i> berhenti
3	Pegas tiang <i>filler</i> lemah	Fisik dan usia komponen tidak pernah terpantau	Waktu <i>filling</i> menjadi lebih lama
4	<i>Nozzle filling</i> macet	<i>Filling roller</i> aus	Botol tidak terisi
		<i>spie suport</i> aus	
		Terdapat partikel dalam <i>filling tank</i>	
5	<i>Nilon Y Wasner</i> bocor	Tekanan air yang terlalu tinggi	<i>Washing Nozzle</i> tidak mengeluarkan air
6	<i>Washing nozzle</i> bocor	Partikel dalam air yang mengendap pada <i>nozzle</i>	Proses <i>washing</i> tidak maksimal
7	<i>Air coveyor</i> berhenti	<i>Air Compressor</i> mati	Botol menumpuk di <i>air conveyor</i>
8	<i>Nozzle Spring</i> lemah	Fisik dan usia komponen tidak pernah terpantau	Botol terisi tapi tidak sesuai takaran
9	<i>Nozzle Spring</i> patah	Tekanan air terlalu tinggi	Botol tidak terisi
		Terdapat partikel dalam saluran <i>filling</i>	
		Penyetelan tekanan pada <i>nozzle</i> yang terlalu besar	

Tabel 4. 22 *Failure Mode and Failure Effect* (lanjutan)

No	<i>Failure</i>	<i>Failure Mode</i>	<i>Failure Effect</i>
10	Indikator <i>Filling Tank</i> error	Kabel filling tank float sensor putus	Mesin berhenti operasi
		Fisik dan usia komponen tidak pernah terpantau	
11	<i>Filling Sealing Pads</i> bocor	Tekanan air terlalu tinggi	Botol tidak terisi sesuai takaran
		Fisik dan usia komponen tidak pernah terpantau	
12	<i>Filling Nozzle O-rings</i> bocor	Penyetelan ujung nozzle terlalu kencang	Air tidak mengarah ke botol saat proses filling
		Terdapat partikel dalam saluran filling	
13	<i>Driving wheel</i> aus	Fisik dan usia komponen tidak pernah terpantau	Penumpukan botol pada conveyor setelah proses capping
14	Mesin terlambat beroperasi	Ditemukan kerusakan minor saat melakukan <i>setup</i> pada mesin	Waktu <i>setup overtime</i>
15	<i>Passive wheel</i> aus	Fisik dan usia komponen tidak pernah terpantau	Driving wheel overload
16	Roda gigi <i>passive wheel</i> patah	Penyetelan reel bottle conveyor yang tidak sesuai	Mesin berhenti operasi
17	<i>Pull Spring Washer</i> lemah	Fisik dan usia komponen tidak pernah terpantau	Botol tidak tercuci secara maksimal
18	<i>Output</i> produk tidak sesuai spesifikasi	Kesalahan pada saat proses <i>setup</i>	<i>Setup</i> ulang pada mesin
19	<i>Pull Spring Washer</i> patah	Setelan pull spring yang terlalu kencang	Air washing tidak keluar
		Tekanan air terlalu tinggi	
		Terdapat partikel dalam air	
20	<i>Snapring Washer</i> patah	Fisik dan usia komponen tidak pernah terpantau	Washing fork lepas
21	<i>Filling Valve</i> bocor	Terdapat partikel dalam air yang menumpuk dalam saluran	Air tidak sampai komponen filling nozzle
22	<i>Star Wheel</i> berhenti	Sensor Photoelectric kotor	Mesin berhenti operasi
		Botol tersangkut di star wheel	

Langkah selanjutnya setelah menentukan *failure*, *failure mode* dan *failure effect* adalah mengelompokkan *failure* ke dalam tiga kategori *losses* yang dipilih berdasarkan analisa faktor *six big losses* terbesar yaitu *breakdown losses*, *setup losses* dan *reduce speed losses*. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui *failure* yang mempengaruhi *breakdown losses*, *setup losses* dan *reduce speed losses*. Hasil rekap *losses* setiap kegagalan dapat dilihat pada tabel 4.23.

Tabel 4. 23 Rekap *Losses* setiap kegagalan

No.	<i>Breakdown Losses</i>	<i>SetUp Losses</i>	<i>Reduce speed Losses</i>
1	Baut pemegang <i>washer fork</i> patah	Mesin terlambat beroperasi	Air conveyer berhenti
2	Pegas tiang filler patah	<i>Output</i> tidak sesuai spesifikasi	Driving wheel aus
3	Pegas tiang filler lemah		Passive wheel aus
4	Nozzle filling macet		Roda gigi passive wheel patah
5	Nilon Y Wasner bocor		Star Wheel berhenti
6	Washing nozzle bocor		
7	Air conveyer berhenti		
8	Nozzle Spring lemah		
9	Nozzle Spring patah		
10	Indikator Filling Tank error		
11	Filling Sealing Pads bocor		
12	Filling Nozzle O-rings bocor		
13	Driving wheel aus		
14	Passive wheel aus		
15	Roda gigi passive wheel patah		
16	Pull Spring Washer lemah		
17	Pull Spring Washer patah		
18	Snapping Washer patah		
19	Filling Valve bocor		
20	Star Wheel berhenti		

Setelah mengelompokkan *failure* ke dalam tiga faktor *six big losses*, langkah selanjutnya adalah melakukan penilaian resiko terhadap *failure* yang mempengaruhi faktor *breakdown losses*. Penilaian yang dilakukan hanya terhadap *failure* yang mempengaruhi faktor *breakdown losses*. Hal tersebut dilakukan karena faktor *breakdown losses* memiliki *failure* terbanyak dibandingkan *setup losses* dan *reduce speed losses*.

Langkah selanjutnya adalah melakukan penilaian terhadap *failure* berdasarkan nilai *risk priority number* (RPN) menggunakan persamaan 2.11. Pada persamaan 2.11 nilai RPN didapatkan dari perkalian antara nilai *severity* yang didapatkan dari tabel 2.1, nilai *occurrence* yang didapatkan dari tabel 2.2 dan nilai *detection* yang didapatkan dari tabel 2.3. Hasil perhitungan berupa nilai RPN kemudian digunakan untuk merangking *failure* yang terjadi. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui prioritas *failure* dan perbaikan yang harus dilakukan. Hasil penilaian resiko dan nilai RPN *failure* yang mempengaruhi faktor *breakdown losses* dapat dilihat pada tabel 4.24.

Tabel 4. 24 Nilai RPN masing - masing *failure*

No	<i>Failure</i>	<i>Failure Mode</i>	<i>Failure Effect</i>	(S)	(O)	(D)	RPN
1	Baut pemegang <i>washing fork</i> patah	Baut berkarat	<i>Washing fork</i> lepas	10	1	9	90
2	<i>Filling Nozzle O-rings</i> bocor	Penyetelan ujung <i>nozzle</i> terlalu kencang	Air menyembur dari badan <i>nozzle</i>	9	1	9	81
		Terdapat partikel dalam saluran <i>filling</i>					
3	<i>Nozzle Spring</i> patah	Tekanan air terlalu tinggi	Botol tidak terisi	8	1	10	80
		Terdapat partikel dalam saluran <i>filling</i>					
4	Roda gigi <i>passive wheel</i> patah	Penyetelan <i>reel bottle conveyor</i> yang tidak sesuai	Mesin berhenti operasi	8	1	10	80
		kurang pelumas					
5	Indikator <i>Filling Tank error</i>	Kabel <i>filling tank float sensor</i> putus	Mesin berhenti operasi	8	1	10	80
		Fisik dan usia komponen tidak pernah terpantau					
6	<i>Star Wheel</i> berhenti	<i>Sensor Photoelectric</i> kotor	Mesin berhenti operasi	8	1	10	80
		Botol tersangkut di <i>star wheel</i>					
7	<i>Nozzle Spring</i> lemah	Fisik dan usia komponen tidak pernah terpantau	Botol terisi tapi tidak sesuai takaran	8	1	10	72
8	<i>Filling Valve</i> bocor	Terdapat partikel dalam air yang menumpuk dalam saluran	Air tidak sampai komponen <i>filling nozzle</i>	8	1	9	72

Tabel 4. 24 Nilai RPN masing - masing *failure* (Lanjutan)

No	<i>Failure</i>	<i>Failure Mode</i>	<i>Failure Effect</i>	(S)	(O)	(D)	RPN
9	<i>Pull Spring Washer lemah</i>	<i>Fisik dan usia komponen tidak pernah terpantau</i>	<i>Botol tidak tercuci secara maksimal</i>	7	1	10	70
10	<i>Pegas tiang filler lemah</i>	<i>Fisik dan usia komponen tidak pernah terpantau</i>	<i>Waktu filling menjadi lebih lama</i>	7	1	9	63
11	<i>Filling Sealing Pads bocor</i>	<i>Tekanan air terlalu tinggi</i>	<i>Botol tidak terisi sesuai takaran</i>	7	1	9	63
		<i>Fisik dan usia komponen tidak pernah terpantau</i>					
12	<i>Pull Spring Washer patah</i>	<i>Setelan pull spring yang terlalu kencang</i>	<i>Air washing tidak keluar</i>	7	1	9	63
		<i>Tekanan air terlalu tinggi</i>					
		<i>Terdapat partikel dalam air</i>					
13	<i>Snapring Washer patah</i>	<i>Fisik dan usia komponen tidak pernah terpantau</i>	<i>Washing fork lepas</i>	6	1	10	60
14	<i>Pegas tiang filler patah</i>	<i>Saluran nozzle filling tersumbat partikel</i>	<i>Proses Filling berhenti</i>	7	1	8	56
15	<i>Nozzle filling macet</i>	<i>Filling roller aus</i>	<i>Botol tidak terisi</i>	7	1	8	56
		<i>spie suport aus</i>					
		<i>Terdapat partikel dalam filling tank</i>					
16	<i>Passive wheel aus</i>	<i>Fisik dan usia komponen tidak pernah terpantau</i>	<i>Driving wheel overload</i>	7	1	8	56
17	<i>Nilon Y Wasner bocor</i>	<i>Tekanan air yang terlalu tinggi</i>	<i>Washing Nozzle tidak mengeluarkan air</i>	6	1	9	54
18	<i>Air coveyor berhenti</i>	<i>Air Compressor mati</i>	<i>Botol menumpuk di air conveyer</i>	6	1	8	48
19	<i>Driving wheel aus</i>	<i>Fisik dan usia komponen tidak pernah terpantau</i>	<i>Penumpukan botol pada conveyer setelah proses capping</i>	6	1	8	48
20	<i>Washing nozzle bocor</i>	<i>Partikel dalam air yang mengendap pada nozzle</i>	<i>Proses washing tidak maksimal</i>	6	1	7	42

4.3.2 Usulan Perbaikan dengan Pendekatan Delapan Pilar *Total Productive Maintenance* (TPM)

Setelah mengidentifikasi dan menilai sumber permasalahan yang mengakibatkan terjadinya *breakdown losses*, langkah selanjutnya adalah memberikan usulan perbaikan. Usulan perbaikan yang diberikan merupakan usulan yang mempertimbangkan nilai RPN dari masing - masing *failure*. Usulan perbaikan yang diberikan untuk *failure* yang menyebabkan terjadinya *breakdown losses* dapat dilihat pada Tabel 4.25.

