

OPTIMASI PEMELIHARAAN *PREVENTIVE* BERBASIS *TIME DELAY* DENGAN PENDEKATAN *MARKOV DECISION PROCESS*

David Artanto, Budisantoso, Ahmadi

Program Studi Analisa Sistem dan Riset Operasi,
Direktorat Pascasarjana Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut
e-mail : davidartanto@yahoo.com

ABSTRAK

Dalam operasional KRI, sering sebagai pengguna mengetahui adanya suatu gejala yang di prediksi bahwa sistem yang di gunakan tersebut mengalami penurunan kinerja, sehingga sistem tersebut mengalami kerusakan dan harus melakukan perbaikan dengan biaya yang tidak sedikit. Untuk mendukung sistem pemeliharaan yang berbasis *reliability*, perlu dilakukan analisa dalam menentukan laju kerusakan yang tepat, diantaranya adalah menentukan kondisi suatu sistem berbasis *time delay*. Pada konsep pemeliharaan berbasis *time delay* sebelum sistem mengalami kegagalan fungsi, sistem akan memberikan tanda yang menunjukkan berkurangnya kinerja. Implementasi dilapangan menerapkan konsep pemeliharaan berbasis *time delay* ini sulit di terapkan karena harus memiliki data yang sesuai dalam membentuk model *time delay*.

Dalam penelitian ini penulis menerapkan pemeliharaan berbasis *time delay* dengan dengan kombinasi pola kebijakan dalam operasi, selanjutnya dilakukan observasi dengan pendekatan *Markov Decision Process*. Didapatkan hasil bahwa secara umum, baik pola kebijakan 1, 2 dan 3 sesuai dalam penelitian ini, dengan menerapkan kebijakan *preventive* berbasis *time delay*, dapat meminimalkan biaya operasi dan pemeliharaan saat KRI mengalami kerusakan saat operasi.

Kata Kunci : *Time delay, Markov Decision Process, Reliability.*

1. PENDAHULUAN

Salah satu upaya untuk menjamin kesiapan KRI adalah melakukan perawatan, pemeliharaan dan perbaikan secara tepat dan optimal. Kegiatan tersebut bertujuan untuk mempertahankan tingkat keandalan KRI agar dapat berfungsi sesuai dengan kebutuhan operasional. Sistem pemeliharaan yang di gunakan TNI-AL saat ini menggunakan Sistem Pemeliharaan Terencana yang di sesuaikan dengan *maintenance handbook* dari pihak pabrikan dan atau menggunakan Petunjuk Umum Material TNI-AL (PUM TNI-AL) tahun 1983.

Perkembangan ilmu pengetahuan dewasa ini, membantu pemeriksaan pada tindakan *preventive maintenance* menjadi semakin akurat. Dengan modal pengalaman pengoperasian dan pemeliharaan yang tinggi dimungkinkan untuk menyusun sistem pemeliharaan yang berbasis *reliability*. Untuk mendukung operasional KRI dengan menerapkan sistem pemeliharaan yang berbasis *reliability*, perlu dilakukan analisa menentukan laju kerusakan yang tepat, diantaranya adalah menentukan kondisi suatu sistem berbasis *time delay*. Beberapa penelitian terdahulu telah banyak dibahas tentang sistem berbasis *time delay*, seperti yang di tulis oleh Christer dan Waller (1984), Das dan Acharya (2004), hingga penelitian pada pola kerusakan yang terakselerasi yang di modelkan oleh Putro (2008) dengan menggunakan metode *Accelerated Failure Time*.

Pada model *time delay* kesulitan dalam memodelkan *time delay* adalah bagaimana cara untuk menentukan estimasi distribusi *time delay h* dan menentukan titik awal *u*, sehingga untuk memudahkan dalam penelitian objek yang di teliti di asumsikan dalam keadaan baru, meskipun memiliki riwayat pernah di perbaiki, Christer (1987). Kesulitan-kesulitan tersebut cukup beralasan dimana model *time delay* disusun berdasarkan data awal yang mencukupi. Pada periode *u*, data didapat dari data hasil pencatatan gejala-gejala menuju kerusakan, sedangkan pada periode *h* karena asumsi pada model *time delay* dimana sistem dianggap seperti baru, maka model distribusi pada periode *h* ini didapat dari hasil-hasil penelitian yang sudah pernah dilaksanakan, data kolektif sistem yang identik, data dari pabrikan, atau data dari suatu lembaga yang memberikan laporan secara resmi ke publik.

