

ANALISIS PERFORMANSI DAN BIAYA PERAWATAN MESIN MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY, AVAILABILITY, AND MAINTAINABILITY (RAM)* DAN *COST OF UNRELIABILITY (COUR)* PADA MESIN LEAN CARBONATE CIRCULATION PUMP DI PT. XYZ

PERFORMANCE AND MAINTENANCE COST ANALYSIS USING RELIABILITY, AVAILABILITY, AND MAINTAINABILITY (RAM) AND COST OF UNRELIABILITY (COUR) METHODS ON LEAN CARBONATE CIRCULATION PUMP MACHINE AT PT. XYZ

Hasyim Ifnu Akbari¹, Judi Alhilman², Aji Pamoso³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom

¹hasyimakbar@student.telkomuniversity.ac.id, ²judi.alhilman@telkomuniversity.ac.id,

³ajipamoso@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

PT. XYZ merupakan perusahaan yang bergerak dibidang petrokimia terbesar di Jawa Barat. Dalam produksinya perusahaan mengolah bahan-bahan mentah tertentu yang diperlukan dalam pembuatan pupuk, terutama pupuk urea dan bahan kimia lainnya. Pabrik dari PT. XYZ terdiri dari dua unit, yaitu unit Ammonia dan unit Urea. Masalah yang dihadapi perusahaan ini adalah seringnya terjadi kerusakan pada mesin Lean Carbonate Circulation Pump yang terdapat pada unit Ammonia 1A sehingga mengakibatkan *downtime*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui performansi mesin dan biaya yang diakibatkan dari ketidakandalan mesin. Metode yang digunakan adalah *Reliability, Availability, Maintainability*, dan *Cost of Unreliability*. Dari hasil *risk matrix*, diketahui bahwa sistem yang masuk dalam kategori kritis adalah sistem *pump*, sedangkan subsistem didalamnya yang masuk kategori kritis adalah *pump impeller + shaft, bearing*, dan *mechseal* sehingga penelitian akan berfokus pada ketiga subsistem tersebut. Kemudian dari perhitungan RAM, didapatkan hasil dari *Reliability Analysis* pada waktu 4800 jam, masing-masing subsistem memiliki nilai *Reliability* 15% untuk *pump impeller+shaft*, 9% untuk *bearing*, dan 40% *mechseal*. Nilai *Inherent Availability* setiap subsistem adalah 99,93%, 99,88% dan 99,98% dan nilai *Operational Availability* masing-masing subsistem adalah 99,87%, 99,91%, dan 99,94%. Berdasarkan pada evaluasi yang telah dilakukan dengan menggunakan *World Class Maintenance Key Performance Indicator*, indikator dari *leading indicator* dan *lagging indicator* sudah mencapai target *indicator* yang diberikan. Untuk perhitungan nilai *Maintainability* didapatkan waktu subsistem mengembalikan *reliability* 100% adalah $t = 4$ jam untuk subsistem *pump impeller+shaft* dan *bearing* dengan nilai *maintainability* sebesar 86%, sedangkan subsistem *mechseal* memerlukan waktu $t = 2$ jam dengan nilai *maintainability* 82%. Sedangkan dari hasil perhitungan COUR, diperoleh nilai *corrective money lost* sebesar Rp 2.495.796.903 dan *downtime money lost* sebesar Rp 37.787.305.381. Kemudian dilakukan penilaian konsekuensi bisnis menggunakan *business risk matrix* yang menunjukkan ketiga subsistem kritis masuk kedalam area merah menandakan bahwa konsekuensi bisnis yang diakibatkan oleh ketidakandalan dari ketiga subsistem tersebut sangat beresiko pada perusahaan sehingga perlu mendapat perhatian dan dilakukan tindakan lebih lanjut untuk mencegah terjadinya konsekuensi yang lebih tinggi. Sedangkan dari hasil perhitungan COUR, diperoleh nilai *corrective money lost* sebesar Rp 2.495.796.903 dan *downtime money lost* sebesar Rp 37.787.305.381. Kemudian dilakukan penilaian konsekuensi bisnis menggunakan *business risk matrix* yang menunjukkan ketiga subsistem kritis masuk kedalam area merah menandakan bahwa konsekuensi bisnis yang diakibatkan oleh ketidakandalan dari ketiga subsistem tersebut sangat beresiko pada perusahaan sehingga perlu mendapat perhatian dan dilakukan tindakan lebih lanjut untuk mencegah terjadinya konsekuensi yang lebih tinggi.

Kata kunci: *Reliability, Availability, Maintainability, Cost of Unreliability, World Class Key Performance Indicator, Reliability Block Diagram, Business Consequence.*

