

NO. TUGAS AKHIR
122 07 52/2183/2022

**PERANCANGAN PENJADWALAN PEMELIHARAAN
MESIN PRODUKSI UNTUK MENINGKATKAN
KEHANDALAN MENGGUNAKAN METODE RELIABILITY
CENTERED MAINTENANCE (RCM)
(Studi Kasus : PT. Intimas Surya, Pelabuhan Benoa, Bali)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Menyelesaikan Studi Strata Satu (S-1)
dan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T.)**



Disusun oleh:

Anyndia Candra Kumala
122160023

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
YOGYAKARTA
2022**

**PERANCANGAN PENJADWALAN PEMELIHARAAN
MESIN PRODUKSI UNTUK MENINGKATKAN
KEHANDALAN MENGGUNAKAN METODE RELIABILITY
CENTERED MAINTENANCE (RCM)
(Studi Kasus : PT. Intimas Surya, Pelabuhan Benoa, Bali)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Menyelesaikan Studi Strata Satu (S-1)
dan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T.)**



Disusun oleh:

**Anyndia Candra Kumala
122160023**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
YOGYAKARTA
2022**

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR
PERANCANGAN PENJADWALAN PEMELIHARAAN
MESIN PRODUKSI UNTUK MENINGKATKAN
KEHANDALAN MENGGUNAKAN METODE RELIABILITY
CENTERED MAINTENANCE (RCM)
(Studi Kasus : PT. Intimas Surya, Pelabuhan Benoa, Bali)

Oleh:

Anyndia Candra Kumala

122160023

Telah disetujui dan disahkan
pada tanggal:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Irwan Soejanto, M.T
NIP 19660111 199403 1 001

Eko Nursubiyantoro, S.T., M.T
NIP 19680921 199103 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Industri
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

Dr. Sadi, S.T., M.T
NIP 19710313 202121 1 002

LEMBAR PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Anyndia Candra Kumala

NPM : 122160023

Jurusan : Teknik Industri FTI UPN "Veteran" Yogyakarta

Menyatakan bahwa karya ilmiah saya dengan judul **Perancangan Penjadwalan Pemeliharaan Mesin untuk Meningkatkan Keandalan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)*** (Studi Kasus PT. Intimas Surya, Pelabuhan Benoa, Bali) adalah hasil karya ilmiah saya dan bebas dari plagiarisme.

Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, saya bersedia untuk mempertanggungjawabkan secara pribadi tanpa melibatkan institusi dan menerima sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Yogyakarta, Mei 2022
Yang menyatakan

Anyndia Candra Kumala
NPM 122160023

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah swt. atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas akhir ini. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini tidak akan terwujud tanpa adanya bimbingan, dukungan, dan bantuan dari semua pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ir. Irwan Soejanto, M.T, selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir yang telah memberikan ide penelitian, memberikan informasi dan petunjuk, memberikan masukan atau nasihat, petunjuk, saran dan meluangkan banyak waktu hingga akhirnya Tugas Akhir ini selesai.
2. Eko Nursubiyantoro, S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang juga telah memberikan ide penelitian, arahan, saran, dan bimbingan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Dr. Sadi, S.T., M.T. selaku Ketua Program studi Teknik Industri UPN “Veteran” Yogyakarta.
4. Keluarga, orangtua penulis sebagai sumber semangat yang selalu memberi doa, nasihat, motivasi, dan dukungan yang sangat berarti bagi penulis.
5. PT. Intimas Surya yang telah memberikan kesempatan untuk bisa melakukan penelitian serta dukungan dan bantuan kepada penulis.
6. Seluruh Mahasiswa Teknik Industri UPN “Veteran” Yogyakarta yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menjadikan Tugas Akhir ini menjadi lebih baik. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Yogyakarta, 25 Maret 2021

Penulis

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME KARYA ILMIAH.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
ABSTRAK	x
ABSTRACT.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	I-1
1.2 Perumusan Masalah	I-2
1.3 Batasan Masalah dan Asumsi	I-2
1.4 Tujuan Penelitian	I-3
1.5 Manfaat Penelitian	I-3
1.6 Sistematika Penulisan	I-3
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Penjadwalan	II-1
2.2 Pemeliharaan.....	II-1
2.3 <i>Reliability Centered Maintenance (RCM)</i>	II-2
2.3.1 Komponen-komponen RCM	II-3
2.3.2 Metode RCM	II-5
2.4 Teori Kehandalan.....	II-12
2.4.1 Mengukur Kehandalan.....	II-14
2.4.2 Distribusi untuk Menghitung Kehandalan	II-15
2.4.3 Kehandalan dengan <i>Preventive Maintenance</i>	II-19
2.5 Analisis <i>Time Between Failure</i>	II-21
2.6 Interval Waktu Penggantian Berdasarkan <i>Minimize Downtime</i>	II-23

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Objek Penelitian.....	III-1
3.2	Pengumpulan Data.....	III-1
3.3	Kerangka Penelitian.....	III-2
3.4	Langkah-Langkah Pengolahan Data.....	III-4

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Pengumpulan Data.....	IV-1
4.1.1	Data <i>Breakdown</i> Mesin Produksi	IV-1
4.1.2	Data Kerusakan Mesin Potong	IV-3
4.1.3	Rata-Rata Waktu Perbaikan Komponen Mesin Potong	IV-6
4.2	Pengolahan Data	IV-6
4.2.1	Pemilihan Sistem dan Pengumpulan Informasi.....	IV-6
4.2.2	Deskripsi Sistem dan <i>Fuctional Block Diagram</i> ...	IV-7
4.2.3	Menentukan fungsi dan Kegagalan Sistem.....	IV-7
4.2.4	<i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	IV-8
4.2.5	<i>Critically and Probability of Occurance</i>	IV-10
4.2.6	Pemilihan Tindakan	IV-13
4.2.7	Pengujian Pola Distribusi	IV-15
4.2.8	Interval Penggantian Komponen Optimal Berdasarkan <i>Minimize Downtime</i>	IV-16
4.2.9	Perhitungan Biaya.....	IV-23
4.2.10	Perencanaan Penjadwalan dan Penggantian Komponen	IV-30
4.3	Analisis Hasil.....	IV-33

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan	V-1
5.2	Saran	V-1

DAFTAR PUSTAKA LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1 <i>Road Map</i> Pemilihan Tindakan	II-12
Gambar 2.2 Pengaruh <i>Preventive Maintenance</i> terhadap <i>Reliability</i>	II-20
Gambar 2.3 Bagan Pengolahan Data TBF	II-21
Gambar 2.4 <i>Cummulative Failure vs Time Plots</i>	II-22
Gambar 2.5 <i>Successive Service Life Plot</i>	II-22
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian.....	III-3
Gambar 3.2 langkah-Langkah Pengolahan Data	III-6
Gambar 4.1 <i>Pareto Chart Breakdown</i> Mesin Produksi	IV-3
Gambar 4.2 <i>Pareto Chart</i> Komponen Mesin Potong.....	IV-4
Gambar 4.3 Mesin Potong.....	IV-6
Gambar 4.4 <i>Fuctional Block Diagram</i> Mesin Potong.....	IV-7
Gambar 4.5 Grafik <i>Bearing</i>	IV-18
Gambar 4.6 Grafik <i>Solenoid</i>	IV-21
Gambar 4.7 Grafik Mata Gergaji	IV-23
Gambar 4.8 Grafik Roda Gergaji	IV-25

DAFTAR TABEL

		Hal
Tabel 2.1	Tingkatan <i>Severity</i>	II-7
Tabel 2.2	Tingkatan <i>Occurance</i>	II-8
Tabel 2.3	Tingkatan <i>Detection</i>	II-8
Tabel 2.4	<i>Critically Group</i>	II-10
Tabel 2.5	<i>Critically Analysis</i>	II-10
Tabel 2.6	<i>Critically Analysis for Component</i>	II-10
Tabel 2.7	Nilai Parameter Bentuk (β) Distribusi <i>Weibull</i>	II-16
Tabel 4.1	Data Frekuensi <i>Breakdown</i> Perbulan Mesin Produksi	IV-1
Tabel 4.2	Lama Waktu <i>Downtime</i> Mesin Produksi.....	IV-2
Tabel 4.3	Data Waktu <i>Downtime</i> Mesin Produksi	IV-3
Tabel 4.4	Presentase Kumulatif Kerusakan Mesin.....	IV-3
Tabel 4.5	Presentase Kumulatif Kerusakan Komponen Mesin Potong..	IV-4
Tabel 4.6	Interval Waktu Kerusakan Komponen Mesin Potong.....	IV-6
Tabel 4.7	Lama Perbaikan Kerusakan Komponen	IV-7
Tabel 4.8	Fungsi Sistem dan Kegagalan Fungsi Mesin Potong	IV-8
Tabel 4.9	Perhitungan FMEA Mesin Potong	IV-10
Tabel 4.10	<i>Logic Tree Analysis</i>	IV-12
Tabel 4.11	<i>Critically Analysis for Plant Component</i>	IV-13
Tabel 4.12	Penyusunan Pemilihan Tindakan Komponen Mesin Potong	IV-15
Tabel 4.13	Hasil Rekapitulasi Uji Distribusi.....	IV-17
Tabel 4.14	Data Harga Komponen	IV-27
Tabel 4.15	Data Biaya Penggantian Komponen.....	IV-27
Tabel 4.16	Data Biaya Tenaga Kerja Menganggur	IV-27
Tabel 4.17	Biaya Kapasitas Produksi	IV-28
Tabel 4.18	Biaya Keuntungan Produksi	IV-28
Tabel 4.19	Biaya Kehilangan Produksi	IV-29
Tabel 4.20	Rekapitulasi Interval Penggantian Komponen	IV-29
Tabel 4.21	<i>Total Minimize Downtime</i>	IV-30
Tabel 4.22	Biaya Penggantian Komponen Sebelum Usulan	IV-31
Tabel 4.23	Biaya Penggantian Komponen Sesudah Usulan	IV-33
Tabel 4.24	Rekapitulasi Penurunan <i>Downtime</i>	IV-38
Tabel 4.25	Analisa Biaya Sebelum dan Sesudah Usulan	IV-39

DAFTAR LAMPIRAN

	Hal
Lampiran A. Hasil Uji Distribusi Menggunakan Minitab19	
Komponen <i>Bearing</i>	LA-2
Komponen <i>Solenoid</i>	LA-3
Komponen Mata Gergaji	LA-4
Komponen Roda Gergaji.....	LA-5
Lampiran B. Tabel <i>Total Minimize Downtime</i> Komponen Mesin Potong	
Tabel <i>Total Minimize Downtime</i> Komponen <i>Bearing</i>	LB-2
Tabel <i>Total Minimize Downtime</i> Komponen <i>Solenoid</i>	LB-3
Tabel <i>Total Minimize Downtime</i> Komponen Mata Gergaji ...	LB-4
Tabel <i>Total Minimize Downtime</i> Komponen Roda Gergaji ...	LB-5

Abstrak

Pembangunan industri perikanan Indonesia merupakan suatu kegiatan ekonomi yang memiliki prospek semakin baik, terutama dalam meningkatkan penerimaan devisa negara melalui ekspor hasil perikanan. Saat ini sudah banyak perusahaan pengolahan dan pengeksport ikan yang bermunculan. Persaingan yang ketat membuat perusahaan harus mampu mengembangkan strategi bersaing yang tepat disamping menekan biaya produksi. Perusahaan yang mampu menerapkan strategi dengan baik dapat mencapai tujuan perusahaan untuk jangka panjang dan menguasai pasar.

PT. Intimas Surya merupakan salah satu perusahaan perikanan yang sudah berdiri sejak 1994 di Jalan Ikan Tuna Raya III, Pelabuhan Benoa, Denpasar, Bali. Perusahaan bergerak dibidang penangkapan, pengolahan dan pengeksport produk segar dan beku berbagai jenis ikan dan hasil laut. Seiring berjalannya waktu sering terjadi kegagalan mesin pada saat produksi. Penjadwalan maintenance yang belum tersedia mengakibatkan kerugian dan terhambatnya proses produksi. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan untuk membuat suatu penjadwalan yang dapat meningkatkan kehandalan mesin produksi.

Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan metode analisis pemeliharaan yang digunakan untuk memperbaiki sistem pemeliharaan yang berfokus pada meningkatkan kehandalan mesin. Metode ini dipilih karena mampu menentukan interval waktu minimum sebelum terjadinya *downtime*. Pemilihan komponen kritis ditentukan menggunakan diagram pareto sebelum dilanjutkan dengan metode RCM. Uji distribusi dilakukan untuk menentukan interval *downtime* paling minimum menggunakan aplikasi Minitab 19. Setelah didapatkan hasil dilanjutkan dengan penentuan perencanaan penjadwalan pemeliharaan pada komponen mesin potong dan perbandingan biaya sebelum usulan dan sesudah usulan. Hasil dari pengolahan data diperoleh waktu pemeliharaan untuk komponen bearing setiap 36 hari, solenoid setiap 17 hari, mata gergaji setiap 26 hari dan roda gergaji setiap 45 hari. Penurunan biaya setelah usulan sebanyak 47% dari biaya sebelum usulan.

Kata kunci : Industri perikanan, RCM, Pemeliharaan, Kehandalan

Abstract

The development of the Indonesian fishery is an economic activity that has better prospects, especially in increasing the country's foreign exchange earnings through the export of fishery products. Currently, many fish processing and exporting companies have sprung up. Intense competition makes companies must be able to develop appropriate competitive strategies in addition to reducing production costs. Companies that are able to implement strategies well can achieve long-term corporate goals and dominate the market.

PT. Intimas Surya is a fishing company that has been established since 1994 on Jalan Ikan Tuna Raya III, Benoa Harbor, Denpasar, Bali. The company is engaged in processing and exporting fresh and frozen products of various types of fish and marine products. Over time, machine failure often occurs during production. Maintenance scheduling that is not yet available results in losses and delays in the production process. Therefore, this research was conducted to make a schedule that can increase the reliability of the production machine.

Reliability Centered Maintenance (RCM) is a maintenance analysis method used to improve maintenance systems that focus on increasing machine reliability. This method was chosen because it is able to determine the minimum time interval before downtime occurs. The selection of critical components is determined using a Pareto diagram before proceeding with the RCM method. The distribution test was carried out to determine the minimum downtime interval using the Minitab 19 application. After the results were obtained, it was continued by determining the maintenance scheduling plan for the cutting machine components and cost comparisons before and after the proposal. The results of data processing obtained maintenance time for bearing components every 36 days, solenoid every 17 days, saw blade every 26 days and wheel blade every 45 days. The cost reduction after the proposal is 97% of the cost before the proposal.

Keywords: Fishery, RCM, Maintenance, Reliability

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan negara dengan luas laut teritorial mencapai kurang lebih 3,1 juta km². Hal ini menempatkan Indonesia memiliki potensi perikanan yang sangat tinggi. Peningkatan produksi industri perikanan nasional memegang peranan penting dalam pembangunan nasional. Pembangunan industri perikanan Indonesia merupakan suatu kegiatan ekonomi yang memiliki prospek semakin baik, terutama dalam meningkatkan penerimaan devisa negara melalui ekspor hasil perikanan. Saat ini sudah banyak perusahaan pengolahan dan pengeksport ikan yang bermunculan. Persaingan yang ketat membuat perusahaan harus mampu mengembangkan strategi bersaing yang tepat disamping menekan biaya produksi. Perusahaan yang mampu menerapkan strategi dengan baik dapat mencapai tujuan perusahaan untuk jangka panjang dan menguasai pasar.

PT. Intimas Surya merupakan salah satu perusahaan perikanan yang sudah berdiri sejak 1994 di Jalan Ikan Tuna Raya III, Pelabuhan Benoa, Denpasar, Bali. Perusahaan bergerak dibidang penangkapan, pengolahan dan pengeksport produk segar dan beku berbagai jenis ikan dan hasil laut dengan system *Make To Stock*. Proses produksi dimulai dari penangkapan ikan dan hasil laut yang selanjutnya langsung dibawa ke bagian produksi untuk dilakukan proses pemotongan. Hasil dari produksi berupa ikan *fillet* beku, ikan utuh dan ikan *loin fillet*. PT. Intimas Surya mengutamakan kualitas sebagai dasar reputasi mencapai goal dan fokus pada membangun jaringan global pada sumber daya perikanan.

PT. Intimas Surya mempunyai kapasitas produksi untuk pengolahan ikan dan hasil laut lainnya sebesar 2 ton/hari. Pengolahan ikan dilakukan dengan menggunakan beberapa mesin berupa mesin pendingin sampai mesin potong. Namun Terjadi beberapa hambatan untuk mencapai kapasitas tersebut berupa terjadinya *downtime* yang diakibatkan oleh keausan dan rusaknya beberapa komponen mesin. Berdasarkan pengamatan diketahui *downtime* yang terjadi selama periode September 2020 – Desember 2021 sebesar 143 kali. Hal ini

mengakibatkan penurunan kapasitas produksi, keuntungan dan bertambahnya biaya tenaga kerja. Mesin yang mempunyai waktu *downtime* tertinggi yaitu mesin potong dengan total downtime 48 kali. Perusahaan belum memiliki sistem pemeliharaan yang tertata dengan baik sesuai SOP. Perusahaan menggunakan sistem dimana pemeliharaan dilakukan ketika komponen pada mesin mengalami kerusakan dan itu menyebabkan banyaknya biaya yang dikeluarkan. Pada PT. Intimas Surya yang bertanggungjawab untuk memperbaiki kerusakan mesin adalah bagian *maintenance* yang berbeda dengan operator mesin. Hal tersebut menyebabkan mesin tidak bisa langsung diperbaiki karena operator mesin tidak terlatih untuk memperbaiki maupun mengganti bagian-bagian mesin yang rusak.

Oleh karena itu, diperlukan suatu penelitian untuk merencanakan interval pemeliharaan untuk komponen kritis mesin. Penelitian ini menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk membuat kegiatan pemeliharaan yang tepat bagi mesin potong. Setiap subsistem penyusun mesin potong akan dianalisa penyebab dan efek keagalannya. Metode utama dalam RCM adalah FMEA (*Failure Mode Effect Analysis*) yang merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi dan mencegah kesalahan yang mungkin terjadi di masa depan. Secara umum melalui RCM, dapat diketahui dengan jelas apa saja kemungkinan peralatan tersebut bisa gagal, bagaimana efeknya dan bagaimana cara mengelola kegagalan tersebut. Selain itu untuk menentukan waktu pemeliharaan atau penggantian komponen menggunakan *Total Minimize Downtime* (TMD). TMD mempunyai keuntungan dapat mengetahui waktu yang dibutuhkan suatu komponen untuk dilakukan perawatan atau diganti dengan *downtime* paling minimum.

Hasil dari penelitian ini diharapkan menjadi perbaikan di perusahaan berupa penjadwalan pemeliharaan mesin yang tepat untuk komponen mesin potong tersebut dengan harapan penjadwalan pemeliharaan mesin tersebut dapat membantu perusahaan untuk mengetahui dengan jelas praktik perawatan yang dibutuhkan secara hemat biaya (*cost effective*).

1.2. Perumusan Masalah

Dari uraian latar belakang permasalahan yang ada maka perumusan masalahnya adalah “Bagaimana rancangan penjadwalan pemeliharaan pada mesin produksi untuk meningkatkan kehandalan dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)*?”.

1.3. Batas Masalah dan Asumsi

Batasan masalah diperlukan untuk membatasi ruang lingkup masalah sehingga penelitian lebih fokus dan tepat sasaran. Berikut merupakan batasan masalah penelitian yang dilakukan, yaitu:

- 1 Data yang digunakan periode September 2020 – Desember 2021
- 2 Pengambilan data dilakukan dengan wawancara terhadap pihak perusahaan

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perusahaan dianggap dalam keadaan yang baik dan bekerja pada keadaan normal.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini yaitu merancang penjadwalan pemeliharaan pada mesin produksi untuk meningkatkan kehandalan mesin dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)*.

1.5. Manfaat Penelitian

Setelah tujuan penelitian tercapai maka diharapkan penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan pertimbangan oleh perusahaan untuk mengefektifkan kegiatan perawatan dari segi biaya, waktu, dan tenaga perawatan pada mesin potong.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penelitian tugas akhir ini terdapat dari lima bab sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Bab yang berisi mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah dan asumsi, tujuan, manfaat serta sistematika penulisan yang digunakan dalam perancangan tugas akhir.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Bab yang berisi mengenai teori, metode atau prinsip yang relevan dengan masalah yang sedang diteliti. Pustaka dapat diperoleh dari buku teks, hasil penelitian sebelumnya yang serupa serta tulisan ilmiah lain yang dapat mendukung penelitian yang sedang dilakukan.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Bab yang berisi penjelasan metode ilmiah yang akan digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang telah dijabarkan. Metodologi penelitian harus digambarkan dalam suatu diagram alir yang berisi gambaran besar penelitian.

BAB 4. PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS HASIL

Bab yang berisi detail mengenai data yang dikumpulkan, meliputi data primer dan data sekunder. Terdapat semua pengolahan dan perhitungan pada data sehingga menghasilkan informasi untuk selanjutnya digunakan pada analisis hasil.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab yang berisi rangkuman singkat dari seluruh penelitian serta menjawab permasalahan yang sesuai dengan tujuan yang dikemukakan pada bagian awal pendahuluan.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Penjadwalan

Penjadwalan adalah aktivitas perencanaan untuk menentukan kapan dan di mana setiap operasi sebagai bagian dari pekerjaan secara keseluruhan harus dilakukan pada sumber daya yang terbatas. Menurut Baker (1974) penjadwalan adalah proses untuk melakukan tugas dengan menggunakan sumber-sumber yang tersedia pada waktu yang telah ditetapkan. Menurut Pinedo (2002) penjadwalan adalah proses pengambilan keputusan yang memegang peranan yang penting dalam manufaktur dan sistem produksi. Pada dasarnya penjadwalan mencakup pengurutan aktivitas, pengalokasian aktivitas pada fasilitas dan pemetaan aktivitas menurut urutan waktu.

