

Evaluasi Penjadwalan Perawatan Mesin CNC-FF menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II dan *Benefit-Cost Ratio* (BCR)

Milka Suci Icha Putri^{1*}, Priyo Agus Setiawan², Aulia Nadia Rachmat³

¹Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia Kampus ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya 60111

^{2,3}Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia Kampus ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya 60111

*E-mail: milkasuci@student.ppns.ac.id / milkaputri2923@gmail.com

Abstrak

Mesin CNC-FF (*Horizontal Boring & Milling Machine*) pada salah satu perusahaan galangan kapal mempunyai frekuensi kerusakan paling tinggi dengan data *downtime* mencapai 672 jam di Tahun 2019. Oleh karenanya, perlu adanya evaluasi penjadwalan perawatan guna meminimalisir jumlah *downtime* dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II, serta *Benefit-Cost Ratio* (BCR) sebagai perbandingan kelayakan dari segi pembiayaan antara alternatif perawatan usulan RCM II dengan alternatif *existing preventive maintenance* perusahaan. Dalam kajian RCM II mencakup identifikasi bahaya yang diimplementasikan dalam *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), dengan penilaian risiko di setiap *failure mode* menggunakan *Risk Priority Number* (RPN). Hasil menunjukkan bahwa terdapat 39 bentuk *failure mode*, dengan 5 *failure modes* di antaranya dapat dicegah menggunakan kebijakan perawatan *scheduled restoration task*, 3 *failure modes* menggunakan *scheduled discard restoration*, dan 1 *failure mode* menggunakan *scheduled on-condition task*. Hasil dari metode BCR menunjukkan bahwa kedua alternatif memiliki nilai $B/C > 1$, yang selanjutnya dilakukan *incremental analysis* dengan kesimpulan alternatif usulan jadwal perawatan menggunakan metode RCM II adalah yang paling layak dengan nilai rasio perbandingan $B/C_{A1-A2} = 96,8582$.

Kata Kunci: BCR, FMEA, Mesin CNC-FF, Penjadwalan Perawatan, RCM II

Abstract

CNC-FF (*Horizontal Boring & Milling*) machine has the highest frequency of damage with downtime data reaching 672 hours in 2019. Therefore, to overcome these problems it is necessary to evaluate maintenance scheduling to minimize the amount of downtime by using the *Reliability Centered Maintenance* method (RCM) II, as well as the *Benefit-Cost Ratio* (BCR) as a comparison of the feasibility in terms of financing between the alternative maintenance proposed by RCM II and the company's existing preventive maintenance alternatives. The RCM II study includes hazard identification which is implemented in *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), with risk assessment in each failure mode using a *Risk Priority Number* (RPN). The results show that there are 39 failure modes, of which 5 failure modes can be prevented using a scheduled restoration task maintenance policy, 3 failure modes using a scheduled discard restoration, and 1 failure mode using a scheduled on-condition task. The results of the BCR method show that the two alternatives have a B/C value > 1 , which is then carried out with an incremental analysis with the conclusion that the proposed alternative treatment schedule using the RCM II method is the most feasible with a ratio value of $B/C_{A1-A2} = 96.8582$.

Keywords: BCR, CNC-FF Machine, FMEA, Maintenance Schedule, RCM II

1. PENDAHULUAN

Mesin CNC-FF merupakan mesin yang beroperasi selama 16 jam per-hari pada suatu galangan kapal, dengan persentase produktivitas tertinggi (97,1%) pada periode Bulan Juni Tahun 2019 (Gusti, 2019). Tertanggal 20 November 2020, dilakukan *corrective maintenance* terhadap mesin ini yang disebabkan oleh pompa *hydraulic* yang gagal bekerja. Kerusakan yang sering terjadi ini diakibatkan oleh tidak optimalnya penjadwalan *preventive*, dan *predictive maintenance* yang hanya bergantung pada *manual book* tanpa disesuaikan dengan kondisi mesin terbaru. Selain itu belum adanya identifikasi risiko bahaya akibat keterbatasan sumber daya yang memahami ilmu tersebut, membuat teknisi mengalami kesulitan untuk memprediksi

