

**APLIKASI FAILURE MODE EFFECT AND CRITICALITY ANALYSIS (FMECA)  
DALAM PENENTUAN INTERVAL WAKTU PENGGANTIAN KOMPONEN KRITIS  
FUEL OIL SEPARATOR ALFA LAVAL PADA KRI CONDOR SATUAN KAPAL SURVEI**

Taufiq S, Suparno, Ahmadi

Program Studi Analisa Sistem dan Riset Operasi,  
Direktorat Pascasarjana Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut

**ABSTRAK**

Penggunaan Separator bahan bakar pada sistem penggerak Motor Pendorong Pokok (MPK) dan Motor pokok bantu (MPB) merupakan pesawat yang sangat penting untuk menjamin bekerjanya MPK dan MPB secara prima. sehingga kondisi kesiapan Separator akan sangat mempengaruhi pelaksanaan tugas operasi yang dibebankan oleh Unsur-unsur tersebut. Diperlukan manajemen pemeliharaan yang baik dan terencana untuk memperbaiki atau meminimalkan kerusakan agar kinerja sistem tidak menurun.

*Failure Mode Effect and Criticality Analysis (FMECA)* digunakan sebagai sebuah metodologi untuk mengidentifikasi dan menganalisis semua mode kegagalan potensial dari berbagai bagian sistem, efek kegagalan tersebut terhadap sistem, bagaimana menghindari kegagalan dan atau mengurangi dampak dari kegagalan pada sistem. Pada tulisan ini diusulkan model FMECA dalam menentukan komponen Separator Alfa Laval MAB 103B-24. Berdasarkan model FMECA tersebut didapat *Risk Priority Number (RPN)* yang dijadikan nilai acuan dalam penentuan komponen kritis. Nilai RPN setiap komponen yang didapat dianalisa dengan *Risk Matrix*, dari 26 (dua puluh enam) komponen yang telah diidentifikasi, didapat 7 (tujuh) komponen yang dianggap kritis, yaitu *komponen Worm wheel and worm, Bowl hood, Ball and top bearing springs, Ball bearing housing, Axial play of coupling disc, O-rings and sealings, Lock ring*. Komponen *Worm wheel and worm* memiliki nilai RPN tertinggi, yaitu 8740 dan komponen *Lock ring* memiliki RPN terendah, yaitu 6783.

Penentuan interval waktu penggantian komponen kritis yang telah didapat menggunakan pendekatan *Reliability* dan *Cost Benefit Ratio (CBR)*. Didapatkan hasil bahwa komponen *O-rings and sealings*, yaitu 51 hari dan komponen dengan interval waktu penggantian terlama adalah komponen *Ball and top bearing springs*, yaitu 291 hari. Di dapat pula nilai CBR untuk semua komponen kritis kurang dari 1 ( $CBR < 1$ ) menunjukkan biaya penggantian yang direkomendasikan sudah efisien. Komponen *Lock ring* nilai CBR paling efisien, yaitu 0,471617. Dari analisa sensitivitas diketahui bahwa Parameter  $\beta$  lebih berpengaruh terhadap perubahan nilai *Reliability R(t)*. variabel *Reliability R(t)* sangat berpengaruh terhadap perubahan penentuan interval waktu penggantian (tp) komponen kritis, dimana didalamnya terdapat parameter  $\beta$  (*slope*), parameter  $Y$  (*location*), dan parameter  $\Gamma$  (*scale*).

**Kata kunci:** FMECA, RPN, Reliability, Interval Waktu Pengantian, CBR.

## **1. Pendahuluan**

Satuan Kapal Survei Pushidros merupakan salah satu sarana pendukung utama dalam melaksanakan tugas pokok Pushidros, selain tim survei dan peralatan survei. Pada saat ini Pushidros telah memiliki 7 kapal survei yaitu 2 KRI kelas Rigel, 3 KRI kelas Condor, 1 KRI kelas DKB, 1 KRI Kelas tunda Samudera dan membentuk 4 unit survei. Kemampuan Kapal survei sangat dipengaruhi oleh parameter-parameter seperti kemampuan jelajah, peralatan survei, peralatan navigas serta jumlah dan mutu personel yang secara keseluruhan mencerminkan kemampuan dalam melaksanakan operasi survei. Dalam mewujudkan dan memelihara kemampuan tersebut diperlukan usaha yang konsisten dari semua pihak.

Penggunaan Separator bahan bakar pada sistem MPK dan MPB merupakan pesawat yang sangat penting untuk menjamin bekerjanya MPK dan MPB secara prima. sehingga kondisi kesiapan Separator akan sangat mempengaruhi pelaksanaan tugas operasi yang dibebankan oleh Unsur-unsur tersebut. Sering kali pada saat Unsur-unsur akan melaksanakan tugas operasi mengalami kendala pada kesiapan Separator. Hal tersebut tentunya akan mempengaruhi kesiapan KRI secara keseluruhan. Untuk mencegah terjadinya kondisi tersebut, diperlukan suatu

langkah yang tepat untuk memperbaiki atau meniadakan kerusakan agar kinerja sistem MPK dan MPB tidak menurun. Merk/type separator yang digunakan di KRI Satuan Kapal survei pushidros ditunjukkan Tabel 1.1 sebagai berikut:

Tabel 1.1 Penggunaan Separator Alfa Laval di KRI Satsurvei Pushidros

| No | Nama KRI         | Separator bb            |           |                         |           |
|----|------------------|-------------------------|-----------|-------------------------|-----------|
|    |                  | Separator I             |           | separator II            |           |
|    |                  | Merk/Type               | Usia (Th) | Merk/Type               | Usia (Th) |
| 1. | KRI DKB - 932    | Nanjing KYDH 260SD      | 4         | Alfa laval MAB 104      | 11        |
| 2. | KRI Leuser - 924 | Mahle KFWA 3            | 4         | Mahle KFWA 3            | 4         |
| 3. | KRI PRO - 721    | Alfa laval MAB 103B-24  | 11        | Alfa laval MAB 103B-24  | 11        |
| 4. | KRI PRM - 723    | Alfa laval MAB 103B-24  | 12        | Alfa laval MAB 103B-24  | 12        |
| 5. | KRI PRN - 729    | Alfa laval MAB 103B-24  | 9         | Alfa laval MAB 103B-24  | 8         |
| 6. | KRI rigel - 933  | Alfa laval MIB 303 S-13 | 2         | Alfa laval MIB 303 S-13 | 2         |
| 7. | KRI Spica - 934  | Alfa laval MIB 303 S-13 | 2         | Alfa laval MIB 303 S-13 | 2         |

Sumber: Dirlog, Pushidros (2016)

Herry (2015), mengusulkan penerapan metode *Fuzzy* dan *TOPSIS* pada *FMEA* untuk menentukan komponen kritis serta prioritas perbaikan dari berbagai alternatif yang terpilih terhadap kerusakan komponen diterapkan pada sistem Radar Navigasi *Sperry Marine*, sehingga diharapkan dengan penerapan metode ini dapat meningkatkan kinerja operasional KRI. Dalam penelitian tersebut belum mempertimbangkan penentuan interval waktu penggantian komponen kritis dan biaya optimal pemeliharaan/perawatan. Permasalahan anggaran sering kali menjadi pemicu pemeliharaan yang dilaksanakan selama ini hanya terpaku pada buku petunjuk *technical order* dimana kurang memperhitungkan sisa usia pakai sebuah komponen atau dengan kata lain selama komponen belum mengalami kerusakan maka komponen tersebut akan tetap digunakan. Hal ini pada suatu saat, justru akan mengakibatkan *penalty cost* yang cukup besar apabila diterapkan kebijakan melaksanakan pemeliharaan secara terus menerus akan mengakibatkan beban anggaran yang tinggi.