Di Indonesia pada periode *h* ini, distribusi data sulit didapatkan dimana sebagai pengguna khususnya pada KRI, model *reliability* tidak di terapkan sehingga model pada periode *h* sulit didapat, sedangkan untuk mendapatkan data dari pabrik pembuat juga akan mengalami

kesulitan karena pihak pembuat tidak mengeluarkan hasil pengujian *reliability* suatu unit atau sistem tertentu. Untuk mengacu pada model periode h jika menggunakan data dari suatu lembaga seperti IAEA (IAEA TECDOC-478,1998) juga tidak bisa di terapkan secara langsung, dimana kondisi atau keadaan (temperature ruangan, kelembaban, dll) pada saat pengujian *item/unit* belum tentu sama dengan keadaan yang ada di lapangan.

Dari kendala-kendala diatas, perlu adanya pendekatan–pendekatan dengan metode yang bersesuaian, salah satu metode dalam optimasi kebijakan pemeliharaan adalah metode *Markov Decision Process*. Dalam penulisan ini peneliti mengambil salah satu contoh kasus pada suatu sistem yang memiliki data-data yang bersesuaian dengan model *time delay*, kemudian data yang didapat di bagi menjadi beberapa keadaan (*state*) yang selanjutnya dilakukan optimasi dengan pendekatan *Markov Decision Process* dengan mempertimbangkan biaya-biaya akibat kerusakan dan biaya operasional, sehingga dari hasil pendekatan tersebut didapatkan suatu masukan untuk bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemeliharaan (*Maintenance*)

Definisi *maintenance* menurut Levitt (2003) adalah pemeliharaan atau perawatan suatu sistem sebagai usaha untuk menjaga atau mempertahankan kondisi. Dalam arti melakukan penyesuaian atau penggantian yang diperlukan untuk mendapatkan suatu kondisi agar sesuai dengan perencanaan operasional yang ada. Pengertian *maintenance* secara umum adalah serangkaian aktivitas (baik bersifat teknis dan administratif) yang di perlukan untuk mempertahankan dan menjaga suatu produk atau sistem tetap berada pada dalam kondisi aman, ekonomis, efisien dan pengoperasian optimal.

Menurut Antony (1992) dalam buku *Maintenance Management Techniques* yang kemudian di alih bahasakan oleh Hadi, (1996) ditinjau dari saat pelaksanaan pekerjaan, pemeliharaan dikategorikan dalam dua cara, yaitu pemeliharaan terencana dan pemeliharaan yang tidak terencana. Pemeliharaan terencana adalah pemeliharaan yang dilakukan secara terencana untuk mengantisipasi kerusakan peralatan di waktu yang akan datang. Pemeliharaan terencana memiliki ciri yaitu pemeliharaan yang dijadwalkan. Kegiatan ini cenderung pasif hanya menyelesaikan masalah secara rutin, namun terkadang terdapat juga beberapa yang bersifat reaktif. Sedangkan pemeliharaan tidak terencana adalah pemeliharaan yang dilakukan setelah sistem mengalami kegagalan dan pemeliharaan ini dimaksudkan untuk mengembalikan sistem ke keadaan dimana sistem tersebut dapat melakukan fungsinya kembali.

2.2 Keandalan (*Reliability*)

Keandalan (*reliability*) menurut Ebeling (1997), dapat didefinisikan sebagai probabilitas sistem yang memiliki kinerja sesuai fungsi yang dibutuhkan dalam periode waktu tertentu. Reliabilitas juga dapat didefinisikan sebagai probabilitas suatu sistem yang berfungsi sesuai dengan seperti yang seharusnya pada periode tertentu. Untuk menggambarkan hubungan secara matematika dapat ditentukan suatu variabel random kontinu T yang menyatakan waktu kegagalan sistem ($T \geq 0$). Probabilitas terjadinya kerusakan pada saat $T < t$ dinyatakan dengan $F(t)$, dengan *Cumulative Distribution Function* (CDF) sebagai berikut:

$$F(t) = P \{T \leq t\} = \int_0^t f(t)dt \quad 2.1$$

Maka fungsi *reliability* dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$R(t) = 1 - P \{T \leq t\} = 1 - F(t) \quad 2.2$$

Dalam melakukan analisis reliabilitas dari suatu sistem, sering digunakan istilah *Mean Time To Failure* (MTTF) dalam mengkarakteristikkan reliabilitas yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$MTTF = \mu = \int_0^{\infty} tf(t)dt \quad 2.3$$

