

**IMPLEMENTASI METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE
DAN AGE REPLACEMENT PADA LINI MESIN PRODUKSI AIR MINERAL
DI PT. TIRTA SUKSES PERKASA BANJARMASIN**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1
Pada Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri**



Nama : Emma Maretyastuti Handoyo
No. Mahasiswa : 18 522 222

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2023**

PERNYATAAN KEASLIAN

Demi Allah saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali kutipan serta ringkasan yang sudah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah dalam karya tulis dan hak kekayaan intelektual maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima untuk ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, Oktober 2023



Handwritten signature of Emma Maretyastuti Handoyo in black ink.

Emma Maretyastuti Handoyo

SURAT KETERANGAN SELESAI MAGANG



**PT. TIRTA SUKSES PERKASA
BANJARMASIN**

SURAT KETERANGAN SELESAI PRAKTIK MAGANG

No. 0010/HRD-TSP BJM/MG/XI/2022

Yang bertandatangan di bawah ini, Plant Manager-PT. Tirta Sukses Perkasa pabrik Banjarmasin menerangkan bahwa :

Nama : Emma Maretyastuti Handoyo
NIM : 18522222
Fakultas : Teknologi Industri
Program Studi : Teknik Industri

Adalah Mahasiswa Program Studi Teknik Industri, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta telah melaksanakan Praktik Magang di Divisi Packaging (Mesin Thermoforming Cup & Blow Botol) sejak Juni 2022 s/d November 2022 di PT. Tirta Sukses Perkasa, Banjarmasin, Jl. Ahmad Yani KM. 36, Desa Ujung Baru, Kecamatan Bati-Bati, Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Terima Kasih

Banjarmasin, 30 November 2022



 Budi Handoyo
 Plant Manager

PT. TIRTA SUKSES PERKASA

Chase Plaza Lantai 11
Jl. Jend. Sudirman Kaw. 21
Jakarta Selatan 12920, Indonesia

T +6221 5795 8822
F +6221 3199 7249-50
www.indofoodcbp.com

Branch Office :
Jl. A. Yani KM. 36, Ds. Ujung Baru
Kecamatan Bati - Bati
Pelaihari 70852 – Kalimantan Selatan

Indofood
THE SYMBOL OF QUALITY FOODS

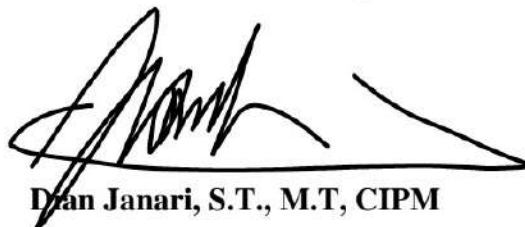
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**IMPLEMENTASI METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE
PADA LINI MESIN PRODUKSI AIR MINERAL
DI PT. TIRTA SUKSES PERKASA BANJARMASIN**



Yogyakarta, September 2023

Dosen Pembimbing



Dhan Janari, S.T., M.T, CIPM

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**IMPLEMENTASI METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE
DAN AGE REPLACEMENT PADA LINI MESIN PRODUKSI AIR MINERAL
DI PT. TIRTA SUKSES PERKASA BANJARMASIN**

TUGAS AKHIR

Disusun oleh:

Nama : Emma Maretyastuti Handoyo

No. Mahasiswa : 18 522 222

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, Oktober 2023

Tim Penguji

Dian Janari, S.T., M.T, CIPM

Ketua

Ir. Hartomo, M.Sc.,Ph.D. IPU., ASEAN.Eng

Anggota I

Wahyudhi Sutrisno, S.T., M.M., M.T

Anggota II

Mengetahui.

Ketua Program Studi Teknik Industri

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM.

HALAMAN PERSEMBAHAN

*Tugas akhir ini saya persembahkan kepada kedua orang tua saya,
Yang telah mendokan dan selalu memberikan dukungan dari selama
studi hingga penyelesaian Tugas Akhir ini.*

Serta untuk almamater saya Universitas Islam Indonesia

MOTTO

“Sesungguhnya perbuatan-perbuatan yang baik itu menghapuskan (dosa)
perbuatan-perbuatan yang buruk.”

(QS. Hud: 114)

"Buat mudah dan jangan dibuat sulit serta berikanlah kesenangan dan jangan dirisaukan."

(HR. Bukhori dan Muslim)

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Wr. Wb.

Segala puji dan syukur dipanjatkan atas rahmat dan kehadiran Allah SWT, sehingga tugas akhir dengan judul “Implementasi Metode *Reliability Centered Maintenance* Dan *Age Replacement* Pada Lini Mesin Produksi Air Mineral di PT. Tirta Sukses Perkasa Banjarmasin” ini dapat diselesaikan dengan sebaik-baiknya sesuai harapan.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengutarakan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah mendukung dan membantu dalam penyusunan penulisan tugas akhir ini, terutama kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM. selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Dian Janari S.T., M.T., CIPM selaku dosen pembimbing yang telah berkenan meluangkan waktunya dan memberi ilmu serta arahan dalam pembuatan laporan tugas akhir ini.
4. Seluruh karyawan PT. Tirta Sukses Perkasa Banjarmasin yang telah memberikan izin dan memberikan seluruh kebutuhan dalam penyusunan tugas akhir.
5. Orang tua yang tak lelah dan tak kunjung henti memberikan dukungan serta doanya disetiap hembusan nafas.
6. Teman -teman yang selalu bersama saat suka dan duka serta semua pihak yang turut membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Tak ada gading yang tak retak, seperti kata pepatah tentulah tugas akhir ini jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis berharap bisa menerima berbagai kritik dan saran yang kiranya dapat membangun tugas akhir ini. Akhir kata, penulis berharap kelak nantinya tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan pihak lainnya.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, Oktober 2023

Penulis

ABSTRAK

Salah satu kegiatan wajib yang dilakukan di sebuah industry manufaktur yaitu melakukan perawatan. Perawatan sendiri dilakukan agar mesin dapat bertahan lama serta produksi dapat terus berjalan. Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui komponen apa saja yang digunakan pada PT. Tirta Sukses Perkasa Banjarmasin, mengetahui mesin dan komponen kritis pada lini produksi, mengetahui interval penggantian dan interval pemeriksaan untuk komponen kritis tersebut, serta mengetahui perbandingan perhitungan simulasi reliability anata sebelum dan sesudah adanya interval penggantian. Metode yang digunakan yaitu RCM (*Reliability Centered Maintenance*) baik secara kualitatif dan kuantitatif serta menggunakan metode *age replacement* untuk memperkirakan interval pemeriksaan dan penggantian komponen kritis. Hasil dari RCM kualitatif FMEA yaitu pada tahap *cup forming (thermoforming)* dengan nilai RPN tertinggi adalah 933 dan komponen paling kritis yaitu *thermoforming motor servo* dengan nilai RPN yaitu 256. Pada hasil LTA diketahui bahwa semua komponen termasuk kedalam kategori B dan pada *selection tasks* terdapat beberapa komponen yang berada pada golongan CD dan beberapa yang masuk kedalam golongan TD. Berdasarkan hasil *age replacement* dapat diketahui bahwa interval pemeriksaan adalah 10 hari sejak pemeriksaan terakhir dan interval pengantiannya yaitu setiap 39 hari. Hasil perbandingan *reliability* sebelum dan sesudah adanya penggantian komponen juga menunjukkan adanya kenaikan yang cukup signifikan dari yang semula maksimal turun samapi 10% menjadi maksimal turun hanya sampai 40%.

Keywords : *Age Replacement, Maintenance, RCM (Reliability Centered Maintenance), Risk Priority Number*

DAFTAR ISI

| | |
|---|-----------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| PERNYATAAN KEASLIAN | ii |
| SURAT KETERANGAN SELESAI MAGANG | iii |
| LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING | iv |
| LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI | v |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | vi |
| MOTTO | vii |
| KATA PENGANTAR | viii |
| ABSTRAK | ix |
| DAFTAR ISI | x |
| DAFTAR TABEL | xiii |
| DAFTAR GAMBAR | xiv |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 4 |
| 1.4 Batasan Masalah | 4 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 4 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 5 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 7 |
| 2.1 Kajian Literatur | 7 |
| 2.2 Landasan Teori | 10 |
| 2.2.1 Perawatan (<i>Maintenance</i>) | 10 |
| 2.2.2 <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM) | 12 |
| 2.2.3 Identifikasi Distribusi | 18 |
| 2.2.4 Metode <i>Least-Square Curve Fitting</i> (LSCF) | 19 |
| 2.2.5 Perhitungan <i>Index of Fit</i> | 19 |
| 2.2.6 Uji <i>Goodness of Fit</i> | 20 |
| 2.2.7 Parameter Estimasi Distribusi | 22 |
| 2.2.8 MTTF dan MTTR | 23 |
| 2.2.9 Model Untuk Mendefinisikan Redundansi Alternatif Dengan Kriteria Meminimalkan Downtime | 25 |
| 2.2.10 Frekuensi Pemeriksaan | 26 |
| 2.2.11 Perhitungan <i>Reliability</i> Sebelum Dan Sesudah Adanya Perawatan | 27 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 28 |
| 3.1 Tempat dan Subjek Penelitian | 28 |
| 3.2 Teknik Pengumpulan Data | 28 |
| 3.3.1 Data Primer | 28 |
| 3.3.2 Data Sekunder | 28 |
| 3.3 Pengumpulan Data | 28 |
| 3.4 Metode Pengolahan Data | 29 |
| 3.5 Alat Analisis | 31 |
| 3.6 Diagram Alir Penelitian | 31 |
| BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA | 35 |

| | | |
|------------------------|--|-----|
| 4.1 | Latar Belakang Perusahaan | 35 |
| 4.1.1 | Sejarah Perusahaan..... | 35 |
| 4.1.2 | Profil Perusahaan..... | 35 |
| 4.1.3 | Lokasi Perusahaan..... | 37 |
| 4.1.4 | Visi Perusahaan | 38 |
| 4.1.5 | Misi Perusahaan | 38 |
| 4.1.6 | Struktur Organisasi..... | 39 |
| 4.1.7 | Jam Kerja Perusahaan | 39 |
| 4.2 | Hasil Produkski..... | 40 |
| 4.3 | Proses Produksi..... | 40 |
| 4.4 | Pengumpulan Data..... | 41 |
| 4.5 | Pengolahan Data | 53 |
| 4.5.1 | Perawatan <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM) | 53 |
| 4.5.2 | Penentuan Komponen Kritis Menggunakan Metode Kualitatif..... | 71 |
| 4.5.3 | Data <i>Downtime</i> Kerusakan Mesin Produksi..... | 71 |
| 4.5.4 | Penentuan Mesin Kritis Menggunakan Metode Kuantitatif..... | 72 |
| 4.5.5 | Penentuan Komponen Kritis Pada Mesin Kritis | 73 |
| 4.5.6 | Pengolahan Data Waktu antar Kerusakan | 74 |
| 4.5.7 | Perhitungan <i>Index of Fit</i> Waktu Antar Kerusakan Pada Komponen Kritis | 75 |
| 4.5.8 | Uji <i>Goodness of Fit</i> Pada Distribusi Data Waktu Kerusakan (<i>Time to Failure</i>) | 81 |
| 4.5.9 | Penentuan Nilai Tengah dari Distribusi Data Waktu Kerusakan (<i>Mean Time to Failure</i>)..... | 82 |
| 4.5.10 | Perhitunga <i>Index of Fit</i> Waktu Antar Perbaikan Pada Komponen Kritis | 82 |
| 4.5.11 | Uji <i>Goodness of Fit</i> Pada Distribusi Data Waktu Perbaikan (<i>Time to Repair</i>).. | 88 |
| 4.5.12 | Penentuan Nilai Tengah dari Distribusi Data Waktu Perbaikan (<i>Mean Time to Repair</i>)..... | 90 |
| 4.5.13 | Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan dengan Minimasi <i>Downtime</i> | 90 |
| 4.5.14 | Perhitungan Interval Waktu Pemeriksaan Dengan Minimasi <i>Downtime</i> | 93 |
| 4.5.15 | Perbandingan <i>Reliability</i> Sesudah dan Sebelum Penentuan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen..... | 94 |
| BAB V PEMBAHASAN | | 97 |
| 5.1 | Analisa Perawatan <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM)..... | 97 |
| 5.1.1 | Analisa <i>Function Block Diagram</i> (FBD) | 97 |
| 5.1.2 | Analisa <i>Failure Mode Affect and Analysis</i> (FMEA)..... | 97 |
| 5.1.3 | Analisa Kategori Menggunakan <i>Logic Tree Analysis</i> (LTA)..... | 98 |
| 5.1.4 | Analisa Pemilihan Tindakan | 99 |
| 5.2 | Analisa Penentuan Mesin Kritis | 99 |
| 5.3 | Analisa Penentuan Komponen Kritis | 100 |
| 5.4 | Analisa Terhadap Data Interval Waktu Kerusakan dan Interval Waktu Perbaikan, Perhitungan <i>Index of Fit</i> , Parameter Distribusi, MTTF, MTTR, serta Interval Waktu Penggantian dan Interval Waktu Pemeriksaan | 101 |
| 5.5 | Analisa Perbandingan <i>Reliability</i> Sebelum dan Sesudah Adanya Interval Penggantian | 104 |
| BAB VI PENUTUP | | 106 |
| 6.1 | Kesimpulan..... | 106 |
| 6.2 | Saran | 106 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 108 |

LAMPIRAN 109

DAFTAR TABEL

| | |
|---|-----|
| Tabel 2. 1 <i>Worksheet</i> FMEA..... | 12 |
| Tabel 2. 2 <i>Peringkat Severity</i> | 13 |
| Tabel 2. 3 <i>Peringkat Occurance</i> | 15 |
| Tabel 2. 4 <i>Peringkat Detection</i> | 16 |
| | |
| Tabel 4. 1 Daftar Mesin Produksi | 41 |
| Tabel 4. 2 Data Waktu Antar Kerusakan Mesin <i>Thermoforming</i> | 41 |
| Tabel 4. 3 Data Waktu Antar Kerusakan Mesin <i>Filling Cup</i> | 44 |
| Tabel 4. 4 Data Waktu Antar Kerusakan Mesin <i>Filling Botol</i> | 48 |
| Tabel 4. 5 Data Waktu Antar Kerusakan Mesin <i>Filling Galon</i> | 51 |
| Tabel 4. 6 <i>Failure Mode Effect Analysis</i> Mesin <i>Thermoforming</i> | 54 |
| Tabel 4. 7 <i>Logic Tree Analysis (LTA)</i> Mesin <i>Thermoforming</i> | 66 |
| Tabel 4. 8 <i>Selection Task</i> Mesin <i>Thermoforming</i> | 68 |
| Tabel 4. 9 Data <i>Downtime</i> Mesin Produksi..... | 71 |
| Tabel 4. 10 Perbandingan Persentase <i>Downtime</i> Mesin | 72 |
| Tabel 4. 11 Data <i>Downtime</i> Komponen Mesin <i>Thermoforming</i> | 73 |
| Tabel 4. 12 Data Waktu Antar Kerusakan | 74 |
| Tabel 4. 13 Perhitungan <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Kerusakan Dengan Distribusi Weibull... 76 | |
| Tabel 4. 14 Perhitungan <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Kerusakan Dengan Distribusi Normal.... 77 | |
| Tabel 4. 15 Perhitungan <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Kerusakan Dengan Distribusi Lognormal | 78 |
| Tabel 4. 16 Perhitungan <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Kerusakan Dengan Distribusi Ekspensial..... | 80 |
| Tabel 4. 17 Hasil Rekap <i>Index of Fit</i> Data Waktu Kerusakan | 80 |
| Tabel 4. 18 Uji <i>Goodness of Fit</i> Distribusi Ekspensial Data <i>Time To Failure (TTF)</i> | 81 |
| Tabel 4. 19 Data Waktu Antar Perbaikan | 83 |
| Tabel 4. 20 Perhitungan <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Perbaikan Dengan Distribusi Weibull 84 | |
| Tabel 4. 21 Perhitungan <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Perbaikan Dengan Distribusi Normal.... 85 | |
| Tabel 4. 22 Perhitungan <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Perbaikan Dengan Distribusi Lognormal 86 | |
| Tabel 4. 23 Perhitungan <i>Index Of Fit</i> Waktu Antar Perbaikan Dengan Distribusi Ekspensial | 87 |
| Tabel 4. 24 Hasil Rekap <i>Index of Fit</i> Data Waktu Perbaikan | 88 |
| Tabel 4. 25 Uji <i>Goodness of Fit</i> Distribusi Weibull Data <i>Time To Repair (TTR)</i> | 88 |
| Tabel 4. 26 Perhitungan Interval Waktu Penggantian..... | 91 |
| Tabel 4. 27 Perbandingan <i>Reliability</i> Sesudah dan Sebelum Adanya Interval Waktu Penggantian | 95 |
| | |
| Tabel 5. 1 Total <i>Downtime</i> Kerusakan Mesin..... | 99 |
| Tabel 5. 2 Total <i>Downtime</i> Komponen Kritis | 100 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 3. 1 Alur Penelitian..... | 33 |
| Gambar 4. 1 Peta Lokasi PT. Tirta Sukses Perkasa Banjarmasin | 38 |
| Gambar 4. 2 Struktur Organisasi Perusahaan..... | 39 |
| Gambar 4. 3 <i>Asset Block Diagram</i> (ABD) Mesin Pencetak Cup..... | 53 |
| Gambar 4. 4 <i>Functional Block Diagram</i> (FBD) Mesin Pencetak Cup | 53 |
| Gambar 4. 5 Diagram Pareto <i>Downtime</i> Mesin | 72 |
| Gambar 4. 6 Diagram Pareto <i>Downtime</i> Komponen Mesin..... | 74 |
| Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan <i>Reliability</i> Sesudah dan Sebelum Adanya Interval Penggantian | 96 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam setiap perusahaan pasti memiliki serangkaian aset yang membantu jalannya proses bisnis bagi pihak perusahaan, baik berupa aset berwujud (*tangible*) dan tak berwujud (*intangible*). Menurut ISO 55000 Asset Management - Overview, Principle, and Terminology (2014) aset merupakan sebuah barang, benda, atau entitas yang memiliki nilai potensial ataupun aktual bagi perusahaan. Pada perusahaan dibidang manufaktur salah satu aset yang paling penting yaitu mesin. Kegagalan dalam suatu mesin tentu saja dapat berdampak bagi seluruh proses produksi. Untuk itu perlu adanya kegiatan perawatan (*maintenance*) pada mesin-mesin tersebut sebagai upaya mempertahankan kualitas mesin agar tetap bisa bekerja dalam waktu yang lama dan dalam kondisi optimal (Nasution et.al., 2021).

Begitu pula yang terjadi pada PT. Tirta Sukses Perkasa Banjarmasin yang merupakan perusahaan manufaktur dengan hasil produk yaitu air minum dalam kemasan (AMDK). Berdasarkan dari sumber data yang ada, terdapat keluhan yang cukup sering dari distributor/*customer* dikarenakan adanya keterlambatan dalam pengiriman produk. Hal ini dapat diketahui dari tingginya intensitas email maupun telfon yang masuk pada *customer service*. Keterlambatan pada pengantaran produk ini disebabkan oleh perusahaan yang belum bisa memenuhi target produksi sehingga pengiriman barang ditunda guna memenuhi pencapaian target terlebih dahulu. Penyebab dari ketidaktepatan dalam memproduksi barang dalam waktu yang telah ditentukan ini yaitu adanya *downtime* pada mesin yang digunakan. Besarnya *downtime* pada mesin dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya yaitu adanya penjadwalan perawatan mesin yang tidak teratur Selain itu akibat dari adanya *downtime* pada mesin produksi ini adalah produk cacat ataupun produk *reject*. Adanya kegagalan tersebut membuat kerugian bagi pihak perusahaan baik dari segi biaya, waktu dan tenaga dikarenakan produk air minum mineral merupakan produk utama pada perusahaan tersebut.

Usaha yang dilakukan dari pihak perusahaan saat ini dalam hal perawatan mesin hanya sebatas perbaikan ketika terjadi kerusakan saja (*corrective maintenance*). Jangka waktu umur mesin yang diterapkan juga hanya terbatas pada penilaian/pendapat dari pihak operasional/teknisi yang menjalankan mesin tersebut. Sehingga belum ada studi mendalam dari pihak perusahaan mengenai batasan-batasan penggunaan mesin. Sedangkan pada kenyataannya mesin tersebut digunakan setiap hari secara terus menerus. Tentu saja hal tersebut dapat berpengaruh pada kinerja dan performa mesin selama umur pemakaian masih berjalan. Untuk itu salah satu usaha yang dapat dilakukan agar mesin tetap dapat berjalan dengan optimal yaitu melakukan perawatan mesin secara *preventive*. Menurut Ardian *preventive maintenance* merupakan salah satu kegiatan perawatan fasilitas atau mesin dengan cara mencegah adanya kerusakan serta mengetahui penyebab dari kerusakan tersebut. Dengan begitu perusahaan dapat memperkirakan kapan suatu mesin akan terjadi *downtime* lagi dikemudian hari serta dapat mempersiapkan aspek lainnya misalnya pembiayaan, sumber daya, dan sebagainya.

Salah satu metode dalam menentukan aktivitas perawatan yaitu dengan menggunakan *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Menurut Setiawan et. al. (2013) *Reliability Centered Maintenance* merupakan metode untuk memilih, mengembangkan, dan membuat alternatif strategi perawatan berdasarkan kriteria operasional, ekonomi dan keamanan. Dengan adanya metode ini juga bisa menentukan komponen kritis yang terdapat pada suatu mesin dengan bantuan *tools Failure Mode Effect Analysis* (FMEA).

Metode tersebut juga pernah digunakan oleh Noor Ahmadi dan Nur Yulianti Hidayah (2017) pada penelitiannya yang berjudul “Analisis Pemeliharaan Mesin Blowmud Dengan Metode RCM Di PT. CCAI”. Hasil dari penelitian tersebut yaitu terdapat 4 komponen kritis dengan penurunan *downtime* sebesar 1,56% dan peningkatan *availability* sebesar 1,56%. Penelitian Dwi Prasetya dan Ika Widya Ardhyani (2018) dengan judul “Perencanaan Pemeliharaan Mesin Produksi Dengan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) (Studi Kasus: PT. S)” memiliki hasil yaitu terdapat 11 komponen kritis beserta analisa *preventive* untuk interval perawatan yang optimal. Penelitian oleh Agus Syahabuddin (2019) yang berjudul “Analisis Perawatan Mesin Bubut Cy-L1640g Dengan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) Di PT. Polymindo Permata” dengan hasil yaitu terdapat 3 komponen kritis dengan persentase kerusakan yaitu komponen *Electric*

System 42,51%, *Gear* 35,31%, dan *Taper* 22,18% serta interval waktu perawatan untuk *Electric System* adalah 32 hari.

Selain menggunakan metode RCM, penelitian ini juga menggunakan metode *age replacement*. Metode *age replacement* digunakan dalam penelitian ini dengan tujuan untuk meminimasi *downtime* pada komponen kritis. Metode ini pernah digunakan sebelumnya dalam penelitian yang berjudul “Usulan *Preventive Maintenance* Pada Mesin Hanger Shot Blast Kazo Dengan Menggunakan Metode *Age Replacement* Di PT. Barata Indonesia” oleh Edo Ardo Agustawan, Muhammad Zainuddin Fathoni, dan Dzakiyah Widyaningrum (2021) dengan hasil yaitu biaya perawatan yang turun sebesar Rp 1.045.237.557,- untuk jumlah penggantian komponen yang naik dari 37 ke 41 kali. Penelitian dengan judul “Penentuan Interval Waktu Optimal Penggantian Komponen *Wire Screen* Pada Mesin *Wire Part* Dengan Metode *Age Replacement* Di PT. Mount Dream Indonesia” oleh Sega Gavin Tama dan Iskandar (2017) dengan hasil penelitian yaitu interval waktu yang diperlukan untuk penggantian komponen adalah 65 hari dengan tingkat keandalan sebesar 51,3% dan biaya yang dikeluarkan setiap bulannya adalah sebesar Rp 14.982.447,49. Pada penelitian lainnya yang berjudul “Penentuan Interval Perawatan Mesin *Air Separation Plant* Secara *Preventive Downtime Maintenance* Dengan Menggunakan Metode *Age Replacement* Pada PT. Xyz” oleh Nidaru Ainul Fikri dan Endang Pudji Widjajati (2020) juga menggunakan metode yang sama yaitu *age replacement* dengan hasil yaitu biaya perawatan dengan menggunakan metode usulan memiliki biaya lebih rendah dari pada biaya perawatan perusahaan pada tahun sebelumnya dengan nilai efisiensinya yaitu sebesar 69,23%.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dalam penelitian ini akan menggunakan 2 metode utama yaitu metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan metode *age replacement*. Penggunaan metode RCM seperti pada Margana et.al. (2021) digunakan untuk menganalisa komponen kritis mesin serta faktor-faktor penyebab kegagalan pada komponen tersebut. Sedangkan metode *age replacement* akan digunakan untuk menghitung interval waktu penggantian komponen kritis mesin beserta perhitungan perbandingan *reliability* pada mesin sebelum dan sesudah adanya metode usulan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apa saja mesin yang digunakan pada lini produksi di PT. Tirta Sukses Perkasa Banjarmasin?
2. Mesin dan komponen mesin apakah yang termasuk dalam *Risk Priority Number* (RPN) paling tinggi?
3. Berapa interval waktu pemeriksaan dan interval waktu penggantian komponen kritis?
4. Bagaimana perbandingan simulasi perhitungan *reliability* antara sebelum dan sesudah dilakukan pergantian komponen?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui mesin apa saja yang digunakan pada lini produksi di PT. Tirta Sukses Perkasa Banjarmasin.
2. Mengetahui mesin dan komponen mesin yang termasuk dalam *Risk Priority Number* (RPN) paling tinggi.
3. Mengetahui interval waktu pemeriksaan dan interval waktu penggantian untuk komponen kritis.
4. Mengetahui perbandingan simulasi perhitungan *reliability* antara sebelum dan sesudah dilakukan pergantian komponen.

1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Peneliti menggunakan metode RCM untuk sistem perawatan dan *age replacement* untuk meminimasi *downtime*.
2. Penelitian dilakukan di PT.Tirta Sukses Perkasa Banjarmasin.
3. Mesin yang diteliti yaitu mesin pada area produksi.
4. Penelitian menggunakan data dari periode Januari 2021 sampai dengan Desember 2021.
5. Penelitian sama sekali tidak berkaitan dengan aspek keuangan.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun beberapa manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat menentukan kebijakan perawatan mesin yang dapat diambil dari hasil penelitian.
2. Mengurangi biaya pengeluaran karena sistem perawatan yang terjadwal.

3. Sebagai bahan evaluasi perusahaan untuk perbaikan kedepannya.

1.6 Sistematika Penulisan

Berikut merupakan sistematika laporan yang digunakan dalam penelitian ini:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini memuat uraian singkat mengenai latar belakang, rumusan masalah, 5atasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini menguraikan teori-teori yang mendasari pembahasan secara terperinci yang digunakan untuk memecahkan dan menganalisa hasil dari penelitian ini. Serta memuat ringkasan hasil dari penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan objek penelitian, data yang digunakan, serta tahapan alur penelitian yang dibuat seraca ringkas. Dalam bab ini juga menyertakan metode-metode yang digunakan dalam pengumpulan data.

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini memuat seluruh data yang digunakan dalam penelitian beserta uraian bagaimana proses dalam mengolah data tersebut dengan prosedur tertentu.

BAB V PEMBAHASAN

Dalam bab ini memuat pembahasan dan analisis kritis berdasarkan pengolahan data pada bab sebelumnya serta mengidentifikasi ketidaknormalan data yang dapat digunakan untuk saran dalam penelitian selanjutnya.

BAB VI PENUTUP

Bab ini memuat kesimpulan dan saran dimana kesimpulan tersebut berisikan rangkuman dari hasil pembahasan dalam penelitian yang dapat menjawab rumusan permasalahan serta saran yang berisikan rekomendasi penelitian yang dapat digunakan untuk pengembangan pada penelitian yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

Daftar pustaka berisikan sumber-sumber kutipan yang digunakan dalam penelitian yang dilakukan.

LAMPIRAN

Lampiran berisikan daftar kelengkapan penelitian yang belum dipaparkan dalam bab-bab sebelumnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Literatur

Penelitian mengenai metode *reliability centered maintenance* juga pernah dilakukan oleh Azwir et.al (2020) dengan judul Manajemen Perawatan Menggunakan Metode RCM Pada Mesin Produksi Kertas yang bertujuan untuk mengetahui komponen kritis, mengetahui tingkat reliability serta menuntukan penjadwalan perawatan mesin. Hasil dari pada penelitian tersebut diketahui bahwa bagian kritis pada mesin yaitu *press section* dengan kerusakan sebesar 35,7% dan setelah dilakukan penjadwalan perbaikan terdapat kenaikan mesin dari 43% menjadi 56% sedangkan biaya perbaikan berkurang sebesar Rp 393.258.670,- dengan adanya usulan tambahan yaitu jadwal penggantian untuk komponen mesin kertas 2. Pada penelitian lain dengan judul “*Optimal Reliability-centered Maintenance Strategy Based On The Failure Modes And Effect Analysis In Power Distribution Systems*” oleh Enjavimadar et.al (2022) yang bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan energi, biaya perawatan, biaya keselamatan dan risiko dari mode kegagalan sehingga didapatkan hasil bahwa dengan adanya penerapan metode yang baru dapat memeberikan dampak positif dengan mengurangi biaya perawatan sebesar minimal 7% dibanding sebelum diterapkannya metode ini. Pada penelitian yang berjudul Development of “*Optimized Maintenance Program for a Steam Boiler System Using Reliability-Centered Maintenance Approach*” oleh Patil et.al (2022) juga menggunakan metode RCM untuk optimasi biaya perawatan serta mengetahui *availability* dari suatu sistem melalui *failure mode effect and critically analysis* (FMECA) sehingga didapatkan hasil bahwa implementasi dari metode ini dapat meningkatkan efisiensi reliabilitas dan *availability* sebesar 28,15% dan 0,16% serta dapat mengurangi *maintenance cost* sebesar 20,32%.

Selain itu pada penelitian oleh Joly-Mischlich, et al., (2021) dengan judul “*Application of the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) to identify vulnerabilities and opportunities for improvement prior to implementing a computerized prescription order entry (CPOE)*”

system in a university hospital oncology clinic” menggunakan metode *failure mode and effects analysis* (FMEA) yang bertujuan untuk mengidentifikasi kerentanan proses CPOE untuk mengadaptasi desainnya dan mencegah potensi risiko dengan hasil penelitian bahwa secara keseluruhan jalur CPOE menunjukkan pengurangan risiko potensial sebesar 51% dibandingkan dengan resep berbasis kertas. Pada penelitian lainnya yang menggunakan metode FMEA dengan judul “*Proactive Risk Assessment through Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for Perioperative Management Model of Oral Anticoagulant Therapy: A Pilot Project*” oleh Micheletta et.al (2022). Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi risiko perioperatif dari terapi antikoagulan oral dan untuk mengurangi efek samping melalui Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Hasil dari penelian menyebutkan bahwa tujuh belas mode kegagalan diidentifikasi di seluruh periode perioperatif oleh mereka dengan prioritas intervensi yang lebih tinggi memperhatikan waktu yang tidak tepat antara penangguhan terapi dan pembedahan, juga penilaian risiko perdarahan yang terkait dengan prosedur invasif yang salah sehingga dapat disimpulkan bahwa metode FMEA dapat membantu mengidentifikasi kegagalan perioperatif terapi antikoagulan dan menerapkan manajemen dan keselamatan pasien prosedur pembedahan. Pada penelitian lain dengan judul “*Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) at the preanalytical phase for POCT blood gas analysis: proposal for a shared proactive risk analysis model*” oleh Hoff et.al (2022) yang bertujuan membuat model analisis risiko untuk mengurangi dampak negatif pada perawatan pasien dengan kesalahan preanalitik dalam *blood gas analysis* (BGA) memiliki hasil bahwa FMEA mengidentifikasi langkah-langkah proses pra-analitik, kesalahan yang mungkin terjadi saat melakukan BGA (mode kegagalan potensial), kemungkinan konsekuensi (efek kegagalan potensial) dan tindakan pencegahan/koreksi (kontrol saat ini). Indikator kinerja utama juga diusulkan untuk mengevaluasi perubahan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa model FMEA ini akan membantu profesional perawatan kesehatan mengelola dan meminimalkan risiko kesalahan preanalitik dalam BGA.

