

Perencanaan Perawatan Pompa Sentrifugal Di PT. X Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) Dan *Reliability Centered Spares* (RCS)

Ahmad Nashirul Milal¹, Etik Puspitasari^{2*}

¹ Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang ; email : 2141230027@student.polinema.ac.id

² Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang ; email : etik.puspitasari@polinema.ac.id

* Penulis : Etik Puspitasari

Abstract: Co. X is engaged in petrochemicals and energy, with centrifugal pumps as vital tools for fluid distribution. However, these pumps often experience sudden failures and high downtime, disrupting the production process. This study will plan the maintenance of centrifugal pumps at Co. X using the Reliability Centered Maintenance (RCM) and Reliability Centered Spares (RCS) methods. The objectives of this study are to identify critical components, calculate component reliability, schedule maintenance, establish maintenance standard operating procedures (SOPs), determine maintenance costs, and plan spare parts procurement. The results of the study identified four critical components based on RPN values: mechanical seal (315), bearing (240), lube oil (168), and impeller (120). Reliability calculations used the Weibull distribution, yielding shape parameter (β) and scale parameter (θ) values. The reliability value was determined to be 0.5, and replacement was recommended at the following times: mechanical seal (6,336 hours), bearing (11,160 hours), lube oil (4,440 hours), and impeller (16,032 hours). Based on reliability values, maintenance intervals are determined as follows: two weeks based on the initial decrease in R(t) value, three months based on an 80-90% decrease in R(t) value, six months based on a 70-80% decrease in R(t) value, and overhaul when the pump has been in operation for two years. Maintenance SOPs are developed based on standards for each component, taking into account tools, materials, and related work requirements. The estimated maintenance cost over two years for a single pump operating 24 hours a day is Rp 65,068,606.00. Based on RCS calculations, the supply of critical component spare parts over two years includes: 3 units of mechanical seals, 3 units of bearings, 100L or 1 drum of lubricating oil, and 2 units of impellers..

Keywords: Centrifugal Pump; Downtime; Maintenance; RCM; RCS; Scheduling.

Abstrak: PT. X bergerak di bidang petrokimia dan energi, dengan pompa sentrifugal sebagai alat vital untuk distribusi fluida. Namun, pompa ini sering mengalami kegagalan mendadak dan downtime tinggi, sehingga mengganggu proses produksi. Dalam penelitian ini akan dilakukan perencanaan perawatan pompa sentrifugal di PT. X menggunakan metode Reliability Centered Maintenance (RCM) dan Reliability Centered Spares (RCS). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan komponen kritis, perhitungan keandalan komponen, penjadwalan perawatan, SOP perawatan, biaya perawatan, dan perencanaan penyediaan suku cadang. Hasil dari penelitian terdapat empat komponen kritis berdasarkan nilai RPN, yaitu mechanical seal (315), bearing (240), lube oil (168), dan impeller (120). Perhitungan keandalan menggunakan distribusi weibull dengan hasil nilai shape parameter (β) dan scale parameter (θ). Maka diperoleh nilai keandalan pada nilai 0,5 dan dilakukan replace ketika (t) mechanical seal (6.336 jam), bearing (11.160 jam), lube oil (4.440 jam), dan impeller (16.032 jam). Berdasarkan nilai keandalan, ditentukan interval perawatan dua minggu berdasarkan awal penurunan nilai R(t), tiga bulan berdasarkan penurunan nilai R(t) 80-90%, enam bulan berdasarkan penurunan nilai R(t) 70-80%, dan overhaul ketika pompa beroperasi selama dua tahun operasi. SOP perawatan disusun berdasarkan standar tiap komponen dengan mempertimbangkan alat, bahan, dan persyaratan kerja terkait. Hasil

Diterima: Mei 17, 2025

Direvisi: Mei 27, 2025

Diterima: Juni 29, 2025

Diterbitkan: Juli 22, 2025

Versi sekarang: Juli 22, 2025



Hak cipta: © 2025 oleh penulis.
Diserahkan untuk kemungkinan
publikasi akses terbuka
berdasarkan syarat dan ketentuan
lisensi Creative Commons
Attribution (CC BY SA) (
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

estimasi biaya perawatan selama dua tahun pada satu pompa yang bekerja selama 24 jam adalah Rp 65.068.606,00. Berdasarkan perhitungan RCS didapatkan penyediaan suku cadang komponen kritis dalam dua tahun yaitu, mechanical seal sebanyak 3 unit, bearing sebanyak 3 unit, lube oil sebanyak 100L atau 1 drum, dan impeller sebanyak 2 unit.

Kata kunci: Downtime; Pompa Sentrifugal; Penjadwalan; Perawatan; RCM; RCS.

1. Pendahuluan

PT. X merupakan perusahaan yang bergerak di bidang petrokimia dan energi sejak 1995, berperan memenuhi kebutuhan domestik minyak dan gas dengan memproduksi bahan aromatik serta bahan bakar. Dalam mendukung produksinya, PT. X sangat bergantung pada pompa sentrifugal sebagai alat vital untuk pemindahan fluida. Sebelumnya, berbagai penelitian telah menerapkan metode Reliability Centered Maintenance (RCM) dan Reliability Centered Spares (RCS) pada peralatan industri — RCM efektif dalam mengidentifikasi komponen kritis, meminimalkan risiko kegagalan, serta menjaga keandalan [1], sedangkan RCS berfokus pada pengelolaan persediaan suku cadang [2]. Kelebihan metode ini adalah mampu merencanakan pemeliharaan berbasis keandalan dan efisiensi biaya, namun masih terbatas jika tidak diimbangi dengan pengendalian ketersediaan suku cadang. Masalah utama yang dihadapi PT. X adalah sering terjadinya downtime akibat kegagalan mendadak pompa sentrifugal dan kurangnya manajemen perawatan serta persediaan suku cadang yang efektif. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan pendekatan kombinasi RCM dan RCS untuk menentukan komponen kritis, nilai keandalan, jadwal perawatan, dan kebijakan pengadaan suku cadang guna menjaga kontinuitas produksi. Kontribusi penelitian ini diharapkan mampu mengoptimalkan manajemen perawatan pompa sentrifugal di PT. X sekaligus menjadi referensi pengembangan strategi pemeliharaan di sektor industri serupa. Adapun bagian selanjutnya dari makalah ini akan membahas metode penelitian, hasil dan pembahasan, serta kesimpulan dan rekomendasi.