Untuk menyatakan seberapa mudah suatu item mengalami kegagalan dan dapat bertahan sampai dengan waktu T , dikenal dengan laju kerusakan, dapat di tulis sebagai berikut :

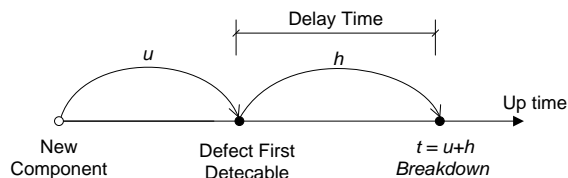
$$r(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad 2.4$$

Dalam melakukan analisis reliabilitas sangat penting mengetahui salah satu fungsi dari $r(t)$, $R(t)$, atau $f(t)$. Dengan mengetahui salah satu fungsi tersebut maka kedua fungsi yang lainnya dapat ditentukan.

2.3 Time delay

Pemeliharaan dengan teknik analisa *time delay* pertama kali di kenalkan oleh Christer pada tahun 1973 (Christer and Wang, 1994), yang kemudian terus berkembang dan banyak penerapannya di bidang industri. Model *time delay* muncul berdasarkan pengamatan dimana suatu komponen tidak mengalami suatu kerusakan secara tiba-tiba. Berbeda dengan konsep probabilitas laju kerusakan, dimana laju kerusakan terukur berdasarkan banyaknya kerusakan komponen per satuan waktu dalam suatu eksperimen. Pada model *time delay*, kerusakan terukur berdasarkan data awal saat terjadinya kegagalan sistem, kemudian probabilitas kegagalan total sistem di identifikasikan dan di modelkan, sehingga didapatkan probabilitas/ kemungkinan sampai sejauh mana sistem masih dapat di gunakan.

Suatu komponen sebelum komponen tersebut rusak , akan ada sesuatu yang memberikan tanda dimana hal tersebut menunjukkan berkurangnya kinerja. Pada konsep model *time delay* dimana proses kegagalan dibagi menjadi 2 tahap yaitu identifikasi kegagalan di titik u dan terjadinya kegagalan di titik t dengan waktu delay selama h (gambar 1). Kesulitan dalam memodelkan *time delay* adalah bagaimana cara untuk menentukan estimasi distribusi *time delay* h dan menentukan titik awal u , sehingga untuk memudahkan dalam penelitian objek yang di teliti di asumsikan dalam keadaan baru, meskipun memiliki riwayat pernah di perbaiki, Christer (1987).



Gambar 1. Model *Time Delay*

Rentang pada periode waktu h ini diharapkan agar dilaksanakan pemeliharaan atau suatu kesempatan pemeriksaan untuk mengidentifikasi dan mencegah kerusakan. Konsep ini menunjukkan hal yang berguna untuk membantu suatu pemodelan dari efek pemeriksaan berkala pada laju kegagalan system.

Misalkan identifikasi pertama kelainan ditemukan (titik *point-u*), *initial time* di titik u tersebut memiliki bentuk PDF - $g(u)$, dan bentuk CDF - $G(u)$, sedangkan *delay time* h memiliki bentuk PDF - $f(h)$, dan bentuk CDF - $F(h)$ dan independen terhadap u , dimana $u + h \leq t$, maka probabilitas terjadinya kerusakan dinyatakan dengan $P(t)$, dengan *Cumulative Distribution Function* (CDF) sebagai berikut:

$$P(t) = \int_0^t g(u)F(t - u)du \quad 2.5$$

Maka fungsi *reliability* dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$R(t) = 1 - P(t) \quad 2.6$$

2.4 Markov Chain

Beberapa teknik analitik dapat di gunakan untuk melakukan evaluasi keandalan suatu sistem. Meskipun teknik-teknik tersebut dapat diaplikasikan baik untuk komponen-komponen *repairable* dan *non-repairable*, namun teknik-teknik tersebut mengasumsikan bahwa proses perbaikan (*repair*) dilakukan secara cepat atau membutuhkan waktu yang sangat singkat yang relatif jauh lebih kecil dibandingkan dengan waktu operasi komponen tersebut. Dengan kata lain, teknik-teknik tersebut tidak mengakomodasi waktu perbaikan untuk dijadikan pertimbangan dalam evaluasi keandalan sistem.