Penelitian lain mengenai perawatan pencegaha juga pernah diutarakan oleh Khasanah dan Panuntun (2023) dalam jurnal berjudul “Analisis Efisiensi Pekerjaan Pada Pemeliharaan Komponen Mesin Belt Conveyor Kritis Menggunakan Pendekatan Preventive Maintenance di PT Varia Usaha Beton Cabang Batang”. Dalam jurnal tersebut disebutkan bahwa tujuan dari penelitian yaitu menentukan komponen kritis pada mesin belt conveyor dengan menggunakan metode FMEA. Hasil yang didapatkan yaitu komponen 1 memiliki waktu paling lama dalam

perbaikan dan nilai MTTF komponen G-2 memiliki selang waktu terlama untuk mengalami kerusakan kembali disbanding dengan komponen 1. Pada jurnal berjudul “*Failure Mode and Effects Analysis and Risk Priority Number in a Combined Cycle Power Plant*” oleh Rahimi et al (2021) juga menggunakan metode FMEA untuk mengidentifikasi dan menilai risiko bahaya pada pembangkit listrik siklus gabungan. Dengan menggunakan metode tersebut didapatkan hasil dari total 74 risiko yang teridentifikasi, 34 (45,94%) berisiko tinggi, dan 40 (54,05%) berisiko sedang. Risiko 85% memiliki tingkat keparahan tertinggi yang dapat mengakibatkan ledakan dan kebakaran, cedera, dan luka bakar. Sehingga kesimpulan yang didapatkan yaitu risiko yang terkait dengan industri seperti pembangkit listrik tinggi dan tindakan pencegahan di tempat-tempat seperti itu sangat penting. Mengidentifikasi bahaya dan menilai risiko dengan metode standar seperti FMEA adalah cara yang berguna untuk mencegah kecelakaan dan kerugian manusia dan finansial. Jurnal lain dengan judul “*A Novel FMEA Approach for Risk Assessment of Air Pollution From Ships*” oleh Ceylan et al (2023) melakukan penelitian terhadap PSC. Port State Control (PSC) adalah mekanisme inspeksi yang memastikan kapal komersial mematuhi peraturan dan regulasi yang mengikat secara internasional. Selama inspeksi PSC, ketidakpatuhan terhadap konvensi maritim internasional dapat mengakibatkan kekurangan atau bahkan penahanan kapal. Di sisi lain, kekurangan yang teridentifikasi selama inspeksi PSC sangat penting untuk laut yang aman, terjamin, bersih, dan lingkungan laut yang berkelanjutan. Sejalan dengan itu, Organisasi Maritim Internasional (IMO) bertujuan untuk mengurangi polusi terkait kapal dalam lingkup Konvensi Internasional untuk Pencegahan Polusi dari Kapal (MARPOL). Secara khusus, Lampiran-VI adalah peraturan MARPOL yang paling baru diratifikasi yang mencakup polusi udara. Meskipun kekurangan Annex-VI menimbulkan risiko yang signifikan bagi pemangku kepentingan maritim dan lingkungan alam, topik ini telah diabaikan secara luas oleh para peneliti. Untuk alasan ini, analisis risiko terperinci untuk defisiensi MARPOL Annex-VI dilakukan untuk menunjukkan prioritas terkait lingkungan laut dan pemangku kepentingan maritim dalam studi ini. Pendekatan *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) yang lebih baik digunakan dalam perhitungan angka prioritas risiko (RPN) dengan mengambil input O, S, dan D dari dua kelompok ahli yang berbeda dan database MoU Paris. Menurut hasil, mode kegagalan MARPOL Annex-VI yang paling berisiko diidentifikasi sebagai 14615-Prosedur penggantian bahan bakar (RPN: 235.71), 14608-Operasi insinerator dan manual pengoperasian (RPN: 232.65), dan 14601-File teknis dan jika berlaku , panduan pemantauan (RPN: 219.86). Oleh karena itu, analisis dan

temuan risiko yang disajikan dimaksudkan untuk menjadi referensi bagi pemangku kepentingan maritim untuk mencegah skenario berbahaya yang melibatkan polusi udara terkait kapal. Penelitian lainnya mengenai FMEA juga pernah diterapkan pada penelitian berjudul “Fuzzy Analytic Hierarchy Process-Based Risk Priority Number For Risk Assessments Of Commissioning Process Of A Ring Gantry LINAC” oleh Chang et al (2022). Tujuan dari penelitian ini yaitu pengusulan proses hirarki analitik fuzzy (AHP) berbasis metode nomor prioritas risiko (RPN) dalam mode kegagalan dan analisis efek (FMEA) untuk mengatasi kekurangan FMEA berbasis RPN tradisional. Metode Fuzzy AHP diterapkan untuk menentukan bobot relatif dampak risiko berdasarkan hubungan antar FM. Karena ketergantungan urutan waktu merupakan faktor utama untuk faktor risiko, struktur hirarkis AHP digunakan untuk mencerminkan dampak terarah seperti pengaruh kausal dan putaran umpan balik. Dua RPN berbobot acak, yang disebut (RPN W dan FRPN W , dihitung tergantung pada nilai input keparahan (S), kejadian (O), dan kemungkinan tidak terdeteksi (D) dari evaluator. RPN W menggunakan nilai numerik, sedangkan nilai fuzzy digunakan untuk FRPN W. Kedua RPN dihitung dengan mengalikan bobot O, S, dan D menggunakan metode fuzzy AHP. Hasil yang diperoleh yaitu perbedaan antara dua peringkat RPN fuzzy adalah karena ketidakpastian fuzzy yang melekat dan penyimpangan nilai O, S, dan D yang diajukan oleh evaluator. Mempertimbangkan semua hasil FMEA tradisional dan berbasis fuzzy, dua FM dengan peringkat paling tinggi diidentifikasi: kesalahan dalam menentukan SSD dan SSD non-isosentris dari gambar MV karena fitur unik dari ring gantry LINAC. Sehingga dapat disimpulkan bahwa studi ini telah menunjukkan kelayakan penggunaan RPN berbasis AHP fuzzy untuk melakukan analisis komprehensif dan memprioritaskan FM. Analisis risiko menggunakan fuzzy AHP dapat ditingkatkan dan/atau disempurnakan berdasarkan alur kerja spesifik departemen dan preferensi klinis dengan mempertimbangkan berbagai pendekatan pembobotan prioritas.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Perawatan (Maintenance)

Menurut Kurniawan (2013) “Manajemen Perawatan Industri merupakan upaya jitu dalam menjaga kontinuitas kegiatan produksi, sehingga target yang ingin dicapai dapat terealisasi secara sempurna.” Produktivitas tercapai ketika semua sistem, terutama di pabrik industri,

bekerja dengan baik. Hal ini tentu harus didukung dengan adanya strategi manajemen kualitatif dan kuantitatif. Terdapat beberapa jenis perawatan yaitu:

1. Pemeliharaan preventif (*preventive maintenance*)

Pemeliharaan preventif dilakukan untuk mencegah kerusakan aset perusahaan dengan mengganti suku cadang berdasarkan pola seumur masa hidup mesin. Selain itu, perawatan dan pemeriksaan juga dilakukan untuk mengetahui peraturan terbaru untuk setiap properti. Metode perawatan awal direncanakan untuk pemeriksaan, pembersihan, pelumasan, pengencangan baut atau perbaikan mesin ringan.

2. Pemeliharaan kerusakan (*breakdown maintenance*)

Servis kerusakan adalah metode yang tidak melibatkan survei atau inspeksi dan penggantian suku cadang, tetapi memperbaiki atau mengganti peralatan yang rusak yang ada. Secara umum, penerapan metode ini berlaku pada alat atau mesin karena beberapa alasan. Pertimbangan ini mirip dengan perlengkapan opsional, sehingga jika terjadi kerusakan tidak mengganggu proses produksi, dan biaya perbaikan atau penggantian suku cadang cukup murah. Faktor lainnya adalah kerusakan yang tidak serius dan dapat diperbaiki dengan mudah dan cepat.

3. Pemeliharaan terencana (*schedule maintenance*)

Pada saat yang sama, pemeliharaan rutin adalah program terencana yang dilakukan oleh orang yang memenuhi syarat untuk memastikan properti berfungsi dengan baik. Menggunakan metode ini sangat efektif untuk mencegah kerusakan yang tidak terduga. Contoh sederhananya adalah ketika sebuah mesin dibeli, penjual memberi tahu perusahaan kapan harus diservis. Jika layanan penjadwalan sinkron tidak berjalan, kinerja kemungkinan akan terpengaruh.

4. Pemeliharaan prediktif (*predictive maintenance*)

Perawatan prediktif adalah metode perawatan di mana suku cadang diperbarui berdasarkan perkiraan biasa. Jenis perawatan ini berfokus pada teknik untuk menentukan rencana perawatan yang tepat. Tujuan utama dari jenis asal ini adalah untuk menggunakan berbagai metode pengujian untuk memprediksi kapan suatu mesin atau perangkat akan gagal. Merencanakan proses perawatan yang lengkap tanpa mempengaruhi proses produksi dan menghindari kerusakan mesin.

5. Pemeliharaan korektif (*corrective maintenance*)

Pemeliharaan korektif adalah jenis terakhir yang ditujukan untuk meningkatkan daya tahan aset perusahaan melalui improvisasi. Selain perangkat, cara ini juga ditujukan untuk suku cadang dengan umur simpan yang pendek, yang mengurangi frekuensi kerusakan dan meningkatkan kecepatan perbaikan.

2.2.2 *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

2.2.2.1 *Functional Block Diagram (FBD)*

Diagram blok fungsi adalah diagram yang berbentuk blok-blok yang menjelaskan fungsi dari setiap komponen serta hubungan antara satu komponen dengan komponen lainnya sehingga pengaruh antar komponen dapat terlihat dengan jelas.

2.2.2.2 *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)*

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) adalah proses terstruktur untuk mengidentifikasi dan mencegah sebanyak mungkin mode kegagalan. FMEA melibatkan berbagai pertimbangan termasuk pilihan yang tepat untuk analisis.

Dari analisis ini, kemudian diidentifikasi komponen kritis yang paling banyak mengalami kegagalan dan sejauh mana pengaruhnya terhadap fungsi sistem, sehingga kami dapat mengambil tindakan terhadap komponen penting tersebut dengan melakukan perawatan yang tepat. Berikut merupakan contoh format dari FMEA worksheet.

Tabel 2. 1 *Worksheet FMEA*

| No | <i>Equipment</i> | <i>Function</i> | <i>Failure Mode</i> | <i>Failure Causes</i> | <i>Failure Effect</i> | <i>S</i> | <i>O</i> | <i>D</i> | <i>RPN</i> |
|----|------------------|-----------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|----------|----------|----------|------------|
|----|------------------|-----------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|----------|----------|----------|------------|

Kolom *equipment* pada tabel 2.1 diisi oleh nama komponen dari suatu komponen atau sistem, kolom *function* diisi oleh fungsi dari komponen pada kolom 1, *failure mode* diisi dengan kemungkinan penyebab masalah yang terjadi, *failure cause* diisi dengan penyebab dari kegagalan tersebut terjadi, sedangkan *failure effect* diisi dengan akibat yang dapat ditimbulkan dari mode kegagalan tersebut. SOD sendiri merupakan perlambangan dari *severity*, *occurrence*, dan *detection*.

1. *Severity (S)*

Severity merupakan standar penilaian suatu komponen dimana akan ditentukan seberapa tingkat bahaya dari suatu komponen pada mesin atau sistem. Tingkatan ini dapat

ditentukan dari tingkat kerusakan alat, tingkat cedera yang diderita pengguna, serta lama waktu henti. Tingkat penilaian dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 2 *Peringkat Severity*

| Tingkat Rangkaing Severity | Akibat | Kriteria | Akibat Skala Besar |
|-----------------------------------|------------------|--|---|
| 1 | Tidak ada akibat | Tidak ada (tidak berpengaruh), perlu penyesuaian | Proses dikendalikan |
| 2 | Sangat ringan | Mesin masih berfungsi dan kondisi aman, hanya ada kerusakan kecil. Dan hanya ada sedikit masalah pada perangkat. Konsekuensi hanya orang yang berpengalaman yang tahu | Proses dikontrol, hanya diperlukan sedikit penyesuaian |
| 3 | Ringan | Mesin masih berfungsi dan kondisi aman, hanya ada kerusakan kecil. Dan hanya ada sedikit masalah pada perangkat. Dan hanya ada sedikit masalah pada perangkat. Konsekuensinya hanya bisa diketahui oleh semua operator | Prosesnya di luar kendali, perlu beberapa penyesuaian |
| 4 | Minor | Mesin masih berfungsi dan dalam kondisi aman, namun menyebabkan kerusakan atau kegagalan produk. | kurang dari 30 menit waktu henti atau tidak ada waktu henti pembuatan |

| Tingkat Rangking Severity | Akibat | Kriteria | Akibat Skala Besar |
|--|---------------|---|--------------------------------|
| | | Operator tidak merasakan puas karena kinerja menurun | |
| 5 | Moderat | Mesin masih berfungsi dan dalam kondisi aman, namun menyebabkan kerusakan atau kegagalan produk. Operator tidak berpikir begitu tidak puas dengan penurunan kinerja | 30-60 menit <i>downtime</i> |
| 6 | Signifikan | Mesin tetap beroperasi dan dalam keadaan aman, namun menyebabkan kerusakan atau cacat pada produk. Operator merasa sangat sedikit puas dengan kinerjanya sendiri | 1-2 jam <i>downtime</i> |
| 7 | Major | Mesin tetap beroperasi dan dalam kondisi aman, namun tidak dapat digunakan secara penuh. Operator sangat tidak senang | 2-4 jam <i>downtime</i> |
| 8 | Ekstrim | Mesin tidak bekerja, mesin kehilangan fungsi utamanya | 4-8 jam <i>downtime</i> |
| 9 | Serius | Mesin tidak berfungsi, tidak memenuhi standar keselamatan kerja | > 8 jam <i>downtime</i> |
| 10 | Berbahaya | Mesin tidak berfungsi, karena | > 8 jam <i>downtime</i> |

| Tingkat Rangking Severity | Akibat | Kriteria | Akibat Skala Besar |
|--|---------------|---|-------------------------------|
| | | kecelakaan kerja yang tidak terduga dapat terjadi, tidak memastikan standar keselamatan kerja | |

2. *Occurance* (O)

Occurrence adalah tingkat frekuensi kegagalan yang dialami komponen atau suatu sistem. Berikut merupakan tabel kelompok level *occurence*.

Tabel 2. 3 Peringkat *Occurance*

| Level | Kejadian | Kriteira | Tingkat Kejadian Kerusakan |
|--------------|------------------|--------------------------------|---|
| 1 | Hampir tidak ada | Kerusakan tidak pernah terjadi | >10.000 jam |
| 2 | Remote | Kerusakan mesin jarang | 6.001-10.000 jam |
| 3 | Sanagt sedikit | Kerusakan mesin sanagt sedikit | 3.001-6.000 jsm |
| 4 | Sedikit | Kerusakan mesin sedikit | 2.001-3000 jam |
| 5 | Rendah | Kerusakan mesin rendah | 1.001-2000 jam |
| 6 | Medium | Kerusakan mesin medium | 401-1000 jam |
| 7 | Agak tigngi | Kerusakan mesin agak tinggi | 101-400 jam |
| 8 | Tinggi | Kerusakan mesin tinggi | 11-100 jam |
| 9 | Sangat tinggi | Kerusakan mesin sangat tinggi | 2-10 jam |
| 10 | Hampir selalu | Kerusakan mesin hampir selalu | <1 jam |

3. *Detection* (D)

Detection merupakan perngukuran tingkat pengendalian atas suatu kegagalan dari suatu komponen atau sistem. Berikut merupakan nilai tingkat dari *detection*.

Tabel 2. 4 Peringkat *Detection*

| Tingkat | Akibat | Kriteria |
|----------------|-----------------|---|
| 1 | Sangat pasti | Pemeliharaan preventif akan selalu mengatasi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan |
| 2 | Sangat tinggi | Pemeliharaan preventif memiliki kemungkinan yang sangat tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan. |
| 3 | Tinggi | Pemeliharaan preventif mampu mendeteksi potensi penyebab atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan yang tinggi |
| 4 | Moderate highly | Pemeliharaan preventif memiliki kemungkinan sedang hingga tinggi untuk mendeteksi penyebab atau mekanisme dan modus kegagalan Gagal |
| 5 | Moderate | Pemeliharaan preventif memiliki kemungkinan sedang untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan |
| 6 | Rndah | Pemeliharaan preventif memiliki kemungkinan rendah untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan. |
| 7 | Sangat rendah | Pemeliharaan preventif memiliki kemungkinan yang sangat rendah |

| Tingkat | Akibat | Kriteria |
|----------------|--------------------|---|
| | | untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan. |
| 8 | Remote | Pemeliharaan preventif yang mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan dari jarak jauh |
| 9 | Tidak pasti | Pemeliharaan preventive dapat mendeteksi penyebab potensial yang tidak pasti |
| 10 | Sangat tidka pasti | Pemeliharaan preventive dapat mendeteksi penyebab potensial yang sangat tidak pasti |

2.2.2.3 Logic Tree Analysis (LTA)

Mengingat potensi kerusakan yang akan terjadi, maka harus ada prosedur pencegahan untuk mengatasi risiko yang akan dihadapi. LTA dapat menunjukkan jenis tugas pemeliharaan apa yang layak dan optimal untuk digunakan untuk memperbaiki setiap mode kegagalan. Tujuan dari LTA adalah untuk mengkategorikan kesalahan atau ketidakmampuan untuk memprioritaskan berdasarkan kategorinya. Analisis mode kegagalan kritis termasuk dalam salah satu dari empat kategori penting (Smith & Glenn, 2004), yaitu:

1. *Evident*, dapatkah seorang operator dalam kondisi normal mengetahui bahwa ada yang tidak beres?
2. *Safety*, apakah kejadian tersebut berbahaya?
3. *Outage*, dapatkah mode kegagalan ini menyebabkan semua atau sebagian sistem berhenti bekerja?
4. *Category*, yaitu mengelompokkan jawaban pertanyaan ke dalam beberapa kategori. Pada bagian ini, kategori LTA dibagi menjadi 4 yaitu:
 - a. Kategori A (masalah keamanan)

Artinya, ketika kegagalan ada konsekuensi yang merugikan, keamanan bahkan fatal bagi seseorang. Kegagalan ini juga memiliki konsekuensi lingkungan seperti melanggar peraturan lingkungan telah diatur dalam undang-undang sebelumnya.

b. Kategori B (*outage problem*)

Artinya, mode kegagalan suatu komponen dapat menyebabkan suatu sistem pekerjaan komponen terhenti sebagian atau seluruhnya sehingga mempengaruhi operasional pabrik seperti kuantitas dan kualitas produk hingga hasil produksi yang dapat meningkatkan biaya.

c. Kategori C (Masalah Ekonomi)

Dengan kata lain, jika kegagalan tidak ada konsekuensi bagi keselamatan dan operasi pabrik, tanpa mempengaruhi penghematan yang relatif kecil untuk menutup biaya perbaikan.

d. Kategori D (Kegagalan Tersembunyi)

Yaitu, jika mode kegagalan memiliki dampak langsung jika perusahaan tidak mengatasi risiko ini akan menjadi serius bahkan dapat memicu kegagalan lain.

2.2.2.4 Selection Task

Pengambilan tindakan adalah langkah terakhir dalam metode RCM. Proses ini dilakukan dengan memilih tindakan yang sesuai untuk mode kegagalan tertentu. Tindakan pemrosesan pada rute pemilihan tindakan dapat dibagi menjadi 3, yaitu:

1. *Time Direct* (TD)

Langkah-langkah untuk mengobati langsung pada sumbernya kerusakan tergantung pada usia atau durasi komponen atau sistem.

2. *Condition Deredcted* (CD)

Tindakan pemeliharaan dilakukan dengan kontrol dan inspeksi. Jika pemeriksaan menunjukkan tanda-tanda kerusakan, perbaiki atau ganti komponen.

3. *Finding Failure* (FF)

Menangani tindakan yang dilakukan dengan maksud pencarian kerusakan tersembunyi dengan inspeksi berkala.

2.2.3 Identifikasi Distribusi

Identifikasi distribusi dilakukan dengan menggunakan metode *least square curve fitting*. Metode ini dipilih karena biasa digunakan untuk data dengan jumlah sampel yang cukup

banyak dan lengkap selain itu metode ini juga dinilai lebih akurat karena tingkat subjektivitasnya menjadi berkurang. Dengan adanya metode ini dapat diketahui distribusi suatu data dengan melihat nilai *index of fit* yang paling besar.

2.2.4 Metode *Least-Square Curve Fitting* (LSCF)

Metode pemasangan kurva kuadrat terkecil mengidentifikasi distribusi komponen dengan nilai terbesar dari *index of fit* (r) yang dipilih. Fungsi secara umum dari metode *least square curve fitting* menurut Walpole (1995) adalah sebagai berikut.

$$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} \quad \text{.....(2. 1)}$$

Dimana:

n = banyak data kerusakan

i = data waktu ke- i

Sedangkan setiap distribusi memiliki fungsi yang berbeda-beda seperti berikut.

a. Distribusi Weibull

$$x_i = \ln t_i \quad \text{.....(2. 2)}$$

$$y_i = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \right] \quad \text{.....(2. 3)}$$

b. Distribusi normal

$$x_i = t_i \quad \text{.....(2. 4)}$$

$$y_i = z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] \quad \text{.....(2. 5)}$$

c. Distribusi lognormal

$$x_i = \ln t_i \quad \text{.....(2. 6)}$$

$$y_i = z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] \quad \text{.....(2. 7)}$$

d. Distribusi eksponensial

$$x_i = t_i \quad \text{.....(2. 8)}$$

$$y_i = \ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \quad \text{.....(2. 9)}$$

2.2.5 Perhitungan *Index of Fit*

Perhitungan indeks of fit atau koefisien korelasi linier antara dua populasi variabel acak x dan y , diperkirakan dengan koefisien korelasi sampel r . Semakin tinggi nilai r , semakin baik

hubungan linier antara x dan y. Pemilihan distribusi yang sesuai ditentukan oleh distribusi dengan indeks kesesuaian tertinggi. Berikut merupakan fungsi dari *index of fit*.

$$r = \frac{n(\sum_{i=1}^n x_i y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\left(\left((n(\sum_{i=1}^n x_i^2)) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2 \right) \times \left((n(\sum_{i=1}^n y_i^2)) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2 \right) \right)}} \quad \text{.....(2. 10)}$$

2.2.6 Uji Goodness of Fit

Uji *Goodness of Fit* bertujuan untuk menguji hipotesa nol dan hipotesa alternatif sehingga diketahui apakah suatu data membentuk distribusi tertentu. Terdapat masing masing jenis uji sesuai dengan distribusinya. Berikut merupakan 4 macam jenis uji *goodness of fit*.

1. Uji Mann's Test untuk Distribusi Weibull

Pengujian ini ditujukan untuk mengetahui apakah data berdistribusi Weibull atau tidak.

Untuk hipotesisnya adalah sebagai berikut:

H_0 = data berdistribusi Weibull

H_1 = data tidak berdistribusi Weibull

Berikut merupakan uji statistik untuk *mann's test* pada distribusi weibull.

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=\frac{r}{2}+1}^{r-1} \frac{\ln t_{i+1} - \ln t_i}{M_i}}{k_2 \sum_{i=1}^{r-1} \frac{\ln t_{i+1} - \ln t_i}{M_i}} \quad \text{.....(2. 11)}$$

$$k_1 = \frac{r}{2}$$

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

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

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

Dimana:

t_i = data waktu ke-i

n = jumlah data kerusakan komponen

M_i = nilai *Mann* untuk data ke-i

M = nilai perhitungan distribusi *Weibull*

r = banyaknya data

Dengan ketentuan apabila M lebih besar dari F_{crit} maka H_1 diterima dan H_0 ditolak. Namun apabila M lebih kecil dari F_{crit} maka H_1 ditolak dan H_0 diterima. Nilai F_{crit} dapat dilihat pada tabel distribusi F dengan $v_1 = 2k_1$ dan $v_2 = 2k_2$.

2. Uji Kolmogorov-Smirnov untuk Distribusi Normal Dan Lognormal

Uji kolmogorof Smirnov merupakan uji kesesuaian disrtibusi yang dapat digunakan untuk dua jenis distribusi, yaitu distribusi normal dan distribusi lognormal. Hipotesis untuk uji Kolmogorov Smirnov adalah sebagai berikut.

H_0 = data berdistribusi normal/lognormal

H_1 = data tidak berdistribusi normal/lognormal

Berikut merupakan uji statistik untuk *Kolmogorov Smirnov* pada distribusi normal dan lognormal.

$$D_n = \max \{D1, D2\}$$

$$D1 = \max \left[\Phi \left(\frac{ti - \bar{t}}{s} \right) - \frac{i-1}{n} \right] \quad \text{.....(2. 12)}$$

$$D2 = \max \left[\frac{i}{n} \Phi \left(\frac{ti - \bar{t}}{s} \right) \right], 1 \leq i \leq n \quad \text{.....(2. 13)}$$

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n \frac{ti}{n}$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (ti - \bar{t})^2}{n-1}$$

Dimana:

t_i = Waktu kerusakan ke-i

t = Waktu kerusakan

s^2 = Standar deviasi

n = Banyak data kerusakan

Dengan ketentuan apabila D_n lebih besar atau sama dengan D_{crit} maka H_1 diterima dan H_0 ditolak. Namun apabila D_n lebih kecil dari D_{crit} maka H_1 ditolak dan H_0 diterima. Nilai D_{crit} dapat diperoleh dari tabel *critical value for the Kolmogorov-Smirnov test for normality*.

3. Uji Barlett's Test untuk Distribusi Eksponensial

Pengujian pada *berlett's test* digunakan untuk mengetahui apakah data berdistribusi eksponensial atau tidak. Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut.

H_0 = data berdistribusi eksponensial

H_1 = data tidak berdistribusi eksponensial

Berikut merupakan uji statistik untuk *barlett's test* pada distribusi eksponensial.

$$B = \frac{2r \left(\ln \left(\left(\frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r t_i \right) - \left(\left(\frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r \ln(t_i) \right) \right)}{1 + \frac{(r+1)}{6r}} \quad \text{.....(2. 14)}$$

Dimana:

B = Nilai uji statistic untuk *Bartlett's Test*

t_i = Waktu data kerusakan ke-i

r = Banyaknya data kerusakan

Nilai B diterima apabila terletak pada wilayah kritis pada persamaan $X^2 \left(1 - \frac{\alpha}{2x} - 1\right) < B < X^2 \left(\frac{\alpha}{2}x - 1\right)$.

2.2.7 Parameter Estimasi Distribusi

Estimasi parameter dengan metode *maximum likelihood estimator* (MLE) menurut Ebeling (1997) terbagi menjadi 4 berdasarkan masing-masing distribusi seperti berikut.

1. Distribusi Weibull

Parameter yang digunakan pada distribusi Weibull yaitu parameter bentuk (β) dan parameter skala (θ) dengan rumus seperti berikut.

$$B = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad \text{.....(2. 15)}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

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

Dimana:

t_i = data waktu kerusakan ke-i

β = *shape parameter*

θ = *scale parameter*

2. Distribusi normal

Parameter yang digunakan pada distribusi normal yaitu parameter nilai tengah (μ) dan parameter deviasi (σ) dengan rumus seperti berikut.

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad \text{.....(2. 16)}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \mu)^2}{n}} \quad \text{.....(2. 17)}$$

Dimana:

t_i = data waktu ke-i

n = banyak data

μ = nilai tengah

σ = standar deviasi

3. Distribusi lognormal

Parameter yang digunakan pada distribusi lognormal yaitu parameter bentuk (s) dan parameter lokasi (t_{med}) dengan rumus seperti berikut.

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(t_i)}{n} \quad \dots\dots(2. 18)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln(t_i) - \mu)^2}{n}} \quad \dots\dots(2. 19)$$

$$t_{med} = e^{\mu}$$

Dimana:

t_i = data waktu ke- i

n = banyak data

μ = nilai tengah

s = standar deviasi

4. Distribusi eksponensial

Parameter yang digunakan pada distribusi eksponensial yaitu λ dengan rumus seperti berikut.

$$\lambda = \frac{n}{T} \quad \dots\dots(2. 20)$$

Dimana:

n = banyak data

$T = \sum_{ti}^r ti$ atau jumlah data waktu

λ = rata-rata datangnya kejadian

2.2.8 MTTF dan MTTR

1. MTTF

Menurut ansori dan mustajib (2013) “*Mean Time to Failure* adalah angka yang menyatakan ekspektasi masa pakai sistem atau alat”. Fungsi MTTF dituliskan oleh Ebeling (1997) sebagai berikut:

$$MTTF = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad \dots\dots(2. 21)$$

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt}, \text{ sehingga}$$

$$MTTF = \int_0^{\infty} -\frac{dR(t)}{dt} t dt \quad \dots\dots(2. 22)$$

$$= -tR(t) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t)dt$$

$$= \int_0^{\infty} R(t)dt$$

Sedangkan untuk masing masing distribusi adalah sebagai berikut.

a. Distribusi Weibull

$$MTTF = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \dots\dots(2. 23)$$

b. Distribusi normal

$$MTTF = \mu \dots\dots(2. 24)$$

c. Distribusi lognormal

$$MTTF = t_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} \dots\dots(2. 25)$$

d. Distribusi eksponensial

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \dots\dots(2. 26)$$

2. MTTR

MTTR atau *mean time to repair* merupakan nilai tengah dari kejadian probabilitas pada waktu perbaikan sesuai dengan jenis distribusi data yang telah diketahui sebelumnya.

Fungsi MTTR dituliskan oleh Ebeling (1997) sebagai berikut:

$$MTTR = \int_0^{\infty} (1 - H(t))dt \dots\dots(2. 27)$$

Dimana:

(t) = fungsi kepadatan

H(t) = fungsi distribusi kumulatif

Sedangkan untuk masing masing distribusi adalah sebagai berikut.

a. Distribusi Weibull

$$MTTR = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \dots\dots(2. 28)$$

b. Distribusi normal

$$MTTR = \mu \dots\dots(2. 29)$$

c. Distribusi lognormal

$$MTTR = t_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} \dots\dots(2. 30)$$

d. Distribusi eksponensial

$$MTTR = \frac{1}{\lambda} \dots\dots(2. 31)$$

2.2.9 Model Untuk Mendefinisikan Redundansi Alternatif Dengan Kriteria

Meminimalkan Downtime

Model identifikasi *preventive replacement* dengan kriteria meminimumkan *downtime* diterapkan dengan tujuan untuk menentukan waktu terbaik untuk melakukan *preventive replacement* guna mengurangi *downtime* per satuan waktu. Hambatan yang sering muncul adalah semakin lamanya *down time* pada *preventive replacement* serta meningkatnya frekuensi *preventive replacement* (Jardine, 1973).

Terdapat dua model penentuan *preventive replacement* dengan kriteria meminimalkan *downtime* yaitu:

1. Bentuk Blok Penggantian (*Block Replacement*)

Tindakan alternatif dilakukan dalam jangka waktu tertentu. Bentuk ini bertujuan untuk menentukan interval penggantian pencegahan (tp) antar penggantian preventif untuk meminimalkan *downtime* per satuan waktu.

Penerapannya adalah dengan mengganti kegagalan yang terjadi selama interval $(0, tp)$ yang mengarah ke penggantian yang terjadi selama interval tersebut dan dengan melakukan penggantian preventif secara terus menerus pada setiap interval. Model ini memungkinkan penggantian jangka pendek, dimana komponen yang baru dipasang setelah gagal penggantian harus diganti lagi pada saat penggantian preventif. Fungsi $D(tp)$ dapat dituliskan sebagai berikut.

$$D(tp) = \frac{\text{ekspektasi downtime karena kerusakan} + \text{downtime karena penggantian pencegahan}}{\text{panjang siklus}}$$

$$D(tp) = \frac{H(tp)Tf + Tp}{(tp + Tp)} \quad \dots\dots(2. 32)$$

Dimana :

tp = interval waktu penggantian pencegahan

$D(tp)$ = total *downtime* per unit waktu

$H(tp)$ = estimasi jumlah kerusakan pada interval $(0, t)$

2. Bentuk Age Replacement

Waktu penggantian ini menggunakan metode *age replacement* berdasarkan pada minimasi *downtime* dimana memilih mana waktu yang paling minimum untuk mengurangi *downtime*. Pada proses perhitungannya akan dilakukan *trial and error* dimana telah teruji valid pada perhitungan sebelumnya, sehingga model interval waktu penggantian dapat dituliskan dalam rumus sebagai berikut.

$$D(tp) = \frac{Tp.R(tp) + Tf.F(tp)}{(tp+Tp).R(tp) + (M(tp)+Tf).F(tp)} \quad \dots\dots(2. 33)$$

Dimana:

- tp = Waktu penggantian optimal
- Tp = Waktu penggantian pencegahan
- Tf = Waktu penggantian kerusakan
- R(tp) = Fungsi keandalan komponen
- F(tp) = Fungsi probabilitas distribusi kumulatif
- M(tp) = Nilai tingkat kemudahan dalam pemeliharaan
- D(tp) = Probabilitas *downtime* untuk perawatan

2.2.10 Frekuensi Pemeriksaan

Selain pemeriksaan penggantian preventif, pemeriksaan rutin dilakukan untuk meminimalkan total waktu henti suatu alat atau komponen. Dalam hal ini, jumlah kerusakan mesin dapat dikurangi dengan total *downtime* per satuan waktu, yang dapat dijelaskan berdasarkan rumus dari frekuensi pemeriksaan sebagai berikut.

D(n) = total waktu downtime perbaikan kerusakan + total downtime pemeriksaan

$$D(n) = \lambda(n).Tf + nTi$$

Dengan asumsi apabila laju kerusakan berbanding terbalik dengan total pemeriksaan maka $\lambda n = \frac{k}{n}$ sehingga $\lambda(n) = \frac{k}{n^2}$. Maka apabila fungsi D(n) didiferensialkan berubah seperti berikut.

$$D(n) = \frac{xTf}{n^2} + xTi \quad \dots\dots(2. 34)$$

$$n = \sqrt{\frac{kTi}{Tf}}$$

Dimana:

- λ_n = laju kerusakan
- k = nilai konstanjumlah kerusakan persatuan waktu
- Tf = waktu rata-rata penggantian
- Ti = waktu rata-rata pemeriksaan
- n = frekuensi yang dilakukan per satuan waktu

2.2.11 Perhitungan *Reliability* Sebelum Dan Sesudah Adanya Perawatan

Model keandalan berikut mengasumsikan bahwa sistem akan kembali ke keadaan baru dimana telah dilakukan perawatan pencegahan. Fungsi yang digunakan untuk setiap distribusinya pada keadaan sebelum adanya tindakan perawatan dituliskan oleh Ebeling (1997) sebagai berikut.

1. Distribusi Weibull

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{\theta} \right)^\beta \right] \quad \text{.....(2. 35)}$$

2. Distrbusi normal

$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right) \quad \text{.....(2. 36)}$$

3. Distribusi lognormal

$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right) \quad \text{.....(2. 37)}$$

4. Distrbusi eksponensial

$$R(t) = \exp(-\lambda t) \quad \text{.....(2. 38)}$$

Sedangkan fungsi setelah adanya *preventive maintenance* untuk setiap distribusinya dituliskan sebagai berikut.

