

**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**

Endin Tri Hartanto, Udisubakti Ciptomulyono, Ahmadi

Program Studi Analisa Sistem dan Riset Operasi,
Direktorat Pascasarjana Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut
Email : tri3hartanto@yahoo.co.id

ABSTRAK

Penggunaan radar navigasi di KRI, khusus nya di Satuan Kapal Patroli Koarmatim sangat vital sebagai alat indera jarak jauh dalam bernavigasi. Penggunaannya mutlak harus ada pada saat KRI melaksanakan operasi, sehingga kondisi kesiapan radar navigasi akan sangat mempengaruhi pelaksanaan tugas operasi yang diemban oleh Unsur-Unsur tersebut. Diperlukan manajemen pemeliharaan yang baik dan terencana untuk memperbaiki atau meniadakan 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 kritis Radar Navigasi JRC JMA 5310. 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 27 (dua puluh tujuh) komponen yang telah diidentifikasi, didapat 7 (tujuh) komponen yang dianggap kritis, yaitu *Modulator, Power Supply Scanner, Dioda Limiter, Magnetron, Receiver, Motor, Circulator*. Komponen *Modulator* memiliki nilai RPN tertinggi dengan nilai 24180 dan komponen *Plotter Control Circuit* memiliki nilai RPN terendah dengan nilai 3289.

Penentuan interval waktu penggantian komponen kritis yang telah didapat menggunakan pendekatan *Reliability* dan *Cost Benefit Ratio (CBR)*. Didapatkan hasil bahwa komponen *Dioda Limiter* memiliki waktu penggantian tercepat, yaitu 152 hari. Sedangkan komponen dengan waktu penggantian terlama, yaitu 458 hari adalah komponen *Motor* dan *Circulator*. Di dapat pula nilai CBR untuk semua komponen kritis kurang dari 1 ($CBR < 1$) menunjukkan biaya penggantian yang direkomendasikan sudah efisien. Komponen *Dioda Limiter* memiliki nilai CBR paling efisien, yaitu 0,57572. Dari analisa sensitivitas diperoleh variabel *Reliability R(t)* sangat berpengaruh terhadap perubahan penentuan interval waktu penggantian komponen kritis, dimana didalamnya terdapat parameter β (*slope*), parameter Y (*location*), dan parameter η (*scale*). Parameter β lebih berpengaruh terhadap perubahan nilai *Reliability R(t)*.

Kata kunci: FMECA, *Risk Priority Number (RPN)*, *Reliability*, Interval Waktu Pengantian, CBR.

1. Pendahuluan

Satuan Kapal Patroli Koarmatim adalah Komando Pelaksana Pembinaan yang mempunyai tugas pokok melaksanakan pembinaan kekuatan dan kemampuan tempur unsur-unsur organiknya sesuai fungsi asasinya yaitu dalam bidang peperangan anti kapal permukaan dan peperangan anti udara dalam rangka meningkatkan kemampuan tempur Armada RI Kawasan Timur. Dengan salah satu fungsinya menyusun dan mengendalikan rencana dan program di bidang pemeliharaan yang dilaksanakan oleh kapal-kapal dalam satuan sesuai siklus sistem pemeliharaan terencana dalam rangka meningkatkan kesiapan teknis unsur-unsur sesuai rencana dan program Koarmatim, tidak terkecuali dalam hal ini pemeliharaan peralatan navigasi seperti halnya radar navigasi.

Penggunaan radar navigasi di KRI, khusus nya di Satuan Kapal Patroli Koarmatim sangat vital sebagai alat indera jarak jauh dalam bernavigasi. Penggunaannya mutlak harus ada pada saat KRI melaksanakan operasi, sehingga kondisi kesiapan radar navigasi akan sangat mempengaruhi pelaksanaan tugas operasi yang diemban oleh Unsur-Unsur tersebut. Sering kali

pada saat Unsur-Unsur akan melaksanakan tugas operasi mengalami kendala pada kesiapan radar navigasi. 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 tidak menurun.