Hal ini tentunya tidak berlaku untuk semua sistem, bahkan sistem-sistem nonelektronik umumnya memiliki karakter yang berlawanan dengan asumsi di atas. Karena itu dibutuhkan suatu teknik yang mampu memasukkan komponen waktu perbaikan kedalam proses evaluasi keandalan sistem. Salah satu teknik yang mampu mengakomodasi waktu perbaikan kedalam evaluasi keandalan sistem adalah *Markov Modelling*. Proses Markov adalah salah satu proses stokastik dimana masa lalu tidak mempunyai pengaruh pada masa yang akan datang bila masa sekarang diketahui. Ada beberapa syarat agar metode Markov dapat diaplikasikan dalam evaluasi keandalan sistem. Syarat-syarat tersebut adalah:

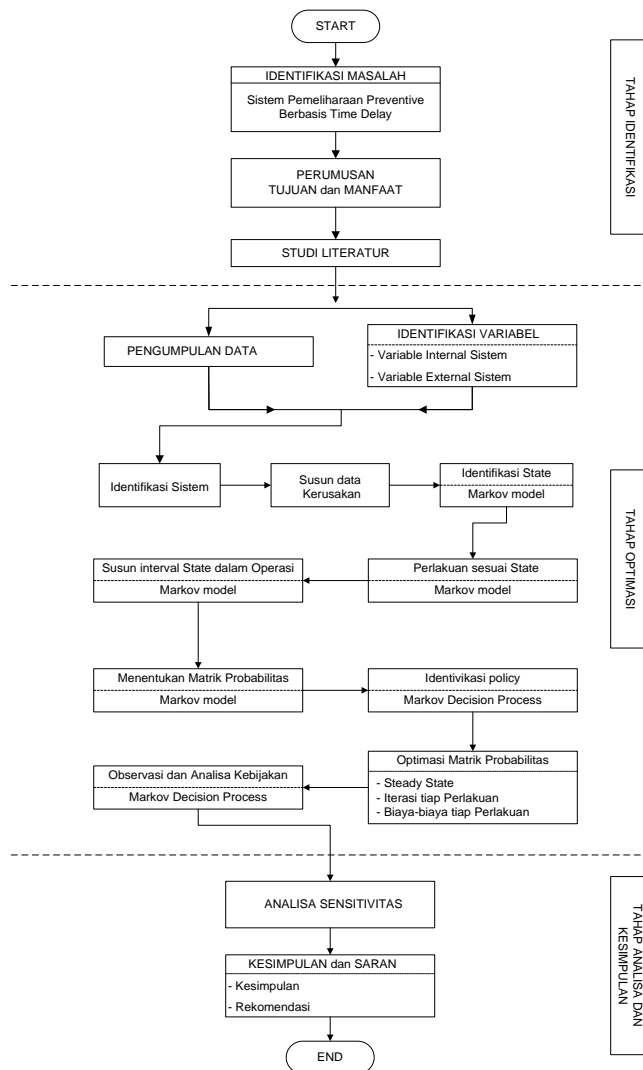
- Sistem harus berkarakter *lack of memory*. Dimana kondisi sistem dimasa mendatang tidak dipengaruhi oleh kondisi sebelumnya (*independent*).
- Sistem harus *stationery* atau homogen. Artinya perilaku sistem selalu sama disepanjang waktu.

- *State is identifiable*. Kondisi yang dimungkinkan terjadi pada sistem harus dapat diidentifikasi dengan jelas. sukses dan 100% gagal.

Markov Chain secara umum dapat digolongkan menjadi dua, yakni *Discrete Markov Chain* dan *Continuous Markov Chain*. Markov chain dikatakan diskrit apabila perpindahan keadaan terjadi dengan interval waktu diskrit yang tetap. Sebaliknya, Markov chain dikatakan kontinyu apabila perpindahan keadaan terjadi dengan rentang waktu dengan variabel random yang kontinyu.

3 METODE

Laju kerusakan yang berubah-ubah sepanjang waktu dan tidak dapat di prediksi akan mempengaruhi keandalan suatu sistem yang pada akhirnya akan mempengaruhi jadwal perawatan dan operasional system.