Tujuan penjadwalan ialah mengurangi waktu keterlambatan dari batas waktu yang telah disetujui dengan konsumen dan produktivitas mesin jadi meningkat, sehingga biaya produksi pun menjadi lebih efisien. Menurut Baker (1974), Tujuan dilaksanakannya penjadwalan sebagai berikut :

1. Meningkatkan produktivitas mesin dan meminimasi waktu mesin menganggur.
2. mengurangi persediaan barang (*work in process inventory*) berdampak pada minimasi biaya simpan.
3. Mengurangi maksimum keterlambatan dan jumlah job yang terlambat.
4. Meminimasi biaya produksi, biaya lembur, dan biaya penalty keterlambatan.

2.2 Pemeliharaan

Maintenance merupakan kegiatan pendukung bagi proses produksi, maka maintenance harus efektif efisien dan berbiaya rendah. Dengan adanya maintenance ini, maka mesin/peralatan produksi dapat digunakan sesuai dengan rencana dan tidak mengalami kerusakan selama jangka waktu tertentu yang telah

direncanakan Sudrajat (2011):

Tujuan dilakukan pemeliharaan menurut Sudrajat (2011) yaitu:

1. Kemampuan berproduksi dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan rencana produksi.
2. Menjaga kualitas pada tingkat yang tepat untuk memenuhi apa yang dibutuhkan pada produksi itu sendiri dan kegiatan produksi yang tidak terganggu,
3. Untuk mencapai tingkat biaya maintenance secara efektif dan efisien keseluruhannya.
4. Untuk menjamin keselamatan sarana untuk orang yang menggunakannya.
5. Memaksimalkan ketersediaan semua peralatan sistem produksi (mengurangi *downtime*).

Terdapat dua jenis tindakan utama pada pemeliharaan, yakni:

a. *Preventive Maintenance* (Pemeliharaan Pencegahan)

Pemeliharaan pencegahan dilakukan guna memperpanjang umur sistem atau meningkatkan kehandalan dari sistem tersebut. Tindakan ini dimulai dari perawatan ringan yang membutuhkan durasi kegagalan pendek seperti *overhaul* yang memerlukan waktu durasi kegagalan yang signifikan. Tindakan perbaikan pencegahan biasanya sudah direncanakan dan terjadwal.

b. *Corective Maintenance* (Pemeliharaan Perbaikan)

Pemeliharaan yang terdiri dari tindakan pengembalian kondisi system atau produk yang rusak atau gagal beroperasi kembali ke kondisi beroperasi. Tindakannya biasanya berupa perbaikan dari komponen rusak ataupun penggantian komponen yang rusak. Pemeliharaan perbaikan biasanya dilakukan apabila terjadi kegagalan yang tiba-tiba dan biasanya tidak direncanakan.

2.3 *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

Sudrajat (2011) menyebutkan bahwa *Reliability Centered Maintenance* adalah proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilaksanakan

untuk memastikan setiap fasilitas dapat terus menjalankan fungsinya dalam operasionalnya. RCM berfokus pada *preventive maintenance* (PM) terhadap kegagalan yang sering terjadi.

Beberapa tujuan penting dari penerapan RCM adalah:

- a. Membentuk desain yang berhubungan supaya dapat memfasilitasi *preventive maintenance* (PM).
- b. Mendapatkan informasi yang berguna untuk meningkatkan desain produk atau mesin yang ternyata tidak memuaskan, yang berhubungan dengan kehandalan.
- c. Membentuk PM dan tugas yang berhubungan yang dapat mengembalikan kehandalan dan keamanan pada levelnya semula pada saat terjadinya penurunan kondisi peralatan atau sistem.

2.3.1 Komponen-Komponen RCM

RCM memiliki 5 komponen utama, yaitu *preventive maintenance*, *breakdown maintenance*, *Scheduled Maintenance*, *Predictive Maintenance*, *Corrective Maintenance*

sebagai berikut:

1. *Preventive Maintenance*

Perawatan pencegahan adalah merupakan perawatan yang dilakukan sebelum terjadi kerusakan mesin. Kebijakan ini cukup baik dapat mencegah berhentinya mesin yang tidak direncanakan. Keuntungan kebijakan perawatan pencegahan terutama akan menjamin kehandalan dari suatu sistem tersebut.

2. *Breakdown Maintenance*

Perawatan kerusakan dapat diartikan sebagai kebijakan perawatan dengan cara mesin/peralatan dioperasikan hingga rusak, kemudian baru diperbaiki atau diganti.

Keuntungan dari kebijakan perawatan kerusakan:

- a) Murah dan tidak perlu melakukan perawatan.
- b) Cocok untuk peralatan yang murah dan sederhana atau modular.

- c) Kasar dan berbahaya.
- d) Menimbulkan kerugian besar bila ditetapkan pada mesin yang mahal, kompleks dan dituntut keselamatan tinggi.
- e) Tidak bisa menyiapkan sumber daya manusia.

3. *Secheduled Maintenance*

Perawatan ini bertujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan dan perawatannya dilakukan secara periodik dengan rentan waktu tertentu. Rentang waktu perawatan ditentukan berdasarkan pengalaman, data masa lalu atau rekomendasi dari pabrik pembuatan mesin yang bersangkutan.

4. *Predictive Maintenance*

Perawatan prediktif ini pun merupakan bagian perawatan pencegahan. Perawatan prediktif dapat diartikan sebagai strategis perawatan dimana pelaksanaannya didasarkan kondisi mesin itu sendiri. Perawatan prediktif disebut juga perawatan (*condition based maintenance*) atau juga disebut monitoring yang artinya sebagai penentuan kondisi mesin dengan cara memeriksa mesin secara rutin, sehingga dapat diketahui kehandalan mesin serta keselamatan kerja terjamin. Pemeliharaan ini memerlukan data performa mesin, pengujian dan pengawasan secara visual. Analisis dari kondisi mesin selanjutnya akan digunakan untuk membuat perencanaan dan penjadwalan pemeliharaan dalam seblum terjadinya kegagalan. Penerapan predictive maintenance ini dapat meningkatkan *reliability* dari mesin.

5. *Corrective Maintenance*

Menurut Ansori dan Imron (2013) *corrective maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan setelah terjadinya kerusakan pada peralatan sehingga peralatan tidak berfungsi dengan baik. Kegiatan perawatan korektif meliputi seluruh aktifitas mengembalikan system dari keadaan rusak menjadi beroperasi kembali. Perbaikan baru terjadi ketika mengalami kerusakan, walaupun terdapat beberapa perbaikan yang dapat diundur. Aktifitas *corrective maintenance* meliputi kegiatan persiapan (*Prepare Time*) berupa persiapan tenaga kerja untuk melakukan pekerjaan

ini, adanya perjalanan, adanya alat test dan lain-lain.

2.3.2 Metodologi RCM

Dalam penerapannya RCM memiliki beberapa variasi. Menurut Afefy (2010), *step* yang dilakukan dalam metodologi RCM adalah:

- a. *System selection and information collection.*
- b. *System boundary definition*
- c. *System description and functional block diagram*
- d. *System function and functional failures*
- e. *Failure mode and effect analysis (FMEA)*
- f. *Criticality and probability of occurrence*
- g. *Task selection*

2.3.2.1 System Selection and Information Collection.

Berbagai faktor seperti biaya dan tindakan yang dilakukan untuk melakukan *corrective maintenance* atau *preventive maintenance* yang cukup besar serta persoalan keselamatan dan lingkungan dipertimbangkan untuk pemilihan sistem. Dokumen seperti skema sistem, riwayat perawatan peralatan, prosedur manual sistem dapat dirujuk untuk pengumpulan informasi.

Berikut beberapa faktor yang mempengaruhi dalam pemilihan sistem (Afefy, 2010):

- a. *Mean Time Between Failures (MTBF)*
- b. Biaya Perawatan
- c. *Mean Time to Repair (MTTR)*
- d. *Availability*

2.3.2.2 System Boundary Definition.

Peralatan – peralatan utama yang terdapat dalam sistem perlu untuk diidentifikasi. Penentuan batasan diperlukan untuk memastikan bahwa fungsi yang berpotensi penting tidak diabaikan dan tidak saling tumpang tindih.

2.3.2.3 *System Description and Functional Block Diagram.*

Deskripsi sistem adalah suatu tahap yang digunakan untuk mengetahui komponen apa saja yang terdapat pada suatu sistem. *Functional Block Diagram* (FDB) merupakan diagram yang menunjukkan suatu relasi antara fungsi objek dalam tingkatan yang sama. FDB berfungsi untuk mendeskripsikan alur kerja dari suatu objek. Fungsi – fungsi dari sistem direpresentasikan dalam blok-blok dari setiap subsistem yang menyusun sistem tersebut. Maksud dari pembuatan FDB adalah memudahkan peneliti untuk mengidentifikasi kegagalan yang terjadi.

2.3.2.4 *System Function and Functional Failures.*

a. *System Function*

Terdapat dua hal yang harus diperhatikan sebelum menentukan kegiatan yang sesuai dalam mempertahankan fungsi dari objek (Moubray, 1997), yaitu:

1. Menentukan fungsi apa yang diinginkan objek tersebut.
2. Memastikan bahwa objek tersebut mampu berfungsi sesuai dengan harapan. Fungsi yang diinginkan terhadap objek dapat dikategorikan menjadi dua yaitu *primary function* dan *secondary function*.

b. *Functional Failures*

Berikut merupakan tahap penerapan RCM untuk mengetahui kegagalan, yaitu:

1. Mengidentifikasi penyebab yang merujuk kepada kegagalan.
2. Mengidentifikasi hal yang menyebabkan mesin gagal menjalankan fungsinya (*functional failures*), yaitu ketika sebuah mesin tidak dapat menjalankan fungsi sesuai dengan standar yang diinginkan.

2.3.2.5 *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA).*

Langkah ini bertujuan untuk mengetahui fungsi dari sistem yang akan diteliti. FMEA merupakan metode yang bertujuan untuk menyeleksi sistem dengan mempertimbangkan *failure mode* dari komponen dan menganalisis

pengaruh terhadap keandalan komponen tersebut.

Dengan analisis FMEA, kita dapat memprediksi komponen kritis mesin dan pengaruh apa yang diakibatkan bila komponen tersebut rusak. Sehingga kita dapat menentukan tindakan perawatan yang tepat untuk komponen tersebut.

Menurut Pranoto (2012) , hal utama yang perlu diperhatikan dalam FMEA adalah *Risk Priority Number* (RPN). RPN merupakan nilai matematis dari keseriusan *effect (severity)*, tingkat keseringan terjadinya kegagalan (*occurrence*), dan kemampuan untuk mengetahui kegagalan sebelum terjadi (*detection*).

$$\text{RPN} = \text{Severity} * \text{Occurrence} * \text{Detection} \quad (2.1)$$

Hasil dari RPN menunjukkan tingkatan prioritas peralatan yang dianggap beresiko tinggi, sebagai penunjuk kearah perbaikan. Terdapat tiga komponen untuk mengetahui nilai RPN, yaitu:

a. *Severity*

Severity merupakan tingkat dari efek yang dihasilkan oleh kegagalan terhadap keseluruhan mesin. Nilai rating severity antar 1 sampai 10. Berikut merupakan tingkatan efek dari *severity* seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Tingkatan *Severity*

<i>Rating</i>	<i>Criteria of Severity Effect</i>
10	Tidak berfungsi sama sekali
9	Kehilangan fungsi utama dan menimbulkan peringatan
8	Kehilangan fungsi utama
7	Pengurangan fungsi utama
6	Kehilangan kenyamanan fungsi penggunaan
5	Mengurangi kenyamanan fungsi penggunaan
4	Perubahan fungsi dan banyak pekerja menyadari adanya masalah
3	Tidak terdapat efek dan pekerja menyadari adanya masalah
2	Tidak terdapat efek dan pekerja tidak menyadari adanya masalah
1	Tidak ada efek

Sumber : Pranoto (2012)

b. *Occurrence*

Occurrence merupakan tingkatan dari frekuensi kegagalan yang berhubungan dengan jumlah kegagalan kumulatif yang muncul. Tingkatan *occurrence* antara 1 sampai 10 seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Tingkatan *Occurrence*

<i>Rating</i>	<i>Probability of Occurrence</i>
10	Lebih besar dari 50 per 7200 jam penggunaan
9	35-50 per 7200 jam penggunaan
8	31-35 per 7200 jam penggunaan
7	26-30 per 7200 jam penggunaan
6	21-25 per 7200 jam penggunaan
5	15-20 per 7200 jam penggunaan
4	11-14 per 7200 jam penggunaan
3	5-10 per 7200 jam penggunaan
2	Lebih kecil dari 5 per 7200 jam penggunaan
1	Tidak pernah sama sekali

Sumber : Pranoto (2012)

c. *Detection*

Detection digunakan untuk mengukur kemampuan dalam mengetahui dan mengontrol kegagalan yang dapat terjadi. Nilai *detection* dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Tingkatan *Detection*

<i>Rating</i>	<i>Detection Design Control</i>
10	Tidak mampu terdeteksi
9	Kesempatan yang sangat rendah dan sangat sulit untuk terdeteksi
8	Kesempatan yang sangat rendah dan sulit untuk terdeteksi
7	Kesempatan yang sangat rendah untuk terdeteksi
6	Kesempatan yang rendah untuk terdeteksi
5	Kesempatan yang sedang untuk terdeteksi
4	Kesempatan yang cukup tinggi untuk terdeteksi
3	Kesempatan yang tinggi untuk terdeteksi
2	Kesempatan yang sangat tinggi untuk terdeteksi

Sumber : Pranoto (2012)

2.3.2.6 *Critically and Probability of Occurence.*

Langkah ini bertujuan untuk menganalisis secara kritis kemungkinan apa saja yang dapat terjadi pada sistem dengan menggunakan *logic tree analysis* dan *critically analysis for plant components*.

a. *Logic Tree Analysis*

Logic tree analysis merupakan analisis dengan pendekatan deduktif (mundur) yaitu digunakan untuk mengetahui konsekuensi yang ditimbulkan oleh masing-masing failure mode. Tujuan yaitu untuk mengklasifikasikan *failure mode* ke dalam beberapa kategori. Terdapat tiga pertanyaan dalam penyusunan *logic tree analysis*, yaitu :

1. *Evident*: Apakah dalam kondisi normal operator mengetahui, telah terjadi gangguan dalam sistem?
2. *Safety*: Apakah kerusakan ini dapat menyebabkan masalah keselamatan?
3. *Outage*: Apakah kerusakan ini mengakibatkan seluruh atau sebagian mesin berhenti?

Berdasarkan LTA, *failure mode* dapat digolongkan ke dalam empat kategori:

1. Kategori A, jika mode kegagalan mempunyai konsekuensi *safety* terhadap personel maupun lingkungan.
2. Kategori B, jika mode kegagalan mempengaruhi kuantitas ataupun kualitas *output* yang dapat menyebabkan kerugian ekonomi secara signifikan.
3. Kategori C, jika mode kegagalan tidak memberikan dampak pada *safety* dan hanya menyebabkan kerugian ekonomi yang relatif kecil untuk perbaikan.
4. Kategori D, jika mode kegagalan tergolong sebagai *hidden failure*, yang kemudian digolongkan lagi kedalam kategori D/A, D/B, dan D/C.

b. Critically Analysis for Plant Components

Analisis kritis pada komponen mesin yang merujuk pada penelitian (Afefy, 2010). Terdapat tiga pengaruh yang dihitung yaitu *safety*, *production* dan *cost*, dengan bobot 40%, 40% dan 20%. Selanjutnya kategori fungsi kegagalan dapat dilihat pada Tabel 2.4 yang merujuk pada *level critically analysis* yang dapat dilihat pada Tabel 2.5

Tabel 2.4 *Critically Group*

Group	Critically Index
A	3 -2,5
B	2,5 – 2
C	2 – 1,5
D	1,5 - 1

Tabel 2.5 *Critically Analysis*

Level	Description
1	<i>Normal</i>
2	<i>Important</i>
3	<i>Very Important</i>

Tabel 2.6 *Critically Analysis for Component*

Equipme nt	Failure Mode	Failure Cause	Critically Analysis			Critically index	Group
			<i>Safety</i>	<i>Production</i>	<i>Cost</i>		

2.3.2.7 *Task Selection.*

Pemilihan tindakan bertujuan untuk mengetahui tindakan apa yang optimal untuk mode kegagalan yang ada. Pemilihan tindakan perawatan merupakan langkah terakhir dalam metode RCM. Berikut adalah cara pemilihan tindakan :

a. *Time Directed (TD)*

Time directed merupakan tindakan untuk melakukan pencegahan langsung terhadap sumber kerusakan yang berpedoman pada waktu atau umur

komponen. Tindakan yang diambil lebih berfokus kepada aktivitas penggantian yang dilakukan secara berkala.

b. *Condition Directed* (CD)

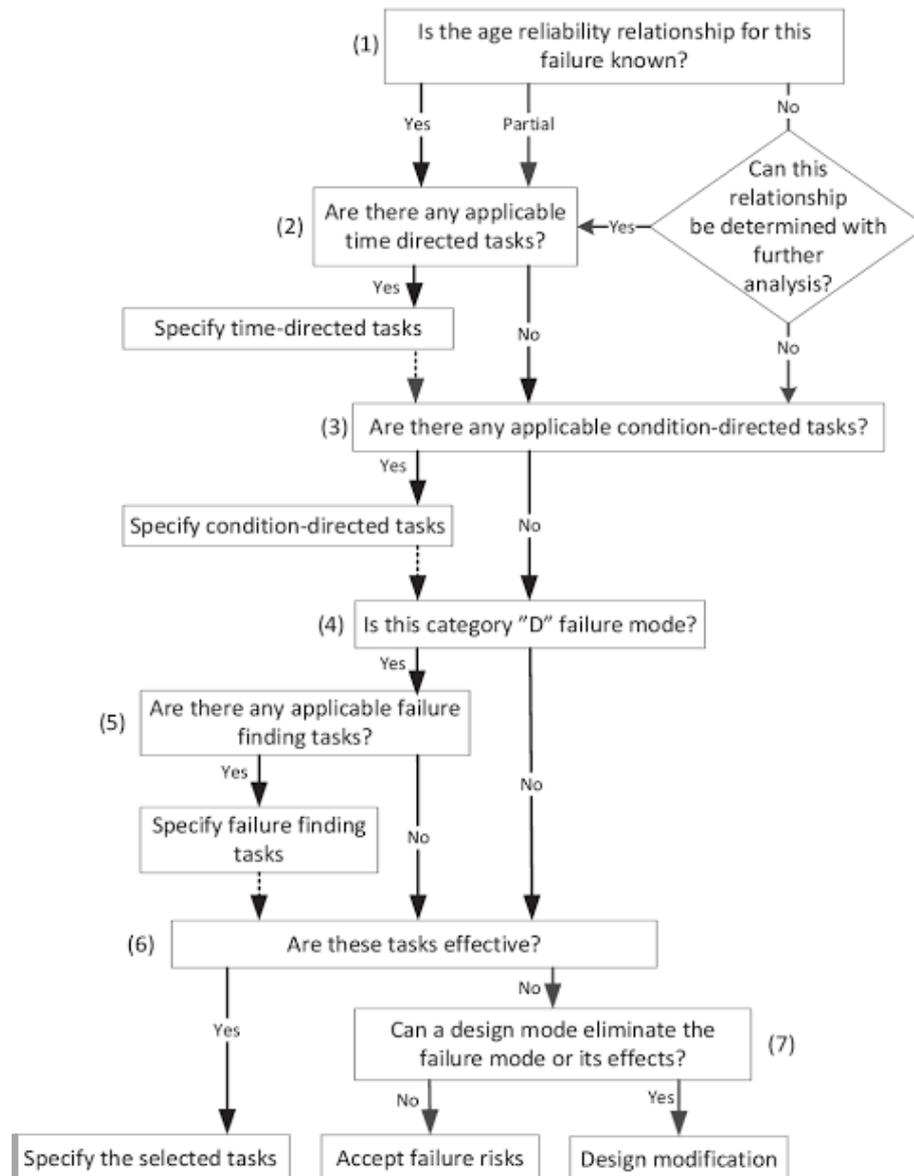
Condition directed merupakan tindakan perawatan yang untuk mendeteksi kerusakan dengan cara memeriksa alat. Apabila dalam pemeriksaan ditemukan gejala-gejala kerusakan, maka dilanjutkan dengan perbaikan atau penggantian komponen.

c. *Finding Failure* (FF)

Finding failure merupakan tindakan perawatan untuk menemukan kerusakan tersembunyi (hidden failure) dengan pemeriksaan secara berkala.

d. *Run to Failure* (RTF)

Run to failure merupakan tindakan yang menggunakan peralatan sampai rusak. Hal ini dikarenakan tidak adanya tindakan yang dapat dilakukan untuk pencegahan kerusakan.