komponen kritis yang perlu diberikan prioritas. Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II adalah proses yang digunakan untuk menentukan apa yang seharusnya dilakukan untuk menjamin setiap item fisik atau suatu sistem dapat berjalan dengan baik sesuai fungsi yang diinginkan penggunaannya (Moubray, 1997). Agar perencanaan penjadwalan ulang mesin CNC-FF lebih optimal, maka perencanaan tersebut dapat dikelola dengan menggunakan pendekatan metode *Benefit-Cost Ratio* (BCR), untuk menganalisis rasio antara manfaat (*benefit*) yang dihasilkan, dan biaya (*cost*) yang dikeluarkan perusahaan. Beberapa peneliti sebelumnya yang melakukan penelitian serupa adalah Gangga Rafshandi Ayumas (2015), yang menggunakan metode RCM II dan *Benefit-Cost Analysis* (BCA) pada objek *container crane*. Peneliti lain yakni Widya Fitriani (2018), dengan penggunaan metode RCM II dan BCA yang diaplikasikan pada sistem *heater*.

2. METODOLOGI

Reliability Centered Maintenance (RCM) II

RCM sebagai suatu proses yang digunakan untuk menentukan keperluan kebutuhan *maintenance* pada *physical asset* dalam konteks operasional. Proses yang dijalankan dalam RCM adalah dengan mengajukan tujuh pertanyaan terhadap tiap *asset/* sistem yang dijalankan perusahaan (Moubray, 1997).

Functional Block Diagram (FBD)

Tahap deskripsi sistem dalam FBD sangat dibutuhkan guna mengetahui komponen yang terdapat dalam sistem dan bagaimana komponen tersebut bekerja sesuai fungsinya. Data fungsi peralatan dan cara beroperasinya dipakai untuk membuat definisi dan dasar untuk menentukan kegiatan perawatan pencegahan (Moubray, 1997).

Failure Modes and Effects Analysis (RPN) dan Penilaian Risk Priority Number (RPN)

Langkah ini merupakan metode sistematis untuk menganalisis kegagalan, sedangkan RPN merupakan teknik untuk melakukan penilaian risiko dari tiap-tiap *failure modes* FMEA. Penilaian dalam RPN ini memberikan keputusan dalam menentukan *rank* komponen kritis sesuai dengan tiga skala yakni *Severity* (S) x *Occurrence* (O) x *Detection* (D). Berikut tabel acuan penentuan nilai S, O, D.

Tabel 1. Acuan Penentuan S, O, D

| No. | Severity (S) | Occurrence (O) | Detection (D) |
|-----|-----------------------------|--------------------------|------------------|
| 10 | Berbahaya tanpa peringatan | >15 kali dalam setahun | Hampir Mustahil |
| 9 | Berbahaya dengan peringatan | 10-15 kali dalam setahun | Sangat sulit |
| 8 | Sangat Tinggi | 7-10 kali dalam setahun | Sulit |
| 7 | Tinggi | 4-6 kali dalam setahun | Sangat rendah |
| 6 | Sedang | 2-3 kali dalam setahun | Rendah |
| 5 | Rendah | 1 kali dalam setahun | Sedang |
| 4 | Sangat rendah | 1 kali dalam 3-5 tahun | Menengah ke atas |
| 3 | Kecil | 1 kali dalam 5-10 tahun | Tinggi |
| 2 | Sangat kecil | 1 kali dalam >10 tahun | Sangat tinggi |
| 1 | Tidak ada efek | 1 kali dalam >10 tahun | Hampir pasti |

Sumber: Afriyanto, 2020

RCM II Decision Worksheet

Menurut Moubray (1997), RCM II *Decision Worksheet* merupakan lembar kerja kedua dalam pengerjaan RCM yang digunakan untuk me-*record* jawaban dari pertanyaan yang muncul dari *decision diagram* (Y/ N), sehingga dapat diketahui informasi sebagai berikut.

- 1) F (*Function*), FF (*Functional Failure*), dan FM (*Failure Mode*) terdapat dalam FMEA
- 2) H (*Hidden Failure*), S (*Safety Consequence*), E (*Environment Consequence*), dan O (*Operational Consequence*)
- 3) H1/S1/O1/N1 untuk *scheduled on-condition task*, H2/S2/O2/N2 untuk *scheduled restoration task*, H3/S3/O3/N3 untuk *scheduled discard task*, H4/H5/S4 untuk *default question*.