Tabel 4. 25 Usulan dan dasar rekondasi perbaikan

No	Failure	Rekomendasi Perbaikan					Dasar Rekomendasi Perbaikan (Delapan Pilar TPM)							
		SOP	Check List	Jadwal Perawatan	Kelompok Kerja	Training	5S	Autonomous Maintenance	Kaizen	Planned Maintenance	Quality Maintenance	Training	Office TPM	SHE
1	Baut pemegang washing fork patah	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
2	Filling Nozzle O-rings bocor		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
3	Nozzle Spring patah		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
4	Roda gigi driving wheel patah		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
5	Indikator Filling Tank error		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V		V
6	Star Wheel berhenti		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V		V
7	Nozzle Spring lemah			V	V	V	V		V	V	V	V	V	V
8	Filling Valve bocor	V	V	V	V	V	V	V	V	V		V	V	V
9	Pull Spring Washer lemah			V	V	V	V		V	V	V	V	V	V
10	Pegas tiang filler lemah			V	V	V			V	V	V	V	V	V
11	Filling Sealing Pads bocor		V	V	V	V		V	V	V	V	V	V	
12	Pull Spring Washer patah		V	V	V	V		V	V	V	V	V	V	
13	Snapping Washer patah	V	V	V	V	V		V	V	V		V	V	V
14	Pegas tiang filler patah		V	V	V	V		V	V	V	V	V	V	
15	Nozzle filling macet		V	V	V	V		V	V	V	V	V	V	
16	Passive wheel aus		V	V	V	V		V	V	V		V	V	
17	Nilon Y Wasner bocor	V	V	V	V	V		V	V	V	V	V		
18	Air conveyer berhenti			V	V	V			V	V	V	V	V	
19	Driving wheel aus		V	V	V	V		V	V	V		V	V	
20	Washing nozzle bocor		V	V	V	V	V	V	V	V		V		

Pada Tabel 4.25 dapat dilihat bahwa rekomendasi perbaikan pada mesin *automatic bottle filling* terdiri dari lima rekomendasi, yaitu :

a. *Standar Operational Procedure (SOP)*

SOP dibuat dengan mempertimbangkan dasar rekomendasi dari masing – masing *failure* seperti 5S. Sebagai contoh konsep 5S sangat berperan untuk *failure* seperti baut penopang *washer fork* patah dan *filling valve* bocor yang membutuhkan area komponen yang selalu bersih. Area pada komponen yang selalu bersih dapat membantu mekanik ataupun operator dalam melakukan pengecekan pada komponen. Selain itu, SOP juga dibuat berdasarkan konsep *safety, health and environment* dikarenakan dalam melakukan pengecekan ataupun perawatan keselamatan kerja merupakan hal yang sangat penting untuk diingat oleh mekanik ataupun operator agar terhindar dari kecelakaan kerja. Rekomendasi perbaikan berupa SOP dapat dilihat pada lampiran 1.

b. *Check List*

Rekomendasi perbaikan berupa *check list* dibuat sebagai sarana untuk menunjukkan komponen - komponen yang merupakan prioritas utama dalam pengecekan rutin. Langkah pertama yang dilakukan dalam membuat rekomendasi perbaikan berupa *check list* adalah mengkonversi hasil dari analisa FMEA berupa *failure* dan peringkatnya berdasarkan nilai RPN pada Tabel 4.24 menjadi nama komponen yang mempengaruhi *failure* tersebut. Nama komponen disusun sesuai peringkat nilai RPN dapat dilihat pada Tabel 4. 26.

Setelah mendapatkan nama komponen berdasarkan peringkat RPN, langkah selanjutnya adalah memisahkan komponen berdasarkan jenis yang bisa diamati langsung oleh operator. Hal tersebut dilakukan karena *check list* dibuat berdasarkan konsep *autonomous maintenance* atau perawatan mandiri yang dapat dilakukan oleh operator. Setelah dipisahkan, langkah selanjutnya adalah menentukan *checkpoint* yang harus dilakukan pada masing – masing komponen. Langkah terakhir adalah menyusun nama komponen beserta *chechpoint* yang harus dilakukan pada masing – masing komponen beserta

tindakan perbaikannya ke dalam kolom yang menjadi lembar *check list*. Lembar *check list* dapat dilihat pada bagian lampiran 3.

Tabel 4. 26 Peringkat komponen berdasarkan nilai RPN

No	Komponen
1	Baut Penopang Washing Fork
2	Filling nozzle O-rings
3	Nozzle Spring
4	Passive Wheel
5	Filling Tank Float Sensor
6	Photoelectric Sensor
7	Star Wheel
8	Filling Valve
9	Pull Spring Washer
10	Pegas Tiang Filler
11	Filling Sealing Pads
12	Filling Roller
13	Snap Ring Washer
14	Spie Support
15	Nilon Y Wasner
16	Air Compressor
17	Driving Wheel
18	Washing Nozzle

c. Jadwal Perawatan

Jadwal perawatan merupakan bentuk rekomendasi perbaikan berdasarkan konsep *planned maintenance*. Perencanaan perawatan pada mesin *automatic bottle filling* yang baik dapat mengurangi biaya yang harus dikeluarkan perusahaan untuk melakukan penggantian komponen rusak akibat tidak adanya perawatan rutin sesuai dengan konsep *office TPM*. Selain itu jadwal perawatan yang baik juga meningkatkan kualitas pada produk karena mesin selalu terjaga dalam kondisi yang baik untuk melakukan produksi. Pembuatan jadwal perawatan akan dibahas lebih lanjut pada subbab 4.3.3.

d. Pembuatan Kelompok Kerja (Jobdesk)

Pembuatan kelompok kerja merupakan usulan perbaikan yang dibuat berdasarkan konsep pilar *kaizen*. Kelompok yang dibuat terdiri dari perwakilan mekanik, operator, bagian gudang serta manajemen perusahaan. Tujuan pembuatan kelompok kerja adalah untuk mempermudah komunikasi dan pembahasan yang lebih detail mengenai tujuan – tujuan yang ingin dicapai dalam suatu area kerja. Tugas dan aktifitas kelompok kerja tersebut dirangkum dalam bentuk jobdesk. Jobdesk untuk kelompok kerja tersebut dapat dilihat pada lampiran 2.

e. *Training Total Productivity Maintenance (TPM)*.

Training memiliki tujuan untuk peningkatan kinerja karyawan. Dalam *training* terdapat dua komponen yaitu *soft skill training* dan *technical skill training*. *Soft skill training* meliputi bagaimana cara bekerja secara tim dan cara komunikasi. Sedangkan *technical skill training* meliputi kemampuan memecahkan masalah dan kemampuan menguasai peralatan atau mesin.

Training dilakukan secara rutin dan bertahap oleh perusahaan. Perusahaan juga melakukan *controlling* terhadap operator dan mekanik. Adanya *controlling* pada karyawan membuat perusahaan dapat menilai seberapa efektif ketika perusahaan mengadakan kegiatan *training*.

4.3.3 Jadwal Perawatan

Salah satu usulan perbaikan berdasarkan delapan pilar TPM yang terdapat pada setiap *failure* adalah membuat jadwal perawatan (*planned maintenance*). *Planned Maintenance* bertujuan untuk mengontrol kerusakan dari setiap komponen mesin agar terhindar dari kerusakan yang lebih parah.

Langkah pertama yang dilakukan dalam membuat jadwal perawatan adalah sama seperti pembuatan rekomendasi perbaikan berupa *check list* yaitu mengkonversi hasil dari analisa FMEA berupa *failure* dan peringkatnya berdasarkan nilai RPN pada Tabel 4.24 menjadi nama komponen yang

mempengaruhi *failure* tersebut terjadi. Nama komponen disusun sesuai peringkat nilai RPN dapat dilihat pada tabel 4.27.

Tabel 4. 27 Peringkat komponen berdasarkan nilai RPN

No	Komponen
1	Baut Penopang Washing Fork
2	Filling nozzle O-rings
3	Nozzle Spring
4	Passive Wheel
5	Filling Tank Float Sensor
6	Photoelectric Sensor
7	Star Wheel
8	Filling Valve
9	Pull Spring Washer
10	Pegas Tiang Filler
11	Filling Sealing Pads
12	Filling Roller
13	Snap Ring Washer
14	Spie Support
15	Nilon Y Wasner
16	Air Compressor
17	Driving Wheel
18	Washing Nozzle

Setelah mendapatkan daftar peringkat nama komponen berdasarkan nilai RPN, langkah selanjutnya adalah menentukan distribusi data selang waktu antar kerusakan dan distribusi waktu perbaikan. Penentuan distribusi dilakukan dengan menggunakan metode *index of fit* (IOF) yang dihitung secara manual. Penghitungan dengan *index of fit* merupakan metode pendekatan untuk menentukan jenis distribusi yang akan digunakan. Perhitungan *index of fit* menggunakan empat jenis distribusi data yaitu distribusi Normal, Lognormal, Eksponensial dan Weibull. Jenis distribusi data yang dipilih adalah jenis data yang memiliki nilai *index of fit* terbesar.