2. Tinjauan Literatur

2.1. Kajian Teori dan Literatur

Beberapa penelitian sebelumnya membahas penerapan metode Reliability Centered Maintenance (RCM) dan Reliability Centered Spares (RCS) untuk optimalisasi perawatan peralatan. [3] meneliti perawatan eskalator dengan RCM dan RCS, menghasilkan rekomendasi perawatan time directed (TD) pada beberapa komponen serta perhitungan kebutuhan suku cadang dan biayanya. Darmein (2023) menerapkan RCM pada gas turbin, menghasilkan strategi pemeliharaan seperti failure finding, redesign on conditioning, dan schedule discard task yang berhasil menurunkan biaya hingga 30,678%, serta mengurangi downtime dan tingkat kegagalan [4]. Tatas Dwi Atmaji & Agung Ngurah NUP (2018) meneliti kebijakan persediaan suku cadang mesin Jet Dyeing menggunakan RCS, menghasilkan jumlah kebutuhan persediaan tiap komponen kritis dalam setahun [2]. Sementara itu, Ulum (2023) menganalisis perawatan pompa sentrifugal dengan RCM, menemukan tiga komponen kritis dengan nilai keandalan serta perencanaan biaya perawatan masing-masing[5]. Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, penelitian ini berfokus pada perencanaan perawatan pompa sentrifugal menggunakan metode RCM dan RCS untuk menentukan komponen kritis, nilai keandalan, jadwal perawatan, dan kebijakan persediaan suku cadang. Selain itu untuk menunjang kegiatan penelitian, didasarkan pada kajian teori dan literatur sebagai berikut :

- **Pompa Sentrifugal**

Pompa adalah mesin fluida yang digunakan untuk memindahkan fluida melalui pipa, dan banyak digunakan di industri, termasuk industri perminyakan [6]. Pemilihan jenis pompa didasarkan pada sifat fluida, kebutuhan operasional, serta pertimbangan ekonomis dan jarak pemindahan [7]. Salah satu jenis yang umum digunakan adalah pompa sentrifugal, yaitu pompa dinamis yang mengubah energi mekanik dari putaran impeller menjadi energi fluida. Cara kerjanya, impeller yang terhubung ke motor melalui poros akan berputar, memutar fluida

di dalamnya sehingga tekanan dan kecepatannya meningkat, lalu dialirkan keluar melalui saluran volut dan nosel [7].

- **Perawatan dan jadwal perawatan**

Perawatan merupakan upaya menjaga kondisi mesin agar tetap optimal, dengan tujuan meminimalkan kerugian akibat kerusakan dan menekan biaya perbaikan [8]. Jenis-jenis perawatan meliputi: *preventive maintenance* (perawatan berkala dan penggantian terjadwal), *corrective maintenance* (perbaikan setelah terjadi kerusakan), *predictive maintenance* (berbasis data *real-time*), *condition based maintenance* (berdasarkan kondisi aktual mesin), *predetermined maintenance* (berdasarkan panduan pabrik), *autonomous maintenance* (perawatan dasar oleh operator), dan *overhaul* (perawatan menyeluruh dalam interval waktu tertentu) [9].

Kegiatan perawatan memerlukan beberapa persyaratan meliputi, penjadwalan perawatan, operator, task kegiatan perawatan, dll. Jadwal perawatan adalah rencana waktu dalam periode tertentu yang bertujuan untuk memastikan mesin dalam keadaan yang optimal untuk beroperasi. penentuan perawatan dapat berdasarkan jumlah jam atau siklus operasional mesin sejak perawatan atau penggantian komponen terakhir menjadi faktor utama dalam penentuan waktu perawatan berikutnya. Kegiatan perawatan dapat meliputi pemeriksaan secara visual terhadap mesin yang beroperasi, penggantian suku cadang, pelumasan, dll. Sistem penjadwalan perawatan mesin sangatlah penting bagi perusahaan untuk menekan biaya yang harus dikeluarkan [10].

- **Analisa Kerusakan**

Salah satu metode analisis penyebab kerusakan adalah Root Cause Analysis (RCA), yang bertujuan mengidentifikasi dan mengkategorikan akar masalah, salah satunya dengan metode fishbone diagram. Diagram ini membantu menemukan faktor penyebab utama secara sistematis [11] [12]. Selain itu, metode FMEA digunakan untuk menentukan komponen kritis, penyebab kerusakan, dan dampaknya. FMEA melibatkan analisis terhadap tiga parameter utama, yaitu Severity (S), Occurrence (O), dan Detection (D), yang membentuk Risk Priority Number (RPN) sebagai dasar penentuan prioritas penanganan [13]. RPN merupakan hasil dari tiga parameter tersebut, dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$RPN = S \times O \times D \quad (2.1)$$

- **RCM**

Sistem perawatan Reliability Centered Maintenance (RCM) berfungsi untuk menjaga keadaan mesin secara komprehensif. Tujuan utama dari RCM adalah untuk mempertahankan fungsi sistem dengan cara mengidentifikasi mode kegagalan (*failure mode*) dan memprioritaskan mode kegagalan kemudian memilih tindakan perawatan pencegahan yang efektif dan dapat diterapkan [14]

Menurut [1] terdapat tujuh tahapan pengolahan data menggunakan langkah-langkah RCM yang terdiri dari :