1. Distribusi Weibull

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t-nT}{\theta} \right)^\beta \right] \quad \text{.....(2. 39)}$$

2. Distrbusi normal

$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{(t-nT)-\mu}{\sigma} \right) \quad \text{.....(2. 40)}$$

3. Distribusi lognormal

$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t-nT}{t_{med}} \right) \quad \text{.....(2. 41)}$$

4. Distrbusi eksponensial

$$R(t) = \exp(-\lambda(t - nT)) \quad \text{.....(2. 42)}$$

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Subjek Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT. Tirta Sukses Perkasa Banjarmasin yang beralamatkan di Jl. A. Yani Km.36, Desa Ujung Baru, Kecamatan Bati-Bati, Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan. Subjek pada penelitian ini yaitu mesin pada lini produksi yang digunakan untuk memproduksi untuk air mineral dalam kemasan berukuran cup 220 ml, botol 600ml, dan galon 20L. Penelitian ini dilakukan pada bulan Juni 2022 sampai dengan bulan November 2022.

3.2 Teknik Pengumpulan Data

3.3.1 Data Primer

Data primer merupakan data yang dikumpulkan oleh peneliti yang berasal dari sumber utama. Teknik pengumpulan data untuk jenis data ini yaitu dengan melakukan wawancara. Wawancara merupakan suatu proses tanya jawab kepada narasumber untuk memperoleh informasi yang diinginkan. Dalam hal ini yang menjadi narasumber penelitian yaitu teknisi yang sekaligus menjadi operator dari mesin produksi dengan hasil data yang didapatkan yaitu berupa mesin apa saja yang digunakan dalam produksi, kerusakan apa saja yang sering taerjadi, sebab akibat dari kerusakan tersebut, serta waktu *downtime* pada mesin.

3.3.2 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang dikumpulkan dan digunakan sebagai penunjang sumber utama. Data sekunder ini didapatkan dengan beberapa cara yaitu data yang berasal dari historis perusahaan dan studi literatur. Informasi mengenai data historis perusahaan diperoleh dari laporan yang dimiliki perusahaan pada tahun-tahun sebelumnya. Sedangkan studi literatur yang digunakan berasal dari berbagai sumber terpercaya seperti buku, jurnal, serta literatur lainnya yang terkait.

3.3 Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan melalui teknik pengumpulan data di atas akan diperoleh beberapa macam data sebagai berikut:

- a. Data umum perusahaan.
- b. Data mesin yang digunakan beserta komponennya.
- c. Data gangguan yang terjadi pada mesin di lini produksi beserta penyebab dan akibat yang ditimbulkan.
- d. Data *downtime* tiap komponen mesin periode Januari 2021-Desember 2021.

3.4 Metode Pengolahan Data

Pengolahan data pada penelitian ini menggunakan dua metode yaitu *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Age Replacement*. Tahapan untuk kedua metode tersebut adalah sebagai berikut.

1. *Reliability Centered Maintenance* (RCM)

RCM digunakan untuk mengetahui penyebab kegagalan dari setiap komponen mesin dan mengetahui efek yang ditimbulkan dari kerusakan tersebut. Terdapat beberapa tahapan dalam metode ini yaitu:

a. *Function Block Diagram* (FBD)

Pada tahap ini berisikan deskripsi sistem dengan tujuan untuk mengidentifikasi detail kecil mengenai komponen dalam sistem yang ditulis dengan menggunakan diagram berupa blok fungsi.

b. *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA)

Tahapan ini digunakan untuk mengidentifikasi mode kegagalan dari suatu komponen yang kemudian juga diidentifikasi penyebab dari kegagalan tersebut serta akibat yang dapat ditimbulkan. Pada tahapan ini juga akan ditetapkan nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection* untuk kemudian digunakan sebagai perhitungan nilai *Risk Priority Number* (RPN) pada setiap komponen mesin sehingga dapat diketahui komponen kritis pada mesin.

c. *Logic Tree Analysis* (LTA)

Logic Tree Analysis merupakan salah satu metode perhitungan kualitatif yang diterapkan pada komponen mesin sehingga dapat diketahui prioritas kerusakan yang terjadi. Terdapat 4 hal penting yang termuat dalam LTA yaitu *evident*, *safety*, *outage*, dan *category*. Dalam *category* terdapat sub bagian lagi yang terbagi menjadi 4 yaitu kategori A (*Safety Problem*), kategori B (*Outage Problem*), kategori C (*Economic Problem*), dan kategori D (*Hidden Failure*).

d. *Selection Task* (Pemilihan tindakan perawatan)

Tahap ini dilakukan untuk menentukan kegiatan perawatan yang mungkin untuk dilakukan dan diterapkan serta efisien untuk mengatasi setiap kemungkinan mode kegagalan yang dapat terjadi. Hasil dari Tindakan perawatan tersebut dapat berupa *Condition Direct*, *Time Directed*, dan *Finding Failure*.

2. Menentukan Komponen Kritis

Hasil penentuan komponen kritis pada tahap ini dapat dilihat dari hasil nilai tertinggi *Risk Priority Number* (RPN), *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) pada metode RCM.

3. Menentukan *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR)

Hasil perhitungan TTF didapatkan dari selisih periode kerusakan komponen saat diperbaiki dengan kerusakan selanjutnya. Sedangkan hasil perhitungan TTR didapatkan dari selisih antara periode saat komponen mengalami kerusakan sampai komponen tersebut telah selesai diperbaiki.

4. Distribusi *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR)

Metode yang digunakan untuk mengidentifikasi distribusi TTF dan TTR yaitu *least-square curve fitting*. Metode ini menggunakan nilai *index of fit* (r) yang terbesar untuk yang terpilih. Menurut Walpole et al. (1995), terdapat beberapa metode dalam *least-square curve fitting* yaitu *Medium Rank* dan *Index of fit* yang dapat digunakan untuk distribusi weibull, distribusi eksponensial, distribusi normal, dan distribusi lognormal.

5. Uji Kecocokan Distribusi

Setelah dilakukan perhitungan *index of fit*, tahap selanjutnya yaitu melakukan uji kecocokan distribusi data dengan metode *goodness of fit*. Perhitungan dalam uji kecocokan ini membandingkan dua hipotesa awal yaitu data kerusakan atau perbaikan mendekati distribusi tertentu (H_0) dan data kerusakan atau perbaikan tidak mendekati distribusi tertentu (H_1). Pengujian dalam *goodness of fit* sendiri terbagi menjadi 3 macam yaitu *Mann Test* untuk distribusi Weibull, *Barlett Test* untuk distribusi Eksponensial, dan *Kolmogorov-Smirnov* untuk distribusi Normal dan Lognormal.

6. Estimasi Parameter

Pada tahap ini digunakan metode *Maximum Likelihood Estimator* (MLE) untuk mengestimasi parameter yang belum diketahui. Terdapat 4 cara perhitungan parameter sesuai dengan distribusinya masing-masing yaitu distribusi Weibull, distribusi normal, distribusi lognormal, distribusi eksponensial.

7. *Mean Time to Failure* (MTTF)

Mean time to failure merupakan rata-rata selang waktu kerusakan dari suatu distribusi kerusakan. Terdapat 4 perhitungan MTTF sesuai dengan distribusinya masing-masing yaitu distribusi *Weibull*, distribusi eksponensial, distribusi normal, distribusi lognormal.

8. *Mean Time to Repair* (MTTR)

Untuk menghitung rata-rata lama waktu perbaikan, terdapat 4 perhitungan sesuai dengan distribusinya masing-masing yaitu distribusi *Weibull*, normal, lognormal, dan eksponensial.

9. *Age Replacement*

Age replacement pada tahap ini dilakukan dengan cara meminimasi *downtime* yaitu dipilih berdasarkan hasil yang minimum. Perhitungan dilakukan dengan cara melakukan *trial and error* dengan menggunakan rumus $D(tp)$.

10. Frekuensi Pemeriksaan dan Interval Waktu Pemeriksaan

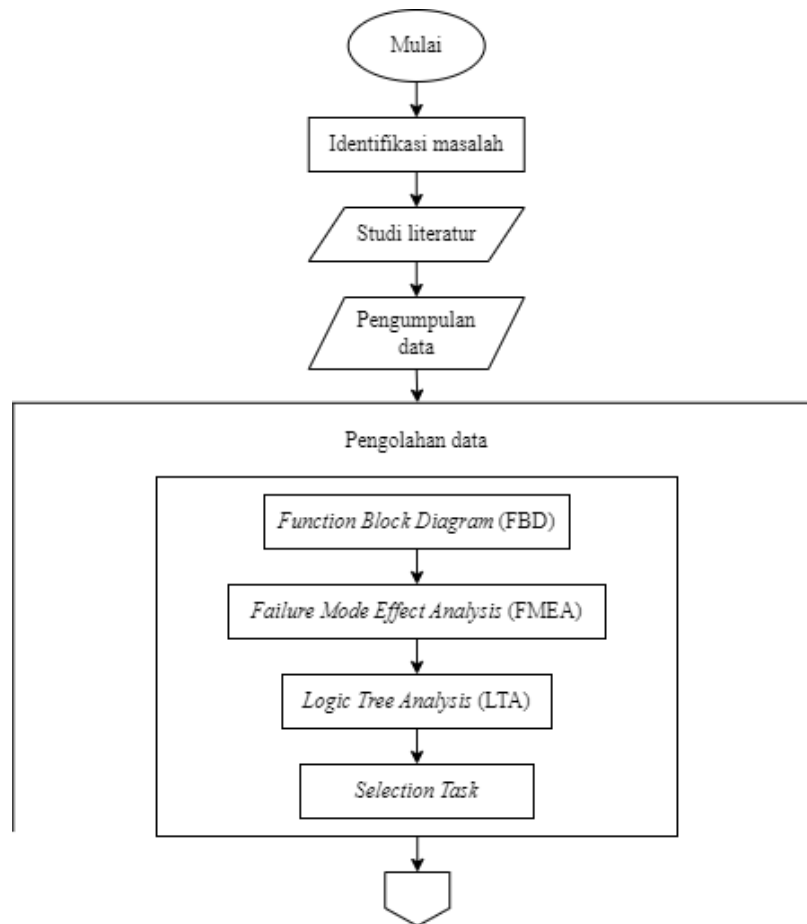
Pemeriksaan secara berkala terhadap suatu mesin dapat berdampak positif misalnya mengurangi probabilitas kerusakan, meningkatkan umur mesin, serta dapat meminimasi *downtime* yang terjadi secara tiba-tiba akibat kerusakan pada komponen mesin.

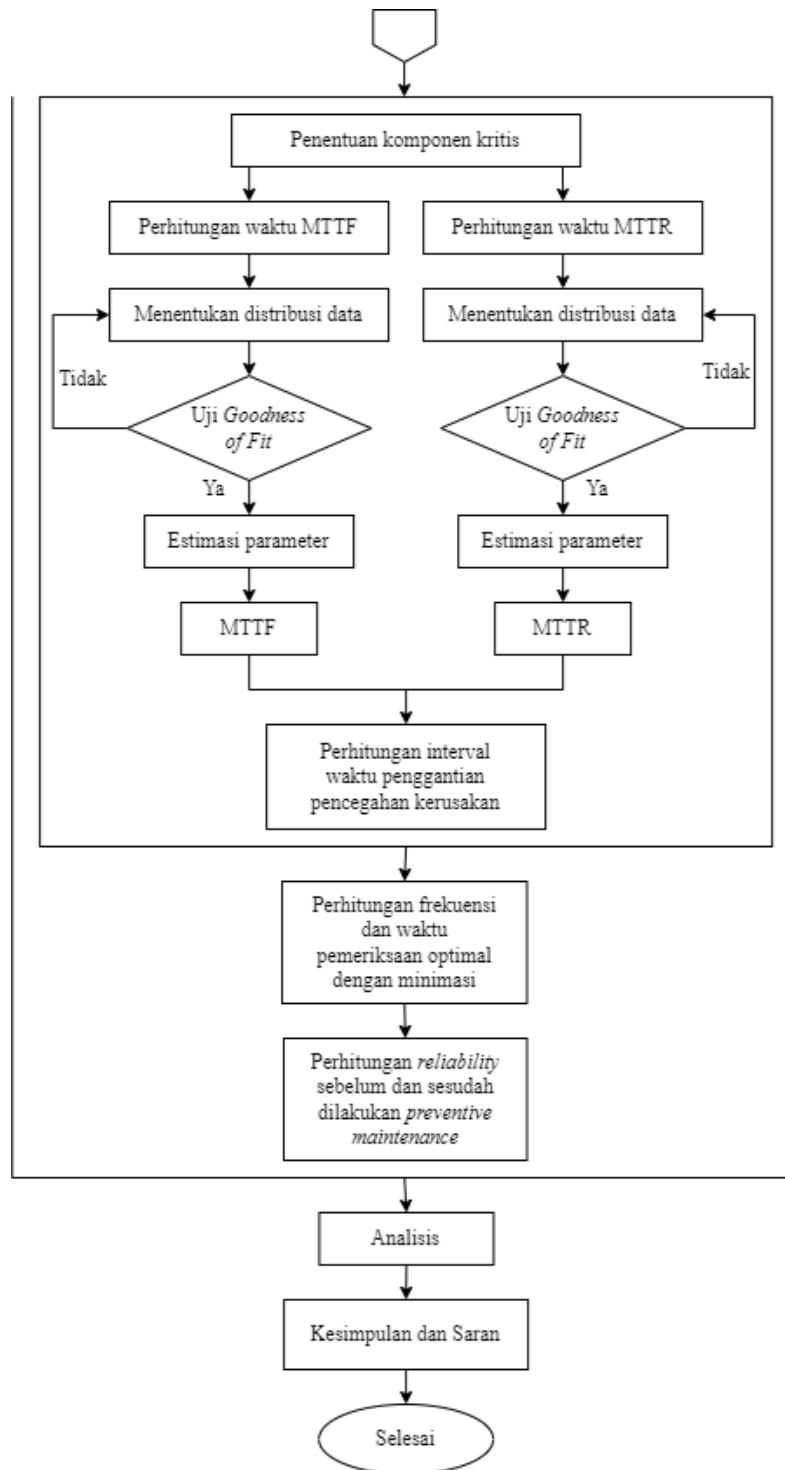
3.5 Alat Analisis

Dalam tahap pengolahan data, analisis beserta pembahasan pada penelitian ini, digunakan beberapa alat yang mendukung yaitu antara lain alat tulis, laptop, serta *software Microsoft excel*.

3.6 Diagram Alir Penelitian

Berikut merupakan diagram alur penelitian mulai dari awal sampai dengan akhir penelitian.





Gambar 3. 1 Alur Penelitian

Tahapan alur penelitian:

1. Identifikasi masalah

Identifikasi masalah adalah tahapan dalam penelitian, yang dijadikan sebagai sarana penganalisaan sumber permasalahan pada objek penelitian. Didalamnya akan memuat

alasan keharusan dilaksanakannya penelitian berdasarkan fakta-fakta yang didapatkan. Dalam hal akan mencantumkan permasalahan pokok yang menjadi dasar dilaksanakannya penelitian, serta permasalahan yang harus diselesaikan secara terperinci. Itu dilakukan dalam menyikapi fakta-fakta yang telah didapatkan.

2. Studi literatur

Studi literatur dilakukan sebagai bekal dalam pelaksanaan penelitian itu sendiri. Disini akan dipelajari berbagai sumber teori yang berkaitan dengan pencarian solusi masalah penelitian.

3. Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan dalam perusahaan/instansi, dimana dalam hal ini data yang akan di ambil berkaitan dengan masalah penelitian. Data dapat diperoleh dengan jalan wawancara mengenai subjek penelitian serta informasi lainnya yang dibutuhkan dalam penelitian..

4. Pengolahan data

Data yang telah dikumpulkan kemudian diklasifikasi dan diorganisasi secara sistematis. Kemudian data diolah secara logis mengikuti rancangan penelitian. Pengolahan data difokuskan untuk memberikan kejelasan atau argumentasi mengenai hipotesis yang diajukan dalam penelitian berdasarkan data dan fakta yang diperoleh.

5. Melakukan analisis

Hasil pengolahan data perlu didiskusikan baik dengan orang atau diri sendiri berdasarkan kajian kajian hasil penelitian terdahulu atau pendapat yang ada di buku yang berhubungan dengan obyek yang diteliti. Hasil yang diperoleh dalam diskusi akan menjadi kesimpulan penelitian serta saran yang harus dilanjutkan.

6. Menyimpulkan hasil dan memberikan saran rekomendasi

Kesimpulan sebagai penjelasan mengenai hasil dari penelitian yang di lakukan serta rekomendasi yang di berikan kepada perusahaan menyikapi hal-hal yang di dapatkan dalam proses penelitian yang di harapkan akan adanya perbaikan di masa yang akan datang.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Latar Belakang Perusahaan

4.1.1 Sejarah Perusahaan

PT.Tirta Sukses Perkasa berdiri sejak 1988 dengan nama PT.Tirta Bahagia, memiliki kantor pusat di Surabaya. Pada tahun 2012 PT.Tirta Bahagia memiliki 17 Pabrik Air Mineral Dalam Kemasan (AMDK) yang tersebar di seluruh Indonesia. PT.Tirta Bahagia memproduksi Air Mineral Dalam Kemasan dengan brand CLUB (Botol, Gelas dan Gallon).

Pada 2014 PT.Indofood CBP Sukses Makmur Tbk (ICBP) dan Group Asahi Holdings Southeast Asia Pte Ltd (Jepang), melalui anak usahanya PT.Asahi Indofood Beverage Makmur (AIBM) membeli aset terkait manufaktur, pemasaran dan distribusi serta kemasan produk air minum dalam kemasan milik PT.Tirta Bahagia sebesar 80%.

4.1.2 Profil Perusahaan

Berikut merupakan profil perusahaan PT.Tirta Sukses Perkasa:

1. Nama Perusahaan : PT. Tirta Sukses Perkasa Banjarmasin
2. Tahun Berdiri : 2005
3. Luas Pabrik : 20 Hektar
4. Nilai Asset : 71,6 T
5. Lokasi : Jl. A. Yani Km 36 Desa Ujung Baru, Kec. Bati- Bati, Kab.
Tanah Laut, Kalimantan Selatan 70852
6. Telp/Fax : (0512) 26323
7. Website : www.club.co.id
8. Jumlah Karyawan : 200 Orang

9. Hasil Produk : Air minum mineral dalam kemasan *Club* (220ml, 330ml, 600ml, 1500ml, dan galon 19L)

Sejak awal pendiriannya, perusahaan ini sudah memiliki 17 cabang yang tersebar di seluruh penjuru Indonesia. Berikut merupakan daftar cabang beserta alamatnya:

1. Cabang Surabaya di Jawa Timur

Alamat : Jl. Kelasi No.1, Krembangan Utara, Kec. Pabean Cantikan, Kota SBY, Jawa Timur 60163

2. Cabang Nganjuk di Jawa Timur

Alamat : Jl. Panglima Sudirman No.6, Sawah, Pehserut, Kec. Sukomoro, Kabupaten Nganjuk, Jawa Timur 64481

3. Cabang Sumenep di Jawa Timur

Alamat : Jl. Raya Lenteng, Batuan Barat, Batuan, Kec. Batuan, Kabupaten Sumenep, Jawa Timur 69451

4. Cabang Tabanan di Bali

Alamat : Jl. Raya Kutuh No.7, Samsam, Kec. Kerambitan, Kabupaten Tabanan, Bali 82114

5. Cabang Klaten di Jawa Tengah

Alamat : CJ6X+HH5, Boto, Wunut, Kec. Tulung, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah 57482

6. Cabang Tegal di Jawa Tengah

Alamat : Jl. Bumijawa, Pagupakan, Bumijawa, Bantarsari, Kabupaten Tegal, Jawa Tengah 52466

7. Cabang Ungaran di Jawa Tengah

Alamat : Dusun Siroto, Karangmanggis, Kec. Boja, Kabupaten Kendal, Jawa Tengah 51381

8. Cabang Cijeruk di Jawa Barat

Alamat : Jl. Cijeruk-Caringin Raya No.3, Wr. Menteng, Kec. Cijeruk, Kabupaten Bogor, Jawa Barat 16740

9. Cabang Ciranjang di Jawa Barat

Alamat : Jl. Raya Cianjur Bandung No.KM 13, RT.056/RW.5, Ciranjang, Kec. Ciranjang, Kabupaten Cianjur, Jawa Barat 43282

10. Cabang Palembang di Sumatera Selatan

Alamat : Jl. Raya Palembang-betung Km. 18, Banyu Asin, Sumatera Selatan

11. Cabang Medan di Sumatera Utara

12. Cabang Bati-Bati di Kalimantan Selatan

Alamat : Jl. A. Yani Km. 36, Ujung Baru, Kec. Bati Bati, Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan 70852

13. Cabang Balikpapan di Kalimantan Timur

Alamat : Klandasan Ilir, Kota Balikpapan, Balikpapan, Kalimantan Timur 76113

14. Cabang Pontianak di Kalimantan Barat

Alamat : Terap, Toho, Mempawah, Kalimantan Barat 78361

15. Cabang Gowa di Sulawesi Selatan

Alamat : Jl. Malino No.56, Bontomanai, Kec. Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92171

16. Cabang Takalar di Sulawesi Selatan

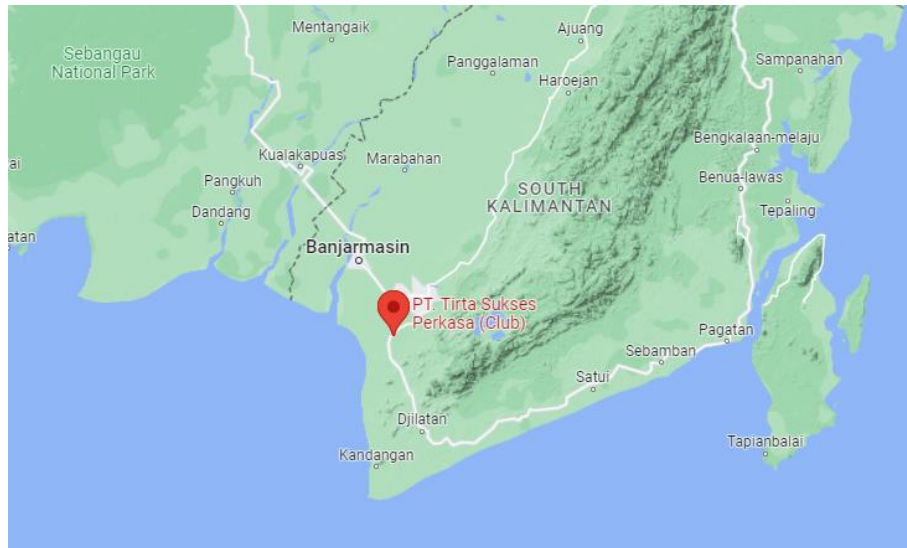
Alamat : Lassang, Polombangkeng Utara, Takalar, Sulawesi Selatan 92152

17. Cabang Manado di Sulawesi Utara

Alamat : Jl. Minawerot Airmadidi Bawah, Kel. Airmadidi Bawah, Kec. Airmadidi, Airmadidi Bawah, Minahasa Utara, Kabupaten Minahasa Utara, Sulawesi Utara

4.1.3 Lokasi Perusahaan

PT. Tirta Sukses Perkasa Banjarmasin ini berlokasi di di Desa Ujung Baru, Kecamatan Bati-Bati, Kabupaten Tanah Laut, Provinsi Kalimantan Selatan. Lokasi tepatnya yaitu berada pada koordinat 3°34'51.0" Lintang Selatan dan 114°43'18.2" Bujur Timur.



Gambar 4. 1 Peta Lokasi PT. Tirta Sukses Perkasa Banjarmasin

Perusahaan dengan luas lahan sebesar 20 hektar tersebut belum termasuk dengan gudang hasil produksi. Gudang penyimpanan hasil produksi terletak terpisah namun berada tidak jauh dari pabrik produksi yaitu sekitar ± 3 km di sebelah barat pabrik.

4.1.4 Visi Perusahaan

PT. Tirta Sukses Perkasa memiliki visi yaitu menjadi perusahaan air minum dalam kemasan (AMDK) yang terbesar dalam skala nasional.

4.1.5 Misi Perusahaan

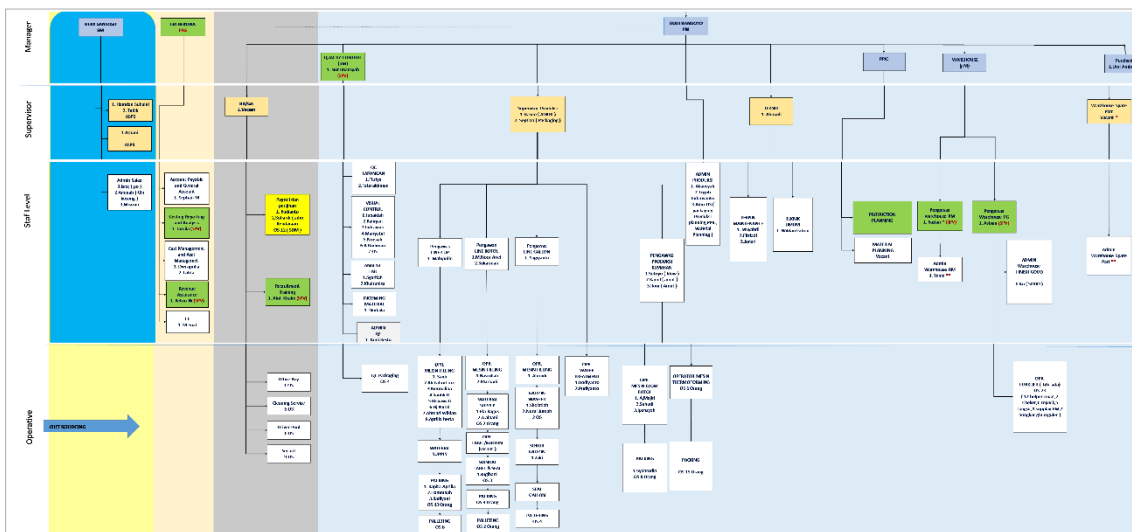
Untuk mencapai visi yang telah ada, PT. Tirta Sukses Perkasa memiliki beberapa misi sebagai berikut :

1. Menciptakan pertumbuhan pasar AMDK *Club* secara merata diseluruh pelosok Indonesia.
2. Mendorong peningkatan kesadaran masyarakat untuk hidup sehat.
3. Memenuhi kebutuhan dengan kualitas produk standar Internasional, ketersediaan yang merata dan pelayanan memuaskan.
4. Membangun kompetensi dan integritas karyawan untuk menciptakan peningkatan kinerja secara berkesinambungan.

5. Melahirkan calon-calon pemimpin perusahaan melalui Pendidikan.

4.1.6 Struktur Organisasi

Struktur organisasi pada PT Tirta Sukses Perkas menggunakan model bagan struktur organisasi vertikal dimana sistem kepemimpinan digambarkan secara garis lurus dari atas ke bawah mulai dari pemimpin organisasi yang paling tinggi sampai dengan organisasi atau jabatan yang lebih rendah. Perusahaan cabang ini secara umum dipimpin oleh seorang direktur dan merangkap juga sebagai *general manager* yang membawahi langsung seorang *plan manager* yang dibantu oleh *financial and accounting staff* (FAS). PM sendiri membawahi langsung beberapa department yaitu HR, SPV QC, SPV Produksi, Teknisi, PPIC, *Purchasing*, serta *Warehouse*. Setiap masing-masing department juga membawahi beberapa staff. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada bagan struktur organisasi di bawah ini.



Gambar 4. 2 Struktur Organisasi Perusahaan

4.1.7 Jam Kerja Perusahaan

Pengaturan jam kerja karyawan ditetapkan oleh perusahaan menjadi 3 bagian *shift* yang bertujuan agar mesin dapat terus berproduksi dan dapat mencapai target perusahaan. *Shift* tersebut dibagi menjadi beberapa jam sebagai berikut:

1. Shift 1 = 07.00-15.00 WIB

2. Shift 2 = 15.00-23.00 WIB
3. Shift 3 = 23.00-07.00 WIB

4.2 Hasil Produksi

Produk yang dihasilkan oleh PT. Tirta Sukses Perkasa khususnya untuk cabang Banjarmasin terdapat 3 jenis produk yaitu air mineral dalam kemasan cup (220ml), botol (600ml), dan galon (20L). Dalam penulisan kali ini akan memfokuskan penelitian terhadap proses produksi dalam ukuran cup dengan rentang periode Januari 2021 sampai dengan Desember 2021.

4.3 Proses Produksi

Untuk menghasilkan beberapa produk, terdapat beberapa proses produksi yang harus dilalui yaitu:

1. Tahap pencetakan cup

Pada tahap ini dilakukan pemotongan dan pencetakan bahan material pembuat gelas plastik yaitu *sheet* atau lembaran plastik. Mesin yang digunakan yaitu mesin thermoforming.

2. Tahap pengisian cup

Tahap pengisian cup dilakukan dengan menggunakan mesin *filling cup*. Mesin ini bekerja dengan cara mengisi air mineral ke dalam masing-masing cup kemudian ditutup dengan menggunakan *sealer* agar tertutup rapat dan tetap higienis.

3. Tahap pembuatan botol

Pada tahap ini akan digunakan mesin *blow* botol. Mesin ini akan mengubah material utama yaitu *perform* menjadi bentuk botol ukuran 600ml.

4. Tahap pengisian botol

Pada tahap pengisian botol dilakukan dengan menggunakan mesin *filling* botol. Mesin tersebut bekerja dengan cara mengisi cairan (air mineral) ke dalam botol kemudian di tutup dengan menggunakan segel tutup berbahan plastik.

5. Tahap pengisian galon

Pada tahap ini produksi dilakukan dengan menggunakan mesin *filling* botol. Mesin bekerja dengan cara mengisi cairan (air mineral) ke dalam galon kemudian di *seal* dengan tutup plastik tebal. Pada cabang Banjarmasin tidak ada mesin *blow* dalam proses pencetakan galon, sehingga stok galon yang ada merupakan hasil pengiriman dari cabang lain.

Berikut merupakan tabel daftar mesin yang digunakan dalam proses pembuatan produk:

Tabel 4. 1 Daftar Mesin Produksi

| No | Nama Proses | Mesin |
|----|-----------------|----------------------|
| 1 | Cetak cup | <i>Thermoforming</i> |
| 2 | Pengisian cup | <i>Filling cup</i> |
| 3 | Pembuatan botol | <i>Blow</i> |
| 4 | Pengisian botol | <i>Filling botol</i> |
| 5 | Pengisian galon | <i>Filling galon</i> |

4.4 Pengumpulan Data

Data waktu antar kerusakan pada mesin produksi diambil mulai dari periode Januari 2021 sampai dengan Desember 2021 seperti yang ditunjukkan oleh table berikut ini.

