

# HALAMAN JUDUL

PROPOSAL TUGAS AKHIR – TF 181801

**IMPLEMENTASI FAILURE MODE AND EFFECT CRITICALITY ANALYSIS (FMECA), RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE SYSTEM (RCM), DAN ANALISIS RELIABILITY, AVAILABILITY, DAN MAINTAINABILITY (RAM) PADA PUMP DI PT. CABOT INDONESIA**

**AHMAD FARHAN**

**NRP. 02311940000079**

**Calon Dosen Pembimbing**

**Prof. Dr.Ir.Ali Musyafa, M Sc.**

**Departemen Teknik Fisika**

**Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**2024**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# LEMBAR PENGESAHAN

**PROPOSAL TUGAS AKHIR**

**PROGRAM STUDI SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK FISIK**A

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Judul | : | Implementasi *Failure Mode Effect Criticality Analysis (FMECA)*, *Reliability Centered Maintenance (RCM),* dan *Reliability, Availability, Maintainability (RAM)* pada *Pump* di PT. Cabot Indonesia | |
| Bidang Minat | : | Pengukuran, Keandalan, Risiko, dan Keselamatan | |
| Mata Kuliah Pilihan yang diambil | : | Keandalan  Manajemen Resiko | |
| Identitas Pengusul |  |  | |
| Nama | : | Ahmad Farhan | |
| NRP | : | 02311940000079 | |
| Jenis Kelamin | : | Laki-Laki | |
| Jangka Waktu Pelaksanaan | : | 4 Bulan | |
| Calon Pembimbing | : | Prof. Dr.Ir.Ali Musyafa, M Sc. | |
| Status Pengusulan | : | Baru | |
| Surabaya, 23 May 2024  Pengusul Proposal,  Ahmad Farhan  NRP. 0231940000079 | | | | |
| Menyetahui,  Kepala Laboratorium Pengukuran,  Keandalan, Risiko, dan Keselamatan  **Prof. Dr.Ir.Ali Musyafa, M Sc.**  NIP. 196009011987011001 | | | Calon Dosen Pembimbing  **Prof. Dr.Ir.Ali Musyafa, M Sc.**  NIP. 196009011987011001 | |

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DAFTAR ISI

[HALAMAN JUDUL i](#_Toc175684099)

[LEMBAR PENGESAHAN iii](#_Toc175684100)

[DAFTAR ISI v](#_Toc175684101)

[DAFTAR GAMBAR viii](#_Toc175684102)

[DAFTAR TABEL x](#_Toc175684103)

[BAB I PENDAHULUAN 1](#_Toc175684104)

[1.1 Latar Belakang 1](#_Toc175684105)

[1.2 Rumusan Masalah 2](#_Toc175684106)

[1.3 Tujuan Tugas Akhir 2](#_Toc175684107)

[1.4 Batasan Masalah 2](#_Toc175684108)

[1.5 Relevansi Tugas Akhir 3](#_Toc175684109)

[BAB II TINJUAN PUSTAKA 5](#_Toc175684110)

[2.1 Review Penelitian Sebelumnya 5](#_Toc175684111)

[2.2 Dasar Teori 7](#_Toc175684112)

[2.2.1 Carbon Black 7](#_Toc175684113)

[2.2.2 ROTOJET Pump 8](#_Toc175684114)

[2.2.3 Keandalan (Reliability) 10](#_Toc175684115)

[2.2.4 Laju Kegagalan (Failure Rate) 11](#_Toc175684116)

[2.2.5 Distribusi Kegagalan (Failure Rate Distribution) 11](#_Toc175684117)

[2.2.6 Keterawatan (Maintainability) 15](#_Toc175684118)

[2.2.7 Ketersediaan (Availability) 17](#_Toc175684119)

[2.2.8 Reliability Centered Maintenance (RCM) 17](#_Toc175684120)

[2.2.9 Langkah – Langkah Penerapan RCM 18](#_Toc175684121)

[2.2.10 Fungsi dan Standar Kinerka (System Functions and Performance Standard) 20](#_Toc175684122)

[2.2.11 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) 20](#_Toc175684123)

[BAB III METODE PENELITIAN 26](#_Toc175684124)

[3.1 Studi Literatur 27](#_Toc175684125)

[3.2 Pengumpulan Data 27](#_Toc175684126)

[3.3 Desain Susunan Turbin pada Kanal 27](#_Toc175684127)

[3.4 Simulasi CFD 28](#_Toc175684128)

[3.5 Validasi Simulasi 28](#_Toc175684129)

[3.6 Pengambilan Data 28](#_Toc175684130)

[3.7 Analisa Data dan Penarikan Kesimpulan 28](#_Toc175684131)

[BAB IV JADWAL KEGIATAN 30](#_Toc175684132)

[DAFTAR PUSTAKA 32](#_Toc175684133)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DAFTAR GAMBAR

[**Gambar 2.1** (a) VAHT 3 Blades, (b) VAHT-SBC 6 Blades, (c) VAHT-SBC 9 Blades (Hantoro, et al., 2018) **Error! Bookmark not defined.**](#_Toc34124090)

[**Gambar 2.2**Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr **Error! Bookmark not defined.**](#_Toc34124091)

[**Gambar 3.1** Diagram Alir Metodologi Penelitian 26](#_Toc34124092)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DAFTAR TABEL

[**Tabel 3.1** Dimensi Turbin VAHT-SBC 27](#_Toc34124113)

[**Tabel 4.1** Jadwal Kegiatan 30](#_Toc34124114)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# PENDAHULUAN

## Latar Belakang

*Carbon black* telah digunakan secara luas untuk merekayasa sifat mekanik, listrik, dan sifat optik dari material tergantung kebutuhan pasar dimana *carbon black* di produksi. *Carbon black* saat dicampurkan dengan plastik memberikan sifat unik, seperti perlindungan terhadap sinar UV, konduktansi listrik, *opacity* dan penguatan. Sekitar 90% hasil produksi *carbon black* di seluruh dunia digunakan oleh industri ban, dimana *carbon black* dapat menguatkan *tear strength* dan menaikan kualitas modulus dan karakteristik keausan dari ban (Donnet, 1993).

Dalam memproduksi *carbon black*, prosesnya melibatkan berbagai tahap, dari *reaction-collection, pelletizing-drying,* dan *packing* (Kuhlbusch, 2006). Dalam prosesnya alat-alat pabrik akan terpapar dengan bahan kimia *Carbon Black Oil* dan *Decant Oil* (Cabot Corporation, 2007), maka, diperlukan tindakan perawatan yang tepat untuk menjaga keandalan alat agar efisiensi produksi tidak menurun.