4.3.3.1 Index of fit distribusi waktu antar kerusakan (*Time to Failure/TTF*) dan distribusi waktu perbaikan (*Time to Repair/TTR*)

Berikut adalah salah satu contoh perhitungan *index of fit* pada komponen baut penopang *washing fork* :

- Distribusi Weibull

Tabel 4. 28 Perhitungan *index of fit* berdasarkan distribusi *Weibull*

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
ti	14905	15854	18260	19705	22580	21600	19680	17783	15360	165727
F(ti)	0.074468	0.180851	0.287234	0.393617	0.5	0.606383	0.712766	0.819149	0.925532	4.5
xi	9.609452	9.671177	9.812468	9.888628	10.02482	9.980449	9.887358	9.785998	9.639522	88.29987
yi	-2.55894	-1.61199	-1.08293	-0.69266	-0.36651	-0.07002	0.221108	0.536541	0.954505	-4.6709
xi.yi	-24.59	-15.5899	-10.6262	-6.84946	-3.67423	-0.69881	2.186172	5.250589	9.200972	-45.3909
xi ²	92.34157	93.53167	96.28453	97.78496	100.497	99.60935	97.75985	95.76576	92.92038	866.4951
yi ²	6.548178	2.598526	1.172736	0.479778	0.134332	0.004903	0.048889	0.287876	0.91108	12.1863

Sebagai contoh :

a. $x_i = \ln(t_i)$

$$x_i = \ln(14.905)$$

$$x_i = 9,609452$$

b. $F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4}$

$$F(t_1) = \frac{1-0,3}{9+0,4}$$

$$F(t_1) = 0,074468$$

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

$$y_i = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1-0.074468} \right) \right]$$

$$y_i = -2,55894$$

d. *Index of fit (r)*

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

$$R_{\text{weibull}} = \frac{9.(-45,9309) - (88,2987)(-4,6709)}{\sqrt{[9.(866,4951) - (88,2987)^2][9.(12,1863) - (-4,6709)^2]}}$$

$$R_{\text{weibull}} = 0,03452$$

- Distribusi Eksponensial

Tabel 4. 29 Hasil perhitungan *index of fit* berdasarkan distribusi Eksponensial

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
t _i	14905	15854	18260	19705	22580	21600	19680	17783	15360	165727
F(t _i)	0.074468	0.180851	0.287234	0.393617	0.5	0.606383	0.712766	0.819149	0.925532	4.5
x _i	14905	15854	18260	19705	22580	21600	19680	17783	15360	165727
y _i	0.077387	0.199489	0.338602	0.500244	0.693147	0.932377	1.247458	1.710081	2.597385	8.29617
x _i .y _i	1153.448	3162.704	6182.875	9857.298	15651.26	20139.34	24549.97	30410.38	39895.83	151003.1
x _i ²	2.22E+08	2.51E+08	3.33E+08	3.88E+08	5.1E+08	4.67E+08	3.87E+08	3.16E+08	2.36E+08	3.11E+09
y _i ²	0.005989	0.039796	0.114651	0.250244	0.480453	0.869327	1.556151	2.924379	6.746407	12.9874

Sebagai contoh :

a. $x_i = t_i$

$$x_i = 14.905$$

b. $F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4}$

$$F(t_1) = \frac{1-0,3}{9+0,4}$$

$$F(t_1) = 0,074468$$

c. $y_i = \ln \left(\frac{1}{1-F(t_i)} \right)$

$$y_i = \ln \left(\frac{1}{1-0,074468} \right)$$

$$y_i = 0,077387$$

d. *Index of fit* (r)

$$R_{\text{weibull}} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}}$$

$$R_{\text{weibull}} = \frac{9 \cdot (151003,1) - (165.727)(8,29617)}{\sqrt{[9 \cdot (3111106355) - (165.727)^2][9 \cdot (12,9874) - (8,29617)^2]}}$$

$$R_{\text{weibull}} = -0,01428$$

- Distribusi Lognormal

Tabel 4. 30 Hasil perhitungan index of fit berdasarkan distribusi Lognormal

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
ti	14905	15854	18260	19705	22580	21600	19680	17783	15360	165727
F(ti)	0.074468	0.180851	0.287234	0.393617	0.5	0.606383	0.712766	0.819149	0.925532	4.5
xi	9.609452	9.671177	9.812468	9.888628	10.02482	9.980449	9.887358	9.785998	9.639522	88.2998718
yi	-1.445	-0.915	-0.565	-0.275	0	0.275	0.565	0.915	1.445	0
xi.yi	-13.8857	-8.84913	-5.54404	-2.71937	0	2.744623	5.586357	8.954188	13.92911	0.216076075
xi ²	92.34157	93.53167	96.28453	97.78496	100.497	99.60935	97.75985	95.76576	92.92038	866.4950877
yi ²	2.088025	0.837225	0.319225	0.075625	0	0.075625	0.319225	0.837225	2.088025	6.6402

Sebagai contoh :

a. $x_i = \ln(t_i)$

$$x_i = \ln(14.905)$$

$$x_i = 9,609452$$

b. $F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4}$

$$F(t_1) = \frac{1-0,3}{9+0,4}$$

$$F(t_1) = 0,074468$$

c. $y_i = \Phi^{-1}[F(t_i)]$

$$y_i = \Phi^{-1}(0,074468)$$

$$y_i = -1,445 \text{ (didapatkan dari tabel distribusi normal).}$$

d. *Index of fit (r)*

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

$$R_{\text{weibull}} = \frac{9.(0,216076075) - (88,2998718)(0)}{\sqrt{[9.(866,4950877) - (88,2998718)^2][9.(6,6402) - (0)^2]}}$$

$$R_{\text{weibull}} = 0,025819$$

- Distribusi Normal

Tabel 4. 31 Hasil perhitungan index of fit berdasarkan distribusi Normal

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
t_i	14905	15854	18260	19705	22580	21600	19680	17783	15360	165727
$F(t_i)$	0.074468	0.180851	0.287234	0.393617	0.5	0.606383	0.712766	0.819149	0.925532	4.5
x_i	14905	15854	18260	19705	22580	21600	19680	17783	15360	165727
y_i	-1.445	-0.915	-0.565	-0.275	0	0.275	0.565	0.915	1.445	0
$x_i.y_i$	-21537.7	-14506.4	-10316.9	-5418.88	0	5940	11119.2	16271.45	22195.2	3745.935
x_i^2	2.22E+08	2.51E+08	3.33E+08	3.88E+08	5.1E+08	4.67E+08	3.87E+08	3.16E+08	2.36E+08	3111106455
y_i^2	2.088025	0.837225	0.319225	0.075625	0	0.075625	0.319225	0.837225	2.088025	6.6402

Sebagai contoh :

a. $x_i = (t_i)$

$$x_i = 14.905$$

b. $F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4}$

$$F(t_1) = \frac{1-0,3}{9+0,4}$$

$$F(t_1) = 0,074468$$

c. $y_i = \Phi^{-1}[F(t_i)]$

$$y_i = \Phi^{-1}(0,074468)$$

$$y_i = -1,445 \text{ (didapatkan dari tabel distribusi normal).}$$

d. Index of fit (r)

$$R_{\text{weibull}} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i.y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}}$$

$$R_{\text{weibull}} = \frac{9.(3745,935) - (165.727)(0)}{\sqrt{[9.(3.111.106.455) - (165.727)^2][9.(6,6402) - (0)^2]}}$$

$$R_{\text{weibull}} = 0,0244$$

Dengan cara yang sama, hasil perhitungan dan jenis distribusi yang dipilih berdasarkan nilai *index of fit* terbesar pada masing – masing komponen dapat dilihat pada tabel 4.32.

Tabel 4. 32 Hasil pemilihan distribusi waktu antar kerusakan mesin berdasarkan nilai *Index Of Fit* terbesar

No	Komponen	Jenis Distribusi	Index of Fit (IOF)	Yang dipilih
1	Washing Fork	Weibull	0.035420426	Weibull
		Eksponential	-0.014283909	
		Lognormal	0.025819119	
		Normal	0.024400418	
2	Filling nozzle O-rings	Weibull	-0.071357078	Weibull
		Eksponential	-0.183523934	
		Lognormal	-0.145131675	
		Normal	-0.138657827	
3	Nozzle Spring	Weibull	0.076155971	Weibull
		Eksponential	-0.00373792	
		Lognormal	0.066562163	
		Normal	0.058541697	
4	Filling Valve	Weibull	0.155091463	Weibull
		Eksponential	0.089285952	
		Lognormal	0.153662081	
		Normal	0.149527615	
5	Passive Wheel	Weibull	-0.094570193	Weibull
		Eksponential	-0.163898674	
		Lognormal	-0.126842432	
		Normal	-0.125338452	
6	Filling Tank Float Sensor	Weibull	-0.070260469	Weibull
		Eksponential	-0.159796483	
		Lognormal	-0.108032356	
		Normal	-0.098926234	
7	Photoelectric Sensor	Weibull	0.113141041	Lognormal
		Eksponential	0.123622436	
		Lognormal	0.128066154	
		Normal	0.126873534	
8	Star Wheel	Weibull	-0.113741747	Weibull
		Eksponential	-0.252625163	
		Lognormal	-0.165287607	
		Normal	-0.157515936	
9	Pull Spring Washer	Weibull	0.138719848	Lognormal
		Eksponential	0.11318149	
		Lognormal	0.15202654	
		Normal	0.141286935	

Tabel 4. 32 Hasil pemilihan distribusi waktu antar kerusakan mesin berdasarkan nilai *Index Of Fit* terbesar (lanjutan)

No	Komponen	Jenis Distribusi	Index of Fit (IOF)	Yang dipilih
10	Pegas Tiang Filler	Weibull	0.043898332	Weibull
		Eksponential	-0.005147024	
		Lognormal	0.036019214	
		Normal	0.031069856	
11	Filling Sealing Pads	Weibull	0.080873063	Lognormal
		Eksponential	0.072364564	
		Lognormal	0.090157151	
		Normal	0.087689294	
12	Filling Roller	Weibull	0.026410655	Weibull
		Eksponential	-0.041526779	
		Lognormal	0.009453444	
		Normal	0.008821414	
13	Snap Ring Washer	Weibull	0.013122469	Weibull
		Eksponential	-0.038244374	
		Lognormal	-0.00119675	
		Normal	-0.003838819	
14	Spie Support	Weibull	0.079773882	Lognormal
		Eksponential	0.069237792	
		Lognormal	0.090289316	
		Normal	0.086693559	
15	Nilon Y Wasner	Weibull	-0.029527868	Weibull
		Eksponential	-0.059347846	
		Lognormal	-0.039057022	
		Normal	-0.044681981	
16	Air Compressor	Weibull	-0.255122109	Weibull
		Eksponential	-0.319995251	
		Lognormal	-0.299977506	
		Normal	-0.297802337	
17	Driving Wheel	Weibull	0.076025914	Weibull
		Eksponential	-0.04378688	
		Lognormal	0.057557543	
		Normal	0.030235101	
18	Washing Nozzle	Weibull	0.032196874	Weibull
		Eksponential	0.016555986	
		Lognormal	0.009453444	
		Normal	0.008821414	

Dengan menggunakan cara yang sama saat menghitung nilai *index of fit* data distribusi waktu antar kerusakan, hasil perhitungan nilai *index of fit* dan jenis distribusi yang dipilih data waktu perbaikan dapat dilihat pada tabel 4.33.