Radar navigasi JRC JMA 5310 yang ada di KRI Satrolarmatim sebanyak 4 buah radar, dimiliki oleh KRI Sura-802, KRI Kakap-811, KRI Kerapu-812 dan KRI Tongkol-813. Radar navigasi tersebut saat ini sudah berusia sekitar 7,5 tahun dengan jam operasi yang sudah melebihi 10.000 jam operasi, dengan demikian inspeksi terhadap kondisi teknis harus semakin sering dilakukan. Menurut O'Connor (2001), pemeriksaan (*inspection*) adalah tindakan yang ditujukan terhadap sistem untuk mencegah terjadinya *breakdown* secara mendadak, dan untuk mengetahui apakah sistem bekerja dengan baik sesuai dengan fungsinya.

Dari kondisi Radar JRC JMA 5310 yang ada di KRI Satrolarmatim, di perlukan suatu perencanaan pemeliharaan yang tepat untuk prioritas perbaikan. Untuk mencegah atau menghindari berbagai bentuk kerusakan, memprediksi serta menemukan suatu langkah yang mudah untuk mencegah terjadinya kerusakan. Menentukan langkah yang tepat untuk mencegah kerusakan bukan suatu hal yang mudah. Langkah tersebut mengkombinasikan persyaratan teknis dan strategi manajemen, Sachdeva et all (2009). Kejadian kerusakan pada komponen dipelajari dengan baik untuk menentukan solusi yang akan diambil berdasarkan bentuk kerusakan, efek dan biaya terhadap semua sistem. Data informasi tentang kerusakan akan membantu personil untuk menentukan tindakan perbaikan yang sesuai dan menentukan perioritas berbeda pada masing-masing komponen yang mengalami *failure*.

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 Radar Navigasi JRC JMA 5310 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.

Tabel 1.1 Penggunaan Radar Navigasi di Satrolarmatim

No	Nama KRI	Radar Navigasi			
		Radar I		Radar II	
		Merk/Type	Usia (Th)	Merk/Type	Usia(Th)
1.	KRI Pandrong - 801	JRC JMA 5322-7	2	JRC JMA 5320	3
2.	KRI Sura - 802	Sperry Marine V Master	3	JRC JMA 5310	8
3.	KRI Kakap - 811	JRC JMA 5322-7	2	JRC JMA 5310	7
4.	KRI Kerapu - 812	JRC JMA 5322-7	3	JRC JMA 5310	7
5.	KRI Tongkol - 813	JRC JMA 5322-7	2	JRC JMA 5310	8
6.	KRI Badau - 841	KH Manta Digital 1007	3	JRC JMA 2343	3
7.	KRI Salawaku - 842	KH Manta Digital 1007	3	JRC JMA 2343	3
8.	KRI Pari - 849	Sperry Marine V Master	2	JRC JMA 2300	2
9.	KRI Sidat - 851	Sperry Marine V Master	1	JRC JMA 2300	1

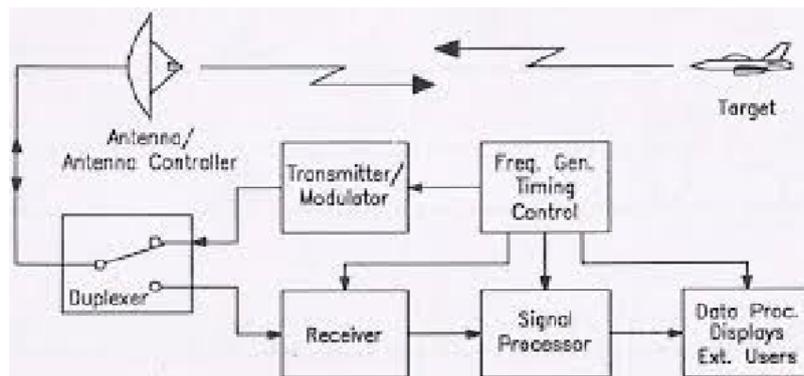
2. Landasan Teori

2.1 Radar(Radio Detection and Ranging)

Eaves (1987), kata radar berasal dari sebuah kode yang di gunakan Angkatan Laut Amerika Serikat pada tahun 1940 saat Perang Dunia II, kepanjangan dari *radio detection and ranging*. Radar merupakan sebuah sistem penginderaan jauh yang aktif, yang menyediakan sumber iluminasinya sendiri. Gelombang radio ditransmisikan sebagai pulsa dengan energi tinggi

dari energi *microwave*. Pulsa berinteraksi dengan atmosfer dan target. Porsi dari energi yang dipancarkan kembali, diterima oleh target kemudian diukur intensitas dan waktu penundaan diantara transmisi dan penerimaan sinyal yang kembali. Sinyal radar dapat ditampilkan pada *Plan Position Indicator (PPI)* atau pada tampilan sistem radar yang lain. Sebuah PPI memiliki sebuah vektor rotasi dengan radar pada sumber, dimana mengidentifikasi arah tujuan dari antena dan sudut awal target.