Keandalan didefinisikan sebagai probabilitas dari suatu item untuk dapat melaksanakan fungsi yang telah ditetapkan pada kondisi pengoperasian dan lingkungan tertentu untuk periode waktu yang telah ditentukan (Wahyudi, 2010). Untuk meningkatkan keandalan dari suatu sistem, dibutuhkan metode perawatan yang berkaitan dengan fungsi waktu operasi dan kegagalan komponen saat proses produksi. Salah satu metode perawatan yang sesuai dengan kondisi di atas adalah metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)*. RCM adalah suatu proses yang digunakan untuk menentukan tindakan yang harus dilakukan supaya suatu aset dapat bekerja dengan terus menerus sesuai dengan fungsinya dalam konteks operasi pada saat dilakukan (Moubray, 2001). RCM perlu diterapkan karena merupakan bentuk manajemen perawatan yang berbasis keandalan sistem (Wahyudi, 2010). Penerapan dari RCM diharapkan dapat mencegah dan menyelesaikan kegagalan yang terjadi, serta menjaga keandalan pada alat *Pump* pada PT. Cabot Indonesia

## Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana menganaisis aspek kualitatif dalam menentukan komponen kritis dan jenis perawatan komponen penyusun alat *pump* menggunakan metode *Failure Mode and Effect Criticality Analysis (FMECA)* dan *Reliability Centered Maintenance (RCM)?*
2. Bagaimana menganalisis aspek kuantitatif dalam menentukan jadwal usaha perawatan terhadap komponen penyusun alat *pump* menggunakan evaluasi keandalan?

## Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Menganalisis aspek kualitatif dalam menentukan komponen kritis dan jenis perawatan komponen penyusun alat *Pump* menggunakan metode *Failure Mode and Effect Criticality Analysis (FMECA)* dan *Reliability Centered Maintenance (RCM)*.
2. Menganalisis aspek kuantitatif dalam menentukan jadwal usaha perawatan terhadap komponen penyusun alat *pump* menggunakan evaluasi keandalan

## Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Evaluasi komponen kritis dibatasi dengan nilai *risk priority number, critically* dan *risk category*  tertinggi dari setiap failure mode pada komponen alat.
2. Data yang digunakan data perawatan (*failure-repair*) untuk masing – masing komponen yang dominan terhadap kejadian kegagalan dengan kurun waktu 5 tahun.
3. Distribusi kegagalan disetiap komponen diperoleh dengan menggunakan *tools software* Minitab.

## Relevansi Tugas Akhir

Penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan mannfaat bagi PT. Cabot Indonesia dalam menjaga kondisi keandalan sistem serta mencegah dan mengatasi terjadinya kegagalan pada *Pump*.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# TINJUAN PUSTAKA

## Review Penelitian Sebelumnya

Review penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan judul tugas akhir dapat dilihat pada table 2.1.

**Tabel 2.1** Tabel studi literatur yang relevan dengan Tugas Akhir.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| **No** | **Profil Pustaka** | **Metode dan Temuan** |  |
| 1 | **Judul:** | **Metode:** |  |
| *Reinforcing mechanism of carbon nanotubes and high structure carbon black in natural rubber/styrene-butadience rubber blend prepared by mechanical mixing-effect of bound rubber* | Penelitian ini menggunakan metode experimental dengan menggabungkan rubber material NR-SMR20 dan SBR-1502, lalu data yang diperoleh diolah menggunakan DMA. |  |
| **Penulis:** | **Temuan:** |  |
| Subhasish Mitra | Pengaruh penguatan dari carbon black struktur tinggi (HSCB) dan nanotube karbon multi- dinding (MWCNT) pada campuran karet alam/karet stirena-butadiena yang diproses menggunakan pencampuran mekanis telah diteliti secara komparatif. Analisis mendalam dengan analisis mekanik dinamis, model Eggers- Schummer, dan hubungan Medalia menunjukkan bahwa agregat HSCB menyediakan pori-pori internal yang besar, sehingga menyebabkan makromolekul yang terimobilisasi secara signifikan dalam karet yang diisi |  |
| **Jurnal/Prosiding:** |  |
| Polymer International: Volume 64, Issue 11, November 2016, Pages 1627-1638 |  |
| 2 | **Judul:** | **Metode:** |  |
| *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Implementation: A Literature Review* | FMEA digunakan untuk mencegah kemungkinan desain, proses atau sistem baru gagal mencapai, secara keseluruhan atau sebagian persyaratan yang diusulkan. Persyaratan klien dievaluasi serta dikembangkan dengan cara yang meminimalkan risiko terjadinya mode kegagalan potensial, dengan penekanan pada jaminan keselamatan dan kesehatan personel serta keamanan sistem. |  |
| **Penulis:** | **Temuan:** |  |
| Kapil Dev Sharma, Shobhit Srivastava. | FMEA menyediakan alat yang mudah untuk menentukan risiko mana yang memiliki perhatian terbesar dan oleh karena itu diperlukan tindakan untuk mencegah masalah sebelum muncul. Pengembangan spesifikasi ini akan memastikan produk akan memenuhi persyaratan yang ditentukan. Keluaran awal dari FMEA adalah prioritas mode kegagalan berdasarkan nomor prioritas risikonya dan ini saja tidak menghilangkan mode kegagalan. Diperlukan tindakan tambahan yang mungkin di luar FMEA. |  |
| **Jurnal/Prosiding:** |  |
| Journal of Advance Research in Aeronautics and Space Science, Volume 5, Issue 1&2, 2018, pg 1-17 |  |
| 3 | **Judul:** | **Metode:** |  |
| Analisis Penyebab Kecacatan Produk *Weight A Handle* Menggunakan Metode *Fault Tree Analysis* dan *Failure Mode and Effect Analysis* sebagai Rancangan Perbaikan Produk | Penelitian ini menggunakan metode FTA dan FMEA. Data yang diperoleh digunakan untuk melakukan identifikasi masalah kegagalan produk. Hubungan keterkaitan antara FTA dan FMEA terdapat pada analisis berdasarkan pohon kesalahan pada FTA yang dimasukkan ke dalam tabel FMEA yang berupa penyebab kegagalan produk. |  |
| **Penulis:** | **Temuan:** |  |
| Yanuar Alfianto | Cacat cold forming dengan penyebab potensi kegagalan adalah kesalahan dalam pengukuran diameter shank handle serta dies yang sudah aus karena intensitas penggunaan yang tinggi dan mesin yang mengalami trouble dengan nilai RPN sebesar 576. Cacat machining 1 dengan dua penyebab potensi kegagalan dengan nilai RPN sebesar 441. Cacat machining 2 dengan dua penyebab potensi kegagalan dengan nilai RPN sebesar 392. Cacat surface finishing dengan satu penyebab potensi kegagalan dengan nilai RPN sebesar 512. |  |
| **Jurnal/Prosiding:** |  |
| Journal of Industrial Engineering and Management Systems Vol. 12, No. 2, 71-80, 2019 ISSN 197901720 E-ISSN 2579-8154 |  |
| 4 | **Judul:** | **Metode:** |  |
| *Corrosion in MEA units for CO2 capture: pilot plant studies* | Penelitian ini menggunakan dua metode yang berbeda. Metode pertama adalah *weight loss coupons* pada *castor pilot plant*  dan *corrosometer probes* pada *ITC system.* Dengan tujuan untuk membandingkan tingkat korosi yang disebabkan selama proses penyerapan CO2 menggunakan *monoethanolamine (MEA)* sebagai penyerap. |  |
| **Penulis:** | **Temuan:** |  |
| J. Kittel, R. Idem, D. Gelowitz, P.Tontiwachwuthikul, G. Parrain, A. Bonneau | Di pabrik *Castor pilot,* korosi tertinggi diamati di bagian bawah *stripper,* dengan pengurangan ketebalan lebih dari 1 mm/tahun. Laju korosi yang diamati di pabrik ITC lebih kecil pada saluran masuk *stripper* dengan banyak kandungan MEA panas. Hal ini menunjukan dengan jelas bahwa kombinasi suhu tinggi dan pemuatan CO2 menimbulkan situasi korosif. |  |
| **Jurnal/Prosiding:** |  |
| Energy Procedia 1 (2009) 791-797 |  |
|  |  |  |  |

## Dasar Teori

Bagian ini berisikan tentang teori – teori yang berhubungan serta menunjang keberhasilan penelitian.