1. Pemilihan sistem dan pengumpulan informasi,
2. Definisi batasan sistem,
3. Deskripsi sistem dan functional block diagram,
4. Penentuan fungsi sistem dan kegagalan fungsional,
5. Failure mode and effect analysis (FMEA),
6. Logic tree analysis (LTA),
7. Task Selection

- **Keandalan & Distribusi Keandalan**

Keandalan adalah ukuran keberhasilan suatu mesin dalam beroperasi sesuai kondisi yang diharapkan dalam jangka waktu tertentu [15] . Keandalan dapat dihitung menggunakan dua parameter, yaitu Mean Time Between Failure (MTBF) sebagai rata-rata waktu antar kerusakan, dan Mean Time To Repair (MTTR) sebagai rata-rata waktu perbaikan. Rumus:

$$MTBF = \Sigma \text{Uptime} / n \quad (2.2)$$

$$MTTR = \Sigma \text{Waktu Perbaikan} / n \quad (2.3)$$

Distribusi digunakan untuk memperkirakan kemungkinan mesin tetap beroperasi hingga waktu tertentu serta menghitung siklus kerusakan [16]. Jenis-jenis distribusi meliputi:

1. Normal – digunakan untuk pola kegagalan *Increasing Failure Rate* (IFR).
2. Lognormal – cocok untuk *Decreasing Failure Rate* (DFR) dengan dua parameter: skala (s) dan median kerusakan (tmed).
3. Eksponensial – digunakan saat laju kerusakan konstan.
4. Weibull – paling umum dalam RCM karena fleksibel dalam menggambarkan berbagai pola laju kegagalan (*hazard rate*)

• Laju Kegagalan

Merupakan ukuran yang menunjukkan frekuensi terjadinya kegagalan pada suatu sistem, komponen, atau peralatan selama periode waktu tertentu. Secara matematis, laju kegagalan didefinisikan sebagai rasio antara total jumlah kegagalan dengan total waktu operasi [15]. Karakteristik kegagalan suatu komponen secara umum mengikuti pola bak mandi, yang ditandai dengan tiga wilayah sebagai berikut :

1. Burn-in period (awal): laju kegagalan menurun
2. Useful life (masa berguna): laju kegagalan konstan
3. Wear-out period (masa aus): laju kegagalan meningkat tajam seiring

Untuk mengetahui nilai keandalan pada suatu komponen yang telah mengalami perawatan, maka diperlukan sebuah persamaan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui mengukur keandalan dari titik waktu setelah tindakan pemeliharaan periodik terakhir (atau ke-n) hingga waktu t. Dijelaskan dengan persamaan rumus sebagai berikut :

$$R(t-nT) = \exp(-((t-nT)/\theta)^\beta) \quad (2.4)$$

Dimana :

- (t) = Total waktu operasi
- (n) = Total perawatan sampai T
- (T) = Interval perawatan
- (θ) = Scale parameter
- (β) = Shape Parameter

• RCS

Reliability Centered Spares (RCS) adalah suatu pendekatan untuk menentukan level *inventory spare part* berdasarkan *trough-life costing* dan kebutuhan peralatan operasi *maintenance* dalam mendukung *inventory* dengan mempertimbangkan beberapa aspek yaitu *equipment critical rating*, *Authorized Stock List (ASL)*, *preventive maintenance task*, *corrective maintenance* dan *data failure mode* [17]. RCS dapat berfungsi untuk memastikan ketersediaan suku cadang dalam melakukan *maintenance*, menentukan strategi *spare part*, dan jumlah *spare part* yang dibutuhkan dalam kurun waktu tertentu. Ditunjukkan pada persamaan di bawah ini :

$$F(t)=1-R(t) \quad (2.5)$$

$$\text{Expected fail}=F(t) \times n \quad (2.6)$$

Di mana:

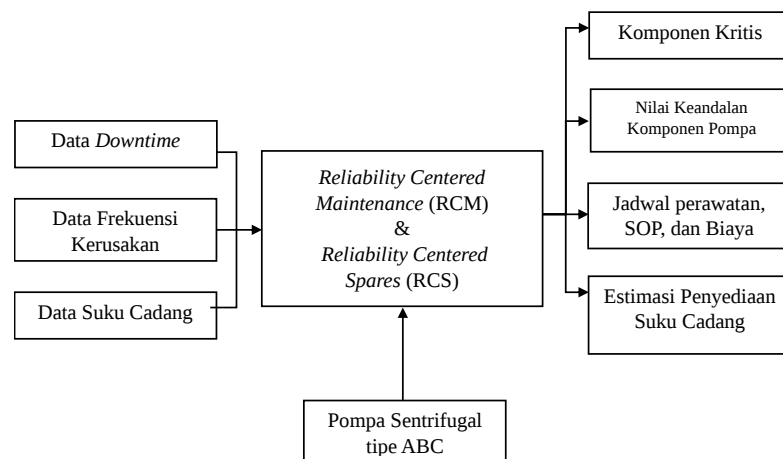
- F(t) = probabilitas kegagalan hingga waktu t (cumulative failure probability)
- R(t) = probabilitas bahwa komponen/ sistem masih berfungsi pada waktu t (reliability function)
- n = jumlah komponen

Selain itu, untuk memastikan ketersediaan suku cadang maka perlu ditambahkan *safety factor*. Dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Total spare part}=\text{Expected fail}+1 \quad (2.7)$$

2.2 Kerangka Konsep Penelitian

Kerangka konsep dari penelitian ini dapat dilihat gambar berikut :