Sejak diketemukannya *Radar* oleh Sir Robert Watson Wat (*the Father of Radar*) pada tahun 1932 sampai saat ini telah mengalami perkembangan yang sangat cepat di bidang teknologinya. Perkembangan ini ditujukan pada penambahan efektifitas penggunaan dan penambahan efisiensi penggelaran dan pemeliharaan serta peningkatan kehandalan sistemnya. Sebagai ilustrasi, *Radar* pertama hanya mampu menangkap sasaran dan hanya mampu menunjukkan sektor dimana sasaran itu berada. Sedangkan *Radar* generasi *modern* mampu menangkap sasaran dengan menentukan koordinat sasaran secara akurat, ketinggian, jarak, kecepatan serta informasi keuntungan lainnya. Pada era globalisasi peran dan fungsi *Radar* dalam kehidupan sehari-hari manusia amat penting, indikasinya dapat dilihat dari betapa urgen kehidupan dalam masyarakat sipil dan kepentingan militer yang didukung oleh perangkat *Radar*.



Gambar 2.1 Blok Diagram Prinsip Kerja Radar (Sumber: Kaukab, 2008)

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 personel 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 peralatan
5	<i>Moderate (M)</i>	Sistem tidak dapat beroperasi dengan kerusakan kecil (Minor)
4	<i>Low (L)</i>	Sistem tidak dapat beroperasi tanpa kegagalan
3	<i>Very Low (VL)</i>	Sistem dapat beroperasi dengan kinerja mengalami penurunan signifikan
2	<i>Minor (MR)</i>	Sistem dapat beroperasi dengan kinerja mengalami beberapa penurunan
1	<i>Very Minor (VMR)</i>	Sistem dapat beroperasi dengan sedikit gangguan
	<i>None (N)</i>	Tidak ada pengaruh

Sumber : Wang

et all (2009)

Tabel 2.2 Occurance Index

Rating	Probability of occurrence	Failure probability
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

Rating	Detection	Kemungkinan Deteksi oleh alat pengontrol
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 β . 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 :

β = parameter bentuk, $\beta > 0$

η = parameter skala, $\eta > 0$

γ = 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 η suatu komponen, maka probabilitas komponen tersebut rusak akan semakin kecil (persamaan 16). Jika nilai η 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

λ = 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 pertambahan 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 :

σ = deviasi standar dari variabel acak T

μ = 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:

- 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.
- 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.
- Menentukan *severity rating (S)* dari *failure mode*, mengacu kepada seberapa serius dampak atau efek dari *failure mode*.
- 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.
- Menentukan *detection rating (D)* dari *design control criteria* terjadinya *failure mode*.
- Menghitung *Risk Priority Number (RPN)* untuk mengidentifikasi penentuan komponen kritis Radar JRC JMA 5310.

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

- Hasil kumulatif komponen yang memiliki nilai RPN yang tinggi dipilih sebagai kandidat komponen kritis.

3.2 Risk Matrix

Langkah selanjutnya melaksanakan analisa kekritisan 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 personal.