Gambar 2.1 Road Map Pemilihan Tindakan

(Sumber : *Smith and Hinchiliff;2004*)

2.4 Teori Kehandalan

Reliability atau kehandalan dari suatu produk atau sistem menyampaikan konsep dapat diandalkan atau sistem tersebut sukses beroperasi dengan tidak adanya kegagalan. Lebih tepatnya, *reliability* didefinisikan sebagai suatu konsep terkait sebagai berikut: Kehandalan produk atau sistem adalah probabilitas suatu barang atau sistem mampu melakukan fungsi tertentu untuk periode waktu

tertentu jika beroperasi secara normal. Jika merujuk pada pendapat ahli didapat bahwa:

- a. Menurut Ebeling, *Reliability* atau kehandalan dapat didefinisikan sebagai probabilitas bahwa suatu komponen atau sistem akan menginformasikan suatu fungsi yang dibutuhkan dalam periode waktu tertentu ketika digunakan dalam kondisi operasi.
- b. Menurut Blancard, *Reliability* atau kehandalan merupakan probabilitas bahwa sebuah unit akan memberikan kemampuan yang memuaskan untuk suatu tujuan tertentu dalam periode waktu tertentu ketika dalam kondisi lingkungan tertentu.
- c. Menurut Leith, *Reliability* atau kehandalan suatu produk adalah ukuran terhadap kemampuan produk tersebut untuk melakukan fungsinya, pada saat dibutuhkan, untuk waktu tertentu dan pada lingkungan yang tertentu pula.

Beberapa item pada daftar ini melibatkan banyak isu-isu lain, termasuk prediksi, penilaian, optimasi, dan topik terkait. Ini didefinisikan sebagai berikut:

- a. *Reliability Prediction* atau prediksi kehandalan pada dasarnya berhubungan dengan penggunaan model, sejarah masa lalu tentang produk serupa, dan sebagainya, dalam upaya untuk memprediksi kehandalan dan produk pada tahap desain. Proses dapat diperbaharui pada tahap selanjutnya dalam upaya untuk memprediksi kehandalan.
- b. *Reliability Assesment* atau penilaian kehandalan berkaitan dengan estimasi kehandalan didasarkan pada data aktual, yang mungkin bisa berupa data pengujian, data operasional, dan sebagainya. Sistem melibatkan pemodelan, goodness-of-fit untuk distribusi probabilitas, dan analisis terkait.
- c. *Reliability Optimization* atau optimasi kehandalan mencakup banyak area dan berkaitan dengan pencapaian trade-off yang cocok antara berbagai tujuan yang saling bersaing seperti kinerja, biaya, dan seterusnya.
- d. *Reliability Test Design* atau kehandalan uji desain berkaitan dengan metode untuk memperoleh validitas, kehandalan, dan data yang akurat,

dan melakukannya secara efisien dan efektif.

- e. *Reliability Data Analysis* atau kehandalan analisis dapat berkaitan dengan estimasi parameter, pemilihan distribusi, dan banyak aspek yang dibahas di atas.

2.4.1. Mengukur Kehandalan

Kehandalan merupakan probabilitas dari peralatan atau proses yang berfungsi sesuai peruntukannya tanpa mengalami kegagalan, ketika dioperasikan pada kondisi yang semestinya untuk interval waktu tertentu. Biaya tinggi memotivasi para engineer untuk mencari solusi terhadap masalah kehandalan untuk mengurangi biaya pengeluaran, meningkatkan kehandalan, memuaskan pelanggan dengan pengiriman tepat waktu dengan cara meningkatkan ketersediaan peralatan, dan dengan mengurangi biaya dan masalah yang timbul dari produk-produk yang gagal dengan mudah.

Mengukur kehandalan suatu sistem atau peralatan dengan cara mengkuantitatifkan biaya tahunan dari peralatan atau sistem yang tidak handal tersebut dengan fasilitas yang tersedia akan menempatkan kehandalan tersebut dalam konteks bisnis. Sistem atau peralatan dengan kehandalan yang tinggi akan mengurangi biaya kegagalan peralatan. Kegagalan adalah hilangnya suatu fungsi jika fungsi tersebut diperlukan, terutama untuk mencapai tujuan keuntungan perusahaan. Kehandalan adalah suatu ukuran dari probabilitas mampu beroperasi yang bebas dari kegagalan, yang sering dinyatakan sebagai berikut:

$$R(t) = e^{(-t/MTBF)} = e^{(-t)} \quad (2.2)$$

Reliability Sistem dengan banyak komponen didefinisikan sebagai berikut:

$$R_s = R_a \times R_b \times R_c \quad (2.3)$$

Sementara perhitungan umum kehandalan didasarkan pada pertimbangan terhadap modus dari kegagalan awal, yang dapat disebut sebagai angka kegagalan dini (menurunnya tingkat kegagalan yang akan datang seiring dengan berjalannya waktu) atau memakai modus usang (yaitu meningkatnya kegagalan seiring dengan

waktu). Parameter utama yang menggambarkan kehandalan adalah:

- a. *Mean Time To / Between Failure* (MTBF) yakni rata-rata jarak waktu antar setiap kegagalan.
- b. *Mean Time To Repair* (MTTR) yakni rata-rata jarak waktu yang digunakan untuk melakukan perbaikan.
- c. *Mean Life To Component* yakni angka rata-rata usia komponen
- d. *Failure Rate* yakni angka rata-rata kegagalan peralatan pada satu satuan waktu.
- e. *Maximum Number Of Failure* yakni angka maksimum kegagalan peralatan pada jarak dan waktu tertentu.

2.4.2. Distribusi untuk Menghitung Kehandalan

Pada penelitian ini, distribusi yang digunakan dalam kehandalan (*reliability*) adalah distribusi *Weibull*, Normal, Lognormal dan Exponensial.

a. Distribusi *Weibull*

Distribusi *Weibull* merupakan distribusi empiris yang paling banyak digunakan dan hampir muncul pada semua karakteristik kegagalan dari produk karena mencakup ketiga frase kerusakan yang mungkin terjadi pada distribusi kerusakan. Pada umumnya, distribusi ini digunakan pada komponen mekanik atau peralatan pemrosesan.

Dua parameter yang digunakan dalam distribusi ini adalah θ yang disebut dengan parameter skala (scale parameter) dan β yang disebut dengan parameter bentuk (shape parameter). Fungsi *reliability* yang terdapat dalam distribusi *Weibull* menurut Ebelling:

Fungsi kepadatan probabilitas:

$$F(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha} \quad (2.4)$$

Fungsi distribusi kumulatif:

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (2.5)$$

Fungsi kehandalan dalam distribusi *weibull*:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha} \quad (2.6)$$

Nilai laju kerusakan distribusi *Weibull*:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\mu} \left(\frac{t}{\mu}\right)^{\beta-1} \quad (2.7)$$

Mean Time To Failure distribusi *Weibull*:

$$MTTF = \beta \gamma \left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \quad (2.8)$$

Keterangan:

- R(t) : Fungsi kehandalan
 λ : Laju Kerusakan
 γ : Fungsi gamma, $\gamma(n) = (n-1)!$
 μ : *Scale Parameter*
 β : *Shape Parameter*
 t : Waktu, $t \geq 0$

Dalam distribusi *Weibull* yang menentukan tingkat kerusakan dari pola data yang terbentuk adalah parameter. Menurut pendapat Ebeling, perubahan nilai-nilai dari parameter bentuk (β) yang menunjukkan laju kerusakan dapat dilihat dalam Tabel 2.1 dibawah ini. Jika parameter mempengaruhi laju kerusakan maka parameter θ mempengaruhi nilai tengah dari pola data.

Tabel 2.7 Nilai Parameter Bentuk (β) Distribusi *Weibull*

Nilai	Laju Kerusakan
$0 < \beta < 1$	Laju kerusakan menurun (decreasing failure rate) \rightarrow DFR
$\beta = 1$	Laju kerusakan konstan (constant failure rate) \rightarrow CFR Distribusi Eksponensial
$1 < \beta < 2$	Laju kerusakan meningkat (increasing failure rate) \rightarrow IFR Kurva berbentuk konkaf
$\beta = 2$	Laju keusakan linier (linier failure rate) \rightarrow LFR Distribusi Reyleigh
$\beta > 2$	Laju kerusakan meningkat (increasing failure rate) \rightarrow IFR Kurva berbentuk konveks
$3 \leq \beta \leq 4$	Laju kerusakan meningkat (increasing failure rate) \rightarrow IFR Kurva berbentuk simetris Distribusi Normal

b. Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal menggunakan dua parameter yaitu s yang merupakan parameter bentuk (*shape parameter*) dan μ sebagai parameter lokasi (*location parameter*) yang merupakan nilai tengah dari suatu distribusi kerusakan. Distribusi ini dapat memiliki berbagai macam bentuk, sehingga sering dijumpai bahwa data yang sesuai dengan distribusi *Weibull* juga sesuai dengan distribusi Lognormal. Fungsi *reliability* yang terdapat pada distribusi lognormal (Ebeling, 1997, p73), yaitu :

Fungsi kepadatan probabilitas :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln(t)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \text{ dengan } -\infty < t < \infty \quad (2.9)$$

Fungsi distribusi kumulatif :

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_t^{t+1} \exp\left[-\frac{(\ln(t)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt \quad (2.10)$$

Fungsi kehandalan :

$$R(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_t^{\infty} \exp\left[-\frac{(\ln(t)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt \quad (2.11)$$

Fungsi laju kerusakan :

$$r(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.12)$$

Mean Time To Failure distribusi Lognormal :

$$MTTF = \exp\left(\mu + \frac{0,5s^2}{\sigma^2}\right) \quad (2.13)$$

Keterangan:

σ : standar deviasi

μ : harga rata-rata

t : waktu operasi keseluruhan

$R(t)$: fungsi kehandalan

$F(t)$: probabilitas kerusakan

c. Distribusi Normal

Distribusi normal cocok untuk digunakan dalam memodelkan fenomena keausan. Parameter yang digunakan adalah σ (standar deviasi) dan μ (nilai tengah). Karena hubungannya dengan distribusi lognormal, distribusi ini dapat juga digunakan untuk menganalisis probabilitas lognormal. Fungsi *reliability* yang terdapat dalam distribusi normal (Ansori dan Mustajib, 2013), yaitu:

Fungsi kehandalan :

$$R(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_t^{\infty} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt \quad (2.14)$$

Laju kerusakan :

$$\lambda(t) = \frac{\exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]}{\int_t^{\infty} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]} \quad (2.15)$$

d. Distribusi Eksponensial

Distribusi Eksponensial digunakan untuk menghitung kehandalan dari distribusi kerusakan yang memiliki laju kerusakan konstan. Distribusi ini mempunyai laju kerusakan yang tetap terhadap waktu, dengan kata lain probabilitas terjadinya kerusakan tidak tergantung pada umur alat. Distribusi ini adalah distribusi yang paling mudah dianalisis. Parameter yang digunakan dalam distribusi Eksponensial adalah λ , yang menunjukkan rata-rata kedatangan kerusakan yang terjadi. Fungsi *reliability* yang terdapat dalam distribusi eksponensial (Ansori dan Mustajib, 2013), yaitu:

Fungsi kepadatan probabilitas:

$$F(t) = \lambda e^{-\lambda t}; t > 1 \quad (2.16)$$

Fungsi distribusi kumulatif:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2.17)$$

Fungsi kehandalan dalam distribusi *weibull*:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.18)$$

Nilai laju kerusakan distribusi *weibull*:

$$\lambda(t) = \lambda \quad (2.19)$$

Mean Time To Failure distribusi *weibull*:

$$MTTF = \int_t^{\infty} R(t) dt = 1/\lambda \quad (2.20)$$

Keterangan:

$R(t)$: Fungsi kehandalan

λ : Laju Kerusakan

μ : *Scale Parameter*

β : *Shape Parameter*

t : Waktu , $t \geq 0$

2.4.3. Kehandalan dengan *Preventive Maintenance*

Peningkatan kehandalan dapat ditempuh dengan preventive maintenance. Dengan preventive maintenance maka pengaruh wear out mesin atau komponen dapat dikurangi dan menunjukkan hasil yang cukup signifikan terhadap umur sistem. Menurut Lewis, Kehandalan pada saat t dinyatakan sebagai berikut:

$$R_m(t) = R(t) \quad (2.21)$$

$$R_m(t) = R(T) \times R(t - T) \quad (2.22)$$

Keterangan

t : waktu

T : interval waktu pencegahan penggantian kerusakan

$R(t)$: kehandalan (*reliability*) dari system tanpa *preventive maintenance*

$R(T)$: peluang dari kehandalan hingga *preventive maintenance* pertama

$R(t-T)$: peluang dari kehandalan antara waktu $t-T$ setelah sistem dikembalikan dari kondisi awal pada saat T .

$R_m(t)$: kehandalan (*reliability*) dari system dengan *preventive maintenance*

Secara umum persamaannya adalah:

$$R_m(t) = R(T)^n \times R(t - nT) \quad (2.23)$$

untuk $nT \leq t \leq (n+1)T$

dimana $n = 1, 2, 3, \dots$ dst

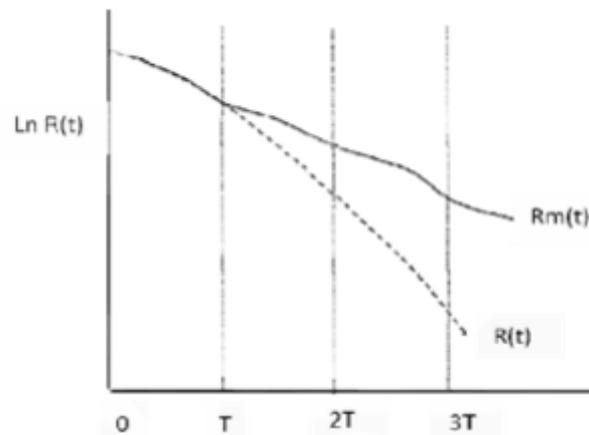
Keterangan:

n : Jumlah perawatan

$R_m(t)$: kehandalan (*reliability*) system dengan *preventive maintenance*

$R(T)^n$: probabilitas kehandalan hingga n selang waktu

$R(t-nT)$: probabilitas kehandalan untuk waktu $t-nT$ dari tindakan *preventive maintenance* yang terakhir.



Gambar 2.2. Pengaruh *Preventive Maintenance* terhadap *Reliability*
(Sumber: Introduction to Reliability Engineering, E.E. Lewis)

Untuk laju kerusakan yang konstan : $R(t) = e^{-\lambda t}$ maka,

$$R_m(t) = (e^{-\lambda T})^n e^{-\lambda(t-nT)} \quad (2.24)$$

$$R_m(t) = e^{-\lambda t} \cdot e^{-\lambda t} \cdot e^{-\lambda t} \quad (2.25)$$

$$R_m(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.26)$$

$$R_m(t) = R(t) \quad (2.27)$$

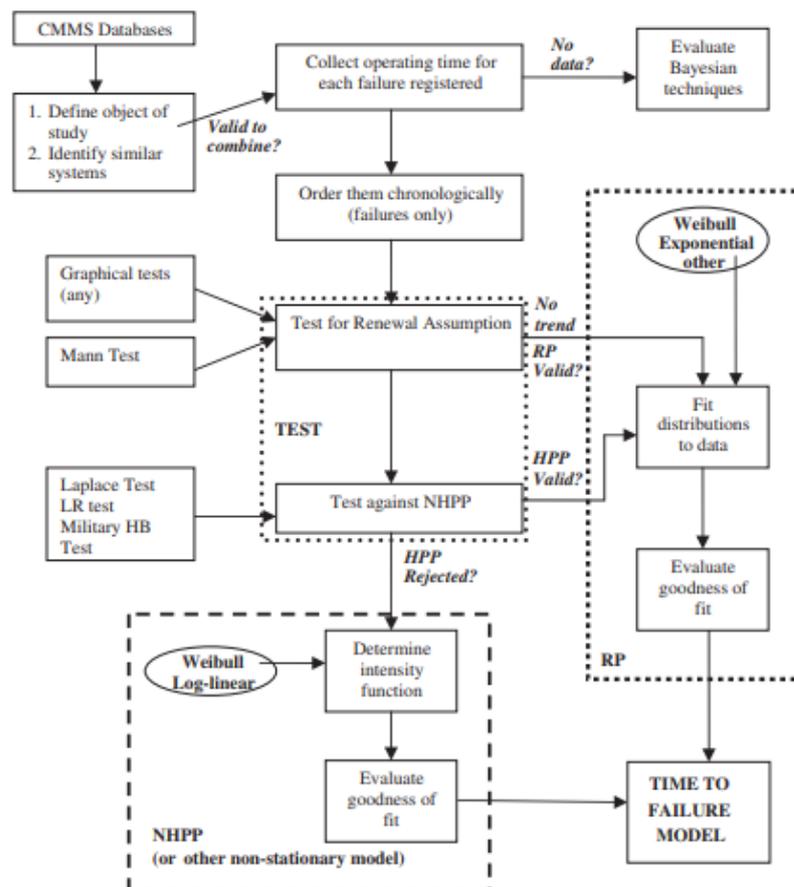
Berdasarkan rumus di atas, ini membuktikan bahwa distribusi eksponensial yang memiliki laju kerusakan konstan, bila dilakukan preventive maintenance

tidak akan menghasilkan dampak apapun. Dengan demikian, tidak ada peningkatan reliability seperti yang diharapkan, karena $R_m(t) = R(t)$

Namun apabila nilai laju kerusakan tidak konstan memungkinkan preventive maintenance tidak meningkatkan kehandalan peralatan. Pada saat itu solusi yang digunakan lebih baik adalah penggantian mesin (E.E Lewis, 1987).

2.5 Analisis *Time Between Failure*

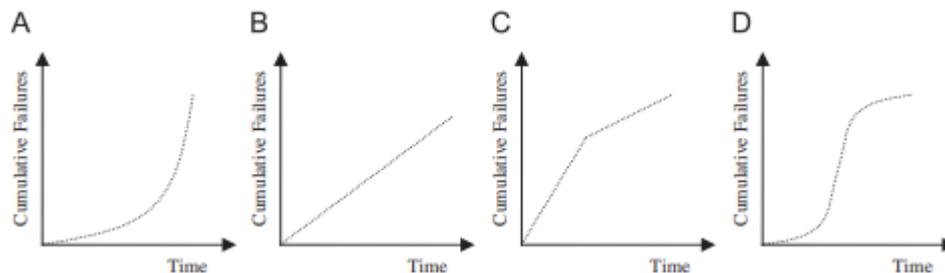
Analisis *time between failure* adalah waktu yang di prediksi berlalu antara kegagalan sistem mekanik atau elektronik, selama operasi sistem normal. Dalam tulisannya, D.M. Louit et. al. menjelaskan langkah-langkah pengolahan data untuk *Time Between Failure* (TBF) seperti pada bagan dibawah ini:



Gambar 2.3. Bagan Pengolahan Data TBF

(Sumber: *A Practical Procedure for The Selection of Time-To-Failure Models Based on The Assessment of Trends in Maintenance Data*, D.M. Louit et. al.)

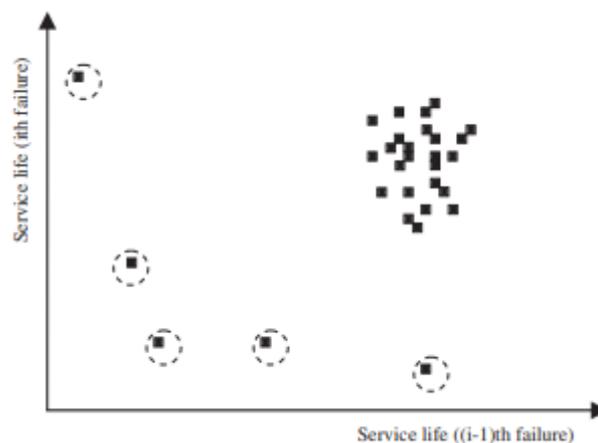
Untuk menganalisis sejumlah data TBF memiliki trend atau tidak, menggunakan *graphical test* yaitu dengan melakukan plotting data antara data kumulatif TBF (sebagai sumbu X) dan kumulatif frkuensi kegagalan (sebagai sumbu Y) akan dilihat apakah data tersebut memiliki kecenderungan seperti gambar 2.4. apabila grafik menunjukkan seperti grafik D maka data tersebut dianggap memiliki trend, selainnya pada grafik A, B, C dianggap tidak memiliki trend.



Gambar 2.4. *Cummulative Failure vs Time Plots*

(Sumber: *A Practical Procedure for The Selection of Time-To-Failure Models Based on The Assessment of Trends in Maintenance Data, D.M. Louit et. al.*)

Graphical test yang kedua adalah dengan melakukan plot data TBF yang terjadi secara berturut-turut dengan melakukan plot data TBF sebelumnya $(i-1)^{\text{th}}$ TBF sebagai sumbu X dan data TBF saat ini atau setelahnya i^{th} sebagai sumbu Y. Apabila data membentuk satu kumpulan titik seperti gambar 2.6 maka data dianggap tidak memiliki trend sedangkan bila lebih dari satu kumpulan titik maka dianggap memiliki trend.



Gambar 2.5. *Successive Service Life Plot*

(Sumber: *A Practical Procedure for The Selection of Time-To-Failure Models Based on The Assessment of Trends in Maintenance Data*, D.M. Louit et. al.)