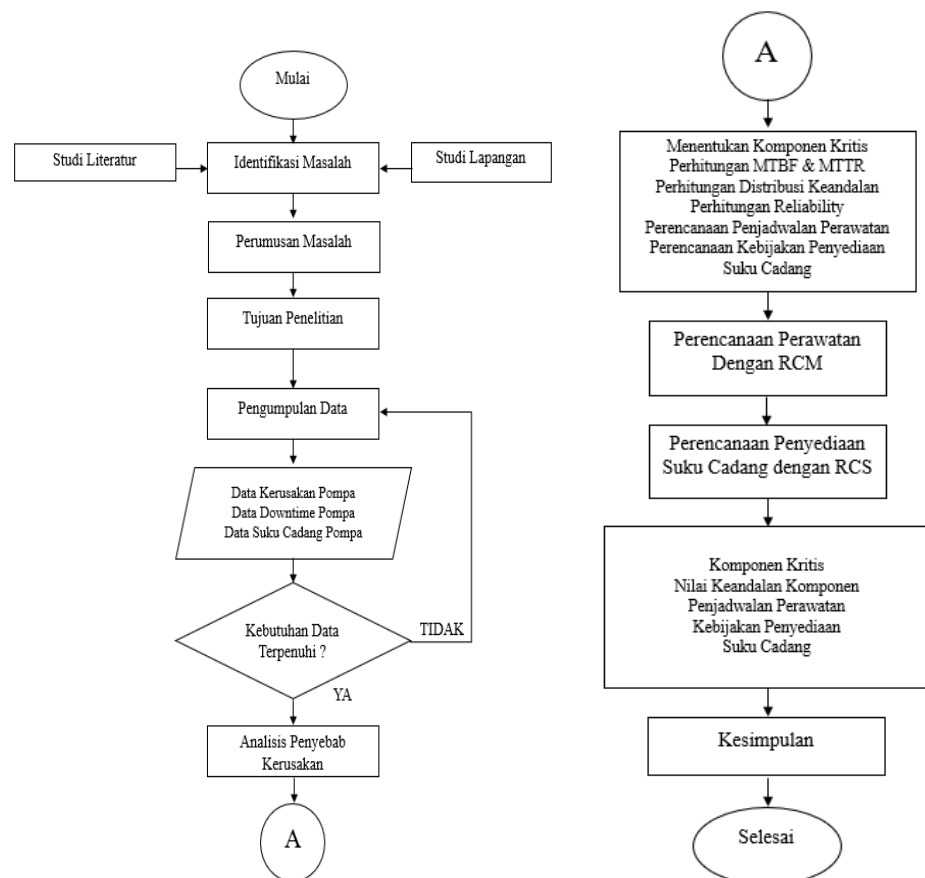


Gambar 1. Kerangka konsep penelitian

3. Metode Penelitian

3.1. Jenis Penelitian dan Diagram Alir Penelitian

Jenis penelitian ini termasuk dalam penelitian campuran (*mixed methode concurrent triangulation*) dengan menggunakan data kuantitatif dan kualitatif yang diolah secara bersamaan. Wawancara dan observasi dibutuhkan untuk melengkapi analisis data kualitatif, sedangkan untuk melengkapi data kuantitatif penelitian bersumber pada data operasi dan *downtime* pada pompa sentrifugal serta menggunakan metode RCM dan RCS. Alur Penelitian dapat dilihat pada diagram alir berikut.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3.2. Metode Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pada penelitian ini menggunakan teknik observasi dengan mengumpulkan data perusahaan dan wawancara beberapa karyawan yang akan diambil di dalam lingkungan perusahaan. Berikut merupakan data yang dibutuhkan dalam penelitian ini :

1. Data Kuantitatif
 - a. Data spesifikasi pompa sentrifugal
 - b. Data operasi pompa sentrifugal
 - c. Data perbaikan dan perawatan pompa sentrifugal
 - d. Data historis kegagalan pompa sentrifugal
 - e. Daftar komponen suku cadang
 - f. Data tingkat keausan dan umur suku cadang
 - g. Data keberlanjutan suku cadang
2. Data Kualitatif
 - a. Data fungsi pompa sentrifugal
 - b. Data kerusakan pompa sentrifugal
 - c. Data waktu perbaikan pompa sentrifugal
 - d. Data penyebab kerusakan pompa sentrifugal
 - e. Data efek kerusakan pompa sentrifugal

Dalam penelitian ini, pengolahan data dilakukan dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Reliability Centered Spares* (RCS). Pengolahan data bersumber dari pengisian form tabel FMEA yang dilakukan oleh beberapa pekerja di perusahaan. Proses pengolahan data yang diperoleh dibantu dengan software. Data yang diolah meliputi data kuantitatif dan data kualitatif.

1. Pengolahan data kuantitatif
 - a. Menentukan penyebab kegagalan dari komponen yang mengalami kegagalan pada pompa menggunakan metode Root Cause Analysis (RCA).
 - b. Menentukan komponen kritis menggunakan metode FMEA berdasarkan data kerusakan yang diperoleh.
 - c. Data downtime pompa sentrifugal yang didapat kemudian diolah dengan perhitungan Mean Time Between Failure (MTBF) & Mean Time To Repair (MTTR).
 - d. Menentukan pola distribusi yang sesuai dengan RCM.
 - e. Mencari nilai keandalan komponen pompa sentrifugal sesuai distribusi.
 - f. Menentukan jadwal perawatan pompa sentrifugal, dan SOP perawatan pompa sentrifugal yang akan berlaku.
 - g. Menentukan estimasi penyediaan suku cadang dengan Reliability Centered Spares (RCS).
 - h. Menentukan perencanaan biaya perawatan pompa sentrifugal.

2. Pengolahan data kualitatif

Dilakukan dengan wawancara dengan beberapa karyawan perusahaan, baik secara langsung maupun tidak langsung terkait dengan sumber data penelitian. Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk mendapatkan informasi tambahan terkait penelitian yang dilakukan.