Gambar 2. Flowchart Penelitian

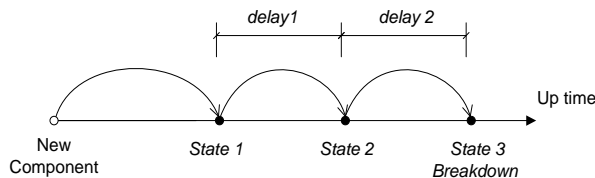
Dalam penelitian ini penulisan akan melakukan observasi sistem pemeliharaan berbasis *time delay*, untuk mendapatkan hasil optimal dari beberapa alternative kebijakan dengan pendekatan *Markov Decision Process*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Biaya operasional dalam penelitian ini adalah biaya dukungan operasional untuk 78 personil dan biaya penggunaan bahan bakar saat operasi dengan durasi waktu selama 5 hari operasi dan 2 hari bekal ulang di pangkalan terdekat. Penulis berasumsi bahwa perhitungan penggunaan

bahan bakar dihitung pada saat terjadi perubahan 10-20%, putaran mesin 800 rpm, dengan pola operasi 1 minggu. Adapun pembagian kondisi (*state*) saat operasi (gambar 3) terdiri dari:

- Kondisi normal (*state 0*). Kondisi dengan total biaya operasi dalam 7 hari adalah Rp. 1.243.389.000,-.
- Kondisi keadaan 1 (*state 1*). Kondisi dengan perubahan sebesar 10%, dan total biaya operasi dalam 7 hari adalah Rp. 1.437.597.000,-.
- Kondisi keadaan 2 (*state 2*). Kondisi dengan perubahan sebesar 20%, dan total biaya operasi dalam 7 hari adalah 1,908,429,000,-.
- Kondisi keadaan 3 (*state 3*). Kondisi dimana sistem tidak dapat digunakan lagi, dan total biaya operasi dalam 7 hari adalah Rp. 2,256,802,000,-.



Gambar 3. Pembagian kondisi/*state*

Sedangkan dalam penanganan *maintenance*, di bagi dalam beberapa kelompok perlakuan, meliputi :

- Perlakuan A. Yaitu perlakuan dengan tidak merubah kondisi apapun (tidak berbuat sesuatu). Sehingga tidak ada biaya pemeliharaan.
- Perlakuan B. Yaitu perlakuan dengan tindakan *maintenance* ringan dengan biaya Rp 32.557.172,91.
- Perlakuan C. Yaitu perlakuan dengan tindakan *maintenance* berat/*replace* dengan biaya Rp 194,753,425.32.

Sehingga dari data didapatkan table perlakuan dan *state* sebagai berikut:

Tabel 1. Perlakuan dan *state*

No	Jam Operasi		STATE			PERLAKUAN
	JP	INTERVAL	1	2	3	
1	679	679	1	-	-	A
2	1017	338	1	-	-	A
3	1030	13	1	-	-	A
4	1342	312	-	1	-	A
5	1496	154	1	-	-	A
6	1520	24	-	-	1	C
7	1534	14	1	-	-	A
8	1576	42	-	1	-	B
9	1910	334	-	-	1	C
10	3010	1100	-	-	1	C
11	3613	603	1	-	-	A
12	4220	607	-	-	1	C
13	4962	742	-	-	1	C
14	5776	814	-	1	-	A
15	6210	434	1	-	-	A
16	7274	1064	-	1	-	A
17	8370	1096	-	-	1	C
18	8720	350	1	-	-	A
19	8925	205	-	1	-	A

Setelah didapatkan data sesuai dengan perlakuan dan kondisi, maka perlu dibuat selang waktu/interval agar dapat didekati kondisi berikutnya sesuai dengan sifat-sifat markovian. Dari data penggunaan JP sistem di bagi dalam interval 1 minggu atau 7hari x 24jam = 168 jam, dari total kegiatan sesuai data didapatkan interval selama 54 minggu.

Dalam menentukan matrik probabilitas didapat berdasarkan pada perlakuan dan interval. Didapatkan :

- Perlakuan A.

State	0	1	2	3
0	0.667	0.128	0.077	0.128
1	0.500	0.125	0.250	0.125
2	0.667	0.333	0	0
3	0	0	0	1

- Perlakuan B.

State	0	1	2	3
0	1	0	0	0
1	1	0	0	0
2	1	0	0	0
3	0	0	0	1

- Perlakuan C.

State	0	1	2	3
0	1	0	0	0
1	1	0	0	0
2	1	0	0	0
3	0.833	0.167	0	0

Dalam menentukan keputusan, kebijakan yang akan diambil di inventarisir kemungkinannya, diantaranya :

- Pada *state* 0, tidak ada *maintenance*/ perlakuan A (operasional normal).
- Perlakuan C (*maintenance* berat), hanya untuk *maintenance* pada *state* 3 (*State* 3 tidak dapat di perlakuan dengan perlakuan A, dan perlakuan B).