2.6 Interval Waktu Penggantian Berdasakrkan *Minimize Downtime*

Menurut Jardine (1973) *Downtime* merupakan kondisi dimana suatu komponen sistem tidak dapat digunakan, sehingga fungsi sistem tidak berjalan. Untuk menentukan interval penggantian komponen optimal berdasarkan interval waktu (t_p), dengan meminimumkan tindakan penggantian *preventive* pada waktu t_p , dinotasikan sebagai $D(t_p)$. Berdasarkan kenyataan bahwa pada dasarnya prinsip utama dalam manajemen perawatan adalah untuk menekan periode kerusakan *breakdown* sampai batas minimum menjadi sangat penting. pembahasan akan difokuskan pada proses pembuatan keputusan penggantian komponen sistem perawatan untuk memperpendek periode kerusakan sampai batas minimum dapat dicapai. Penentuan tindakan *preventive* yang optimum dengan meminimumkan *downtime* akan dikemukakan berdasarkan interval waktu penggantian.

Tujuan untuk menentukan pengantian komponen yang optimum berdasarkan interval waktu (t_p), diantara penggantian *preventive* dengan menggunakan kriteria meminimumkan total *downtime* per unit waktu. Tindakan penggantian *preventive* pada waktu t_p dihitung dengan menggunakan rumus:

$$D(t_p) = \frac{H(t_p)T_f + T_p}{t_p + T_p} \quad (2.28)$$

Keterangan:

$H(t_p)$: Banyaknya waktu kerusakan (kegagalan) dalam interval waktu ($0, t_p$) merupakan nilai harapan (*expected value*)

T_f : Waktu yang diperlukan untuk penggantian komponen karena kerusakan

T_p : Waktu yang diperlukan untuk penggantian komponen karena tindakan *preventive*

Meminimumkan *downtime* akan diperoleh tindakan penggantian komponen berdasakran interval waktu (t_p) yang optimum. Untuk komponen yang

memiliki distribusi kegagalan mengikuti peluang tertentu dengan fungsi peluang $f(t)$, maka nilai harapan (*expected value*) banyaknya kegagalan yang terjadi dalam interval waktu $(0, t_p)$ dapat dihitung sebagai berikut:

$$H(t_p) = \sum_{i=0}^{t_p-1} [1 + H(t_p - 1 - i)] \int_i^{i+1} F(t) dt \quad (2.29)$$

$H(0)$ ditetapkan sama dengan nol, sehingga untuk $t_p = 0$,
maka $H(t_p) = H(0) = 0$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan di PT. Intimas Surya yang merupakan perusahaan yang bergerak di bidang penangkapan, pemrosesan dan mengespor produk ikan segar dan beku. PT. Intimas Surya terletak di Jln. Ikan Tuna Raya III, Pelabuhan Bena, Denpasar, Bali.

3.2 Pengumpulan Data

Jenis dan sumber data yang digunakan dalam penelitian RCM ini diantaranya adalah:

1. Data Primer

Data primer adalah sumber data penelitian yang diperoleh secara langsung dari sumber aslinya. Data primer berupa historis perusahaan yang didapat dari PT. Intimas Surya yaitu:

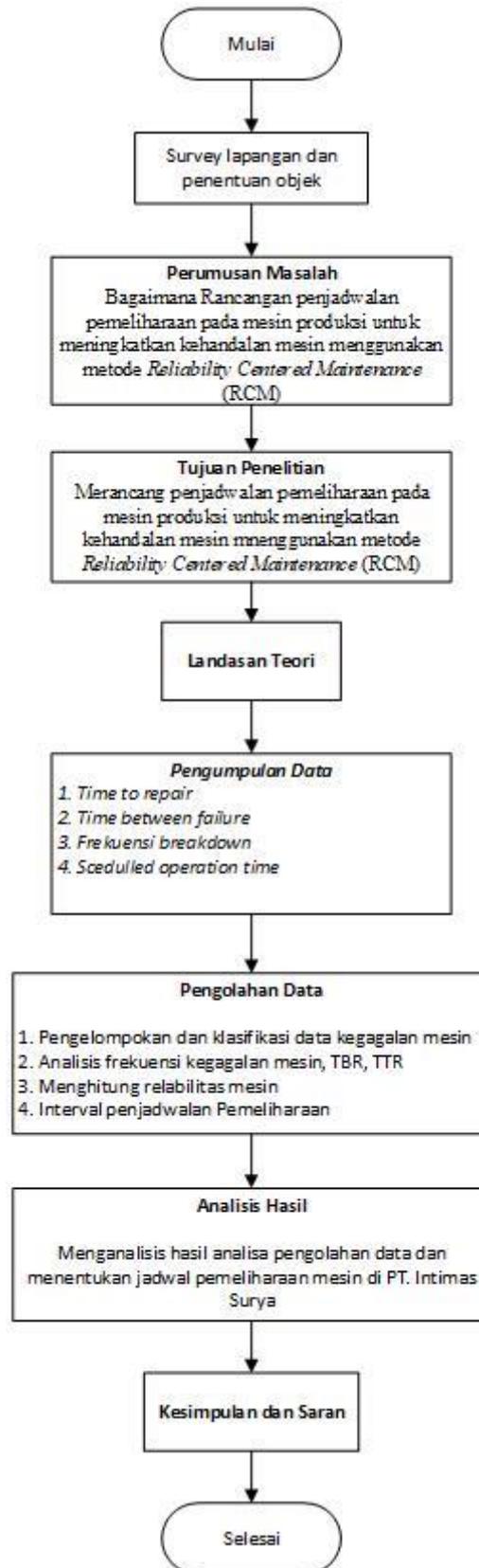
- a. Data frekuensi *breakdown*
- b. *Time to repair*
- c. *Time between failure*
- d. Jadwal operasi mesin

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data pendukung penelitian yang diperoleh dari berbagai sumber atau data yang diperoleh tidak langsung dari objek penelitian. Seperti jurnal, penelitian terdahulu, dokumen perusahaan dan lain-lain. Data sekunder berasal dari studi pustaka untuk mencari referensi dan literature yang berkaitan dengan masalah pemeliharaan dan RCM.

3.3 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian merupakan suatu cara untuk menentukan langkah-langkah yang akan dilakukan. Langkah-langkah tersebut dilakukan secara sistematis agar tujuan dari penelitian dapat terpenuhi sesuai yang telah direncanakan. Langkah-langkah penelitian dapat dipetakan dalam diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Kerangka Penelitian

3.4 Pengolahan Data

Berdasarkan data-data yang diperoleh dari perusahaan, selanjutnya penulis melakukan pengolahan data meliputi penggunaan metode dan *software* untuk mengolah, menyajikan, menganalisa dan menginterpretasikan data tersebut. Langkah-langkah dalam pengolahan data sebagai berikut:

1. Pengelompokan data kerusakan sesuai komponen mesin yang kritis.
2. Menganalisis penyebab dan akibat kegagalan komponen pada mesin. Mengkategorikan fungsi sistem ke dalam fungsi primer sekunder untuk mengetahui ketidakmampuan sistem dalam memenuhi standar yang telah ditetapkan.
3. Penaksiran tugas *preventive maintenance* menggunakan *tools* FMEA untuk mengevaluasi sistem berdasarkan mode kegagalan yang terdiri dari komponen sistem dan menganalisis pengaruhnya. Selanjutnya memprediksi *critically components* dan menentukan tindakan pemeliharaan. Dalam penentuan tindakan dipertimbangkan dari nilai *risk priority number* (RPN). Nilai (RPN) menunjukkan tingkatan prioritas untuk menentukan tindakan perbaikan yang tepat.
4. Melakukan analisis komponen kritis dengan menggunakan *Logic Tree Analysis* (LTA). LTA digunakan untuk menentukan prioritas mode kegagalan dengan melakukan tinjauan fungsi dan kegagalan fungsi. Prioritas mode kegagalan dapat diketahui dengan menjawab pertanyaan yang ada dalam LTA.
5. Melakukan pemilihan tindakan untuk mengetahui mode kegagalan masuk dalam kategori tindakan *time directed*, *condition directed*, *finding failure*, atau *run to failure*. Apabila masuk kategori *time directed* maka tindakan selanjutnya adalah menentukan interval waktu perawatan komponen kritis dengan *Total Minimum Downtime*.
6. Setelah mengetahui komponen mana saja yang termasuk dalam kategori *time directed*, langkah berikutnya yaitu menentukan pola distribusi waktu antar kerusakan. Untuk penentuan pola distribusi yang tepat dan penentuan

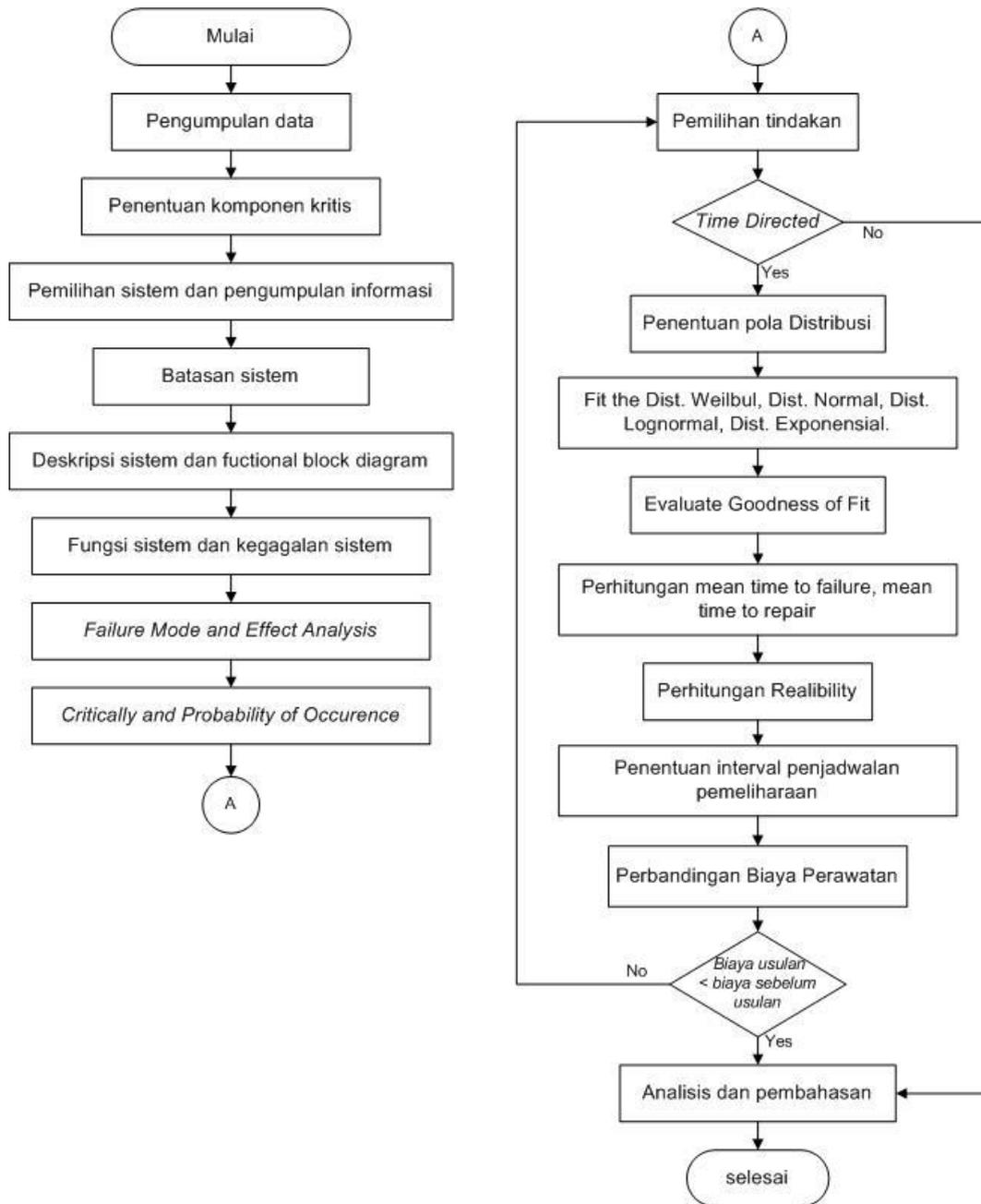
parameter distribusinya dilakukan menggunakan *software Minitab 19*.

7. Perhitungan interval penggantian komponen dengan *Total Minimum Downtime*. Sedangkan untuk komponen yang masuk kedalam *condition directed*, maka dilanjutkan ke tahap analisa dan pembahasan.

8. Membuat tindakan perawatan yang optimal terhadap komponen kritis.

9. Membuat perbandingan biaya perawatan sebelum dan sesudah melakukan perawatan menggunakan metode RCM.

Langkah-langkah pengolahan data dapat dipetakan dalam diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Kerangka Pengolahan data

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian diperoleh secara dengan cara wawancara kepada pekerja di PT. Intimas Surya. Data yang diperoleh dari wawancara yaitu data jumlah *downtime* mesin produksi.

4.1.1 Data *Breakdown* Mesin Produksi

Data frekuensi *breakdown* pada mesin produksi PT. Intimas Surya dalam periode September 2020 – Desember 2021 dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Frekuensi *Breakdown* Perbulan Mesin Produksi

Bulan	<i>Breakdown Time</i>				
	Mesin Potong	Mesin Strapping	Compressor Pendingin	Metal Detector	Air Blast Freezer
September	2	1	0	2	2
Oktober	3	2	2	1	2
November	4	0	0	1	2
Desember	2	3	0	2	3
Januari	5	1	1	0	2
Februari	1	2	1	2	2
Maret	3	0	2	2	0
April	1	1	1	1	3
Mei	2	1	2	1	2
Juni	4	2	0	3	3
Juli	4	3	2	2	1
Agustus	3	1	2	1	3
September	4	0	1	2	2
Oktober	3	1	1	3	2
November	3	2	1	2	1
Desember	4	1	1	1	1
Total	48	21	17	26	31

Sumber : PT. Intimas Surya (2021)

Tabel 4.2 Lama Waktu *Downtime* Mesin Produksi

Nama Mesin	Komponen	Mulai <i>Downtime</i>	Selesai <i>Downtime</i>	Total <i>Downtime</i> (jam)
Mesin Potong	<i>Bearing</i>	10/09/2020 (09.30)	10/09/2020 (11.45)	2,25
		11/10/2020 (14.45)	11/10/2020 (16.15)	1
		16/11/2020 (11.30)	16/11/2020 (14.15)	2,25
		10/12/2021 (10.30)	10/12/2021 (11.30)	1
		20/01/2021 (8.00)	20/01/2021 (12.00)	4
		28/02/2021 (9.36)	28/02/2021 (11.36)	2
		01/04/2021 (13.45)	01/04/2021 (15.00)	1,25
		15/05/2021 (14.00)	15/05/2021 (15.00)	1
		04/07/2021 (9.15)	04/07/2021 (10.00)	0,75
		25/08/2021 (8.25)	25/08/2021 (9.50)	1,4
		18/09/2021 (14.15)	18/09/2021 (15.00)	0,75
		25/10/2021 (13.45)	25/10/2021 (14.45)	1
		19/11/2021 (10.15)	19/11/2021 (12.00)	1,75
		18/12/2021 (11.15)	18/12/2021 (13.15)	2
		<i>Solenoid</i>	24/10/2020 (14.15)	24/10/2020 (16.00)
	04/01/2021 (10.50)		04/01/2021 (12.20)	1,5
	05/03/2021 (13.45)		05/03/2021 (15.15)	2
	17/06/2021 (8.40)		17/06/2021 (13.20)	5
	30/08/2021(15.15)		30/08/2021 (16.00)	0,75
	30/10/2021 (11.00)		30/10/2021 (13.30)	2,5
	Kontaktor	14/12/2021 (15.15)	14/12/2021 (16.30)	1,25
		03/11/2020 (11.00)	03/11/2020 (11.45)	0,75
		20/06/2021 (14.15)	20/06/2021 (15.00)	0,75
		11/10/2021 (10.30)	11/10/2021 (11.00)	0,5
	Mata Gergaji	08/12/2021 (15.15)	08/12/2021 (16.15)	1
		06/10/2020 (14.00)	06/10/2020 (15.00)	1
		17/11/2020 (8.15)	17/11/2020 (9.00)	0,75
		29/12/2020 (9.25)	29/12/2020 (10.25)	1
21/01/2021 (10.30)		21/01/2021 (11.00)	0,5	
02/03/2021 (14.15)		02/03/2021 (15.15)	1	
01/06/2021 (12.30)		01/06/2021 (13.15)	0,75	
19/07/2021 (9.50)		19/07/2021 (10.20)	0,5	
Roda Penggerak	06/09/2021 (11.15)	06/09/2021 (13.15)	2	
	20/01/2021 (10.30)	20/01/2021 (11.00)	0,5	
	18/06/2021 (14.15)	18/06/2021 (15.00)	0,75	
	09/09/2021 (15.15)	09/09/2021 (16.15)	1	
		18/11/2021 (11.00)	18/11/2021 (11.45)	0,75

Tabel 4.2 Lama Waktu *Downtime* Mesin Produksi (Lanjutan)

Nama Mesin	Komponen	Mulai <i>Downtime</i>	Selesai <i>Downtime</i>	Total <i>Downtime</i> (jam)
Mesin Potong	Roda Gergaji	29/09/2020 (15.00)	29/09/2020 (16.00)	1
		13/11/2020 (11.15)	13/11/2020 (12.30)	1,25
		07/01/2021 (10.30)	07/01/2021 (14.00)	3,5
		29/03/2021 (8.15)	29/03/2021 (12.15)	4
		23/05/2021 (9.45)	23/05/2021 (13.00)	3,25
		10/07/2021 (13.15)	10/07/2021 (15.15)	2
		02/08/2021 (10.45)	02/08/2021 (12.45)	2
		30/08/2021 (14.35)	30/08/2021 (16.35)	2
		11/10/2021 (12.45)	11/10/2021 (14.00)	1,25
		05/11/2021 (15.00)	05/11/2021 (17.00)	2
		20/12/2021 (10.00)	20/12/2021 (14.00)	4

Tabel 4.3 Data Waktu *Downtime* Mesin Produksi

Mesin Produksi	Frekuensi Kerusakan (kali)	Waktu <i>Downtime</i> (jam/tahun)	Presentase Waktu <i>Downtime</i> (%)
Mesin Potong	48	155	38,6%
Mesin <i>Strapping</i>	21	59	14,7%
<i>Compressor</i> pendingin	17	41	10,2%
<i>Metal Detector</i>	26	81	20,1%
<i>Air Blast Freezer</i>	31	66	16,4%
Total	143	402	100%

Sumber : PT. Intimas Surya (2021)

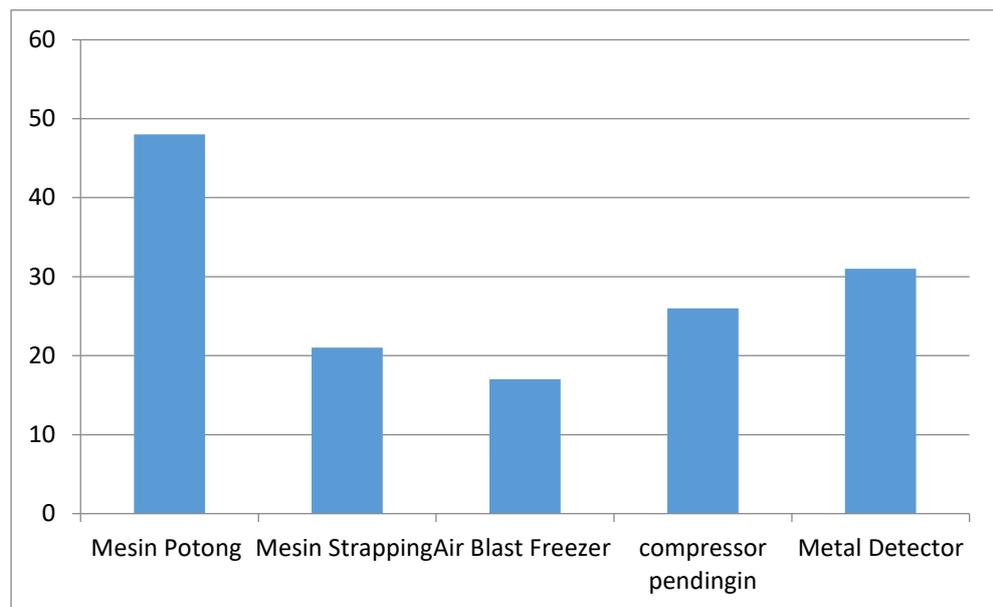
Berdasarkan Tabel 4.1 diatas, menunjukkan bahwa mesin yang paling sering mengalami *breakdown* adalah mesin potong dengan frekuensi kerusakan terjadi sebanyak 48 kali.