### *Carbon Black*

Proses pembuatan Carbon Black melalui proses oil furnace dan proses thermal black, proses oil furnace mencakup 90% dari total produksi carbon black seluruh dunia. Proses oil furnace secara umum adalah minyak panas, bahan bakar gas, dan udara dengan temperatur tinggi diinjeksikan ke dalam reaktor untuk reaksi pembakaran gas dengan temperatur tinggi (Cabot Corporation, 2007).

A diagram of a process

Description automatically generated

**Gambar 2.1** Diagram Proses Produksi *Carbon Black* PT. Cabot Indonesia

Pada tahap ini minyak mengalami proses pembakaran dan cracking sehingga membentuk karbon dan hydrogen, dengan reaksi pembakaran seperti berikut:

𝐶20𝐻42 + 61𝑂2 → 20𝐶𝑂2 + 21𝐻2𝑂

Reaksi pirolisis:

𝐶20𝐻42 → 20𝐶 + 21𝐻2

Keluaran dari reaktor pembakaran ini adalah partikel *carbon black* dalam bentuk kabut hitam. Reaksi ini menghgasilkan konversi 55% dari feed proses menjadi *carbon black*.

### ROTOJET Pump

Alat yang menjadi objek penelitian ini merupakan pompa yang berfungsi mengalirkan fluida, banyak pompa di plant PT. Cabot Indonesia dan secara spesifik yang dijadikan objek penelitian adalah *feedstock pump* yang berfungsi mengalirkan *carbon black oil,* dan *decant oil* dari suplai *feedstock* ke proses pembentukan *carbon black*.

A machine with pipes and valves

Description automatically generated with medium confidence

**Gambar 2.2** *Feedstock Pump* pada plant PT. Cabot Indonesia

Pompa ini merupakan *single-stage centrifugal pump*. Desain dari pompa ini ditunjukan pada wadah berputar yang tertutup, dan *pitot tube* yang stasioner. Liquid memasuki wadah yang berputar melalui baling – baling dari penutup rotor, yang berfungsi sebagai *impeller*, yang menaikan laju dari liquid. Liquid keluar dari *impeller* dan berputar sesuai dengan laju wadah, lalu liquid akan di *pick-up* oleh *pitot tube* (Osborn, 1996).

### Keandalan (*Reliability*)

Keandalan didefinisikan sebagai probabilitas bahwa suatu system akan bekerja dengan baik untuk jangka waktu tertentu di bawah serangkaian kondisi operasi tertentu (Lewis, 1995). Keandalan merupakan probabilitas yang nilainya selalu diantara 0 dan 1 (Kiemele, 2000). Berdasarkan definisi tersebut, nilai keandalan dari suatu komponen atau system dapat mempengaruhi kegiatan produksi. Nilai keandalan dapat dihitung dengan persamaan 2.1 (Lewis, 1995).

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1) |

Di mana,

R(t) : *Reliability Function*

F(t) : *Cummulative Distribution Function (CDF)*

f(t) : *Probability Density Function (PDF)*

Evaluasi keandalan dilakukan berdasarkan metode kuantitatif dan kualitatif. Pada dasarnya, kedua jenis analisis tersebut saling berkaitan dan saling melengkapi satu sama lain.

1. Metode Kualitatif

Metode kualitatif merupakan metode analisis secara *quality* melalui perspektif praktis dari suatu masalah di mana analisis kualitatif juga banyak melibatkan studi dan observasi lapangan atau wawancara dengan pakar. Metode kualitatif dapat digunakan untuk mengumpulkan informasi tentang pengalaman pengguna terkait masalah keandalan, dampaknya, dan persepsi mereka terhadap system yang diuji.

1. Metode Kuantitatif

Metode kuantitatif merupakan metode perhitungan matematik yang dilakukan dengan pendekatan/distribusi numerik atau berbasis angka. Metode ini dilakukanterhadap data *maintenance* (*equipment record*) terhadap waktu kegagalan (*time to failure*) dan waktu perbaikan (*time to repair*). Waktu kegagalan adalah waktu komponen atau sistem dari mulai beroperasi sampai mengalami kegagalan dan waktu perbaikan adalah waktu perbaikan yang diperlukan oleh komponen supaya dapat berfungsi kembali. Data TTF dan TTR dari komponen dapat diperoleh dengan beberapa pendekatan distribusi kegagalan yang telah dikenal antara lain distribusi normal, lognormal, eksponensial dan *weibull*.

### Laju Kegagalan (*Failure Rate*)

Laju kegagalan atau *failure rate* (λ) adalah rasio dari total jumlah kegagalan dengan total waktu operasi. *Failure rate* menunjukan seberapa sering suatu item mengalami kegagalan pada periode waktu tertentu (Wahyudi, 2010). *Failure rate*  dapat dihitung dengan persamaan 2.2, persamaan 2.3 atau persamaan 2.4 (Ebeling, 1997)

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.2) |

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.3) |

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.4) |

Di mana,

*f* : Banyaknya kegagalan selama jangka waktu operasi

*T* : Total waktu operasi

MTTF : Rata – rata kegagalan (*failure*) yang terjadi

### Distribusi Kegagalan (*Failure Rate Distribution*)

Distribusi kegagalan didapatkan dari data TTF (*Time to Failure*) dan TTR (*Time to Repair*). TTF adalah waktu yang dilewati oleh komponen saat mulai beroperasi sampai mengalami kegagalan. Sedangkan TTR adalah waktu perbaikan yang diperlukan oleh komponen agar dapat berfungsi kembali. Parameter – parameter implementasi yang didapatkan dari pendekatan jenis distribusi data selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai keandalan (*reliability*), ketersediaan (*availability*), dan keterawatan (*maintainability*) dari setiap komponen. Berikut adalah jenis – jenis dari distribusi kegagalan (Ebeling, 1997):

**a. Distribusi Normal**

Distribusi normal atau distribusi *gaussian* adalah distribusi yang paling sering digunakan untuk menjelaskan penyebaran data. *Probability Density Function (PDF)* dari distribusi normal didapatkan dengan persamaan 2.5 berikut (Ebeling, 1997):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.5) |

Di mana,

t : Waktu (variabel)

: mean

: Simpangan baku

Bila distribusi kegagalan suatu sistem menggunakan distribusi normal, maka dapat menggunakan persamaan 2.6 untuk mengetahui fungsi keandalan (*reliability*) dan persamaan 2.7 untuk mengetahui laju kegagalan berikut (Ebeling, 1997):

* Fungsi *reliability* R(t)

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.6) |

* Laju kegagalan λ(t)

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.7) |

**b. Distribusi Lognormal**

Distribusi ini memiliki dua parameter yang sama seperti distribusi normal. *Probability Density Function* (*PDF*) dari distribusi lognormal didapatkan dengan persamaan 2.8 berikut (Ebeling, 1997):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.5) |

Di mana,

t : Waktu (variabel)