Abstract

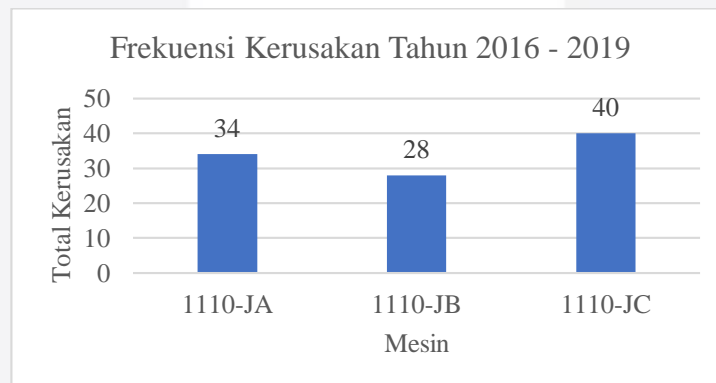
PT. XYZ is one of the biggest petrochemical in West Java. In its production the company processes certain raw materials needed in the manufacture of fertilizers, especially urea fertilizer. The factory of PT. XYZ consists of two units, the Ammonia unit and the Urea unit. The problem faced by this company is the frequent damage to the Lean Carbonate Circulation Pump engine contained in the Ammonia 1A unit, resulting in a lot of downtime. The purpose of this study is to determine the performance of the engine and costs of unreliability, using *Reliability, Availability, Maintainability*, and *Cost of Unreliability* methods. From the results of the risk matrix, it is known that the system

included in the critical category is the pump system, while the subsystems included in the critical category are the pump impeller + shaft, bearing, and mechseal so the research will focus on the three subsystems. Then from RAM calculation, the result of Reliability Analysis at 4800 hours, each subsystem has a Reliability value of 15% for pump impeller + shaft, 9% for bearings, and 40% mechseal. The Inherent Availability Value of each subsystem is 99.93%, 99.88% and 99.98% and the Operational Availability value of each subsystem is 99.87%, 99.91%, and 99.94%. Based on the evaluation that has been done by using the world class maintenance Key Performance Indicator, indicators from the leading and lagging availability have reached the given indicator target. For the calculation of Maintainability value, it is obtained that the subsystem time reaches 100% reliability value is $t = 4$ hours for pump impeller + shaft and bearing subsystems, while the mechseal subsystem requires time $t = 2$ hours. While from the COUR calculation results, the corrective money lost value was Rp 2,495,796,903 and the downtime money lost was Rp 37,787,305,381. Then an assessment of business consequences using a business risk matrix which shows the three critical subsystems entered into the red area indicates that the business consequences caused by the unreliability of the three subsystems are very risky to the company so that it needs attention and further action is taken to prevent higher consequences.

Keywords: Reliability, Availability, Maintainability, Cost of Unreliability, World Class Key Performance Indicator, Reliability Block Diagram, Business Consequence.

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara agraris yang berarti sebagian besar penduduknya bermata pencaharian pada sektor pertanian. Berdasarkan data yang dirilis oleh Kementerian Pertanian (Kementan) pada tahun 2018, luas lahan baku sawah di Indonesia tercatat sekitar 7,1 juta hektare. Berbanding lurus dengan besarnya jumlah petani dan lahan pertanian maupun perkebunan di Indonesia, kebutuhan pupuk juga sangat besar. Dikarenakan demand atau kebutuhan yang sangat besar ini, banyak perusahaan yang mulai memproduksi pupuk buatan (anorganik) yang berasal dari bahan kimia seperti pupuk urea, NPK, dan lain sebagainya. PT. XYZ merupakan perusahaan yang bergerak dibidang petrokimia terbesar di Jawa Barat. Dalam produksinya perusahaan mengolah bahan-bahan mentah tertentu yang diperlukan dalam pembuatan pupuk, terutama pupuk urea dan bahan kimia lainnya. Pabrik dari PT. XYZ terdiri dari dua unit, yaitu unit Ammonia dan unit Urea. Masalah yang dihadapi perusahaan ini adalah seringnya terjadi kerusakan pada mesin Lean Carbonate Circulation Pump yang terdapat pada unit Ammonia 1A sehingga mengakibatkan *downtime*. Pada plant Ammonia 1A terdapat tiga mesin Lean Carbonate Circulation Pump dengan tipe yang sama dan berjalan bersamaan yaitu 1110-JA, 1110-JB, dan 1110-JC. Berikut merupakan frekuensi kerusakan dari ketiga mesin yang digambarkan pada Gambar 1 sebagai tersebut.



Gambar 1 Frekuensi Kerusakan Mesin Lean Carbonate Circulation Pump Tahun 2016-2019

Berdasarkan Gambar 1, mesin yang memiliki frekuensi kerusakan tertinggi adalah mesin Lean Carbonate Circulation Pump 1110-JC dengan jumlah kerusakan 40 kali dalam kurun waktu tahun 2016-2019 sehingga penelitian ini akan berfokus pada mesin tersebut. Kemudian dilakukan penilaian performansi pada subsistem mesin menggunakan metode *Reliability, Availability, Maintainability* (RAM), dan perhitungan biaya ketidakandalan menggunakan metode *Cost of Unreliability* (COUR). *Cost of Unreliability* digunakan untuk menghitung kerugian finansial yang disebabkan oleh kegagalan dari mesin dan perhitungan yang dilakukan berdasarkan *downtime* mesin dan biaya yang terkait dengan unreliability [1]. Kemudian dilakukan penilaian *business consequence* menggunakan *business risk matrix*.

2. Dasar Teori dan Metodologi Penelitian

2.1. Manajemen Perawatan

Menurut [2], perawatan didefinisikan sebagai suatu aktivitas untuk menjaga komponen/sistem yang rusak atau akan mengalami kerusakan yang akan dikembalikan/diperbaiki dalam suatu kondisi tertentu pada periode tertentu.