Tabel 4. 2 Data Waktu Antar Kerusakan Mesin *Thermoforming*

| Bulan | Sub Mesin | Komponen | <i>Actual Start</i> | <i>Actual Stop</i> |
|----------|-----------------|---|-----------------------------|-----------------------------|
| Januari | Kompresor | Kompresor drop | 5/1/2021, 17 : 00 : 00 | 5/1/2021, 20 : 10 : 00 |
| | <i>Extruder</i> | <i>Calender</i> unit | 10/01/2021, 01 : 00 : 00 | 11/01/2021, 16 : 00 : 00 |
| | <i>Forming</i> | <i>Stacking</i> | 15/01/2021, 07 : 00 : 00 | 15/01/2021, 22 : 00 : 00 |
| | | <i>Inverter</i> | 19/01/2021, 10 : 00 : 00 | 20/01/2021, 01 : 00 : 00 |
| Februari | <i>Extruder</i> | <i>Granulator</i> macet | 5/02/2021, 01 : 00 : 00 | 5/02/2021, 02 : 40 : 00 |
| | <i>Forming</i> | <i>Stacking</i> | 17/02/2021, 07 : 00 : 00 | 17/02/2021, 14 : 20 : 00 |
| | | <i>Thermoforming</i> <i>motor servo</i> | 15/02/2021, 15 : 00 : 00 | 15/02/2021, 22 : 00 : 00 |
| | | <i>Extrusion motor</i> <i>drive inverter</i> | 19/02/2021, 14 : 00 : 00 | 19/02/2021, 23 : 30 : 00 |
| Maret | Kompresor | <i>Suplay</i> kompresor | 20/03/2021, | 20/03/2021, |

| Bulan | Sub Mesin | Komponen | Actual Start | Actual Stop |
|--------------------------------|-----------------------------|---|-----------------------------|-----------------------------|
| | Extruder | berkurang | 10 : 00 : 00 | 12 : 40 : 00 |
| | | Calender unit | 18/03/2021, 22 : 00 : 00 | 19/03/2021, 00 : 40 : 00 |
| | Forming | Autoloader (pressure drop) | 5/03/2021, 14 : 00 : 00 | 5/03/2021, 16 : 40 : 00 |
| | | Stacking | 08/03/2021, 07 : 00 : 00 | 08/03/2021, 14 : 20 : 00 |
| | | Thermoforming motor servo | 10/03/2021, 08 : 10 : 00 | 10/03/2021, 09 : 10 : 00 |
| | | Mould insert & plug assist (cup cacat / bibir kasar / cutting mould) | 10/03/2021, 08 : 00 : 00 | 10/03/2021, 10 : 58 : 00 |
| | | Thermoforming heater | 12/03/2021, 15 : 00 : 00 | 12/03/2021, 18 : 00 : 00 |
| Extrusion motor drive inverter | 22/03/2021, 14 : 00 : 00 | 22/03/2021, 23 : 30 : 00 | | |
| April | Extruder | Calender unit | 18/04/2021, 22 : 00 : 00 | 19/04/2021, 00 : 40 : 00 |
| | | Autoloader (pressure drop) | 7/04/2021, 14 : 00 : 00 | 7/04/2021, 16 : 40 : 00 |
| | Forming | Cutting | 08/04/2021, 07 : 00 : 00 | 08/04/2021, 14 : 20 : 00 |
| | | Thermoforming motor servo | 10/04/2021, 10 : 40 : 00 | 10/04/2021, 13 : 40 : 00 |
| | | Thermoforming heater | 13/04/2021, 15 : 00 : 00 | 13/04/2021, 18 : 00 : 00 |
| | | Extrusion motor drive inverter | 25/04/2021, 14 : 00 : 00 | 25/04/2021, 23 : 30 : 00 |
| Mei | Extruder | Autoloader (pressure drop) | 17/05/2021, 14 : 00 : 00 | 17/05/2021, 16 : 40 : 00 |
| | Forming | Cutting | 28/05/2021, 07 : 00 : 00 | 28/05/2021, 14 : 20 : 00 |
| | | Thermoforming motor servo | 10/05/2021, 16 : 15 : 00 | 10/05/2021, 21 : 45 : 00 |
| | | Thermoforming heater | 23/05/2021, 15 : 00 : 00 | 23/05/2021, 18 : 00 : 00 |
| | | Extrusion motor drive inverter | 05/05/2021, 14 : 00 : 00 | 05/05/2021, 23 : 30 : 00 |
| Juni | Chiller | Kondensasi | 23/06/2021, 15 : 00 : 00 | 23/06/2021, 16 : 40 : 00 |
| | Kompresor | Valve angin | 23/06/2021, 17 : 00 : 00 | 23/06/2021, 17 : 30 : 00 |
| | | Suplai material kurang | 28/06/2021, 22 : 00 : 00 | 28/06/2021, 24 : 20 : 00 |
| | Extruder | Pressure material hilang | 17/06/2021, 14 : 00 : 00 | 17/06/2021, 16 : 40 : 00 |
| | Forming | Stacking Unit (Cone Maindrill lepas) | 28/06/2021, 07 : 00 : 00 | 28/06/2021, 14 : 20 : 00 |
| | | Mould Insert dan | 10/06/2021, | 10/06/2021, |

| Bulan | Sub Mesin | Komponen | Actual Start | Actual Stop |
|-----------------------------------|------------------|--|-----------------------------|-----------------------------|
| | | <i>Plug Assist</i> | 15 : 00 : 00 | 20 : 40 : 00 |
| Juli | Kompresor | Kompresor drop | 05/07/2021, 09 : 10 : 00 | 5/7/2021, 11 : 15 : 00 |
| | <i>Extruder</i> | <i>Calender unit</i> | 10/07/2021, 01 : 00 : 00 | 11/07/2021, 16 : 00 : 00 |
| | <i>Forming</i> | <i>Stacking</i> | 15/07/2021, 07 : 00 : 00 | 15/07/2021, 22 : 00 : 00 |
| | | <i>Inverter</i> | 19/07/2021, 10 : 00 : 00 | 20/07/2021, 01 : 00 : 00 |
| Agustus | Kompresor | Sensor <i>errorr</i> | 03/08/2021, 14 : 00 : 00 | 03/08/2021, 21 : 00 : 00 |
| | <i>Extruder</i> | <i>Granulator macet</i> | 5/08/2021, 01 : 00 : 00 | 5/08/2021, 02 : 40 : 00 |
| | <i>Forming</i> | <i>Stacking</i> | 17/08/2021, 07 : 00 : 00 | 17/08/2021, 14 : 20 : 00 |
| | | <i>Thermoforming motor servo</i> | 15/08/2021, 09 : 45 : 00 | 15/08/2021, 11 : 45 : 00 |
| | | <i>Extrusion motor drive inverter</i> | 19/08/2021, 14 : 00 : 00 | 19/08/2021, 23 : 30 : 00 |
| September | <i>Chiller</i> | Selang <i>cooling</i> jebol (<i>chiller</i>) | 10/09/2021, 17 : 00 : 00 | 11/09/2021, 01 : 40 : 00 |
| | Kompresor | <i>Suplay</i> kompresor berkurang | 20/09/2021, 10 : 00 : 00 | 20/09/2021, 12 : 40 : 00 |
| | <i>Extruder</i> | <i>Roll bank</i> pada <i>calender</i> kurang | 18/09/2021, 22 : 00 : 00 | 19/09/2021, 00 : 40 : 00 |
| | | <i>Fan motor extru</i> | 5/09/2021, 14 : 00 : 00 | 5/09/2021, 16 : 40 : 00 |
| | <i>Forming</i> | <i>Stacking</i> | 08/09/2021, 07 : 00 : 00 | 08/09/2021, 14 : 20 : 00 |
| | | <i>Thermoforming motor servo</i> | 10/09/2021, 02 : 00 : 00 | 10/09/2021, 03 : 18 : 00 |
| | | <i>Mould insert & plug assist</i> (<i>cup cacat / bibir kasar / cutting mould</i>) | 10/09/2021, 08 : 00 : 00 | 10/09/2021, 10 : 58 : 00 |
| | | <i>Thermoforming heater</i> | 12/09/2021, 15 : 00 : 00 | 12/09/2021, 18 : 00 : 00 |
| | | <i>Extrusion motor drive inverter</i> | 22/09/2021, 14 : 00 : 00 | 22/09/2021, 23 : 30 : 00 |
| | Oktober | <i>Extruder</i> | <i>Calender unit</i> | 18/10/2021, 22 : 00 : 00 |
| <i>Autoloader (pressure drop)</i> | | | 7/10/2021, 14 : 00 : 00 | 7/10/2021, 16 : 40 : 00 |
| <i>Forming</i> | | <i>Cutting</i> | 08/10/2021, 07 : 00 : 00 | 08/10/2021, 14 : 20 : 00 |
| | | <i>Thermoforming motor servo</i> | 10/10/2021, 09 : 10 : 00 | 10/10/2021, 12 : 45 : 00 |
| | | <i>Thermoforming heater</i> | 13/10/2021, 15 : 00 : 00 | 13/10/2021, 18 : 00 : 00 |
| | | <i>Extrusion motor</i> | 25/10/2021, | 25/10/2021, |

| Bulan | Sub Mesin | Komponen | Actual Start | Actual Stop | |
|----------|-----------------|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | | <i>drive inverter</i> | 14 : 00 : 00 | 23 : 30 : 00 | |
| November | <i>Chiller</i> | Kompresor <i>dchiller</i> | 11/11/2021, 09 : 00 : 00 | 14/11/2021, 08 : 00 : 00 | |
| | Kompresor | <i>Bearing scerw</i> | 20/11/2021, 20 : 00 : 00 | 22/11/2021, 19 : 00 : 00 | |
| | <i>Extruder</i> | <i>Autoloader (pressure drop)</i> | 17/11/2021, 14 : 00 : 00 | 17/11/2021, 16 : 40 : 00 | |
| | <i>Forming</i> | <i>Cutting</i> | | 28/11/2021, 07 : 00 : 00 | 28/11/2021, 14 : 20 : 00 |
| | | <i>Thermoforming motor servo</i> | | 10/11/2021, 23 : 00 : 00 | 10/11/2021, 23 : 30 : 00 |
| | | <i>Thermoforming heater</i> | | 23/11/2021, 15 : 00 : 00 | 23/11/2021, 18 : 00 : 00 |
| | | <i>Extrusion motor drive inverter</i> | | 05/11/2021, 14 : 00 : 00 | 05/11/2021, 23 : 30 : 00 |
| Desember | <i>Chiller</i> | Kondensasi | 23/12/2021, 08 : 00 : 00 | 23/12/2021, 09 : 40 : 00 | |
| | Kompresor | <i>Valve angin</i> | 23/12/2021, 17 : 00 : 00 | 23/12/2021, 17 : 30 : 00 | |
| | | Suplai material kurang | 28/12/2021, 22 : 00 : 00 | 28/12/2021, 24 : 20 : 00 | |
| | <i>Extruder</i> | <i>Pressure material hilang</i> | 17/12/2021, 14 : 00 : 00 | 17/12/2021, 16 : 40 : 00 | |
| | <i>Forming</i> | <i>Stacking unit (cone maindrill lepas)</i> | | 28/12/2021, 07 : 00 : 00 | 28/12/2021, 14 : 20 : 00 |
| | | <i>Mould insert dan plug assist</i> | | 10/12/2021, 15 : 00 : 00 | 10/12/2021, 20 : 40 : 00 |

Tabel 4. 3 Data Waktu Antar Kerusakan Mesin *Filling Cup*

| Bulan | Sub Mesin | Komponen | Actual Start | Actual Stop |
|---------|--------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Januari | Kompresor | Kompresor drop | 5/1/2021, 09 : 10 : 00 | 5/1/2021, 13 : 15 : 00 |
| | Dispenser | Silinder dispenser macet | 7/1/2021, 15 : 10 : 00 | 7/1/2021, 14 : 15 : 00 |
| | Bucket | baut bucket | 10/1/2021, 09 : 10 : 00 | 10/1/2021, 09 : 22 : 00 |
| | | Alarm Servo | 15/1/2021, 10 : 10 : 00 | 15/1/2021, 10 : 39 : 00 |
| | Heater | Sealing disc kotor | 12/1/2021, 19 : 10 : 00 | 12/1/2021, 19 : 45 : 00 |
| | Trimming | Baut doll | 20/1/2021, 15 : 10 : 00 | 20/1/2021, 21 : 25 : 00 |
| | | sensor problem | 25/1/2021, 16 : 10 : 00 | 25/1/2021, 16 : 45 : 00 |
| | Jet print | Print head kotor | 5/1/2021, 16 : 00 : 00 | 5/1/2021, 21 : 55 : 00 |
| | Mesin lakban | Msin trip | 8/1/2021, 20 : 10 : 00 | 8/1/2021, 20 : 38 : 00 |

| Bulan | Sub Mesin | Komponen | Actual Start | Actual Stop |
|--------------|------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Februari | Dispenser | dispencer macet | 15/2/2021, 10 : 10 : 00 | 15/2/2021, 11 : 24 : 00 |
| | Bucket | Kupingan bucket patah | 10/2/2021, 09 : 10 : 00 | 10/2/2021, 10 : 22 : 00 |
| | | Alarm Servo | 7/2/2021, 11 : 10 : 00 | 7/2/2021, 11 : 50 : 00 |
| | Trimming | Drat aus | 20/2/2021, 08 : 10 : 00 | 20/2/2021, 16 : 25 : 00 |
| | | Cutter tumpul | 25/2/2021, 10 : 10 : 00 | 25/2/2021, 15 : 45 : 00 |
| | Jet print | Print head kotor | 23/2/2021, 15 : 10 : 00 | 23/2/2021, 21 : 25 : 00 |
| | Mesin lakban | Vanbelt putus | 4/2/2021, 16 : 10 : 00 | 4/2/2021, 16 : 45 : 00 |
| Maret | WT | sensor raw water off | 23/3/2021, 15 : 10 : 00 | 23/3/2021, 15 : 35 : 00 |
| | Dispenser | stick patah | 4/3/2021, 16 : 10 : 00 | 4/3/2021, 18 : 45 : 00 |
| | Heater | Block Heater | 20/3/2021, 08 : 10 : 00 | 20/3/2021, 09 : 05 : 00 |
| | | Kabel Heater | 10/3/2021, 09 : 10 : 00 | 10/3/2021, 09 : 39 : 00 |
| | Trimming | Cutter tumpul | 15/3/2021, 09 : 10 : 00 | 15/3/2021, 14 : 22 : 00 |
| | | pengunci roll aus | 12/3/2021, 09 : 10 : 00 | 12/3/2021, 12 : 22 : 00 |
| | Jet print | alarm Incorec pressure | 22/3/2021, 09 : 10 : 00 | 22/3/2021, 16 : 22 : 00 |
| | Mesin lakban | Cutter kotor | 25/3/2021, 16 : 10 : 00 | 25/3/2021, 18 : 00 : 00 |
| April | WT | sensor finish tank error | 27/4/2021, 16 : 10 : 00 | 27/4/2021, 17 : 31 : 00 |
| | Dispenser | selang silinder pecah | 20/4/2021, 08 : 10 : 00 | 20/4/2021, 09 : 05 : 00 |
| | Bucket | Kupingan bucket patah | 20/4/2021, 11 : 10 : 00 | 20/4/2021, 11 : 15 : 00 |
| | Trimming | Cutter tumpul | 10/4/2021, 08 : 10 : 00 | 10/4/2021, 11 : 15 : 00 |
| | | Pengunci roll aus | 26/4/2021, 16 : 10 : 00 | 26/4/2021, 18 : 00 : 00 |
| | Jet print | Head kotor | 16/4/2021, 08 : 10 : 00 | 16/4/2021, 16 : 05 : 00 |
| | Mesin lakban | Cutter tumpul | 8/4/2021, 16 : 10 : 00 | 8/4/2021, 16 : 47 : 00 |
| Mei | Kompresor | Kompresor trip | 4/5/2021, 09 : 10 : 00 | 4/5/2021, 09 : 55 : 00 |
| | WT | Ozonator Trip | 21/5/2021, 16 : 10 : 00 | 21/5/2021, 17 : 12 : 00 |
| | Dispenser | Silinder macet | 10/5/2021, 08 : 10 : 00 | 10/5/2021, 10 : 15 : 00 |

| Bulan | Sub Mesin | Komponen | Actual Start | Actual Stop |
|--------------|------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | Sepatu dispencer patah | 18/5/2021, 09 : 10 : 00 | 18/5/2021, 09 : 55 : 00 |
| | Bucket | Baut Bucket patah | 27/5/2021, 16 : 10 : 00 | 27/5/2021, 16 : 41 : 00 |
| | Trimming | Cutter tumpul | 25/5/2021, 08 : 10 : 00 | 25/5/2021, 10 : 15 : 00 |
| | | Pengunci roll dol | 19/5/2021, 08 : 10 : 00 | 19/5/2021, 08 : 48 : 00 |
| | Jet print | Head kotor | 29/5/2021, 17 : 10 : 00 | 29/6/2021, 23 : 00 : 00 |
| Juni | WT | Tabung ozone pecah | 4/6/2021, 09 : 10 : 00 | 4/6/2021, 10 : 55 : 00 |
| | Dispenser | silinder macet | 24/6/2021, 16 : 10 : 00 | 24/6/2021, 17 : 41 : 00 |
| | Bucket | Baut patah | 22/6/2021, 16 : 10 : 00 | 22/6/2021, 17 : 41 : 00 |
| | Heater | Kabel Heater putus | 8/6/2021, 09 : 10 : 00 | 8/6/2021, 10 : 15 : 00 |
| | Trimming | Per trimming Patah | 18/6/2021, 16 : 10 : 00 | 18/6/2021, 18 : 41 : 00 |
| | | Pengunci roll dol | 28/6/2021, 16 : 10 : 00 | 28/6/2021, 17 : 41 : 00 |
| | Jet print | Alarm Incorec Pressure | 10/6/2021, 09 : 10 : 00 | 10/6/2021, 13 : 55 : 00 |
| juli | WT | Tabung ozone pecah | 4/7/2021, 09 : 10 : 00 | 4/7/2021, 10 : 55 : 00 |
| | Dispenser | silinder macet | 24/7/2021, 16 : 10 : 00 | 24/7/2021, 17 : 41 : 00 |
| | Bucket | Baut patah | 22/7/2021, 16 : 10 : 00 | 22/7/2021, 17 : 41 : 00 |
| | Heater | Kabel Heater putus | 8/7/2021, 09 : 10 : 00 | 8/7/2021, 10 : 15 : 00 |
| | Trimming | Per trimming Patah | 18/7/2021, 16 : 10 : 00 | 18/7/2021, 18 : 41 : 00 |
| | | Pengunci roll dol | 28/7/2021, 16 : 10 : 00 | 28/7/2021, 17 : 41 : 00 |
| | Jet print | Alarm Incorec Pressure | 10/7/2021, 09 : 10 : 00 | 10/7/2021, 13 : 55 : 00 |
| Agust | WT | sensor finish tank error | 27/8/2021, 16 : 10 : 00 | 27/8/2021, 17 : 31 : 00 |
| | Dispenser | selang silinder pecah | 20/8/2021, 08 : 10 : 00 | 20/8/2021, 09 : 05 : 00 |
| | Bucket | Kupingan bucket patah | 20/8/2021, 11 : 10 : 00 | 20/8/2021, 11 : 15 : 00 |
| | Trimming | Cutter tumpul | 10/8/2021, 08 : 10 : 00 | 10/8/2021, 11 : 15 : 00 |
| | | Pengunci roll aus | 26/8/2021, 16 : 10 : 00 | 26/8/2021, 18 : 00 : 00 |
| | | Jet print | Head kotor | 16/8/2021, 08 : 10 : 00 |

| Bulan | Sub Mesin | Komponen | Actual Start | Actual Stop |
|--------------|------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | Mesin lakban | Cutter tumpul | 8/8/2021, 16 : 10 : 00 | 8/8/2021, 16 : 47 : 00 |
| Sept | Dispenser | dispencer macet | 15/9/2021, 10 : 10 : 00 | 15/9/2021, 11 : 24 : 00 |
| | Bucket | Kupingan bucket patah | 10/9/2021, 09 : 10 : 00 | 10/9/2021, 10 : 22 : 00 |
| | | Alarm Servo | 7/9/2021, 11 : 10 : 00 | 7/9/2021, 11 : 50 : 00 |
| | Trimming | Drat aus | 20/9/2021, 08 : 10 : 00 | 20/9/2021, 16 : 25 : 00 |
| | | Cutter tumpul | 25/9/2021, 10 : 10 : 00 | 25/9/2021, 15 : 45 : 00 |
| | Jet print | Print head kotor | 23/9/2021, 15 : 10 : 00 | 23/9/2021, 21 : 25 : 00 |
| | Mesin lakban | Vanbelt putus | 4/9/2021, 16 : 10 : 00 | 4/9/2021, 16 : 45 : 00 |
| Okt | Kompresor | Kompresor drop | 5/10/2021, 09 : 10 : 00 | 5/10/2021, 13 : 15 : 00 |
| | Dispenser | Silinder dispenser macet | 7/10/2021, 15 : 10 : 00 | 7/10/2021, 14 : 15 : 00 |
| | Bucket | baut bucket putus | 10/10/2021, 09 : 10 : 00 | 10/10/2021, 09 : 22 : 00 |
| | | Alarm Servo | 15/10/2021, 10 : 10 : 00 | 15/10/2021, 10 : 39 : 00 |
| | Heater | Sealing disc kotor | 12/10/2021, 19 : 10 : 00 | 12/10/2021, 19 : 45 : 00 |
| | Trimming | Baut doll | 20/10/2021, 15 : 10 : 00 | 20/10/2021, 21 : 25 : 00 |
| | | sensor problem | 25/10/2021, 16 : 10 : 00 | 25/10/2021, 16 : 45 : 00 |
| | Jet print | Print head kotor | 5/10/2021, 16 : 00 : 00 | 5/10/2021, 21 : 55 : 00 |
| | Mesin lakban | Msin trip | 8/10/2021, 20 : 10 : 00 | 8/10/2021, 20 : 38 : 00 |
| Nop | WT | sensor raw water off | 23/11/2021, 15 : 10 : 00 | 23/11/2021, 15 : 35 : 00 |
| | Dispenser | stick patah | 4/11/2021, 16 : 10 : 00 | 4/11/2021, 18 : 45 : 00 |
| | Heater | Block Heater | 20/11/2021, 08 : 10 : 00 | 20/11/2021, 09 : 05 : 00 |
| | | Kabel Heater | 10/11/2021, 09 : 10 : 00 | 10/11/2021, 09 : 39 : 00 |
| | Trimming | Cutter tumpul | 15/11/2021, 09 : 10 : 00 | 15/11/2021, 14 : 22 : 00 |
| | | pengunci roll aus | 12/11/2021, 09 : 10 : 00 | 12/11/2021, 12 : 22 : 00 |
| | Jet print | alarm Incorec pressure | 22/11/2021, 09 : 10 : 00 | 22/11/2021, 16 : 22 : 00 |
| | Mesin lakban | Cutter kotor | 25/11/2021, 16 : 10 : 00 | 25/11/2021, 18 : 00 : 00 |

| Bulan | Sub Mesin | Komponen | Actual Start | Actual Stop |
|--------------|------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Des | Kompresor | Kompresor trip | 4/12/2021, 09 : 10 : 00 | 4/12/2021, 09 : 55 : 00 |
| | WT | Ozonator Trip | 21/12/2021, 16 : 10 : 00 | 21/12/2021, 17 : 12 : 00 |
| | Dispenser | Silinder macet | 10/12/2021, 08 : 10 : 00 | 10/12/2021, 10 : 15 : 00 |
| | | Sepatu dispencer patah | 18/12/2021, 09 : 10 : 00 | 18/12/2021, 09 : 55 : 00 |
| | Bucket | Baut Bucket patah | 27/12/2021, 16 : 10 : 00 | 27/12/2021, 16 : 41 : 00 |
| | Trimming | Cutter tumpul | 25/12/2021, 08 : 10 : 00 | 25/12/2021, 10 : 15 : 00 |
| | | Pengunci roll dol | 19/12/2021, 08 : 10 : 00 | 19/12/2021, 08 : 48 : 00 |
| | Jet print | Head kotor | 29/12/2021, 17 : 10 : 00 | 29/12/2021, 23 : 00 : 00 |

Tabel 4. 4 Data Waktu Antar Kerusakan Mesin *Filling* Botol

| Bulan | Sub Mesin | Komponen | Actual Start | Actual Stop |
|--------------|------------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|
| Januari | WT | Ozonator drop | 5/1/2021, 09 : 10 : 00 | 5/1/2021, 09 : 15 : 00 |
| | Starwell In Put | Botol terjepit | 7/1/2021, 09 : 10 : 00 | 7/1/2021, 09 : 54 : 00 |
| | Capper | tutup tdk melipat | 20/1/2021, 09 : 10 : 00 | 20/1/2021, 15 : 15 : 00 |
| | Jet print | Head kotor | 12/1/2021, 09 : 10 : 00 | 12/1/2021, 11 : 15 : 00 |
| | Heater | Kabal putus | 22/1/2021, 09 : 10 : 00 | 22/1/2021, 11 : 20 : 00 |
| | konveyor | Over load | 5/1/2021, 09 : 10 : 00 | 5/1/2021, 13 : 15 : 00 |
| Februari | Kompresor | Kompresor trip | 23/2/2021, 15 : 10 : 00 | 23/2/2021, 15 : 49 : 00 |
| | Starwell Out put | Botol terjepit | 18/2/2021, 15 : 10 : 00 | 18/2/2021, 16 : 15 : 00 |
| | Capper | tutup tdk melipat | 15/2/2021, 10 : 10 : 00 | 15/2/2021, 13 : 24 : 00 |
| | Jet print | Head kotor | 20/2/2021, 15 : 10 : 00 | 20/2/2021, 21 : 25 : 00 |
| Maret | Starwell In Put | Botol terjepit | 2/3/2021, 09 : 10 : 00 | 2/3/2021, 09 : 56 : 00 |
| | Starwell Out put | Botol terjepit | 22/3/2021, 09 : 10 : 00 | 22/3/2021, 11 : 22 : 00 |
| | Capper | tutup tdk melipat | 25/3/2021, 16 : 10 : 00 | 25/3/2021, 20 : 00 : 00 |
| | Jet print | Head kotor | 20/3/2021, 16 : 10 : 00 | 20/3/2021, 21 : 00 : 00 |
| | Mesin | cutter kotor | 15/3/2021, | 15/3/2021, |

| Bulan | Sub Mesin | Komponen | Actual Start | Actual Stop |
|--------------|------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------------|
| | lakban | | 09 : 10 : 00 | 09: 47 : 00 |
| | konveyor | konveyor trip | 26/3/2021, 09 : 10 : 00 | 26/3/2021, 09: 32 : 00 |
| April | Kompresor | Kompresor trip | 23/4/2021, 16 : 10 : 00 | 23/4/2021, 16 : 30 : 00 |
| | Starwell In Put | Botol terjepit | 10/4/2021, 08 : 10 : 00 | 10/4/2021, 09 : 15 : 00 |
| | Starwell Out put | Botol terjepit | 12/4/2021, 08 : 10 : 00 | 12/4/2021, 009 : 15 : 00 |
| | Capper | tutup tdk melipat | 26/4/2021, 16 : 10 : 00 | 26/4/2021, 21 : 50 : 00 |
| | Jet print | Head kotor | 8/4/2021, 08 : 10 : 00 | 8/4/2021, 12 : 15 : 00 |
| | Heater | Elemen putus | 16/4/2021, 08 : 10 : 00 | 16/4/2021, 08 : 55 : 00 |
| Mei | Kompresor | Pressure kurang | 4/5/2021, 09 : 10 : 00 | 4/5/2021, 09 : 55 : 00 |
| | Starwell In Put | Botol terjepit | 19/5/2021, 09 : 10 : 00 | 19/5/2021, 10 : 55 : 00 |
| | Starwell Out put | Botol terjepit | 20/5/2021, 09 : 10 : 00 | 20/5/2021, 09 : 55 : 00 |
| | Capper | tutup tdk melipat | 18/5/2021, 10 : 10 : 00 | 18/5/2021, 14 : 55 : 00 |
| | Jet print | Head kotor | 25/5/2021, 11 : 10 : 00 | 25/5/2021, 14 : 55 : 00 |
| Juni | WT | Inverter trip | 4/6/2021, 10 : 10 : 00 | 4/6/2021, 10 : 55 : 00 |
| | Starwell In Put | Botol terjepit | 9/6/2021, 09 : 10 : 00 | 9/6/2021, 16 : 55 : 00 |
| | Capper | tutup tdk melipat | 5/6/2021, 09 : 10 : 00 | 5/6/2021, 11 : 55 : 00 |
| | Jet print | alarm | 4/6/2021, 12 : 10 : 00 | 4/6/2021, 14 : 15 : 00 |
| | Heater | Kabel putus | 24/6/2021, 15 : 10 : 00 | 24/6/2021, 15 : 41 : 00 |
| | Mesin lakban | Cutter tumpul | 28/6/2021, 16 : 10 : 00 | 28/6/2021, 16 : 38 : 00 |
| Juli | WT | Inverter trip | 4/7/2021, 10 : 10 : 00 | 4/7/2021, 10 : 55 : 00 |
| | Starwell In Put | Botol terjepit | 9/7/2021, 09 : 10 : 00 | 4/7/2021, 16 : 55 : 00 |
| | Capper | tutup tdk melipat | 5/7/2021, 09 : 10 : 00 | 4/7/2021, 11 : 55 : 00 |
| | Jet print | alarm | 4/7/2021, 12 : 10 : 00 | 4/7/2021, 14 : 15 : 00 |
| | Heater | Kabel putus | 24/7/2021, 15 : 10 : 00 | 24/7/2021, 15 : 41 : 00 |
| | Mesin lakban | Cutter tumpul | 28/7/2021, 16 : 10 : 00 | 28/7/2021, 16 : 38 : 00 |

| Bulan | Sub Mesin | Komponen | Actual Start | Actual Stop |
|--------------|------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| Agt | Starwell In Put | Botol terjepit | 19/8/2021, 09 : 10 : 00 | 19/8/2021, 10 : 55 : 00 |
| | Starwell Out put | Botol terjepit | 20/8/2021, 09 : 10 : 00 | 20/8/2021, 09 : 55 : 00 |
| | Capper | tutup tdk melipat | 18/8/2021, 10 : 10 : 00 | 18/8/2021, 14 : 55 : 00 |
| | Jet print | Head kotor | 25/8/2021, 11 : 10 : 00 | 25/8/2021, 14 : 55 : 00 |
| Sept | Kompresor | Kompresor trip | 23/9/2021, 16 : 10 : 00 | 23/9/2021, 16 : 30 : 00 |
| | Starwell In Put | Botol terjepit | 10/9/2021, 08 : 10 : 00 | 10/9/2021, 09 : 15 : 00 |
| | Starwell Out put | Botol terjepit | 12/9/2021, 08 : 10 : 00 | 12/9/2021, 009 : 15 : 00 |
| | Capper | tutup tdk melipat | 26/9/2021, 16 : 10 : 00 | 26/9/2021, 21 : 50 : 00 |
| | Jet print | Head kotor | 8/9/2021, 08 : 10 : 00 | 8/9/2021, 12 : 15 : 00 |
| | Heater | Elemen putus | 16/9/2021, 08 : 10 : 00 | 16/9/2021, 08 : 55 : 00 |
| Okt | Starwell In Put | Botol terjepit | 2/10/2021, 09 : 10 : 00 | 2/10/2021, 09 : 56 : 00 |
| | Starwell Out put | Botol terjepit | 22/10/2021, 09 : 10 : 00 | 22/10/2021, 11 : 22 : 00 |
| | Capper | tutup tdk melipat | 25/10/2021, 16 : 10 : 00 | 25/10/2021, 20 : 00 : 00 |
| | Jet print | Head kotor | 20/10/2021, 16 : 10 : 00 | 20/10/2021, 21 : 00 : 00 |
| | Mesin lakban | cutter kotor | 15/10/2021, 09 : 10 : 00 | 15/3/2021, 09 : 47 : 00 |
| | konveyor | konveyor trip | 26/10/2021, 09 : 10 : 00 | 26/3/2021, 09 : 32 : 00 |
| Nov | Kompresor | Kompresor trip | 23/11/2021, 15 : 10 : 00 | 23/11/2021, 15 : 49 : 00 |
| | Starwell Out put | Botol terjepit | 18/11/2021, 15 : 10 : 00 | 18/11/2021, 16 : 15 : 00 |
| | Capper | tutup tdk melipat | 15/11/2021, 10 : 10 : 00 | 15/11/2021, 13 : 24 : 00 |
| | Jet print | Head kotor | 20/11/2021, 15 : 10 : 00 | 20/11/2021, 21 : 25 : 00 |
| Des | WT | Ozonzor drop | 5/12/2021, 09 : 10 : 00 | 5/12/2021, 09 : 15 : 00 |
| | Starwell In Put | Botol terjepit | 7/12/2021, 09 : 10 : 00 | 7/12/2021, 09 : 54 : 00 |
| | Capper | tutup tdk melipat | 20/12/2021, 09 : 10 : 00 | 20/12/2021, 15 : 15 : 00 |
| | Jet print | Head kotor | 12/12/2021, 09 : 10 : 00 | 12/12/2021, 11 : 15 : 00 |
| | Heater | Kabal putus | 22/12/2021, | 22/12/2021, |

| Bulan | Sub Mesin | Komponen | Actual Start | Actual Stop |
|-------|-----------|-----------|----------------------------|----------------------------|
| | | | 09 : 10 : 00 | 11 : 20 : 00 |
| | konveyor | Over load | 5/12/2021, 09 : 10 : 00 | 5/12/2021, 13 : 15 : 00 |

Tabel 4. 5 Data Waktu Antar Kerusakan Mesin *Filling* Galon

| Bulan | Sub Mesin | Komponen | Actual Start | Actual Stop |
|----------|-----------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Januari | Washer | Galon nyangkut | 7/1/2021, 09 : 10 : 00 | 7/1/2021, 09 : 14 : 00 |
| | filling | air cylinder | 10/1/2021, 09 : 10 : 00 | 10/1/2021, 09 : 25 : 00 |
| Februari | Washer | Sensor Washer | 15/2/2021, 10 : 10 : 00 | 15/2/2021, 13 : 24 : 00 |
| | filling | Sensor Filler | 22/2/2021, 09 : 10 : 00 | 22/2/2021, 12 : 24 : 00 |
| | Jet print | Head kotor | 18/2/2021, 08 : 10 : 00 | 18/2/2021, 12 : 24 : 00 |
| Maret | WT | WT | 2/3/2021, 09 : 10 : 00 | 2/3/2021, 09 : 29 : 00 |
| | Washer | Sensor Input | 10/3/2021, 09 : 10 : 00 | 10/3/2021, 11 : 56 : 00 |
| | filling | PLC error | 3/3/2021, 10 : 10 : 00 | 3/3/2021, 13 : 56 : 00 |
| | Jet print | Head kotor | 26/3/2021, 08 : 10 : 00 | 26/3/2021, 12 : 56 : 00 |
| April | WT | Air Kurang (WT) | 10/4/2021, 08 : 10 : 00 | 10/4/2021, 08 : 43 : 00 |
| | Washer | Sensor washer | 12/4/2021, 09 : 10 : 00 | 10/4/2021, 10 : 45 : 00 |
| | filling | Sensor Filling | 15/4/2021, 11 : 10 : 00 | 15/4/2021, 11 : 55 : 00 |
| | Jet print | Head kotor | 27/4/2021, 08 : 10 : 00 | 27/4/2021, 12 : 01 : 00 |
| Mei | Kompresor | Air pressure problem (compressor) | 4/5/2021, 09 : 10 : 00 | 4/5/2021, 09 : 24 : 00 |
| | Washer | Sensor Washer | 11/5/2021, 08 : 10 : 00 | 11/5/2021, 09 : 55 : 00 |
| | filling | Silinder Filler | 19/5/2021, 09 : 10 : 00 | 19/5/2021, 11 : 55 : 00 |
| | Jet print | Head kotor | 28/5/2021, 10 : 10 : 00 | 28/5/2021, 13 : 35 : 00 |
| Juni | WT | sensor final tank | 4/6/2021, 11 : 10 : 00 | 4/6/2021, 11 : 48 : 00 |
| | Washer | As Input Galon | 7/6/2021, 09 : 10 : 00 | 7/6/2021, 10 : 45 : 00 |
| | filling | Cylinder Filler | 15/6/2021, 08 : 20 : 00 | 8/6/2021, 10 : 35 : 00 |
| | Heater | Heater putus | 17/6/2021, 09 : 10 : 00 | 17/6/2021, 10 : 15 : 00 |