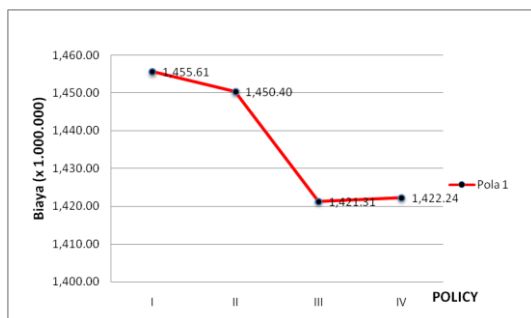
Sehingga dibuat tabel kemungkinan kebijakan seperti pada table 2.

Tabel 2. Kebijakan

POLICY	STATE			
	0	1	2	3
I	A	A	A	C
II	A	A	B	C
III	A	B	A	C
IV	A	B	B	C

Dari iterasi tiap *policy* didapatkan hasil perhitungan biaya dan gambar 4 tentang grafik hubungan tiap *policy* dan biaya operasional sebagai berikut :

- *Policy* I Rp. 1,455,612,321.43
- *Policy* II Rp 1,450,404,067.93
- *Policy* III Rp 1,421,312,993.49
- *Policy* IV Rp 1,422,239,798.89

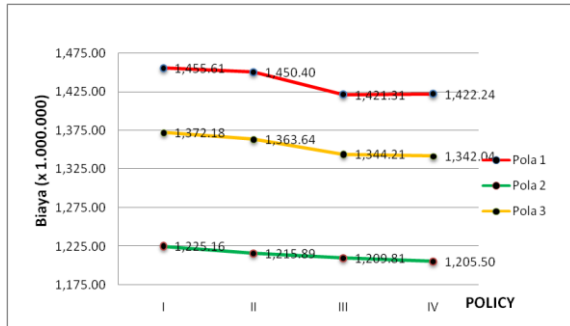


Gambar 4. Grafik Biaya Tiap *Policy* Dan Operasional

Dari hasil pengolahan data menunjukkan bahwa peran aktif ABK sebagai pengguna dalam mengenali dan identifikasi kerusakan sistem yang telah memberikan gejala-gejala kerusakan, dapat segera dilakukan tindakan perbaikan dan perawatan. Sedangkan bagi pihak pengelola anggaran operasional, tentunya memerlukan beberapa alternative keputusan untuk mendukung keputusan jika KRI yang sedang melaksanakan operasi tidak dapat melaksanakan tugas sesuai dengan rencana operasi. Oleh karena itu perlu beberapa alternatif pola kebijakan yang dapat mendukung terlaksananya operasi tersebut. Alternative kebijakan dari ke 4 *policy*, dengan pola kebijakan tersebut diantaranya :

- a. Pola Kebijakan 1. Seperti kebijakan awal, yaitu jika KRI yang sedang melaksanakan operasi mengalami kerusakan, maka harus ada KRI pengganti yang didatangkan dari pangkalan induk Surabaya.
- b. Pola Kebijakan 2. Jika KRI yang telah mengalami kerusakan tidak dapat beroperasi dan tidak mendapatkan KRI pengganti untuk melanjutkan pengamanan wilayah operasi.
- c. Pola Kebijakan 3. Jika di pangkalan aju terdapat 2 KRI sejenis yang beroperasi bergantian dengan interval waktu 1 minggu sekali.

Dari pola kebijakan 1, pola kebijakan 2 dan pola kebijakan 3 didapatkan gambar 5 tentang grafik hubungan tiap *policy* dan biaya operasional pada tiap pola kebijakan sebagai berikut :