Tabel 3.1 *Severity of Consequences*

Severity of Consequences	
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*

Severity of Frequency		
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*

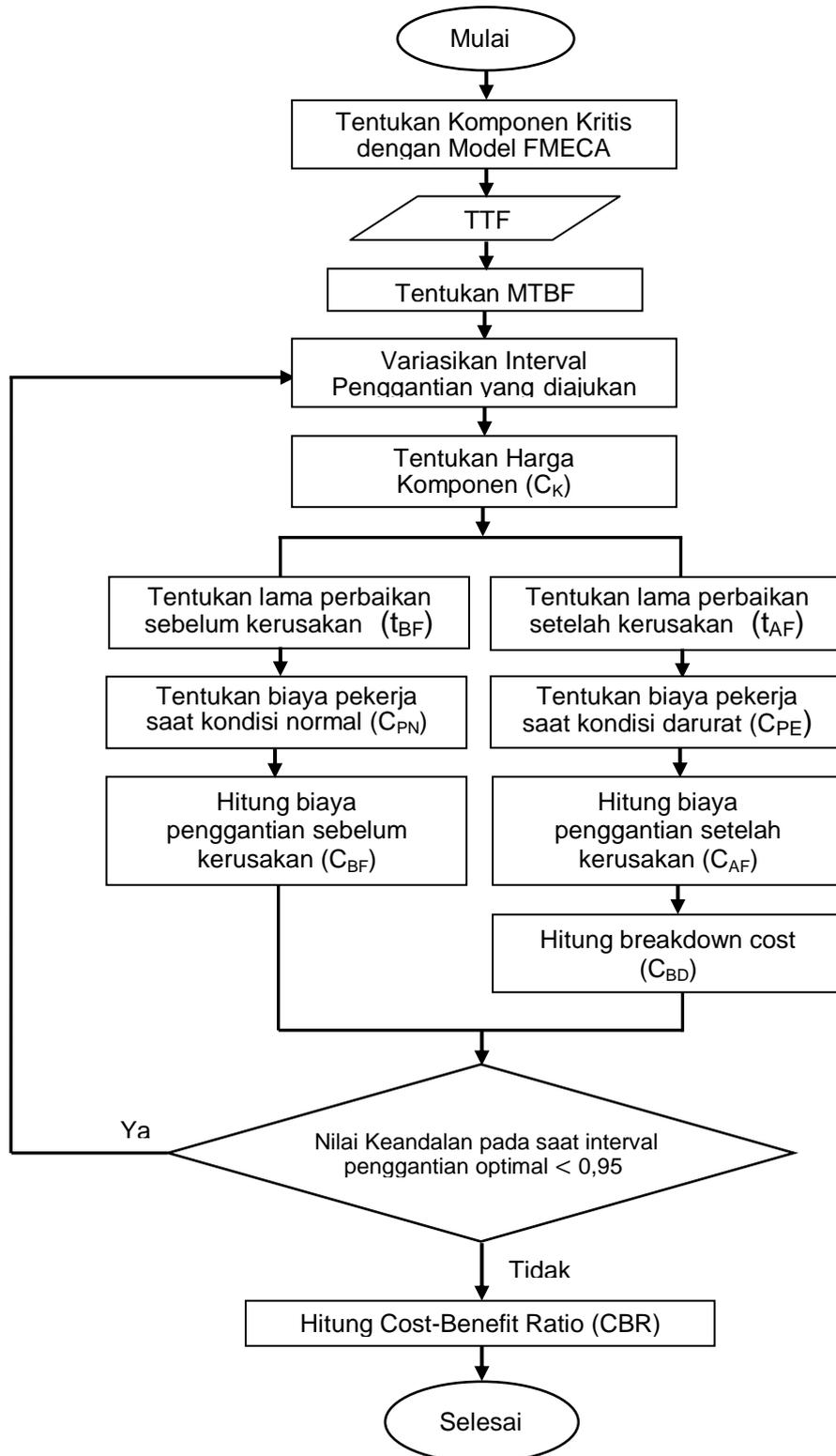
Frekuensi	<i>Frequent</i>	<i>Probable</i>	<i>Occasional</i>	<i>Remote</i>	<i>Improbable</i>
<i>Catastrophic (I)</i>	1	2	4	8	12
	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Sedang	Sedang
<i>Critical (II)</i>	3	5	6	10	15
	Tinggi	Tinggi	Sedang	Dapat Diterima	Dapat Diterima
<i>Marginal (III)</i>	7	9	11	14	17
	Sedang	Sedang	Dapat Diterima	Dapat Diterima	Dapat Diterima
<i>Negligible (IV)</i>	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 Bengkel Elektronika Fasharkan Lantamal V, Kasihar Sewaco Satrolarmatim, Kepala Departemen Elektronika KRI Sura-802 dan Direktur Teknik PT Jala Purangga Sena.