Tabel 4. 33 Hasil pemilihan distribusi waktu perbaikan mesin berdasarkan nilai *Index Of Fit* terbesar

No	Komponen	Jenis Distribusi	Index of Fit (IOF)	Yang Dipilih
1	Washing Fork	Weibull	0.052838729	Lognormal
		Eksponential	0.036539708	
		Lognormal	0.054396138	
		Normal	0.054211976	
2	Filling nozzle O-rings	Weibull	0.004126799	Weibull
		Eksponential	-0.088347495	
		Lognormal	-0.042158667	
		Normal	-0.041230599	
3	Nozzle Spring	Weibull	-0.05064973	Weibull
		Eksponential	-0.095702616	
		Lognormal	-0.019767044	
		Normal	-0.019548373	
4	Filling Valve	Weibull	-0.18187795	Weibull
		Eksponential	-0.312544019	
		Lognormal	-0.238351646	
		Normal	-0.23443412	
5	Passive Wheel	Weibull	-0.107249743	Weibull
		Eksponential	-0.108690568	
		Lognormal	-0.121138513	
		Normal	-0.12189829	
6	Filling Tank Float Sensor	Weibull	0.140695454	Lognormal
		Eksponential	0.137924327	
		Lognormal	0.157127176	
		Normal	0.156911078	
7	Photoelectric Sensor	Weibull	-0.100560064	Weibull
		Eksponential	-0.130561013	
		Lognormal	-0.121674662	
		Normal	-0.121819785	
8	Star Wheel	Weibull	0.203720121	Lognormal
		Eksponential	0.207106502	
		Lognormal	0.226299458	
		Normal	0.224454035	

Tabel 4. 33 Hasil peilihan distribusi waktu perbaikan mesin berdasarkan nilai Index Of Fit terbesar (lanjutan)

No	Komponen	Jenis Distribusi	Index of Fit (IOF)	Yang Dipilih
9	Pull Spring Washer	Weibull	0.066038905	Lognormal
		Eksponential	0.066551785	
		Lognormal	0.07562034	
		Normal	0.074314876	
10	Pegas Tiang Filler	Weibull	0.018170131	Weibull
		Eksponential	-0.00516466	
		Lognormal	0.01266432	
		Normal	0.012910786	
11	Filling Sealing Pads	Weibull	0.022953606	Weibull
		Eksponential	-0.011040352	
		Lognormal	0.016960049	
		Normal	0.017139886	
12	Filling Roller	Weibull	0.022346977	Lognormal
		Eksponential	-0.025478321	
		Lognormal	0.009453444	
		Normal	0.008821414	
13	Snap Ring Washer	Weibull	-0.047485884	Weibull
		Eksponential	-0.100354292	
		Lognormal	-0.070302968	
		Normal	-0.06949752	
14	Spie Support	Weibull	0.049748551	Weibull
		Eksponential	-0.01802061	
		Lognormal	0.036808493	
		Normal	0.03702286	
15	Nilon Y Wasner	Weibull	-0.021669403	Weibull
		Eksponential	-0.07157466	
		Lognormal	-0.038920957	
		Normal	-0.03829863	
16	Air Compressor	Weibull	0.230948078	Lognormal
		Eksponential	0.237566178	
		Lognormal	0.256383828	
		Normal	0.255571129	
17	Driving Wheel	Weibull	0.034182519	Weibull
		Eksponential	-0.078240706	
		Lognormal	0.005727861	
		Normal	0.005102527	
18	Washing Nozzle	Weibull	0.039664214	Weibull
		Eksponential	-0.00238724	
		Lognormal	0.009453444	
		Normal	0.008821414	

4.3.3.2 Uji *Goodness of Fit*

Langkah selanjutnya setelah menentukan jenis distribusi data waktu antar kerusakan dan data waktu perbaikan mesin *automatic bottle filling* adalah melakukan pengujian *Goodness of Fit* pada masing - masing distribusi data. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa data kerusakan sesuai dengan jenis distribusi yang dipilih. Pada pengujian menggunakan *Goodness of Fit* distribusi data lognormal dan normal menggunakan uji *kolmogorov-smirnov* dan distribusi data *weibull* menggunakan uji *mann*. Berikut adalah salah satu contoh pengujian pada data waktu antar kerusakan komponen baut penopang *washing fork* yang berdistribusi *weibull* menggunakan uji *mann* :

- H_0 : Data waktu antar kerusakan baut penopang *washing fork* berdistribusi *weibull*.
- H_1 : Data waktu antar kerusakan baut penopang *washing fork* tidak berdistribusi *weibull*
- α : 0,05

Tabel 4. 34 Uji *Goodness of fit* distribusi *weibull* data waktu antar kerusakan

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
t_i	14905	15854	18260	19705	22580	21600	19680	17783	15360	165727
$\ln t_i$	9.609452	9.671177	9.812468	9.888628	10.02482	9.980449	9.887358	9.785998	9.639522	88.29987
Z_i	-2.89011	-1.732	-1.15493	-0.74355	-0.40575	-0.10218	0.193115	0.50983	0.921201	-5.40437
M_i	1.158117	0.577072	0.411377	0.337802	0.303568	0.295295	0.316714	0.411371		3.811315
$\ln t_{i+1} - \ln t_i$	0.061725	0.141291	0.07616	0.136192	-0.04437	-0.09309	-0.10136	-0.14648		0.03007
$(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i$	0.053298	0.244841	0.185133	0.403171	-0.14617	-0.31525	-0.32004	-0.35607		-0.25107

Berikut merupakan contoh untuk perhitungan parameter $i = 1$

$$\text{a. } k_1 = \frac{r}{2}$$

$$k_1 = \frac{9}{2} = 4,5 \sim 5$$

$$b. k_2 = \frac{r-1}{2}$$

$$k_2 = \frac{9-1}{2} = 4$$

$$c. Z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i-0.5}{n+0.25} \right) \right]$$

$$Z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1-0.5}{9+0.25} \right) \right]$$

$$Z_i = -2,89011$$

$$d. M_i = Z_{i+1} - Z_i$$

$$M_i = -1,732 - (-2,89011)$$

$$M_i = 1,158117$$

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

$$M = \frac{5 \cdot \sum_6^8 [-0,31525 + -0,32004 + -0,35607]}{4 \cdot \sum_1^5 [0,053298 + 0,24481 + 0,181533 + 0,403171 + -14,617]}$$

$$M = -1,50665$$

Karena $M_{hitung} = -1,50665 < M_{tabel} = 6,26$ maka, H_0 diterima sehingga data waktu antar kerusakan komponen baut penopang *washer fork* berdistribusi Weibull. (M_{tabel} didapatkan dari tabel distribusi F dimana $k_1 = v_1$ dan $k_2 = v_2$).

Dengan menggunakan uji *Mann* untuk data yang berdistribusi Weibull dan uji *Kolmogorov-smirnov* untuk data yang berdistribusi Lognormal dan Normal, hasil dari uji *goodness of fit* untuk seluruh distribusi data waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan dapat dilihat pada tabel 4.35.

Tabel 4. 35 Hasil uji *Goodness of Fit*

No	Komponen	Data	Jenis Distribusi Berdasarkan Nilai IOF Terbesar	Uji Kesesuaian			Hasil Hitung			Nilai Tabel			Hasil Uji			Jenis Distribusi Berdasarkan Hasil uji Terakhir
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Baut Penopang Washing Fork	Waktu kerusakan	Weibull	Mann			-1.50				6.26			H0 diterima		Weibull
		Waktu perbaikan	Lognormal	Kolmogorov-Smirnov	Kolmogorov-Smirnov	Mann	0.77	0.77	-0.77	0.43	0.43	6.26	Ho ditolak	Ho ditolak	Ho diterima	Weibull
2	Filling nozzle O-rings	Waktu kerusakan	Weibull	Mann			-9.29				19.2			H0 diterima		Weibull
		Waktu perbaikan	Weibull	Mann			-6.04				19.2			H0 diterima		Weibull
3	Nozzle Spring	Waktu kerusakan	Weibull	Mann			-1.88				19.2			Ho diterima		Weibull
		Waktu perbaikan	Weibull	Mann			-0.94				19.2			H0 diterima		Weibull
4	Filling Valve	Waktu kerusakan	Weibull	Mann			-0.90				19			H0 diterima		Weibull
		Waktu perbaikan	Weibull	Mann			2.40				19			H0 diterima		Weibull
5	Passive Wheel	Waktu kerusakan	Weibull	Mann			-6.83				9.12			Ho diterima		Weibull
		Waktu perbaikan	Weibull	Mann			2.62				9.12			H0 diterima		Weibull
6	Filling Tank Float Sensor	Waktu kerusakan	Weibull	Mann			-4.68				9.28			H0 diterima		Weibull
		Waktu perbaikan	Lognormal	Kolmogorov-Smirnov			0.43				0.519			Ho diterima		Lognormal

Tabel 4. 33 Hasil uji *Goodness of Fit* (lanjutan)

No	Komponen	Data	Jenis Distribusi Berdasarkan Nilai IOF Terbesar	Uji Kesesuaian			Hasil Hitung			Nilai Tabel			Hasil Uji			Jenis Distribusi Berdasarkan Hasil Uji
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
7	Photoelectric Sensor	Waktu kerusakan	Lognormal	Kolmogorov-Smirnov			0.48			0.51			H0 diterima			Lognormal
		Waktu perbaikan	Weibull	Mann			-0.38			9.28			H0 diterima			Weibull
8	Star Wheel	Waktu kerusakan	Weibull	Mann			-3.18			19			H0 diterima			Weibull
		Waktu perbaikan	Lognormal	Kolmogorov-Smirnov			0.44			0.51			H0 diterima			Lognormal
9	Pull Spring Washer	Waktu kerusakan	Lognormal	Kolmogorov-Smirnov	Kolmogorov-Smirnov	Mann	0.53	0.54	-0.42	0.51	0.51	9.28	Ho ditolak	Ho ditolak	H0 diterima	Weibull
		Waktu perbaikan	Lognormal	Kolmogorov-Smirnov	Kolmogorov-Smirnov	Mann	0.59	0.59	-3.36	0.51	0.51		Ho ditolak	Ho ditolak	H0 diterima	Weibull
10	Pegas Tiang Filler	Waktu kerusakan	Weibull	Mann			-1.26			6.39			H0 diterima			Weibull
		Waktu perbaikan	Weibull	Mann			-1.19			6.39			Ho diterima			Weibull
11	Filling Sealing Pads	Waktu kerusakan	Lognormal	Kolmogorov-Smirnov	Kolmogorov-Smirnov	Mann	0.60	0.60	-0.60	0.51	0.51	9.28	Ho ditolak	Ho ditolak	Ho diterima	Weibull
		Waktu perbaikan	Weibull	Mann			-1.38			9.28			H0 diterima			Weibull

Tabel 4. 33 Hasil uji *Goodness of Fit* (lanjutan)

No	Komponen	Data	Jenis Distribusi Berdasarkan Nilai IOF Terbesar	Uji Kesesuaian			Hasil Hitung			Nilai Tabel			Hasil Uji			Jenis Distribusi Berdasarkan Hasil Uji
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
12	Filling Roller	Waktu kerusakan	Weibull	Mann			-1.01			9.12			H0 diterima			Weibull
		Waktu perbaikan	Weibull	Mann			-0.51			9.12			Ho diterima			Weibull
13	Snap Ring Washer	Waktu kerusakan	Weibull	Mann			-2.03			6.39			H0 diterima			Weibull
		Waktu perbaikan	Weibull	Mann			0.14			6.39			H0 diterima			Weibull
14	Spie Support	Waktu kerusakan	Lognormal	Kolmogorov-Smirnov			0.50			0.519			Ho diterima			Lognormal
		Waktu perbaikan	Weibull	Mann			-1.55			9.28			H0 diterima			Weibull
15	Nilon Y Wasner	Waktu kerusakan	Weibull	Mann			-2.23			9.12			H0 diterima			Weibull
		Waktu perbaikan	Weibull	Mann			2.16			9.12			H0 diterima			Weibull
16	Air Compressor	Waktu kerusakan	Weibull	Mann			2.59			19			H0 diterima			Weibull
		Waktu perbaikan	Lognormal	Kolmogorov-Smirnov			0.39			0.624			H0 diterima			Lognormal

Tabel 4. 33 Hasil uji *Goodness of Fit* (lanjutan)

No	Komponen	Data	Jenis Distribusi Berdasarkan Nilai IOF Terbesar	Uji Kesesuaian			Hasil Hitung			Nilai Tabel			Hasil Uji			Jenis Distribusi Berdasarkan Hasil Uji
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
17	Driving Wheel	Waktu kerusakan	Weibull	Mann			- 2.41			19			H0 diterima			Weibull
		Waktu perbaikan	Weibull	Mann			- 4.54			19			H0 diterima			Weibull
18	Washing Nozzle	Waktu kerusakan	Weibull	Mann			- 1.15			9.12			H0 diterima			Weibull
		Waktu perbaikan	Weibull	Mann			- 1.49			9.12			H0 diterima			Weibull

Dalam pengujian *Goodness of Fit*, jika ditemukan pengujian dengan hasil H_0 ditolak maka langkah selanjutnya adalah melakukan ujian ulang dengan jenis distribusi yang memiliki nilai *index of fit* di bawah nilai jenis distribusi yang pertama dipilih. Dilakukan secara berulang hingga mencapai hasil H_0 diterima. Jika H_0 diterima berarti masing - masing distribusi data sesuai dengan pemilihan distribusi data yang dilakukan dengan menentukan nilai *index of fit* terbesar.