: parameter lokasi

: parameter skala

Bila distribusi kegagalan suatu sistem menggunakan distribusi lognormal, maka dapat menggunakan persamaan 2.9 untuk mengetahui fungsi keandalan (*reliability*) dan persamaan 2.10 untuk mengetahui laju kegagalan berikut (Ebeling, 1997):

* Fungsi *reliability* R(t)

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.9) |

* Laju kegagalan λ(t)

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.10) |

**c. Distribusi *Weibull***

Distribusi *Weibull* dapat dipakai untuk merepresentasikan bentuk variasi data yang luas. Karakteristik distribusi *Weibull* adalah memiliki beberapa parameter pada distribusinya. Distribusi *Weibull* tipe 2 memiliki dua parameter, yaitu beta (β) dan eta (η), sedangkan distribusi *weibull* tipe 3 memiliki tiga parameter yaitu beta (β), eta (η) dan gamma (γ). *Probability Density Function (PDF)* dari distribusi *Weibull* didapatkan dengan persamaan 2.11 berikut (Ebeling, 1997):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.11) |

Di mana:

t : Waktu (variable)

β : Bentuk parameter (*shape parameter*)

η : Parameter skala (*scale parameter*)

γ : Parameter Lokasi (*location parameter*)

Bila distribusi kegagalan suatu sistem menggunakan distribusi *Weibull,* maka dapat menggunakan persamaan 2.12 untuk mengetahui fungsi keandalan (*reliability*) dan persamaan 2.13 untuk mengetahui laju kegagalan berikut (Ebeling, 1997):

* + Fungsi *reliability* R(t)

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.12) |

* + Laju kegagalan λ(t)

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.13) |

**d. Distribusi Eksponensial**

Distribusi eksponensial digunakan terhadap suatu komponen atau unit dengan jumlah data kegagalan dibawah 5 kali (Wahyudi, 2010). Distribusi eksponensial dengan tipe 1 memiliki satu parameter, yaitu lambda (λ), sedangkan distribusi eksponensial tipe 2 memiliki dua parameter, yaitu lambda (λ) dan gamma (γ). *Probability Density Function (PDF)* dari distribusi *weibull* didapatkan dengan persamaan 2.14 berikut (Ebeling, 1997):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.14) |

Di mana,

λ : Parameter tambahan untuk pola distribusi eksponensial tipe kedua

Bila distribusi kegagalan suatu sistem menggunakan distribusi eksponensial, maka dapat menggunakan persamaan 2.15 untuk mengetahui fungsi keandalan (*reliability*) dan persamaan 2.16 untuk mengetahui laju kegagalan berikut (Ebeling, 1997):

* + Fungsi *reliability* R(t)

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.15) |

* + Laju kegagalan λ(t)

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.16) |

### Keterawatan (*Maintainability*)

Keterawatan atau *maintainability* M(t) merupakan kemampuan suatu komponen yang rusak untuk dapat dirawat maupun diperbaiki, dengan tujuan untuk kembali seperti keadaan awal dan dalam periode tertentu, sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan. *Maintainability* memiliki rumus matematis yang berbeda – beda, bergantung dari distribusi datanya (Ebeling, 1997).

Persamaan 2.17, persamaan 2.18, persamaan 2.19 dan persamaan 2.20 digunakan untuk menentukan nilai *maintainability* (M(t)) berdasarkan jenis distribusinya. Nilai *maintainability* didapatkan dari distribusi data TTR (*Time to Repair*) didapatkan dengan persaman berikut (Ebeling, 1997):

**a. Distribusi Normal**

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.17) |

Di mana:

t : Waktu (variable)

μ : Rata – rata

σ : simpangan baku

**b. Distribusi Lognormal**

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.18) |

Di mana:

t : Waktu (variable)

μ : Rata – rata

σ : simpangan baku

**c. Distribusi *Weibull***

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.19) |

Di mana:

t : Waktu (variable)

β : Bentuk Parameter (*shape parameter*)

η : parameter skala (*scale parameter*)

γ : parameter Lokasi (*location parameter*)

**d. Distribusi Eksponensial**

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.20) |

Di mana:

t : Waktu (variable)

MTTR : *Mean time to repair*

### Ketersediaan (*Availability*)

Ketersediaan atau *availability* A(t) adalah ketersediaan suatu komponen dalam jangka waktu tertentu. Ketersediaan juga dapat dikatakan sebagai kemungkinan suatu komponen untuk menjalankan fungsinya dengan berbagai aspek keandalan, kemampurawatan, serta dukungan pemeliharaan. *Availability* yang berubah terhadap waktu dapat dihitung menggunakan persamaan 2.21 berikut (Ebeling, 1997):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.21) |

Di mana:

λ : *Failure rate* dari waktu antar kegagalan

μ :

t : waktu

### *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

RCM merupakan suatu proses yang menentukan perawatan yang efektif dalam suatu asset fisik. RCM mengkombinasikan praktik dan strategi dari *preventive maintenance, condition based,* dan *corrective maintenance* untuk memaksimalkanumur *(lifetime)* dan fungsi sistem atau aset dengan biaya minimal (*minimum cost*) (NASA, 2008).

Tujuan dari *Reliability Centered Maintenance* (*RCM*) yaitu sebagai berikut (Moubray, 2001):

a. Mengurangi biaya perawatan selama ini hingga titik efektif

b. Meningkatkan keselamatan termasuk keamanan lingkungan

c. Menambah umur komponen karena pengembangan sistem perawatan yang digunakan sudah sesuai dengan tindakan terhadap masing – masing komponen

d. Memperoleh informasi penting untuk mengembangkan desain awal yang kurang baik

### Langkah – Langkah Penerapan RCM

Langkah – Langkah yang dilakukan untuk menerapkan *Reliability Centered Maintenance* (*RCM*) adalah sebagai berikut (Smith & Hinchcliffe, 2003):

a. Pemilihan Sistem dan Pengumpulan Informasi (*System Selection and Information collection*).

Beberapa kriteria yang harus diperhatikan dalam pemilihan sistem adalah:

Sistem yang memiliki masalah keselamatan dan lingkungan

Sistem yang memiliki biaya *preventive maintenance* dan *corrective maintenance* yang tinggi

Sistem yang memiliki kontribusi yang tinggi terhadap terjadinya *downtime*

Dokumen dan informasi yang dibutuhkan dalam penerapan RCM adalah:

* 1. *Piping and instrumentation* (*P&ID*). Adalah skema ilustrasi dari hubungan fungsi komponen peralatan, instrument, dan sistem.
  2. *Schematic/Block Diagram*. Adalah sebuah Gambaran sistem, rangkaian atau program yang fungsinya masing – masing Digambar kotak berlabel dan hubungan antar kotak digambarkan dengan garis penghubung.
  3. *Manual Book*. Adalah dokumen data dan informasi mengenai desain operasi tiap komponen.
  4. *Equipment History*. Adalah kumpulan data kegagalan komponen dan peralatan, dengan data *corrective maintenance* yang pernah dilakukan.

b. Definisi Batas Sistem (*System Boundary Definition*).