Dalam rencana penelitian ini diusulkan model *Failure Mode Effects and Criticality Analysis* (FMECA) dalam menentukan interval waktu penggantian komponen kritis Separator Alfa Laval MAB 103B-24 dengan mempertimbangkan optimasi biaya pemeliharaan dalam meningkatkan nilai keandalannya. Menurut Rausand (2005), FMECA adalah sebuah metodologi untuk mengidentifikasi dan menganalisis semua mode kegagalan potensial dari berbagai bagian dari sistem, efek kegagalan tersebut terhadap sistem, bagaimana menghindari kegagalan dan atau mengurangi dampak dari kegagalan pada sistem.

## 2. Landasan Teori

### 2.1 Separator

Separator bahan bakar adalah salah satu pesawat yang terdapat pada kapal yang berfungsi untuk memisahkan bahan bakar dengan kotoran dan air. Pada kapal survei, separator bahan bakar sering mengalami beberapa kerusakan sehingga proses suplai bahan bakar tidak dapat berjalan dengan baik.

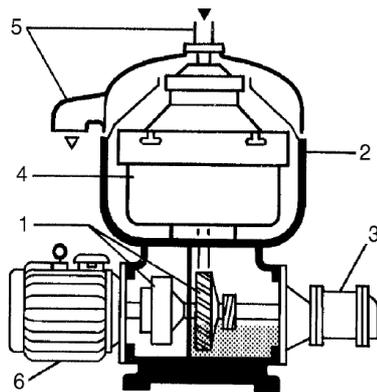
Pada setiap mesin yang menggunakan bahan bakar sebagai penghasil tenaga pada ruang bakar, tentunya akan memerlukan kualitas bahan bakar dan minyak pelumas yang optimal. Oleh karena itu pemakaian dan perawatan bahan bakar dan minyak pelumas perlu diperhatikan untuk menjaga kualitasnya. Maksud dari perawatan tersebut adalah agar bahan bakar dan minyak pelumas selalu dalam kondisi yang baik, sehingga mesin dapat beroperasi dengan optimal dan memiliki usia pakai yang maksimal. Untuk menghindari terjadinya suatu masalah pada mesin diesel khususnya dalam hal yang berhubungan dengan penggunaan bahan bakar, maka diadakan suatu system pembersihan bahan bakar yang dimulai sejak bahan bakar berada dalam tangki utama, tangki pengendapan dan selanjutnya diteruskan melalui separator untuk ditampung di service tank dengan harapan bahwa bahan bakar sudah dalam keadaan bebas polutan dan siap digunakan.

Separator Alfa Laval MAB 103B-24 terdiri dari bagian pemroses dan penggerak, pada bagian penggeraknya di gerakkan oleh motor listrik (6). Secara teknis, separator tersusun atas bagian bawah, bagian atas, dan penampung. Motor separator terpasang pada badan separator dan pada bagian bawah memiliki peredam getaran yang terlihat seperti pada ilustrasi di bawah

Pada bagian bawah separator terdapat komponen penggerak horizontal (1), yaitu berupa poros penggerak yang dilengkapi dengan kopling, roda gigi cacing dan poros vertikal. Pada bagian bawah separator juga terdapat penampung oli untuk melumasi roda gigi cacing, rem, dan indikator kecepatan putaran.

Pada separator terdapat pompa (3) yang terpasang pada poros penggerak dan berada di samping dari bagian bawah separator. Pompa tersebut memiliki dua fungsi yaitu sebagai pompa isap dan pompa tekan.

Pada bagian atas dan penampung berisi bagian pemroses dari separator, pipa isap dan tekan. Cairan dibersihkan dalam bowl separator (4) yang terpasang pada bagian poros vertikal dan berputar pada kecepatan tinggi di dalam ruang antara bagian atas dan penampung.



Keterangan :

1. Komponen penggerak horizontal
2. Penampung
3. Pompa isap dan tekan
4. Bowl separator
5. Saluran masuk dan keluar
6. Motor listrik

Gambar 2.3 bagian utama separator  
(Sumber: *manual book Separator Alfa Laval MAB 103B-24*)

## 2.2 Failure Modes Effects and Criticality Analysis (FMECA)

FMECA pada awalnya dikembangkan oleh *National Aeronautics and space Administration* (NASA) yang bertujuan untuk meningkatkan dan memverifikasi keandalan *Hardware* program antariksa MIL-STD-785 yang berjudul *Reliability Program for System and Equipment Development and Production* mengulas prosedur untuk melakukan FMECA pada peralatan atau atau sistem. Adapun MIL-STD-1629 merupakan standar militer yang menetapkan persyaratan dan prosedur melakukan FMECA, untuk mengevaluasi dan mendokumentasikan dampak potensial dari setiap kegagalan fungsional atau *hardware* pada keberhasilan misi, keamanan personil dan sistem, pemeliharaan dan kinerja sistem.

Menurut Rausand (2005), mendefinisikan FMECA adalah sebuah metodologi untuk mengidentifikasi dan menganalisis:

- a. Semua mode kegagalan potensial dari berbagai bagian dari sistem
- b. Efek kegagalan tersebut terhadap sistem

Bagaimana menghindari kegagalan dan atau mengurangi dampak dari kegagalan pada sistem.

Prosedur *Failure Modes Effects and Criticality Analysis (FMECA)* secara garis besar dapat meliputi beberapa langkah secara sistematis diantaranya (Modarres, M at all, 2009) :

- a. Mengidentifikasi semua failure modes potensial dan penyebabnya.
- b. Evaluasi dampak pada setiap failure modes dalam sistem.
- c. Mengidentifikasi metode dalam mendeteksi kerusakan/kegagalan.
- d. Mengidentifikasi pengukuran korektif untuk failre modes.
- e. Akses frekuensi dan tingkat kepentingan dari kerusakan-kerusakan penting untuk analisa kritis, dimana dapat diaplikasikan.

Sedangkan menurut Zafiropoulos dan Dialynas (2005), langkah-langkah dasar dalam FMECA konvensional meliputi :

- a. Mendefinisikan sistem, yang meliputi identifikasi fungsi internal dan *interface*, kinerja yang diharapkan dalam berbagai tingkatan kompleksitas, pembatasan sistem dan definisi kegagalan.
- b. Melakukan analisis fungsional, yang mengilustrasikan kegiatan operasi keterkaitan, dan ketergantungan entitas fungsional.
- c. Mengidentifikasi *failure mode* dan dampaknya, seluruh *failure mode* potensial dari item dan *interface* diidentifikasi dan dampaknya terhadap fungsi langsung, *item* dan sistem harus didefinisikan secara jelas.
- d. Menentukan *severity rating* (S) dari *failure mode*, yang mengacu kepada seberapa serius dampak atau efek dari *failure mode*.
- e. Menentukan *occurance rating* (O) dari frekwensi terjadinya *failure mode* dan analisis kekrittisan failure mode. Dengan asumsi bahwa komponen sistem cenderung akan mengalami kegagalan dalam berbagai cara, informasi ini digunakan untuk menggambarkan aspek yang paling kritis dari desai sistem.
- f. Menentukan *Detection rating* (D) dari *design control criteria* terjadinya *failure mode*.
- g. *Risk Priority Number* (RPN) merupakan hasil perkalian bobot *Severity*, *Occurance* dan *Detection*. Hasil ini akan dapat menentukan komponen kritis.

$$RPN = Severity (S) \times Occurance (O) \times Detection (D)$$

Beberapa ahli berpendapat bahwa faktor-faktor *S*, *O* dan *D* tidak mudah dievaluasi secara akurat. Upaya evaluasi dilakukan secara linguistik (Wang et all, 2009).