4.3.3.2 Penentuan nilai Mean Time To Failure (MTTF) dan Mean Time To Repair (MTTR)

Pada tahap ini jenis distribusi yang dipilih sangat menentukan dalam menghitung nilai *mean time to failure* (MTTF) dan nilai *mean time to repair* (MTTR) dari masing - masing komponen. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan persamaan untuk menghitung nilai MTTF dan MTTR pada masing – masing jenis distribusi data memiliki parameter yang berbeda - beda. Berikut adalah salah satu contoh perhitungan nilai MTTF untuk komponen baut penopang washing fork yang memiliki distribusi data Weibull menggunakan persamaan 2.22 dan 2.31:

- Melakukan perhitungan parameter MTTF

Tabel 4. 36 Perhitungan parameter MTTF

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
ti	14905	15854	18260	19705	22580	21600	19680	17783	15360	165727
F(ti)	0.074468	0.180851	0.287234	0.393617	0.5	0.606383	0.712766	0.819148936	0.925531915	4.5
xi	9.609452	9.671177	9.812468	9.888628	10.02482	9.980449	9.887358	9.785998224	9.639522007	88.2998718
yi	-2.55894	-1.61199	-1.08293	-0.69266	-0.36651	-0.07002	0.221108	0.536540994	0.954505028	-4.67090215
xi.yi	-24.59	-15.5899	-10.6262	-6.84946	-3.67423	-0.69881	2.186172	5.250589215	9.200972227	-45.3908773
xi ²	92.34157	93.53167	96.28453	97.78496	100.497	99.60935	97.75985	95.76576124	92.92038452	866.4950877
yi ²	6.548178	2.598526	1.172736	0.479778	0.134332	0.004903	0.048889	0.287876238	0.911079849	12.18629738

- Melakukan perhitungan parameter θ dan β menggunakan metode regresi linier

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2}$$

$$b = \frac{9(-45,3908773) - (88,2998718)(-4,67090215)}{9(866,4950877) - (88,2998718)^2}$$

$$b = 2,469208$$

$$a = \bar{y} - bx$$

$$a = \left(\frac{-4,67090215}{9} \right) - 2,469208 \left(\frac{88,2998718}{9} \right) = -24,7446$$

$$\begin{aligned} \diamond \beta &= b \\ &= 2,469208 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \diamond \theta &= e^{\left(-\frac{a}{b}\right)} \\ &= e^{\left(\frac{-24,7446}{2,469208}\right)} \\ &= 22.500,24 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= \theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \\ &= 22.500,24 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{2,469208}\right) \\ &= 22.500,24 \cdot \Gamma(1,40) \\ &= 22.500,24(0,88726) = 19.963,56 \text{ Menit} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama yaitu mencari terlebih dahulu parameter distribusinya, hasil perhitungan nilai MTTF dan nilai MTTR untuk semua komponen dapat dilihat pada tabel 4.37.

Tabel 4. 37 Hasil perhitungan nilai MTTF dan MTTR

No	Komponen	Data	Jenis Distribusi Berdasarkan Hasil Uji	Parameter	Nilai	Jenis Distribusi Berdasarkan Perhitungan Parameter untuk Jenis Distribusi Sebelumnya	Parameter	Nilai
1	Baut Penopang Washing Fork	Waktu Kerusakan	Weibull	β	2.469208	-	-	-
				θ	22500.24			
				MTTF	19963.56			
		Waktu Perbaikan	Weibull	β	24.48557	-	-	-
				θ	149.9811			
				MTTR	145.769			
2	Filling nozzle O-rings	Waktu Kerusakan	Weibull	β	-4.05532	Eksponensial	λ	0,0000301512
				θ	29302.56		MTTF	33.166,2
				MTTF	-			
		Waktu Perbaikan	Weibull	β	1.049159	-	-	-
				θ	386.0061			
				MTTR	378			
3	Nozzle Spring	Waktu Kerusakan	Weibull	β	3.007566	-	-	-
				θ	38831.42			
				MTTF	34691.22			
		Waktu Perbaikan	Weibull	β	-6.95529	Eksponensial	λ	0.004428698
				θ	210.3096		MTTR	225,8
				MTTR	225.8			
4	Filling Valve	Waktu Kerusakan	Weibull	B	8.44603	-	-	-
				Θ	44008.42			
				MTTF	41693.58			
		Waktu Perbaikan	Weibull	B	-12.56	Eksponensial	λ	0.009345794
				Θ	102.9058		MTTR	107
				MTTR	107			

Tabel 4. 37 Hasil perhitungan nilai MTTF dan MTTR (lanjutan)

No	Komponen	Data	Jenis Distribusi	Parameter	Nilai	Jenis Distribusi Berdasarkan Perhitungan Parameter untuk Jenis Distribusi Sebelumnya	Parameter	Nilai
5	Passive Wheel	Waktu Kerusakan	Weibull	B	-8.90088	Eksponensial	λ	0,0000422229
				Θ	22309.85		MTTF	23.684
				MTTF	-			
		Waktu Perbaikan	Weibull	B	-30.9222	Eksponensial	λ	0.005586592
				Θ	176.0316		MTTR	179
				MTTR	-			
6	Filling Tank Float Sensor	Waktu Kerusakan	Weibull	B	-2.49852	Eksponensial	λ	0,0000362046
				Θ	22333.64		MTTF	27.621
				MTTF	-			
		Waktu Perbaikan	Lognormal	tmed	219.1549	-	-	-
				S	0.011369			
				MTTF	219			
7	Photoelectric Sensor	Waktu Kerusakan	Lognormal	tmed	27569.17462	-	-	-
				S	0.068025767			
				MTTF	27,633			
		Waktu Perbaikan	Weibull	B	-24.3168	Eksponensial	λ	0.004576659
				Θ	213.9904		MTTR	199,8096
				MTTR	-			
8	Star Wheel	Waktu Kerusakan	Weibull	B	-5.07384	Eksponensial	λ	0,0000241196
				Θ	37632.93		MTTF	41.460
				MTTF	-			
		Waktu Perbaikan	Lognormal	tmed	299.942	-	-	-
				S	0.363066			
				MTTF	209			

Tabel 4. 37 Hasil perhitungan nilai MTTF dan MTTR (lanjutan)

No	Komponen	Data	Jenis Distribusi	Parameter	Nilai	Jenis Distribusi Berdasarkan Perhitungan Parameter untuk Jenis Distribusi Sebelumnya	Parameter	Nilai
9	Pull Spring Washer	Waktu Kerusakan	Weibull	B	2.117963	-	-	-
				Θ	32866.51			
				MTTF	29,126			
		Waktu Perbaikan	Weibull	B	12.46387			
				Θ	208.2769			
				MTTR	200			
10	Pegas Tiang Filler	Waktu Kerusakan	Weibull	B	2.675019	-	-	-
				Θ	24826.56			
				MTTF	22078.51			
		Waktu Perbaikan	Weibull	B	11.085			
				Θ	205.9389			
				MTTR	197			
11	Filling Sealing Pads	Waktu Kerusakan	Weibull	B	2.23809	-	-	-
				Θ	33821.78			
				MTTF	29959.67			
		Waktu Perbaikan	Weibull	B	10.44166			
				Θ	245.6473			
				MTTR	235			
12	Filling Roller	Waktu Kerusakan	Weibull	B	0.998047	-	-	-
				Θ	38692.38			
				MTTF	38693.38			
		Waktu Perbaikan	Weibull	B	10.08954			
				Θ	221.2669			
				MTTR	211			

Tabel 4. 37 Hasil perhitungan nilai MTTF dan MTTR (lanjutan)

No	Komponen	Data	Jenis Distribusi	Parameter	Nilai	Jenis Distribusi Berdasarkan Perhitungan Parameter untuk Jenis Distribusi Sebelumnya	Parameter	Nilai
13	Snap Ring Washer	Waktu Kerusakan	Weibull	B	0.997572	-	-	-
				Θ	34554.2			
				MTTF	34555.2			
		Waktu Perbaikan	Weibull	B	-18.6133	-	λ	0.008733624
				Θ	111.3556		MTTR	114,5
MTTR	-							
14	Spie Support	Waktu Kerusakan	Lognormal	t _{med}	27280.19386	-	-	-
				S	0.167213977			
				MTTF	27,664			
		Waktu Perbaikan	Weibull	B	10.22161	-	-	-
				Θ	255.7342			
				MTTR	248			
15	Nilon Y Wasner	Waktu Kerusakan	Weibull	B	-0.73853	Eksponensial	λ	0,0000420946
				Θ	11508.07		MTTF	23.756
				MTTF	-			
		Waktu Perbaikan	Weibull	B	-6.23696	Eksponensial	λ	0.009358289
				Θ	98.46805		MTTR	107
				MTTR	-			
16	Air Compressor	Waktu Kerusakan	Weibull	B	-4.59344	Eksponensial	λ	0,0000241288
				Θ	36804.13		MTTF	41.444,25
				MTTF	-			
		Waktu Perbaikan	Lognormal	t _{med}	315.7251	-	-	-
				S	0.365309			
				MTTR	337.5107			

Tabel 4. 37 Hasil perhitungan nilai MTTF dan MTTR (lanjutan)

No	Komponen	Data	Jenis Distribusi	Parameter	Nilai	Jenis Distribusi Berdasarkan Perhitungan Parameter untuk Jenis Distribusi Sebelumnya	Parameter	Nilai
17	Driving Wheel	Waktu Kerusakan	Weibull	B	0.994952	-	-	-
				Θ	66652.58			
				MTTF	68130.63			
		Waktu Perbaikan	Weibull	B	10.66633	-	-	-
				Θ	342.4864			
				MTTR	327.2321			
18	Washing Nozzle	Waktu Kerusakan	Weibull	B	1.699597	-	-	-
				Θ	31601.98			
				MTTF	28170.64			
		Waktu Perbaikan	Weibull	B	15.71674	-	-	-
				Θ	223.5047			
				MTTR	216.5179			

Pada tabel 4.37 dapat dilihat bahwa data dengan jenis distribusi Weibull banyak yang memiliki nilai parameter β kurang dari 1. Hal tersebut dapat membuat nilai gamma (Γ) bernilai dibawah 1 sehingga tidak dapat dicari nilainya pada tabel gamma. Untuk mengatasi masalah tersebut Ebeling dalam buku *Reliability and Centerd Maintenance* menjelaskan bahwa nilai β yang kurang dari 1 adalah distribusi data yang mendekati distribusi eksponensial. Sehingga unuk menghitung nilai MTTF dan MTTR data dengan jenis distribusi Weibull yang memiliki nilai parameter β kurang dari 1 dapat menggunakan cara perhitungan MTTF dan MTTR distribusi eksponensial.