Gambar 5. Grafik Optimasi Tiap Kebijakan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari observasi beberapa kebijakan/*policy* dimana akibat perlakuan sistem pada setiap kondisi/*state*, menyebabkan perbedaan biaya operasi dan *maintenance* pada KRI. Sehingga dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Seperti yang di tunjukkan pada gambar 5 dimana secara umum dengan menerapkan sistem pemeliharaan berbasis *time delay* dalam suatu operasi KRI, dapat meminimalkan biaya operasional dan pemeliharaan saat KRI mengalami kerusakan dalam operasi. Pola kebijakan 1, 2 dan 3 hampir identik, dimana pada pola kebijakan 2 dan 3, arah dari *policy* I menuju *policy* IV yang semakin menurun, sehingga pada pola kebijakan 2 dan 3, biaya terendah adalah pada masing-masing *policy* IV yaitu *service/maintenance* dengan perlakuan B jika terjadi pada *state* 1 dan *state* 2, serta perlakuan C jika terjadi pada *state* 3. Pada pola kebijakan 1, dimana biaya terendah adalah pada pada *policy* III, dimana *policy* ini sebenarnya hampir sama dengan *policy* IV, yaitu seperti dalam probabilitas perlakuan B dimana pada saat dilakukan perlakuan B, *state* 1 dan *state* 2 akan kembali menjadi seperti dalam keadaan baru (*state* 0) dengan tingkat keberhasilan 100%, sehingga sistem dalam hal ini tidak akan pernah atau kecil kemungkinan mengalami kerusakan hingga *state* 2 maupun *state* 3.
- b. Secara umum pola kebijakan (2) adalah pola kebijakan dengan biaya operasi yang paling rendah, dimana jika 1(satu) KRI yang tidak dapat beroperasi maka tidak disiapkan KRI pengganti untuk mengamankan wilayah/daerah operasi. Jika tidak ada urgensi untuk mengamankan wilayah/daerah operasi serta adanya keterbatasan biaya operasional dan pemeliharaan, maka pola kebijakan (2) dapat di pertimbangkan penerapannya.

Untuk memperbaiki hasil penelitian ini maka sarannya adalah :

- a. Pada penelitian ini tidak menentukan probabilitas kegagalan antara interval waktu kegagalan, sehingga perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang sistem pemeliharaan dan operasi berbasis *time delay* dengan metode markov.
- b. Jika keandalan berbasis *time delay* di terapkan di TNI-AL khususnya, maka perlu adanya penelitian-penelitian pada sistem yang sejenis untuk mendapatkan laju kerusakan pada periode *h*, dan jika menggunakan data dari badan standarisasi asing atau pabrikan, maka perlu adanya toleransi pada parameter distribusi yang dapat di pertanggung jawabkan .

6. DAFTAR PUSTAKA

- Anthony, S.C. (1992). *Maintenance Management Techniques*. Alih bahasa oleh Kusnul Hadi, (1996). *Teknik Manajemen Pemeliharaan*. Erlangga.
- Arifin, S. (2013). *Penerapan Metode Markovian Decision Process dan OEE (Overall Equipment Effectiveness) Untuk Menentukan Kebijakan Perawatan (Studi Kasus Di PT DEN)*. Skripsi, Teknik Industri. Universitas Trunojoyo, Madura.
- Aven, T., and Castro, I.T. (2009). A Delay-Time Model With Safety Constraint. *Reliability Engineering and Systems Safety*, 94, 261–267.
- Barlow, R.E., and Proschan, F. (1965). *Mathematical Theory of Reliability*. John Willey, New York.
- Ben-Daya, M., Duffuaa, S.O., Raouf, A., Knezevic, J., Ait-Kadi, D. (2009). *Handbook of Maintenance Management and Engineering*. Springer, London.
- Bloch, H.P., and Geitner, F.K. (1983). *Practical Machinery Management for Process Plants : Machinery Failure Analysis and Troubleshooting*. Gulf Publishing Company, London.
- Bunea, C., Cooke, R., and Lindqvist, B.H. (2003). Competing risk perspective on reliability databases. In *Mathematical and statistical methods in reliability (Trondheim,2002)*,7,355–370.
- Christer, A.H., and Waller W.M. (1984). Delay Time Models Of Industrial Inspection Maintenance Problems. *Journal of Operational Research Society*, 35, 401-406.
- Christer, A.H. (1987). Time-delay model Of Reliability Of Equipment Subject To Inspection Monitoring. *Journal of the Operational Research Society*,38, 329-334.
- Christer, A.H., and Wang, W. (1994). A Delay-time Based Maintenance Model Of A Multi Component System. *IMA Journal of Mathematics Applied in Business & Industry*, 6, 205-22.
- Cooke, R.M. (1996). The design of reliability databases, part i and ii. *Reliability Eng. System safety*, 51, 137–146 and 209–223.
- Das, A.N., and Acharya, D. (2004). Age Replacement of Components During IFR Delay Time. *IEEE Transactions on Reliability*, 53, 306-312.
- Dauxois, J.Y. (2014). Testing an “Exponential Delay Time Model” Against A “Random Sign Censoring model” in Reliability. *Journal de la Société Française de Statistique*, 155, 104-119.
- Dekker, R., and Dijkstra, C.M. (1992). Opportunity-Based Age Replacement : Exponentially Distributed Times Between Opportunities. *Naval Research Logistics*, 39, 175-190.
- Dekker, R., and Smeitink, E. (1991). Opportunity-based block replacement. *European Journal Operation Research*, 53, 46-63.
- Dekker, R. and Smeitink, E. (1994). Preventive Maintenance at Opportunities of Restricted Duration. *Naval Research Logistics*, 41, 335-353.
- Ebeling, C. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. University of Daytona, McGraw-Hill, New York.
- Hillier, Frederick, S., and Lieberman, Gerald, J. (2008). *Introduction to Operations Research*. McGraw-Hill, New York.
- Hokstad, P., and Jensen, R. (1998). *Predicting the failure rate for components that go through a degradation state*. In *Safety and Reliability*, S. Lydersen, G.K. Hansen and H.A. Sandtorv (eds), Balkema, Rotterdam.
- <http://www.bca.co.id/id/Individu/Sarana/Kurs-dan-Suku-Bunga/Kurs-dan-Kalkulator>. Diakses tanggal 16 mei 2016.
- <http://solarindustri-jawatimur.blogspot.co.id>. Diakses tanggal 23 May 2016.
- International Atomic Energy Agency (1998). *Component Reliability Data For Use In Probabilistic Safety Assessment*. IAEA-TECDOC-478, Austria.
- Iskandar, B.P., and Sandoh, H. (2000). An Extended Opportunity-Based Age Replacement Policy. *RAIRO Operations Research*, 34, 145-154.
- Jay and Render, B. (2004). *Operations Management*. New Jersey, Pearson.
- Komando Armada RI Kawasan Timur (1983). *Penilaian Kondisi Teknik Material Kapal*. SE/31/X/Slog/1983, Surabaya.
- Levitt, and Joel (2003). *Complete Guide to Preventive and Predictive Maintenance*. Industrial Press, USA.