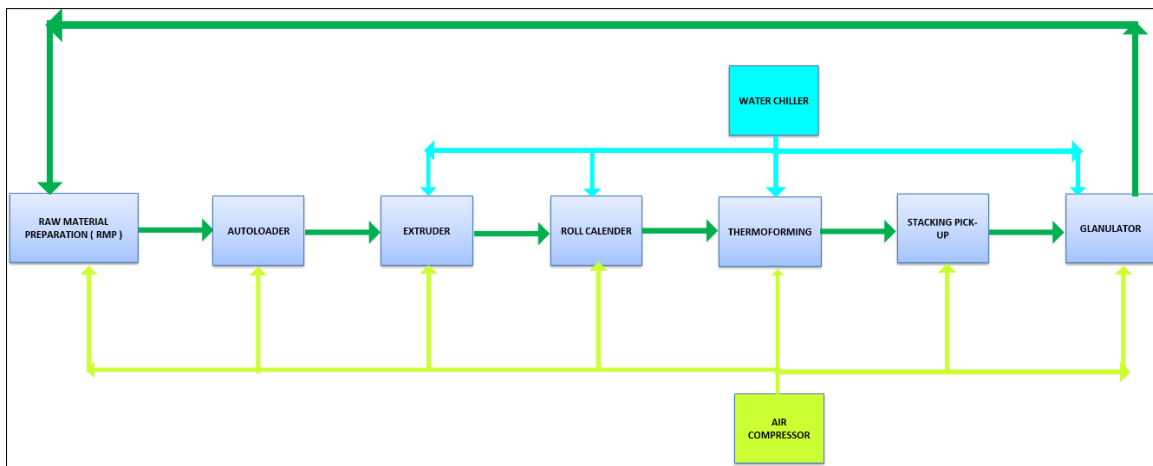
| Bulan | Sub Mesin | Komponen | Actual Start | Actual Stop |
|--------------|------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | Jet print | Head kotor | 24/6/2021, 09 : 30 : 00 | 24/6/2021, 10 : 35 : 00 |
| Juli | WT | Air Kurang (WT) | 10/7/2021, 08 : 10 : 00 | 10/7/2021, 08 : 43 : 00 |
| | Washer | Sensor washer | 12/7/2021, 09 : 10 : 00 | 10/7/2021, 10 : 45 : 00 |
| | filling | Sensor Filling | 15/7/2021, 11 : 10 : 00 | 15/7/2021, 11 : 55 : 00 |
| | Jet print | Head kotor | 27/7/2021, 08 : 10 : 00 | 27/7/2021, 12 : 01 : 00 |
| Agus | Kompresor | Air pressure problem (compressor) | 4/8/2021, 09 : 10 : 00 | 4/8/2021, 09 : 24 : 00 |
| | Washer | Sensor Washer | 11/8/2021, 08 : 10 : 00 | 11/8/2021, 09 : 55 : 00 |
| | filling | Silinder Filler | 19/8/2021, 09 : 10 : 00 | 19/8/2021, 11 : 55 : 00 |
| | Jet print | Head kotor | 28/8/2021, 10 : 10 : 00 | 28/8/2021, 13 : 35 : 00 |
| Sep | WT | sensor final tank | 4/9/2021, 11 : 10 : 00 | 4/9/2021, 11 : 48 : 00 |
| | Washer | As Input Galon | 7/9/2021, 09 : 10 : 00 | 7/9/2021, 10 : 45 : 00 |
| | filling | Cylinder Filler | 15/9/2021, 08 : 20 : 00 | 8/9/2021, 10 : 35 : 00 |
| | Heater | Heater putus | 17/9/2021, 09 : 10 : 00 | 17/9/2021, 10 : 15 : 00 |
| | Jet print | Head kotor | 24/9/2021, 09 : 30 : 00 | 24/9/2021, 10 : 35 : 00 |
| Okt | Washer | Galon nyangkut | 7/10/2021, 09 : 10 : 00 | 7/10/2021, 09 : 14 : 00 |
| | filling | air cylinder | 10/10/2021, 09 : 10 : 00 | 10/10/2021, 09 : 25 : 00 |
| Nov | Washer | Sensor Washer | 15/11/2021, 10 : 10 : 00 | 15/11/2021, 13 : 24 : 00 |
| | filling | Sensor Filler | 22/11/2021, 09 : 10 : 00 | 22/11/2021, 12 : 24 : 00 |
| | Jet print | Head kotor | 18/11/2021, 08 : 10 : 00 | 18/11/2021, 12 : 24 : 00 |
| Des | WT | WT | 2/12/2021, 09 : 10 : 00 | 2/12/2021, 09: 29 : 00 |
| | Washer | Sensor Input | 10/12/2021, 09 : 10 : 00 | 10/12/2021, 11: 56 : 00 |
| | filling | PLC error | 3/12/2021, 10 : 10 : 00 | 3/12/2021, 13: 56 : 00 |
| | Jet print | Head kotor | 26/12/2021, 08 : 10 : 00 | 26/12/2021, 12: 56 : 00 |

4.5 Pengolahan Data

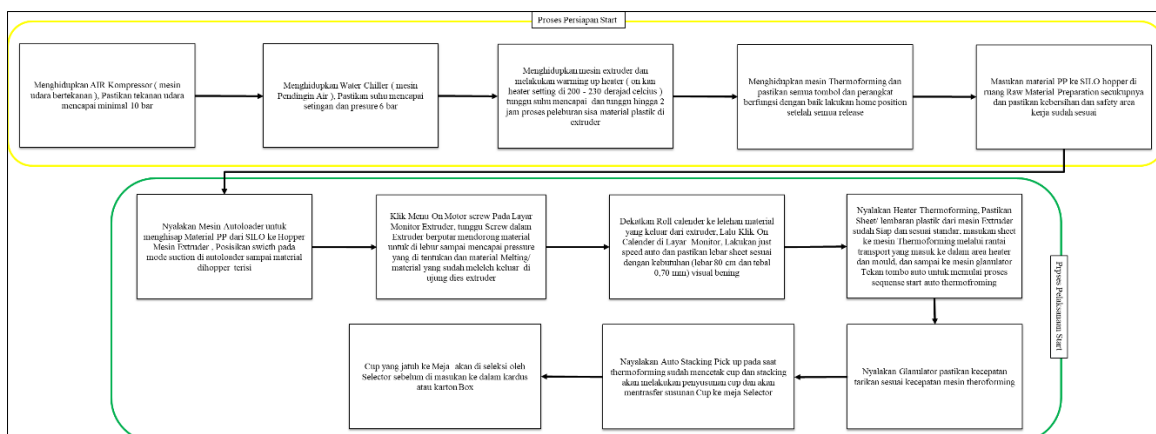
4.5.1 Perawatan *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

4.5.1.1 *Functional Block Diagram (FBD)*

Dalam *Functional Block Diagram (FBD)* berisikan informasi lengkap mengenai sistem dari peralatan dalam hal ini yaitu mesin pencetak cup. Hasil informasi yang didapatkan dari bagian operator akan dianalisis dan diolah menjadi sebuah bagan *Asset Block Diagram (ABD)* yang menerangkan terkait sistem pada mesin pencetak cup dan *Functional Block Diagram (FBD)* yaitu bentuk lebih sederhananya yang menjelaskan proses dari suatu sistem.



Gambar 4. 3 *Asset Block Diagram (ABD)* Mesin Pencetak Cup



Gambar 4. 4 *Functional Block Diagram (FBD)* Mesin Pencetak Cup

4.5.1.2 Failure Mode Effect Analysis (FMEA)

Dalam tahap FMEA dilakukan berbagai macam hal seperti mengidentifikasi fungsi, mengetahui bentuk kegagalan, mengetahui penyebab kegagalan, serta akibat dari kegagalan tersebut. Penilaian dilakukan dengan mempertimbangkan 3 faktor yaitu Saverity (S), Occurance (O), dan Detection (D) yang dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$RPN = Severity \times Occurance \times Detection \quad \text{.....(4. 1)}$$

Berikut merupakan contoh pengisian *worksheet* FMEA pada mesin *thermoforming*:

1. Kerusakan dialami pada bagian *forming*
2. Kerusakan yang terjadi pada bagian *forming* yaitu sub komponen *inverter*
3. Mode kegagalannya yaitu berupa *alarm fault 66*
4. Penyebab kegagalannya biasa terjadi karena *voltage*/tegangan listrik yang tiba-tiba turun
5. Dampak dari kegagalannya yaitu mesin dapat berhenti memproduksi (mesin mati)
6. Tingkat *severity* : kerusakan pada sub komponen tidak menyebabkan bahaya yang berarti (2)
7. Tingkat *occurence* : kerusakan termasuk kedalam golongan kegagalan pada tingkat rendah yaitu tidak pernah atau jarang terjadi (3)
8. Tingkat *detection* : penyebab kegagalan dan mode kegagalan berada di tingkah menengah untuk dapat dideteksi (5)
9. Nilai $RPN = 2 \times 3 \times 5 = 30$

Berdasarkan nilai RPN, dapat diketahui komponen mana yang paling kritis serta membutuhkan penanganan lebih lanjut sehingga dapat melakukan perawatan dengan tepat. Berikut merupakan keseluruhan perhitungan nilai RPN pada mesin *thermoforming*.

Tabel 4. 6 Failure Mode Effect Analysis Mesin Thermoforming

| <i>Months</i> | <i>Equipment</i> | <i>Sub Equipment</i> | <i>Function</i> | <i>Failure Mode</i> | <i>Failure Causes</i> | <i>Failure Effect</i> | <i>S</i> | <i>O</i> | <i>D</i> | <i>RPN</i> |
|---------------|------------------|----------------------|-----------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|----------|----------|----------|------------|
|---------------|------------------|----------------------|-----------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|----------|----------|----------|------------|

| <i>Months</i> | <i>Equipment</i> | <i>Sub Equipment</i> | <i>Function</i> | <i>Failure Mode</i> | <i>Failure Causes</i> | <i>Failure Effect</i> | <i>S</i> | <i>O</i> | <i>D</i> | <i>RPN</i> |
|---------------|------------------|-------------------------|--|---|-----------------------------|-----------------------|----------|----------|----------|------------|
| Jan | Kompresor | Kompresor Drop | Sebagai suport semua penggerak silinder semua proses | Sensor alarm | Voltage listrik drop | Mesin stop produksi | 2 | 4 | 5 | 40 |
| | <i>Extruder</i> | <i>Calender Unit</i> | Sebagai proses peleburan / pencairan material PP (<i>polypropylene</i>) | <i>Pressure drop</i> | <i>Voltage listrik drop</i> | Mesin stop produksi | 3 | 3 | 6 | 54 |
| | <i>Forming</i> | <i>Stacking</i> | Sebagai proses <i>packing cup</i> / gelas yang sudah jadi | Neupel vacum maindril 1 rusak | Lama pemakaian | Mesin stop produksi | 3 | 7 | 5 | 105 |
| | | <i>Inverter</i> | Sebagai proses monitoring untuk <i>setting</i> proses pembuatan <i>cup</i> / gelas | Alarm fault 66 | <i>Voltage listrik drop</i> | Mesin stop produksi | 2 | 3 | 5 | 30 |
| Feb | <i>Extruder</i> | <i>Granulator Macet</i> | Sebagai proses peleburan / pencairan material PP (<i>polypropylene</i>) | <i>Granulator macet</i> (<i>Overload</i>) | <i>Granulator overload</i> | Mesin stop produksi | 7 | 6 | 6 | 252 |
| | <i>Forming</i> | <i>Stacking</i> | Sebagai proses <i>packing cup</i> / gelas yang sudah jadi | Perbaikan stang maindril 1 | Baut kendur | Mesin stop produksi | 3 | 7 | 5 | 105 |
| | | <i>Thermoform</i> | Penggera | Alarm | Listrik | Mesin | 8 | 4 | 8 | 256 |

| <i>Months</i> | <i>Equipment</i> | <i>Sub Equipment</i> | <i>Function</i> | <i>Failure Mode</i> | <i>Failure Causes</i> | <i>Failure Effect</i> | <i>S</i> | <i>O</i> | <i>D</i> | <i>RPN</i> |
|---------------|------------------|--|---|---------------------------------|--|-----------------------|----------|----------|----------|------------|
| | | ing Motor Servo | k proses <i>Forming</i> / pembuat gelas / cup | | trip | stop produksi | | | | |
| | | Extrusion Motor Drive Inverter | Penggerak proses <i>Forming</i> / pembuat gelas / cup | Alarm fault 66 | <i>Voltage</i> listrik drop | Mesin stop produksi | 8 | 3 | 8 | 192 |
| Maret | Kompresor | Suplay Kompresor Berkurang | <i>Support</i> angin untuk proses penggerak mesin | Compressor error | <i>Voltage</i> listrik drop | Mesin stop produksi | 4 | 7 | 6 | 168 |
| | Extruder | <i>Calender</i> Unit | Sebagai pembuatan lembaran <i>sheet</i> dan ketebalan bisa di atur | Rollback terbalik | Terlalu panas | Mesin stop produksi | 3 | 2 | 6 | 36 |
| | | <i>Autoloader</i> (<i>Pressure Drop</i>) | Sebagai pencampur bahan murni & regraind (sisa lembaran <i>sheet</i> yg tdk tercetak menjadi gelas / cup) | <i>Pressure</i> material hilang | Terlalu banyak memaka i rigrend cup sehingga material tidak tersedot | Mesin stop produksi | 5 | 5 | 7 | 175 |
| | | <i>Stacking</i> | Sebagai proses <i>packing</i> cup / gelas yang sudah jadi | Cup control active | Posisi 2 reset alarm | Mesin stop produksi | 3 | 7 | 5 | 105 |
| | <i>Forming</i> | <i>Thermoforming</i> Motor Servo | Penggerak proses <i>Forming</i> / pembuat | Alarm | Listrik trip | Mesin stop produksi | 8 | 4 | 8 | 256 |

| <i>Months</i> | <i>Equipment</i> | <i>Sub Equipment</i> | <i>Function</i> | <i>Failure Mode</i> | <i>Failure Causes</i> | <i>Failure Effect</i> | <i>S</i> | <i>O</i> | <i>D</i> | <i>RPN</i> |
|---------------|------------------|--|---|--|---|-----------------------|----------|----------|----------|------------|
| | | | gelas / cup | | | | | | | |
| | | <i>Mould Insert & Plug Assist (Cup Cacat / Bibir Kasar / Cutting Mould)</i> | Proses pencetakan cup / gelas | Matikan MC, dan ganti insert | <i>Mould Insert kotor</i> | Mesin stop produksi | 4 | 8 | 4 | 128 |
| | | <i>Thermoforming Heater</i> | Sebagai pemanas <i>sheet</i> untuk proses ke <i>Forming</i> | Penggantian heater | Heater putus | Mesin stop produksi | 9 | 4 | 7 | 252 |
| | | <i>Extrusion Motor Drive Inverter</i> | Penggerak proses <i>Forming</i> / pembuat gelas / cup | Alarm fault 66 | <i>Voltage</i> listrik drop | Mesin stop produksi | 8 | 3 | 8 | 192 |
| April | <i>Extruder</i> | <i>Calender Unit</i> | Sebagai pembuatan lembaran <i>sheet</i> dan ketebalan bisa diatur | Material tidak turun karena terhambat rigrend yang tidak termixing dengan baik | Terlalu banyak campuran material yang di sedot | Mesin stop produksi | 3 | 2 | 6 | 36 |
| | | <i>Autoloader (Pressure Drop)</i> | Sebagai pencampur bahan murni & regraind (sisa lembaran <i>sheet</i> yg tdk tercetak menjadi gelas / cup) | <i>Pressure</i> material hilang | Terlalu banyak memakai rigrend cup sehingga material tidak tersedot | Mesin stop produksi | 3 | 5 | 7 | 105 |

| <i>Months</i> | <i>Equipment</i> | <i>Sub Equipment</i> | <i>Function</i> | <i>Failure Mode</i> | <i>Failure Causes</i> | <i>Failure Effect</i> | <i>S</i> | <i>O</i> | <i>D</i> | <i>RPN</i> |
|---------------|------------------|---------------------------------------|---|---------------------------------|---|-----------------------|----------|----------|----------|------------|
| | <i>Forming</i> | <i>Cutting</i> | Sebagai proses pemotong dari lembaran <i>sheet</i> ke cup /gelas | Produk tidak tercutting | <i>Cutting</i> tumpul | Mesin stop produksi | 7 | 6 | 5 | 210 |
| | | <i>Thermoforming Motor Servo</i> | Penggerak proses <i>Forming</i> / pembuat gelas / cup | Alarm | Listrik trip | Mesin stop produksi | 8 | 4 | 8 | 256 |
| | | <i>Thermoforming Heater</i> | Sebagai pemanas <i>sheet</i> untuk proses ke <i>Forming</i> | Penggantian kabel heater | Kabel heater putus | Mesin stop produksi | 9 | 3 | 7 | 189 |
| | | <i>Extrusion Motor Drive Inverter</i> | Penggerak proses <i>Forming</i> / pembuat gelas / cup | Alarm fault 66 | Listrik trip | Mesin stop produksi | 8 | 4 | 8 | 256 |
| Mei | <i>Extruder</i> | <i>Autoloader (Pressure Drop)</i> | Sebagai pencampur bahan murni & regraind (sisa lembaran <i>sheet</i> yg tdk tercetak menjadi gelas / cup) | <i>Pressure</i> material hilang | Terlalu banyak memakai rigrend cup sehingga material tidak tersedot | Mesin stop produksi | 3 | 5 | 7 | 105 |
| | | <i>Cutting</i> | Sebagai proses pemotong dari lembaran <i>sheet</i> ke cup /gelas | Produk tidak tercutting | <i>Cutting</i> tumpul | Mesin stop produksi | 7 | 6 | 5 | 210 |
| | | <i>Thermoforming Motor Servo</i> | Penggerak proses <i>Forming</i> / pembuat | Alarm | Listrik trip | Mesin stop produksi | 8 | 4 | 8 | 256 |

| <i>Months</i> | <i>Equipment</i> | <i>Sub Equipment</i> | <i>Function</i> | <i>Failure Mode</i> | <i>Failure Causes</i> | <i>Failure Effect</i> | <i>S</i> | <i>O</i> | <i>D</i> | <i>RPN</i> |
|---------------|------------------|---|---|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------|----------|----------|------------|
| | | | gelas / cup | | | | | | | |
| | | <i>Thermoforming Heater</i> | Sebagai pemanas <i>sheet</i> untuk proses ke <i>Forming</i> | Penggantian heater | Heater putus | Mesin stop produksi | 9 | 3 | 7 | 189 |
| | | <i>Extrusion Motor Drive Inverter</i> | Penggerak proses <i>Forming</i> / pembuat gelas / cup | Alarm fault 66 | Listrik trip | Mesin stop produksi | 8 | 4 | 8 | 256 |
| | <i>Chiller</i> | Kondensasi | Sebagai <i>support</i> pendingin <i>Calender</i> dan <i>mould</i> | Produk cacat | Terlalu dingin | Mesin stop produksi | 4 | 4 | 6 | 96 |
| | Kompresor | Valve Angin | <i>Support</i> angin untuk proses penggerak mesin | Supplay angin kurang | Cek valve macet | Mesin stop produksi | 3 | 4 | 5 | 60 |
| | | Suplai Material Kurang | <i>Support</i> angin untuk proses penggerak mesin | Supplay angin kurang | Cek valve macet | Mesin stop produksi | 3 | 4 | 6 | 72 |
| Juni | <i>Extruder</i> | <i>Pressure Material Hilang</i> | Sebagai pencampur bahan murni & regraind (sisa lembaran <i>sheet</i> yg tdk tercetak menjadi gelas / cup) | Supplay angin kurang | Cek valve macet | Mesin stop produksi | 3 | 6 | 7 | 126 |
| | <i>Forming</i> | <i>Stacking Unit (Cone Maindrill Lepas)</i> | Sebagai proses <i>packing</i> cup / | Cup control active | Posisi 2 reset alarm | Mesin stop produksi | 3 | 3 | 5 | 45 |

| <i>Months</i> | <i>Equipment</i> | <i>Sub Equipment</i> | <i>Function</i> | <i>Failure Mode</i> | <i>Failure Causes</i> | <i>Failure Effect</i> | <i>S</i> | <i>O</i> | <i>D</i> | <i>RPN</i> | |
|---------------|------------------|-------------------------------------|--|---|--|-----------------------|---------------------|----------|----------|------------|-----|
| | | | gelas yang sudah jadi | | | | | | | | |
| | | <i>Mould Insert Dan Plug Assist</i> | Sebagai cetakan pembuat cup / gelas | Produk cacat | <i>Mould kotor</i> | Mesin stop produksi | 4 | 3 | 4 | 48 | |
| Juli | Kompresor | Kompresor Drop | <i>Support</i> angin untuk proses penggerak mesin | Supplay angin kurang | Cek valve macet | Mesin stop produksi | 2 | 4 | 7 | 56 | |
| | <i>Extruder</i> | <i>Calender Unit</i> | Sebagai pembuatan lembaran <i>sheet</i> dan ketebalan bisa di atur | Material tidak turun karena terhambat rigrend yang tidak termixing dengan baik | Tersumbat material regraind yang tdk turun | Mesin stop produksi | 3 | 2 | 6 | 36 | |
| | <i>Forming</i> | <i>Stacking</i> | | Sebagai proses <i>packing</i> cup / gelas yang sudah jadi | Cup control active | Posisi 2 reset alarm | Mesin stop produksi | 3 | 7 | 5 | 105 |
| | | <i>Inverter</i> | | Sebagai modul untuk <i>setting Forming</i> dan sinkronisasi semua proses <i>Forming</i> | Alarm | PLN trip | Mesin stop produksi | 2 | 8 | 4 | 64 |
| Agts | Kompresor | Sensor Errorr | <i>Support</i> angin untuk proses penggerak | Kompresor alarm | PLN trip | Mesin stop produksi | 2 | 4 | 7 | 56 | |

| <i>Months</i> | <i>Equipment</i> | <i>Sub Equipment</i> | <i>Function</i> | <i>Failure Mode</i> | <i>Failure Causes</i> | <i>Failure Effect</i> | <i>S</i> | <i>O</i> | <i>D</i> | <i>RPN</i> |
|---------------|------------------|---|---|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|----------|----------|----------|------------|
| | | | k mesin | | | | | | | |
| | <i>Extruder</i> | <i>Granulator Macet</i> | Sebagai pendorong atau pencampur material yg sudah terpanasi supaya terdorong keluar dies | <i>Granulator macet (Overload)</i> | <i>Granulator overload</i> | Mesin stop produksi | 5 | 5 | 6 | 150 |
| | <i>Forming</i> | <i>Stacking</i> | Sebagai proses <i>packing cup / gelas</i> yang sudah jadi | Cup control active | Posisi 2 reset alarm | Mesin stop produksi | 3 | 3 | 5 | 45 |
| | | <i>Thermoforming Motor Servo</i> | Penggerak proses <i>Forming / pembuat gelas / cup</i> | Alarm | Listrik trip | Mesin stop produksi | 8 | 4 | 8 | 256 |
| | | <i>Extrusion Motor Drive Inverter</i> | Penggerak proses <i>Forming / pembuat gelas / cup</i> | Alarm fault 66 | Listrik trip | Mesin stop produksi | 8 | 4 | 8 | 256 |
| Sep | <i>Chiller</i> | Selang Cooling Jebol (<i>Chiller</i>) | Sebagai <i>support pendingin Calender dan mould</i> | Ompresor <i>Chiller</i> rusak | <i>Voltage</i> listrik drop | Mesin stop produksi | 4 | 4 | 8 | 128 |
| | Kompresor | Suplay Kompresor Berkurang | <i>Support</i> angin untuk proses penggerak mesin | Suplay angin kurang | Cek valve macet | Mesin stop produksi | 2 | 4 | 7 | 56 |
| | <i>Extruder</i> | Roll Bank Pada <i>Calender</i> Kurang | Sebagai pembuatan lembaran <i>sheet</i> dan ketebalan | Keluarnya material kurang | Baut dise kurang terbuka | Mesin stop produksi | 3 | 2 | 4 | 24 |

| <i>Months</i> | <i>Equipment</i> | <i>Sub Equipment</i> | <i>Function</i> | <i>Failure Mode</i> | <i>Failure Causes</i> | <i>Failure Effect</i> | <i>S</i> | <i>O</i> | <i>D</i> | <i>RPN</i> |
|---------------|------------------|---|---|--|---|--|---------------------|----------|----------|------------|
| | | | bisa di atur | | | | | | | |
| | | Fan Motor Extruder | Sebagai penarik panas di motor | Fan terbakar | Penggunaan fan | Mesin stop produksi | 7 | 4 | 7 | 196 |
| | <i>Forming</i> | <i>Stacking</i> | Sebagai proses <i>packing</i> cup / gelas yang sudah jadi | Cup control active | Posisi 2 reset alarm | Mesin stop produksi | 3 | 3 | 5 | 45 |
| | | <i>Thermoforming Motor Servo</i> | Penggerak proses <i>Forming</i> / pembuat gelas / cup | Alarm | Listrik trip | Mesin stop produksi | 8 | 4 | 8 | 256 |
| | | <i>Mould Insert & Plug Assist (Cup Cacat / Bibir Kasar / Cutting Mould)</i> | Sebagai cetakan pembuat cup / gelas | Produk cacat | <i>Mould</i> cacat ada kotoran di mould | Mesin stop produksi | 4 | 3 | 4 | 48 |
| | | <i>Thermoforming Heater</i> | Sebagai pemanas <i>sheet</i> untuk proses ke <i>Forming</i> | Penggunaan kabel heater | Kabel putus | Mesin stop produksi | 8 | 3 | 7 | 168 |
| | | <i>Extrusion Motor Drive Inverter</i> | Penggerak proses <i>Forming</i> / pembuat gelas / cup | Alarm | Listrik trip | Mesin stop produksi | 8 | 4 | 8 | 256 |
| Okt | | <i>Extruder</i> | <i>Calender Unit</i> | Sebagai pembuatan lembaran <i>sheet</i> dan ketebalan bisa di atur | Material tidak turun karena terhambat rigrend yang tidak termixin | Supplay material terlalu banyak campuran | Mesin stop produksi | 3 | 2 | 6 |

| <i>Months</i> | <i>Equipment</i> | <i>Sub Equipment</i> | <i>Function</i> | <i>Failure Mode</i> | <i>Failure Causes</i> | <i>Failure Effect</i> | <i>S</i> | <i>O</i> | <i>D</i> | <i>RPN</i> |
|---------------|------------------|---------------------------------------|---|---------------------------------|---|-----------------------|----------|----------|----------|------------|
| | | | | g dengan baik | | | | | | |
| | | <i>Autoloader (Pressure Drop)</i> | Sebagai pencampur bahan murni & regraind (sisa lembaran <i>sheet</i> yg tdk tercetak menjadi gelas / cup) | <i>Pressure</i> material hilang | Terlalu banyak memakai rigrend cup sehingga material tidak tersedot | Mesin stop produksi | 3 | 5 | 7 | 105 |
| | | <i>Cutting</i> | Sebagai proses pemotong dari lembaran <i>sheet</i> ke cup / gelas | Produk tidak tercutting | Cuttiing tumpul | Mesin stop produksi | 7 | 6 | 5 | 210 |
| | | <i>Thermoforming Motor Servo</i> | Penggerak proses <i>Forming</i> / pembuat gelas / cup | Alarm | Listrik trip | Mesin stop produksi | 8 | 4 | 8 | 256 |
| | | <i>Thermoforming Heater</i> | Sebagai pemanas <i>sheet</i> untuk proses ke <i>Forming</i> | Penggunaan heater | Heater putus | Mesin stop produksi | 8 | 3 | 7 | 168 |
| | | <i>Extrusion Motor Drive Inverter</i> | Penggerak proses <i>Forming</i> / pembuat gelas / cup | Alarm fault 66 | Listrik trip | Mesin stop produksi | 8 | 4 | 8 | 256 |
| Nov | <i>Chiller</i> | Kompresor DChiller | Sebagai <i>support</i> pendingin <i>Calender</i> dan <i>mould</i> | Ompresor <i>Chiller</i> rusak | <i>Voltage</i> listrik drop | Mesin stop produksi | 4 | 4 | 6 | 96 |
| | Kompresor | Bearing Scerw | Sebagai penggerak | Penggunaan | Bearing rusak | Mesin stop | 4 | 5 | 6 | 120 |

| <i>Months</i> | <i>Equipment</i> | <i>Sub Equipment</i> | <i>Function</i> | <i>Failure Mode</i> | <i>Failure Causes</i> | <i>Failure Effect</i> | <i>S</i> | <i>O</i> | <i>D</i> | <i>RPN</i> |
|---------------|------------------|---------------------------------------|---|---------------------------------|---|-----------------------|----------|----------|----------|------------|
| | | | k motor | bearing | | produksi | | | | |
| | <i>Extruder</i> | <i>Autoloader (Pressure Drop)</i> | Sebagai pencampur bahan murni & regraind (sisa lembaran <i>sheet</i> yg tdk tercetak menjadi gelas / cup) | <i>Pressure</i> material hilang | Terlalu banyak memakai rigrend cup sehingga material tidak tersedot | Mesin stop produksi | 3 | 5 | 7 | 105 |
| | | <i>Cutting</i> | Sebagai proses pemotong dari lembaran <i>sheet</i> ke cup / gelas | Produk tidak tercutting | | Mesin stop produksi | 7 | 6 | 5 | 210 |
| | | <i>Thermoforming Motor Servo</i> | Penggerak proses <i>Forming</i> / pembuat gelas / cup | Alarm | Listrik trip | Mesin stop produksi | 8 | 4 | 8 | 256 |
| | | <i>Thermoforming Heater</i> | Penggerak proses <i>Forming</i> / pembuat gelas / cup | Alarm fault 66 | Listrik trip | Mesin stop produksi | 8 | 3 | 7 | 168 |
| | | <i>Extrusion Motor Drive Inverter</i> | Penggerak proses <i>Forming</i> / pembuat gelas / cup | Alarm fault 66 | Listrik trip | Mesin stop produksi | 8 | 4 | 8 | 256 |
| | <i>Chiller</i> | Kondensasi | Sebagai <i>support</i> pendingin <i>Calender</i> dan <i>mould</i> | Produk cacat | Terlalu dingin | Mesin stop produksi | 4 | 4 | 6 | 96 |
| Des | Kompresor | Valve Angin | <i>Support</i> angin untuk proses | Supplay angin kurang | Cek valve macet | Mesin stop produksi | 2 | 4 | 5 | 40 |

| <i>Months</i> | <i>Equipment</i> | <i>Sub Equipment</i> | <i>Function</i> | <i>Failure Mode</i> | <i>Failure Causes</i> | <i>Failure Effect</i> | <i>S</i> | <i>O</i> | <i>D</i> | <i>RPN</i> |
|---------------|------------------|---|---|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------|----------|----------|------------|
| | | | penggerak mesin | | | | | | | |
| | | Suplai Material Kurang | Support angin untuk proses penggerak mesin | Supplay angin kurang | Cek valve macet | Mesin stop produksi | 2 | 4 | 6 | 48 |
| | <i>Extruder</i> | <i>Pressure Material Hilang</i> | Sebagai pendorong material masuk ke proses pemanasan material | Supplay angin kurang | Cek valve macet | Mesin stop produksi | 3 | 6 | 7 | 126 |
| | <i>Forming</i> | <i>Stacking Unit (Cone Maindrill Lepas)</i> | Sebagai proses packing cup / gelas yang sudah jadi | Cup control active | Posisi 2 reset alarm | Mesin stop produksi | 3 | 3 | 7 | 63 |
| | | <i>Mould Insert Dan Plug Assist</i> | Sebagai cetakan pembuat cup / gelas | Produk cacat | <i>Mould kotor</i> | Mesin stop produksi | 4 | 3 | 4 | 48 |

Dari hasil perhitungan RPN pada tabel 4.2 diketahui bahwa komponen paling kritis pada mesin *thermoforming* yaitu *thermoforming moto servo* pada bagian *forming* dengan nilai RPN sebesar 256.

4.5.1.3 Logic Tree Analysis (LTA)

Pada *Logic Tree Analysis* (LTA) terdapat 3 kategori yaitu *evident*, *safety*, dan *outage* dengan tujuan untuk mengklasifikasikan tingkat prioritas dan jenis kategori dari setiap kegagalan. Berikut merupakan contoh pengisian tabel *Logic Tree Analysis*.

1. Komponen yang rusak pada mesin *thermoforming* yaitu *motor servo* pada bagian *forming*.
2. Analisis kritis (mode kegagalan):
 - a. Evident : Y
 - b. Safety : N

c. Outage : Y

d. Category : B

Berikut merupakan pengisian pada tabel LTA untuk seluruh kerusakan pada mesin *thermoforming*.