4.3.3.3 Interval Waktu Perawatan

Langkah selanjutnya setelah mendapatkan nilai MTTF dan MTTR untuk masing – masing komponen adalah menentukan interval waktu perawatan mesin. Perhitungan interval waktu perbaikan pada masing – masing komponen menggunakan data waktu kerusakan pada Tabel 4.3, data waktu perbaikan pada Tabel 4.4 dan hasil perhitungan MTTR pada Tabel 4.37. Perhitungan interval waktu perawatan menggunakan persamaan 2.33 sampai 2.37. Berikut adalah contoh perhitungan interval waktu pemeriksaan pada komponen baut penopang *washing fork* :

- Total jam kerja mesin = 167.040 menit (jjmTabel 4.1).
- Waktu rata – rata jam kerja mesin/bulan = $167.040/12 = 13.920$ menit.
- Waktu rata - rata pemeriksaan komponen = 10% dari MTTR = 15 menit (ketentuan dari perusahaan bahwa waktu pemeriksaan diambil 10% dari MTTR)
- Frekuensi Kerusakan = 9 kali (didapatkan dari data pada Tabel 4.3).
- MTTR = 145,769 menit (didapatkan dari hasil perhitungan pada Tabel 4.37).
- Rata - rata kerusakan / bulan = $\frac{\text{Frekuensi Kerusakan}}{12} = \frac{9}{12} = 0,75$
- Rata - rata waktu perbaikan / bulan = $\frac{\text{Waktu rata-rata jam kerja mesin/bulan}}{\text{MTTR}}$
 $= \frac{13.920}{145,769} = 95,49355$ menit
- Rata – rata waktu pemeriksaan / bulan = $\frac{\text{Waktu rata-rata jam kerja mesin/bulan}}{\text{Waktu pemeriksaan komponen}}$
 $= \frac{13.920}{15} = 928$ menit

$$\begin{aligned}
 - \text{ Frekuensi pemeriksaan optimal / bulan} &= \sqrt{\frac{k \times i}{\mu}} \\
 &= \sqrt{\frac{0,75 \times 928}{95,49355}} = 2,699 \text{ kali} \\
 - \text{ Interval waktu} &= \frac{\text{Waktu rata-rata jam kerja mesin/bulan}}{\text{Frekuensi optimal/bulan}} \\
 &= \frac{13.920}{2,699} = 5156,10373 \text{ menit} = 86 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, hasil perhitungan interval waktu pemeriksaan dapat dilihat pada tabel 4.36.

Tabel 4. 38 Hasil perhitungan interval waktu pemeriksaan

No	Komponen	Interval Pemeriksaan (Menit)	Rata - rata Interval (Jam)
1	Baut Penopang Washing Fork	5156.10373	86
2	Filling nozzle O-rings	7012.798396	117
3	Nozzle Spring	7175.511944	120
4	Passive Wheel	7370.68708	123
5	Filling Tank Float Sensor	6092.132223	102
6	Photoelectric Sensor	6648.666901	111
7	Star Wheel	6658.839035	111
8	Filling Valve	7454.11405	124
9	Pull Spring Washer	8239.105806	137
10	Pegas Tiang Filler	5435.338547	91
11	Filling Sealing Pads	6167.433553	103
12	Filling Roller	6267.341431	104
13	Snap Ring Washer	6170.60506	103
14	Spie Support	6253.543437	104
15	Nilon Y Wasner	5575.439999	93
16	Air Compressor	7764.081972	129
17	Driving Wheel	7885.076935	131
18	Washing Nozzle	6193.040776	103

Hasil perhitungan MTTF merupakan interval waktu penggantian komponen. Penggantian komponen perlu dilakukan untuk mengurangi resiko terjadinya downtime yang tidak diinginkan. Sedangkan interval waktu perawatan merupakan interval waktu dimana mekanik melakukan perawatan komponen seperti membersihkan atau menyetel ulang. Perawatan perlu dilakukan agar

komponen selalu dalam keadaan prima dan siap digunakan. Interval waktu penggantian komponen dan interval waktu perawatan merupakan masukan utama dalam pembuatan jadwal perawatan mesin. Hasil pembuatan jadwal perawatan mesin dapat dilihat pada Tabel 4.39.

Tabel 4. 39 Jadwal perawatan mesin *automatic bottle filing*

No	Komponen	Waktu Penggantian Komponen Setiap (Jam)	Waktu Pemeriksaan Setiap (Jam)
1	Baut Penopang Washing Fork	333	86
2	Filling nozzle O-rings	553	117
3	Nozzle Spring	647	120
4	Passive Wheel	733	123
5	Filling Tank Float Sensor	395	102
6	Photoelectric Sensor	460	111
7	Star Wheel	461	111
8	Filling Valve	691	124
9	Pull Spring Washer	470	137
10	Pegas Tiang Filler	414	91
11	Filling Sealing Pads	564	103
12	Filling Roller	645	104
13	Snap Ring Washer	576	103
14	Spie Support	461	104
15	Nilon Y Wasner	396	93
16	Air Compressor	691	129
17	Driving Wheel	1111	131
18	Washing Nozzle	527	103

4.4 Pembahasan

Langkah selanjutnya setelah membuat rekomendasi perbaikan adalah melakukan evaluasi hasil. Evaluasi hasil perlu dilakukan supaya dapat mengetahui tingkat efektifitas dari usulan perbaikan yang telah dibuat. Selain itu, evaluasi hasil juga dapat membantu pihak perusahaan untuk mengambil keputusan apakah usulan yang dibuat perlu dilaksanakan atau tidak. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan nilai *overall equipment effectiveness* (OEE) sebelum dan nilai estimasi OEE sesudah dilaksanakan perbaikan, membandingkan nilai estimasi biaya perawatan yang ditanggung pihak perusahaan sebelum dan sesudah

dilakukan perbaikan serta membandingkan jumlah jam kerja untuk melalulan perawatan dan penggantian komponen dengan jam kerja mesin untuk memproduksi botol. Hasil evaluasi nilai OEE sebelum dan sesudah usulan perbaikan dilakukan adalah sebagai berikut :

- OEE rata - rata sebelum dilakukan usulan = 84,26 %
- Contoh estimasi perhitungan OEE pada komponen baut penopang washing fork setelah dilaksanakan usulan :

- Loading Time : 167.040 menit (didapatkan dari data Tabel 4.1)

- Planned Downtime :

Total waktu perawatan dan penggantian komponen = 1.692,22634 menit (didapatkan dari penjumlahan waktu perawatan dan waktu penggantian komponen pada Tabel 4.39)

- Jumlah produk

(Loading time – Planned downtime) / cycle time standar perusahaan

$$= (167.040 - 1.692,22634) / 0,5$$

$$= 330.696 \text{ produk}$$

OEE = Availability x Performance Rate x Quality Rate

$$OEE = \left(\frac{(167,040 - 1692,22634)}{167.040} \right) \times \left(\frac{(330.696)(0.5)}{(167.040 - 1692,22634)} \right) \times \left(\frac{330696 - 0}{330696} \right)$$

$$OEE = 98,99 \%$$

Dengan menggunakan cara yang sama, hasil perhitungan OEE untuk semua komponen dapat dilihat pada tabel 4.40.

Tabel 4. 40 Hasil perhitungan evaluasi OEE

NO	Komponen	Loading Time	Planned Downtime	Operation Time	Availability	Jumlah Produk	Cycle Time	Performance Rate	Jumlah Produk	Jumlah Cacat	Quality Defect	OEE
		Menit	Menit	Menit	%	Botol	Menit	%	Botol	Botol	%	%
1	Baut Penopang Washer	167040	1692.22634	165347.774	98.98693347	330696	0.5	100.00	331454	0	100	98.99
2	Filling nozzle O-rings	167040	2837.07433	164202.926	98.30155991	328406	0.5	100.00	331662	0	100	98.30
3	Nozzle Spring	167040	1657.93593	165382.064	99.00746173	330764	0.5	100.00	331822	0	100	99.01
4	Filling Valve	167040	653.6302	166386.37	99.6086984	332773	0.5	100.00	333224	0	100	99.61
5	Passive Wheel	167040	1797.26593	165242.734	98.92405057	330485	0.5	100.00	331574	0	100	98.92
6	Filling Tank Float Sensor	167040	1938.16584	165101.834	98.83969957	330204	0.5	100.00	331450	0	100	98.84
7	Photoelectric Sensor	167040	1932.66698	165107.333	98.84299151	330215	0.5	100.00	331458	0	100	98.84
8	Star Wheel	167040	1281.90874	165758.091	99.23257379	331516	0.5	100.00	331680	0	100	99.23
9	Pull Spring Washer	167040	1878.59112	165161.409	98.87536451	330323	0.5	100.00	331678	0	100	98.88
10	Pegas Tiang Filler	167040	2083.51856	164956.481	98.75268285	329913	0.5	100.00	330934	0	100	98.75
11	Filling Sealing Pads	167040	1969.0062	165070.994	98.82123671	330142	0.5	100.00	331270	0	100	98.82
12	Filling Roller	167040	1565.09121	165474.909	99.06304406	330950	0.5	100.00	331134	0	100	99.06
13	Snap Ring Washer	167040	954.301767	166085.698	99.42869865	332171	0.5	100.00	332248	0	100	99.43
14	Spie Support	167040	2144.39034	164895.61	98.71624142	329791	0.5	100.00	331104	0	100	98.72
15	Nilon Y Wasner	167040	1046.25777	165993.742	99.37364836	331987	0.5	100.00	332584	0	100	99.37
16	Air Compressor	167040	2097.35523	164942.645	98.7443994	329885	0.5	100.00	331554	0	100	98.74
17	Driving Wheel	167040	1531.6393	165508.361	99.08307034	331017	0.5	100.00	331460	0	100	99.08
18	Washing Nozzle	167040	1940.40505	165099.595	98.83835905	330199	0.5	100.00	331050	0	100	98.84
Rata - Rata												98.97