Tabel 2. RCM II *Decision Worksheet*

| | | System: | | | | Facilitator: | | | | Date: | | | | Sheet No.: | | | |
|-----|-----------|-----------------------|----|----|------------------------|--------------|---|---|----|-------|----|----------------|----|------------|---------------|------------------|----------------|
| | | Sub-System: | | | | Auditor: | | | | Date: | | | | Of: | | | |
| No. | Equipment | Information Reference | | | Consequence Evaluation | | | | H1 | H2 | H3 | Default Action | | | Proposed Task | Initial Interval | Can be Done by |
| | | | | | | | | | S1 | S2 | S3 | | | | | | |
| | | F | FF | FM | H | S | E | O | O1 | O2 | O3 | H4 | H5 | S4 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Sumber: Moubray, 1997

Interval Perawatan

Interval perawatan adalah rentang waktu yang dibutuhkan suatu mesin antar awal perbaikan dengan perbaikan selanjutnya. Interval perawatan optimum tergantung pada:

- 1) Distribusi waktu antar kerusakan (tiap parameter dicari dengan menggunakan *Weibull* ++6).
- 2) Biaya *maintenance* (CM)
- 3) Biaya perbaikan (CR)
- 4) Biaya *man hours* (CW)
- 5) Biaya konsekuensi operasional (CO)
- 6) Biaya penggantian komponen (CF).

Berdasarkan ketiga biaya di atas maka CR dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut.

$$CR = CF + ((CW + CO) \times MTTR) \quad (1)$$

Dengan rumus TM (interval perawatan) sebagai berikut.

$$TM = \eta \left[\frac{1}{\beta-1} \times \frac{CM}{CR-CM} \right]^{\frac{1}{\beta}}, \text{ Distribusi } weibull \ 2 \quad (2)$$

Benefit-Cost Ratio (BCR)

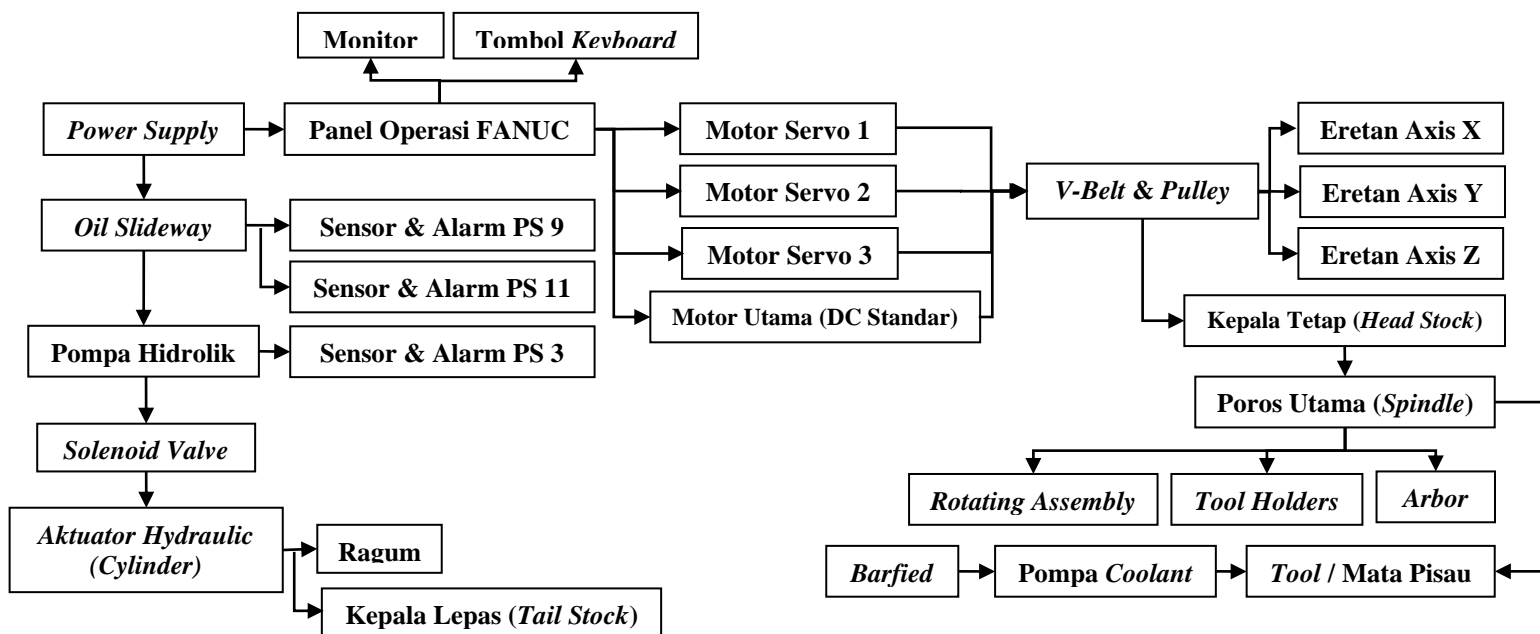
Dasar kelayakan dari analisis BCR ini adalah rasio antara manfaat yang diberikan terhadap biaya yang dibutuhkannya. Secara matematis analisis manfaat-biaya ini diformulasikan pada persamaan berikut (Pujawan, 2009).