Tabel 2.1 *Severity Index*

| Rating | Effect                                     | Severity Effect   |
|--------|--|---|
| 10     | <i>Hazardous without warning (HWOW)</i>    | Tingkat keperahan sangat tinggi ketika mode kegagalan potensial mempengaruhi sistem safety tanpa peringatan   |
| 9      | <i>Hazardous with warning (HWW)</i>        | Tingkat keperahan sangat tinggi ketika mode kegagalan potensial mempengaruhi sistem safety dengan peringatan  |
| 8      |  | Sistem tidak dapat beroperasi , kegagalan yang menyebabkan kerusakan / failure tanpa membahayakan keselamatan |
| 7      | <i>Very High (VH)</i>                      | Sistem tidak dapat beroperasi dengan kerusakan peralatan  |
| 6      | <i>High (H)</i>                            | Sistem tidak dapat beroperasi dengan kerusakan kecil (Minor)  |
| 5      | <i>Moderate (M)</i>                        | Sistem tidak dapat beroperasi tanpa kegagalan   |
| 4      | <i>Low (L)</i>                             | Sistem dapat beroperasi dengan kinerja mengalami penurunan signifikan   |
| 3      | <i>Very Low (VL)</i>                       | Sistem dapat beroperasi dengan kinerja mengalami beberapa penurunan   |
| 2      | <i>Minor (MR)</i>                          | Sistem dapat beroperasi dengan sedikit gangguan   |
| 1      | <i>Very Minor (VMR)</i><br><i>None (N)</i> | Tidak ada pengaruh  |

Sumber : Wang

et all (2009)

Tabel 2.2 Occurance Index

| <b>Rating</b> | <b>Probability of occurrence</b>                               | <b>Failure probability</b> |
|---------------|--|----------------------------|
| 10            | <i>Very High (VH)</i> : Kegagalan hampir tidak dapat dihindari | > 1 in 2                   |
| 9             | <i>High (H)</i> : Kegagalan berulang                           | 1 in 3                     |
| 8             |  | 1 in 8                     |
| 7             |  | 1 in 20                    |
| 6             | <i>Moderate (M)</i> : Kegagalan sesekali                       | 1 in 80                    |
| 5             |  | 1 in 400                   |
| 4             |  | 1 in 8000                  |
| 3             | <i>Low (L)</i> : Relatif sedikit kegagalan                     | 1 in 15000                 |
| 2             |  | 1 in 150000                |
| 1             |  | < 1 in 150000              |

Sumber : Wang et all (2009)

Tabel 2.3 Detection Index

| <b>Rating</b> | <b>Detection</b>                | <b>Kemungkinan Deteksi oleh alat pengontrol</b>   |
|---------------|---------------------------------|---|
| 10            | <i>Absolute Uncertainly(AU)</i> | Tidak ada alat pengontrol yang mampu mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya.    |
| 9             | <i>Very remote (VR)</i>         | Sangat kecil kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya.  |
| 8             | <i>Remote (R)</i>               | Kecil kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya.         |
| 7             | <i>Very Low (VL)</i>            | Sangat rendah kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya. |
| 6             | <i>Low (L)</i>                  | Rendah kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya.        |
| 5             | <i>Moderate (M)</i>             | Sedang kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya.        |
| 4             | <i>Moderately High (MH)</i>     | Sangat sedang kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya. |
| 3             | <i>High (H)</i>                 | Tinggi kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya.        |
| 2             | <i>Very High (VH)</i>           | Sangat tinggi kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya. |
| 1             | <i>Almost Certain (AC)</i>      | Hampir pasti kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya.  |

Sumber : Wang et all (2009)

## 2.3 Distribusi Probabilitas

### 2.3.1 Distribusi Weibull

Distribusi Weibull banyak digunakan dalam analisa keandalan, terutama untuk melakukan perhitungan umur komponen. Jenis distribusi ini juga merupakan salah satu dari distribusi yang paling banyak digunakan dibidang rekayasa keandalan, hal ini dikarenakan distribusi tersebut memiliki kemampuan untuk memodelkan data-data yang berbeda dan banyak dengan pengaturan nilai parameter bentuk  $\beta$ . Menurut Jardine (1973), Distribusi Weibull dapat disajikan dalam bentuk dua atau tiga parameter. Fungsi *pdf* dari ketiga parameter distribusi Weibull dinyatakan dengan

$$MRL(t) = \frac{1}{R(t)} \left[ MTTF - \int_0^t R(t) dt \right] \quad (1)$$

dimana :

$\beta$  = parameter bentuk,  $\beta > 0$

$\eta$  = parameter skala,  $\eta > 0$

$\gamma$  = parameter lokasi,  $\gamma <$  waktu kerusakan pertama kali

Fungsi keandalan distribusi Weibull dapat dinyatakan dengan :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (2)$$

Fungsi keandalan distribusi *weibull* dapat dinyatakan dengan

$$R(t) = e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (3)$$

Laju kerusakan dapat dinyatakan dengan :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (4)$$

Jika  $\gamma = 0$  maka diperoleh distribusi Weibull dengan dua parameter.

Jika  $\beta > 1$ , maka *pdf* pada  $t = \gamma$  besar *pdf* sama dengan nol begitu juga laju kerusakan sama dengan nol, konsekuensinya nilai keandalannya  $R(t) = 1$ , lihat persamaan (15) untuk *pdf* dan persamaan (16)  $R(t)$  serta persamaan (17) untuk  $\lambda(t)$ . Semakin besar nilai  $\eta$  suatu komponen, maka probabilitas komponen tersebut rusak akan semakin kecil (persamaan 16). Jika nilai  $\eta$  komponen A lebih besar dari pada komponen B, maka nilai keandalan komponen B lebih cepat menurun dari pada komponen A.

### 2.3.2 Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial banyak digunakan dalam rekayasa keandalan, karena distribusi ini dapat mempresentasikan fenomena distribusi waktu yang mengalami kegagalan dari suatu komponen/sistem. Menurut Abdullah Alkaff (1992), fungsi kepadatan distribusi eksponensial dinyatakan dalam persamaan :

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} ; t > 0, \lambda > 0 \quad (5)$$

dan fungsi distribusi kumulatifnya adalah :

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (6)$$

Dimana :

t = waktu

$\lambda$  = Rasio kegagalan konstan (*constan failure rate*)

Fungsi keandalannya adalah :

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\lambda t} \quad (7)$$

Laju kerusakan (*failure rate*) :

$$\lambda(t) = \frac{f(T)}{R(t)} = \lambda \quad (8)$$

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \frac{1}{\lambda} \quad (9)$$

### 2.3.3 Distribusi Normal

Menurut Jardine (1973), distribusi normal (Gaussian) berguna untuk menggambarkan pengaruh penambahan waktu ketika dapat menspesifikasikan waktu antar kerusakan berhubungan dengan ketidakpastian, distribusi normal mempunyai rumusan sebagai berikut :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[\frac{-(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (10)$$

untuk  $-\infty \leq t \leq \infty$

dimana :

$\sigma$  = deviasi standar dari variabel acak T

$\mu$  = rata-rata dari variabel acak T

Dan fungsi distribusi kumulatifnya adalah :

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[\frac{-(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt \quad (11)$$

Fungsi keandalan dari distribusi normal adalah

$$R(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[\frac{-(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt \quad (12)$$

Laju kerusakan dari distribusi normal dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$\lambda(t) = \frac{\exp\left[-(t-\mu)^2 / 2\sigma^2\right]}{\int_t^{\infty} \exp\left[-(t-\mu)^2 / 2\sigma^2\right] dt} \quad (13)$$

## 3. Metode Penelitian

### 3.1 Model FMECA dalam Penentuan Komponen Kritis

Langkah-langkah Model *Failure Mode Effects and Criticality Analysis (FMECA)* dijabarkan sesuai dengan diagram alir penelitian sebagai berikut:

- a. Mengidentifikasi sistem Radar JRC JMA 5310, yang meliputi identifikasi fungsi internal dan *interface*, kinerja yang diharapkan dalam berbagai tingkatan kompleksitas, pembatasan sistem dan definisi kegagalan.
- b. Mengidentifikasi mode kerusakan potensial, seluruh *failure mode* potensial dari item dan *interface* diidentifikasi dan dampaknya terhadap fungsi langsung, item dan sistem harus didefinisikan secara jelas.