Sedangkan hasil evaluasi besarnya biaya perawatan adalah :

- Total biaya sebelum dilaksanakan usulan : Rp 81.232.369,48
- Contoh perhitungan biaya sesudah dilaksanakan usulan pada komponen baut penopang *washing fork* :
 - Waktu perbaikan = Frekuensi kerusakan x rata – rata waktu perbaikan
 - = 8,3 x 145,769 menit
 - = 1210,9775 menit
 - = 20,16 jam
 - Biaya penggantian komponen = Frekuensi kerusakan x harga komponen
 - = 8,3 x Rp 750.000
 - = Rp 6.226.106,466
 - Biaya tenaga kerja untuk usulan hanya menggunakan 1 mekanik saat melakukan penggantian komponen dan perawatan mesin.
Biaya tenaga kerja = waktu perbaikan x tarif karyawan/jam
 - = 20,16 jam x Rp 7.500 x 1 mekanik
 - = Rp 211.528,292
 - Total Biaya Perbaikan = Biaya Penggantian Komponen + Biaya Tenaga Kerja
 - = Rp 6.266.106,466 + Rp 211.528,292
 - = Rp 6.437.635
 - Rata – rata waktu perbaikan merupakan nilai MTTR yang didapatkan dari hasil perhitungan pada Tabel 4.37.
 - Harga komponen didapatkan dari data pada Tabel 4.2.
 - Tarif karyawan sebesar Rp. 7.500 / jam merupakan ketentuan perusahaan.

Dengan cara yang sama, hasil perhitungan biaya *repair maintenance* per komponen dapat dilihat pada tabel 4.41.

Tabel 4. 41 Hasil perhitungan evaluasi biaya perawatan

NO	Komponen	Frekuensi Penggantian	Harga Komponen (Rp)	Rata - Rata Waktu Perbaikan (Menit)	Waktu Perbaikan (menit)	Waktu Perbaikan (Jam)	Frekuensi Perawatan	Waktu Perawatan (Menit)	Waktu Perawatan (Jam)	Total Waktu	Biaya Penggantian Komponen (Rp)	Biaya Tenaga Kerja (Rp.7500/Jam)	Total Biaya
		A	B	C	(a x c)	E	F	G	H	(e+h)	(a x b)	(d x Rp 7.500,-)	J+K
					D					I			
1	Baut Penopang Washer Fork	8.3014753	750000	145.769	1210.097751	20.168296	32.141906	482.1285859	8.0354764	28.203772	6226106.466	211528.2921	6.437.634,75
2	Filling nozzle O-rings	5	15000	378.2396	1891.198	31.519967	23.646908	945.8763285	15.764605	47.284572	75000	354634.2911	429.634,29
3	Nozzle Spring	4.7825069	250000	225.8	1079.890064	17.998168	23.121835	578.0458638	9.6340977	27.632265	1195626.732	207241.991	1.402.868,72
4	Filling Valve	3.9961068	3000000	107	427.5834313	7.1263905	22.604677	226.046769	3.7674462	10.893837	11988320.5	81703.77504	12.070.024,27
5	Passive Wheel	7	200000	179	1253	20.883333	27.213296	544.2659284	9.0710988	29.954432	1400000	224658.241	1.624.658,24
6	Filling Tank Float Sensor	6	300000	219.1691	1315.0146	21.91691	24.926049	623.1512364	10.385854	32.302764	1800000	242270.7295	2.042.270,72
7	Photoelectric Sensor	5.997495	1500000	218.5	1310.452661	21.840878	24.888573	622.2143196	10.370239	32.211116	8996242.524	241583.3726	9.237.825,89
8	Star Wheel	4	1500000	209.2366	836.9464	13.949107	22.248117	444.9623359	7.4160389	21.365146	6000000	160238.592	6.160.238,59
9	Pull Spring Washer	5.8761012	40000	199.8096	1174.101439	19.568357	20.128277	704.4896784	11.741495	31.309852	235044.0498	234823.8897	469.867,93
10	Pegas Tiang Filler	7.4944822	450000	196.7664	1474.662281	24.577705	30.442814	608.8562785	10.147605	34.725309	3372516.986	260439.8199	3.632.956,8
11	Filling Sealing Pads	5.5285989	20000	234.7062	1297.59645	21.626608	26.85639	671.4097468	11.190162	32.81677	110571.9789	246125.7746	356.697,75
12	Filling Roller	4.2790596	150000	211.4146	904.6556732	15.077595	26.417421	660.4355365	11.007259	26.084853	641858.9397	195636.4012	837.495,34
13	Snap Ring Washer	4.8076355	50000	114.5	550.4742694	9.1745712	26.921833	403.8274976	6.7304583	15.905029	240381.777	119287.7209	359.669,49
14	Spie Support	5.9843286	15000	247.74	1482.557562	24.709293	26.473311	661.8327739	11.030546	35.739839	89764.92865	268048.7919	357.813,72
15	Nilon Y Wasner	7	20000	106.8571	747.9997	12.466662	29.825807	298.2580747	4.9709679	17.43763	140000	130782.2218	270.782,22
16	Air Compressor	4	4750000	337.5107	1350.0428	22.500713	21.351784	747.3124345	12.455207	34.955921	19000000	262169.4043	19.262.169,4
17	Driving Wheel	2.4325329	475000	327.2321	796.0028541	13.266714	21.018184	735.6364495	12.260607	25.527322	1155453.135	191454.9129	1.346.908,04
18	Washing Nozzle	5.8757983	1500000	216.5179	1272.215519	21.203592	26.727581	668.1895291	11.136492	32.340084	8813697.523	242550.6311	9.056.248,15
TOTAL													75.355.764,39

Berdasarkan hasil evaluasi menggunakan penilaian OEE, usulan yang diberikan mampu menaikkan rata – rata nilai OEE yang sebelumnya sebesar 82,42 % menjadi 98,97 %. Hal tersebut dapat terjadi karena *planned downtime* setelah diberikan usulan jauh lebih rendah daripada *planned downtime* sebelum usulan. Selain itu pada usulan juga tidak ada *downtime* di luar waktu perencanaan karena kerusakan komponen yang banyak terjadi di proses sebelumnya sudah ditanggulangi dengan adanya interval penggantian pencegahan.

Evaluasi berdasarkan biaya perawatan pada mesin juga mengalami penurunan yang semula sebesar Rp 81.232.369,48 menjadi Rp 75.355.764. Hal tersebut dapat terjadi karena biaya perbaikan akibat komponen rusak diganti dengan biaya penggantian komponen. Biaya penggantian komponen merupakan biaya yang dikeluarkan perusahaan saat mengganti komponen dalam waktu interval penggantian pencegahan. Selain itu adanya kebijakan tambahan oleh perusahaan yaitu untuk penggantian komponen rutin dan perawatan hanya dibutuhkan satu mekanik membuat besarnya biaya tenaga kerja yang dikeluarkan perusahaan tidak sebesar saat sebelum usulan diberikan.

Evaluasi selanjutnya berdasarkan perbandingan jumlah jam yang dibutuhkan untuk melakukan perawatan dan penggantian komponen dengan jumlah jam kerja yang digunakan untuk memproduksi botol. Perhitungan untuk evaluasi usulan perbaikan berdasarkan jumlah jam penggantian komponen dan jumlah jam perawatan adalah sebagai berikut :

- Jumlah jam kerja = 480 menit x 30 hari = 14.400 menit
- Hasil Produksi terbesar tahun 2017 = 22.200 botol
- Jam Kerja untuk produksi 22.200 botol = 22.200 x 0,5 menit = 11.100 menit
- Jumlah jam kerja untuk penggantian komponen dan perawatan dalam setahun adalah 31.001 menit = 2.583 menit/bulan.

Berdasarkan perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa waktu yang dibutuhkan untuk melakukan penggantian komponen dan perawatan mesin tidak akan mengganggu waktu mesin untuk berproduksi. Hal tersebut dikarenakan

jumlah jam untuk memproduksi hasil produksi terbesar tahun 2017 hanya sebesar 11.100 menit, sedangkan jumlah jam kerja yang tersedia sebesar 14.400 menit. Saat jam kerja untuk memproduksi ditambahkan dengan jumlah jam untuk penggantian komponen dan perawatan sebesar 2.853 menit maka total jam kerja yang dibutuhkan sebesar 13.683 menit. Jadi, saat jam kerja untuk memproduksi air mineral ditambahkan dengan jumlah jam yang dibutuhkan untuk merawat mesin menjadi 13.863 menit tidak akan melebihi jumlah jam kerja yang tersedia sebesar 14.400 menit.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Nilai efisiensi mesin *automatic bottle filling* berdasarkan parameter OEE pada tahun 2017 adalah 82,42 %. Losses terbesar yang mempengaruhi nilai OEE mesin *automatic bottle filling* tidak mencapai standar sebesar 85 % adalah breakdown losses sebesar 22.049,83 menit.
2. Berdasarkan analisis *Failure mode and Effect Analysis (FMEA)* dan pada bagian pembahasan rekomendasi perbaikan dari Tabel 4.25, sumber permasalahan yang mengakibatkan *breakdown losses* menjadi permasalahan utama pada mesin *automatic bottle filling* adalah tidak adanya sistem manajemen perawatan standar yang digunakan pada mesin *automatic bottle filling*.
3. Tindakan perbaikan yang dilakukan untuk meminimalisir dan menghilangkan sumber permasalahan adalah :
 - Membuat lembar checklist harian yang digunakan sebagai alat pengontrol kondisi komponen.
 - Membuat *Standar Operational Procedure* yang digunakan sebagai panduan operator saat akan mengoperasikan dan mematikan mesin.
 - Membuat kelompok kerja kecil yang terdiri dari operator, mekanik, bagian gudang dan manajemen office yang memiliki fungsi untuk mendesain dan menganalisa konsep *Total Productive Maintenance* pada lini produksi.
 - Membuat jadwal perawatan rutin untuk semua komponen kritis berdasarkan penilaian pada analisa *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

4. Jadwal perawatan mesin agar frekuensi *downtime* pada mesin dapat berkurang adalah sebagai berikut :

- a. Baut Penopang Washing Fork diperiksa setiap 86 jam.
- b. Filling nozzle O-rings diperiksa setiap 117 jam.
- c. Nozzle Spring diperiksa setiap 120 jam.
- d. Passive Wheel diperiksa setiap 123 jam.
- e. Filling Tank Float Sensor diperiksa setiap 102 jam.
- f. Photoelectric Sensor diperiksa setiap 111 jam.
- g. Star Wheel diperiksa setiap 111 jam.
- h. Filling Valve diperiksa setiap 124 jam.
- i. Pull Spring Washer diperiksa setiap 137 jam.
- j. Pegas Tiang Filler diperiksa setiap 91 jam.
- k. Filling Sealing Pads diperiksa setiap 103 jam.
- l. Filling Roller diperiksa setiap 104 jam.
- m. Snap Ring Washer diperiksa setiap 103 jam.
- n. Spie Support diperiksa setiap 104 jam.
- o. Nilon Y Wasner diperiksa setiap 93 jam.
- p. Air Compressor diperiksa setiap 129 jam.
- q. Driving Wheel diperiksa setiap 131 jam.
- r. Washing Nozzle diperiksa setiap 103 jam.