Tabel 4. 7 *Logic Tree Analysis (LTA) Mesin Thermoforming*

| <i>Months</i> | <i>Equipment</i> | <i>Sub Equipment</i> | <i>Evident</i> | <i>Safety</i> | <i>Outage</i> | <i>Category</i> |
|---------------|--------------------------------|---|----------------|---------------|---------------|-----------------|
| Januari | Kompresor | Kompresor Drop | Y | N | Y | B |
| | Extruder | Calender Unit | Y | N | Y | B |
| | Forming | Stacking | Y | N | Y | B |
| | | Inverter | Y | N | Y | B |
| Februari | Extruder | Granulator Macet | Y | N | Y | B |
| | Forming | Stacking | Y | N | Y | B |
| | | Thermoforming Motor Servo | Y | N | Y | B |
| | | Extrusion Motor Drive Inverter | Y | N | Y | B |
| Maret | Kompresor | Suplay Kompresor Berkurang | Y | N | Y | B |
| | Extruder | Calender Unit | Y | N | Y | B |
| | | Autoloader (Pressure Drop) | Y | N | Y | B |
| | Forming | Stacking | Y | N | Y | B |
| | | Thermoforming Motor Servo | Y | N | Y | B |
| | | Mould Insert & Plug Assist (Cup Cacat / Bibir Kasar / Cutting Mould) | Y | N | Y | B |
| | | Thermoforming Heater | Y | N | Y | B |
| | Extrusion Motor Drive Inverter | Y | N | Y | B | |
| April | Extruder | Calender Unit | Y | N | Y | B |
| | | Autoloader (Pressure Drop) | Y | N | Y | B |
| | Forming | Cutting | Y | N | Y | B |
| | | Thermoforming Motor Servo | Y | N | Y | B |
| | | Thermoforming Heater | Y | N | Y | B |
| | | Extrusion Motor Drive Inverter | Y | N | Y | B |

| <i>Months</i> | <i>Equipment</i> | <i>Sub Equipment</i> | <i>Evident</i> | <i>Safety</i> | <i>Outage</i> | <i>Category</i> |
|---------------|------------------|---|----------------|---------------|---------------|-----------------|
| Mei | Extruder | Autoloader (Pressure Drop) | Y | N | Y | B |
| | Forming | Cutting | Y | N | Y | B |
| | | Thermoforming Motor Servo | Y | N | Y | B |
| | | Thermoforming Heater | Y | N | Y | B |
| | | Extrusion Motor Drive Inverter | Y | N | Y | B |
| Juni | Chiller | Kondensasi | Y | N | Y | B |
| | Kompresor | Valve Angin | Y | N | Y | B |
| | | Suplai Material Kurang | Y | N | Y | B |
| | Extruder | Pressure Material Hilang | Y | N | Y | B |
| | Forming | Stacking Unit (Cone Maindrill Lepas) | Y | N | Y | B |
| | | Mould Insert Dan Plug Assist | Y | N | Y | B |
| Juli | Kompresor | Kompresor Drop | Y | N | Y | B |
| | Extruder | Calender Unit | Y | N | Y | B |
| | Forming | Stacking | Y | N | Y | B |
| | | Inverter | Y | N | Y | B |
| Agustus | Kompresor | Sensor Errorr | Y | N | Y | B |
| | Extruder | Granulator Macet | Y | N | Y | B |
| | Forming | Stacking | Y | N | Y | B |
| | | Thermoforming Motor Servo | Y | N | Y | B |
| | | Extrusion Motor Drive Inverter | Y | N | Y | B |
| September | Chiller | Selang Cooling Jebol (Chiller) | Y | N | Y | B |
| | Kompresor | Suplay Kompresor Berkurang | Y | N | Y | B |
| | Extruder | Roll Bank Pada Calender Kurang | Y | N | Y | B |
| | | Fan Motor Extru | Y | N | Y | B |
| | Forming | Stacking | Y | N | Y | B |
| | | Thermoforming Motor Servo | Y | N | Y | B |
| | | Mould Insert & Plug Assist (Cup Cacat / Bibir Kasar / Cutting Mould) | Y | N | Y | B |
| | | Thermoforming Heater | Y | N | Y | B |

| <i>Months</i> | <i>Equipment</i> | <i>Sub Equipment</i> | <i>Evident</i> | <i>Safety</i> | <i>Outage</i> | <i>Category</i> |
|---------------|------------------|--|----------------|---------------|---------------|-----------------|
| | | Extrusion Motor Drive Inverter | Y | N | Y | B |
| Oktober | Extruder | Calender Unit | Y | N | Y | B |
| | | Autoloader (Pressure Drop) | Y | N | Y | B |
| | Forming | Cutting | Y | N | Y | B |
| | | Thermoforming Motor Servo | Y | N | Y | B |
| | | Thermoforming Heater | Y | N | Y | B |
| | | Extrusion Motor Drive Inverter | Y | N | Y | B |
| Novz | Chiller | Kompresor Dchiller | Y | N | Y | B |
| | Kompresor | Bearing Scerw | Y | N | Y | B |
| | Extruder | Autoloader (Pressure Drop) | Y | N | Y | B |
| | Forming | Cutting | Y | N | Y | B |
| | | Thermoforming Motor Servo | Y | N | Y | B |
| | | Thermoforming Heater | Y | N | Y | B |
| | | Extrusion Motor Drive Inverter | Y | N | Y | B |
| Des | Chiller | Kondensasi | Y | N | Y | B |
| | Kompresor | Valve Angin | Y | N | Y | B |
| | | Suplai Material Kurang | Y | N | Y | B |
| | Extruder | Pressure Material Hilang | Y | N | Y | B |
| | Forming | Stacking Unit (Cone Maindrill Lepas) | Y | N | Y | B |
| | | Mould Insert Dan Plug Assist | Y | N | Y | B |

4.5.1.4 Pemilihan Tindakan

Pada tahap ini berdasarkan atas jawaban dari *selection task* yang telah disesuaikan oleh panduan pemilihan tindakan. Proses ini akan menghasilkan pemilihan langkah yang tepat untuk mode kegagalan tertentu. Tabel pemilihan tindakan diisi dengan contoh sebagai berikut.

Tabel 4. 8 *Selection Task* Mesin *Thermoforming*

| <i>Months</i> | <i>Equipment</i> | <i>Sub Equipment</i> | <i>Selection Guide</i> | | | | | | | <i>Selection Task</i> |
|---------------|------------------|----------------------|------------------------|---|---|---|---|---|---|-----------------------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |

| Months | Equipment | Sub Equipment | Selection Guide | | | | | | | Selection Task |
|-----------|-----------|--|-----------------|---|---|---|---|---|---|----------------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| | | | Y | Y | Y | Y | Y | Y | N | |
| | Extruder | Autoloader (Pressure Drop) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | N | TD |
| | | Cutting | Y | Y | Y | Y | Y | Y | N | CD.TD |
| | Forming | Thermoforming Motor Servo | Y | Y | Y | Y | Y | Y | N | TD |
| | | Thermoforming Heater | Y | Y | Y | Y | Y | Y | N | CD.TD |
| | | Extrusion Motor Drive Inverter | Y | Y | Y | Y | Y | Y | N | TD |
| | Des | Chiller | Kondensasi | Y | Y | Y | Y | Y | Y | N |
| Kompresor | | Valve Angin | Y | Y | Y | Y | Y | Y | N | TD |
| | | Suplai Material Kurang | Y | Y | Y | Y | Y | Y | N | TD |
| Extruder | | Pressure Material Hilang | Y | Y | Y | Y | Y | Y | N | TD |
| Forming | | Stacking Unit (Cone Maindrill Lepas) | Y | Y | Y | Y | Y | Y | N | CD.TD |
| | | Mould Insert Dan Plug Assist | Y | Y | Y | Y | Y | Y | N | CD.TD |

4.5.2 Penentuan Komponen Kritis Menggunakan Metode Kualitatif

Komponen kritis dengan waktu downtime paling tinggi dibandingkan dengan komponen yang lain pada tahap ini ditentukan oleh nilai RPN tertinggi pada hasil FMEA yaitu komponen *thermoforming motor servo* dengan nilai sebesar 256.

4.5.3 Data Downtime Kerusakan Mesin Produksi

Data kerusakan tiap tiap mesin diambil dari periode bulan Januari 2021 sampai dengan Desember 2021. Berikut merupakan daftar lama *downtime* pada setiap mesin beserta dengan total *downtime*.

Tabel 4. 9 Data *Downtime* Mesin Produksi

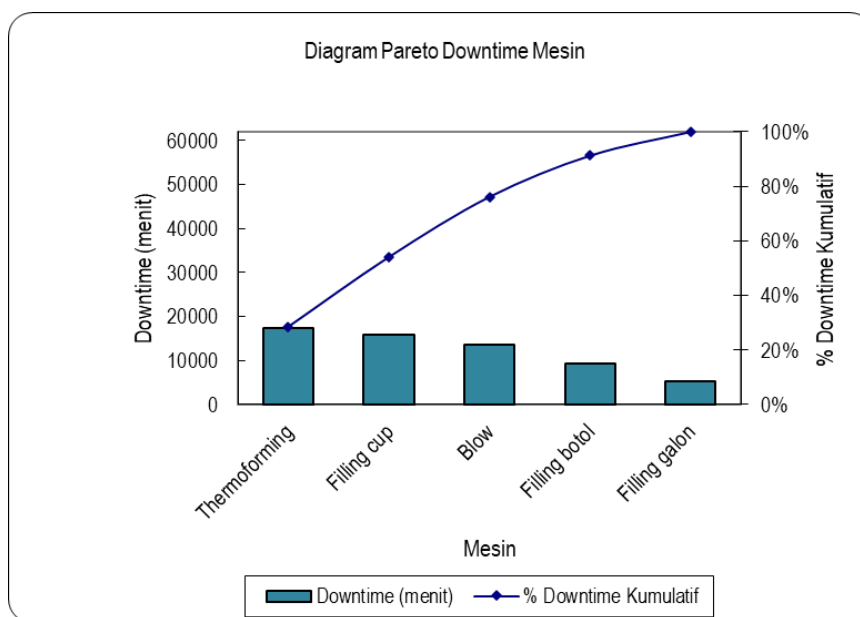
| No | Mesin | Frekuensi Kerusakan | <i>Downtime</i> (menit) |
|--------------|----------------------|---------------------|-------------------------|
| 1 | <i>Thermoforming</i> | 70 | 17434 |
| 2 | <i>Filling cup</i> | 92 | 15786 |
| 3 | <i>Blow</i> | 48 | 13616 |
| 4 | <i>Filling botol</i> | 65 | 9324 |
| 5 | <i>Filling galon</i> | 44 | 5378 |
| Total | | 319 | 61538 |

4.5.4 Penentuan Mesin Kritis Menggunakan Metode Kuantitatif

Penentuan mesin kritis diambil berdasarkan total *downtime* mesin yang paling besar, sehingga mesin kritis ditentukan oleh mesin dengan persentase *downtime* terbesar.

Tabel 4. 10 Perbandingan Persentase *Downtime* Mesin

| No | Mesin | Downtime (menit) | % Downtime | % Downtime Kumulatif |
|----|----------------------|------------------|----------------|----------------------|
| 1 | <i>Thermoforming</i> | 17434 | 28,33% | 28,33% |
| 2 | <i>Filling cup</i> | 15786 | 25,65% | 53,98% |
| 3 | <i>Blow</i> | 13616 | 22,13% | 76,11% |
| 4 | <i>Filling botol</i> | 9324 | 15,15% | 91,26% |
| 5 | <i>Filling galon</i> | 5378 | 8,74% | 100,00% |
| | Total | 61538 | 100,00% | |



Gambar 4. 5 Diagram Pareto *Downtime* Mesin

Pada tabel 4.10 dapat diketahui bahwa total waktu *downtime* mesin produksi selama periode Januari 2021 sampai dengan Desember 2021 adalah sebesar 61538 menit. Untuk mengetahui mesin kritis pada proses produksi dapat dilihat pada gambar 4.5. Pada diagram pareto tersebut dapat diketahui bahwa mesin thermoforming memiliki total waktu paling tinggi yaitu sebesar 17434 menit dengan frekuensi kerusakan sebanyak 70 kali dalam kurun waktu 12 bulan.

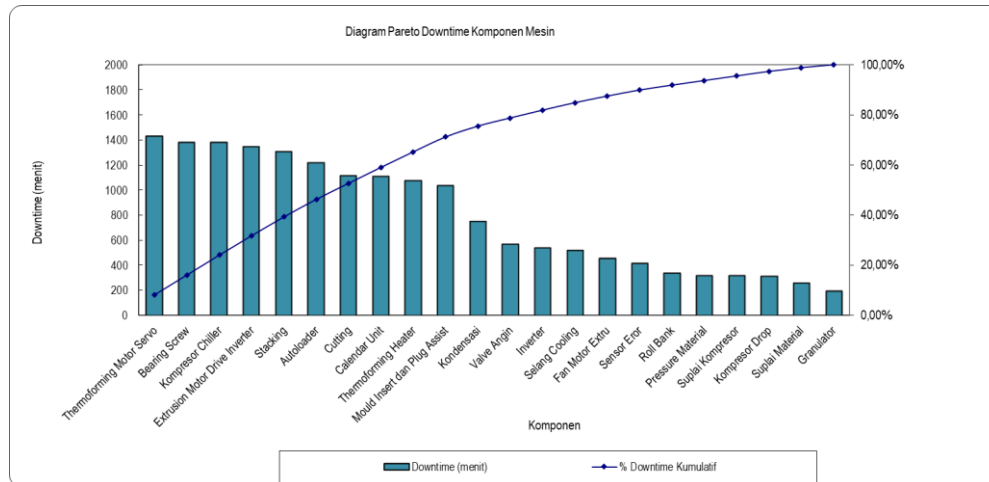
4.5.5 Penentuan Komponen Kritis Pada Mesin Kritis

Setelah mengetahui mesin kritis yaitu mesin *thermoforming* selanjutnya yaitu mencatat dan mengelompokkan komponen komponen pada mesin *thermoforming*. Berikut merupakan data *downtime* setiap komponen pada mesin *thermoforming*.

Tabel 4. 11 Data *Downtime* Komponen Mesin *Thermoforming*

| No | Komponen Mesin | Frekuensi Kerusakan | DT (menit) | DT Kumulatif | % DT | % DT Kumulatif |
|----|---------------------------------------|---------------------|------------|--------------|-------|----------------|
| 1 | <i>Thermoforming Motor Servo</i> | 8 | 1433 | 1433 | 8,22% | 8,22% |
| 2 | <i>Bearing Screw</i> | 1 | 1380 | 2813 | 7,92% | 16,14% |
| 3 | Kompresor <i>Chiller</i> | 1 | 1380 | 4193 | 7,92% | 24,05% |
| 4 | <i>Extrusion Motor Drive Inverter</i> | 8 | 1350 | 5543 | 7,74% | 31,79% |
| 5 | <i>Stacking</i> | 8 | 1310 | 6853 | 7,51% | 39,31% |
| 6 | <i>Autoloader</i> | 5 | 1220 | 8073 | 7,00% | 46,31% |
| 7 | <i>Cutting</i> | 4 | 1115 | 9188 | 6,40% | 52,70% |
| 8 | <i>Calendar Unit</i> | 5 | 1110 | 10298 | 6,37% | 59,07% |
| 9 | <i>Thermoforming Heater</i> | 6 | 1080 | 11378 | 6,19% | 65,26% |
| 10 | <i>Mould Insert dan Plug Assist</i> | 4 | 1036 | 12414 | 5,94% | 71,21% |
| 11 | Kondensasi | 2 | 755 | 13169 | 4,33% | 75,54% |
| 12 | <i>Valve Angin</i> | 2 | 570 | 13739 | 3,27% | 78,81% |
| 13 | <i>Inverter</i> | 2 | 540 | 14279 | 3,10% | 81,90% |
| 14 | <i>Selang Cooling</i> | 1 | 520 | 14799 | 2,98% | 84,89% |
| 15 | <i>Fan Motor Extru</i> | 1 | 460 | 15259 | 2,64% | 87,52% |
| 16 | Sensor Error | 1 | 420 | 15679 | 2,41% | 89,93% |
| 17 | <i>Roll Bank</i> | 1 | 340 | 16019 | 1,95% | 91,88% |
| 18 | <i>Pressure Material</i> | 2 | 320 | 16339 | 1,84% | 93,72% |
| 19 | Suplai Kompresor | 2 | 320 | 16659 | 1,84% | 95,55% |
| 20 | Kompresor <i>Drop</i> | 2 | 315 | 16974 | 1,81% | 97,36% |
| 21 | Suplai Material | 2 | 260 | 17234 | 1,49% | 98,85% |
| 22 | <i>Granulator</i> | 2 | 200 | 17434 | 1,15% | 100,00% |

Berdasarkan data tersebut, kemudian dibuat model diagram pareto seperti gambar berikut ini.



Gambar 4. 6 Diagram Pareto *Downtime* Komponen Mesin

Berdasarkan persentase data komponen mesin diatas dapat diketahui bahwa komponen kritis pada mesin *thermoforming* yaitu *thermoforming motor servo* dengan total *dontime* yaitu 1433 menit dengan frekuensi kerusakan sebanyak 8 kali dalam periode 1 tahun.

4.5.6 Pengolahan Data Waktu antar Kerusakan

Berdasarkan komponen kritis yang terpilih yaitu *thermoforming motor servo*, maka selanjutnya mengetahui jarak waktu antar kerusakan pada komponen yang dapat dilihat pada tabel 4.12 berikut ini.

Tabel 4. 12 Data Waktu Antar Kerusakan

| No | Mulai <i>Downtime</i> | Selesai <i>Downtime</i> | dti | ti | ti urut |
|----|-----------------------|-------------------------|-----|--------|---------|
| 1 | 15/02/2021 15:00 | 15/02/2021 22:00 | 420 | 0 | 0 |
| 2 | 10/03/2021 08:10 | 10/03/2021 09:10 | 60 | 32290 | 32290 |
| 3 | 10/04/2021 10:40 | 10/04/2021 13:40 | 180 | 44730 | 36855 |
| 4 | 10/05/2021 16:15 | 10/05/2021 21:45 | 330 | 43355 | 43355 |
| 5 | 15/08/2021 09:45 | 15/08/2021 11:45 | 120 | 138960 | 43552 |
| 6 | 10/09/2021 02:00 | 10/09/2021 03:18 | 78 | 36855 | 44730 |
| 7 | 10/10/2021 09:10 | 10/10/2021 12:45 | 215 | 43552 | 45255 |
| 8 | 10/11/2021 23:00 | 10/11/2021 23:30 | 30 | 45255 | 138960 |

Berikut merupakan contoh perhitungan interval waktu antar kerusakan untuk komponen kritis *thermoforming motor servo* pada mesin *thermoforming*:

Perhitungan hari kerja selama 7 hari/minggu dengan waktu kerja selama 24 jam, maka nilai t_i atau interval waktu antar kerusakan pada 15/02/2021 pukul 22:00 hingga 10/03/2021 pukul 08:10 yaitu 32290 menit.

- a. Tanggal 15/02/2021 pukul 22.00-24.00 = 120 menit
- b. Tanggal 10/03/2021 pukul 00.00-08.10 = 490 menit
- c. Tanggal 16/02/2021 00.00 – 09/03/2021 24.00 = 22 hari x 24 jam x 60 menit = 31680 menit
- d. Interval waktu kerusakan = 120 + 490 + 31680 = 32290 menit

Perhitungan untuk *downtime* (d_{ti}) dihitung mulai dari waktu mesin berhenti yaitu 15/02/2021 pada pukul 15.00 dan kembali beroperasi pada pukul 22.00 sehingga waktu *downtime*-nya adalah 7 jam atau sama dengan 420 menit.

4.5.7 Perhitungan *Index of Fit* Waktu Antar Kerusakan Pada Komponen Kritis

Pemilihan akan dilakukan berdasarkan nilai *index of fit* paling besar dengan menguji distribusi data menggunakan metode *least square curve fitting* (LSCF). Distribusi yang digunakan yaitu antara lain distribusi *Weibull*, distribusi Normal, distribusi Lognormal, dan distribusi Eksponensial.

1. Distribusi *Weibull*

Berikut merupakan contoh perhitungan $i = 1$ distribusi *Weibull* :

$$\begin{aligned} X_i &= \ln(t_i) && \text{.....(4. 2)} \\ &= \ln(32290) \\ &= 10,38251286 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F(t_i) &= \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} && \text{.....(4. 3)} \\ &= \frac{(1-0,3)}{(7+0,4)} \\ &= 0,094594595 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_i &= \ln \left(\ln \left(\frac{1}{1-F(t_i)} \right) \right) && \text{.....(4. 4)} \\ &= \ln \left(\ln \left(\frac{1}{1-0,094594595} \right) \right) \\ &= -2,308880127 \end{aligned}$$

$$X_i \cdot Y_i = 10,38251286 \times -2,308880127$$

$$= -23,97197762$$

$$X_i^2 = 10,38251286^2$$

$$= 107,7965734$$

$$Y_i^2 = -2,308880127^2$$

$$= 5,330927441$$

Perhitungan secara lengkap dapat dilihat pada tabel 4.13 di bawah ini.

Tabel 4. 13 Perhitungan *Index Of Fit* Waktu Antar Kerusakan Dengan Distribusi Weibull

| No | ti | $X_i = \ln t_i$ | X_i^2 | F(ti) | Y_i | Y_i^2 | $X_i Y_i$ |
|----------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------|-----------------|----------------------|
| 1 | 32290 | 10,3825128 6 | 107,796573 4 | 0,09459459 5 | - 2,30888012 7 | 5,33092744 1 | - 23,9719776 2 |
| 2 | 36855 | 10,5147465 7 | 110,559895 5 | 0,22972973 | - 1,34318190 2 | 1,80413762 3 | - 14,1232173 |
| 3 | 43355 | 10,6771773 2 | 114,002115 4 | 0,36486486 5 | - 0,78983983 4 | 0,62384696 4 | - 8,43325996 1 |
| 4 | 43552 | 10,6817109 1 | 114,098947 9 | 0,5 | - 0,36651292 1 | 0,13433172 1 | - 3,91498506 1 |
| 5 | 44730 | 10,7083997 | 114,669824 1 | 0,63513513 5 | 0,00819456 | 6,71508E- 05 | 0,08775062 3 |
| 6 | 45255 | 10,7200684 4 | 114,919867 4 | 0,77027027 | 0,38584165 4 | 0,14887378 2 | 4,13624894 |
| 7 | 13896 0 | 11,8419414 | 140,231576 1 | 0,90540540 5 | 0,85787951 | 0,73595725 4 | 10,1589588 9 |
| Σ | 38499 7 | 75,5265572 | 816,278799 7 | 3,5 | - 3,55649906 | 8,77814193 5 | - 36,0604815 |

Untuk mendapatkan nilai *index of fit* dapat dilihat dalam perhitungan berikut ini:

$$I_{\text{weibull}} = \frac{n(\sum_{i=1}^n X_i Y_i) - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{\left(\left((n(\sum_{i=1}^n X_i^2)) - (\sum_{i=1}^n X_i)^2 \right) \times \left((n(\sum_{i=1}^n Y_i^2)) - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2 \right) \right)}} \quad \dots\dots(4. 5)$$

$$I_{\text{index of fit}} = \frac{7(-36,0604815) - (75,5265572)(-3,55649906)}{\sqrt{\left(\left((7(816,278799)) - (75,5265572)^2 \right) \times \left((7(8,778141935)) - (-3,55649906)^2 \right) \right)}} \\ = 0,744352564$$

2. Distribusi Normal

Berikut merupakan contoh perhitungan $i = 1$ distribusi normal :

$$X_i = t_i \quad \dots\dots(4.6)$$

$$= 32290$$

$$F(t_i) = \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} \quad \dots\dots(4.7)$$

$$= \frac{(1-0,3)}{(7+0,4)}$$

$$= 0,094594595$$

$$Y_i = Z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] \quad \dots\dots(4.8)$$

$$= \Phi^{-1}(0,094594595)$$

$$= -1,312981479$$

$$X_i * Y_i = 32290 \times -1,312981479$$

$$= -42396,17196$$

$$X_i^2 = 32290^2$$

$$= 1042644100$$

$$Z_i^2 = -1,312981479^2$$

$$= 1,723920364$$

Perhitungan secara lengkap dapat dilihat pada tabel 4.14 di bawah ini.

Tabel 4. 14 Perhitungan *Index Of Fit* Waktu Antar Kerusakan Dengan Distribusi Normal

| No | t _i | X _i = t _i | X _i ² | F(t _i) | Y _i | Y _i ² | X _i Y _i |
|----|----------------|---------------------------------|-----------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 1 | 32290 | 32290 | 1042644100 | 0,094594 595 | - 1,312981 479 | 1,723920 364 | - 42396,1719 6 |
| 2 | 36855 | 36855 | 1358291025 | 0,229729 73 | - 0,739737 219 | 0,547211 154 | - 27263,0152 2 |
| 3 | 43355 | 43355 | 1879656025 | 0,364864 865 | - 0,345485 074 | 0,119359 936 | - 14978,5053 7 |
| 4 | 43552 | 43552 | 1896776704 | 0,5 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 44730 | 44730 | 2000772900 | 0,635135 135 | 0,345485 074 | 0,119359 936 | 15453,5473 5 |
| 6 | 45255 | 45255 | 2048015025 | 0,770270 27 | 0,739737 219 | 0,547211 154 | 33476,8078 6 |
| 7 | 138960 | 138960 | 1930988160 0 | 0,905405 405 | 1,312981 479 | 1,723920 364 | 182451,906 3 |
| Σ | 384997 | 384997 | 2953603737 9 | 3,5 | 0 | 4,780982 908 | 146744,569 |

Untuk mendapatkan nilai *index of fit* dapat dilihat dalam perhitungan berikut ini:

$$r_{\text{normal}} = \frac{n(\sum_{i=1}^n XiZi) - (\sum_{i=1}^n Xi)(\sum_{i=1}^n Zi)}{\sqrt{\left(\left(n(\sum_{i=1}^n Xi^2) - (\sum_{i=1}^n Xi)^2\right) \times \left(n(\sum_{i=1}^n Zi^2) - (\sum_{i=1}^n Zi)^2\right)\right)}} \quad \text{.....(4. 9)}$$

$$r_{\text{index of fit}} = \frac{7(146744,569) - (384997)(0)}{\sqrt{\left(\left(7(29536037379) - (384997)^2\right) \times \left(7(4,780982908) - (0)^2\right)\right)}} \\ = 0,73394715$$

3. Distribusi Lognormal

Berikut merupakan contoh perhitungan $i = 1$ distribusi lognormal :

$$Xi = \ln(ti) \quad \text{.....(4. 10)} \\ = \ln(32290) \\ = 10,38251286$$

$$F(ti) = \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} \quad \text{.....(4. 11)} \\ = \frac{(1-0,3)}{(7+0,4)} \\ = 0,094594595$$

$$Yi=Zi = \Phi^{-1}[F(ti)] \quad \text{.....(4. 12)} \\ = \Phi^{-1}(0,094594595) \\ = -1,312981479$$

$$Xi*Zi = 10,38251286 \times -1,312981479 \\ = -13,6320471$$

$$Xi^2 = 10,38251286^2 \\ = 107,7965734$$

$$Zi^2 = -1,312981479^2 \\ = 1,723920364$$

Perhitungan secara lengkap dapat dilihat pada tabel 4.15 di bawah ini.

Tabel 4. 15 Perhitungan *Index Of Fit* Waktu Antar Kerusakan Dengan Distribusi Lognormal

| No | ti | Xi=ln ti | Xi2 | F(ti) | Yi | Yi2 | XiYi |
|----|-------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------|-----------------|----------------------|
| 1 | 32290 | 10,3825128 6 | 107,7965 734 | 0,09459459 5 | - 1,31298147 9 | 1,7239203 64 | - 13,6320471 |
| 2 | 36855 | 10,5147465 7 | 110,5598 955 | 0,22972973 | - 0,73973721 9 | 0,5472111 54 | - 7,77814939 3 |
| 3 | 43355 | 10,6771773 | 114,0021 | 0,36486486 | - | 0,1193599 | - |

| No | ti | Xi=ln ti | Xi2 | F(ti) | Yi | Yi2 | XiYi |
|----|--------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | 2 | 154 | 5 | 0,34548507 4 | 36 | 3,68880539 2 |
| 4 | 43552 | 10,6817109 1 | 114,0989 479 | 0,5 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 44730 | 10,7083997 | 114,6698 241 | 0,63513513 5 | 0,34548507 4 | 0,1193599 36 | 3,69959225 9 |
| 6 | 45255 | 10,7200684 4 | 114,9198 674 | 0,77027027 | 0,73973721 9 | 0,5472111 54 | 7,93003362 |
| 7 | 138960 | 11,8419414 | 140,2315 761 | 0,90540540 5 | 1,31298147 9 | 1,7239203 64 | 15,5482497 3 |
| Σ | 384997 | 75,5265572 | 816,2787 997 | 3,5 | 0 | 4,7809829 08 | 2,07887373 2 |

Untuk mendapatkan nilai *index of fit* dapat dilihat dalam perhitungan berikut ini:

$$r_{\lognormal} = \frac{n(\sum_{i=1}^n XiZi) - (\sum_{i=1}^n Xi)(\sum_{i=1}^n Zi)}{\sqrt{\left(\left(n(\sum_{i=1}^n Xi^2) - (\sum_{i=1}^n Xi)^2\right) \times \left(n(\sum_{i=1}^n Zi^2) - (\sum_{i=1}^n Zi)^2\right)\right)}} \quad \text{.....(4. 13)}$$

$$r_{\text{index of fit}} = \frac{7(2,078873732) - (75,5265572)(0)}{\sqrt{\left(\left(7(816,2787997) - (75,5265572)^2\right) \times \left(7(4,780982908) - (0)^2\right)\right)}} = 0,808052728$$

4. Distribusi Eksponensial

Berikut merupakan contoh perhitungan $i = 1$ distribusi eksponensial :

$$Xi = ti = 32290 \quad \text{.....(4. 14)}$$

$$F(ti) = \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} = \frac{(1-0,3)}{(7+0,4)} = 0,094594595 \quad \text{.....(4. 15)}$$

$$Yi = \ln\left(\frac{1}{1-F(ti)}\right) = \ln\left(\frac{1}{1-0,094594595}\right) = 0,099372474 \quad \text{.....(4. 16)}$$

$$Xi*Yi = 32290 \times 0,099372474 = 3208,737179$$

$$Xi^2 = 32290^2 = 1042644100$$

$$Yi^2 = 0,099372474^2$$

$$= 0,009874889$$

Perhitungan secara lengkap dapat dilihat pada tabel 4.16 di bawah ini.

Tabel 4. 16 Perhitungan *Index Of Fit* Waktu Antar Kerusakan Dengan Distribusi Eksponensial

| No | ti | Xi= ti | Xi2 | F(ti) | Yi | Yi2 | XiYi |
|----|--------|--------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 32290 | 32290 | 1042644100 | 0,0945945 95 | 0,0993724 74 | 0,0098748 89 | 3208,7371 79 |
| 2 | 36855 | 36855 | 1358291025 | 0,2297297 3 | 0,2610138 25 | 0,0681282 17 | 9619,6645 34 |
| 3 | 43355 | 43355 | 1879656025 | 0,3648648 65 | 0,4539174 91 | 0,2060410 89 | 19679,592 84 |
| 4 | 43552 | 43552 | 1896776704 | 0,5 | 0,6931471 81 | 0,4804530 14 | 30187,946 01 |
| 5 | 44730 | 44730 | 2000772900 | 0,6351351 35 | 1,0082282 27 | 1,0165241 58 | 45098,048 6 |
| 6 | 45255 | 45255 | 2048015025 | 0,7702702 7 | 1,4708517 49 | 2,1634048 68 | 66563,395 91 |
| 7 | 138960 | 138960 | 19309881600 | 0,9054054 05 | 2,3581549 44 | 5,5608947 41 | 327689,21 1 |
| Σ | 384997 | 384997 | 29536037379 | 3,5 | 6,3446858 92 | 9,5053209 75 | 502046,59 61 |

Untuk mendapatkan nilai *index of fit* dapat dilihat dalam perhitungan berikut ini:

$$r_{\text{eksponensial}} = \frac{n(\sum_{i=1}^n XiYi) - (\sum_{i=1}^n Xi)(\sum_{i=1}^n Yi)}{\sqrt{\left(\left((n(\sum_{i=1}^n Xi^2)) - (\sum_{i=1}^n Xi)^2 \right) \times \left((n(\sum_{i=1}^n Yi^2)) - (\sum_{i=1}^n Yi)^2 \right) \right)}} \quad \dots\dots(4. 17)$$

$$r_{\text{index of fit}} = \frac{7(502046,5961) - (384997)(6,344685892)}{\sqrt{\left(\left((7(29536037379)) - (384997)^2 \right) \times \left((7(9,505320975)) - (6,344685892)^2 \right) \right)}} = 0,8640339$$

Hasil rekap *index of fit* untuk masing-masing distribusi dapat dilihat pada tabel 4.18 berikut ini.

Tabel 4. 17 Hasil Rekap *Index of Fit* Data Waktu Kerusakan

| No | Distribusi | <i>Index of Fit</i> |
|----|--------------|---------------------|
| 1 | Weibull | 0,744352564 |
| 2 | Normal | 0,73394715 |
| 3 | Lognormal | 0,808052728 |
| 4 | Eksponensial | 0,8640339 |

Berdasarkan perhitungan *index of fit* yang menunjukkan koefisien korelasi (r), maka dapat diketahui bahwa nilai *index of fit* waktu anatar kerusakan terbesar kompponnen mesin kritis *thermoforming motor servo* yaitu pada distribusi eksponensial dengan nilai sebesar 0,8640339 karena memiliki nilai r yang hampir mendekati 1.

4.5.8 Uji Goodness of Fit Pada Distribusi Data Waktu Kerusakan (*Time to Failure*)

Uji *Goodness of Fit* bertujuan untuk mengetahui apakah suatu data membentuk distribusi tertentu dan dilakukan dengan cara memilih nilai *index of fit* yang paling besar dimana pada data *time to failure* ini yang digunakan yaitu distribusi eksponensial. Pada uji ini akan membandingkan antara hipotesa nol dan hipotesa alternatif

Dimana:

H_0 = Data waktu kerusakan (TTF) berdistribusi eksponensial

H_1 = Data waktu kerusakan (TTF) tidak berdistribusi eksponensial

Pengujian pada distrbusi eksponensial dilakukan dengan menggunakan uji *Bartlett* dengan tingkat kepercayaan sebesar 97,5%. Berikut merupakan perhitungan dari distrbusi eksponensial:

Tabel 4. 18 Uji *Goodness of Fit* Distribusi Eksponensial Data *Time To Failure* (TTF)

| No | ti | $X_i = \ln(t_i)$ |
|----------|--------|------------------|
| 1 | 32290 | 10,38251286 |
| 2 | 44730 | 10,7083997 |
| 3 | 43355 | 10,67717732 |
| 4 | 138960 | 11,8419414 |
| 5 | 36855 | 10,51474657 |
| 6 | 43552 | 10,68171091 |
| 7 | 45255 | 10,72006844 |
| Σ | 384997 | 75,5265572 |

Pada tahap ini digunakan *maximum likelihood estimators* (MLE) untuk memperoleh estimasi parameter populasi. Untuk distribusi eksponensial memiliki perhitungan estimasi parameter sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{n}{T} \quad \text{.....(4. 18)}$$

$$= \frac{7}{384997}$$

$$= 1,8182E-05$$

Dimana:

T = jumlah waktu kerusakan

Berikut merupakan perhitungan untuk uji *Barlett* pada distribusi eksponensial:

$$\begin{aligned}
 B &= \frac{2r \left(\ln \left(\left(\frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r t_i \right) - \left(\left(\frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r \ln(t_i) \right) \right)}{1 + \frac{(r+1)}{6r}} \quad \dots\dots(4. 19) \\
 &= \frac{2.7 \left(\ln \left(\left(\frac{1}{7} \right) 384997 \right) - \left(\left(\frac{1}{7} \right) 75,5265572 \right) \right)}{1 + \frac{(7+1)}{6.7}} \\
 &= 1,476732613
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X^2_{\left(1-\frac{\alpha}{2}, r-1\right)} < B < X^2_{\left(\frac{\alpha}{2}, r-1\right)} &= X^2_{(0,975;7)} < 1,476732613 < X^2_{(0,025;7)} \\
 &= 1,237344246 < 1,476732613 < 14,44937534
 \end{aligned}$$

Dimana:

B = Nilai uji statistic untuk *Bartlett's Test*

ti = Waktu kerusakan ke-i

r = Jumlah kerusakan

Berdasarkan perhitungan di atas, dapat dilihat bahwa nilai B berada di dalam wilayah kritis pada uji kesesuaian *Bartlett's Test* yaitu $X^2 < B < X^2$ atau $X^2_{1,237344246} < 1,476732613 < X^2_{14,44937534}$, maka dapat dinyatakan bahwa H_0 diterima dan H_1 ditolak yang artinya data waktu kerusakan *Time To Failure* berdistribusi eksponensial.