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	Modulator (K1)	24180	1
2	Power Supply Scanner (K9)	23040	2
3	Dioda Limiter (K8)	20280	3
4	Magnetron (K6)	16800	4
5	Receiver (K2)	15950	5
6	Motor (K3)	13500	6
7	Radar Processor (K10)	11648	7
8	Circulator (K7)	11220	8
9	Rotary Joint (K4)	8602	9
10	Track Ball (K22)	7524	10
11	Power Supply CPU (K18)	7500	11
12	Transformer (K23)	7475	12
13	Monitor Fan (K20)	7452	13
14	Bridge Dioda (K24)	7140	14
15	Keyboard Matrix (K21)	7106	15
16	Condensator (K25)	6804	16
17	Radiator / Antena (K5)	6336	17

18	LCD Monitor (K19)	6072	18
19	I/F Chassis (K16)	5750	19
20	Filter (K26)	5187	20
21	Terminal Board (K12)	4840	21
22	NSK Circuit (K13)	4620	22
23	ARPA (K11)	4488	23
24	I/O Circuit (K15)	4095	24
25	AIS Interface (K17)	3822	25
26	UPS (K27)	3640	26
27	Plotter Control Circuit (K14)	3289	27

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	Modulator (K1)	Tinggi
2	Power Supply Scanner (K9)	Tinggi
3	Dioda Limiter (K8)	Tinggi
4	Magnetron (K6)	Tinggi
5	Receiver (K2)	Tinggi
6	Motor (K3)	Tinggi
7	Radar Processor (K10)	Sedang
8	Circulator (K7)	Tinggi
9	Rotary Joint (K4)	Dapat Diterima
10	Track Ball (K22)	Dapat Diterima
11	Power Supply CPU (K18)	Dapat Diterima
12	Transformer (K23)	Dapat Diterima
13	Monitor Fan (K20)	Dapat Diterima
14	Bridge Dioda (K24)	Dapat Diterima
15	Keyboard Matrix (K21)	Dapat Diterima
16	Condensator (K25)	Dapat Diterima
17	Radiator / Antena (K5)	Dapat Diterima
18	LCD Monitor (K19)	Dapat Diterima
19	I/F Chassis (K16)	Dapat Diterima
20	Filter (K26)	Dapat Diterima
21	Terminal Board (K12)	Dapat Diterima
22	NSK Circuit (K13)	Dapat Diterima
23	ARPA (K11)	Dapat Diterima
24	I/O Circuit (K15)	Dapat Diterima
25	AIS Interface (K17)	Dapat Diterima
26	UPS (K27)	Dapat Diterima
27	Plotter Control Circuit (K14)	Dapat Diterima

Berdasarkan *rating of risk*, dari 27 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	Modulator	<i>Critical</i>	<i>Probable</i>	Tinggi	24180
2	Power Supply Scanner	<i>Catastrophic</i>	<i>Probable</i>	Tinggi	23040
3	Dioda Limiter	<i>Critical</i>	<i>Probable</i>	Tinggi	20280
4	Magnetron	<i>Critical</i>	<i>Probable</i>	Tinggi	16800
5	Receiver	<i>Catastrophic</i>	<i>Occasional</i>	Tinggi	15950
6	Motor	<i>Catastrophic</i>	<i>Occasional</i>	Tinggi	13500
7	Circulator	<i>Critical</i>	<i>Probable</i>	Tinggi	11220

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	Modulator	274	0,537901
2	Power Supply Scanner	273	0,551594
3	Dioda Limiter	162	0,486821
4	Magnetron	177	0,482604
5	Receiver	166	0,499164
6	Motor	464	0,442824
7	Circulator	463	0,433815

Dari hasil perhitungan yang ditunjukkan pada tabel 5.1 diatas dapat diketahui bahwa komponen *power supply scanner* mempunyai nilai keandalan yang paling tinggi yaitu : 0,551594, akan tetapi masih belum memenuhi target yaitu diatas 0,95 sesuai dengan ketentuan minimal dari bagian instrumentasi. Sedangkan komponen yang paling rendah nilai keandalannya adalah komponen *circulator* yaitu 0,433815. Berdasarkan data nilai keandalan komponen diatas, diperlukan penentuan interval waktu yang tepat agar nilai kendalan dari komponen tersebut dapat ditingkatkan sesuai dengan yang diinginkan.