- c. Menentukan *severity rating* (S) dari *failure mode*, mengacu kepada seberapa serius dampak atau efek dari *failure mode*.
- d. Menentukan *occurrence rating* (O) dari frekuensi terjadinya *failure mode* dan analisis kekritisitas *failure mode*. Dengan asumsi bahwa komponen sistem cenderung akan mengalami kegagalan dalam berbagai cara, informasi ini digunakan untuk menggambarkan aspek yang paling kritis dari desain sistem.
- e. Menentukan *detection rating* (D) dari *design control criteria* terjadinya *failure mode*.
- f. Menghitung *Risk Priority Number (RPN)* untuk mengidentifikasi penentuan komponen kritis Radar JRC JMA 5310.  

$$RPN = Severity (S) \times Occurance (O) \times Detection (D)$$
- g. Hasil kumulatif komponen yang memiliki nilai RPN yang tinggi dipilih sebagai kandidat komponen kritis.

### 3.2 Risk Matrix

Langkah selanjutnya melaksanakan analisa kekritisitas komponen menggunakan *risk matrix* sesuai kriteria yang telah ditentukan. Hasil akhir yang diperoleh adalah item-item yang termasuk dalam *rating of risk* "tinggi" berdasarkan *risk matrix*. Keseluruhan hasil analisa model FMECA dan *risk matrix* selanjutnya akan yang disajikan dalam bentuk FMECA *Worksheet*. Tabel 3.1 menunjukkan kategori-kategori kerusakan berdasarkan tingkat pengaruhnya terhadap sistem ataupun personel.

Tabel 3.1 *Severity of Consequences*

| <b>Severity of Consequences</b> |   |
|---------------------------------|---|
| Kategori                        | Definisi  |
| <i>Catastrophic (I)</i>         | Menyebabkan sistem <i>shutdown</i>                  |
| <i>Critical (II)</i>            | Sistem tidak dapat berfungsi sesuai yang ditentukan |
| <i>Marginal (III)</i>           | Sistem mengalami penurunan fungsi kinerja           |
| <i>Negligible (IV)</i>          | Sistem dapat berfungsi dengan resiko kecil          |

Tabel 3.2 *Severity of Frequency*

| <b>Severity of Frequency</b> |                       |                             |
|------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Frekuensi Kejadian           | Definisi              |                             |
|                              | Kualitatif            | Kuantitatif                 |
| <i>Frequent</i>              | Sering Terjadi        | $\geq 1 \times 10^{-3}$ jam |
| <i>Probable</i>              | Sangat Mungkin        | $\geq 1 \times 10^{-4}$ jam |
| <i>Occasional</i>            | Umum Terjadi          | $\geq 1 \times 10^{-5}$ jam |
| <i>Remote</i>                | Jarang Terjadi        | $\geq 1 \times 10^{-6}$ jam |
| <i>Improbable</i>            | Tidak Mungkin Terjadi | $< 1 \times 10^{-7}$ jam    |

Tabel 3.3 *Risk Matrix*

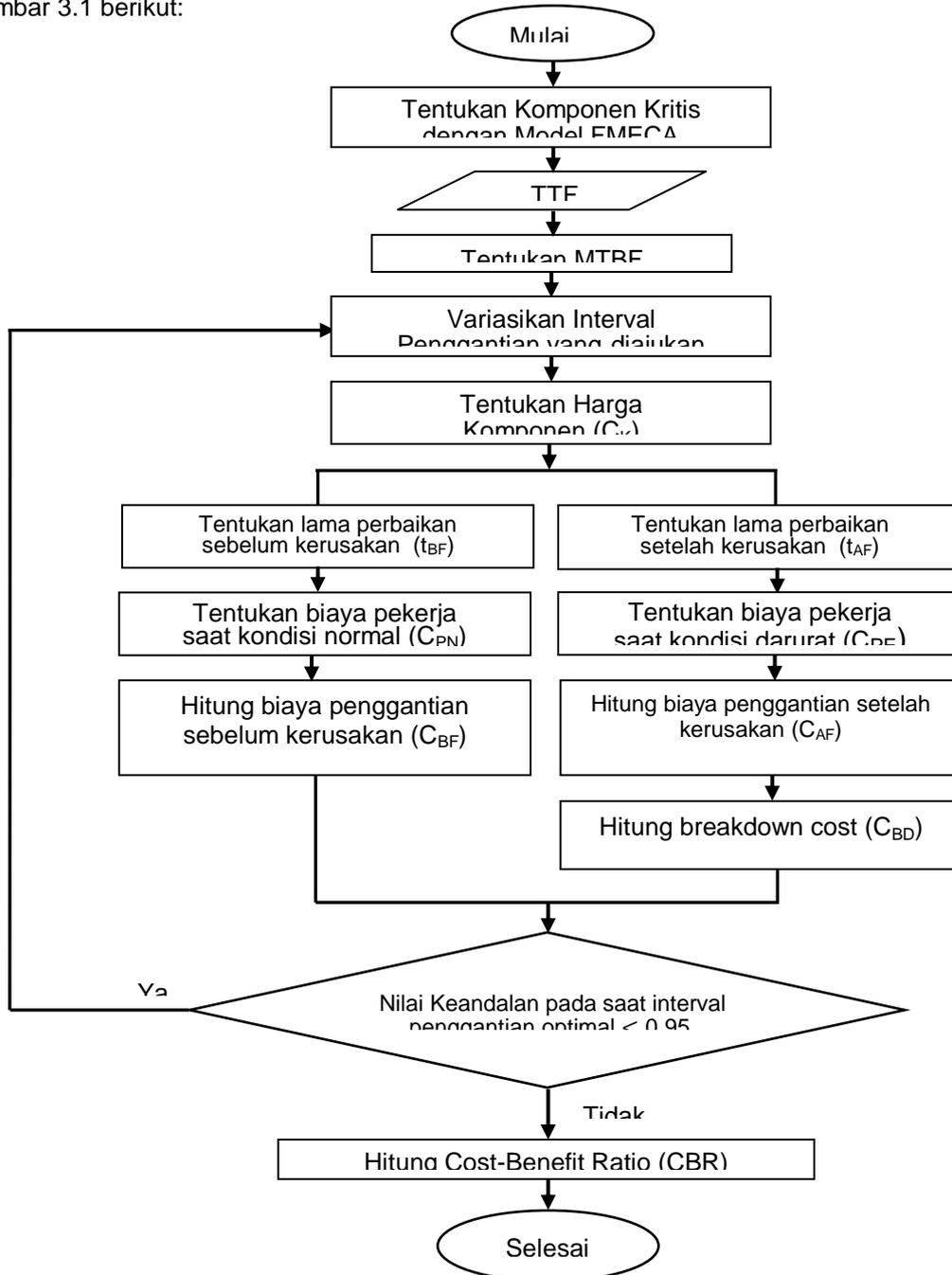
| Frekuensi                      | <i>Frequent</i> | <i>Probable</i> | <i>Occasional</i> | <i>Remote</i>  | <i>Improbable</i> |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|-------------------|
| <b><i>Catastrophic (I)</i></b> | 1               | 2               | 4                 | 8              | 12                |
|                                | Tinggi          | Tinggi          | Tinggi            | Sedang         | Sedang            |
| <b><i>Critical (II)</i></b>    | 3               | 5               | 6                 | 10             | 15                |
|                                | Tinggi          | Tinggi          | Sedang            | Dapat Diterima | Dapat Diterima    |
| <b><i>Marginal (III)</i></b>   | 7               | 9               | 11                | 14             | 17                |
|                                | Sedang          | Sedang          | Dapat Diterima    | Dapat Diterima | Dapat Diterima    |
| <b><i>Negligible (IV)</i></b>  | 13              | 16              | 18                | 19             | 20                |
|                                | Dapat Diterima  | Dapat Diterima  | Dapat Diterima    | Dapat Diterima | Dapat Diterima    |