2.1.1. Preventive Maintenance

Preventive Maintenance adalah bagaimana cara untuk menunjukkan suatu tingkat dengan keadaan hasil yang menunjukkan gejala kerusakan pada suatu alat atau mesin yang mengalami kerusakan cukup parah. [3]

2.1.2. Corrective Maintenance

Corrective Maintenance adalah pemeliharaan mesin pada interval waktu yang telah ditentukan sesuai dengan fungsi serta kriteria yang telah ditentukan untuk mengurangi probabilitas kegagalan suatu alat maupun fungsi dari alat tersebut dan memastikan semua perbaikan harus terverifikasi sebelum mesin atau sistem dikembalikan sesuai dengan fungsinya. [3]

2.2. Reliability, Availability, and Maintainability

Reliability, Availability, and Maintainability Analysis merupakan metode yang digunakan untuk memprediksi kinerja keandalan (*reliability*), ketersediaan (*availability*) dan kemampuan perawatan (*maintainability*) dari suatu sistem atau komponen dan sebagai alat untuk memberikan pedoman untuk optimasi dari sistem atau komponen tersebut. [4]

A. Reliability

Reliability diartikan sebagai peluang suatu komponen atau sistem dapat memenuhi fungsi yang dibutuhkan dalam periode waktu yang diberikan. Dengan kata lain keandalan berarti peluang tidak terjadi kegagalan selama beroperasi. Nilai keandalan dari suatu komponen atau sistem dinyatakan dalam bentuk probabilitas/peluang, dengan nilai R (*Reliability*) antara 0-1. Keandalan dari sebuah komponen dapat menurun sesuai dengan bertambahnya waktu. Berikut merupakan beberapa distribusi dalam fungsi keandalan:

1. Distribusi Eksponensial

$$R(T) = e^{-\lambda T}$$

2. Distribusi Normal

$$R(T) = \int_T^{\infty} \frac{1}{\sigma T \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{T-T}{\sigma T} \right)^2}$$

3. Distribusi Weibull

$$R(T) = e^{-\left(\frac{T-\gamma}{\eta} \right)^\beta}$$

B. Availability

Availability dapat didefinisikan sebagai probabilitas suatu sistem beroperasi sesuai fungsinya dalam suatu waktu tertentu dalam kondisi operasi yang telah ditetapkan. Perhitungan *availability* terbagi menjadi dua sebagai berikut:

1. Inherent Availability (Ai)

Inherent availability adalah ukuran kesiapan suatu sistem saat dievaluasi dalam kondisi lingkungan yang ideal [2].

$$A_i = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

2. Operational Availability (Ao)

Operational availability adalah ukuran *availability* sistem yang mempertimbangkan seluruh jenis *downtime*, seperti *downtime* yang diakibatkan logistic, administrasi, *delay*, *corrective* dan *preventive maintenance* [2].

$$A_o = \frac{\text{Uptime}}{\text{Siklus Operasi}} = \frac{\text{Operational Time} - DT}{\text{Operational Time}}$$

C. Maintainability

Menurut [2], *maintainability* merupakan peluang suatu sistem atau komponen yang rusak untuk dikembalikan pada kondisi kerja penuh dalam suatu periode waktu yang telah ditentukan dan dengan prosedur *maintenance* tertentu.

$$M(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t}{MTTR}\right)$$

2.3. Cost of Unreliability

Cost of Unreliability (COUR) merupakan biaya keseluruhan yang dihasilkan dari semua keadaan yang disebabkan oleh kegagalan sistem terkait dengan kendalan. Biaya ini mencakup biaya langsung atau *direct cost* dan biaya tidak langsung atau *indirect cost* [5]. Perhitungan *Cost of Unreliability* dapat dilakukan dalam beberapa tahapan seperti sebagai berikut:

1. Perhitungan Failure Rate

Perhitungan *failure rate* mesin dengan menggunakan data yang diperoleh dari kerusakan mesin. Perhitungan *failure rate* dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Failure Rate} = 1/\text{MTTF}$$

2. Perhitungan *Time Lost*

Perhitungan *time lost* yang disebabkan oleh waktu *repair* dan *downtime* mesin.

Perhitungan *time lost* dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Corrective Lost Time/years} = \text{Corrective Time/failure (MTTR)} \times \text{Number of Failure}$$

$$\text{Downtime Lost Time/years} = \text{Downtime/failure (MDT)} \times \text{Number of Failure}$$

3. Perhitungan *Money Lost*

Perhitungan *Money Lost* pada *corrective* dan *downtime* yang akan terjadi dikarenakan ketidak andalan dari mesin. Perhitungan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Corrective/Downtime COUR} = \text{LPC} + \text{EC} + \text{LC}$$