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 0,95. 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	Modulator	274	234	0,953037
2	Power Supply Scanner	273	232	0,951484
3	Dioda Limiter	162	152	0,958165
4	Magnetron	177	157	0,957328
5	Receiver	166	157	0,952719
6	Motor	464	458	0,980802
7	Circulator	463	458	0,970894

Dari hasil perhitungan yang ditunjukkan pada tabel 5.3 diatas menunjukkan bahwa semua komponen tingkat keandalannya sudah memenuhi target yaitu diatas 0,95 sesuai dengan ketentuan minimal dari bagian instrument, komponen *dioda limiter* memiliki waktu penggantian tercepat, yaitu 152 hari, sedangkan komponen dengan waktu penggantian terlama, yaitu 458 hari adalah komponen *motor dan circulator*.

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 Radar JRC JMA 5310.

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:

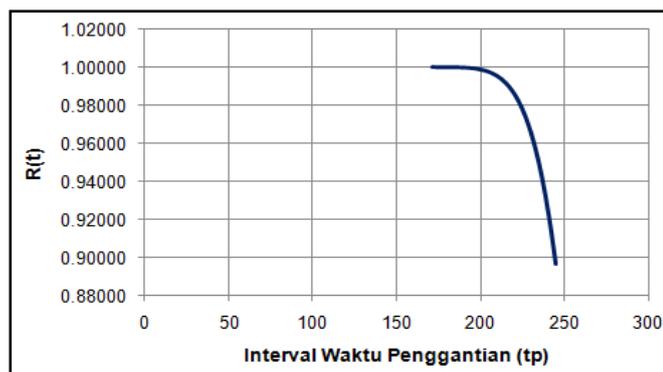
Tabel 5.3 *Cost Benefit Ratio (CBR)*

No	Nama Komponen	Interval Waktu Penggantian (Hari)	Total Biaya Penggantian (Rp)	Manfaat Bila Melaksanakan Rekomendasi (Rp)	CBR
1	Modulator	234	28.746.431	33.240.000	0,86481
2	Power Supply Scanner	232	25.403.755	29.890.000	0,84991
3	Dioda Limiter	152	4.479.121	7.780.000	0,57572
4	Magnetron	157	7.037.051	8.990.000	0,78276
5	Receiver	157	24.826.501	27.980.000	0,88729
6	Motor	458	29.127.711	34.375.000	0,84735
7	Circulator	458	6.196.341	9.410.000	0,65848

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 ($CBR < 1$).

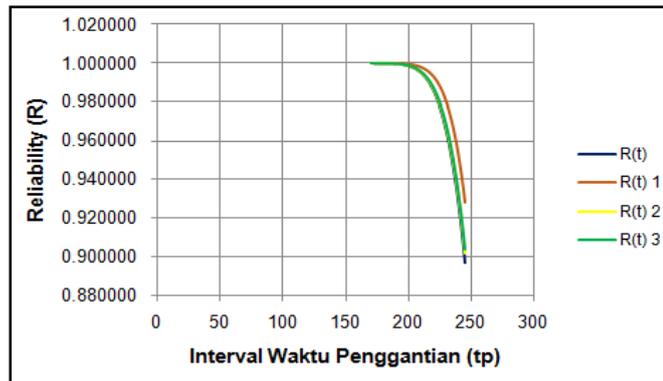
5.4 Analisa Sensitivitas

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 β (*slope*), parameter Y (*location*), parameter η (*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.