Tabel 4.4 Presentase Kumulatif Kerusakan Mesin

Mesin Produksi	Frekuensi Kerusakan (kali)	Presentase (%)	Presentase Kumulatif (%)
Mesin Potong	48	38%	38%
Mesin <i>Strapping</i>	21	20%	58%
<i>Compressor</i> pendingin	17	14%	72%
<i>Metal Detector</i>	26	12%	85%
<i>Air Blast Freezer</i>	31	15%	100%
Total	143	100%	

Sumber : PT. Intimas Surya (2021)

Dari data *breakdown* mesin di atas dapat di lihat bahwa setiap mesin memiliki tingkat kerusakan yang berbeda - beda. Tingkat kerusakan tertinggi atau lebih sering terjadi pada mesin potong dengan tingkat kerusakan 48 kali, mesin *strapping* 21 kali, *compressor* pendingin 17 kali, *metal detector* 26 kali, dan yang terakhir *air blast freezer* sebanyak 31 kali. Berikut *Pareto Chart Breakdown* Mesin Produksi dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 *Pareto Chart Breakdown* Mesin Produksi

4.1.2 Data Kerusakan Mesin Potong

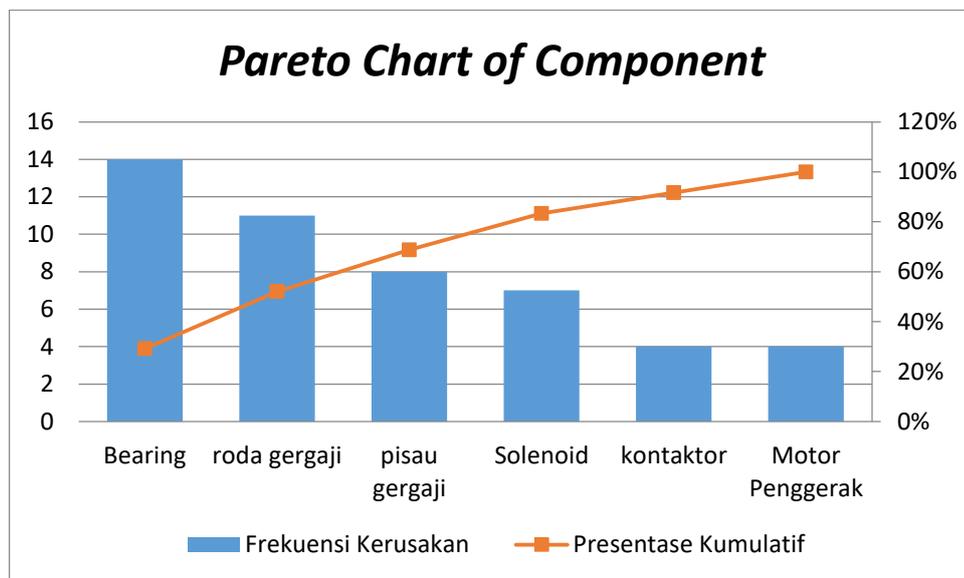
Berikut merupakan data kerusakan mesin potong periode September 2020 – Desember 2021 dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Presentase Kumulatif Kerusakan komponen Mesin Potong

Komponen Mesin Potong	Frekuensi Kerusakan (kali)	Presentase (%)	Presentase Kumulatif (%)
<i>Bearing</i>	14	29%	29%
Roda Gergaji	11	23%	52%
Pisau Gergaji	8	17%	69%
<i>Solenoid</i>	7	15%	83%
Kontaktor	4	8%	92%
Motor Penggerak	4	8%	100%
Total	48	100%	

Sumber : PT. Intimas Surya (2020)

Dari tabel diatas diketahui bahwa komponen mesin potong dengan frekuensi terbesar yaitu *bearing* sebanyak 14 kali, lalu roda gergaji 11 kali, pisau gergaji 8 kali, *solenoid* 7 kali, kontaktor dan motor penggerak sebanyak 4 kali. Ditunjukkan Diagram Pareto komponen mesin potong pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Pareto Chart Komponen Mesin Potong

Dari hasil rekapitulasi jumlah kerusakan komponen mesin potong pada Gambar 4.2 diatas bahwa frekuensi kerusakan paling banyak dengan presentase kumulatif mencapai 80% yaitu komponen *bearing*, *solenoid*, roda gergaji, dan pisau gergaji. Adapaun waktu antar kerusakan – kerusakan komponen mesin potong dapat dilihat pada Tabel 4.5.

4.1.3 Rata – rata Waktu Perbaikan Komponen Kritis Mesin Potong

Dalam perbaikan komponen kritis mesin potong memerlukan waktu perbaikan. Waktu yang diperlukan untuk mengganti komponen karena terjadi kerusakan disimbolkan dengan T_f , dan waktu yang diperlukan untuk mengganti komponen berdasarkan interval waktu (tindakan preventif) disimbolkan dengan T_p . Rata-rata waktu perbaikan dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Lama Perbaikan Kerusakan Komponen

No.	Komponen	Lama Pergantian	
		T_f	T_p
1	<i>Bearing</i>	2	1
2	<i>Solenoid</i>	3	0,75
3	Kontaktor	2	1
4	Mata Gergaji	1	1
5	Roda Gergaji	4	1,5
6	Motor Penggerak	2	1,5

4.2 Pengolahan Data

4.2.1 Pemilihan Sistem dan Pengumpulan Informasi

Sistem yang dipilih dalam penelitian ini adalah mesin potong, dengan melakukan analisis pareto terhadap mesin-mesin produksi. Mesin potong dipilih karena jumlah kegagalan sistem nya mencapai 80%. Sehingga pengumpulan data fungsi komponen difokuskan pada mesin potong.

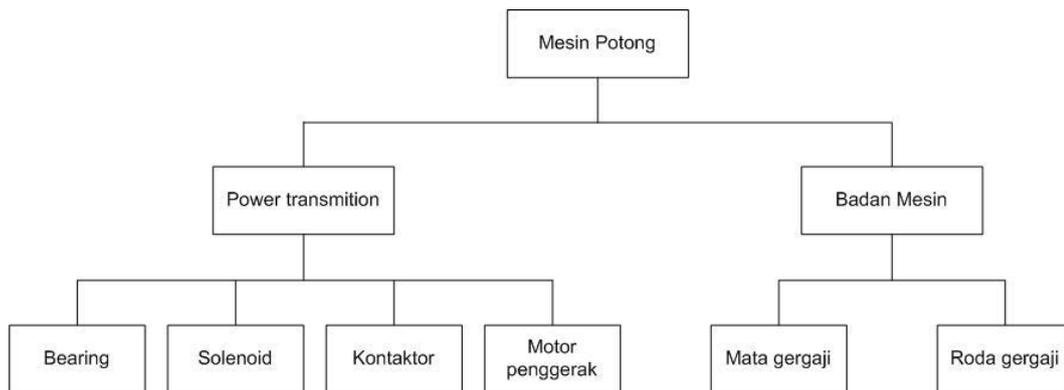


Gambar 4.3 Mesin Potong

Mesin potong berfungsi untuk memotong bagian-bagian ikan menjadi potongan yang beragam dan presisi.

4.2.2 Deskripsi Sistem dan *Fuctional Block Diagram*

Deskripsi sistem dan FBD bertujuan untuk mengetahui spesifikasi sistem dan fungsi sistem yang direpresentasikan kedalam suatu blok-blok.



Gambar 4.4 *Fuctional Block Diagram* Mesin Potong

4.2.3 Menentukan fungsi sistem dan kegagalan fungsi

Fungsi sistem merupakan suatu kinerja yang diharapkan bisa beroperasi sesuai dengan fungsinya, sedangkan kegagalan fungsi merupakan suatu sistem yang berjalan tidak sesuai dengan standar fungsi sistem tersebut. Fungsi dan kegagalan fungsi dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Fungsi Sistem dan Kegagalan fungsi Mesin Potong

Komponen	Fungsi	Kemungkinan Penyebab
<i>Bearing</i>	menumpu dan mengurangi gesekan yang terjadi pada poros	masuknya air laut ke <i>bearing</i>
<i>Solenoid</i>	menghantarkan arus listrik	kumparan <i>solenoid</i> terbakar, seal rusak
Kontaktor	menyambung dan memutus arus listrik	kontaktor macet, terbakar
Pisau Gergaji	memotong ikan dan bahan dengan lebih presisi dan beragam	mata gergaji tidak tajam, patah
Roda Gergaji	merekatkan mata gergaji dengan penyangga agar tidak bergeser	kalibrasi pada roda gergaji atas dan bawah tidak sejajar, slip nya mata gergaji
Motor Penggerak	mengubah energi listrik menjadi energi gerak	kerak pada brush

4.2.4 *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

FMEA merupakan suatu metode yang bertujuan untuk mengevaluasi desain sistem dengan mempertimbangkan bermacam-macam mode kegagalan dari sistem yang terdiri dari komponen-komponen dan menganalisis pengaruh-pengaruhnya terhadap kehandalan sistem tersebut. RPN merupakan produk matematis dari keseriusan *effect (severity)*, kemungkinan terjadinya *cause* akan menimbulkan kegagalan yang berhubungan dengan *effect (occurrence)*, dan kemampuan untuk mendeteksi kegagalan sebelum terjadi (*detection*). Penilaian *severity, occurrence, detection* berdasarkan tabel 2.1, 2.2, 2.3, dan berdasarkan wawancara dengan mekanik, maka diperoleh nilai *severity, occurrence, detection* sebagai berikut:

- a. Komponen yang mengalami kerusakan adalah *bearing*.
Pada komponen *bearing* nilai *severity* 6 karena kehilangan kenyamanan fungsi penggunaan, nilai *occurrence* 4 karena jumlah kerusakan sebanyak 14 kali dalam 7200 jam, nilai *detection* 4 karena memiliki kesempatan yang cukup tinggi untuk terdeteksi.
- b. Komponen yang mengalami kerusakan adalah *solenoid*.
Pada komponen *solenoid* nilai *severity* 7 karena adanya pengurangan fungsi utama, nilai *occurrence* 3 karena jumlah kerusakan sebanyak 7 kali dalam 7200 jam, nilai *detection* 5 karena memiliki kesempatan sedang untuk terdeteksi.
- c. Komponen yang mengalami kerusakan adalah kontaktor.
Pada komponen kontaktor nilai *severity* 7 karena adanya pengurangan fungsi utama, nilai *occurrence* 2 karena jumlah kerusakan sebanyak 4 kali dalam 7200 jam, nilai *detection* 4 karena memiliki kesempatan yang cukup tinggi untuk terdeteksi.
- d. Komponen yang mengalami kerusakan adalah pisau gergaji.
Pada komponen pisau gergaji nilai *severity* 8 karena kehilangan fungsi utama, nilai *occurrence* 3 karena jumlah kerusakan sebanyak 8 kali dalam

7200 jam, nilai *detection* 2 karena memiliki kesempatan yang sangat tinggi untuk terdeteksi.

- e. Komponen yang mengalami kerusakan adalah roda gergaji.

Pada komponen roda gergaji nilai *severity* 8 karena kehilangan fungsi utama, nilai *occurrence* 4 karena jumlah kerusakan sebanyak 11 kali dalam 7200 jam, nilai *detection* 2 karena memiliki kesempatan yang sangat tinggi untuk terdeteksi.

- f. Komponen yang mengalami kerusakan adalah motor penggerak.

Pada komponen motor penggerak nilai *severity* 7 karena adanya pengurangan fungsi utama, nilai *occurrence* 2 karena jumlah kerusakan sebanyak 4 kali dalam 7200 jam, nilai *detection* 5 karena memiliki kesempatan sedang untuk terdeteksi.

Tabel FMEA subsistem mesin potong dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Perhitungan FMEA Mesin Potong

Komponen	Mode Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Akibat Kerusakan	S	O	D	RPN
Bearing	Bearing aus	Sering terkena air laut	Pully tidak berputar dengan baik	6	4	4	96
	Ball bearing pecah	Terjadinya gesekan atau benturan					
Solenoid	Kumparan solenoid terbakar	Overheat pada solenoid	Dapat terjadi malfungsi pada mesin	7	3	5	105
	Seal rusak	Seal sudah usang					
Kontaktor	Kontaktor terbakar	Kabel komponen longgar pada sirkuit	Tidak adanya arus listrik yang tersalurkan	7	2	4	56
	Kontaktor macet	Coil tidak bekerja dengan normal					
Mata Gergaji	Mata gergaji patah	Berbenturan dengan penopang objek	Hasil pemotongan produk menjadi tidak sesuai bahkan rusak	8	3	2	48
	Mata gergaji tumpul	Terlalu lama masa pemakaian					
Roda Gergaji	Kalibrasi roda atas dan bawah	Masa pemakaian terlalu lama	Hasil pemotongan menjadi tidak sesuai	8	4	2	64
	Slip mata gergaji dari roda gergaji	Penggunaan mesin terlalu intens					
Mesin Penggerak	Kerak pada brush	Kotoran yang terperangkap pada brush	Arus listrik terhambat	7	2	5	70

Sumber: Wawancara Mekanik

4.2.5 *Critically and Probability of Occurrence*

Langkah ini bertujuan untuk menganalisis secara kritis kemungkinan apa saja yang dapat terjadi pada sistem dengan menggunakan *logic tree analysis* dan *critically analysis for plant component*.

1. *Logic Tree Analysis (LTA)*

Penyusunan *logic tree analysis* memiliki tujuan untuk memberikan prioritas pada tiap mode kerusakan. Melakukan tinjauan fungsi dan kegagalan fungsi sehingga status mode kerusakan tidak sama. Proses LTA menggunakan pertanyaan logika sederhana atau struktur keputusan kedalam empat kategori, setiap pertanyaan akan dijawab “Ya” atau “Tidak”. Hal penting dalam analisis kekritisan yaitu sebagai berikut:

- a. *Evident*, yaitu apakah operator mengetahui dalam kondisi normal, telah terjadi gangguan dalam sistem?
- b. *Safety*, yaitu apakah mode kerusakan ini menyebabkan masalah keselamatan?
- c. *Outage*, yaitu apakah mode kerusakan ini mengakibatkan seluruh atau sebagian mesin terhenti?
- d. *Category*, yaitu pengkategorian yang diperoleh setelah menjawab pertanyaan diatas. Pada bagian ini komponen terbagi dalam 4 kategori, yaitu:
 1. Kategori A (*Safety Problem*), konsekuensi terhadap personel maupun lingkungan.
 2. Kategori B (*Outage Problem*), konsekuensi terhadap operasional plant.
 3. Kategori C (*Economic Problem*), konsekuensi terhadap kerugian ekonomi.
 4. Kategori D (*Hidden Failure*), tergolong dalam hidden failure yang kemudian digolongkan lagi kedalam kategori D/A, D/B, atau D/C

Hasil analisis menggunakan *logic tree analysis* dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.10 *Logic Tree Analysis*

Komponen	Mode Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Akibat Kerusakan	<i>Evident</i>	<i>Safety</i>	<i>Outage</i>	<i>Category</i>
<i>Bearing</i>	<i>Bearing</i> aus	Sering terkena air laut	<i>Pully</i> tidak berputar dengan baik	Y	N	Y	B
	<i>Ball bearing</i> pecah	Terjadinya gesekan atau benturan					
<i>Solenoid</i>	Kumparan <i>solenoid</i> terbakar	<i>Overheat</i> pada <i>solenoid</i>	Dapat terjadi malfungsi pada mesin	Y	N	Y	B
	<i>Seal</i> rusak	<i>Seal</i> sudah usang					
Kontaktor	Kontaktor terbakar	Kabel komponen longgar pada sirkuit	Tidak adanya arus listrik yang tersalurkan	Y	N	Y	B
	Kontaktor macet	<i>Coil</i> tidak bekerja dengan normal					
Mata Gergaji	Mata gergaji patah	Berbenturan dengan penopang objek	Hasil pemotongan produk menjadi tidak sesuai bahkan rusak	Y	N	Y	B
	Mata gergaji tumpul	Terlalu lama masa pemakaian					
Roda Gergaji	Kalibrasi roda atas dan bawah	Masa pemakaian terlalu lama	Hasil pemotongan menjadi tidak sesuai	Y	N	Y	B
	Slip mata gergaji dari roda gergaji	Penggunaan mesin terlalu intens	Mata pisau terlepas				
Mesin Penggerak	Kerak pada brush	Kotoran yang terperangkap pada brush	Arus listrik terhambat	Y	N	Y	B

Keterangan :

Y = Ya

N = Tidak

2. Critically Analysis for Plant Component

Hasil dari analisis *critically analysis for plant component* dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 *Critically Analysis for Plant Component*

Komponen	Mode Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Akibat Kerusakan	Critically Analysis			Critically index	Group
				Safety	Production	Cost		
Bearing	Bearing aus	Sering terkena air laut	Pully tidak berputar dengan baik	2	3	2	2,4	B
	Ball bearing pecah	Terjadinya gesekan atau benturan						
Solenoid	Kumparan solenoid terbakar	Overheat pada solenoid	Dapat terjadi malfungsi pada mesin	2	3	2	2,4	B
	Seal rusak	Seal sudah usang						
Kontaktor	Kontaktor terbakar	Kabel komponen longgar pada sirkuit	Tidak adanya arus listrik yang tersalurkan	2	3	2	2,4	B
	Kontaktor macet	Coil tidak bekerja dengan normal						
Mata Gergaji	Mata gergaji patah	Berbenturan dengan penopang objek	Hasil pemotongan produk menjadi tidak sesuai bahkan rusak	2	3	2	2,4	B
	Mata gergaji tumpul	Terlalu lama masa pemakaian						
Roda Gergaji	Kalibrasi roda atas dan bawah	Masa pemakaian terlalu lama	Hasil pemotongan menjadi tidak sesuai	2	3	2	2,4	B
	Slip mata gergaji dari roda gergaji	Penggunaan mesin terlalu intens	Mata pisau terlepas					
Mesin Penggerak	Kerak pada brush	Kotoran yang terperangkap pada brush	Arus listrik terhambat	2	3	2	2,4	B

4.2.6 Pemilihan Tindakan

Pemilihan tindakan merupakan tahap akhir dalam proses RCM. Dari tiap mode kerusakan dibuat daftar tindakan yang mungkin untuk dilakukan dan selanjutnya memilih tindakan yang efektif. Pada proses ini dilakukan penentuan hubungan kegagalan yang ada, apakah kegagalan yang ada berhubungan langsung dengan *Time Directed* (TD), *Condition Directed* (CD), *Finding Failure* (FF) yaitu:

1. *Condition Directed* (CD), tindakan yang diambil yang bertujuan untuk mendeteksi kerusakan dengan cara *visual inspection*, memeriksa alat, serta memonitoring sejumlah data yang ada. Apabila ada pendeteksian ditemukan gejala-gejala kerusakan peralatan maka dilanjutkan dengan perbaikan atau penggantian komponen.
2. *Time Directed* (TD), tindakan yang bertujuan untuk melakukan pencegahan langsung terhadap sumber kerusakan yang didasarkan pada waktu atau umur komponen.
3. *Finding Failure* (FF), tindakan yang diambil dengan tujuan untuk menemukan kerusakan peralatan yang tersembunyi dengan pemeriksaan berkala.
4. *Run to Failure*, komponen akan digunakan sampai benar-benar rusak karena tidak ada tindakan yang dapat dilakukan untuk pencegahan kerusakan dari komponen tersebut.

Tabel penyusunan pemilihan tindakan untuk komponen mesin potong dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.12 Penyusunan Pemilihan Tindakan Komponen Mesin Potong

Komponen	Mode Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Akibat Kerusakan	Critically Analysis							Pemilihan Tindakan
				1	2	3	4	5	6	7	
Bearing	Bearing aus	Sering terkena air laut	Pully tidak berputar dengan baik	Y	Y	-	T	-	Y	-	TD
	Ball bearing pecah	Terjadinya gesekan atau benturan									
Solenoid	Kumparan solenoid terbakar	Overheat pada solenoid	Dapat terjadi malfungsi pada mesin	Y	Y	-	T	-	Y	-	TD
	Seal rusak	Seal sudah usang									
Kontaktor	Kontaktor terbakar	Kabel komponen longgar pada sirkuit	Tidak adanya arus listrik yang tersalurkan	Y	T	Y	T	-	Y	-	CD
	Kontaktor macet	Coil tidak bekerja dengan normal									
Mata Gergaji	Mata gergaji patah	Berbenturan dengan penopang objek	Hasil pemotongan produk menjadi tidak sesuai bahkan rusak	Y	Y	-	T	-	Y	-	TD
	Mata gergaji tumpul	Terlalu lama masa pemakaian									
Roda Gergaji	Kalibrasi roda atas dan bawah	Masa pemakaian terlalu lama	Hasil pemotongan menjadi tidak sesuai	Y	Y	-	T	-	Y	-	TD
	Slip mata gergaji dari roda gergaji	Penggunaan mesin terlalu intens									
Motor Penggerak	Kerak pada brush	Kotoran yang terperangkap pada brush	Arus listrik terhambat	Y	T	Y	T	-	Y	-	CD

Keterangan:

Adapun pemilihan tindakan untuk setiap komponen ditentukan dalam tindakan *time directed* dan *condition directed* berdasarkan Gambar 2.X diagram alir pemilihan tindakan dan berdasarkan analisis terhadap FMEA dan LTA, juga dilihat tingkat kerusakan yang sering dari data yang ada serta tingkat ekonomi yang bisa merugikan perusahaan lebih tinggi. Pemilihan tindakan untuk komponen kritis untuk mesin potong sebagai berikut:

1. *Time Directed*

Terdapat empat komponen yang termasuk kedalam kategori *time directed*, yaitu *bearing*, *solenoid*, roda gergaji dan mata gergaji.

2. *Condition Directed*

Terdapat dua komponen yang termasuk kedalam kategori *condition directed*, yaitu motor penggerak dan kontaktor.

4.2.7 Pengujian Pola Distribusi

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan terhadap mesin potong, maka dilanjutkan analisis perhitungan terhadap komponen yang termasuk kategori *time directed*. Ada 4 komponen yang dianalisis, yaitu *bearing*, *solenoid*, mata gergaji, dan roda gergaji. Interval kerusakan dari keempat komponen tersebut akan diuji menggunakan 5 pola distribusi, yaitu distribusi *Weibull*, *Normal*, *Lognormal*, dan *Exponensial*. Untuk menguji pola distribusi dari kerusakan komponen tersebut, peneliti menggunakan bantuan *software* Minitab 19. Pengujian ini dilakukan untuk melihat kesesuaian antara distribusi dan *reliability* dari data yang sudah diamati. Berikut merupakan hasil uji distribusi dan parameter *software* Minitab 19.