Dengan $\text{LPC} = \text{Lost Production Cost}$

Biaya LPC, EC, dan LC dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

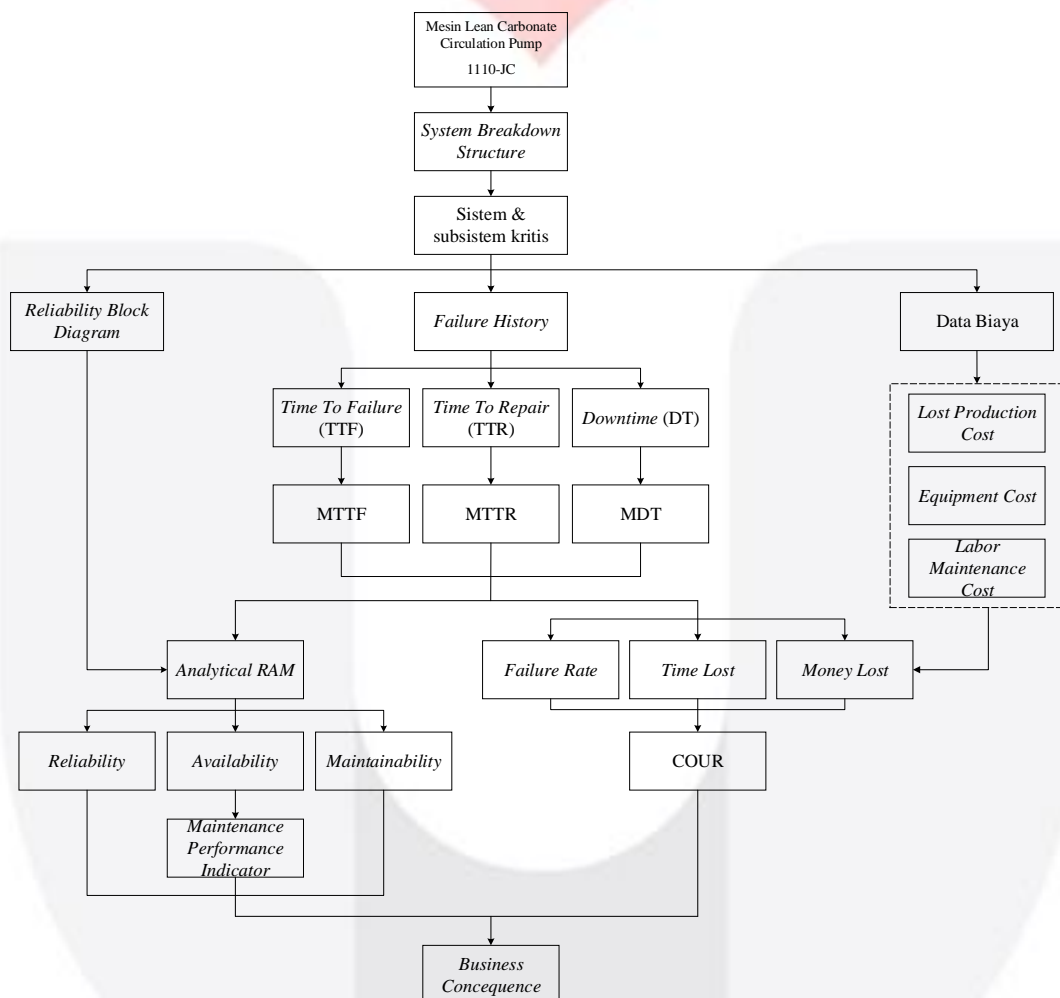
$$\text{LPC} = \text{Lost Time} \times \text{Production Lost/hour}$$

$$\text{EC} = \text{Lost Time} \times \text{Maintenance Cost/ hour}$$

$$\text{LC} = \text{Lost Time} \times \text{LC/hour}$$

2.4. Model Konseptual

Model konseptual menunjukkan hubungan antara faktor atau variabel yang telah diidentifikasi untuk menganalisis masalah pada penelitian. Berikut merupakan model konseptual berdasarkan permasalahan yang akan diteliti.



Gambar 2 Model Konseptual

Gambar 2 menjelaskan bahwa objek penelitian ini yaitu mesin Lean Carbonate Circulation Pump 1110-JC. Kemudian dilakukan pemilihan subsistem dan sistem kritis, dilanjutkan perhitungan MTTF, MTTR, dan MDT. Untuk perhitungan RAM dilakukan Permodelan Sistem *Reliability Block Diagram*, dan selanjutnya dilakukan perhitungan nilai *reliability*, *availability*, dan *maintainability* menggunakan data MTTF, MTTR, dan DT. Untuk perhitungan dengan metode COUR. Data MDT dan MTTR digunakan untuk perhitungan *time lost* dan *money lost*, sedangkan data MTTF digunakan untuk perhitungan *failure rate*. *Lost production cost*, *equipment cost* dan juga *labor maintenance cost* digunakan untuk perhitungan *money lost*. Setelah didapatkan perhitungan COUR dilakukan penentuan *business consequence* untuk referensi *management* mengambil tindakan.

3. Pembahasan

3.1. Penentuan Sistem dan Subsystem Kritis

Mesin Lean Carbonate Circulation Pump 1110-JC memiliki dua sistem yaitu *pump* dan *turbine*. Kemudian penilaian dari kedua kategori tersebut dikategorikan ke dalam risk matrix dan sistem *pump* masuk kategori *high risk* sehingga penelitian difokuskan pada sistem tersebut.

Tabel 1 Risk Matrix Sistem

| Likelihood | Consequence | | | | |
|----------------|---------------|-------|-------------|----------|--------------|
| | Insignificant | Minor | Moderate | Major | Chatastropic |
| Almost Certain | M | H | H | E | E |
| Likely | M | M | H | Pump (H) | E |
| Possible | L | M | M | H | E |
| Unlikely | L | M | Turbine (M) | H | H |
| Rare | L | L | M | H | H |

Setelah itu dilakukan penilaian subsystem kritis pada sistem *Pump* yang terdiri dari *volute*, *coupling*, *pump impeller* + *shaft*, *bearing*, dan *mechseal*.