- Lindqvist, B.H., Støve, B., and Langseth, H. (2006). Modelling of dependence between critical failure and preventive maintenance: the repair alert model. *J. Statist. Plann. Inference*, 136,1701–1717.
- Nowakowski, T., and Werbińska-Wojciechowska S. (2011). Developments Of Time Dependencies Modeling Concepts, Advances In Safety, Reliability And Risk Management. *Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL 2011*, 832-838.
- Markas Besar TNI (2016). *Biaya Operasional dan Latihan*. ST Panglima TNI No STR/37/2016, Jakarta.
- Moubray, J. (1997). *Reliability Centered Maintenance 2nd Edition*. Industrial Press Inc. Madison Avenue, New York.
- Patton, Jr., and Joseph, D. (1995). *Preventive Maintenance. The International Society for Measurement and Control*, United States.
- Putro, F.F. (2008). *Interval Penggantian Preventif Optimal Selama Waktu Delay dengan Mempertimbangkan Beban Operasi Mesin*. Thesis, Program Studi Teknik dan Manajemen Industri, ITB, Bandung.
- O'Connor, Patrick, D.T., and Kleyner. A. (2002). *Practical Realiability Engineering*. Fourth edition. John Wiley & Sons LTD, USA.
- Osaki, S. (1992). *Applied Stochastic System Modelling*. Springer, Verlag.
- Redmond, D.F. (1997). Delay Time Analysis In Maintenance. *Research Institute for Technology, Information, Management and Economics*, Department of Mathematics and Computer Science, University of Salford.
- Ross, S. (1996). *Stochastic Processes*, 2nd Edition. John Wiley & Sons, USA.
- Stamatis, D.H. (1995). *Failure Mode and Effect Analysis : FMEA from Theory to Execution*. ASQC Quality Press, Milwaukee.
- Taha, H.A. (2007). *Operations Research: An Introduction*. Pearson Prentise Hall, USA.
- Wang, W. (2010). A Multi-component and Multi-failure Mode Inspection Model Based on the Delay Time Concept. *Reliability Engineering and System Safety*, 95, 912–920.
- Wang, W. (2011). A Joint Spare Part And Maintenance Inspection Optimisation Model Using The Delay-Time Concept. *Reliability Engineering and System Safety*, 96, 1535–1541.
- Wang, W. (2012). An Overview Of The Recent Advances In Delay-Time-Based Maintenance Modeling. *Reliability Engineering and System Safety*, 106, 165–178.
- Wolstenholme, L. (1999). *Reliability Modelling: Statistical approach*. Chapman & Hall/CRC, Florida.