$$B/C \geq 1 = \text{Alternatif layak secara ekonomi} \quad (3)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

1) Functional Block Diagram (FBD)

Sistem kerja mesin perkakas CNC-FF berasal dari catu daya atau *power supply* sebagai penyedia utama daya tegangan DC bagi CNC *controller*–panel operasi FANUC, serta seperangkat komponen elektrik yang terpasang di *oil slideway*. Ketika *user* memasukkan kode perintah tertentu melalui *keyboard* dan terkonfirmasi melalui tampilan layar *monitor*, *controller* FANUC akan memproses dan mengubahnya menjadi sinyal perintah ke komponen elektrik *motor servo* 1 sebagai motor penggerak eretan sumbu X, *motor servo* 2 sebagai motor penggerak eretan sumbu Y, *motor servo* 3 sebagai motor penggerak eretan sumbu Z, dan *motor* utama (DC standar) sebagai motor penggerak poros utama *spindle* (sumbu W). Ketika sinyal perintah telah diterjemahkan oleh komponen elektrik tersebut, masing-masing *motor servo* 1, 2, 3 akan menggerakkan eretan di sumbu X, Y, dan Z. Sedangkan untuk *motor utama* (DC standar) akan menggerakkan tiga sub-komponen dalam *spindle*, yakni *rotating assembly* (unit pemutar *spindle*), *tool holder* (pencekam mata pisau), serta *arbor* (tempat peletakan mata pisau). Gerakan memutar pada *arbor* inilah yang mengantarkan perputaran pada mata pisau *boring & milling* sehingga pemakanan benda kerja dapat dilakukan.



Gambar 1. Functional Block Diagram (FBD) Mesin CNC-FF

2) **Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) dan Penilaian Risk Priority Number (RPN)**

Terdapat Sembilan bentuk kegagalan mesin CNC-FF dalam menjalankan fungsinya, yang tertuang dalam tabel berikut.

Tabel 3. Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) Mesin CNC-FF

| No. | Equipment | Function | Functional Failure | Failure Mode | Failure Effect | S | O | D | RPN | | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|----------|---|--------------|---|---|--|--|-----|---|---|-----|
| 01. Sub-Sistem Hidrolik | | | | | | | | | | | | |
| 1. | Pompa hidrolik | 1 | Menghasilkan tekanan dan aliran tertentu pada sistem hidrolik | A | Tekanan pompa hidrolik tidak sesuai dengan standar (80 Kg/Cm ²) | 1 | Regulator valve rusak, <i>blocked</i> , atau aus | Terjadi penurunan tekanan, proses <i>clamping</i> yang tidak sesuai | 5 | 6 | 4 | 120 |
| 2. | Filter (<i>strainer</i>) | 1 | Sebagai alat penyaring kotoran yang berbentuk cair, padat, atau gas | A | Kotoran tidak dapat tersaring dengan sempurna | 1 | Macet (<i>jamming</i>) akibat penyumbatan kontaminan asing | Pelepasan kontaminan, sirkulasi minyak yang tidak difilter akan terganggu (<i>macet</i>) | 5 | 6 | 4 | 120 |
| . | <i>Oil slideway</i> (bak) | 1 | Sebagai tempat penampungan oli untuk menggerakkan pompa hidrolis | A | Tidak dapat melakukan penampungan secara optimal | 1 | Bocor | Mempercepat umur <i>oil slideway</i> | 5 | 6 | 2 | 60 |
| 02. Sub-Sistem Sumbu X, Y dan Z | | | | | | | | | | | | |
| 4. | Eretan | 1 | Melakukan pergerakan pada sumbu X, Y, dan Z | A | Tidak dapat melakukan pergerakan pada sumbu X, Y dan Z | 1 | <i>Bearing</i> aus | Posisi eretan tidak akurat | 7 | 5 | 7 | 245 |
| 5. | Motor servo | 1 | Penggerak eretan | A | Motor servo gagal bekerja | 1 | <i>Gear</i> aus | Mesin bergetar, mempercepat umur <i>bearing</i> | 4 | 5 | 8 | 160 |
| 6. | Sabuk (<i>V-Belt</i>) | 1 | Sebagai penggerak pencekaman benda kerja | A | Sabuk tidak dapat menggerakkan ragam | 1 | Sabuk aus | Mengurangi kekuatan dan umur komponen sabuk, panas yang berlebihan | 5 | 6 | 5 | 150 |
| 02. Sub-Sistem Sumbu X, Y dan Z | | | | | | | | | | | | |
| 7. | <i>Screen / display</i> (monitor) | 1 | Memberikan informasi status dan mode pengoperasian mesin CNC | A | Monitor tidak dapat memberikan informasi status pada layar | 1 | Sirkuit kabel listrik yang putus | Tidak ada alarm yang ditampilkan, tidak ada data yang cocok | 5 | 5 | 3 | 75 |
| 8. | <i>Alarm PS 3</i> | 2 | Penanda tekanan oli di bawah ukuran normal | A | Gagal untuk memperingatkan tekanan oli | 1 | Kerusakan alat | Sistem hidrolik tidak akan bekerja optimal | 4 | 7 | 4 | 112 |
| 9. | <i>Alarm PS 9</i> | 2 | Penanda suhu oli di dalam <i>slideway</i> terlalu panas | A | Gagal untuk memperingatkan suhu oli | 1 | Kerusakan alat | <i>Overheating</i> pada <i>oil slideway</i> | 4 | 6 | 4 | 96 |