Tabel 3.4 *Rating of Risk*

| Rating                           | Definisi  |
|----------------------------------|---|
| Tinggi ( <i>High</i> )           | Memerlukan perbaikan untuk mengeliminasi bahaya                         |
| Sedang ( <i>Medium</i> )         | Memerlukan tinjauan ulang terhadap dapat diterimanya resiko             |
| Dapat Diterima ( <i>Accept</i> ) | Resiko yang dapat diterima ditinjau sebagai rancangan yang sudah matang |

### 3.3 Model Penentuan Interval Waktu Penggantian Komponen Kritis

Berdasarkan data dari nilai keandalan dan nilai MTBF yang diperoleh, dapat ditentukan interval penggantian komponen yang optimal melalui program excel. Digram alir perhitungan interval waktu penggantian dijelaskan dalam bentuk diagram alir seperti pada Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Model Penentuan Interval Waktu Penggantian Komponen Kritis

### 3.4 Model Cost Benefit Ratio (CBR) Penggantian Komponen

*Cost Benefit Ratio (CBR)* lebih rendah daripada 1 ( $CBR < 1$ ) maka kegiatan tersebut menguntungkan, dengan kata lain *Benefit* harus lebih besar dari *Cost*, sebagai ilustrasi apabila penggantian dilakukan sebelum *failure*, *benefit* yang didapat akan maksimal dan *cost* dapat ditekan tentunya akan menguntungkan. Untuk mendapatkan biaya penggantian dari masing-masing komponen menurut (Satria, 2012) dapat diuraikan berupa persamaan sebagai berikut:

$$CBR = \frac{R_{(T)} \cdot [C_K + (t_{BF} \cdot C_{PN})] + [(1 - R_{(T)}) \cdot \{C_K + (t_{AF} \cdot C_{PE}) + (t_{AF} \cdot C_{BD})\}]}{C_K + (t_{AF} \cdot C_{PE}) + (t_{AF} \cdot C_{BD})} \quad (14)$$

Dimana :

- CBR : *Cost Benefit Ratio*
- $C_K$  : Harga komponen
- $R_{(T)}$  : Keandalan (*reliability*)
- $1 - R_{(T)}$  : *Probability of failure*
- $t_{BF}$  : Waktu perbaikan sebelum komponen rusak
- $t_{AF}$  : Waktu perbaikan setelah komponen rusak
- $C_{PN}$  : Biaya pekerja saat kondisi normal/ terencana
- $C_{PE}$  : Biaya pekerja saat kondisi *emergency*
- $C_{BD}$  : Biaya saat terjadi *breakdown*

## 4. Pengumpulan dan Pengolahan Data

### 4.1 Perhitungan Data Hasil Kuesioner FMECA

Untuk memperoleh data kuesioner, penulis membuat suatu konsep pilihan yang tidak terlepas dari terminologi FMECA, yang berisi tentang identifikasi resiko mode kerusakan komponen dan identifikasi kriteria penilaian resiko mode kerusakan komponen. Yang menjadi *expert* dalam kuesioner ini adalah Kepala Dinas Perbekalan dan Pemeliharaan Kapal dirlog pushidros, kepala bagian Pemeliharaan Material satsurvei, Kepala Departemen Mesin KRI pulau rote-721, KRI pulau romang-723 dan KRI pulau rempang-729 dan Tenaga Ahli.

Selanjutnya dari data hasil kuesioner diperoleh rating *severity*, *occurance*, dan *detection* masing-masing komponen yang dihimpun dari para *expert*. Dari nilai *severity*, *occurance*, dan *detection* dapat dihitung nilai RPN komponen. Nilai RPN yang didapat dari seluruh komponen selanjutnya diurutkan dari nilai yang terbesar hingga terkecil, sebagai ranking/prioritas tingkat kekritisan komponen. Rekapitulasi dan ranking hasil perhitungan nilai RPN ditampilkan dalam Tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Nilai Risk Priority Number (RPN)

| No | Komponen   | RPN  | Rangking |
|----|--|------|----------|
| 1  | Worm wheel and worm (K11)  | 8740 | 1        |
| 2  | Bowl hood (K4)   | 8640 | 2        |
| 3  | Ball bearings and top bearing springs (K18)                          | 8303 | 3        |
| 4  | Ball bearing housing indentations (K16)                              | 7866 | 4        |
| 5  | Axial play of coupling disc (K13)                                    | 7600 | 5        |
| 6  | O-rings and sealings (K10)   | 7140 | 6        |
| 7  | Radial wobble of worm wheel shaft (K12)                              | 7128 | 7        |
| 8  | Radial wobble of bowl spindle (K17)                                  | 7106 | 8        |
| 9  | Lock ring (K3)   | 6783 | 9        |
| 10 | Oil in gear housing (K14)  | 5280 | 10       |
| 11 | Bushings, wearing seals, shear pin coupling and impeller shaft (K21) | 5184 | 11       |
| 12 | Gravity disc (K6)  | 4913 | 12       |
| 13 | Bowl spindle (K15)   | 4864 | 13       |
| 14 | Bowl body (K8)   | 4725 | 14       |
| 15 | Lipseal ring (K22)   | 4608 | 15       |
| 16 | Threads of inlet pipe(s) (K1)  | 4500 | 16       |
| 17 | Position of coupling disc (K26)                                      | 4446 | 17       |
| 18 | Bowl discs (K7)  | 4352 | 18       |

|    |                            |      |    |
|----|----------------------------|------|----|
| 19 | Disc stack pressure (K9)   | 4284 | 19 |
| 20 | Friction coupling (K23)    | 4080 | 20 |
| 21 | Friction pads (K24)        | 4032 | 21 |
| 22 | Top disc (K5)              | 3808 | 22 |
| 23 | Connecting housing (K2)    | 3780 | 23 |
| 24 | Rubber cushions (K25)      | 2808 | 24 |
| 25 | Spring and brake shoe(K19) | 2184 | 25 |
| 26 | Brake plug (K20)           | 2016 | 26 |