Tabel 2 Risk Matrix Subsystem

| Likelihood | Consequence | | | | |
|----------------|---------------|-------|----------------------|------------------------------------|--------------|
| | Insignificant | Minor | Moderate | Major | Chatastropic |
| Almost Certain | M | H | H | E | E |
| Likely | M | M | H | H | E |
| Possible | L | M | M | Mechseal (H) | E |
| Unlikely | L | M | M | Pump Impeller + Shaft, Bearing (H) | H |
| Rare | L | L | Volute, Coupling (M) | H | H |

Tabel 2 menunjukkan terdapat tiga subsystem yang tergolong dalam kategori *high* yang berarti memiliki resiko kerusakan yang tinggi adalah *mechseal*, *pump impeller+shaft*, dan *bearing*. Sehingga subsystem yang akan diteliti lebih lanjut adalah subsystem tersebut.

3.2. Perhitungan Time To Failure (MTTF)

Perhitungan nilai MTTF dilakukan dengan menentukan parameter menggunakan software Avsim +9.0, kemudian dihitung menggunakan rumus sesuai masing-masing distribusi. Hasil perhitungan MTTF dapat dilihat pada Tabel 3, berikut.

Tabel 3 Distribusi dan MTTF

| Subsystem | Distribusi | Parameter | | $\Gamma(1+1/\beta)$ | MTTF (jam) |
|-----------------------|------------|-----------|----------|---------------------|------------|
| Pump Impeller + Shaft | Weibull | η | 3278,92 | 0,92623 | 3037,0341 |
| | | β | 1,28504 | | |
| Bearing | Weibull | η | 1314,73 | 1,33875 | 1760,0948 |
| | | β | 0,662788 | | |
| Mechseal | Weibull | η | 2882,94 | 1,67649 | 4833,2201 |
| | | β | 0,554269 | | |

3.3. Perhitungan *Time To Repair* (MTTR)

Perhitungan nilai MTTR dilakukan dengan menentukan parameter menggunakan software Avsim +9.0, kemudian dihitung menggunakan rumus sesuai masing-masing distribusi. Hasil perhitungan MTTR dapat dilihat pada Tabel 4, berikut.

Tabel 4 Distribusi dan MTTR

| Subsistem | Distribusi | Parameter | | $\Gamma(1+1/\beta)$ | MTTR (jam) |
|-----------------------|------------|-----------|----------|---------------------|------------|
| Pump Impeller + Shaft | Weibull | η | 2,250271 | 0,89864 | 2,02218 |
| | | β | 1,56197 | | |
| Bearing | Weibull | η | 2,32446 | 0,88563 | 2,05861 |
| | | β | 2,14498 | | |
| Mechseal | Weibull | η | 1,3188 | 0,88676 | 1,16946 |
| | | β | 2,46419 | | |

3.4. Perhitungan *Mean Downtime* (MDT)

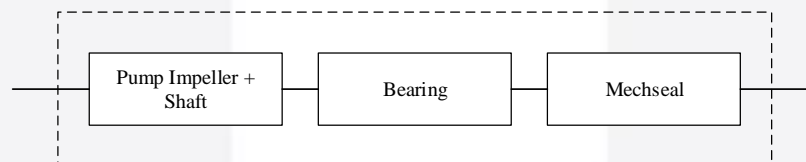
Perhitungan nilai MDT dilakukan dengan menentukan parameter menggunakan software Avsim +9.0, kemudian dihitung menggunakan rumus sesuai masing-masing distribusi. Hasil perhitungan MDT dapat dilihat pada Tabel 5, berikut.

Tabel 5 Distribusi dan MDT

| Subsistem | Distribusi | Parameter | | $\Gamma(1+1/\beta)$ | MDT (jam) |
|-----------------------|------------|-----------|----------|---------------------|-----------|
| Pump Impeller + Shaft | Weibull | η | 27,7656 | 1,32006 | 36,652258 |
| | | β | 0,670636 | | |
| Bearing | Weibull | η | 27,3426 | 0,99581 | 27,228035 |
| | | β | 1,00762 | | |
| Mechseal | Weibull | η | 13,9367 | 1,19557 | 16,6623 |
| | | β | 0,745242 | | |

3.5. Permodelan *Reliability Block Diagram* (RBD)

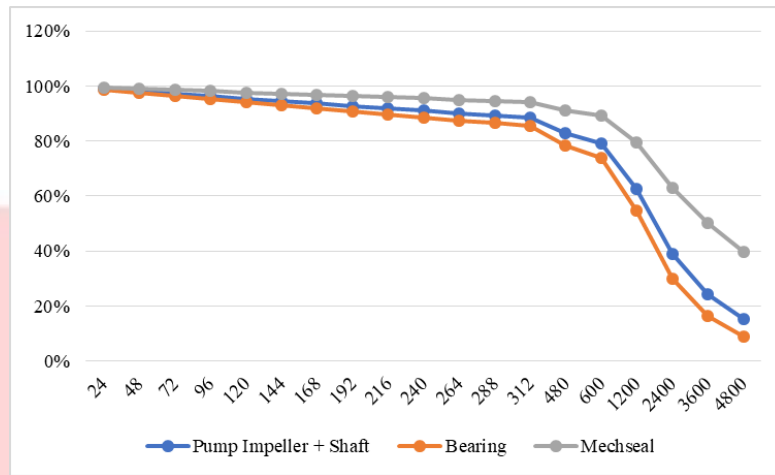
Permodelan sistem dilakukan dengan cara seri apabila salah satu sistem mengalami kerusakan maka menyebabkan mesin tidak bisa digunakan dan akan mengganggu proses produksi.