Hasil rekapitulasi pengujian distribusi menggunakan *software* Minitab 19 dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Hasil Rekapitulasi Uji Distribusi

Komponen	Pola Distribusi	Parameter
Bearing	Weibull	$\alpha = 4,49652$, $\beta = 39,2233$
Solenoid	Lognormal	$\mu = 4,20056$, $\sigma = 0,279975$
Mata Gergaji	Lognormal	$\mu = 3,79409$, $\sigma = 0,371367$
Roda Gergaji	Weibull	$\alpha = 2,80994$, $\beta = 50,3730$

Untuk rincian hasil distribusi menggunakan *software* Minitab 19 dapat dilihat pada lampiran 1.

4.2.8 Interval Penggantian Komponen Optimal Berdasarkan *Minimize Downtime*

Downtime dapat didefinisikan sebagai waktu suatu komponen tidak bisa digunakan atau komponen berada pada kondisi tidak baik. Sehingga membuat fungsi sistem tidak berjalan dengan lancar. Prinsip dasar dalam perawatan yaitu dengan menekan periode kerusakan sampai pada batas minimum. Untuk mendapatkan *downtime* minimum dapat dilakukan dalam beberapa tahapan. Adapun tahapan-tahapan itu adalah sebagai berikut:

4.2.8.1 Bearing

1. Perhitungan Fungsi Distribusi Kumulatif Komponen *Bearing*

Distribusi : *Weibull*

Parameter : $\alpha = 4,49652$, $\beta = 39,2233$

$$F(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\beta} \right)^\alpha \right]$$

$$F(0) = 0$$

$$F(1) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{1}{39,2233} \right)^{4,49652} \right]$$

$$= 0,6832772 \times 10^{-8}$$

$$\begin{aligned}
 F(2) &= 1 - \exp \left[- \left(\frac{2}{39,2233} \right)^{4,49652} \right] \\
 &= 0,154235 \times 10^{-6}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Interval Kerusakan Tiap Waktu (0, Tp)

$$H(t) = [1 + H(0)] \times \int_t^{t+1} f(t)$$

$$H(0) = 0$$

$$H(1) = [1 + H(0)] \times \int_t^{t+1} f(1)$$

$$\begin{aligned}
 &= (1 + 0) \times 0,6832772 \\
 &= 0,6832772
 \end{aligned}$$

$$H(2) = [1 + H(1)] \times \int_t^{t+1} f(2)$$

$$\begin{aligned}
 &= (1 + 0,6832772) \times 0,154235 \\
 &= 0,154235
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan Interval Penggantian yang Optimal Berdasarkan *Total Minimize Downtime* (TMD)

$$D(tp) = \frac{H(tp)Tf + Tp}{tp + Tp}$$

$$D(0) = \frac{(0)(0,083333) + (0,041667)}{(0) + (0,041667)}$$

$$= 1$$

$$D(1) = \frac{(0,6832772)(0,083333) + (0,041667)}{(1) + (0,041667)}$$

$$= 0,609806$$

$$D(2) = \frac{(0,154235)(0,083333) + (0,041667)}{(2) + (0,041667)}$$

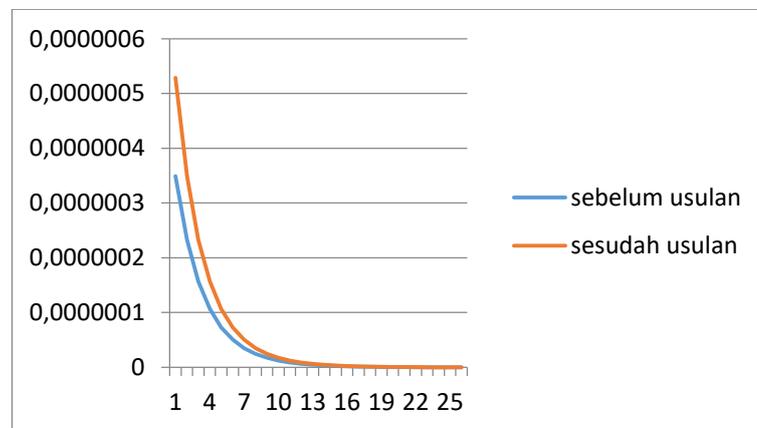
$$= 0,2701505$$

4. Hasil TMD

Berdasarkan perhitungan *total minimum downtime* (TMD), didapatkan komponen *Bearing* memiliki downtime paling minimum pada hari ke 36 dengan nilai sebesar 0,197418. Maka dengan demikian didapatkan interval penggantian komponen yang optimal.

5. Grafik Peningkatan Keandalan

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan dapat disimpulkan terjadi peningkatan keandalan sesudah usulan dari komponen *bearing*. Grafik peningkatan dapat dilihat pada Gambar 4.5 Grafik *Bearing* Gergaji.



Gambar 4.5 Grafik *Bearing* Gergaji

4.2.8.2 Solenoid

1. Perhitungan Fungsi Distribusi Kumulatif Komponen *Solenoid*

Distribusi : *Lognormal*

Parameter : $\mu = 4,20056$, $\sigma = 0,279975$

Fungsi distribusi kumulatif dapat dilihat pada persamaan ...

$$R(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln(t) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

$$R(0) = 0$$

$$\begin{aligned} R(1) &= \frac{1}{0,279975\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln(1) - 4,20056)^2}{2(0,279975)^2}\right] \\ &= 5,972063 \times 10^{-29} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R(2) &= \frac{1}{0,279975\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln(2) - 4,20056)^2}{2(0,279975)^2}\right] \\ &= 5,450581 \times 10^{-18} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Interval Kerusakan Tiap Waktu (0, Tp)

$$H(t) = [1 + H(0)] \times \int_t^{t+1} f(t)$$

$$H(0) = 0$$

$$\begin{aligned} H(1) &= [1 + H(0)] \times \int_t^{t+1} f(1) \\ &= (1 + 0) \times 5,972063 \times 10^{-29} \\ &= 5,972063 \times 10^{-29} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H(2) &= [1 + H(1)] \times \int_t^{t+1} f(2) \\ &= (1 + 5,972063 \times 10^{-29}) \times 5,450581 \times 10^{-18} \\ &= 5,450581 \times 10^{-18} \end{aligned}$$

3. Perhitungan Interval Penggantian yang Optimal Berdasarkan *Total Minimize Downtime* (TMD)

$$D(tp) = \frac{H(tp)Tf + Tp}{tp + Tp}$$

$$\begin{aligned} D(0) &= \frac{(0)(0,041667) + (0,03125)}{(0) + (0,03125)} \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D(1) &= \frac{(5,972063 \times 10^{-29})(0,041667) + (0,03125)}{(1) + (0,03125)} \\ &= 5,232697 \times 10^{26} \end{aligned}$$

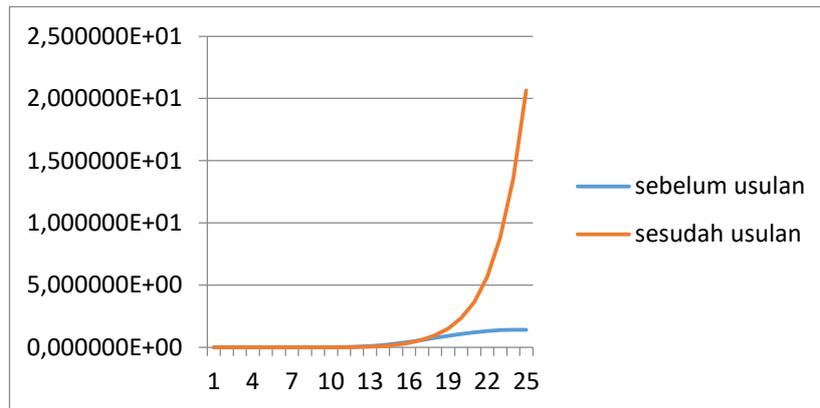
$$\begin{aligned} D(1) &= \frac{(5,450581 \times 10^{-18})(0,041667) + (0,03125)}{(2) + (0,03125)} \\ &= 5,733334 \times 10^{15} \end{aligned}$$

4. Hasil TMD

Berdasarkan perhitungan *total minimum downtime* (TMD), didapatkan komponen *Solenoid* memiliki downtime paling minimum pada hari ke 17 dengan nilai sebesar 0,108386. Maka dengan demikian didapatkan interval penggantian komponen yang optimal.

5. Grafik Peningkatan Keandalan

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan dapat disimpulkan terjadi peningkatan keandalan sesudah usulan dari komponen solenoid. Grafik peningkatan dapat dilihat pada Gambar 4.6 Grafik Solenoid Gergaji.



Gambar 4.6 Grafik Solenoid Gergaji

4.2.8.3 Mata Gergaji

1. Perhitungan Fungsi Distribusi Kumulatif Komponen Mata Gergaji

Distribusi : *Lognormal*

Parameter : $\mu = 3,79409$, $\sigma = 0,371367$

Fungsi distribusi kumulatif dapat dilihat pada persamaan ...

$$R(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln(t) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

$$R(0) = 0$$

$$\begin{aligned} R(1) &= \frac{1}{0,371367\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln(1) - 3,79409)^2}{2(0,371367)^2}\right] \\ &= 3,074957 \times 10^{-23} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R(2) &= \frac{1}{0,371367\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln(2) - 3,79409)^2}{2(0,371367)^2}\right] \\ &= 1,030121 \times 10^{-15} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Interval Kerusakan Tiap Waktu (0, Tp)

$$H(t) = [1 + H(0)] \times \int_t^{t+1} f(t)$$

$$H(0) = 0$$

$$\begin{aligned}
 H(1) &= [1 + H(0)] \times \int_t^{t+1} f(1) \\
 &= (1 + 0) \times 0,6832772 \\
 &= 0,6832772
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H(2) &= [1 + H(1)] \times \int_t^{t+1} f(2) \\
 &= (1 + 0,6832772) \times 0,154235 \\
 &= 0,154235
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan Interval Penggantian yang Optimal Berdasarkan *Total Minimize Downtime* (TMD)

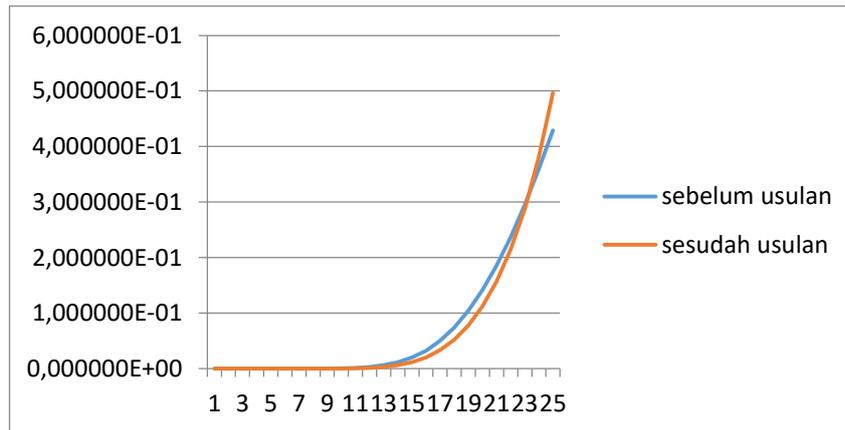
$$\begin{aligned}
 D(tp) &= \frac{H(tp)Tf + Tp}{tp + Tp} \\
 D(0) &= \frac{(0)(0,083333) + (0,041667)}{(0) + (0,041667)} \\
 &= 1 \\
 D(1) &= \frac{(0,6832772)(0,083333) + (0,041667)}{(1) + (0,041667)} \\
 &= 0,609806 \\
 D(2) &= \frac{(0,154235)(0,083333) + (0,041667)}{(2) + (0,041667)} \\
 &= 0,2701505
 \end{aligned}$$

4. Hasil TMD

Berdasarkan perhitungan *total minimum downtime* (TMD), didapatkan komponen Mata Gergaji memiliki downtime paling minimum pada hari ke 26 dengan nilai sebesar 0,178100. Maka dengan demikian didapatkan interval penggantian komponen yang optimal.

5. Grafik Peningkatan Keandalan

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan dapat disimpulkan terjadi peningkatan keandalan sesudah usulan dari komponen mata gergaji. Grafik peningkatan dapat dilihat pada Gambar 4.7 Grafik Mata Gergaji.



Gambar 4.7 Grafik Roda Gergaji

4.2.8.4 Roda Gergaji

1. Perhitungan Fungsi Distribusi Kumulatif Komponen *Bearing*

Distribusi : *Weibull*

Parameter : $\alpha = 2,80994$, $\beta = 50,3730$

Fungsi distribusi kumulatif dapat dilihat pada persamaan ...

$$F(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\beta} \right)^\alpha \right]$$

$$F(0) = 0$$

$$F(1) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{1}{50,3730} \right)^{2,80994} \right]$$

$$= 1,647869 \times 10^{-5}$$

$$F(2) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{2}{50,3730} \right)^{2,80994} \right]$$

$$= 1,647869 \times 10^{-5}$$

2. Perhitungan Interval Kerusakan Tiap Waktu (0, Tp)

$$H(t) = [1 + H(0)] \times \int_t^{t+1} f(t)$$

$$H(0) = 0$$

$$\begin{aligned} H(1) &= [1 + H(0)] \times \int_t^{t+1} f(1) \\ &= (1 + 0) \times 1,647869 \times 10^{-5} \\ &= 1,647869 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H(2) &= [1 + H(1)] \times \int_t^{t+1} f(2) \\ &= (1 + 1,647869 \times 10^{-5}) \times 1,647869 \times 10^{-5} \\ &= 1,15553 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

3. Perhitungan Interval Penggantian yang Optimal Berdasarkan *Total Minimize Downtime* (TMD)

$$D(tp) = \frac{H(tp)Tf + Tp}{tp + Tp}$$

$$D(0) = \frac{(0)(0,083333) + (0,041667)}{(0) + (0,041667)}$$

$$= 1$$

$$D(1) = \frac{(1,647869 \times 10^{-5})(0,083333) + (0,041667)}{(1) + (0,041667)}$$

$$= 3,79284 \times 10^3$$

$$D(2) = \frac{(1,15553 \times 10^{-4})(0,083333) + (0,041667)}{(2) + (0,041667)}$$

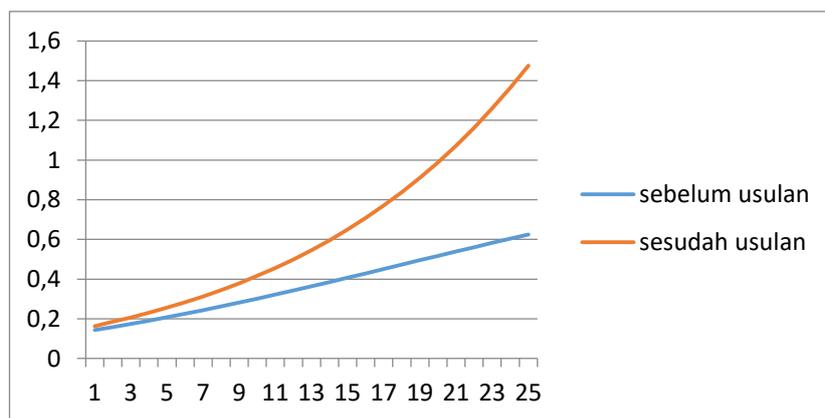
$$= 5,40944 \times 10^2$$

4. Hasil TMD

Berdasarkan perhitungan *total minimum downtime* (TMD), didapatkan komponen Roda Gergaji memiliki downtime paling minimum pada hari ke 45 dengan nilai sebesar 0,265672. Maka dengan demikian didapatkan interval penggantian komponen yang optimal.

5. Grafik Peningkatan Keandalan

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan dapat disimpulkan terjadi peningkatan keandalan sesudah usulan dari komponen roda gergaji. Grafik peningkatan dapat dilihat pada Gambar 4.8 Grafik Roda Gergaji.



Gambar 4.8 Grafik Roda Gergaji

4.2.9 Perhitungan Biaya

Perhitungan biaya yang dimaksud yaitu perhitungan total biaya yang mencakup total biaya kehilangan produksi, penggantian komponen mesin, dan biaya tenaga kerja. Perhitungan ini dilakukan untuk mendapatkan perbandingan total biaya sebelum usulan dan sesudah usulan.

4.2.9.1 Perhitungan Biaya Berdasarkan Data Perusahaan

1 Data Harga Komponen

Harga dari komponen *Bearing*, *Solenoid*, Mata gergaji, dan Roda gergaji dapat dilihat pada Tabel 4.14. Biaya penggantian tiap komponen dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.14 Harga Data Komponen

No.	Komponen	Harga Komponen
1	<i>Bearing</i>	Rp. 800.000,00
2	<i>Solenoid</i>	Rp. 1.500.000,00
3	<i>Mata gergaji</i>	Rp. 400.000,00
4	<i>Roda gergaji</i>	Rp. 2.400.000,00

Sumber : PT. Intimas Surya (2021)

Tabel 4.15 Data Biaya Penggantian Komponen

Komponen	Penggantian Komponen	Harga Komponen	Total Biaya Penggantian Komponen
<i>Bearing</i>	14	Rp. 800.000,00	Rp. 11.200.000,00
<i>Solenoid</i>	5	Rp. 1.500.000,00	Rp. 7.500.000,00
Mata Gergaji	8	Rp. 400.000,00	Rp. 3.200.000,00
Roda Gergaji	10	Rp. 2.400.000,00	Rp. 24.000.000,00
Total Biaya			Rp. 45.900.000,00

Sumber : PT. Intimas Surya (2021)

2 Data Biaya Tenaga Kerja

Jumlah tenaga kerja di lantai produksi sebanyak 5 orang dan di bagian *maintenance* 1 orang. Gaji tenaga kerja lantai produksi sebesar Rp. 3.000.000,00/bulan dan tenaga kerja *maintenance* sebesar Rp. 4.000.000,00/bulan. Data biaya tenaga kerja menganggur dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Data Biaya Tenaga Kerja Menganggur

Tenaga Kerja	Jumlah Tenaga Kerja	Jumlah Hari Kerja	Biaya Tenaga Kerja/hari/orang
Produksi	5	24	Rp. 125.000,00
<i>Maintenance</i>	1	24	Rp. 167.000,00
Total Biaya			Rp. 292.000,00

Sumber : PT. Intimas Surya (2021)

3 Data Kehilangan Produksi

Data kehilangan produksi adalah biaya yang timbul karena terjadinya *downtime*. Hal tersebut menyebabkan perusahaan mengalami *loss production* karena mesin tidak dapat beroperasi seperti biasanya. Biaya *loss production* dihitung berdasarkan kapasitas produksi selama waktu produksi terhenti karena adanya *maintenance*. Kapasitas produksi di Intimas Surya selama 1 hari sebesar 600 kg dan 25 ekor dengan harga yang bervariasi dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Biaya Kapasitas Produksi

Produk	Kapasitas produksi/hr	Harga	Total Penghasilan/hari	Total Penghasilan/bln
Frozen Tuna Loin	200 kg	Rp. 150.000,00/Kg	Rp. 30.000.000,00	Rp. 720.000.000,00
Frozen Mahi-Mahi	400 kg	Rp. 90.000,00/Kg	Rp. 36.000.000,00	Rp. 864.000.000,00
Tuna tanpa kepala	25 ekor	Rp. 2.000.000,00/ekor	Rp. 50.000.000,00	Rp. 1.200.000.000,00
Total Biaya			Rp. 116.000.000,00	Rp. 2.784.000.000,00

Sumber : PT. Intimas Surya (2021)

Tabel 4.18 Biaya Keuntungan Produksi

Produk	Total Penghasilan/hari	Modal	Biaya Lain-lain	Total Keuntungan/ hari
Frozen Tuna Loin	Rp. 30.000.000,00	Rp. 14.000.000,00	Rp. 11.465.000,00	Rp. 4.535.000,00
Frozen Mahi-Mahi	Rp. 36.000.000,00	Rp. 14.000.000,00	Rp. 11.465.000,00	Rp. 10.535.000,00
Tuna tanpa kepala	Rp. 50.000.000,00	Rp. 14.000.000,00	Rp. 11.465.000,00	Rp. 24.535.000,00
Total Biaya				Rp. 39.605.000,00

Sumber : PT. Intimas Surya (2021)

Pada mesin Potong kapasitas produksi setiap harinya adalah 200kg untuk *frozen* Tuna loin, 400kg *frozen* Mahi-Mahi, dan 25 ekor Tuna tanpa kepala. Maka dapat diketahui perharinya mesin potong mendapat keuntungan sebesar Rp. 39.605.000,00 dalam satu hari. Dari data diatas selanjutnya dihitung total biaya kerugian yang diakibatkan oleh *downtime* komponen.

4.2.9.2 Perhitungan Biaya Berdasarkan Interval Perhitungan Optimum

1 Data Kehilangan produksi

Data kehilangan produksi adalah biaya yang timbul karena terjadinya *downtime*. Hal tersebut menyebabkan perusahaan mengalami *loss production*

karena mesin tidak dapat beroperasi seperti biasanya. Biaya *loss production* dihitung berdasarkan kapasitas produksi selama waktu produksi terhenti karena adanya *maintenance*.