Beberapa komponen dalam mesin CNC-FF *boring & milling* Nilai RPN tertinggi dalam analisis FMEA diantaranya sebagai berikut; komponen eretan dengan mode kegagalan *bearing* aus memiliki nilai RPN 245, komponen *motor servo* dengan mode kegagalan *gear* aus memiliki nilai RPN 160, komponen sabuk (*V-Belt*) dengan mode kegagalan *aus* memiliki nilai RPN 150, komponen pompa hidrolik dengan mode kegagalan *vane blocked / aus*, serta komponen filter (*strainer*) dengan mode kegagalan macet / tersumbat (*jamming*) memiliki nilai RPN 120.

3) **RCM II Decision Worksheet**

(1) *Scheduled On-Condition Task*

Kebijakan perawatan ini mencakup kegiatan pengecekan kegagalan potensial, yang akan dilakukan pada komponen *motor servo*.

(2) *Scheduled Restoration Task*

Kegiatan ini mencakup aktivitas *overhaul*, yang akan diaplikasikan pada komponen *alarm PS 3*, filter pompa hidrolik, pompa hidrolik, *oil slideway*, dan *computer monitor*.

(3) *Scheduled Discard Task*

Mencakup kegiatan untuk mengganti komponen atau *equipment* sebagai langkah untuk *preventive maintenance* pada komponen *V-Belt*, *alarm PS 9*, dan *axis Y* (eretan).

4) Pengolahan Data Kuantitatif

Hasil perhitungan MTTF menyatakan bahwa komponen dengan nilai tertinggi adalah *computer monitor* mencapai 9936,0027 jam, dan komponen dengan nilai terendah adalah filter pompa hidrolik mencapai 2954,2072 jam. Komponen yang memiliki nilai TM (interval perawatan) terbesar adalah *axis Y* (eretan) sebesar 5139,6476 jam (7 bulan, 4 hari), dan komponen yang memiliki nilai TM terkecil adalah filter pompa hidrolik dengan nilai 1402,7188 jam (1 bulan, 27 hari). Terdapat satu komponen yang mengalami *scheduled on-condition task* yaitu *motor servo*, dengan nilai Interval P-F adalah 120 hari, sehingga nilai Interval $\frac{1}{2}$ P-F *scheduled on condition task* adalah 60 hari yaitu 960 jam (1 bulan, 9 hari).

5) Perhitungan *Benefit-Cost Ratio* (BCR)

Perhitungan alternatif 1 (jadwal usulan menggunakan RCM II) menghasilkan; manfaat (*benefit*) yaitu (hasil penjualan plat) CO = Rp. 8.888.443.200/ tahun, dengan biaya (*cost*) = Rp 130.461.870/ tahun, Jadi B/C alternatif 1 = 68,1306 (B/C > 1, maka layak secara ekonomis digunakan). Perhitungan alternatif 2 (*existing preventive maintenance* perusahaan) menghasilkan; manfaat (*benefit*) yaitu CO = Rp. 7.089.163.200 / tahun, dengan biaya (*cost*) = Rp 111.885.450/ tahun, jadi B/C alternatif 2 = 63,3609 (B/C > 1 , maka layak secara ekonomis digunakan). Karena kedua alternatif tersebut layak secara ekonomis dan dalam kasus ini perusahaan harus memilih satu alternatif (*mutually exclusive*), maka dilakukan *incremental analysis* sehingga menghasilkan perbandingan 96,8582 atas alternatif 1. Nilai tersebut bernilai > 1, maka alternatif 1 adalah yang paling layak untuk dipilih dan diaplikasikan.