Gambar 3 *Reliability Block Diagram* System Pump

3.6. Perhitungan *Reliability* dengan *Analytical Approach*

Perhitungan Reliability dengan Analytical Approach adalah perhitungan reliability atau keandalan suatu subsistem yang dilakukan menggunakan RBD, dengan menggunakan waktu yang diberikan secara konstan. Perhitungan reliability dilakukan menggunakan data time to failure (TTF) dengan langkah-langkah perhitungan berdasarkan perumusan yang dilakukan sebelumnya. Pada penelitian ini waktu (T) merupakan variabel bebas, kemudian durasi waktu yang digunakan adalah 24 jam hingga 4800 jam, dengan interval 24 jam. Hal ini dilakukan karena mesin pada pabrik tersebut beroperasi selama 24 jam.



Gambar 4 Reliability Subsystem Kritis

3.7. Perhitungan Availability dengan Analytical Approach

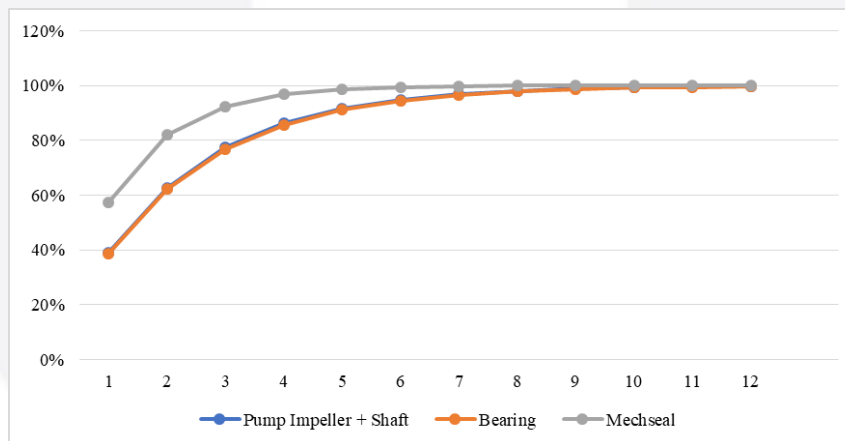
Perhitungan availability dengan analytical approach adalah perhitungan availability yang dilakukan dengan berdasarkan RBD dengan waktu yang diberikan secara konstan untuk mendapatkan nilai availability pada subsistem kritis. Perhitungan availability terbagi menjadi dua perhitungan yaitu *Inherent Availability* (Ai) dan *Operational Availability* (Ao). Berdasarkan perhitungan didapatkan bahwa nilai *availability* seluruh subsistem kritis mencapai target 95%.

Tabel 6 Availability Subsystem Kritis

| Subsistem Kritis | Inherent Availability | Operational Availability | Performance Indicator (95%) |
|------------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|
| <i>Pump Impeller + Shaft</i> | 99,93% | 99,87% | Achieved |
| <i>Bearing</i> | 99,88% | 99,91% | Achieved |
| <i>Mechseal</i> | 99,98% | 99,94% | Achieved |

3.8. Perhitungan Maintainability

Perhitungan maintainability dilakukan untuk menunjukan waktu yang dibutuhkan pada peluang sistem dapat diperbaiki sehingga dapat kembali beroperasi secara optimal dengan performansi sebesar 100%. Berdasarkan perhitungan didapatkan jika secara keseluruhan subsistem kritis membutuhkan waktu minimal 1 jam sampai 11 jam.

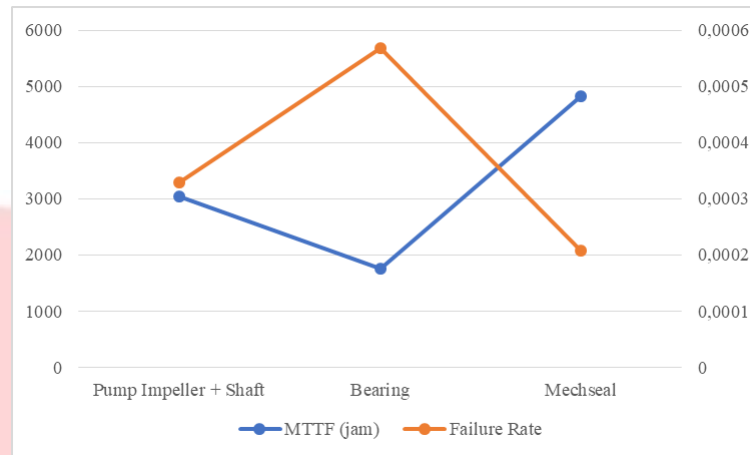


Gambar 5 Maintainability Subsystem Kritis

3.9. Perhitungan Cost of Unreliability (COUR)

3.9.1. Failure Rate

Berdasarkan perhitungan, dapat dilihat bahwa semakin tinggi jumlah kegagalan yang dialami subsistem, maka semakin tinggi juga laju kerusakannya. Hubungan antara *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *failure rate* dapat dilihat pada Gambar 6.