Definisi batas sistem digunakan untuk memberikan Batasan terhadap sistem karena sistem yang tersedia sangat banyak di dalam suatu pabrik. Pendefinisian batas sistem ini dilakukan untuk menjelaskan Batasan suatu sistem yang akan dianalisis agar semua fungsi dapat diketahui dengan baik dan benar. Jika Batasan sistem sudah dirumuskan dengan tepat, maka akan menjamin keakuratan proses analisis sistem.

c. Deskripsi Sistem dan Diagram Blok Fungsional (*System Description and Functional Block Diagram*)

Deskripsi sistem dan blok diagram fungsional merupakan Gambaran yang jelas dari fungsi utama setiap sistem berupa blok yang berisi fungsi dari setiam subsistem yang Menyusun sistem tersebut sehingga dibuat tahapan identifikasi dari sistem yang meliputi:

1. Deskripsi sistem

Penjelasan dan uraian sistem yang menjelaskan tentang cara kerja sistem serta penggunaan instrument yang ada dalam sistem

1. *Functional Block Diagram* (*FBD*)

Interaksi antara satu blok diagram fungsi dengan blok diagram fungsi lainnya

1. *In and Out Interface*

Penetapan batas – batas sistem dan pengembangan fungsi subsistem memungkinkan untuk melengkapi dan mendokumentasikan fakta dari elemen yang melintasi batas sistem. Beberapa elemen berperan sebagai masukan (*input*) dan beberapa 18 elemen berperan sebagai keluaran (*output*) yang melintasi subsistem.

1. *System Work Breakdown Structure (SWBS)*

Penggambaran kelompok bagian – bagian peralatan yang menggambarkan fungsi tertentu.

### Fungsi dan Standar Kinerka (*System Functions and Performance Standard*)

Fungsi sistem adalah suatu fungsi dari komponen yang diharapkan oleh pengguna tetapi masih dalam level performa standard kemampuan sejak dari awal dibuat. Fungsi sistem dibagi menjadi dua yaitu *primary function* dan *secondary function*. *Primary function* adalah fungsi utama dari suatu aset tersebut, sedangkan *secondary function* adalah kemampuan suatu aset untuk mengerjakan lebih dari fungsi utamanya (Moubray, 2001).

### *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

*Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* adalah alat manajemen risiko, yang digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan dalam suatu proses, produk, atau layanan sebelum terjadi, sehingga Langkah proaktif dapat diambil untuk merancang dan menerapkan proses yang kuat (Claxton & Campbell-Allen, 2017). *Failure mode* bertujuan untuk menentukan akar permasalahan dari kegagalan yang terjadi. Proses identifikasi terhadap fungsi, *failure mode*, dan *failure effect* sangat penting untuk dilakukan karena dapat menentukan perbaikan performansi suatu aset (Moubray, 2001). Penentuan *failure mode* berdasarkan standar OREDA yang terdiri dari beberapa jenis kegagalan seperti Tabel 2.1 (SINTEF Industrial Management, 2002).

**Table 2.1** Daftar *failure mode*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *AIR* | *Abnormal instrument reading* | *SER* | *Minor in service problem* |
| *BRD* | *Breakdown* | *NOI* | *Noise* |
| *ERO* | *Erratic output* | *OTH* | *Other* |
| *ELP* | *External leakage - process medium* | *OHE* | *Overheating* |
| *ELU* | *External leakage – Utility medium* | *PDE* | *Parameter deviation* |
| *FTS* | *Fail to start on demand* | *UST* | *Spurious stop* |
| *STP* | *Fail to stop on demand* | *STD* | *Structural deficiency* |
| *HIO* | *High output* | *UNK* | *Unknown* |
| *INL* | *Internal leakage* | *VIB* |  |
| *LLO* | *Low output* |  |  |

Implementasi FMEA melibatkan pembuatan *Risk Priority Number* (*RPN*) yang dihasilkan oleh peringkat Tingkat keparahan setiap potensi kegagalan atau *Severity (S)*, kemungkinan terjadinya kegagalan atau *Occurrance (O)* dan kemungkinan *Detection (D)* sebelum efek kegagalan (McCain, 2006). Keuntungan utama menggunakan metode FMEA adalah: pengurangan biaya, dengan dampak penting pada pengembalian garansi, pengurangan waktu yang dibutuhkan fase proyek hingga peluncuran pasar dan peningkatan kualitas dan keandalan produk, sementara meningkatkan keselamatan operasi mereka. Tujuan akhir untuk mencapai manfaat ini adalah peningkatan kepuasan pelanggan, yang menjamin pertumbuhan organisasi yang kompetitif (Sharma & Srivastava, 2018).

FMEA menentukan prioritas risiko mode kegagalan melalui nomor prioritas risiko (RPN), yang merupakan produk dari *severity (S), occurrence (O),* dan *detection (D)* (Sharma & Srivastava, 2018). Pengukuran terhadap besarnya nilai *severity, occurrence,* dan *detection* pada proses produksi adalah sebagai berikut (Alifianto, 2019):

1. *Severity* adalah Langkah pertama untuk menganalisa risiko, yaitu menghitung seberapa besar dampak atau intensitas kejadian memengaruhi hasil akhir proses. Dampak tersebut di rating mulai skala 1 sampai 10, dimana 10 merupakan dampak terburuk.
2. *Occurrence* merupakan kemungkinan bahwa penyebab kegagalan akan terjadi dan menghasilkan bentuk kegagalan selama masa produksi produk.
3. *Detection* berfungsi untuk upaya pencegahan terhadap proses produksi dan mengurangi Tingkat kegagalan pada proses produksi.

Skala yang digunakan untuk menentukan nilai *severity, occurrence,* dan *detection* menggunakan standar pada Tabel 2.2, Tabel 2.3, Tabel 2.4 (Patil, et al., 2022).

**Table 2.2** Skala Penentuan Nilai *Severity (S)*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Sr. No** | **Failure Effect Severity Category** | **Severity Category Description** | **Rank** |
| 1 | Very High | The failure of the boiler system may cause risk to the operator's life with or without warning. | 10 |
| 2 | Failure causes complete system failure or system inoperable. | 9 |
| 3 | The system requires major maintenance, is time-consuming, and incurs very high maintenance cost. | 8 |
| 4 | High | Loss of primary function. | 7 |
| 5 | System performance is degraded. | 6 |
| 6 | Moderate | Moderate effect on system performance. | 5 |
| 7 | The subsystem/component requires minor repair and low maintenance cost | 4 |
| 8 | Low | Subsystem/component requires minor repair and low maintenance costs | 3 |
| 9 | Minor effect on system performance | 2 |
| 10 | Minor | Very minor effects or no effect on system performance | 1 |

**Table 2.3** Skala Penentuan *Occurence (O)*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Sr. No** | **Occurrence Criterion** | **Ranking Meaning** | **Possible Ranking Failure** | **Rank** |
| 1 | Very Frequent | Occurrence is almost certain | Every Month | 10 |
| Between 1 month to 3 month | 9 |
| 2 | Frequent | Failure occurs repeatedly | Between 3 month to 6 month | 8 |
| Between 6 month to 1 year | 7 |
| 3 | Occasional | Failure occurs occasionally | Between 1 year to 4 years | 6 |
| Between 4 years to 8 years | 5 |
| 4 | Remote | Few failure expected | Between 8 years to 10 years | 4 |
| Between 10 years to 12 years | 3 |
| 5 | Extremely Unlikely | Occurrence is quite unlikely | Between 12 years to 15 years | 2 |
| More than 15 years | 1 |