#### 4.2 Penentuan Komponen Kritis

Data hasil analisa *severity of consequence* dan *severity of frequency* tiap-tiap komponen diatas selanjutnya diolah kedalam *risk matrix* untuk mengklasifikasikan *rating of risk* komponen sesuai kriteria yang ditentukan seperti pada Tabel 3.3 dengan kombinasi antara tingkat konsekuensi kerusakan dan potensi tingkat frekuensi kejadian. Sehingga komponen yang termasuk dalam *severity of consequence* “catastrophic” ataupun “critical” belum tentu termasuk dalam klasifikasi komponen kritis yang dimaksud. Begitu pula komponen dengan frekuensi kerusakan yang sangat tinggi (*probable*) belum dapat dipastikan termasuk dalam kategori komponen kritis. Komponen kritis yang dimaksud dalam tulisan ini adalah komponen dengan kategori *rating of risk* “tinggi” berdasarkan hasil analisa *risk matrix* dalam metode FMECA. Hal ini dikarenakan komponen dengan tingkat resiko tinggi tersebut memiliki rata-rata tingkat frekuensi kejadian dan tingkat keparahan dampak kerusakan yang lebih tinggi jika dibandingkan komponen lainnya yang termasuk dalam kategori *rating of risk* “sedang” dan “dapat diterima”. Berikut adalah hasil analisa *risk matrix* tiap-tiap komponen disajikan dalam Tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.2 *Rating of Risk* Komponen

| No | Komponen   | Rating of Risk |
|----|--|----------------|
| 1  | Worm wheel and worm (K11)  | Tinggi         |
| 2  | Bowl hood (K4)   | Tinggi         |
| 3  | Ball and top bearing springs (K18)                                   | Tinggi         |
| 4  | Ball bearing housing (K16)   | Tinggi         |
| 5  | Axial play of coupling disc (K13)                                    | Tinggi         |
| 6  | O-rings and sealings (K10)   | Tinggi         |
| 7  | Radial wobble of wheel shaft (K12)                                   | Sedang         |
| 8  | Radial wobble of bowl spindle (K17)                                  | Sedang         |
| 9  | Lock ring (K3)   | Tinggi         |
| 10 | Oil in gear housing (K14)  | Dapat Diterima |
| 11 | Bushings, wearing seals, shear pin coupling and impeller shaft (K21) | Dapat Diterima |
| 12 | Gravity disc (K6)  | Dapat Diterima |
| 13 | Bowl spindle (K15)   | Dapat Diterima |
| 14 | Bowl body (K8)   | Dapat Diterima |
| 15 | Lipseal ring (K22)   | Dapat Diterima |
| 16 | Threads of inlet pipe(s) (K1)  | Dapat Diterima |
| 17 | Position of coupling disc (K26)                                      | Dapat Diterima |
| 18 | Bowl discs (K7)  | Dapat Diterima |
| 19 | Disc stack pressure (K9)   | Dapat Diterima |
| 20 | Friction coupling (K23)  | Dapat Diterima |
| 21 | Friction pads (K24)  | Dapat Diterima |
| 22 | Top disc (K5)  | Dapat Diterima |
| 23 | Connecting housing (K2)  | Dapat Diterima |
| 24 | Rubber cushions (K25)  | Dapat Diterima |
| 25 | Spring and brake shoe(K19)   | Dapat Diterima |

Berdasarkan *rating of risk*, dari 26 komponen yang dianalisa didapat komponen kritis yang memiliki resiko dan RPN yang tinggi di tunjukkan pada Tabel 4.3 sebagai berikut:

Tabel 4.3 Komponen Kritis

| No | Komponen                           | Kategori            |                   | Risk Matrix | RPN  |
|----|------------------------------------|---------------------|-------------------|-------------|------|
| 1  | Worm wheel and worm (K11)          | <i>Catastrophic</i> | <i>Probable</i>   | Tinggi      | 8740 |
| 2  | <i>Bowl hood (K4)</i>              | <i>Critical</i>     | <i>Probable</i>   | Tinggi      | 8640 |
| 3  | Ball and top bearing springs (K18) | <i>Critical</i>     | <i>Probable</i>   | Tinggi      | 8303 |
| 4  | Ball bearing housing (K16)         | <i>Catastrophic</i> | <i>Occasional</i> | Tinggi      | 7866 |
| 5  | Axial play of coupling disc (K13)  | <i>Critical</i>     | <i>Probable</i>   | Tinggi      | 7600 |
| 6  | O-rings and sealings (K10)         | <i>Critical</i>     | <i>Probable</i>   | Tinggi      | 7140 |
| 7  | Lock ring (K3)                     | <i>Critical</i>     | <i>Probable</i>   | Tinggi      | 6783 |

## 5. Analisa Hasil dan Pembahasan

### 5.2 Analisa Nilai Keandalan Sebelum dilakukan Interval Penggantian

Sebelum dilakukannya perhitungan interval waktu penggantian komponen agar nilai keandalannya sesuai dengan yang diinginkan, terlebih dahulu dilakukan perhitungan nilai keandalan sebelum penggantian.

Tabel 5.1 Nilai Keandalan Komponen Sebelum Penggantian

| No | Komponen                                  | MTBF (Hari) | Reliability |
|----|---|-------------|-------------|
| 1  | <i>Worm wheel and worm (K11)</i>          | 234         | 0,428811    |
| 2  | <i>Bowl hood (K4)</i>                     | 289         | 0,473858    |
| 3  | <i>Ball and top bearing springs (K18)</i> | 298         | 0,744743    |
| 4  | <i>Ball bearing housing (K16)</i>         | 220         | 0,377270    |
| 5  | <i>Axial play of coupling disc (K13)</i>  | 278         | 0,390182    |
| 6  | <i>O-rings and sealings (K10)</i>         | 251         | 0,363076    |
| 7  | <i>Lock ring (K3)</i>                     | 295         | 0,406893    |

Dari hasil perhitungan yang ditunjukkan pada tabel 5.1 diatas dapat diketahui bahwa komponen *Ball and top bearing springs* mempunyai nilai keandalan yang paling tinggi yaitu : 0,744743, akan tetapi masih belum memenuhi target yaitu diatas 0,90 sesuai dengan ketentuan minimal dari bagian sistem bahan bakar. Sedangkan komponen yang paling rendah nilai keandalannya adalah komponen *O-rings and sealings* yaitu 0,363076. Berdasarkan data nilai keandalan komponen diatas, diperlukan penentuan interval waktu yang tepat agar nilai keandalan dari komponen tersebut dapat ditingkatkan sesuai dengan yang diharapkan.

### 5.2 Analisa Nilai Keandalan Setelah dilakukan Interval Penggantian

Setelah dilakukan perhitungan penentuan interval waktu penggantian diperoleh nilai keandalan yang baru. Perhitungan ini dengan memasukkan variasi interval waktu penggantian dan dihitung dengan menggunakan tabel parameter hasil distribusi yang sesuai (weibull 3). Batas minimum keandalan yang disyaratkan untuk suatu komponen dioperasikan yaitu 0,90 (sesuai dengan model penentuan interval waktu penggantian yang diharapkan). Tabel 5.2 berikut adalah tabel hasil perhitungan penentuan interval waktu penggantian komponen kritis.

Tabel 5.2 Nilai Keandalan Komponen Setelah Penggantian

| No | Komponen                            | MTBF (Hari) | Interval Waktu Penggantian (Hari) | Reliability |
|----|-------------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------|
| 1  | <i>Worm wheel and worm</i>          | 234         | 135                               | 0,900164    |
| 2  | <i>Bowl hood</i>                    | 289         | 195                               | 0,900156    |
| 3  | <i>Ball and top bearing springs</i> | 298         | 291                               | 0,901104    |
| 4  | <i>Ball bearing housing</i>         | 220         | 91                                | 0,904316    |
| 5  | <i>Axial play of coupling disc</i>  | 278         | 144                               | 0,901409    |
| 6  | <i>O-rings and sealings</i>         | 251         | 51                                | 0,901905    |
| 7  | <i>Lock ring</i>                    | 295         | 207                               | 0,900748    |

Dari hasil perhitungan yang ditunjukkan pada tabel 5.2 diatas menunjukkan bahwa semua komponen tingkat keandalannya sudah memenuhi target yaitu diatas 0,90 sesuai dengan ketentuan minimal dari bagian sistem bahan bakar, komponen *O-rings and sealings* memiliki waktu penggantian tercepat, selama 51 hari, sedangkan komponen dengan waktu penggantian terlama, yaitu 291 hari adalah komponen *Ball and top bearing springs*.