4.5.9 Penentuan Nilai Tengah dari Distribusi Data Waktu Kerusakan (*Mean Time to Failure*)

Berikut merupakan perhitungan nilai *Mean Time to Failure* (MTTF) pada distribusi eksponensial:

$$\begin{aligned}
 \text{MTTF} &= \frac{1}{\lambda} \quad \dots\dots(4. 20) \\
 &= 54999,57143 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

4.5.10 Perhitungan *Index of Fit* Waktu Antar Perbaikan Pada Komponen Kritis

Pemilihan akan dilakukan berdasarkan nilai *index of fit* paling besar dengan menguji distribusi data menggunakan metode *least square curve fitting* (LSCF). Distribusi yang digunakan yaitu

antara lain distribusi *Weibull*, distribusi Normal, distribusi Lognormal, dan distribusi Ekspensial.

Tabel 4. 19 Data Waktu Antar Perbaikan

| No | Mulai <i>Downtime</i> | Selesai <i>Downtime</i> | dti | dti urut |
|----|-----------------------|-------------------------|-----|----------|
| 1 | 15/02/2021 15:00 | 15/02/2021 22:00 | 420 | 30 |
| 2 | 10/03/2021 08:10 | 10/03/2021 09:10 | 60 | 60 |
| 3 | 10/04/2021 10:40 | 10/04/2021 13:40 | 180 | 78 |
| 4 | 10/05/2021 16:15 | 10/05/2021 21:45 | 330 | 120 |
| 5 | 15/08/2021 09:45 | 15/08/2021 11:45 | 120 | 180 |
| 6 | 10/09/2021 02:00 | 10/09/2021 03:18 | 78 | 215 |
| 7 | 10/10/2021 09:10 | 10/10/2021 12:45 | 215 | 330 |
| 8 | 10/11/2021 23:00 | 10/11/2021 23:30 | 30 | 420 |

Pemilihan akan dilakukan berdasarkan nilai *index of fit* paling besar dengan menguji distribusi data menggunakan metode *least square curve fitting* (LSCF). Distribusi yang digunakan yaitu antara lain distribusi *Weibull*, distribusi Normal, distribusi Lognormal, dan distribusi Ekspensial.

1. Diistribusi *Weibull*

Berikut merupakan contoh perhitungan distribusi *Weibull* :

$$X_i = \ln(dti) \quad \text{.....(4. 21)}$$

$$= \ln(30)$$

$$= 3,4012$$

$$F(dti) = \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} \quad \text{.....(4. 22)}$$

$$= \frac{(1-0,3)}{(8+0,4)}$$

$$= 0,0833$$

$$Y_i = \ln \left(\ln \left(\frac{1}{1-F(dti)} \right) \right) \quad \text{.....(4. 23)}$$

$$= \ln \left(\ln \left(\frac{1}{1-0,0833} \right) \right)$$

$$= -2,4417$$

$$X_i * Y_i = 3,4012 \times -2,4417$$

$$= -8,3048$$

$$X_i^2 = 3,4012^2$$

$$\begin{aligned}
 &= 11,5681 \\
 Y_i^2 &= -2,4417^2 \\
 &= 5,9620
 \end{aligned}$$

Perhitungan secara lengkap dapat dilihat pada tabel 4.20 di bawah ini.

Tabel 4. 20 Perhitungan *Index Of Fit* Waktu Antar Perbaikan Dengan Distribusi Weibull

| No | dti | Xi=ln dti | Xi2 | F(dti) | Yi | Yi2 | XiYi |
|-------|------|-----------|----------|--------|---------|---------|----------|
| 1 | 30 | 3,4012 | 11,5681 | 0,0833 | -2,4417 | 5,9620 | -8,3048 |
| 2 | 60 | 4,0943 | 16,7637 | 0,2024 | -1,4867 | 2,2102 | -6,0869 |
| 3 | 78 | 4,3567 | 18,9809 | 0,3214 | -0,9474 | 0,8975 | -4,1273 |
| 4 | 120 | 4,7875 | 22,9201 | 0,4405 | -0,5436 | 0,2955 | -2,6024 |
| 5 | 180 | 5,1930 | 26,9668 | 0,5595 | -0,1986 | 0,0394 | -1,0312 |
| 6 | 215 | 5,3706 | 28,8438 | 0,6786 | 0,1266 | 0,0160 | 0,6800 |
| 7 | 330 | 5,7991 | 33,6295 | 0,7976 | 0,4685 | 0,2195 | 2,7169 |
| 8 | 420 | 6,0403 | 36,4847 | 0,9167 | 0,9102 | 0,8285 | 5,4981 |
| Total | 1433 | 39,0427 | 196,1575 | 4 | -4,1125 | 10,4686 | -13,2576 |

Untuk mendapatkan nilai r dapat dilihat dalam perhitungan berikut ini:

$$\begin{aligned}
 r_{\text{weibull}} &= \frac{n(\sum_{i=1}^n XiYi) - (\sum_{i=1}^n Xi)(\sum_{i=1}^n Yi)}{\sqrt{\left(\left((n(\sum_{i=1}^n Xi^2)) - (\sum_{i=1}^n Xi)^2 \right) \times \left((n(\sum_{i=1}^n Yi^2)) - (\sum_{i=1}^n Yi)^2 \right) \right)}} & \dots\dots(4. 24) \\
 r_{\text{index of fit}} &= \frac{8(-13,2576) - (39,0427)(-4,1125)}{\sqrt{\left(\left((8(196,1575)) - (39,0427)^2 \right) \times \left((8(10,4686)) - (-4,1125)^2 \right) \right)}} \\
 &= 0,994617032
 \end{aligned}$$

2. Distribusi Normal

Berikut merupakan contoh perhitungan $i = 1$ distribusi normal :

$$\begin{aligned}
 X_i &= dti & \dots\dots(4. 25) \\
 &= 30
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F(dti) &= \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} & \dots\dots(4. 26) \\
 &= \frac{(1-0,3)}{(8+0,4)} \\
 &= 0,0833
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_i=Z_i &= \Phi^{-1}[F(dti)] & \dots\dots(4. 27) \\
 &= \Phi^{-1}(0,0833) \\
 &= -1,3830
 \end{aligned}$$

$$X_i * Z_i = 30 \times -1,3830$$

$$\begin{aligned}
 &= -41,4898 \\
 X_i^2 &= 30^2 \\
 &= 900 \\
 Z_i^2 &= -1,3830^2 \\
 &= 1,9127
 \end{aligned}$$

Perhitungan secara lengkap dapat dilihat pada tabel 4.21 di bawah ini.

Tabel 4. 21 Perhitungan *Index Of Fit* Waktu Antar Perbaikan Dengan Distribusi Normal

| No | dti | $X_i = dti$ | X_i^2 | F(dti) | Y_i | Y_i^2 | $X_i Y_i$ |
|-------|------|-------------|---------|--------|---------|---------|-----------|
| 1 | 30 | 30 | 900 | 0,0833 | -1,3830 | 1,9127 | -41,4898 |
| 2 | 60 | 60 | 3600 | 0,2024 | -0,8331 | 0,6941 | -49,9888 |
| 3 | 78 | 78 | 6084 | 0,3214 | -0,4637 | 0,2150 | -36,1692 |
| 4 | 120 | 120 | 14400 | 0,4405 | -0,1498 | 0,0224 | -17,9714 |
| 5 | 180 | 180 | 32400 | 0,5595 | 0,1498 | 0,0224 | 26,9572 |
| 6 | 215 | 215 | 46225 | 0,6786 | 0,4637 | 0,2150 | 99,6972 |
| 7 | 330 | 330 | 108900 | 0,7976 | 0,8331 | 0,6941 | 274,9385 |
| 8 | 420 | 420 | 176400 | 0,9167 | 1,3830 | 1,9127 | 580,8575 |
| Total | 1433 | 1433 | 388909 | 4 | - | 5,6885 | 836,8310 |

Untuk mendapatkan nilai *index of fit* dapat dilihat dalam perhitungan berikut ini:

$$\begin{aligned}
 r_{\text{normal}} &= \frac{n(\sum_{i=1}^n X_i Z_i) - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Z_i)}{\sqrt{\left(\left(n(\sum_{i=1}^n X_i^2) - (\sum_{i=1}^n X_i)^2 \right) \times \left(n(\sum_{i=1}^n Z_i^2) - (\sum_{i=1}^n Z_i)^2 \right) \right)}} \quad \dots\dots(4. 28) \\
 r_{\text{index of fit}} &= \frac{8(836,8310) - (1433)(-2,88658E-15)}{\sqrt{\left(\left(8(388909) - (1433)^2 \right) \times \left(8(5,6885) - (-2,88658E-15)^2 \right) \right)}} \\
 &= 0,964905633
 \end{aligned}$$

3. Distribusi Lognormal

Berikut merupakan contoh perhitungan $i = 1$ distribusi lognormal :

$$\begin{aligned}
 X_i &= \ln(dti) \quad \dots\dots(4. 29) \\
 &= \ln(30) \\
 &= 3,4012
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F(dti) &= \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} \quad \dots\dots(4. 30) \\
 &= \frac{(1-0,3)}{(8+0,4)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,0833 \\
 Y_i=Z_i &= \Phi^{-1}[F(dti)] && \text{.....(4. 31)} \\
 &= \Phi^{-1}(0,0833) \\
 &= -1,3830 \\
 X_i*Z_i &= 3,4012 \times -1,3830 \\
 &= -4,7038 \\
 X_i^2 &= 3,4012^2 \\
 &= 11,5681 \\
 Z_i^2 &= -1,3830^2 \\
 &= 1,9127
 \end{aligned}$$

Perhitungan secara lengkap dapat dilihat pada tabel 4.22 di bawah ini.

Tabel 4. 22 Perhitungan *Index Of Fit* Waktu Antar Perbaikan Dengan Distribusi Lognormal

| No | dti | $X_i=\ln dti$ | X_i^2 | $F(dti)$ | Y_i | Y_i^2 | X_iY_i |
|-------|------|---------------|----------|----------|--------------|---------|----------|
| 1 | 30 | 3,4012 | 11,5681 | 0,0833 | -1,3830 | 1,9127 | -4,7038 |
| 2 | 60 | 4,0943 | 16,7637 | 0,2024 | -0,8331 | 0,6941 | -3,4112 |
| 3 | 78 | 4,3567 | 18,9809 | 0,3214 | -0,4637 | 0,2150 | -2,0202 |
| 4 | 120 | 4,7875 | 22,9201 | 0,4405 | -0,1498 | 0,0224 | -0,7170 |
| 5 | 180 | 5,1930 | 26,9668 | 0,5595 | 0,1498 | 0,0224 | 0,7777 |
| 6 | 215 | 5,3706 | 28,8438 | 0,6786 | 0,4637 | 0,2150 | 2,4904 |
| 7 | 330 | 5,7991 | 33,6295 | 0,7976 | 0,8331 | 0,6941 | 4,8315 |
| 8 | 420 | 6,0403 | 36,4847 | 0,9167 | 1,3830 | 1,9127 | 8,3536 |
| Total | 1433 | 39,0427 | 196,1575 | 4 | -2,88658E-15 | 5,6885 | 5,6010 |

Untuk mendapatkan nilai *index of fit* dapat dilihat dalam perhiungan berikut ini:

$$\begin{aligned}
 \Gamma_{\lognormal} &= \frac{n(\sum_{i=1}^n X_i Z_i) - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Z_i)}{\sqrt{\left(\left((n(\sum_{i=1}^n X_i^2)) - (\sum_{i=1}^n X_i)^2 \right) \times \left((n(\sum_{i=1}^n Z_i^2)) - (\sum_{i=1}^n Z_i)^2 \right) \right)} && \text{.....(4. 32)} \\
 \Gamma_{\text{index of fit}} &= \frac{8(5,6010) - (39,0427)(-2,88658E-15)}{\sqrt{\left(\left((8(196,1575)) - (39,0427)^2 \right) \times \left((8(5,6885)) - (-2,88658E-15)^2 \right) \right)} \\
 &= 0,99094269
 \end{aligned}$$

4. Distribusi Eksponensial

Berikut merupakan contoh perhitungan $i = 1$ distribusi eksponensial :

$$\begin{aligned}
 X_i &= dti && \text{.....(4. 33)} \\
 &= 30
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F(dti) &= \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} && \text{.....(4. 34)} \\
 &= \frac{(1-0,3)}{(8+0,4)} \\
 &= 0,0833
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_i &= \ln\left(\frac{1}{1-F(dti)}\right) && \text{.....(4. 35)} \\
 &= \ln\left(\frac{1}{1-0,0833}\right) \\
 &= 0,0870
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_i \cdot Y_i &= 30 \times 0,0870 \\
 &= 2,6103
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_i^2 &= 30^2 \\
 &= 900
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_i^2 &= 0,0870^2 \\
 &= 0,0076
 \end{aligned}$$

Perhitungan secara lengkap dapat dilihat pada tabel 4.23 di bawah ini.

Tabel 4. 23 Perhitungan *Index Of Fit* Waktu Antar Perbaikan Dengan Distribusi Eksponensial

| No | dti | $X_i = dti$ | X_i^2 | $F(dti)$ | Y_i | Y_i^2 | $X_i Y_i$ |
|-------|------|-------------|---------|----------|--------|---------|-----------|
| 1 | 30 | 30 | 900 | 0,0833 | 0,0870 | 0,0076 | 2,6103 |
| 2 | 60 | 60 | 3600 | 0,2024 | 0,2261 | 0,0511 | 13,5675 |
| 3 | 78 | 78 | 6084 | 0,3214 | 0,3878 | 0,1504 | 30,2457 |
| 4 | 120 | 120 | 14400 | 0,4405 | 0,5807 | 0,3372 | 69,6803 |
| 5 | 180 | 180 | 32400 | 0,5595 | 0,8199 | 0,6722 | 147,5818 |
| 6 | 215 | 215 | 46225 | 0,6786 | 1,1350 | 1,2882 | 244,0207 |
| 7 | 330 | 330 | 108900 | 0,7976 | 1,5976 | 2,5523 | 527,2091 |
| 8 | 420 | 420 | 176400 | 0,9167 | 2,4849 | 6,1748 | 1043,6608 |
| Total | 1433 | 1433 | 388909 | 4 | 7,3190 | 11,2338 | 2078,5762 |

Untuk mendapatkan nilai r dapat dilihat dalam perhiungan berikut ini:

$$r_{\text{eksponensial}} = \frac{n(\sum_{i=1}^n X_i Y_i) - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{\left(\left((n(\sum_{i=1}^n X_i^2)) - (\sum_{i=1}^n X_i)^2 \right) \times \left((n(\sum_{i=1}^n Y_i^2)) - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2 \right) \right)}} && \text{.....(4. 36)}$$

$$\begin{aligned}
 r_{\text{index of fit}} &= \frac{8(2078,5762) - (1433)(7,3190)}{\sqrt{\left(\left((8(388909)) - (1433)^2 \right) \times \left((8(11,2338)) - (7,3190)^2 \right) \right)}} \\
 &= 0,990918463
 \end{aligned}$$

Hasil rekap *index of fit* untuk masing-masing distribusi dapat dilihat pada tabel 4.24 berikut ini.

Tabel 4. 24 Hasil Rekap *Index of Fit* Data Waktu Perbaikan

| No | Distribusi | <i>Index of Fit</i> |
|----|--------------|---------------------|
| 1 | Weibull | 0,994617032 |
| 2 | Normal | 0,964905633 |
| 3 | Lognormal | 0,99094269 |
| 4 | Eksponensial | 0,990918463 |

Berdasarkan perhitungan *index of fit* yang menunjukkan koefisien korelasi (r), maka dapat diketahui bahwa nilai *index of fit* waktu antar perbaikan terbesar komponen mesin kritis *thermoforming motor servo* yaitu pada distribusi weibull dengan nilai sebesar 0,994617032 karena memiliki nilai r yang hampir mendekati 1.

4.5.11 Uji *Goodness of Fit* Pada Distribusi Data Waktu Perbaikan (*Time to Repair*)

Uji *Goodness of Fit* bertujuan untuk mengetahui apakah suatu data membentuk distribusi tertentu dan dilakukan dengan cara memilih nilai *index of fit* yang paling besar dimana pada data *time to repair* ini yang digunakan yaitu distribusi weibull. Pada uji ini akan membandingkan antara hipotesa nol dan hipotesa alternatif

Dimana:

H_0 = Data waktu perbaikan (TTR) berdistribusi weibull

H_1 = Data waktu perbaikan (TTR) tidak berdistribusi weibull

Pengujian pada distribusi weibull dilakukan dengan menggunakan uji *Mann's Test* dengan tingkat kepercayaan sebesar 95%. Berikut merupakan perhitungan dari distribusi weibull:

Tabel 4. 25 Uji *Goodness of Fit* Distribusi Weibull Data *Time To Repair* (TTR)

| No | D _{ti} | ln D _{ti} | Z _i | M _i | ln D _{ti+1} - ln D _{ti} | (ln D _{ti+1} - ln D _{ti})/M _i |
|----|-----------------|--------------------|----------------|----------------|---|---|
| 1 | 30 | 3,4012 | -2,7723 | 1,1662 | 0,6931472 | 0,5943777 |
| 2 | 60 | 4,0943 | -1,6061 | 0,5872 | 0,2624 | 0,4468 |
| 3 | 78 | 4,3567 | -1,0188 | 0,4248 | 0,4308 | 1,0142 |
| 4 | 120 | 4,7875 | -0,5941 | 0,3564 | 0,4054651 | 1,1376494 |

| No | Dti | ln Dti | Zi | Mi | ln Dti+1 - ln Dti | (ln Dti+1 - ln Dti)/Mi |
|----|-----|--------|---------|--------|-------------------|------------------------|
| 5 | 180 | 5,1930 | -0,2377 | 0,3317 | 0,1776812 | 0,5356283 |
| 6 | 215 | 5,3706 | 0,0940 | 0,3446 | 0,4285 | 1,2434 |
| 7 | 330 | 5,7991 | 0,4386 | 0,4360 | 0,2412 | 0,5532 |
| 8 | 420 | 6,0403 | 0,8746 | | | |

Pada tahap ini digunakan *maximum likelihood estimators* (MLE) untuk memperoleh estimasi parameter populasi. Untuk distribusi weibull memiliki perhitungan estimasi parameter sebagai berikut:

$$\beta=b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad \text{.....(4. 37)}$$

$$= \frac{(8(-13,2576)) - (39,0427)(-4,1125)}{8(196,1575) - (39,0427)^2}$$

$$= 1,213106141$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad \text{.....(4. 38)}$$

$$= -0,5141 - (1,213106141 * 4,8803)$$

$$= -6,434431999$$

$$\theta = e^{-\left(\frac{a}{b}\right)} \quad \text{.....(4. 39)}$$

$$= e^{-\left(\frac{-6,434431999}{1,213106141}\right)}$$

$$= 201,1591671$$

Dimana:

β = parameter bentuk

θ = parameter skala

$$Z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i-0,5}{n+0,25} \right) \right] \quad \text{.....(4. 40)}$$

Berikut merupakan perhitungan untuk uji *Mann's Test* pada distribusi Weibull:

$$k_1 = \frac{n}{2} = \frac{8}{2} = 4$$

$$k_2 = \frac{n-1}{2} = \frac{7}{2} = 3,5$$

$$M_{\text{hitung}} = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{n-1} [(\ln dt_{i+1} - \ln dt_i) / M_i]}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} [(\ln dt_{i+1} - \ln dt_i) / M_i]} \quad \text{.....(4. 41)}$$

$$= \frac{4 \times 2,332180561}{3,5 \times 3,192980713}$$

$$= 0,834752681$$

$$F_{\text{crit}(0,05,2k_2,2k_1)} = F_{\text{crit}(0,05,7,8)} = 3,500463855$$

Dimana:

M = Nilai uji statistic untuk *Mann's Test*

d_{ti} = Waktu perbaikan ke- i

n = Jumlah data perbaikan

Berdasarkan perhitungan di atas, dapat dilihat bahwa nilai M_{hitung} lebih kecil daripada nilai F_{crit} pada uji kesesuaian *Mann's Test* yaitu $M_{hitung} < F_{crit}$ atau $0,834752681 < 3,500463855$, maka dapat dinyatakan bahwa H_0 diterima dan H_1 ditolak yang artinya data waktu perbaikan *Time To Repair* berdistribusi weibull.

4.5.12 Penentuan Nilai Tengah dari Distribusi Data Waktu Perbaikan (*Mean Time to Repair*)

Berikut merupakan perhitungan nilai *Mean Time to Repair* (MTTR) pada distribusi weibull:

$$\begin{aligned} \text{MTTR} &= \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) && \dots\dots(4. 42) \\ &= 201,1591671 \Gamma \left(1 + \frac{1}{1,213106141} \right) \\ &= 201,1591671 \Gamma(1,824330177) \\ &= 201,1591671 \times 0,938 \\ &= 188,7009282 \text{ menit} \end{aligned}$$

4.5.13 Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan dengan Minimasi

Downtime

Perhitungan interval yang dilakukan pada tahap ini menggunakan metode *age replacement*, dimana akan dipilih nilai paling kecil dari waktu *downtime* untuk menentukan penggantian yang paling optimal. Beberapa data yang akan digunakan yaitu:

1. Data interval waktu antar kerusakan dengan distribusi eksponensial

$$\text{MTTF} = 54999,57143 \text{ menit}$$

2. Waktu pergantian untuk kerusakan komponen

$$T_f = \text{MTTR} = 188,7009282 \text{ menit}$$

3. Waktu pergantian *preventive*

$$T_p = \text{MTTR} = 188,7009282 \text{ menit}$$

Setelah data terkumpul kemudian selanjutnya dilakukan perhitungan interval waktu untuk penggantian komponen seperti pada tabel 4.26 berikut ini.

Tabel 4. 26 Perhitungan Interval Waktu Penggantian

| tp | R(tp) | F(tp) | tp+Tp | (MTTF/F(tp))+Tf | D(tp) |
|--------------|--------------------|--------------------|------------------|--------------------|----------------------------|
| 32290 | 0,555939678 | 0,444060322 | 32478,701 | 124044,7824 | 0,00258001164472663 |
| 36855 | 0,511659389 | 0,488340611 | 37043,701 | 112814,1313 | 0,00254844631167131 |
| 43355 | 0,454626594 | 0,545373406 | 43543,701 | 101036,2502 | 0,00251941835004411 |
| 43552 | 0,453001104 | 0,546998896 | 43740,701 | 100736,5665 | 0,00251878719162283 |
| 44730 | 0,443401737 | 0,556598263 | 44918,701 | 99002,46855 | 0,00251528689896330 |
| 45255 | 0,439189369 | 0,560810631 | 45443,701 | 98260,25741 | 0,00251387433399601 |
| 45256 | 0,439181384 | 0,560818616 | 45444,701 | 98258,86101 | 0,00251387172819249 |
| 45257 | 0,439173399 | 0,560826601 | 45445,701 | 98257,46468 | 0,00251386912270917 |
| 45258 | 0,439165414 | 0,560834586 | 45446,701 | 98256,06841 | 0,00251386651754603 |
| 45259 | 0,439157429 | 0,560842571 | 45447,701 | 98254,67221 | 0,00251386391270308 |
| 45260 | 0,439149445 | 0,560850555 | 45448,701 | 98253,27607 | 0,00251386130818028 |
| 45261 | 0,43914146 | 0,56085854 | 45449,701 | 98251,88 | 0,00251385870397763 |
| 45262 | 0,439133476 | 0,560866524 | 45450,701 | 98250,48399 | 0,00251385610009512 |
| 45263 | 0,439125492 | 0,560874508 | 45451,701 | 98249,08805 | 0,00251385349653273 |
| 45264 | 0,439117507 | 0,560882493 | 45452,701 | 98247,69217 | 0,00251385089329045 |
| 45265 | 0,439109523 | 0,560890477 | 45453,701 | 98246,29636 | 0,00251384829036827 |
| 50000 | 0,402887468 | 0,597112532 | 50188,701 | 92297,92396 | 0,00250490244167889 |
| 51000 | 0,395628376 | 0,604371624 | 51188,701 | 91191,60253 | 0,00250381646897104 |
| 54000 | 0,374626469 | 0,625373531 | 54188,701 | 88135,45386 | 0,00250206414691588 |
| 54998 | 0,367889952 | 0,632110048 | 55186,701 | 87198,18863 | 0,00250195194193580 |
| 54999 | 0,367883263 | 0,632116737 | 55187,701 | 87197,26792 | 0,00250195194169806 |
| 55000 | 0,367876575 | 0,632123425 | 55188,701 | 87196,34724 | 0,00250195194168221 |
| 55001 | 0,367869886 | 0,632130114 | 55189,701 | 87195,42661 | 0,00250195194188824 |
| 60000 | 0,335908126 | 0,664091874 | 60188,701 | 83007,92153 | 0,00250456617827102 |
| 80000 | 0,233503832 | 0,766496168 | 80188,701 | 71943,22986 | 0,00255454932123029 |
| 90000 | 0,194684226 | 0,805315774 | 90188,701 | 68484,35985 | 0,00259525939412210 |
| 100000 | 0,162318311 | 0,837681689 | 100188,7 | 65845,58729 | 0,00264212622179930 |
| 110000 | 0,135333174 | 0,864666826 | 110188,7 | 63796,52047 | 0,00269284537418599 |
| 111000 | 0,132894786 | 0,867105214 | 111188,7 | 63617,64883 | 0,00269805582828646 |
| 114000 | 0,125840075 | 0,874159925 | 114188,7 | 63105,75976 | 0,00271379206158840 |
| 114100 | 0,125611481 | 0,874388519 | 114288,7 | 63089,31116 | 0,00271431898957478 |
| 114000 | 0,125840075 | 0,874159925 | 114188,7 | 63105,75976 | 0,00271379206158840 |
| 115000 | 0,123572731 | 0,876427269 | 115188,7 | 62942,99139 | 0,00271906738414120 |
| 116200 | 0,120905777 | 0,879094223 | 116388,7 | 62752,61048 | 0,00272541417089389 |
| 116300 | 0,120686147 | 0,879313853 | 116488,7 | 62736,98358 | 0,00272594380676186 |
| 116400 | 0,120466915 | 0,879533085 | 116588,7 | 62721,39284 | 0,00272647354949090 |
| 116450 | 0,120357449 | 0,879642551 | 116638,7 | 62713,61101 | 0,00272673846049541 |
| 116400 | 0,120466915 | 0,879533085 | 116588,7 | 62721,39284 | 0,00272647354949090 |
| 116499 | 0,120250268 | 0,879749732 | 116687,7 | 62705,99355 | 0,00272699809869648 |
| 116500 | 0,120248082 | 0,879751918 | 116688,7 | 62705,83818 | 0,00272700339769610 |
| 116550 | 0,120138814 | 0,879861186 | 116738,7 | 62698,07434 | 0,00272726836092035 |
| 116560 | 0,120116972 | 0,879883028 | 116748,7 | 62696,52265 | 0,00272732135667285 |

| tp | R(tp) | F(tp) | tp+Tp | (MTTF/F(tp))+Tf | D(tp) |
|---------|-------------|-------------|-----------|------------------|----------------------------|
| 116570 | 0,120095135 | 0,879904865 | 116758,7 | 62694,97132 | 0,00272737435345802 |
| 116580 | 0,120073301 | 0,879926699 | 116768,7 | 62693,42035 | 0,00272742735127448 |
| 116600 | 0,120029646 | 0,879970354 | 116788,7 | 62690,31948 | 0,00272753334999575 |
| 116601 | 0,120027463 | 0,879972537 | 116789,7 | 62690,16448 | 0,00272753865003976 |
| 1000000 | 1,26962E-08 | 0,999999987 | 1000188,7 | 55188,27306 | 0,00341922072867279 |
| | | | | Min D(tp) | 0,00250195194168221 |

Dimana:

tp = Waktu penggantian optimal

Tp = Waktu penggantian pencegahan

Tf = Waktu penggantian kerusakan

R(tp) = Fungsi keandalan komponen

F(tp) = Fungsi probabilitas distribusi kumulatif

M(tp) = Nilai tingkat kemudahan dalam pemeliharaan

D(tp) = Probabilitas *downtime* untuk perawatan

Berikut merupakan contoh perhitungan interval waktu penggantian komponen *thermoforming motor servo* dengan distribusi eksponensial pada tp=116601.

$$R(tp) = e^{(-\lambda.t)} \quad \text{.....(4. 43)}$$

$$= e^{(-1,8182E-05 \times 116601)}$$

$$= 0,120027463$$

$$F(tp) = 1 - e^{(-\lambda.t)} \quad \text{.....(4. 44)}$$

$$= 1 - e^{(-1,8182E-05 \times 116601)}$$

$$= 0,879972537$$

$$M(tp) = \frac{MTTF}{F(tp)} + Tf \quad \text{.....(4. 45)}$$

$$= \frac{54999,57143}{0,879972537} + 188,7009282$$

$$= 62690,16448$$

$$D(tp) = \frac{Tp.R(tp) + Tf.F(tp)}{(tp+Tp).R(tp) + (M(tp)+Tf).F(tp)} \quad \text{.....(4. 46)}$$

$$= \frac{(188,7009282 \times 0,120027463) + (188,7009282 \times 1)}{(116789,7009 \times 0,120027463) + ((62690,16448 + 188,7009282) \times 1)}$$

$$= 0,00272753865003976$$

Berdasarkan pada tabel di atas diketahui bahwa nilai D(tp) paling kecil adalah 0,00250195194168221, yaitu pada tp 55000. Maka *age replacement* pada komponen *thermoforming moto servo* adalah 55000 menit.

4.5.14 Perhitungan Interval Waktu Pemeriksaan Dengan Minimasi *Downtime*

Berikut merupakan tahapan perhitungan untuk interval waktu pemeriksaan komponen *thermoforming motor servo*:

1. Rata-rata jumlah kerusakan (k)

a. 1 bulan = 30 hari, 1 hari = 24jam kerja

$$t = 30 \text{ hari} \times 24 \text{ jam} \times 60 \text{ menit} = 43200 \text{ menit/bulan}$$

b. Jumlah kerusakan selama 1 tahun yaitu 8 kali

c. Rata-rata kerusakan

$$k = \frac{\text{jumlah kerusakan selama 1 tahun}}{12 \text{ bulan}} \quad \dots\dots(4. 47)$$

$$k = \frac{8}{12 \text{ bulan}} = 0,666666667$$

2. Waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk perbaikan (μ)

a. MTTR = 188,7009282 menit

b. t = 43200 menit/bulan

c. Perhitungan μ

$$\mu = t/\text{MTTR} \quad \dots\dots(4. 48)$$

$$= 43200/188,7009282$$

$$= 228,933691$$

3. Waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk pemeriksaan (1/i)

a. Waktu untuk melakukan pemeriksaan (t_i) = 15 menit

b. t = 43200 menit/bulan

c. Perhitungan waktu rata-rata

$$1/i = t_i/t \quad \dots\dots(4. 49)$$

$$1/i = 15/43200$$

$$1/i = 0,000347222$$

$$i = 2880 \text{ menit}$$

4. Perhitungan frekuensi pemeriksaan

$$n = \sqrt{\frac{k.i}{\mu}} \quad \text{.....(4. 50)}$$

$$n = \sqrt{\frac{0,666666667 \times 2880}{228,933691}}$$

$$n = 2,89598134 \approx 3 \text{ kali pemeriksaan per bulan}$$

5. Interval waktu pemeriksaan

$$= \frac{t}{n} \quad \text{.....(4. 51)}$$

$$= \frac{43200}{3}$$

$$= 14400 \text{ menit} = 240 \text{ jam}$$

Maka dapat disimpulkan bahwa pemeriksaan terhadap komponen kritis mesin *thermoforming* yaitu *thermoforming motor servo* dapat dilakukan setiap 3 kali perbulan setiap 240 jam setelah adanya pergantian pecegahan ataupun pemeriksaan terakhir.