5.2 Saran

Penelitian yang telah dilakukan hanya berfokus pada satu stasiun kerja saja. Untuk penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan memperhatikan jumlah stasiun kerja dan usia dari masing – masing stasiun kerja.

Daftar Pustaka

- Afianto, A. (2018) *Penerapan Total Productive Maintenance (TPM) dengan Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness*, Yogyakarta.
- Almeanazel, O.T. (2010) 'Total productive Maintenance Review and Overall Equipment Effectiveness Measurement', *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, vol. IV, no. 4, September, pp. 517-522.
- Borris, S. (2006) *Total Productive Maintenance*, New York: The McGraw- Hill Companies, Inc.
- Corder, A. (1996) *Teknik Manajemen Pemeliharaan*, Jakarta: Erlangga.
- Daulay, I.N., Nurutami, S.S. and Daniel, D.D. (2013) 'Analisis Maintenance Reliability Terhadap MTBF (Mean Time Between Failure)Facilities Pada Industri Pulp & Paper', *Jurnal Ekonomi*, vol. XXI, no. 4, Desember, pp. 1-18.
- Dave, Y. (2013) 'Potential Benefits of TPM (Total Productive Maintenance) Implementation', *International Journal of Latest Research in Science and Technology*, vol. II, no. 2, Maret, pp. 173-174.
- Djunaidi, M. and Bakdiyono, E. (2012) 'Minimasi Biaya Perawatan dengan Menggunakan Metode Preventive Maintenance Policy', *Jurnal ilmiah Teknik Industri*, vol. XI, no. 2, Desember, pp. 198-208.
- Ebeling, C.E. (1997) *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*, New York: The McGraw-Hill Companies Inc.
- Ford Motor Company (2011) *FMEA Handbook*, Michigan: Ford Motor Company.
- Gaspersz, V. (2005) *Total Quality Management*, Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

- Iswardi and Sayuti, M. (2016) 'Analisis Produktivitas Perawatan Mesin dengan Metode TPM (Total Productive Maintenance) Pada Mesin Mixing Section', *Malikussaleh Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. IV, no. 2, Oktober, pp. 10-13.
- Komarasakti, D. (2008) 'Analisis Biaya Pemeliharaan Mesin Terhadap Kualitas Prduksi Pada PT. X', *Jurnal Computech & Bisnis*, vol. II, no. 1, Juni, pp. 52-59.
- Majid, A.M., Moengin, P. and Witonohadi, A. (2014) 'Usulan Ppenerapan Total Productive Maintenance (TPM) dengan Pengukuran Overall Equipment Effectiveness (OEE) Untuk Perencanaan Perawatan Pabrik Bar Mill Pada PT. Krakatau Wajatama', *Jurnal Teknik Industri*, vol. IV, no. 3, November, pp. 234-247.
- Nakajima, S. (1988) *Introduction To TPM : Total Productive Maintenance*, Cambridge: Productivity Press.
- Nurlestari, T., Rahman, A. and Himawan, R. (2014) 'Strategi Perawatan Pada Mesin AMUT 1 dengan Konsep Total Productive Maintenance (Studi Kasus : PT. Niaga Sejahtera Plastik Industri, Pandaan, Jawa Timur)', *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Industri*, vol. II, no. 1, Januari, pp. 127-139.
- Puspitasari, N.B. and Martanto, A. (2014) 'Penggunaan FMEA Dalam Mengidentifikasi Resiko Kegagalan Proses Produksi Sarung ATM (Alat Tenun Mesin)', *J@TI UNDIP*, vol. IX, no. 2, Mei, pp. 93-98.
- Revitasari, C., Novareza, O. and Darmawan, Z. (2015) 'Penentuan Jadwal Preventive Maintenance Mesin - Mesin di Stasiun Gilingan (Studi Kasus PG. Lestari Kertosono)', *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri*, vol. III, no. 3, April, pp. 485-494.


Said, A. and Susetyo, J. (2008) 'Analisis Total Productive Maintenance', Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi, Yogyakarta, 77-81.

Vorne Industries Inc (2002) *World Class OEE*, [Online], Available: www.oee.com/world-class-oee.html [17 April 2018].


Winarno, H. and Susilonoto (2016) 'Analisis Total Productive Maintenance untuk Peningkatan Efisiensi Produksi dengan Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness di PT. Purna Baja Harsco', Prosiding Seminar Nasional XI "Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi", Yogyakarta, 304-312.

LAMPIRAN


Lampiran 1 Usulan Perbaikan SOP

	STANDARD OPERATIONAL PROCEDURE	
	Pengoperasian Mesin Automatic Bottle Filling	
	No. Dokumen :	Ditetapkan Oleh Kepala Bagian Produksi PT. Guwatirta Sejahtera
	No. Revisi :	
Tanggal terbit :		
PT. GUWATIRTA SEJAHTERA	Halaman :	
1. Pengertian	<i>Standar operational procedure</i> pengoperasian mesin <i>automatic bottle filling</i> merupakan langkah - langkah standar pengoperasian mesin disertai dengan aturan keselamatan kerja yang harus dipatuhi oleh operator.	
2. Tujuan	<ul style="list-style-type: none"> - Alat selalu dalam keadaan terpelihara. - Mencegah peralatan cepat rusak. - Memperpanjang masa pemakaian alat. - Mengurangi resiko kecelakaan kerja. 	
3. Kebijakan Keselamatan Kerja	<ul style="list-style-type: none"> - Selalu menggunakan alat pelindung diri dalam bekerja - Alat pelindung diri standar yang wajib digunakan adalah SARUNG TANGAN, SEPATU BOOT dan MASKER - Kondisi area kerja harus selalu bersih dan tidak ada air menggenang - Tidak boleh ada kabel terkelupas atau terkena cipratan air 	
4. Prosedur	<ol style="list-style-type: none"> 1. Melakukan <i>daily inspection</i> setiap memulai pekerjaan sesuai dengan arahan pada lembar checklist. 2. Membersihkan seluruh area kerja 3. Menaruh botol pada air conveyor. 4. Menaruh tutup botol pada bagian unit capping. 5. Melakukan penyetingan mesin dengan cara memasukkan perintah kerja ke panel mesin sesuai dengan jadwal produksi. 6. Menyalakan mesin dengan cara menekan tombol POWER yang terdapat pada bagian panel mesin. 7. Mematikan mesin dengan cara menekan tombol POWER. 8. Botol yang tertinggal di dalam mesin diambil lalu diletakkan pada kotak yang berisi botol kosong sesuai ukurannya. 9. Melakukan <i>daily inspection</i> untuk keadaan mesin sesudah pekerjaan selesai. 10. Membersihkan seluruh area kerja. 	

Lampiran 2 Usulan Perbaikan Job Description

 PT. GUWATIRTA SEJAHTERA	JOB DESCRIPTION	Disetujui oleh General Manager PT. Guwatirta Sejahtera
	Kelompok Kerja TPM	
<p>I. Tujuan</p> <ul style="list-style-type: none"> - Melakukan perbaikan terus – menerus pada bagian produksi terutama mesin <i>automatic bottle filling</i> guna meningkatkan performa mesin yang diukur menggunakan parameter OEE. <p>II. Fungsi</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sebagai sarana komunikasi antar bagian dalam mewujudkan konsep TPM dalam lini produksi. - Membantu perusahaan untuk mendesain, menilai dan mengevaluasi terlaksananya konsep TPM pada lini produksi. <p>III. Tugas dan Tanggung Jawab</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mendesain model perawatan mesin agar mesin selalu dalam kondisi prima. - Mendesain sistem persediaan <i>spareparts</i> agar saat dibutuhkan <i>spareparts</i> selalu ada. - Mendesain model training TPM bagi karyawan lama ataupun baru. - Mengevaluasi kinerja karyawan dalam melakukan pekerjaan berdasarkan konsep delapan pilar TPM. - Mengevaluasi standar performa mesin setelah menggunakan konsep TPM dengan parameter penilaian OEE. <p>IV. Ketua Kelompok Kepala Bagian Produksi</p> <p>V. Anggota Kelompok Kepala Bagian Gudang Operator = 1 orang Mekanik = 1 orang</p> <p>VI. Jadwal Pertemuan Pertemuan diadakan rutin setiap hari sabtu minggu kedua dan keempat.</p>		

Lampiran 3 Usulan Lembar Checklist Harian

		DAILY INSPECTION CHECKLIST										Form No :	
PT. GUWATIRTA SEJAHTERA		Automatic Bottle Filling Machine										Week :	
		Kondisi Awal Shift					Kondisi Akhir Shift					Month :	
												Year :	
No	CheckPoint											Inspected By	
1	Baut Penopang Washer Fork												
	Tidak ada karat / retak												
	Tindakan												
	Filling nozzle O-rings												
	Tindakan												
	Rembesan Air												
	Tindakan												
	Setelan nozzle												
	Tindakan												
	Cek isi filling tank												
Tindakan													
2	Nozzle Spring												
	Cek tekanan filling valve												
	Tindakan												
	Cek isi filling tank												
Tindakan													
3	Passive Wheel												
	Setelan conveyor												
	Tindakan												
	Pelumasan conveyor												
Tindakan													
4	Filling Tank Float Sensor												
	Indikator filling tank menyala												
	Tindakan												
	Kabel sensor masih bagus												
Tindakan													
5	Photoelectric Sensor												
	Indikator sensor menyala												
Tindakan													
6	Star Wheel												
	Cekungan masih bagus												
Tindakan													
7	Filling Valve												
	Rembesan Air												
Tindakan													
8	Pull Spring Washer												
	Cek setelan												
	Tindakan												
	Cek tekanan filling valve												
	Tindakan												
9	Pegas Tiang Filler												
	Cek isi filling tank												
	Tindakan												
10	Filling Sealing Pads												
	Cek tekanan filling valve												
	Tindakan												
11	Filling Roller												
	Cek isi filling tank												
Tindakan													
12	Spie Support												
	Cek isi filling tank												
Tindakan													
13	Nilon Y Wasner												
	Rembesan air												
Tindakan													
14	Driving Wheel												
	Tidak ada retak												
	Tindakan												
15	Washing Nozzle												
	Cek isi filling tank												
	Tindakan												
Keterangan : » Pengecekan : V = Jika tidak mendapat Temuan O = Jika mendapat Temuan							» Tindakan : A = Lapor Atasan / Mekanik B = Melakukan Penyetelan Ulang C = Melakukan Pelumasan						