4. Hasil dan Pembahasan

Dari pengolahan data penelitian yang telah dilakukan didapatkan sebagai berikut :

4.1 . Data Downtime

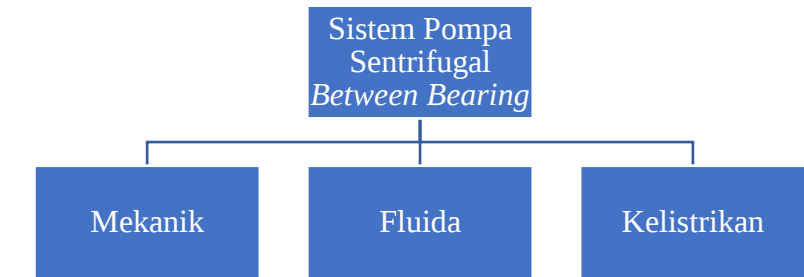
Years	Total Working Time (Hours)	Downtime (Hours)
2019	4.344	346
2020	4.344	1.076
2021	4.344	1.821
2022	4.344	584
2023	4.344	527

Dari perhitungan tersebut didapatkan bahwa persentase kerusakan paling besar terjadi pada tahun 2021 dengan nilai 41,92 %. Hal ini menunjukkan bahwa dalam periode 2019 – 2024 telah terjadi *downtime* yang tinggi hingga hampir setengah dari waktu pompa optimal

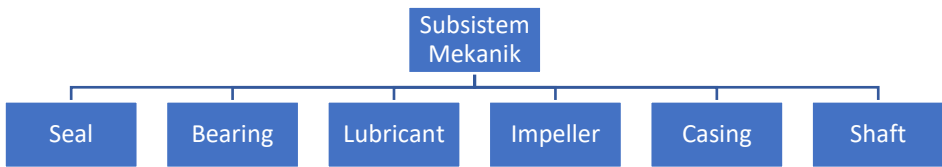
untuk beroperasi. Dengan tingginya persentase *downtime* tersebut, dapat mengakibatkan terjadinya gangguan pada produksi.

4.2 Reliability Centered Maintenance

Pemilihan sistem dan pengumpulan informasi



Definisi batasan sistem



Deskripsi sistem dan functional block diagram

Sistem Pompa Sentrifugal	
Tanggal : Januari 2019 – Desember 2024	
Nama Sistem	: Pompa Sentrifugal
Lokasi Sistem	: <i>Prefractionation Unit</i>
Functional Description	Pompa dengan fungsi sebagai <i>condensate splitter bottom pump</i> , yaitu pompa dengan fungsi untuk mengalirkan fasa berat (<i>heavy naphtha</i>) dari proses pada kolom distilasi menuju unit <i>naphtha hydrotreating</i> .
Key Parameter	Merencanakan jadwal dan prosedur perawatan yang tepat untuk meminimalisir terjadinya <i>failure</i> yang berimbas pada terganggunya proses produksi.
Key Equipment	Komponen – komponen kritis yang terdapat dalam pompa sentrifugal <i>between bearing</i> .
Redundancy Failures	Kegagalan yang terjadi pada komponen – komponen pompa.
Safety Features	Menjaga pompa sentrifugal agar beroperasi secara optimal.



Penentuan fungsi sistem dan kegagalan fungsional

Fungsi Subsystem	Part	Uraian Fungsi	Kegagalan fungsi
Seal	Mechanical seal	Mencegah kebocoran fluida sistem dalam poros yang berputar agar tidak keluar ke atmosfer	Terjadi aus, retak pada permukaan contact face, mengakibatkan kegagalan sistem seal yang berimbas pada kebocoran fluida ke atmosfer
Bearing	Bearing	Untuk menahan (constrain) posisi rotor (poros) relatif terhadap stator sesuai dengan jenis bearing yang digunakan.	Terjadi keausan pada ball bearing, mengakibatkan kerusakan pada poros, kerusakan komponen lain akibat vibrasi, dan perputaran pompa terganggu.
Lubricant	Lube oil bearing housing	Untuk menjaga temperatur, mengurangi gesekan antar komponen dengan menjadi lapisan film.	Terjadi kontaminasi dari partikel <i>internal part</i> maupun dari <i>external part</i> pompa, viskositas berubah akibat kontaminasi maupun melebihi <i>running hours</i> .
Impeller	Blade impeller	Untuk menghasilkan gaya suction dan discharge pressure pada fluida yang	Terjadi kavitasi dan korosi, mengakibatkan penurunan performa dan efisiensi pada pompa, menimbulkan suara dan getaran berlebih pada pompa.

Fishbone Diagram

Dari hasil analisis kerusakan menggunakan metode fishbone didapatkan hasil sebagai berikut :

Komponen	Penyebab Kegagalan Utama
Mechanical Seal	Kavitasi
Bearing	Wear & tear
Lube oil	Kontaminasi
Impeller	Kontaminasi & kavitasi
Casing	Lingkungan
Shaft	Kavitasi

Failure mode and effect analysis (FMEA)

Failure Mode And Effect Analysis Table										
Sistem	Subsistem	Komponen	Mode Kegagalan	Dampak Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Tindakan Rekomendasi	Skor			
							S	O	D	RPN
Between Bearing Centrifugal Pump	Seal	Mechanical Seal	Terjadi kebocoran (leakage)	Kebocoran fluida ke atmosfer	Aus, Kavitasi, Temperatur, Korosi, Ketidaksesuaian material	Pemeriksaan vibrasi	9	7	5	315
	Bearing	Bearing	Bearing goyang, backlash	Macet, Vibrasi	Kavitasi, Lifetime, Pelumasan, Kontaminasi	Pelumasan berkala, Pemeriksaan kondisi pelumas, pemeriksaan vibrasi	8	6	5	240
	Lube Oil	Oli Bearing housing	Oli tidak dapat melumasi dengan sempurna	Bearing kurang pelumas, temperature bearing meningkat, bearing aus	Oli terkontaminasi internal part maupun external part, melebihi running hours / time hours	Pemeriksaan kondisi pelumas	5	7	4	140