4.5.15 Perbandingan *Reliability* Sesudah dan Sebelum Penentuan Interval Waktu

Penggantian Pencegahan Komponen

Adanya penggantian pencegahan dapat berpengaruh terhadap keandalan dari suatu sistem atau komponen. Untuk menghitung nilai *reliability* berdasarkan distribusi eksponensial dari data kerusakan maka dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

a. *Reliability* sebelum interval waktu panggantian

Reliability pada saat ini merupakan keadaan diawal dimana belum diterapkan penggantian pencegahan pada suatu sistem atau komponen. Berikut merupakan rumus yang digunakan pada distribusi eksponensial.

$$R(t) = \exp(-\lambda t) \quad \text{.....(4. 52)}$$

b. *Reliability* setelah interval waktu panggantian

Pada kondisi ini telah diterapkan interval waktu pergantian sehingga dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$R(t-nT) = \exp(-\lambda(t - nT)) \quad \text{.....(4. 53)}$$

Dimana:

n = jumlah perawatan yang telah dilakukan

T = interval waktu perawatan pencegahan

Berikut merupakan perhitungan *Reliability* sebelum dan sesudah dilakukan tindakan penggantian pencegahan dengan data-data yang diperlukan sebagai berikut.

$$tp = 188,7009282 \text{ menit}$$

$$tf = 188,7009282 \text{ menit}$$

$$\lambda = 1,8182E-05$$

$$T(\text{age replacement}) = 55000 \text{ menit}$$

Tabel 4. 27 Perbandingan *Reliability* Sesudah dan Sebelum Adanya Interval Waktu Penggantian

| n | tp | R(tp) | R(t-nT) |
|---|--------|------------|-------------|
| 0 | 1 | 0,99998182 | 0,999981818 |
| 0 | 100 | 0,99818346 | 0,998183456 |
| 0 | 1000 | 0,98198233 | 0,981982335 |
| 0 | 10000 | 0,83375174 | 0,833751737 |
| 0 | 20000 | 0,69514196 | 0,695141959 |
| 0 | 32290 | 0,55593968 | 0,555939678 |
| 0 | 36855 | 0,51165939 | 0,511659389 |
| 0 | 43355 | 0,45462659 | 0,454626594 |
| 0 | 43552 | 0,4530011 | 0,453001104 |
| 0 | 44730 | 0,44340174 | 0,443401737 |
| 0 | 45255 | 0,43918937 | 0,439189369 |
| 0 | 45256 | 0,43918138 | 0,439181384 |
| 0 | 45257 | 0,4391734 | 0,439173399 |
| 0 | 45258 | 0,43916541 | 0,439165414 |
| 0 | 45259 | 0,43915743 | 0,439157429 |
| 0 | 45260 | 0,43914944 | 0,439149445 |
| 0 | 45261 | 0,43914146 | 0,43914146 |
| 0 | 45262 | 0,43913348 | 0,439133476 |
| 0 | 45263 | 0,43912549 | 0,439125492 |
| 0 | 45264 | 0,43911751 | 0,439117507 |
| 0 | 45265 | 0,43910952 | 0,439109523 |
| 0 | 50000 | 0,40288747 | 0,402887468 |
| 0 | 51000 | 0,39562838 | 0,395628376 |
| 0 | 54000 | 0,37462647 | 0,374626469 |
| 0 | 54998 | 0,36788995 | 0,367889952 |
| 0 | 54999 | 0,36788326 | 0,367883263 |
| 1 | 55000 | 0,36787657 | 1 |
| 1 | 55001 | 0,36786989 | 0,999981818 |
| 1 | 60000 | 0,33590813 | 0,913100069 |
| 1 | 80000 | 0,23350383 | 0,634734171 |
| 1 | 90000 | 0,19468423 | 0,529210717 |
| 1 | 100000 | 0,16231831 | 0,441230355 |
| 2 | 110000 | 0,13533317 | 1 |
| 2 | 111000 | 0,13289479 | 0,981982335 |

| n | tp | R(tp) | R(t-nT) |
|---|--------|------------|-------------|
| 2 | 114000 | 0,12584008 | 0,929853865 |
| 2 | 114100 | 0,12561148 | 0,928164745 |
| 2 | 114000 | 0,12584008 | 0,929853865 |
| 2 | 115000 | 0,12357273 | 0,913100069 |
| 2 | 116200 | 0,12090578 | 0,893393495 |
| 2 | 116300 | 0,12068615 | 0,891770606 |

Contoh perhitungan:

t = 55001 menit

n = 1

$$R(t) = \exp(-\lambda t) \dots\dots(4. 54)$$

$$= \exp(-1,8182E - 05 \times 55001)$$

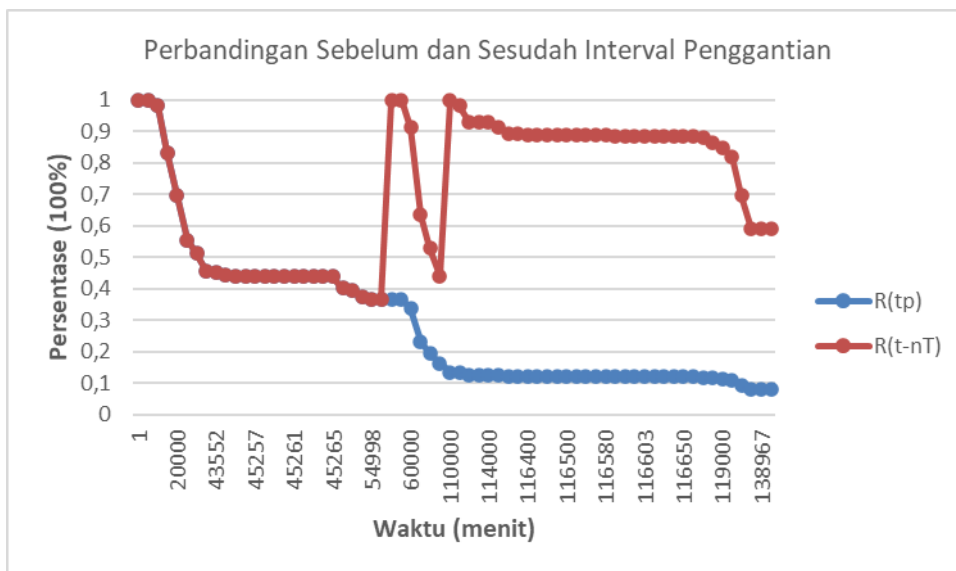
$$= 0,36786989$$

$$R(t-nT) = \exp(-\lambda(t - nT)) \dots\dots(4. 55)$$

$$= \exp(-1,8182E - 05(55001 - (1 \times 55000)))$$

$$= 0,999981818$$

Sehingga pada tingkat keandalan pada menit ke 55001 terjadi perubahan dari yang sebelum dilakukan pergantian pencegahan adalah sebesar 0,36786989 dan setelah dilakukan pergantian pencegahan naik menjadi 0,999981818.



Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan *Reliability* Sesudah dan Sebelum Adanya Interval Penggantian

BAB V PEMBAHASAN

5.1 Analisa Perawatan Reliability Centered Maintenance (RCM)

5.1.1 Analisa *Function Block Diagram* (FBD)

Dalam implementasi penggunaan RCM di PT. Tirta Sukses Perkasa salah satunya adalah dengan membuat alur blok diagram yang berisikan informasi lengkap mengenai sistem dari peralatan dalam hal ini yaitu mesin pencetak cup. Dalam hal ini implementasi FBD adalah bentuk lebih sederhana yang menjelaskan proses dari suatu sistem yang ada di perusahaan.

Dari gambaran pada gambar 4.3 bab IV dapat dilihat bahwa mesin utama mesin *thermoforming* didukung oleh beberapa bagian komponen lainnya seperti *auto loader*, *extruder*, *roll calender*, *stacking* serta *glanurator*. seluruh bagian dari komponen tersebut juga perlu adanya *air compressor* untuk dapat bekerja. Selain itu, pada *exxtruder*, *roll calender*, *forming*, dan *stacking* membutuhkan support komponen yang lainnya yaitu *water chiller*. Komponen *autoloader* pada mesin *thermoforming* digunakan untuk mengangkut material dari tahap satu ke tahap yang lainnya. *Extruder* digunakan untuk melakukan proses peleburan pada material utama yaitu lembaran plastik dengan suhu antara 200-230 derajat celcius. Komponen *roll calendar* sendiri digunakan untun mengatur ketebalan haisl produk sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh Perusahaan. Komponen *forming* digunakan untuk membentuk lembaran plastik yang telah dilelehkan menjadi bentuk sesuai dengan cetakan untuk produk. *Air compressor* sendiri digunakan sebagai pengubah energi listrik menjadi energi kinetik dengan cara melakukan kompresi atau penekanan udara. *Water chiller* digunakan sebagai pendingin cairan sekaligus untuk mengontrol suhu pada mesin. Kemudian *stacking* digunakan untuk penyusunan produk cup yang sudah jadi. Untuk proses lengkapnya dapat dilihat pada gambar 4.4 bab IV mulai dari awal mesin menyala sampai dengan produk jadi.

5.1.2 Analisa *Failure Mode Affect and Analysis* (FMEA)

Untuk tahap FMEA ini dilakukan berbagai macam indentifikasi mesin *thermoforming* untuk mencari trouble dan kerusakan pada komponen apa saja sehingga dapat di ambil sebuah tindakan atau sebuat cara untuk meminimalisir trouble sampai penganggaran suku cadang. Penilaian yang dilakukan meliputi penilaian pada aspek tingkat kegagalan : *Saverity* (S), *Occurance* (O) dan *Detection* (D) yang dapat dihitung dengan rumus nilai RPN (*Risk Priority*

Number) dapat dilihat pada tabel 4.6. Dari data yang dihitung dalam tabel 4.6 dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai yang paling kritis serta membutuhkan penanganan lebih lanjut sehingga dapat dilakukan perawatan dengan tepat. Dari tabel 4.6 dapat diketahui bahwa komponen-komponen yang bermasalah pada mesin *thermoforming*, dari data yang hitungan yang diperoleh dapat diketahui bahwa komponen yang paling kritis pada mesin yaitu *thermoforming moto servo* pada bagian *forming* dengan nilai RPN sebesar 256. Nilai RPN 256 didapatkan dari hasil perkalian *saverity*, *occurance*, dan *detection* dimana *saverity* atau tingkat bahaya berada pada skor 8 dari rentang 1-10, *occurance* atau frekuensi kegagalan dengan skor 4 dari rentang 1-10 dan *detection* atau tingkat pengendalian kegagalan dengan skor 8 dari rentang 1-10. Komponen *motor servo* sendiri digunakan dalam mesin *thermoforming* sebagai penggerak pada proses *forming* pada pembuatan cup. Kegagalan yang biasa terjadi pada komponen ini yaitu listrik trip atau pemutusan listrik secara tiba tiba dengan pemberitahuan melalui alarm yang menyala. Akibat dari pemutusan listrik tersebut adalah mesin menjadi berhenti untuk berproduksi sehingga tidak dapat menghasilkan produk jadi air minum mineral dalam kemasan ukuran cup 220ml. Sehingga diketahui komponen mana yang perlu perhatian khusus sehingga bisa di lakukan tindakan yang tepat dan benar sehingga kegagalan produksi dapat diminimalisir sejak dini.

5.1.3 Analisa Kategori Menggunakan Logic Tree Analysis (LTA)

Untuk tahap *Logic Tree Analysis* (LTA) meliputi 3 kriteria penilaian antara lain *evident*, *safety*, dan *outage*, dengan ke tiga penilaian ini bertujuan untuk mengklarifikasi tingkat prioritas dan jenis kategori setiap kegagalan /kerusakan pada komponen mesin *thermoforming*. Dari ketiga penilaian dalam penelitian ini dapat di lihat pada tabel 4.7 tentang LTA Mesin *Thermoforming*. Setelah melihat isian pada tabel 4.7 di data dapat dilihat komponen yang rusak pada mesin *thermoforming* yaitu pada komponen *motor servo* pada bagian *forming* serta seluruh komponen pada mesin *thermoforming* mempunyai isian yang sama setiap kolomnya sehingga perlu jadi prioritas sehingga perlu di buat tingkat prioritas untuk melakukan penanganan sehingga dapat mempersempit kegagalan yang lebih parah. Dari hasil penetilian yang sudah diolah diatas atau mengenai tahap ini seluruh kondisi komponen mesin masuk dalam kategori B atau *outage problem*.

5.1.4 Analisa Pemilihan Tindakan

Pada tahap pemilihan tindakan didasarkan atas jawaban dari *selection task* yang sudah disesuaikan oleh panduan pemilihan tindakan. Menurut Hakim (2014) pemilihan tindakan merupakan tahap terakhir dari proses analisis RCM. Dari mode kerusakan dibuat daftar tindakan yang mungkin untuk dilakukan setiap komponen ditentukan dalam tindakan *time directed* (TD) dan *condition directed* (CD). Yang dimaksud dengan TD (*Time Directed*) adalah lebih berfokus pada aktifitas pergantian yang dilakukan secara berkala dengan berdasarkan perhitungan reliability sedangkan CD (*Condition directed*) yang dimaksud mempunyai tujuan untuk mendeteksi kerusakan dengan cara memeriksa alat, serta memonitoring sejumlah data yang ada. Apabila ada pendeteksian ditemukan gejala-gejala kerusakan peralatan maka dilanjutkan dengan perbaikan atau penggantian komponen. Adapun tindakan untuk komponen kritis mesin thermoforming dapat dilihat pada tabel 4.8 *Selectio Taks Mesin Thermoforming*.

5.2 Analisa Penentuan Mesin Kritis

Penentuan mesin kritis di tentukan dengan menghitung jumlah total *downtime* dan frekuensi kerusakan dari masing-masing mesin, dan yang menjadi kreteria untuk penentuan mesin kritis adalah mesin yang memiliki jumlah total *downtime* terbesar dan frekuensi kerusakan terbanyak. Perhitungan yang dilakukan berdasarkan data *Downtime* dan frekuensi kerusakan yang diperoleh dari perusahaan selama periode Januari 2021 sampai dengan Desember 2021, dan berdasarkan data jumlah *downtime* terbesar serta frekuensi kerusakan terbanyak adalah mesin *thermoforming*, sehingga dapat ditentukan bahwa mesin kritis adalah mesin *thermoforming*.

Tabel 5. 1 Total *Downtime* Kerusakan Mesin

| No | Mesin | Frekuensi Kerusakan | <i>Downtime</i> (menit) | % <i>Downtime</i> |
|----|----------------------|---------------------|-------------------------|-------------------|
| 1 | <i>Thermoforming</i> | 70 | 17434 | 28,33% |
| 2 | <i>Filling cup</i> | 92 | 15786 | 25,65% |
| 3 | <i>Blow</i> | 48 | 13616 | 22,13% |
| 4 | <i>Filling botol</i> | 65 | 9324 | 15,15% |
| 5 | <i>Filling galon</i> | 44 | 5378 | 8,74% |
| | Total | 319 | 61538 | 100,00% |

Berdasarkan tabel 5.1 serta diagram pareto yang telah dibuat maka dapat dikatehui bahwa mesin kritis pada lini produksi air mineral cup adalah mesin *thermoforming* dengan *downtime* sebesar 17434 menit dan persentase *downtime* yaitu 28,33%. Jumlah nilai persentase tersebut menunjukkan seberapa besar mesin berpengaruh terhadap proses produksi, sehingga dapat disimpulkan bahwa mesin *thermoforming* berpengaruh sebesar 28,33% pada proses produksi selama periode Januari 2021 sampai dengan Desember 2021.

5.3 Analisa Penentuan Komponen Kritis

Setelah ditentukan mesin kritis yaitu mesin *thermoforming*., maka tahap selanjutnya adalah menentukan komponen kritis, dimana cara menentukan komponen kritis sama seperti cara menentukan mesin kritis, yaitu berdasarkan jumlah *downtime* terbesar dan frekuensi kerusakan terbanyak, hanya saja jumlah *downtime* dan frekuensi kerusakan yang dihitung adalah jumlah *downtime* dan frekuensi kerusakan yang dihitung adalah jumlah *downtime* dan frekuensi kerusakan komponen-komponen dari mesin *thermoforming* seperti yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. 2 Total *Downtime* Komponen Kritis

| No | Komponen Mesin | Frekuensi Kerusakan | <i>Downtime</i> (menit) | <i>Downtime</i> Kumulatif | % <i>Downtime</i> | % <i>Downtime</i> Kumulatif |
|----|---------------------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------|-----------------------------|
| 1 | <i>Thermoforming Motor Servo</i> | 8 | 1433 | 1433 | 8,22% | 8,22% |
| 2 | <i>Bearing Screw</i> | 1 | 1380 | 2813 | 7,92% | 16,14% |
| 3 | <i>Kompresor Chiller</i> | 1 | 1380 | 4193 | 7,92% | 24,05% |
| 4 | <i>Extrusion Motor Drive Inverter</i> | 8 | 1350 | 5543 | 7,74% | 31,79% |
| 5 | <i>Stacking</i> | 8 | 1310 | 6853 | 7,51% | 39,31% |
| 6 | <i>Autoloader</i> | 5 | 1220 | 8073 | 7,00% | 46,31% |
| 7 | <i>Cutting</i> | 4 | 1115 | 9188 | 6,40% | 52,70% |
| 8 | <i>Calendar Unit</i> | 5 | 1110 | 10298 | 6,37% | 59,07% |
| 9 | <i>Thermoforming Heater</i> | 6 | 1080 | 11378 | 6,19% | 65,26% |
| 10 | <i>Mould Insert dan Plug Assist</i> | 4 | 1036 | 12414 | 5,94% | 71,21% |
| 11 | <i>Kondensasi</i> | 2 | 755 | 13169 | 4,33% | 75,54% |
| 12 | <i>Valve Angin</i> | 2 | 570 | 13739 | 3,27% | 78,81% |
| 13 | <i>Inverter</i> | 2 | 540 | 14279 | 3,10% | 81,90% |
| 14 | <i>Selang Cooling</i> | 1 | 520 | 14799 | 2,98% | 84,89% |
| 15 | <i>Fan Motor Extru</i> | 1 | 460 | 15259 | 2,64% | 87,52% |
| 16 | <i>Sensor Error</i> | 1 | 420 | 15679 | 2,41% | 89,93% |
| 17 | <i>Roll Bank</i> | 1 | 340 | 16019 | 1,95% | 91,88% |
| 18 | <i>Pressure Material</i> | 2 | 320 | 16339 | 1,84% | 93,72% |

| No | Komponen Mesin | Frekuensi Kerusakan | Downtime (menit) | Downtime Kumulatif | % Downtime | % Downtime Kumulatif |
|----|------------------|---------------------|------------------|--------------------|------------|----------------------|
| 19 | Suplai Kompresor | 2 | 320 | 16659 | 1,84% | 95,55% |
| 20 | Kompresor Drop | 2 | 315 | 16974 | 1,81% | 97,36% |
| 21 | Suplai Material | 2 | 260 | 17234 | 1,49% | 98,85% |
| 22 | Granulator | 2 | 200 | 17434 | 1,15% | 100,00% |

Berdasarkan data jumlah *downtime* dan frekuensi kerusakan tiap-tiap komponen pada mesin *thermoforming*, dapat diketahui bahwa komponen yang memiliki jumlah *downtime* terbesar dan frekuensi kerusakan terbanyak adalah komponen *thermoforming motor servo* dengan waktu *downtime* sebesar 1433 menit atau 8,22%, sehingga dapat ditentukan bahwa komponen kritis adalah komponen *thermoforming motor servo*. Besaran persentase menunjukkan bahwa dengan adanya *maintenance* dapat mencegah sebesar 8,22% dari kerusakan yang ditimbulkan oleh komponen mesin *thermoforming motor servo*.

5.4 Analisa Terhadap Data Interval Waktu Kerusakan dan Interval Waktu Perbaikan, Perhitungan *Index of Fit*, Parameter Distribusi, MTTF, MTTR, serta Interval Waktu Penggantian dan Interval Waktu Pemeriksaan

Untuk komponen *thermoforming motor servo* perhitungan interval waktu antar kerusakan dilakukan dengan cara menghitung selang waktu antara kerusakan dari suatu kerusakan dimulai pada saat kerusakan selesai diperbaiki sampai terjadi kerusakan berikutnya (ti). Untuk komponen *thermoforming motor servo* dapat dilihat pada bab IV tabel 4. 11. Jika dilihat dari perhitungan interval waktu antara kerusakan (*time to failure*) untuk semua kerusakan yang terjadi pada komponen mesin *thermoforming* memperlihatkan *time to failure* setiap komponen memiliki jarak waktu yang tidak menentu untuk setiap terjadinya kerusakan. Hal ini disebabkan oleh banyak faktor antara lain beban mesin yang sangat tinggi karena dituntut menghasilkan produksi dalam jumlah yang besar dan karena belum diterapkannya sistem perawatan mesin secara teratur dan terjadwal atau juga karena umur mesin yang tua sehingga sering terjadi *breakdown*. Sebaiknya *time to failure* yang terjadi memiliki jarak waktu yang lama (panjang), dimana menunjukkan *breakdown* yang jarang terjadi dalam hal pengoperasian mesin tersebut.

Sedangkan untuk perhitungan waktu perbaikan (*time to repair*) sama dengan *downtime* kerusakan mesin diperoleh dengan menghitung lamanya waktu yang dibutuhkan

untuk perbaikan komponen yang rusak, dimulai dari terhentinya operasi karena terdeteksi adanya kerusakan sampai kerusakan tersebut selesai diperbaiki. Satuan waktu yang digunakan adalah menit.

Jika dilihat dari perhitungan *time to repair*, waktu kerusakan satu komponen dari kerusakan yang satu ke kerusakan berikutnya kadang tidak sama. Hal ini dapat disebabkan oleh faktor misalnya kemampuan operator dalam menangani mode kegagalan atau bisa juga dikarenakan tidak tersedianya suku cadang komponen tersebut.

Setelah perhitungan *time to failure* dan *time to repair* diselesaikan, dilanjutkan distribusi dilakukan dengan identifikasi distribusi dari hasil perhitungan tersebut. Penentuan disribusai dilakukan dengan metode *Least Square Curve Fitting* yang bertujuan untuk menentukan distribusi apa yang mewakili atau mendekati penyebaran data-data *time to failure* dan *time to repair*. Distribusi yang digunakan dalam metode *Least Square Curve Fitting* adalah distribusi *Weibull*, *Eksponensial*, Normal dan Lognormal. Perhitungan yang dilakukan dalam metode *Least Square Curve Fitting* adalah menentukan nilai *index of fit* (r), dimana *index of fit* merupakan gambaran untuk menunjukkan hubungan antara penyebaran data dan distribusinya. Berikut merupakan hasil perhitungan dengan metode LSCF pada komponen motor servo.

1. Data *time to failure*

Distribusi yang digunakan yaitu distribusi eksponensial dengan nilai *index of fot* sebesar 0,8640339.

2. Data *time to repair*

Distribusi yang digunakan yaitu distribusi weibull dengan nilai *index of fot* sebesar 0,994617032.

Nilai 0,8640339 pada distribusi exponensial perhitungan *index of fit* pada data *time to failure* dapat diartikan bahwa sebaran data *time to failure* sesuai terhadap sebaran distribusi eksponensial sebesar 86,41%. Sedangkan Nilai 0,994617032 pada distribusi weibull perhitungan *index of fit* pada data *time to repair* dapat diartikan bahwa sebaran data *time to repair* sesuai terhadap sebaran distribusi weibull sebesar 99,46%. Nilai *index of fit* sendiri menggambarkan hubungan korelasi antara variabel satu dengan variabel lainnya secara linier yang menunjukkan koefisien antara 1 dan 0, dalam arti apabila nilai *index of fit* semakin besar atau mendekati 1 maka suatu data dinyatakan semakin sesuai dengan distribusi tersebut. Dan sebaliknya apabila nilai *index of fit* semakin kecil atau mendekati 0 maka suatu data

dinyatakan tidak memiliki hubungan antara variabel satu dengan variabel lain atau memiliki hubungan linier yang lemah.

Berdasarkan penentuan distribusi, maka diperoleh nilai estimasi parameter untuk tiap-tiap distribusi yang terpilih. Perhitungan estimasi parameter yang akurat dilakukan dengan menggunakan metode *maximum likelihood estimator*, dengan hasil perhitungan untuk komponen *thermoforming motor servo* adalah sebagai berikut.

a. Estimasi parameter distribusi eksponensial untuk data *time to failure*

1. Parameter λ : 1,8182E-05

b. Estimasi parameter distribusi weibull untuk data *time to repair*

1. Parameter bentuk (β) : 1,213106141

2. Parameter skala (θ) : 201,1591671

Setelah mendapatkan distribusi yang mewakili data komponen baik untuk data *time to failure* maupun data *time to repair* dengan melihat dari nilai *index of fit* yang terbesar dari masing-masing distribusi untuk data *time to failure* maupun data *time to repair*, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian kecocokan distribusi atau uji *Goodnes of Fit* untuk mengetahui dan memastikan apakah distribusi yang telah didapatkan untuk mewakili penyebaran data telah benar. Uji ini merupakan uji khusus dimana masing-masing distribusi memiliki metode pengujian yang berbeda yaitu *Mann's test* untuk distribusi Weibull, uji Kolmogorov-Smirnov untuk distribusi normal dan lognormal, dan *Barlett's test* untuk distribusi eksponensial. Pada penelitian kali ini, dalam setiap distribusi menggunakan nilai tingkat signifikansi (α) 0,05, yang artinya tingkat kesalahan yang dapat ditolerir dalam pengujian data adalah sebesar 5%. Berdasarkan distribusi terpilih maka didapatkan hasil nilai untuk *mean time to failure* dan *mean time to repair* sebagai berikut.

a. *Mean time to failure* dengan distribusi eksponensial

MTTF : 54999,57143 menit

b. *Mean time to repair* dengan distribusi Weibull

MTTR : 188,7009282 menit

Berdasarkan perhitungan dari penentuan nilai tengah tersebut dapat diketahui bahwa komponen *thermoforming motor servo* diperkirakan akan mengalami kerusakan kembali pada menit ke 54999,57143. Sedangkan dari nilai *mean time to repair* dapat diketahui bahwa rata-rata waktu yang diperlukan untuk melakukan perbaikan pada komponen tersebut adalah selama 188,7009282 menit. Pada age replacement, yaitu penentuan dilakukannya penggantian

pada umur optimal suatu komponen, maka apabila komponen mengalami kerusakan sebelum waktu yang diperkirakan akan selanjutnya komponen akan diganti setelah mencapai umur optimal tersebut.

Nilai *age replacement* yang didapatkan dari hasil perhitungan $\min(Dtp)$ yaitu pada menit ke 55000, yang berarti komponen *thermorming motor servo* akan diganti pada menit ke 55000 atau 39 hari setelah pertama kali digunakan atau dioperasikan. Sedangkan interval waktu pemeriksaan memiliki hasil yaitu 240 jam atau 10 hari, yang artinya pemeriksaan terhadap komponen kritis mesin *thermoforming* yaitu *thermoforming motor servo* dapat dilakukan setiap 3 kali perbulan atau setiap 240 jam atau 10 hari sekali setelah adanya pergantian pecegahan ataupun pemeriksaan terakhir. Dengan adanya interval penggantian pencegahan komponen kritis, perusahaan dapat menerapkan kebijakan perawatan dengan merencanakan jadwal penggantian komponen. Sedangkan hasil untuk interval pemeriksaan diperoleh 10 hari, yang berarti pemeriksaan komponen motor servo dilakukan setiap 10 hari sekali. Hal ini dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan yang dapat menyebabkan mesin berhenti beroperasi secara mendadak juga dapat memperpanjang umur dari sebuah komponen.

5.5 Analisa Perbandingan *Reliability* Sebelum dan Sesudah Adanya Interval Penggantian

Dengan dilaksanakannya tindakan perawatan pencegahan (*preventive maintenance*), diharapkan dapat meningkatkan keandalan komponen kritis motor servo, dimana nilai keandalan (*reliability*) komponen merupakan suatu peluang sehingga nilai tertinggi yaitu 1. Berdasarkan grafik 4.7 pada bab IV dapat dilihat bahwa pada menit ke 1 sampai dengan menit ke 54999 terjadi penurunan pada grafik berwarna biru dan berwarna merah yang berarti bahwa seiring berjalannya waktu keandalan dari komponen akan berkurang akibat dari pemakaian secara terus menerus selama 24 jam per hari. Namun pada menit ke 55000 grafik berwarna merah mengalami kenaikan sebab saat itu telah dilakukan langkah penggantian komponen sebagai bentuk perawatan pada mesin sedangkan grafik berwarna biru tetap turun karena tidak dilakukan penggantian pencegahan. Pada grafik tersebut juga dapat dilihat bahwa sesudah adanya perawatan penggantian pencegahan, nilai keandalan dari komponen maksimal turun sampai 40% sedangkan apabila tidak dilakukan *preventive maintenance* maka nilai keandalan komponen dapat turun sampai 10% yang mana dapat menyebabkan banyaknya

downtime pada mesin. Sehingga dapat terlihat bahwa penggantian ini dapat menurunkan terjadinya *downtime* akibat umur penggunaan dari komponen *motor servo*. Pencegahan dengan melakukan penggantian ini dapat mencegah berhentinya mesin secara tiba-tiba yang mengakibatkan produksi produk cup 220ml tidak dapat mencapai target.

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berikut merupakan beberapa kesimpulan yang didapat dari hasil yang telah dijelaskan sebelumnya.

1. Pada PT. Tirta Sukses Perkasa Banjarmasin terdapat 5 mesin yaitu mesin *thermoforming* untuk melakukan proses cetak cup 220ml, mesin *filling cup* untuk melakukan pengisian cup, mesin *blow* untuk proses pembuatan botol, mesin *filling* botol untuk proses pengisian botol 600ml, dan mesin *filling* gallon untuk proses pengisian gallon 20 liter.
2. Berdasarkan hasil dan perhitungan diketahui bahwa dari kelima mesin produksi terdapat satu mesin yang paling sering mengalami kerusakan dalam periode Januari 2021 sampai dengan Desember 2021 yaitu mesin *thermoforming*. Hal tersebut juga didukung oleh FMEA dimana dari 22 komponen pada mesin didapatkan hasil komponen kritis pada mesin *thermoforming* yaitu *thermoforming motor servo* dengan nilai RPN paling tinggi yaitu 256.
3. Perawatan yang dapat dilakukan yaitu perawatan pencegahan dengan cara menghitung MTTF (*Mean Time to Failure*) dan MTTR (*Mean Time to Repair*) sehingga diperoleh waktu interval penggantian untuk komponen *thermoforming motor servo* yaitu setelah pemakaian selama 55000 menit (39 hari) dan interval pemeriksaan dapat dilakukan 240 jam (10 hari) setelah adanya penggantian maupun pemeriksaan sebelumnya dengan frekuensi pemeriksaan 3 kali dalam sebulan. Hal tersebut didukung oleh hasil grafik perbandingan *reliability* sebelum dan sesudah dilakukan penggantian yang menunjukkan adanya kenaikan yang cukup signifikan untuk keandalan komponen mesin tersebut.
4. Berdasarkan pada grafik dari hasil simulasi perbandingan *reliability* sebelum dan sesudah adanya interval penggantian komponen maka dapat diketahui bahwa nilai *reliability* dari komponen mesin naik pada penggantian pertama dari yang semula 0,36787657 menjadi 1 atau dapat dikatakan mengalami peningkatan sebesar 60%.

6.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan bagi perusahaan maupun penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya perlu adanya periode data historis yang lebih banyak sehingga pengolahan data dapat lebih akurat.
2. Perusahaan diharapkan melaksanakan penggantian dan pemeriksaan secara terjadwal sesuai dengan hasil penelitian sehingga tidak terjadi kembali kegagalan atau kerusakan mesin yang tidak terduga.

DAFTAR PUSTAKA

- Ansori, N., & Mustajib, M. I. (2013). *Sistem perawatan Terpadu*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Azwir, H. H., Wicaksono, A. I., & Oemar, H. (2020). Manajemen Perawatan Menggunakan Metode RCM Pada Mesin Produksi Kertas. *JOURNAL ON OPTIMIZATIONS OF SYSTEMS AT INDUSTRIES*, 12-21.
- Ceylan, B. O., Akyar, D. A., & Celik, M. S. (2023). A novel FMEA approach for risk assessment of air pollution from ships. *Marine Policy*.
- Chang, J., Jang, S., Lalonde, R., & Huq, S. (2022). Fuzzy analytic hierarchy process-based risk priority number for risk assessments of commissioning process of a ring gantry LINAC. *Journal of applied clinical medical physics*.
- Ebeling, C. E. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Singapore: Mc Graw Hill Publishing Company.
- Enjavimadar, M., & Rastegar, M. (2022). Optimal reliability-centered maintenance strategy based on the failure modes and effect analysis in power distribution systems. *Electric Power Systems Research*.
- Hoof, V., S, B., AB, S., PP, L., A, M., UM, S., . . . AN, T. (2022). Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) at the preanalytical phase for POCT blood gas analysis: proposal for a shared proactive risk analysis model. *Clinical chemistry and laboratory medicine [Clin Chem Lab Med]*, 1186-1201.
- Jardine, A. (1973). *Maintenance, Replacement, and Reliability*. Pitman Publishing: Canada.
- Joly-Mischlich, S, M., A, T., MN, D., B, B., & M, P. (2021). Application of the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) to identify vulnerabilities and opportunities for improvement prior to implementing a computerized prescription order entry (CPOE) system in a university hospital oncology clinic. *Journal of oncology pharmacy practice : official publication of the International Society of Oncology Pharmacy Practitioners [J Oncol Pharm Pract]*, 88-95.
- Khasanah, S., & Panuntun, B. (2023). Analisis Efisiensi Pekerjaan Pada Pemeliharaan Komponen Mesin Belt Conveyor Kritis Menggunakan Pendekatan Preventive Maintenance di PT Varia Usaha Beton Cabang Batang. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 563-569.
- Kurniawan, F. (2013). *Manajemen Perawatan Industri : Teknik dan Aplikasi Implementasi Total Productive Maintenance (TPM), Preventive Maintenance & Reliability Centered Maintenance (RCM)*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Micheletta, G, B., G, V., & M, N. (2022). Proactive Risk Assessment through Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for Perioperative Management Model of Oral Anticoagulant Therapy: A Pilot Project. *International journal of environmental research and public health [Int J Environ Res Public Health]*.
- Patil, S. S., Bewoor, A. K., Kumar, R., Ahmadi, M. H., Sharifpur, M., & PraveenKumar, S. (2022). Development of Optimized Maintenance Program for a Steam Boiler System Using Reliability-Centered Maintenance Approach. *Sustainability*, 1-20.
- Rahimi, E., Nakhjavani, F., Safari, S., Nematollahi, H., Mardaneh, S., & Pouy, A. B. (2021). Failure Mode and Effects Analysis and Risk Priority Number in a Combined Cycle Power Plant. *Archives of Occupational Health*, 945-953.
- Smith, A. M., & Glenn, R. (2004). *RCM—Gateway to World. Class Maintenance*. London: Elsevier Inc.
- Walpole, R. E. (1995). *Pengantar Statistika Edisi 3*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Walpole, R., & Myers, R. (1995). *Ilmu Peluang Dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuawan*. Bandung: ITB.