Untuk menghitung biaya kehilangan produksi setahun seperti pada Tabel 4.19 dapat menggunakan persamaan seperti

$$\text{Biaya Kehilangan Produksi} = (\text{keuntungan} \times \text{kec. produksi} \times \text{downtime})$$

$$\text{Biaya Kehilangan Produksi} = 22.675 \times 76,9 \times 3 = 5.231.123$$

Tabel 4.19 Biaya Kehilangan Produksi

Produk	Keuntungan/kg	Downtime mesin	Kecepatan Produksi/jam	Kehilangan keuntungan/ thn
<i>Frozen Tuna Loin</i>	Rp. 22.675,00	76,9		Rp. 5.231.123,00
<i>Frozen Mahi-Mahi</i>	Rp. 26.338,00	76,9	3	Rp. 6.076.117,00
Tuna tanpa kepala	Rp. 32.713,00	76,9		Rp. 7.546.889,00
Total				Rp. 18.854.188,00

2 Interval Penggantian Berdasarkan *Minimasi Downtime*

Usulan interval penggantian komponen ditentukan dari nilai $D(t)$ paling minimum. Penggantian komponen tidak selalu dilakukan dalam interval waktu yang telah ditentukan. Namun data interval dapat dijadikan parameter dalam perancangan penjadwalan. Rekapitulasi interval penggantian tiap komponen dapat dilihat pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Rekapitulasi Interval Penggantian Komponen

Komponen	$D(t)$ sesudah	Interval ke- (hari)
<i>Bearing</i>	0,0197418	36
<i>Solenoid</i>	0,0108386	17
Mata Gergaji	0,0178100	26
Roda Gergaji	0,0265672	45

3 Total Mimimize Downtime

Perbandingan TMD sebelum usulan dan sesudah usulan dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 *Total Minimize Downtime*

Komponen	Total hari kerja/tahun	D(t) sebelum	D(t) sesudah	TMD sebelum	TMD sesudah
<i>Bearing</i>	312	0,0250988	0,0197418	7,8308	6,1594
<i>Solenoid</i>		0,0317033	0,0108386	9,8914	3,3816
Mata Gergaji		0,0308834	0,0178100	9,6356	5,5536
Roda Gergaji		0,0304326	0,0265672	9,4949	8,2867

Untuk menghitung nilai TMD yaitu menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$TMD = \text{nilai } D(t) \times \text{total hari kerja setahun}$$

4.2.9.3 Perbandingan Total Biaya

1 Biaya sebelum usulan

Tabel 4.22 Biaya Penggantian Komponen Sebelum Usulan

Komponen	Biaya Tenaga Maintenance	Kehilangan keuntungan/bln /komponen	Biaya Tenaga Produksi Menganggur	TMD	Jumlah Penggantian Komponen	Harga Komponen	Total biaya kehilangan produksi /tahun
<i>Bearing</i>	Rp. 167.000,00	Rp. 18.854.188,00	Rp. 625.000,00	7,8308	14	Rp. 800.000,00	Rp. 165.045.369,00
<i>Solenoid</i>	Rp. 167.000,00	Rp. 18.854.188,00	Rp. 625.000,00	9,8914	5	Rp. 1.500.000,00	Rp. 201.828.304,00
Mata Gergaji	Rp. 167.000,00	Rp. 18.854.188,00	Rp. 625.000,00	9,6356	8	Rp. 400.000,00	Rp. 192.502.809,00
Roda Gergaji	Rp. 167.000,00	Rp. 18.854.188,00	Rp. 625.000,00	9,4949	10	Rp. 2.400.000,00	Rp. 210.538.590,00
Total Biaya							Rp. 769.915.073,00

Biaya penggantian komponen per tahun dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{total biaya} = & [(biaya TK maintenance + biaya loss production \\ & + biaya operator menganggur) \times (TMD)] \\ & + (harga komponen \times jumlah penggantian komponen) \end{aligned}$$

Dari tabel diatas diketahui total biaya penggantian komponen *bearing* adalah Rp. 165.045.369,00, *solenoid* adalah Rp. 201.828.304,00, mata gergaji adalah Rp. 192.502.809,00, dan roda gergaji adalah Rp. 210.538.590,00, maka total biaya akibat pergantian komponen sebelum usulan sebesar Rp. 769.915.073,00.

2 Biaya sesudah usulan

Tabel 4.23 Biaya Kehilangan Produksi Setelah Usulan

Komponen	Biaya Tenaga Maintenance	Kehilangan keuntungan/jam /komponen (Rp)	Biaya Tenaga Produksi Menganggur	TMD	Jumlah Penggantian Komponen	Harga Komponen	Total biaya kehilangan produksi /tahun
<i>Bearing</i>	Rp. 167.000,00	Rp. 18.854.188,00	Rp. 625.000,00	6,1594	10	Rp. 800.000,00	Rp. 128.008.730,00
<i>Solenoid</i>	Rp. 167.000,00	Rp. 18.854.188,00	Rp. 625.000,00	3,3816	4	Rp. 1.500.000,00	Rp. 72.435.549,00
Mata Gergaji	Rp. 167.000,00	Rp. 18.854.188,00	Rp. 625.000,00	5,5536	8	Rp. 400.000,00	Rp. 112.307.070,00
Roda Gergaji	Rp. 167.000,00	Rp. 18.854.188,00	Rp. 625.000,00	8,2867	6	Rp. 2.400.000,00	Rp. 177.202.066,00
Total Biaya							Rp. 490.953.415,00

Dari tabel diatas diketahui total biaya penggantian komponen *bearing* adalah Rp. 129.008.730,00, *solenoid* adalah Rp. 72.435.549,00, mata gergaji adalah Rp. 112.307.070,00, dan roda gergaji adalah Rp. 177.202.066,00, maka total biaya akibat pergantian komponen sebelum usulan sebesar Rp. 490.953.415,00.

Dari perhitungan yang telah dilakukan dapat disimpulkan usulan yang diberikan lebih baik berdasarkan pertimbangan total biaya dengan selisih sebesar Rp. 278.961.657,00.

4.2.10 Perencanaan Penjadwalan *maintenance* dan Pergantian Komponen

Setelah diketahui minimal *downtime* dari komponen kritis mesin potong dapat dibuat sebuah jadwal pemeliharaan yang nantinya mampu membantu perusahaan dalam melakukan pemeliharaan yang efektif dan meminimalkan *downtime* mesin dan biaya yang dikeluarkan. Dibawah ini merupakan bentuk penjadwalan pemeliharaan untuk setiap komponen mesin potong pada bulan Januari 2022 – Desember 2022.

Ket :  : *Bearing*
 : *Solenoid*
 : Mata Gergaji
 : Roda Gergaji
 : *Bearing* dan Roda Gergaji

M	S	S	R	K	J	S
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

M	S	S	R	K	J	S
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28					

M	S	S	R	K	J	S
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

M	S	S	R	K	J	S
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

M	S	S	R	K	J	S
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

M	S	S	R	K	J	S
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30		

M	S	S	R	K	J	S
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31						

M	S	S	R	K	J	S
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

M	S	S	R	K	J	S
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	

M	S	S	R	K	J	S
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

M	S	S	R	K	J	S
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30			

M	S	S	R	K	J	S
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31

a. *Bearing*

Komponen akan dilakukan *maintenance* atau penggantian komponen dengan interval waktu 36 hari sekali. Kegiatan *maintenance* sebagai berikut:

- a. Pengecekan tingkat keausan
- b. Memberi pelumas untuk mencegah aus dan *bearing* pecah
- c. Berkoordinasi dengan operator untuk membersihkan daerah bearing setelah digunakan untuk mencegah aus akibat air laut.
- d. Penggantian *bearing* jika sudah mulai aus

b. *Solenoid*

Komponen akan dilakukan *maintenance* atau penggantian komponen dengan interval waktu 17 hari sekali. Kegiatan *maintenance* sebagai berikut:

- a. Pengecekan kondisi *seal*
- b. Pengecekan kondisi kumparan
- c. Penggantian *solenoid* setiap 3 bulan sekali

c. Mata Gergaji

Komponen akan dilakukan *maintenance* atau penggantian komponen dengan interval waktu 26 hari sekali. Kegiatan *maintenance* sebagai berikut:

- a. Pengecekan ketumpulan mata gergaji
- b. Penggantian mata gergaji jika masa pakai sudah habis berdasarkan waktu penggantian optimal
- c. Membersihkan daerah mata gergaji

d. Roda Gergaji

Komponen akan dilakukan *maintenance* atau penggantian komponen dengan interval waktu 26 hari sekali. Kegiatan *maintenance* sebagai berikut:

- a. Pengecekan akurasi roda gergaji
- b. Penggantian roda gergaji setiap 2 bulan sekali
- c. Membersihkan daerah roda gergaji
- d. memberi pelumas pada komponen

4.3 Analisis Hasil

Berdasarkan hasil pengolahan data dapat diketahui beberapa tahapan seperti:

4.3.1 Metode *Reliability Centered Maintenance*

Pada proses produksi dikarenakan terdapat hanya satu mesin dalam tiap tahapan proses maka pemilihan dilakukan terhadap mesin yang memiliki frekuensi kegagalan mesin terbanyak. Mesin potong merupakan mesin dengan frekuensi kegagalan terbanyak dilakukan analisis diagram pareto untuk menentukan komponen kritis pada mesin potong yaitu *bearing*, *solenoid*, mata gergaji dan roda gergaji. Data tiap komponen berupa fungsi sistem, kegagalan fungsi dan resiko kegagalan didapat dari operator mesin potong.

Setelah diketahui komponen kritis dari mesin potong dilakukan analisis FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dan dapat diketahui nilai RPN setiap komponen. Bearing aus dan pecah memiliki nilai RPN sebesar 96, kumparan solenoid yang terbakar memiliki RPN sebesar 105, kontaktor macet dan terbakar memiliki RPN sebesar 56, mata gergaji patah atau menjadi tumpul memiliki nilai RPN 48, roda gergaji yang sering terjadi slip memiliki nilai RPN sebesar 64 dan terdapat kerak pada motor penggerak memiliki nilai RPN sebesar 70.

Pada LTA (*Logic Tree Analysis*) terdapat kesalahan fungsi diakibatkan oleh apa, kemudian apa penyebab kerusakan dan apa efek yang ditimbulkan. Berdasarkan hasil analisa LTA dapat diketahui beberapa kategori kegagalan dari masing-masing komponen. Keseluruhan komponen masuk dalam kategori B (*Outage Problem*). Setelah analisa LTA dilakukan pemilihan tindakan yang merupakan tahapan akhir proses analisis RCM. Dari tiap mode kerusakan dibuat daftar tindakan yang mungkin dilakukan dan selanjutnya memilih tindakan yang paling efektif. Pemilihan tindakan harus aplikatif dan efektif, saat ini tindakan perawatan pada mesin potong yaitu *Run To Failure* dimana mesin dioperasikan sampai mengalami kerusakan sehingga perawatan mesin cenderung *corrective maintenance*. Setelah analisa dengan RCM didapat perubahan tindakan berdasarkan tindakan CD/TD. Tindakan CD bertujuan untuk mendeteksi

kerusakan secara *visual inspection*, memeriksa indicator mesin, serta memonitoring sejumlah indicator yang ada. Komponen yang termasuk dalam pemilihan tindakan ini yaitu kontaktor dan mesin penggerak. Tindakan TD adalah aktivitas perawatan dan penggantian komponen yang dilakukan secara berkala dengan berdasarkan perhitungan *reliability*. Komponen yang termasuk dalam pemilihan tindakan ini adalah *bearing*, *solenoid*, mata gergaji, dan roda gergaji.

Berdasarkan hasil pengolahan data dengan metode RCM, komponen yang termasuk dalam tindakan TD dilakukan perhitungan untuk menentukan minimal *downtime* dengan pendekatan TMD (*Total Minimize Downtime*) yang paling terkecil. Dilakukan uji distribusi dari data kerusakan masing-masing komponen sebelum menentukan nilai TMD. Hasil dari perhitungan TMD diperoleh hasil berbeda-beda setiap komponen. Perawatan atau penggantian *bearing* setiap 36 hari, *solenoid* setiap 17 hari, mata gergaji setiap 26 hari, dan roda gergaji setiap 45 hari.

Dari hasil pengolahan data pada perawatan usulan, diharapkan dapat memberi penurunan *downtime* pada mesin potong. Perhitungan penurunan *downtime* dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$\text{penurunan downtime} = \frac{\text{biaya sebelum} - \text{biaya sesudah}}{\text{biaya sebelum}} \times 100\%$$

Tabel 4.24 Rekapitulasi Penurunan *Downtime*

Komponen	D(t) sebelum	D(t) sesudah	Penurunan Downtime (%)
<i>Bearing</i>	0,0250988	0,0197418	21,3%
<i>Solenoid</i>	0,0317033	0,0108386	65,8%
Mata Gergaji	0,0308834	0,0178100	42,3%
Roda Gergaji	0,0304326	0,0265672	12,7%

$$\text{bearing} = \frac{0,0250988 - 0,0197418}{0,0250988} \times 100\% = 21,3\%$$

$$\text{roda gergaji} = \frac{0,0304326 - 0,0265672}{0,0304326} \times 100\% = 12,7\%$$

Komponen bearing mengalami penurunan sebesar 21,3%, komponen solenoid mengalami penurunan 65,8%, komponen mata gergaji mengalami

penurunan sebesar 42,3%, dan komponen roda gergaji mengalami penurunan sebesar 12,7%.

Perhitungan biaya perawatan meliputi biaya tenaga kerja, harga komponen, dan biaya kehilangan produksi. Analisa biaya sebelum usulan dan sesudah usulan dapat dilihat pada Tabel 4.24.

Tabel 4.25 Analisa Biaya Sebelum dan Sesudah Usulan

Komponen	Biaya Sebelum Usulan (Rp)	Biaya Sesudah Usulan (Rp)	Penghematan (Rp)
<i>Bearing</i>	Rp. 165.045.369,00	Rp. 128.008.730,00	Rp. 36.036.639,00
<i>Solenoid</i>	Rp. 201.828.304,00	Rp. 72.435.549,00	Rp. 129.392.755,00
Mata Gergaji	Rp. 192.502.809,00	Rp. 112.307.070,00	Rp. 80.195.739,00
Roda Gergaji	Rp. 210.538.590,00	Rp. 177.202.066,00	Rp. 33.336.524,00
Total	Rp. 769.915.073,00	Rp. 490.953.415,00	Rp. 278.961.657,00

Penurunan biaya dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{penurunan biaya} = \frac{\text{biaya sebelum} - \text{biaya sesudah}}{\text{biaya sebelum}} \times 100\%$$

$$\text{penurunan biaya} = \frac{769.915.073 - 490.953.415}{769.915.073} \times 100\% = 36\%$$

Tabel 4.24 menunjukkan penghematan biaya sebelum dan sesudah usulan sebesar Rp. 278.961.657,00/tahun atau mengalami penurunan biaya sebesar 36%.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan bahwa dengan mengikuti metode RCM dapat diidentifikasi komponen kritis yang perlu dilakukan penjadwalan pemeliharaan sejumlah 6 komponen. Dari data *downtime* 2020-2021, dianalisis dengan melakukan pencocokan dengan distribusi probabilitasnya.

Hasil pengolahan data menunjukkan pemilihan tindakan TD yaitu komponen *bearing*, *solenoid*, mata gergaji, dan roda gergaji. Kontaktor dan motor penggerak termasuk dalam pemilihan CD. Interval pemeliharaan yang optimal berdasarkan TMD yaitu *bearing* setiap 36 hari, *solenoid* setiap 17 hari, mata gergaji setiap 26 hari, dan roda gergaji setiap 45 hari. Untuk motor penggerak dan kontaktor pemeliharaan mengikuti jadwal pemeliharaan komponen TD.

Hasil pengolahan data juga menunjukkan penurunan biaya yang sebelum usulan sebesar Rp. 769.915.073,00 dan sesudah usulan sebesar Rp. 490.953.415,00. sehingga didapat hasil penurunan biaya sebesar Rp. 278.961.657,00/tahun atau mengalami penurunan biaya sebesar 36%. Dan rancangan jadwal pemeliharaan yang optimal dapat dibuat dengan merujuk interval *downtime* minimum.

5.2 Saran

Saran-saran yang diberikan sehubungan dengan penelitian ini adalah diharapkan perusahaan dapat mempertimbangkan usulan perawatan dengan menggunakan metode RCM karena berpotensi menurunkan biaya secara keseluruhan, perusahaan juga perlu melakukan pencatatan terhadap data kerusakan dan penjadwalan perawatan lebih lengkap dan detail agar kedepannya dapat dilakukan analisa lebih lanjut jika terjadi permasalahan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Afefy, I. H. (2010). *Maintenance Planning Based on Computer-Aided Preventive Maintenance Policy, Lecture Notes in engineering and Computer Science*, 2196(1), pp 1378-1383
- Ansori, N., dan Mustajib M. (2013). *Sistem Perawatan Terpadu (Intregrated Maintenance System)*. Yogyakarta : Graha Ilmu
- Baker, K. R. (1974). *Introduction to Sequencing and scheduling*. New York : John Wiley & Sons, Inc
- Dhillon, B.S. (2002). *Engineering Maintenance: A Modern Approach*. USA: CRC Press LLC.
- Ebeling, C. E. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- Jardine, A. (1973). *Maintenance, Replacement, and Reliability*. Canada: Pitman Publishing.
- Kurniawan, Fajar. (2013). *Manajemen Perawatan Industri : Teknik dan Aplikasi Implementasi Total Productive Maintenance (TPM), Preventive Maintenance dan Reability Centered Maintenance (RCM)*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Lewis, E.E. (1987). *Introduction to Reliability Engineering, Canada: John Wiley and Sons*.
- Louit, D.M., R. Pascual, dan A.K.S. Jardine, (2009), *A Practical Procedure for The Selection of Time-To-Failure Models Based on The Assessment of Trends in Meintenance Data, Reliability Engineering and Sytem Safety*, 94, 1618-1628
- Lukodono, Rio Prasetyo, Pratikno, Rudy Soenoko. 2013. *Analisis Penerapan Metode RCM dan MVSM untuk Meningkatkan Keandalan pada Sistem Maintenance (Studi Kasus PG. X)*. *Jurnal Rekayasa Mesin Vol.4 Vol. 4*. ISSN 0216-468X
- Pinedo, Michael. (2002). *Scheduling: Theory, Algorithm, and System. Second edition*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc

- Pranoto, Jeffrynarido., dan I. Siregar, (2013), implementasi Studi Preventive Maintenance Fasilitas Produksi dengan Metode Reliability Centered Maintenance pada PT.xyz, Jurnal Teknik Industri USU Vol. 1, No. 3, 18-24
- Prasetya, Dwi, dan Ika Widya Ardhani, (2018), Perancangan Pemeliharaan Mesin produksi dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM), JISO: *Journal of Industrial And System Optimization*, vol. 1, no.1 7-14
- Selvik, J.T. dan T. Aven, (2011). *A Framework for Reliability and Risk Centered Maintenance, Reliability Engineering and System Safety*, 94. 324-331
- Sudrajat, Ating (2011). *Pedoman Praktis Manajemen Perawatan Mesin Industri*. Bandung : Refika Aditama
- Widyaningsih, Sri Astuti. (2011). “Rancangan Penjadwalan Pemeliharaan pada Mesin Produksi Bahan Bangunan Untuk Meningkatkan Keandalan Mesin Dengan Metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)* ”. Skripsi. FT, Teknik Industri, Universitas Indonesia, Depok.