### 5.3 Analisa Biaya Penggantian Komponen

Pada Bab sebelumnya telah disampaikan biaya-biaya jika melakukan penggantian komponen sebelum kondisinya rusak dan setelah mengalami kerusakan . Data-data hasil perhitungan biaya penggantian komponen setelah terjadi kerusakan apabila diterapkan metode penggantian komponen sesuai dengan interval waktu yang telah diajukan/direkomendasikan untuk setiap komponen kritis, maka biaya tersebut akan menjadi benefit atau manfaat bagi penghematan anggaran pemeliharaan Separator Alfa laval MAB 103B-24.

Untuk melihat apakah penggantian komponen kritis sudah efektif dari sisi biaya, akan dijelaskan dengan menghitung *Cost Benefit Ratio (CBR)* nya. Tabel 5.3 berikut menunjukkan perhitungan CBR dari proses penggantian komponen kritis:

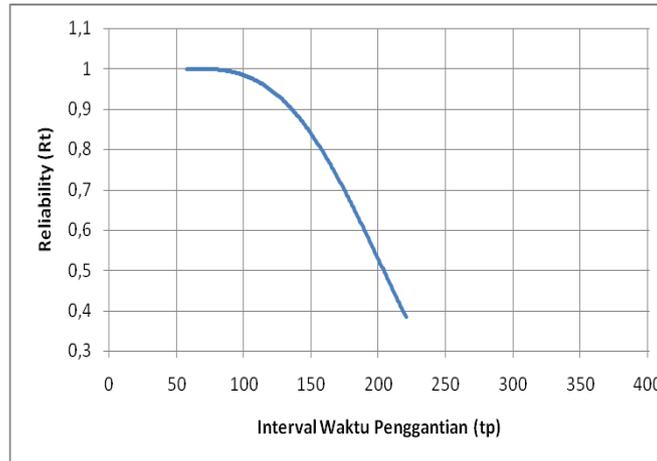
Tabel 5.3 *Cost Benefit Ratio (CBR)*

| No | Nama Komponen                       | Interval Waktu Penggantian (Hari) | Total Biaya Penggantian (Rp) | Manfaat Bila Melaksanakan Rekomendasi (Rp) | CBR      |
|----|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|--|----------|
| 1  | <i>Worm wheel and worm</i>          | 135                               | 26.715.642                   | 31.410.000                                 | 0,850546 |
| 2  | <i>Bowl hood</i>                    | 195                               | 10.773.683                   | 12.610.000                                 | 0,854376 |
| 3  | <i>Ball and top bearing springs</i> | 291                               | 4.215.146                    | 7.770.000                                  | 0,542490 |
| 4  | <i>Ball bearing housing</i>         | 91                                | 3.698.231                    | 7.840.000                                  | 0,471713 |
| 5  | <i>Axial play of coupling disc</i>  | 144                               | 9.616.336                    | 12.600.000                                 | 0,763201 |
| 6  | <i>O-rings and sealings</i>         | 51                                | 24.871.063                   | 29.574.500                                 | 0,840963 |
| 7  | <i>Lock ring</i>                    | 207                               | 2.042.100                    | 4.330.000                                  | 0,471617 |

Pada tabel 5.3 diatas menjelaskan hasil penggantian setiap komponen kritis sudah efektif jika dilihat dari sisi biaya, hal tersebut terlihat dari nilai CBR untuk setiap komponen kritis, yaitu kurang dari 1 (CBR<1).

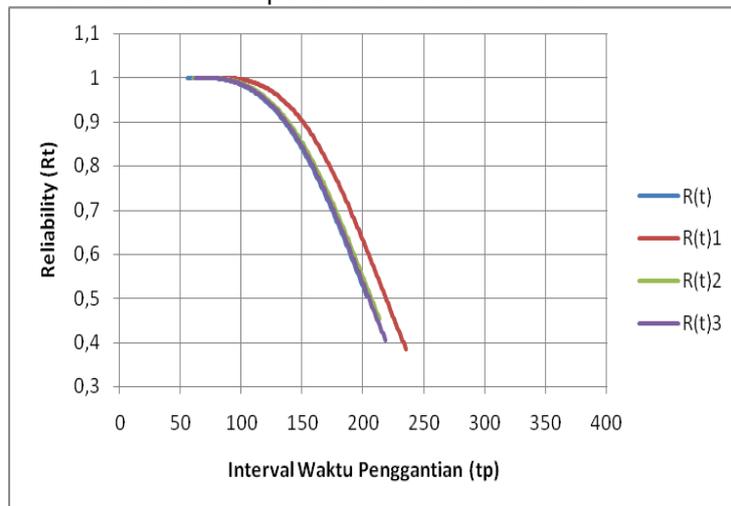
### 5.4 Analisa Sensitivitas

Reliability  $R(t)$  merupakan variabel yang langsung dapat mempengaruhi penentuan interval waktu penggantian komponen kritis, dimana didalamnya terdapat variabel interval waktu penggantian ( $t_p$ ), parameter  $\beta$  (*slope*), parameter  $Y$  (*location*), parameter  $\eta$  (*scale*). Sedangkan untuk variabel harga komponen, biaya perbaikan dan waktu perbaikan merupakan variabel baku (standar) yang cenderung nilainya relatif konstan (tetap) sehingga variabel tersebut tidak signifikan berpengaruh terhadap perubahan model yang digunakan.



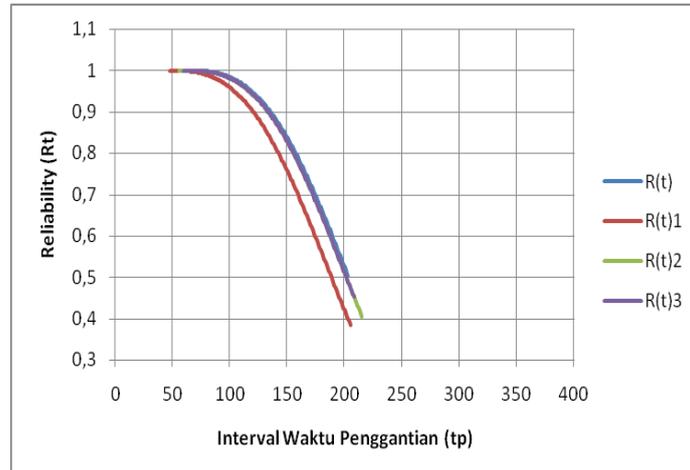
Gambar 5.1 Grafik Hubungan  $t_p$  dan  $R(t)$  Komponen *Modulator*

Hasil analisa grafik pada Gambar 5.1 menunjukkan bahwa nilai keandalan komponen akan berubah terhadap interval waktu penggantian, semakin tinggi interval waktu penggantian (waktu operasional), maka nilai keandalan komponen akan semakin rendah.



Gambar 5.2 Grafik Perbandingan Nilai  $R(t)$  Komponen *Modulator* jika Parameter  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\eta$  Dinaikkan

Gambar 5.2 menggambarkan grafik perbandingan nilai *Reliability* pada komponen *modulator*.  $R(t)$  1,  $R(t)$  2 dan  $R(t)$  3 merupakan nilai *Reliability* jika parameter  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\eta$  dinaikkan. Terlihat bahwa  $R(t)$  1 naik lebih signifikan dibandingkan  $R(t)$  2 dan  $R(t)$  3, hal ini menandakan bahwa parameter  $\beta$  lebih berpengaruh terhadap perubahan nilai *Reliability*  $R(t)$ .