**Table 2.4** Skala Penentuan *Detection (D)*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Sr. No** | **Detectability** | **Criteria Meaning** | **Rank** |
| 1 | Impossible | The present system is not able to detect failure mode or cause, or there is no control over failure | 10 |
| 2 | Absolute Uncertain | 9 |
| 3 | Highly Difficult | Very low probability the current monitoring system detects the failure. | 8 |
| 4 | Moderately Difficult | 7 |
| 5 | Difficult | 6 |
| 6 | Less Difficult | Possibly detecting the failure | 5 |
| 7 | Very Less Difficult | 4 |
| 8 | Easy to Detect | High probability the current method can detect the feature | 3 |
| 9 | Very Easy to Detect | 2 |
| 10 | Almost Certain | Present method almost certainly detect the failure | 1 |

FMECA adalah perubahan dari FMEA dengan menentukan nilai kekritisan atau prioritas yang kemudian dikaitan dengan dampak dari mode kegagalan yang ditimbulkan oleh sebuah komponen. Nilai Cr (*Criticality Number*) yang tinggi menentukan tingginya tingkat kegagalan komponen dan prioritas utama dalam kegiatan perawatan.

Tujuan dari FMECA yaitu untuk mengambil Tindakan guna menghilangkan atau mengurangi kegagalan, berdasarkan prioritas tertinggi yang dilakukan sesuai dengan hasil perhitungan RPN. Pengkategorian *risk* dengan menggunakan *critically analysis (C)* ini memungkinkan analisis risiko dan menetapkan ambang batas penerimaan untuk masing – masing mode gagal (Cendani, 2021). Skala penentuan nilai *criticality* menggunakan standar pada Tabel 2.5 (Yssaad & Abene, 2015).

**Table 2.5** Skala Penentuan Nilai *Criticality*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***Criticality (C)*** | | ***Risk or Hazard*** |
| ***Degree of criticality*** | ***Value*** |
| *Minor* | 0 - 30 | *Acceptable* |
| *Medium* | 31 - 60 | *Tolerable* |
| *High* | 61 - 180 |
| *Very High* | 181 - 252 | *Unacceptable* |
| *Critical* | 252 - 324 |
| *Very Critical* | >324 |

### Konsekuensi Kegagalan (*Failure Consequences*)

Konsekuensi kegagalan adalah akibat dari terjadinya kegagalan. Dalam metode RCM, tujuan dilakukannya *proactive task* adalah mengurangi terjadinya *failure consequences*. Oleh karena itu konsekuensi kegagalan sangat penting dalam menentukan kebijakan perawatan yang tepat. Konsekuensi kegagalan terdiri dari empat klasifikasi sebagai berikut (Moubray, 2001):

1. *Hidden Failure Consequences:* Kondisi dimana operator tidak dapat mengetahui konsekuensi kegagalan dalam kondisi normal.
2. *Safety Consequences:* Kondisi yang terjadi apabila kegagalan dapat membahayakan seseorang.
3. *Environmental Consequences:* Kondisi yang terjadi apabila kegagalan yang terjadi dapat melanggar peraturan atau standar dampak lingkungan.
4. *Operational Consequences:* kondisi dimana kegagalan yang terjadi memiliki dampak dalam sistem operasional seperti hasil prosuksi, kualitas produksi, kepuasan pelanggan, biaya tambahan.

### Teknik Penanganan Kegagalan (*Failure Management Techniques*)

Teknik Penanganan kegagalan dibagi menjadi dua kategori sebagai berikut (Barai, 2012):

1. *Proactive Task* adalah Tindakan yang dilakukan sebelum terjadinya kegagalan agar aset atau alat mampu memenuhi fungsinya. Terdapat tiga kategori dalam *proactive task*, yaitu:
   * *Scheduled Restoration Task* merupakan kegiatan rekondisi untuk mengembalikan kemampuan atau melakukan proses *overhaul* pada saat atau sebelum batas umur yang telah ditetapkan tanpa memandang kondisi komponen pada saat dilaksanakan proses perawatan.
   * *Scheduled Discard Task* merupakan kegiatan untuk mengganti komponen dengan komponen yang baru pada saat atau sebelum batas umur yang telah ditetapkan tanpa memandang kondisi komponen saat penggantian.
   * *Schedule on Condition Task* merupakan mencakup kegiatan pengecekan sehingga dapat dilakukan ketika kegagalan dapat memberikan beberapa informasi atau peringatan bahwa kegagalan tersebut akan terjadi. Peringatan ini dikenal dengan *potential failure*.

A diagram of a function

Description automatically generated

**Gambar 2.3** *Bathtub Curve*

*Bathtub curve* adalah salah satu konsep yang dapat dijadikan acuan untuk menentukan bentuk *maintenance* yang sesuai untuk suatu sistem atau komponen berdasarkan jenis laju kegagalan yang berubah terhadap waktu. Pada *bathtub curve,* suatu komponen dapat dijelaskan menurut tiga fase utama, yaitu fase *burn-in*, *useful life*, serta *wear-out* (Dhilon, 2004). Penjelasan dari ketiga fase adalah sebagai berikut:

* *Burn-in (early failure)* adalah kegagalanyang terjadi pada masa awal pengoperasian suatu item (fase awal suatu komponen yang baru diproduksi), yang ditandai dengan laju kerusakan yang menurun. Kegagalan yang mungkin terjadi dalam fase ini antara lain adalah ketidaksempurnaan proses manufaktur, kontrol kualitas yang kurang maksimal, cara *packaging* yang kurang tepat, atau kekurangan proses lainnya.
* *Useful life (random failure)* adalah kegagalan yang terjadi pada item yang berjalan normal ditandai dengan laju kegagalan konstan. Kegagalan yang mungkin terjadi dalam fase ini antara lain cacat komponen yang tidak terdeteksi, penyalahgunaan komponen, factor keamanan yang rendah, human errors, maupun kondisi lingkungan tertentu yang sulit dihindari.
* *Wear out failure* adalah kegagalan yang terjadi pada usia keguanaan tertentu yang ditandai dengan laju kerusakan yang semakin meningkat yang menuntut segera dilakukan penggantian Sebagian alata tau keseluruhan dengan yang baru. Kegagalan yang mungkin terjadi antaranya pemeliharaan yang buruk, terjadinya korosi, maupun pemeriksaan (*overhaul*) yang tidak tepat.