Lampiran A

Hasil Uji Distribusi Menggunakan *Software*

Minitab 19

1. *Komponen Bearing*

Goodness-of-Fit

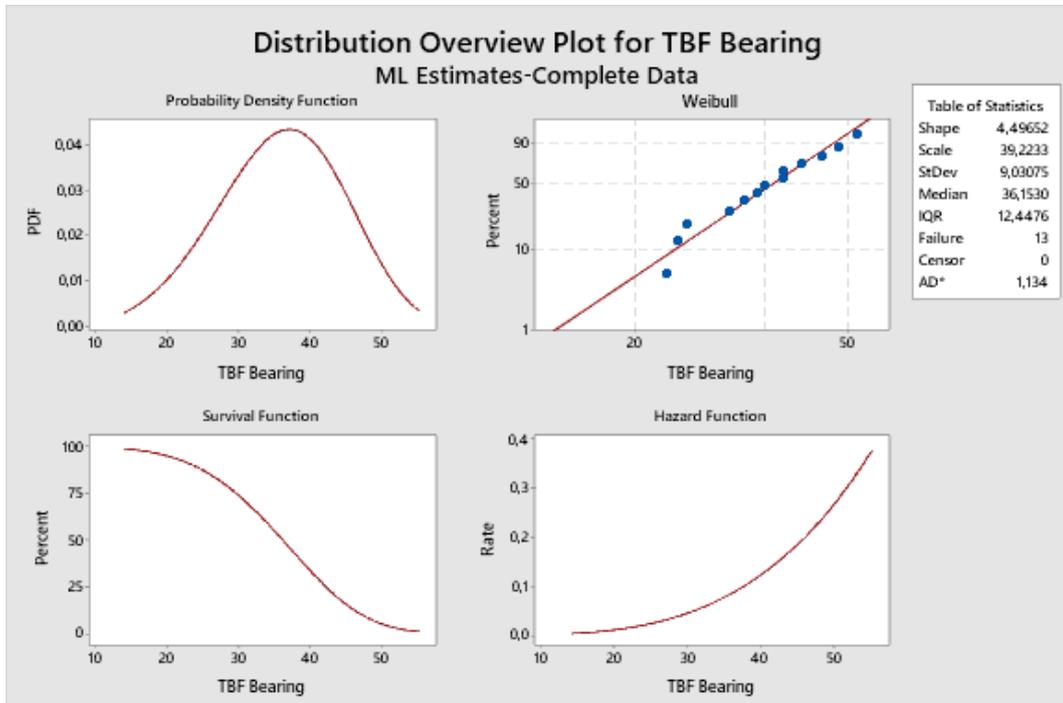
Distribution	Anderson-Darling (adj)
Weibull	1,134
Lognormal	1,165
Exponential	4,096
Normal	1,144

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Shape	4,49652	0,965124	2,95241	6,84820
Scale	39,2233	2,55941	34,5144	44,5745

Table of MTBF

Distribution	Mean	Standard Error	95% Normal CI	
			Lower	Upper
Weibull	53,7925	2,51661	48,1848	61,0810



2. *Komponen Solenoid*

Goodness-of-Fit

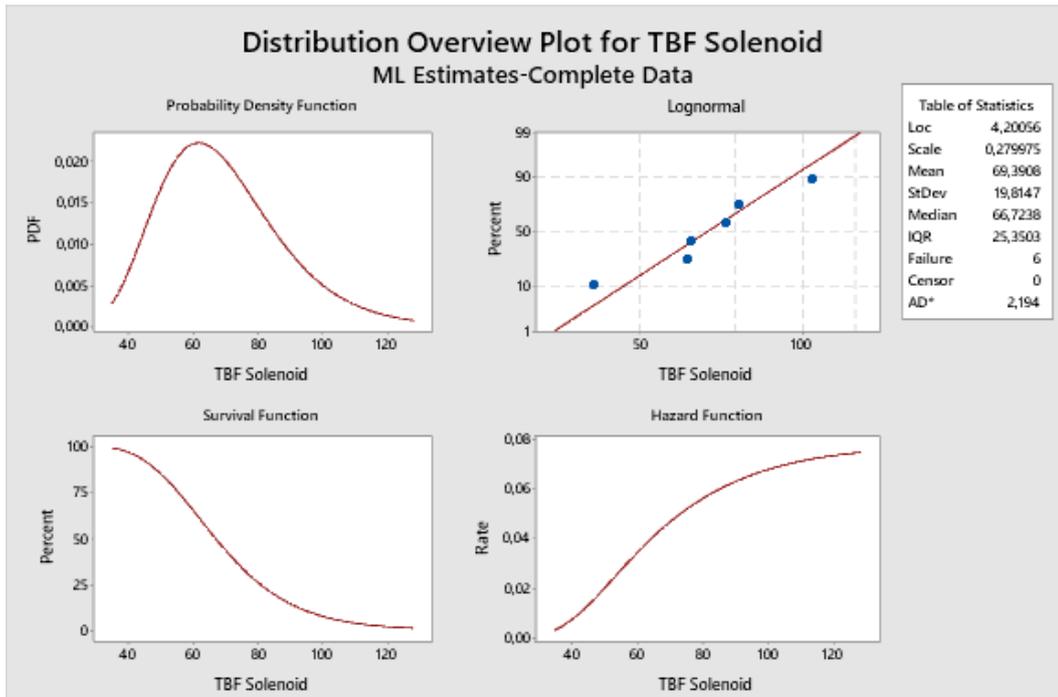
Distribution	Anderson-Darling (adj)
Weibull	2,223
Lognormal	2,194
Exponential	3,245
Normal	2,228

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI Lower	95,0% Normal CI Upper
Location	4,20056	0,114299	3,97654	4,42458
Scale	0,279975	0,0808218	0,159000	0,492992

Table of MTBF

Distribution	Mean	Standard Error	95% Normal CI Lower	95% Normal CI Upper
Lognormal	69,3908	8,0853	55,2233	87,193



3. Komponen Mata Gergaji

Goodness-of-Fit

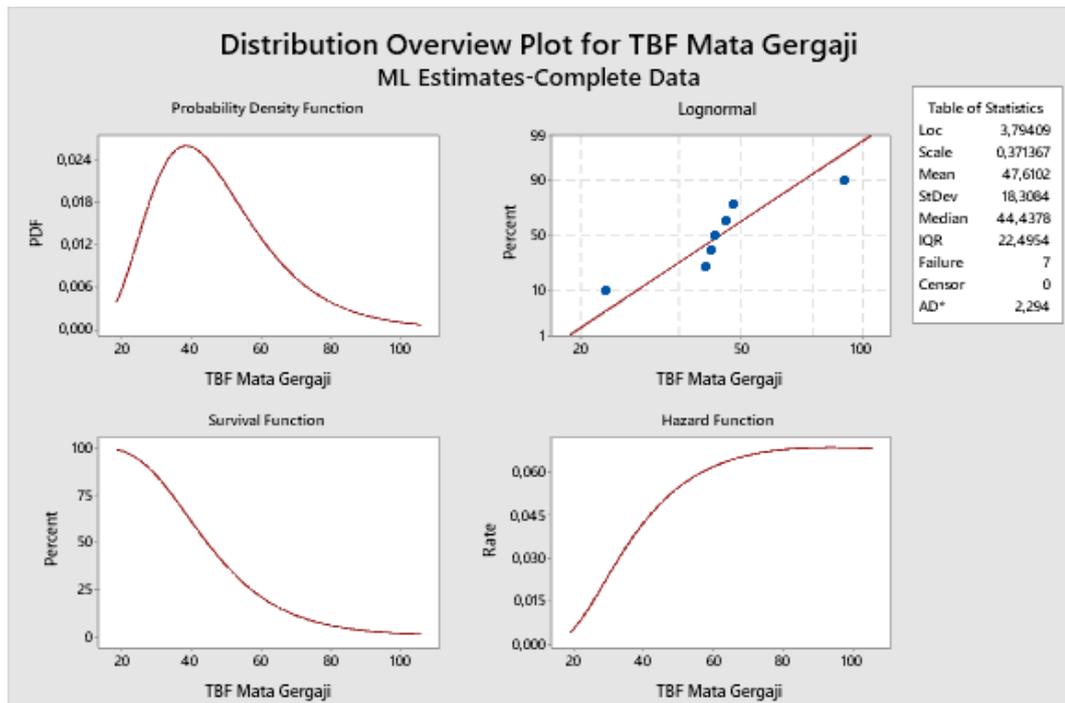
Distribution	Anderson-Darling (adj)
Weibull	2,403
Lognormal	2,294
Exponential	3,111
Normal	2,522

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Location	3,79409	0,140364	3,51898	4,06920
Scale	0,371367	0,0992520	0,219943	0,627042

Table of MTBF

Distribution	Mean	Standard Error	95% Normal CI	
			Lower	Upper
Lognormal	47,6102	6,9093	35,8238	63,275



4. Komponen Roda Gergaji

Goodness-of-Fit

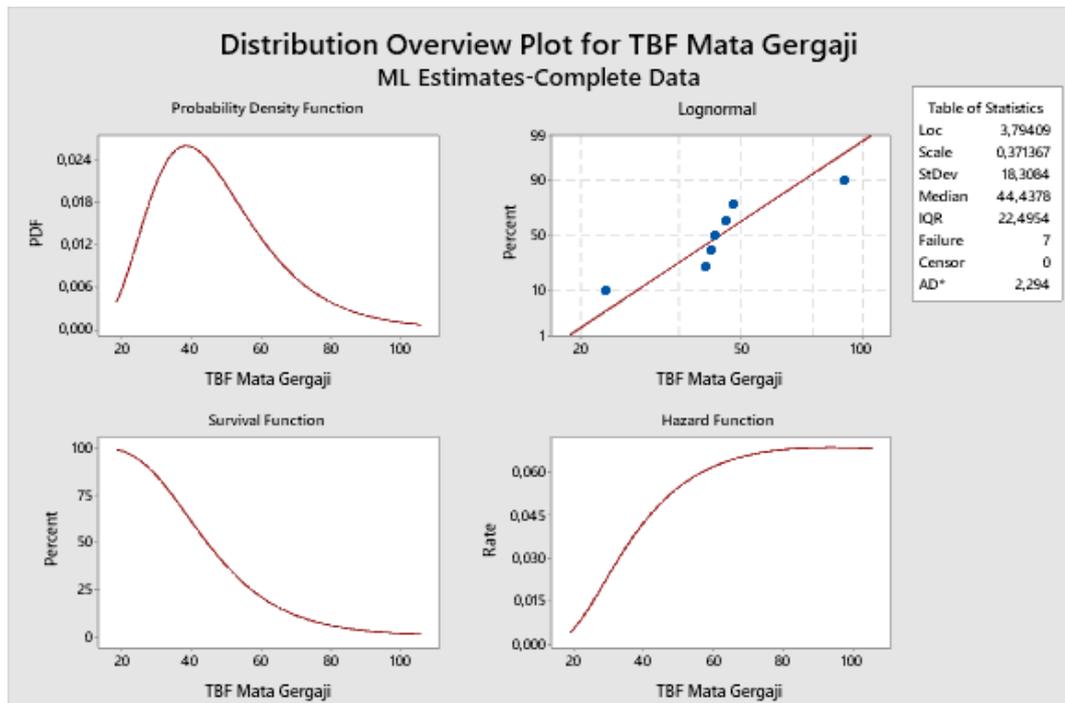
Distribution	Anderson-Darling (adj)
Weibull	1,580
Lognormal	1,620
Exponential	3,004
Normal	1,621

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI Lower	95,0% Normal CI Upper
Shape	2,80994	0,663151	1,76935	4,46254
Scale	50,3730	6,00381	39,8791	63,6283

Table of MTBF

Distribution	Mean	Standard Error	95% Normal CI Lower	95% Normal CI Upper
Weibull	64,8608	5,4937	55,2880	87,0303



Lampiran B

Tabel *Total Minimize Downtime* Komponen
Mesin Potong

1. Tabel *Total Minimize Downtime Bearing*

tp	F(t)	H(t)	D(t)	tp	F(t)	H(t)	D(t)
0	0	0	1	26	0,145652674	0,165707422	0,034154454
1	6,832772E-08	6,832772E-08	6,098067E+05	27	0,170167778	0,198365842	0,030305375
2	1,542354E-06	1,542354E-06	2,701505E+04	28	0,197216827	0,236337909	0,027263507
3	9,549489E-06	9,549504E-06	4,363280E+03	29	0,226799189	0,280400435	0,024874965
4	3,481482E-05	3,481515E-05	1,196851E+03	30	0,25886515	0,331451051	0,023024670
5	9,495305E-05	9,495636E-05	4,388554E+02	31	0,29331055	0,39052864	0,021626734
6	0,000215537	2,155579E-04	1,933570E+02	32	0,329972654	0,458836426	0,020617624
7	0,000431026	4,311190E-04	9,671033E+00	33	0,368627712	0,537767534	0,019951256
8	0,000785577	7,859152E-04	5,308138E+00	34	0,408990651	0,628932545	0,019595462
9	0,00133376	1,334808E-03	3,128181E+00	35	0,450717303	0,734188083	0,019529432
10	0,002141172	2,144030E-03	1,950161E-01	36	0,493409469	0,855664821	0,019741856
11	0,003284927	3,291970E-03	1,272615E-01	37	0,536623013	0,995792448	0,02022955
12	0,004854012	4,869991E-03	8,626044E-01	38	0,57987896	1,157318048	0,020996396
13	0,006949476	6,983320E-03	6,037909E-01	39	0,622677376	1,343313141	0,022052480
14	0,009684409	9,752038E-03	4,344931E-01	40	0,66451357	1,557163381	0,02341328
15	0,013183665	1,331223E-02	3,203255E-01	41	0,704895878	1,802533927	0,025098823
16	0,017583288	1,781736E-02	2,412828E-01	42	0,743364091	2,083303085	0,027132675
17	0,023029561	2,343989E-02	1,852890E-01	43	0,779507405	2,403457587	0,029540735
18	0,029677637	3,037328E-02	1,448174E-01	44	0,812980674	2,766945242	0,032349715
19	0,037689673	3,883443E-02	1,150423E-01	45	0,843517765	3,177485233	0,035585338
20	0,04723242	4,906666E-02	9,279187E-02	46	0,870940961	3,638343004	0,039270284
21	0,058474196	6,134333E-02	7,593442E-02	47	0,895165585	4,152085028	0,043422000
22	0,07158123	7,597226E-02	6,300875E-02	48	0,916199434	4,720337388	0,048050575
23	0,086713323	9,330113E-02	5,299527E-02	49	0,934137013	5,343578881	0,053156924
24	0,104018867	1,137239E-01	4,517124E-02	50	0,949149041	6,021001814	0,058731565
25	0,123629237	1,376888E-01	3,901703E-02	51	0,961468143	6,750469577	0,064754214

2. Tabel *Total Minimize Downtime Solenoid*

tp	F(t)	H(t)	D(t)	tp	F(t)	H(t)	D(t)
0	0	0	1	26	1,393276	30,7459419	5,23269E+26
1	5,97203E-29	5,45058E-18	5,23269E+26	27	1,342953	44,2308670	5,73333E+15
2	5,45051E-18	5,97206E-29	5,73333E+15	28	1,274087	60,7429110	3,81090E+10
3	8,20014E-13	5,45058E-18	3,81090E+10	29	1,191772	78,6658431	2,88416E+07
4	1,08354E-09	8,20015E-13	2,88416E+07	30	1,100757	94,9435353	2,26441E+05
5	1,38001E-07	1,08350E-09	2,26437E+05	31	1,005224	105,610493	6,91907E+03
6	4,51934E-06	1,38007E-07	6,91467E+03	32	0,908678	107,167450	5,08448E+02
7	6,20099E-05	4,51939E-06	5,03983E+02	33	0,813912	98,2894261	7,07401E+01
8	4,69121E-04	6,20101E-05	6,66447E+01	34	0,723035	80,812860	1,68999E+01
9	2,31455E-03	4,69153E-04	1,35327E+01	35	0,637539	59,1535424	6,25818E+00
10	8,30634E-03	2,31564E-03	3,79354E+00	36	0,558384	38,3502029	2,96706E+00
11	2,33570E-02	8,32554E-03	1,36948E+00	37	0,486093	21,9725166	1,52279E+00
12	5,42511E-02	2,35521E-02	6,08257E-01	38	0,42084	11,1667680	7,85479E-01
13	1,08155E-01	5,55287E-02	3,22510E-01	39	0,362537	5,12025756	4,08679E-01
14	1,90453E-01	1,14157E-01	2,00086E-01	40	0,310907	2,21881971	2,26882E-01
15	3,02869E-01	2,12198E-01	1,43273E-01	41	0,265543	1,00075315	1,43587E-01
16	4,42391E-01	3,67128E-01	1,17184E-02	42	0,225961	0,53128619	1,05327E-01
17	6,01705E-01	6,04816E-01	1,08386E-02	43	0,191636	0,34601085	8,62352E-02
18	7,70308E-01	9,65625E-01	1,12052E-02	44	0,162033	0,25794387	7,53683E-02
19	9,36451E-01	1,51414E+00	1,27709E-02	45	0,136627	0,20382792	6,84415E-02
20	1,08882E+00	2,35437E+00	1,58048E-02	46	0,114919	0,16447506	6,37534E-02
21	1,21834E+00	3,65255E+00	2,09090E-03	47	0,096443	0,13381985	6,05329E-02
22	1,31821E+00	5,66826E+00	2,91134E-03	48	0,080774	0,10934894	5,83671E-02
23	1,38506E+00	8,79011E+00	4,20066E-04	49	0,067527	0,08960645	5,70157E-02
24	1,41840E+00	1,35602E+01	6,18292E-05	50	0,05636	0,07357813	5,63239E-02
25	1,41998E+00	2,06525E+01	9,13781E-06	51	0,054831	0,06050729	3,43838E-02

3. Tabel *Total Minimize Downtime Mata Gergaji*

tp	F(t)	H(t)	D(t)	tp	F(t)	H(t)	D(t)
0	0	0	1	26	0,502188	0,641562	0,0178101
1	3,074957E-23	6,832772E-25	1,355034E+21	27	0,578528	0,824373	0,0182386
2	1,030121E-15	3,074957E-23	4,044837E+13	28	0,656603	1,05545	0,0193079
3	5,168831E-12	1,030121E-15	8,061146E+09	29	0,735198	1,349616	0,0210809
4	1,059189E-09	5,168831E-12	3,933829E+06	30	0,813127	1,727433	0,0236862
5	4,350108E-08	1,059189E-09	9,578314E+04	31	0,889271	2,217748	0,0273334
6	6,925497E-07	4,350108E-08	6,016425E+03	32	0,962607	2,861449	0,0323406
7	5,956892E-06	6,925497E-07	6,994746E+02	33	1,032229	3,717059	0,0391787
8	3,342686E-05	5,956896E-06	1,246545E+02	34	1,097357	4,869085	0,0485394
9	1,374740E-04	3,342706E-05	3,031294E+01	35	1,157348	6,440482	0,0614375
10	4,472565E-04	1,374786E-04	9,320232E+00	36	1,211696	8,611228	0,0793656
11	1,213128E-03	4,473179E-04	3,438820E+00	37	1,260027	11,64588	1,0045225
12	2,848040E-03	1,213671E-03	1,467173E+00	38	1,302095	15,93415	1,0401512
13	5,949050E-03	2,851496E-03	7,045830E+01	39	1,337771	22,04987	1,0910301
14	1,128868E-02	5,966013E-03	3,733180E+01	40	1,367034	30,83545	2,0641766
15	1,977389E-02	1,135603E-02	2,149771E+01	41	1,389953	43,52013	3,069832
16	3,237830E-02	1,999844E-02	1,330204E+01	42	1,406682	61,8809	5,0228027
17	5,005887E-02	3,302582E-02	8,767728E-02	43	1,41744	88,45341	7,0442177
18	7,366970E-02	5,171211E-02	6,115641E-02	44	1,422504	126,7949	10,063719
19	1,038850E-01	7,747931E-02	4,492081E-02	45	1,422195	181,7887	15,022002
20	1,411399E-01	1,119339E-01	3,462102E-02	46	1,416864	259,9612	21,7345
21	1,855935E-01	1,569382E-01	2,792500E-02	47	1,40689	369,7466	30,88349
22	2,371166E-01	2,147202E-01	2,352825E-02	48	1,392662	521,5997	43,53821
23	2,953000E-01	2,880303E-01	2,067688E-02	49	1,374578	727,8047	60,72234
24	3,594824E-01	3,803553E-01	1,892705E-02	50	1,353036	1001,799	83,55567
25	4,287905E-01	4,962134E-01	1,801904E-02	51	1,328427	1356,823	113,1415

4. Roda Gergaji

tp	F(t)	H(t)	D(t)	tp	F(t)	H(t)	D(t)
0	0	0	1	26	0,144377	0,163487	0,05090187
1	1,64786E-05	1,54786E-05	3,79284E+03	27	0,159173	0,185196	0,0470587
2	1,15552E-04	1,15553E-04	5,40944E+02	28	0,174712	0,207068	0,04374868
3	3,61018E-04	3,61060E-04	1,73183E+02	29	0,190973	0,230517	0,04089819
4	8,10033E-04	8,10325E-04	7,72199E+01	30	0,207928	0,255859	0,03844060
5	1,51586E-03	1,51709E-03	4,12932E+01	31	0,225549	0,283258	0,03632060
6	2,52891E-03	2,53275E-03	2,47768E+01	32	0,243802	0,312861	0,03449272
7	3,89720E-03	3,90707E-03	1,60999E+01	33	0,262649	0,344821	0,03291955
8	5,66658E-03	5,68872E-03	1,10925E+01	34	0,282048	0,379304	0,03157022
9	7,88085E-03	7,92569E-03	7,99376E+01	35	0,301955	0,416488	0,03041917
10	1,05817E-02	1,06656E-02	5,96977E+01	36	0,322322	0,456566	0,02944523
11	1,38089E-02	1,39562E-02	4,58970E+01	37	0,343099	0,499747	0,02863085
12	1,75999E-02	1,78455E-02	3,61513E+01	38	0,364232	0,546256	0,02796151
13	2,19897E-02	2,23822E-02	2,90659E+01	39	0,385666	0,596339	0,02742521
14	2,70112E-02	2,76158E-02	2,37865E+01	40	0,407344	0,650259	0,02701212
15	3,26944E-02	3,35973E-02	1,97693E+01	41	0,429207	0,708302	0,0267142
16	3,90666E-02	4,03792E-02	1,66569E+01	42	0,451195	0,770776	0,0265252
17	4,61523E-02	4,80159E-02	1,42071E+01	43	0,473248	0,838016	0,02644008
18	5,39727E-02	5,65642E-02	1,22520E+01	44	0,495305	0,910378	0,02645497
19	6,25457E-02	6,60835E-02	1,06727E+01	45	0,517307	0,988251	0,02656723
20	7,18859E-02	7,66364E-02	9,38314E-02	46	0,539193	1,072051	0,02677515
21	8,20041E-02	8,82886E-02	8,32017E-02	47	0,560905	1,162224	0,02707790
22	9,29076E-02	1,01110E-01	7,43632E-02	48	0,582387	1,25925	0,0274754
23	1,04599E-01	1,15175E-01	6,69615E-02	49	0,603582	1,363642	0,02796853
24	1,17078E-01	1,30563E-01	6,07204E-02	50	0,624438	1,475949	0,02855856
25	1,30341E-01	1,32365E-01	5,53047E-02	51	0,644905	1,596753	0,02924761