Gambar 5.2 Grafik Perbandingan Nilai  $R(t)$  Komponen *Modulator* jika Parameter  $\beta$ ,  $Y$ ,  $\eta$  Diturunkan

Gambar 5.4 diatas menggambarkan grafik perbandingan nilai *Reliability* pada komponen modulator jika parameter  $\beta$ ,  $Y$ ,  $\eta$  diturunkan. Terlihat bahwa  $R(t)$  1 turun lebih signifikan dibandingkan  $R(t)$  2 dan  $R(t)$  3, hal ini juga menandakan bahwa parameter  $\beta$  lebih berpengaruh terhadap perubahan nilai *Reliability*  $R(t)$ .

## 6. Kesimpulan dan Saran

Dari analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan model *Failure Mode Effect and Criticality Analysis (FMECA)* melalui perhitungan *Risk Priority Number (RPN)* dan *Risk Matrix*, maka dapat ditentukan dari 26 komponen diperoleh 7 komponen yang memiliki nilai RPN tertinggi dan nilai *Risk Matrix* tinggi, yaitu komponen *Worm wheel and worm*, *Bowl hood*, *Ball and top bearing springs*, *Ball bearing housing*, *Axial play of coupling disc*, *O-rings and sealings*, *Lock ring*. Komponen *Worm wheel and worm* memiliki nilai RPN tertinggi, yaitu 8740 dan komponen *Lock ring* memiliki RPN terendah, yaitu 6783.
2. Dalam perhitungan penentuan interval waktu penggantian terhadap semua komponen kritis diperoleh hasil interval waktu penggantian komponen yang tercepat adalah komponen *O-rings and sealings*, yaitu 51 hari dan komponen dengan interval waktu penggantian terlama adalah komponen *Ball and top bearing springs*, yaitu 291 hari. Sedangkan untuk komponen lainnya, *Lock ring* 207 hari, *Bowl hood* 195 hari, *Axial play of coupling disc* 144 hari, *Worm wheel and worm* 135 hari, *Ball bearing housing* 91 hari.
3. Berdasarkan analisa dapat diketahui bahwa biaya penggantian komponen dapat disimpulkan sudah efisien, dimana nilai *Cost Benefit Ratio (CBR)* sudah kurang dari 1 ( $CBR < 1$ )., hal tersebut terlihat dari nilai CBR setiap komponen kritis, yaitu *Worm wheel and worm* 0,850546, *Bowl hood* 0,854376, *Ball and top bearing springs* 0,542490, *Ball bearing housing* 0,471713, *Axial play of coupling disc* 0,763201, *O-rings and sealings* 0,840963, *Lock ring* 0,471617.
4. Dari uji sensitivitas diketahui bahwa variabel *Reliability*  $R(t)$  sangat berpengaruh terhadap perubahan penentuan interval waktu penggantian ( $tp$ ) komponen kritis, dimana didalamnya terdapat parameter  $\beta$  (*slope*), parameter  $Y$  (*location*), dan parameter  $\eta$  (*scale*). Parameter  $\beta$  (*slope*) lebih berpengaruh terhadap perubahan nilai *Reliability*  $R(t)$ .

Berdasarkan upaya-upaya yang telah dilakukan dalam penelitian ini dan pengembangan kedepan, penulis merasa perlu memberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Perlu adanya tindak lanjut hasil penelitian agar metode penentuan interval waktu penggantian komponen dapat memberikan kontribusi bagi upaya pemeliharaan Separator Alfa Laval MAB 103B-24.

2. Perlunya evaluasi terhadap metode-metode perawatan terutama Separator Alfa Laval MAB 103B-24 yang telah dilaksanakan selama ini, agar kesiapan operasionalnya dapat mendukung tugas pokok TNI AL, yaitu menjaga kedaulatan laut NKRI.
3. Perlu adanya pencatatan jurnal kerusakan yang lebih baik sesuai dengan jam operasi sehingga akan mempermudah dalam menentukan prioritas perbaikan yang akan dilaksanakan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Alkaff, A. (1992), *Teknik Keandalan Sistem*, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri ITS, Surabaya.
- Anthony, L. (2009), *Risk Analysis of Complex and Uncertain Systems*, Springer, New York.
- Catelani, M. (2013), 'Electrical Performances Optimization of Photovoltaic Modules with FMECA Approach', *Journal of Measurement*, 46, 3898-3909.
- Deng, Y. (2015), 'A Research on Subway Physical Vulnerability Based on Network Theory and FMECA', *Journal of Safety Science*, 80, 127-134.
- Endin, T. H. (2016), Aplikasi *Failure Mode Effect And Criticality Analysis* (Fmeca) Dalam Penentuan Interval Waktu Penggantian Komponen Kritis Radar Jrc Jma 5310 Pada Kri Satuan Kapal Patroli Koarmatim, STTAL, Surabaya.
- Govil, A. K. (1983), *Reliability Engineering*, Tata Mc. Graw Hill Publication, New Dehli.
- Hayati, N. dan Rosmaini (2012), 'Failure Analysis of Tyre Production Process Using FMECA Method', *School of Manufacturing Engineering*, doi: 10.1016
- Herry (2015), *Analisa Penentuan Komponen Kritis dan Rekomendasi Tindakan Pencegahan Kerusakan dengan Menggunakan Metode FUZZY FMEA dan TOPSIS*, Pasca Sarjana, Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut, Surabaya.
- Hoyland, A. and Raussand, M. (1994), *System Reliability Theory: Models and Stastical Methods*, A Wiley-Interscience Publication, USA.
- Jardine, A.K.S. (1973), *Maintenance, Replacement and Reliability*, Pitman Publishing, Great Britain.
- Lewis, E.E. (1996), *Introduction to Reliability Engineering 2nd edition*, John Wiley and Sons Inc, New York.
- Modarres, M. (1999), *Reliability Engineering and Risk Analysis*, Marcel Dekker Inc, New York.
- NAVAIR 00-25-403 (2003), *Guidlines for the Naval Aviation Reliability Centered Maintenance Process*, Direction of Commander, Naval Air Systems Command.
- O'Connor, P. (2001), *Practical Reliability Engineering*, Third Edition, John Wiley & sons Limited in Chichester.
- Omdahl, T. P. (1988), *Reliability, Availability, and Maintainability (RAM) Dictionary*, ASQC quality press, USA.
- Rausand, M. (2004), *System Reliability Theory: Models, Stastical Methods and Applications*, Departement Productique et Automatique Nantes Cedex 3, France.
- Rhee, S. J. (2003), 'Using Cost Based FMEA to Enhance Reliability and Serviceability', *Advanced Engineering Informatics*, 17, 179-188.
- Sachdeva, A., Kumar, D. and Kumar, P. (2009), 'Multi-Factor Failure Mode Critically Analysis Using TOPSIS', *Industrial Engineering International*, 5, 1-9.
- Satria, Y. (2012), *Analisa Penentuan Interval Waktu Penggantian Komponen Kritis pada Alat Instrumentasi QCS Scanner Type 2200-2 di PT Pabrik Kertas Tjiwi Kimia*, MMT ITS, Surabaya.
- Sematech (1992), *Guidelines for Equipment Reliability*, Technology Transfer 92031014A-GEN.
- Wang, Y. M. (2009), 'Risk Evaluation in Failure Mode and Effects Analysis Using Fuzzy Weighted Geometric Mean', *Expert Systems with Applications*, 36, 1195-1207.
- Yanif, D.K. (2003), *An Investigation Into Application of Maintenance Management Concept Based on Reliability Centered Maintenance of TNI-AL Fleet*, Fakultas Teknik Kelautan ITS, Surabaya.
- Zafiroopoulos E.P. and Dialynas E.N. (2005), 'Reliability Prediction and Failure Mode Effects and Criticality Analysis of Electronic Devices Using Fuzzy Logic', *International Journal of Quality & Reliability Management*, 22, 183-200.