Gambar 6 Hubungan MTTF dan *Failure Rate*

3.9.2. Time lost

Time lost yang diperoleh digunakan untuk menganalisis penyebab kerugian finansial akibat ketidak andalan dari mesin. *Time lost* terbagi atas *corrective lost time* dan *downtime lost time*. Berikut merupakan perhitungan *corrective lost time* dan *downtime lost time*.

Tabel 7 *Corrective Lost Time*

| Subsistem | <i>Failure Rate</i> | <i>Number of Failure</i> | <i>Corrective Time / Failure (MTTR)</i> | <i>Corrective Lost Time Hours / 4 Years</i> |
|------------------------------|---------------------|--------------------------|---|---|
| <i>Pump Impeller + Shaft</i> | 0,000329269 | 13 | 2,02218 | 26,2884 |
| <i>Bearing</i> | 0,000568151 | 17 | 2,05861 | 34,9964 |
| <i>Mechseal</i> | 0,000206901 | 11 | 1,16946 | 12,8640 |

Pada Tabel 7 menunjukkan jika nilai *corrective lost time* per empat tahun yang didapat adalah 26,2884 jam untuk subsistem *pump impeller + shaft*, 34,9964 jam untuk *bearing*, dan 12,8640 jam untuk *mechseal*.

Tabel 8 *Downtime Lost Time*

| Subsistem | <i>Failure Rate</i> | <i>Number of Failure</i> | <i>Down Time / Failure (MDT)</i> | <i>Down Time Hours / 4 Years</i> |
|------------------------------|---------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| <i>Pump Impeller + Shaft</i> | 0,000329269 | 13 | 36,65225794 | 476,4794 |
| <i>Bearing</i> | 0,000568151 | 17 | 27,22803451 | 462,8766 |
| <i>Mechseal</i> | 0,000206901 | 11 | 16,66230042 | 183,2853 |

Pada Tabel 8 menunjukkan jika nilai *downtime lost time* per empat tahun yang didapat adalah 476,4794 jam untuk subsistem *pump impeller + shaft*, 462,8766 jam untuk *bearing*, dan 183,2853 jam untuk *mechseal*.

3.9.3. Money Lost

Perhitungan *money lost* terbagi menjadi dua yaitu *money lost* berdasarkan *corrective time* dan *money lost* berdasarkan *downtime time*. Perhitungan *money lost* dapat menjadi pertimbangan perusahaan untuk melakukan perbaikan untuk mempertahankan fungsi mesin sehingga dapat mengurangi waktu henti mesin. Tabel 9 menunjukkan hasil perhitungan *money lost* berdasarkan *corrective lost time*. Seperti yang dapat dilihat, semakin tinggi *corrective lost time* maka semakin tinggi pula *corrective COUR* yang ditanggung perusahaan.

Tabel 9 *Corrective COUR*

| Subsistem | Corrective lost time / 4 years | Lost Production Cost | Equipment Cost | Labor Maintenance Cost | Corrective COUR |
|------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------|
| <i>Pump Impeller + Shaft</i> | 26,2884 | Rp 873.300.180 | Rp 11.177.164 | Rp 371.018 | Rp 884.848.362 |
| <i>Bearing</i> | 34,9964 | Rp 1.162.580.264 | Rp 14.879.593 | Rp 493.917 | Rp 1.177.953.774 |
| <i>Mechseal</i> | 12,8640 | Rp 427.343.740 | Rp 5.469.472 | Rp 181.555 | Rp 432.994.767 |
| Total Corrective COUR | | | | | Rp 2.495.796.903 |

Tabel 10 menunjukkan hasil perhitungan *money lost* berdasarkan *downtime lost time*. Seperti yang dapat dilihat, semakin tinggi *downtime lost time* maka semakin tinggi pula *downtime COUR* yang ditanggung perusahaan.

Tabel 10 Downtime COUR

| Subsistem | Downtime lost time / 4 years | Lost Production Cost | Equipment Cost | Labor Maintenance Cost | Downtime COUR |
|------------------------------|------------------------------|----------------------|----------------|------------------------|--------------------------|
| <i>Pump Impeller + Shaft</i> | 476,4794 | Rp 15.828.644.112 | Rp202.587.109 | Rp 6.724.729 | Rp 16.037.955.951 |
| <i>Bearing</i> | 462,8766 | Rp 15.376.760.207 | Rp196.803.553 | Rp 6.532.749 | Rp 15.580.096.508 |
| <i>Mechseal</i> | 183,2853 | Rp 6.088.737.819 | Rp 77.928.329 | Rp 2.586.773 | Rp 6.169.252.922 |
| Total Downtime COUR | | | | | Rp 37.787.305.381 |

Perbandingan antara Total Corrective Time COUR dan Total Downtime COUR dari tahun 2016 hingga 2019, dapat dilihat pada Tabel 11, berikut.

Tabel 11 Total Corrective & Downtime COUR

| Jenis Biaya | Total Biaya |
|-----------------|-------------------|
| Corrective COUR | Rp 2.495.796.903 |
| Downtime COUR | Rp 37.787.305.381 |

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 12, diketahui nilai *downtime COUR* lebih besar dari nilai *corrective COUR*, yang artinya mesin belum mampu bekerja secara efektif dan membutuhkan perawatan yang lebih baik terutama dikarenakan nilai *downtime* yang sangat besar.