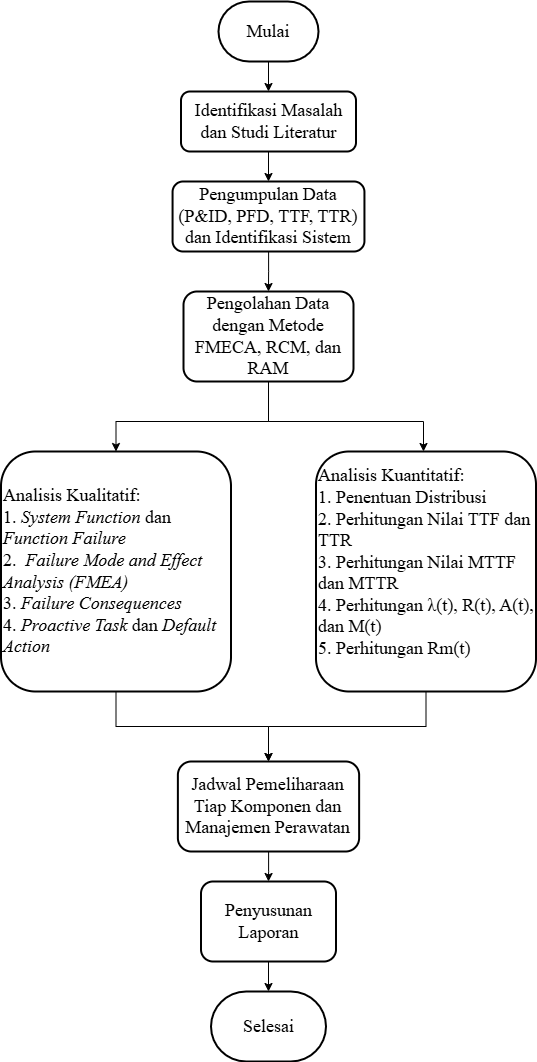
1. *Default action* adalah kegiatan yang dilakukan ketika komponen sudah dalam kondisi gagal. Default action dilakukan apabila *proactive task* tidak dapat dilakukan. Terdapat tiga jenis dalam *default action*, yaitu:

* *Failure Finding* adalah kegiatan yang dilakukan dengan memeriksa fungsi tersembunyi dari suatu komponen secara berkala untuk mengetahui apakah fungsi tersebut gagal.
* *Redesign* adalah perubahan yang dilakukan terhadap suatu sistem dari sistem lama menjadi sistem baru dengan cara modifikasi, mengganti, menambah komponen mesin, atau mengganti mesin secara keselurhan.
* *No Scheduled Maintenance*  adalah kondisi dimana tidak dilakukan apapun terhadap kegagalan yang terjadi.

# METODE PENELITIAN

## Diagram Alir Penelitian

Pengerjaan tugas akhir ini dilakukan dengan beberapa tahapan yang harus dikerjakan yaitu sesuai diagram alir pada Gambar 3.1:



**Gambar 3.1** Diagram Alir Metodologi Penelitian

## Identifikasi Masalah dan Studi Literatur

Tahap ini bertujuan untuk mencari dan menemukan masalah yang ada di unit *pump*. Penelitian ini berdasarkan permasalahan pada komponen kritis dari pompa. Penentuan komponen kritis berdasarkan frekuensi kerusakan serta lama waktu kerusakan dari komponen. Pompa berhubung langsung dengan *carbon black oil* dan *decant oil* yang mengandung sulfur dan karbon (Cabot Corporation, 2007), sehingga rentan untuk terjadinya kegagalan akibat adanya penipisan korosi, dan abrasi sehingga dapat menurunkan hasil *yield* *carbon black* yang dapat merugikan perusahaan. Tahap ini juga mengidentifikasi dari kondisi peralatan yang telah beroperasi.

Setelah masalah berhasil diidentifikasi, diperukan untuk melakukan studi literatur yang relevan untuk memperkuat dasar teoritis dan metodologis penelitian ini. Kajian ini mencakup berbagai sumber seperti buku, jurnal ilmiah, artikel, serta penelitian sebelumnya. Fokus utama dari literatur yang akan ditinjau yang membahas keandalan (*reliability*), kegagalan (*failure*), keterawatan (*maintainability*), ketersediaan (*availability*), dan metode perawatan *Reliability Centered Maintenance* (*RCM*).

## Pengumpulan Data

Data yang didapatkan berupa data *maintenance* dari *pump*, data berbentuk *record* dari equipment *history* dalam kurun 5 tahun. Setelah data diperolah, diperlukan adanya identifikasi sistem untuk mengetahui kegunaan atau fungsi dari masing – masing bagian penyusun *pump* serta bagaimana sistem itu bekerja terhadap waktu, juga bagaimana cara kerja dari masing-masing bagian pendukung proses tersebut.

## Pengolahan Data

Data yang didapatkan diolah dengan dua metode, yaitu metode kualitatif dan metode kuantitatif, berikut merupakan penjelasan mengenai kedua metode tersebut

### Analisa Kualitatif

Analisa kualitatif berupa identifikasi fungsi komponen (*system function*), fungsi kegagalan (*functional failure*), FMECA (*failure mode effects criticality analysis*), konsekuensi kegagalan (*failure consequences*), tindakan proaktif (*proactive task*) dan *initial interval.* Berikut merupakan penjelasan dari analisis kualitatif diatas.

1. Fungsi komponen (*system function*), menjelaskan tentang fungsi dari setiap komponen yang menyusu *pump.*
2. Fungsi kegagalan (*functional failure*), menjelaskan tentang kegagalan komponen penyusun sistem dalam menjalankan fungsinya.
3. *Failure mode and effect analysis (FMEA)*, menjelaskan tentang bentuk kegagalan dan dampak dari kegagalan tersebut. Table FMEA dapat dilihat pada Tabel 3.1 (Moubray, 2001).

**Table 3.1** Deskripsi Fungsi Komponen, Fungsi Kegagalan, dan FMEA

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***System Function*** | | ***Functional Failure*** | | ***Failure Mode*** | | ***Failure Effect*** |
| 1 | *To reduce exhaust noise level to ISO noise rating 30 at 50 meters.* | A | *Noise level exceeds ISO noise rating 30 at 50 m.* | 1 | *Silencer material retaining mesh corroded away* | *Most of the material would be blow out, but some might fall to the bottom of stack and obstruct the turbine outlet, causing high EGT and possible turbine shutdown. Noise levels would rise gradually. Downtime to repair about 2 weeks.* |
| 2 | *Duct leaks outside turbine* | *….etc* |

1. Konsekuensi kegagalan (*failure consequences*), menjelaskan tentang konsekuensi kegagalan kedalam empat kategori yaitu *hidden failure, safety failure, environment failure,* dan *operational failure*. *Failure consequence* dapat dituliskan seperti Tabel 3.2 (Moubray, 2001).

**Table 3.2** *Decision worksheet* dari RCM

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Information Reference*** | | | ***Consequence Evaluation*** | | | | **H1** | **H2** | **H3** | ***Default Action*** | | | ***Proposed Task*** |
| **S1** | **S2** | **S3** |
| **F** | **FF** | **F** | **H** | **S** | **E** | **O** | **O1** | **O2** | **O3** | **H4** | **H5** | **S4** |
| **N1** | **N2** | **N3** |
| 1 | A | 1 | Y | N | Y | Y | Y |  |  |  |  |  | *scheduled discard task* |

1. *Proactive task*, menjelaskan tentang tindakan yang dilakukan sebelum terjadinya kegagalan agar aset atau alat mampu memenuhi fungsinya. Kegiatan *proactive task* dikategorikan menjadi tiga yaitu *schedule on condition task (predictive maintenance), schedule restoration task* dan *schedule discard task (preventive maintenance). Default action* adalah kegiatan yang dilakukan ketika komponen sudah dalam kondisi gagal. *Default action* adalah kegiatan yang dilakukan ketika komponen sudah dalam kondisi gagal. *Default action* dilakukan apabila *proactive task* tidak dapat dilakukan. Terdapat tiga jenis dalam  *default action* yaitu *failure finding, redesign, no scheduled maintenance.*

## Analisa Kuantitatif

Analisa kuantitatif dilakukan untuk menentukan nilai distribusi, nilai TTF

## Pengambilan Data

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus es

## Analisa Data dan Penarikan Kesimpulan

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus e

# JADWAL KEGIATAN

Tugas akhir ini direncanakan untuk diselesaikan selama 4 bulan dengan jadwal kegiatan seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Jadwal Kegiatan



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DAFTAR PUSTAKA

Alifianto, Y., 2019. Analisis Penyebab Kecacatan Produk Weight A Handle Menggunakan Metode Fault Tree Analysis dan Failure Mode and Effect Analysis sebagai Rancangan Perbaikan Produk. *Journals of Industrial Engineering and Management System,* 12(2), pp. 71-80.