Failure Mode And Effect Analysis Table

Sistem	Subsistem	Komponen	Mode Kegagalan	Dampak Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Tindakan	Skor			
							S	O	D	RPN
Between Bearing Centrifugal Pump	Impeller	Vane & Shroud	Pitting dan Cavitation Erosion	Kerusakan fisik impeller, Vibrasi, Korosi, Efisiensi turun	Kavitasi, Kontaminasi Fluida Service	Pemeriksaan Vibrasi	6	3	5	90
	Casing	Casing dan Volute	Korosi	Efisiensi pompa turun, Kerusakan komponen internal, Kegagalan struktur pompa	Kondisi Lingkungan, Fluida servis korosif	Repaint	6	3	5	90
	Shaft	Shaft	Shaft mengalami Bending, Crack, Aus	Vibrasi, kerusakan internal part pompa, pompa tidak dapat beroperasi	Misaalignment, tidak sesuai spesifikasi, kavitasi, fatigue, kegagalan pelumas	Pemeriksaan vibrasi	7	3	5	115

Berdasarkan hasil RPN yang diperoleh melalui FMEA lalu digunakan diagram Pareto, komponen paling kritis pada pompa sentrifugal between bearing secara berurutan adalah: *mechanical seal, bearing, lube oil, impeller, shaft*, dan *casing*. Dengan mengacu pada prinsip Pareto 80%, fokus perbaikan diarahkan pada komponen penyumbang kegagalan terbesar, yaitu *mechanical seal, bearing, lube oil*, dan *impeller*.

Logic tree analysis (LTA)

Hasil dari logic tree analysis dari komponen – komponen yang mengalami kegagalan dapat disimpulkan sebagai berikut :

No.	Komponen	Evident	Safety	Outage	Category
1.	Mechanical seal	Ya	Ya	Ya	A
2.	Bearing	Ya	Tidak	Ya	B
3.	Lube Oil	Ya	Tidak	Ya	B
4.	Impeller	Ya	Tidak	Ya	B

Keterangan :

Category A : high / preventive maintenance.

Category B : high – medium / preventive maintenance.

Task Selection

Pemilihan task selection untuk setiap komponen dapat disimpulkan pada tabel berikut :

No.	Kegagalan	Selection Guide							Selection
		1	2	3	4	5	6	7	Task
1	Mechanical Seal	Ya	Ya	Ya	Tidak	-	Ya	-	TD & CD
2	Bearing	Ya	Ya	Ya	Tidak	-	Ya	-	TD & CD
3	Lube oil	Ya	Ya	Ya	Tidak	-	Ya	-	TD & CD
4	Impeller	Tidak	-	Ya	Tidak	Ya	Ya	-	CD

Keterangan :

TD : Time Directed

CD : Condition Directed

4.3 Perhitungan Nilai Keandalan

Perhitungan nilai keandalan menggunakan pola distribusi weibull yang dinilai relevan pada metode RCM. Dengan langkah- langkah sebagai berikut :

Perhitungan MTBF dan MTTR

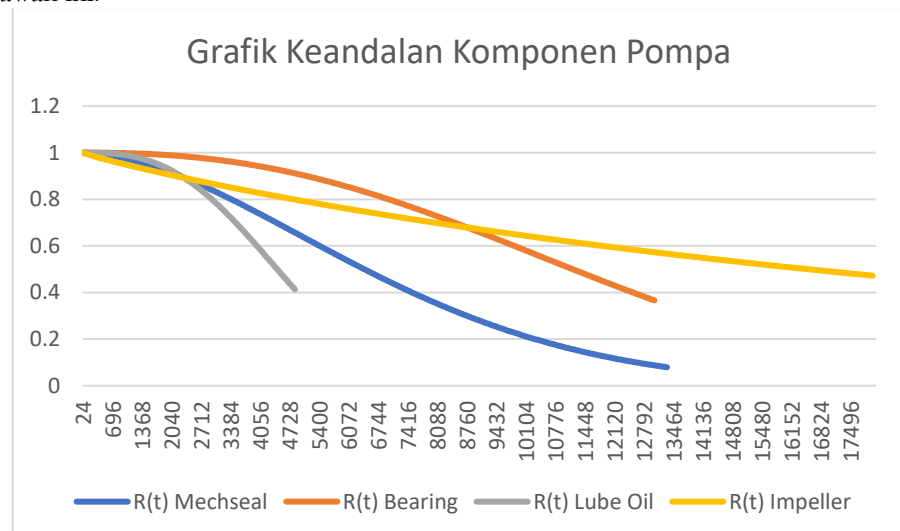
Komponen	MTBF (jam)	MTTR (jam)
Mechanical Seal	3.258	275,5
Bearing	6.516	110,25
Lube Oil	2.369,5	8,4
Impeller	8.688	173,6

Hasil perhitungan weibull

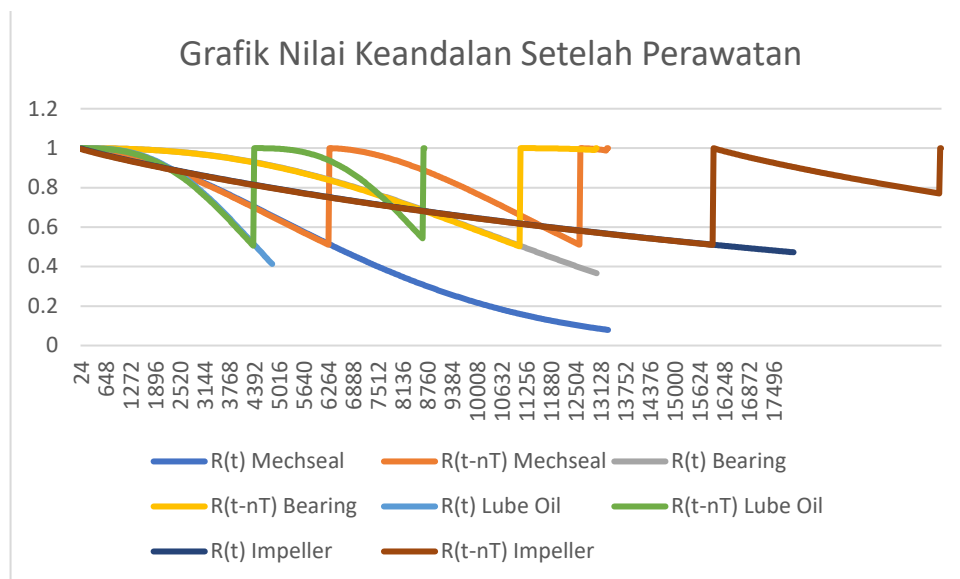
Komponen	Scale Parameter	Shape Parameter
Mechanical Seal	7893,82	1,77953
Bearing	13007,8	2,40742
Lube Oil	5068,95	2,7811
Impeller	24.628,10	0,918585