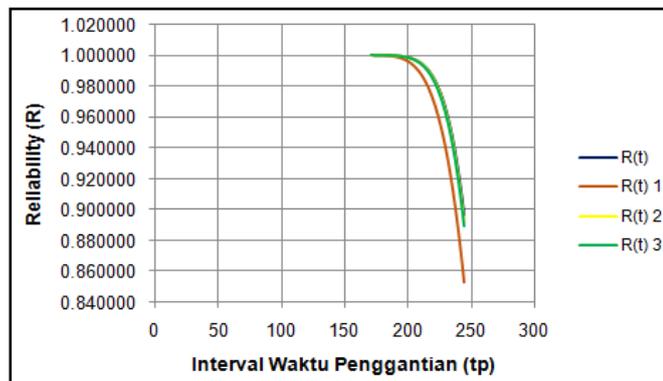
Gambar 4.1 Grafik Hubungan t_p dan $R(t)$ Komponen *Modulator*

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 β , Y , η 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 β , Y , η dinaikkan. Terlihat bahwa $R(t)$ 1 naik lebih signifikan dibandingkan $R(t)$ 2 dan $R(t)$ 3, hal ini menandakan bahwa parameter β lebih berpengaruh terhadap perubahan nilai *Reliability* $R(t)$.



Gambar 5.2 Grafik Perbandingan Nilai $R(t)$ Komponen *Modulator* jika Parameter β , Y , η Diturunkan

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

6. Kesimpulan dan Saran

Dari analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, dapat dibuat 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 27 komponen diperoleh 7 komponen yang memiliki nilai RPN tertinggi dan nilai *Risk Matrix* tinggi, yaitu komponen *modulator*, *power supply scanner*, *dioda limiter*, *magnetron*, *receiver*, *motor*, dan *circulator*. Komponen *modulator* memiliki nilai RPN tertinggi, yaitu 24180 dan komponen *Plotter Control Circuit* memiliki RPN terendah, yaitu 3289.
2. Dalam perhitungan penentuan interval waktu penggantian terhadap semua komponen kritis diperoleh hasil interval waktu penggantian komponen yang tercepat adalah komponen *dioda limiter*, yaitu 152 hari dan komponen dengan interval waktu penggantian terlama adalah

komponen *motor* dan *circulator*, yaitu 458 hari. Sedangkan untuk komponen lainnya, *modulator* 234 hari, *power supply scanner* 232 hari, *magnetron* dan *receiver* 157 hari.

3. Berdasarkan analisa dapat diketahui bahwa biaya penggantian komponen sudah disimpulkan efisien, dimana nilai *Cost Benefit Ratio* (CBR) sudah kurang dari 1 ($CBR < 1$)., hal tersebut terlihat dari nilai CBR setiap komponen kritis, yaitu *modulator* 0,86481, *power supply scanner* 0,84991, *dioda limiter* 0,57572, *magnetron* 0,78276, *receiver* 0,88729, *motor* 0,84735, dan *circulator* 0,65848.
4. Dari uji sensitivitas diketahui bahwa variabel *Reliability R(t)* sangat berpengaruh terhadap perubahan penentuan interval waktu penggantian komponen kritis, dimana didalamnya terdapat parameter β (*slope*), parameter γ (*location*), dan parameter η (*scale*). Parameter β (*slope*) lebih berpengaruh terhadap perubahan nilai *Reliability R(t)*.

Berdasarkan upaya-upaya yang telah dilakukan dalam penelitian ini, penulis merasa perlu memberikan saran-saran :

1. Perlu adanya tindak lanjut hasil penelitian agar metode penentuan interval waktu penggantian komponen dapat memberikan kontribusi bagi upaya pemeliharaan Radar Navigasi JRC JMA 5310.
2. Perlunya evaluasi terhadap metode-metode perawatan terutama Radar Navigasi JRC JMA 5310 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.
- Assauri, S. (2004), *Manajemen Produksi dan Operasi*, Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia, Jakarta.
- 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.
- Eaves, J. L. (1987), *Principles of Modern Radar*, Van Nostrand Reinhold Company Inc, New York.
- 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*, PitmanPublishing, Great Britain.
- Kaukab, M. (2008), *Rancang Bangun Simulasi Radar Mobile*, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta.
- Lewis, E.E. (1996), *Introduction to Reliability Engineering 2nd edition*, John Wiley and Sons Inc, New York.
- Manual Book JRC JMA 5310, *Marine Radar Equipment: Instruction Manual JRC JMA 5310*, Japan Radio Co. Ltd, Japan.
- 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.
- Satrolarmatim (2015), *Laporan Kondisi Teknis*, Komando RI Kawasan Timur, 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.