3.10. Penentuan *Business Consequence*

Setelah didapatkan nilai COUR dan RAM, dilakukan penentuan *business consequence* untuk mengetahui konsekuensi yang dialami perusahaan. Penilaian ini dilakukan menggunakan *business risk matrix* berdasarkan *corrective COUR* dan *downtime COUR* yang dihitung per tahun seperti pada Tabel 12 dan Tabel 13 berikut.

Tabel 12 *Business Consequence Corrective*

| Probability of failure | Business Consequence | | | | |
|--------------------------------|---|--|--|---|---|
| | Very Low Less than Rp 100.000.000 | Low More than Rp 100.000.000 but Less than Rp 500.000.000 | Medium More than Rp 500.000.000 but Less than Rp 1.000.000.000 | High More than Rp 1.000.000.000 but Less than Rp 10.000.000.000 | Very High More than Rp 10.000.000.000 |
| Very High POF > 70% | M | H | Pump Impeller + Shaft, Mechseal (E) | Bearing (E) | E |
| High POF 50% < POF < 70% | L | M | H | E | E |
| Medium 30% < POF < 50% | L | L | M | H | E |
| Low 10% < POF < 30% | L | L | M | M | H |
| Very Low POF > 10% | L | L | L | M | H |

Tabel 13 *Business Consequence Downtime*

| Probability of failure | Business Consequence | | | | |
|--------------------------------|---|--|--|---|---|
| | Very Low Less than Rp 100.000.000 | Low More than Rp 100.000.000 but Less than Rp 500.000.000 | Medium More than Rp 500.000.000 but Less than Rp 1.000.000.000 | High More than Rp 1.000.000.000 but Less than Rp 10.000.000.000 | Very High More than Rp 10.000.000.000 |
| Very High POF > 70% | M | H | E | Mechseal (E) | Pump Impeller + Shaft, Bearing (E) |
| High POF 50% < POF < 70% | L | M | H | E | E |
| Medium 30% < POF < 50% | L | L | M | H | E |
| Low 10% < POF < 30% | L | L | M | M | H |
| Very Low POF > 10% | L | L | L | M | H |

Berdasarkan *business risk matrix* pada Tabel 12 dan Tabel 13 ketiga subsistem yaitu *pump impeller + shaft, bearing*, dan *mechseal* masuk kategori warna merah yang berarti *extreme*, yang berarti bahwa konsekuensi bisnis yang diakibatkan ketiga subsistem tersebut sangat beresiko pada perusahaan sehingga perlu mendapat perhatian dan perbaikan lebih lanjut untuk mencegah terjadinya konsekuensi yang lebih tinggi yang harus ditanggung oleh perusahaan.

4. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan RAM, didapatkan hasil dari *Reliability Analysis* pada waktu 4800 jam, masing-masing subsistem memiliki nilai *Reliability* 15% untuk *pump impeller+shaft*, 9% untuk *bearing*, dan 40% *mechseal*. Nilai *Inherent Availability* setiap subsistem adalah 99,93%, 99,88% dan 99,98% dan nilai *Operational Availability* masing-masing subsistem adalah 99,87%, 99,91%, dan 99,94%. Berdasarkan pada evaluasi yang telah dilakukan dengan menggunakan *World Class Maintenance Key Performance Indicator*, indikator dari *leading indicator* dan *lagging indicator* sudah mencapai target *indicator* yang diberikan. Untuk perhitungan nilai *Maintainability* didapatkan waktu subsistem mengembalikan *reliability* 100% adalah $t = 4$ jam untuk subsistem *pump impeller+shaft* dan *bearing* dengan nilai *maintainability* sebesar 86%, sedangkan subsistem *mechseal* memerlukan waktu $t = 2$ jam dengan nilai *maintainability* 82%. Sedangkan dari hasil perhitungan COUR, diperoleh nilai *corrective money lost* sebesar Rp 2.495.796.903 dan *downtime money lost* sebesar Rp 37.787.305.381. Kemudian dilakukan penilaian konsekuensi bisnis menggunakan *business risk matrix* yang menunjukkan ketiga subsistem kritis masuk kedalam area merah menandakan bahwa konsekuensi bisnis yang diakibatkan oleh ketidakandalan dari ketiga subsistem tersebut sangat beresiko pada perusahaan sehingga perlu mendapat perhatian dan dilakukan tindakan lebih lanjut untuk mencegah terjadinya konsekuensi yang lebih tinggi.

Daftar Pustaka

- [1] J. Alhilman, "Cost of unreliability method to estimate loss of revenue based on unreliability data: Case study of Printing Company," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 277, no. 1, 2017.
- [2] Ebeling, "An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering the McGraw-Hill Companies," *An Introd. to Reliab. Maintainability Eng. McGraw-Hill Co.*, 1997.
- [3] R. K. M. Ricky Smith, "Chapter 17 - MTBF User Guide: Measuring Mean Time between Failures," in *Rules of Thumb for Maintenance and Reliability Engineers*, 2008, p. 283.
- [4] A. Ebrahimi, "Effect analysis of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) Parameters in design and operation of Dynamic Positioning (DP) systems in floating offshore structures," *Eff. Anal. Reliab. Availability, Maintainab. Saf. (RAMS) Parameters Des. Oper. Dyn. Position. Syst. Float. offshore Struct.*, 2010.
- [5] F. Vicente, "Assessing the cost of unreliability in gas plant to have a sustainable operation," in *Petroleum and Chemical Industry Conference Europe Conference Proceedings, PCIC EUROPE*, 2012.