Perhitungan nilai keandalan

Dari hasil perhitungan keandalan , maka didapatkan hasil yang digambarkan pada grafik di bawah ini:



Nilai keandalan komponen kritis akan menurun, seiring dengan bertambahnya jam operasi. Sesuai dengan perhitungan, maka ditetapkan waktu perawatan ketika nilai keandalan sudah mencapai 0,5. Nilai keandalan akan bertambah ketika perawatan telah dilakukan, dapat dilihat pada grafik berikut ini.



4.4 Penjadwalan Perawatan

Sesuai dengan perhitungan nilai keandalan, maka hasil yang diperoleh adalah interval waktu pada masing – masing komponen pada saat nilai keandalan mencapai 0,5 sebagai berikut :

- Mechanical Seal : 6.336 jam
- Bearing : 11.160 jam
- Lube Oil : 4.440 jam
- Impeller : 16.032 jam

Maka, jadwal perawatan yang berbasis pada nilai keandalan masing masing komponen adalah sebagai berikut .

Nama Komponen	Interval perawatan						
	Small Inspection	Minor maintenance	Major Maintenance	Replace	Repair	Overhaul	
Mechanical seal	2 minggu	3 bulan	6 bulan	6.336 jam		2 Tahun	
Bearing	2 minggu	3 bulan	6 bulan	11.160 jam		2 Tahun	
Lube Oil	2 minggu	3 bulan	6 bulan	4.440 jam		2 Tahun	
Impeller	2 minggu	3 bulan	6 bulan	16.032 jam		2 Tahun	

4.5 SOP Perawatan

Untuk mempermudah operator/ mekanik dalam melakukan perawatan maka diperlukan SOP untuk memberikan langkah – langkah terkait dengan perawatan pompa. SOP ini dilakukan berdasarkan interval waktu yang telah dibuat, pemilihan langkah – langkah ini didasarkan pada standar – standar yang berhubungan dengan komponen maupun pompa.

4.6 Reliability Centered Spares

Berdasarkan perhitungan keandalan dan $F(t)$ pada masing masing komponen, didapatkan estimasi kebutuhan untuk dua tahun adalah sebagai berikut.

Komponen	Spare Stock
Mechanical Seal	3 unit
Bearing	3 unit
Lube Oil	1 drum 200L
Impeller	2 unit

4.7 Estimasi Biaya perawatan

Perhitungan biaya didasarkan pada periode perawatan selama dua tahun. Dengan perhitungan sebagai berikut.

Gaji Operator

Jenis perawatan	frekuensi	Waktu (jam)	Gaji pekerja/ jam	Total
<i>Small Inspection</i>	23	2	Rp19.570,00	Rp900.220,00
<i>Minor Maintenance</i>	4	2	Rp19.570,00	Rp156.560,00
<i>Major Maintenance</i>	2	3	Rp19.570,00	Rp117.420,00
Overhaul	1	48	Rp19.570,00	Rp939.360,00
Penggantian <i>mechseal</i>	2	10	Rp19.570,00	Rp391.400,00
Penggantian <i>bearing</i>	1	12	Rp19.570,00	Rp234.840,00
Penggantian <i>lube oil</i>	3	3	Rp19.570,00	Rp176.130,00
Penggantian <i>impeller</i>	1	16	Rp19.570,00	Rp313.120,00
SubTotal				Rp3.229.050,00

Biaya Komponen

Komponen	Harga	Jumlah	Total
<i>Mechanical Seal</i>	Rp10.015.454,00	2	Rp20.030.908,00
<i>Bearing</i>	Rp7.654.324,00	2	Rp15.308.648,00
<i>Lube Oil</i>	Rp6.500.000,00	1	Rp6.500.000,00
<i>Impeller</i>	Rp20.000.000,00	1	Rp20.000.000,00
TOTAL			Rp61.839.556,00

Total Biaya Perawatan

Rincian	Biaya
Gaji pekerja	Rp3.229.050,00
Penggantian komponen	Rp61.839.556,00
TOTAL	Rp 65.068.606,00

5. Perbandingan

Pada penelitian ini memiliki pengolahan data yang lebih kompleks dan terperinci. Dengan menggunakan dua metode pengolahan data, yakni RCM dan RCM dengan objek penelitian berupa pompa sentrifugal, maka ini merupakan pembeda dan dapat dijadikan perbandingan dengan penelitian – penelitian sebelumnya.

6. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengumpulan, pengolahan, analisis, dan pembahasan data, penelitian ini menyimpulkan bahwa dari enam komponen utama pada pompa sentrifugal tipe *between bearing*, empat komponen teridentifikasi sebagai komponen kritis melalui analisis FMEA dan diagram pareto, yakni mechanical seal, bearing, lube oil, dan impeller. Analisis keandalan menggunakan distribusi Weibull menunjukkan nilai keandalan masing-masing komponen turun hingga 50% pada jam operasi tertentu, yaitu mechanical seal pada 6.336 jam, bearing pada 11.160 jam, lube oil pada 4.440 jam, dan impeller pada 16.032 jam. Berdasarkan hasil tersebut, interval perawatan disusun menggunakan pendekatan time-directed dengan tahapan meliputi perawatan rutin setiap 336 jam, inspeksi tiga bulanan setiap 2.160 jam, inspeksi enam bulanan setiap 4.320 jam, serta overhaul setiap dua tahun, disertai penggantian komponen berdasarkan jam operasi masing-masing. Estimasi biaya perawatan selama dua tahun sebesar Rp65.068.606,00 diperoleh dari perhitungan kebutuhan komponen dan biaya tenaga kerja. Selain itu, estimasi penyediaan suku cadang menggunakan metode Reliability Centered Spares (RCS) memperkirakan kebutuhan komponen selama dua tahun, termasuk safety stock, yaitu tiga unit mechanical seal, tiga unit bearing, satu drum (100 L) lube oil, dan dua unit impeller. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar metode RCM diterapkan secara menyeluruh dan langsung pada lingkungan industri guna menghasilkan rekomendasi yang aplikatif, serta metode RCS dianalisis secara lebih rinci untuk mendukung perencanaan kebutuhan suku cadang secara optimal.

Referensi

- [1] S. Supriyadi, R. M. Jannah, and R. Syarifuddin, “Perencanaan Pemeliharaan Mesin Centrifugal Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance Pada Perusahaan Gula Rafinasi,” *JISI: JURNAL INTEGRASI SISTEM INDUSTRI*, vol. 5, no. 2, 2018, doi: 10.24853/jisi.5.2.139-147.
- [2] F. Tatas Dwi Atmaji and A. Agung Ngurah NUP, “Kebijakan Persediaan Suku Cadang Di PT. ABC Menggunakan Metode RCS (Reliability Centered Spares),” 2018, [Online]. Available: <http://jurnal.poltekapp.ac.id/>
- [3] F. Gustian and A. E. Nurhidayat, “Optimalisasi Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) dan Reliability Centered Spares (RCS),” *Jurnal Indonesia Sosial Sains*, vol. 3, no. 09, pp. 1249–1262, Sep. 2022, doi: 10.36418/jiss.v3i09.696.

- [4] Darmein, Marzuki, Zuhaimi, Fauzi, Nurlaili, and Luthfi, "Gas turbine maintenance optimizing using the reliability-centered maintenance method," vol. 21, no. 1, pp. 2023–2025, 2023, [Online]. Available: <http://ejurnal.pnl.ac.id/polimesin>
- [5] M. B. Ulum, "Analisis Perawatan Mesin Pompa Sentrifugal Tipe KPS 35-350 Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM)," Politeknik Negeri Malang, Malang, 2023.
- [6] S. Hariady, "Analisa Kerusakan Pompa Sentrifugal 53-101C WTU Sungai Gerong PT. Pertamina RU III Plaju," 2014.
- [7] M. A. Siregar and W. S. Damanik, "Pengaruh Variasi Sudut Keluar Impeler Terhadap Performance Pompa Sentrifugal," *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, vol. 3, no. 2, pp. 166–174, Sep. 2020, doi: 10.30596/rmme.v3i2.5278.
- [8] Y. Daeng Polewangi, "Analisis Sistem Perawatan Mesin Boiler pada Industri Kelapa Sawit," *Industrial Engineering Journal*, vol. 8, no. 2, 2019.
- [9] Cut Zahri, Alfirah, and Anindya Chaniago, "Pengaruh Peningkatan Maintenance dan Cycle Time Produksi Terhadap Kelancaran Produksi Pada PT. Industri Pembungkus Internasional Medan," vol. 16, pp. 104–116, Apr. 2022.
- [10] J. Mulyono, D. Endah Setyo Rahaju, and Y. S. Siagian, "Penetapan Jadwal Perawatan Mesin Speed Master Cd Di Pt. Dharma Anugerah Indah (Dai)," 2019.
- [11] S. Nur and I. Isranuri, "Analisa Keandalan Mesin Screw Press Berdasarkan Identifikasi Kegagalan Failure Mode And Effect Analysis Dan Root Cause Analysis," *Jurnal Dinamis*, vol. 9, no. 2, pp. 12–21, 2021, [Online]. Available: <https://talenta.usu.ac.id/dinamis>
- [12] Malabay, "Pemanfaatan Diagram Fishbone Untuk Mendukung Kebutuhan Proses Bisnis," 2016.
- [13] M. I. Pasaribu, D. A. A. Ritonga, and A. Irwan, "Analisis Perawatan (Maintenance) Mesin Screw Press Di Pabrik Kelapa Sawit Dengan Metode Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) Di PT. XYZ," *JITEKH*, vol. 9, no. 2, pp. 104–110, 2021.
- [14] F. A. Basanta, J. Alhilman, and A. Musnansyah, "Perancangan Aplikasi Analisis RCM (Reliability Centered Maintenance) Dan RCS (Reliability Centered Spares) Dalam Menentukan Kebijakan Maintenance Dan Persediaan Spare Part Application Design Of RCM (Reliability Centered Maintenance) And RCS (Reliability Centered Spares) Analysis For Determining Maintenance And Spare Part," vol. 4, no. 2, p. 2867, 2017.
- [15] Agustinus Dwi Susanto, "Kajian Peningkatan Keandalan Mesin Boiler Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance Pada Industri Manufacture Shock Absorber di Cikarang," 2017.
- [16] K. Nisak, E. Nursanti, and T. Priyasmanu, "Analisis Tingkat Keandalan Dan Penentuan Interval Waktu Pemeliharaan Mesin Pompa Air Di Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang," *Jurnal Mahasiswa Teknik Industri*, vol. 5, no. 2, 2022.
- [17] N. W. Ningsih, Y. Mafendro, and Y. D. Utomo, "Optimalisasi Spare Part Dengan Metode Reliability Centered Spare Pada Electric Motor Lean Amine G1-GM-1A dan G1-GM-1B di PT Badak NGL," 2024. [Online]. Available: <http://prosiding.pnj.ac.id>