4. KESIMPULAN

Hasil analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) menunjukkan bahwa terdapat sembilan bentuk kegagalan (*failure modes*), dengan lima di antaranya memiliki penilaian risiko atau *risk priority number* (RPN) tertinggi yaitu; komponen *axis Y* (eretan) sebesar 245, *motor servo* sebesar 160, sabuk (V-Belt) sebesar 150, pompa hidrolik sebesar 120, serta filter (*strainer*) sebesar 120. Kebijakan perawatan yang didapat berdasarkan RCM II *Decision Worksheet* untuk masing-masing *failure mode* terdiri dari tiga kegiatan, yaitu *scheduled discard task* terjadi pada V-Belt, alarm PS 9, dan *axis Y* (eretan). *Scheduled restoration task* terjadi pada alarm PS 3, filter pompa hidrolik, pompa hidrolik, *oil slideway*, dan *computer monitor*. *Scheduled on-condition task* terjadi pada *motor servo*. Komponen yang memiliki nilai TM (interval perawatan) terbesar adalah *axis Y* (eretan) sebesar 5139,6476 jam (7 bulan, 4 hari), dan komponen yang memiliki nilai TM terkecil adalah filter pompa hidrolik dengan nilai 1402,7188 jam (1 bulan, 10 hari). Hasil perhitungan *Benefit-Cost Ratio* (BCR) pada mesin CNC-FF menunjukkan bahwa usulan kegiatan perawatan yang terdapat pada RCM II *decision worksheet* lebih layak secara ekonomis digunakan dengan nilai B/C_{incremental} adalah 96,8582 (B/C > 1) jika dibandingkan dengan *existing preventive maintenance* perusahaan.

Saran untuk penelitian selanjutnya yakni diharapkan untuk mengkaji lebih dalam perihal perhitungan *Benefit-Cost Ratio* (BCR), dengan cara melakukan penentuan nilai rasio B/C pada setiap komponen, sehingga dapat diketahui nilai kelayakan secara ekonomis untuk setiap komponen dalam satu divisi.

5. DAFTAR NOTASI

MTTF = *Mean Time to Failure* atau waktu rata-rata antar kerusakan [jam]

MTTR = *Mean Time to Repair* atau waktu rata-rata lamanya perbaikan [jam]

6. DAFTAR PUSTAKA

- Afriyanto, Sigit. (2020). Implementasi Metode OEE dan FMEA untuk Meningkatkan Kinerja Mesin CNC Milling di PT. XYZ. **Tugas Akhir Mahasiswa Teknik Industri**, Universitas Esa Unggul, Jakarta Barat.
- Ayumas, G.A. (2015). Perencanaan Kegiatan Perawatan Pada Container Crane di PT. X Menggunakan Metode RCM II (Reliability Centered Maintenance) dengan Pendekatan Benefit Cost Analysis. **Tugas Akhir Mahasiswi Teknik K3**, Politeknik Perkapalan Negeri, Surabaya.
- Fitriani, W. *et al.* (2018). RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE II DAN PEMILIHAN SOLUSI MENGGUNAKAN METODE BENEFIT-COST ANALYSIS. **Tugas Akhir Mahasiswi Teknik K3**, Politeknik Perkapalan Negeri, Surabaya.
- Gusti, Liveone Anugrah, dan Susanti, Nur Aini. (2019). *Analisa Pengukuran Produktivitas Mesin CNC Milling Dengan Menggunakan Metode Data Envelopment Analysis di PT. PAL Indonesia*. **Jurnal JTPM**, Vol. 09 No. 01. Universitas Negeri Surabaya, Surabaya.
- Moubray, J. (1997). **Reliability-Centred Maintenance II**. Industrial Press Inc, New York.
- Pujawan, I Nyoman (2009). **Ekonomi Teknik**. Guna Widya, Surabaya.
- Perusahaan Galangan Kapal. (2020). *Data Gaji Karyawan dan Harga Komponen*. Surabaya, Perusahaan Galangan Kapal.