At-Tasneem, M. A., Rao, N., Ya, T. & al., e., 2014. Numerical Simulation of Multiple Array Arrangement of Micro Hydro Power Turbine. *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering,* VIII(5), pp. 963-969.

Aziz, N., 2009. *Tidal Energy Resources Assessment In Indonesia A Case Study In Alas Strait.* s.l.:University of Southampton.

Bai, L., 2011. *Electric Drive System with BLDC Motor.* Kuala Lumpur, Universiti Malaya, p. 254.

Barai, R. M., 2012. Reliability Centered Maintenance Methodology for Goliath Crane of Transmission Tower.

Blanke, M., 1999. *Fault Tolerant Control Systems.* London: Adventure Workd Press.

Cabot Corporation, 2007. *Manual Process Book.* Cilegon: s.n.

Cendani, A. S., 2021. Perbaikan Sistem Pemeliharaan Mesin Thresher Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance dan Failure Mode Effect and Criticality Analysis.

Claxton, K. & Campbell-Allen, N. M., 2017. Failure modes effect analysis (FMEA) for review of a diagnostic genetic laboratory process. *International Journal of Quality & Reliability Management,* 32(2), pp. 900-919.

Dhilon, B. S., 2004. *Reliability, Quality and Safety for Engineers.* New York: CRC Press.

Donnet, J.-B., 1993. In: *Carbon Black Science and Technology, Second Edition.* New York: MARCEL DEKER, INC., pp. xvii-xviii.

Ebeling, C. E., 1997. *An introduction to Reliability and Maintainability Engineering.* New York: McGraw Hill.

Errabelli, R., 2012. Fault-Tolerant Voltage Source Inverter for Permanent Magnet Drives. *IEEE Transactions on Power Electronics,* Volume 27.

Fan, Y., Fowler, G. D. & Zhao, M., 2019. The Past, Present and Future of Carbon Black as A Rubber Reinforcing Filler – A Review. *Journal of Cleaner Production.*

Gao, Y., 2001. Electronic Braking System of EV and HEV--Integration of Regenerative Braking, Automatic Braking Force Control and ABS. *42 Volt Technology and Advanced Vehicle Electrical Systems.*

Gunawan, B., Roberts, J. & Neary, V., 2015. Hydrodynamic effects of hydrokinetic turbine deployment in an irrigarion canal. *Marine energy technology symposium,* pp. 1-6.

Guney, M. S., 2011. Evaluation and measures to increase performance coefficient of hydrokinetic turbine. *Renew Sustain Energy Rev,* XV(8), pp. 3669-675.

Hantoro, R. et al., 2018. Performance investigation of an innovative Vertical Axis Hydrokinetic Turbine – Straight Blade Cascaded (VAHT SBC). *Journal of Physics,* pp. 1-8.

Hantoro, R. et al., 2018. Innovation in Vertical Axis Hydrokinetic Turbine – Straight Blade Cascaded (VAHT-SBC) design and testing for low current speed power generation. *Journal of Physics,* pp. 1-8.

Hantoro, R., Utama, L., Erwandi & Sulisetyno, A., 2011. An Experiment Investigation on Passive Variable-Pitch Vertical-Axis Ocean Current Turbine. *Journal Engineering Science,* 43(1), pp. 27-40.

Immanudin, F., 2016. Studi Numerik Pengaruh Jumlah Hydrofoil Terhadap Karakteristik Turbin Arus Laut Vertikal Aksis Jenis Straight Blade Berbasis Computational Fluid Dynamics.

Kartezhnikova, M. & Ravens, T. M., 2013. Hydraulic impacts of hydrokinetic devices. *Renew Energ,* Issue 66, pp. 25-432.

Kiemele, M. J., 2000. *Basic Statistics: Tools for Continuous Improvement.* 4th ed. Colorado Springs: Air Academy Press.

Kuhlbusch, T. A. J., 2006. Particle Characteristics in the Reactor and Pelletizing Areas of Carbon Black Production. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene,* 3(10), pp. 558-567.

Lewis, E. E., 1995. *Introduction to Reliability Engineering.* 2nd ed. New York: Wiley.

Matle, P. C., Riley, J. J. & Novosselov, I. V., 2013. *Analysis of hydrokinetic turbine in open channel flows (Thesis Book).* Washington: Master of Science in Mechanical Engineering University of Washington.

McCain, C., 2006. Using FMEA in a service setting. *Quality Progress,* Volume 39, pp. 24-29.

Moubray, J., 2001. *Reliability-centered Maintenance.* 2nd ed. New York: Industrial Press.

Murali, T., 2017. Four Quadrant Operation and Control of Three Phase BLDC Motor. *International Conference on Circuits Power and Computing Technology.*

NASA, 2008. *RCM Guide For Facilities and Collateral Equipment.* s.l.:National Aeronautics and Space Administration.

Nieburhr, . C. M., Van Dijk, M., Neary , V. S. & Bhagwan, J. N., t.thn. A review of hydrokinetic turbines and enhancement techniques for canal installations: Technology, applicability and potential. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, pp. 1-30.

Orhan, K., Mayerle, R. & Pandoe, W. W., 2015. Assesment of energy production potential from tidal stream current in Indonesia. *Energy Procedia,* Issue 76, pp. 7-16.

Osborn, S., 1996. The Roto-Jet pump: 25 years new. *World Pumps,* Volume 363, pp. 32-36.

Patil, S. S. et al., 2022. A New Approach for Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis Using ExJ-PSI Model - A Case Study on a Boiler System. *Applied Sciences,* Volume 12.

Sharma, K. D. & Srivastava, S., 2018. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Implementation: A Literature Review. *Journal of Advance Research in Aeronautics and Space Science,* 5(1&2), pp. 1-17.

SINTEF Industrial Management, 2002. *OREDA Offshore Reliability Data Handbook.* 4th ed. Trondheim: OREDA Participants.

Smith, A. M. & Hinchcliffe, G. R., 2003. *RCM--Gateway to World Class Maintenance.* Jordan Hill: Elsevier Butterworth-Heinemann.

Tur, O., 2007. *An Introduction to Regenerative Braking of Electric Vehicles as Anti-Lock Braking System.* Istanbul, s.n., pp. 13-15.

Wahyudi, D., 2010. ANALISIS PERAWATAN UNIT PEMBANGKITAN GRESIK UNIT III DENGAN METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE. *Yogyakarta: Seminar Nasional,* Volume VI.

Yssaad, B. & Abene, A., 2015. Rational Reliability Centered Maintenance Optimization for power distribution systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems,* Volume 73, pp. 350-360.