



TESIS - ME 142516

**PENGARUH KOMPETENSI DAN JUMLAH KRU
PERAWATAN TERHADAP BIAYA PERAWATAN
KAPAL PENANGKAP IKAN DENGAN PEMODELAN
DINAMIKA SISTEM**

YUNIAR ENDRI PRIHARANTO
NRP. 4113204010

DOSEN PEMBIMBING :
A. A. Bagus Dinariyana Dwi Putranta, ST, MES, Ph.D
Dr. Eng. Trika Pitana, ST, M.Sc

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM DAN PENGENDALIAN KELAUTAN
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015



TESIS - ME 142516

SENSITIVITY ANALYSIS OF CREW COMPETENCE AND SIZE TO MAINTENANCE COST FOR FISHING VESSEL USING SYSTEM DYNAMICS MODELING

YUNIAR ENDRI PRIHARANTO
NRP. 4113204010

SUPERVISORS :
A. A. Bagus Dinariyana Dwi Putranta, ST, MES, Ph.D
Dr. Eng. Trika Pitana, ST, M.Sc

MAGISTER PROGRAM
MARINE CONTROL AND SYSTEM ENGINEERING
PROGRAM STUDY OF MARINE TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Judul : PENGARUH KOMPETENSI DAN JUMLAH KRU PERAWATAN TERHADAP BIAYA PERAWATAN KAPAL PENANGKAP IKAN DENGAN PEMODELAN DINAMIKA SISTEM

Oleh : Yuniar Endri Priharanto

NRP : 4113204010

Telah diujikan pada :

Hari/Tanggal : Senin / 26 Januari 2015

Periode Wisuda : Maret 2015

Untuk Mendapatkan Gelar Magister Teknik (MT) Pada Program Pascasarjana Teknologi Kelautan – Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dosen Pembimbing

1. A.A.B. Dinariyana D.P, ST., MES., Ph.D.
NIP. 19750510 200003 1 001
2. Dr. Eng. Trika Pitana, ST., M.Sc.
NIP. 19760129 200112 1 001

Dinar Riyanto
.....
Trika Pitana
.....

Dosen Penguji

1. Prof. Dr. Ketut Buda Artana, ST., M.Sc.
NIP. 19710915 199412 1 001
2. Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST., MT.
NIP. 19770802 200801 1 007

Ketut Buda Artana
.....
M. Badrus Zaman
.....

Direktur Program Pascasarjana

Institut Teknologi Sepuluh Nopember



Adi Soeprijanto
.....
Prof. DR. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.
NIP. 19640405 199002 1 001

**PENGARUH KOMPETENSI DAN JUMLAH KRU PERAWATAN
TERHADAP BIAYA PERAWATAN KAPAL PENANGKAP IKAN
DENGAN PEMODELAN DINAMIKA SISTEM**

NAMA : Yuniar Endri Priharanto
NRP : 4113204010
Pembimbing : 1. A.A.B. Dinariyana, ST., MES., Ph.D.
2. Dr. Eng Trika Pitana, ST., M.Sc

ABSTRAK

Pelaksanaan kegiatan perawatan, baik perawatan preventif maupun reaktif, tidak terlepas dari peran kru. Kompetensi dari seorang kru dapat diketahui dari pendidikan dan pelatihan yang pernah diterima, keahlian dan pengalaman. Metode dinamika sistem merupakan metode pemodelan yang menggunakan hubungan sebab-akibat dalam menyusun model suatu sistem yang kompleks. Penggunaan metode ini lebih ditekankan tentang bagaimana tingkah laku sistem. Kaitannya dengan crew skill dan jumlah crew terhadap perawatan pada kapal latih karena faktor human memiliki sifat yang dinamis, dengan pengertian kondisinya selalu berubah terhadap waktu. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memodelkan kompetensi dan jumlah kru perawatan terhadap terhadap biaya perawatan kapal penangkap ikan dengan menggunakan pendekatan dinamika system serta merekomendasikan pilihan antara kompetensi kru dan jumlah kru perawatan yang paling efektif untuk operasional kapal penangkap ikan sehingga menghasilkan biaya perawatan yang minimum. Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan pemodelan dinamika sistem. Hasil simulasi menunjukkan pada tingkat keandalan dipertahankan pada nilai minimum 0.6, biaya yang optimum untuk perawatan adalah meningkatkan nilai kompetensi kru hingga level 120% tanpa meningkatkan jumlah kru. Pada nilai minimum reliability 0.7 untuk mencapai total biaya minimum dengan meningkatkan kompetensi kru hingga level 130% dan jumlah kru hingga 2 orang. Selanjutnya untuk nilai minimum reliability 0.8 untuk mencapai total biaya minimum dengan meningkatkan kompetensi kru hingga level 130% dan meningkatkan jumlah kru hingga 2 orang.

Kata Kunci : kegiatan perawatan, kompetensi kru, jumlah kru, dinamika sistem.

(halaman ini sengaja dikosongkan)



SENSITIVITY ANALYSIS OF CREW COMPETENCE AND SIZE TO MAINTENANCE COST FOR FISHING VESSEL USING SYSTEM DYNAMICS MODELING

By : Yuniar Endri Priharanto

Student Identity Number : 4113204010

Supervisors : 1. A.A.B. Dinariyana, ST., MES., Ph.D.
2. Dr. Eng Trika Pitana, ST., M.Sc

ABSTRACT

Implementation of maintenance activities, both preventive and corrective maintenance, is inseparable from the role of the crew. Crew competence can be observed from the level of education and training, expertise and experience. This research utilized system dynamics modeling using causal relationships in developing the model of a complex system to understand the behavior of the system reliability when there is a change in either crew competence or crew size for fishing vessel. The objective of this study is to model the competence and crew size on the fishing vessel and observe its impact on maintenance cost by using system dynamics approach. By using such a model, we could recommend the most effective design of crew skills and crew size for the operation of fishing vessels which minimizes the maintenance cost. This research uses a system dynamics modeling to solve the problem. The simulation results show when the level of reliability is set to minimum value 0.6, the optimum cost for maintenance is obtained by increasing the level of crew skills to 120% without increasing crew size. When the minimum value of reliability is set to 0.7, the optimum cost for maintenance is obtained when we improve the competence of crew level to 130% with change crew size to 2 crews. And for the minimum level of reliability is set to 0.8, the optimum cost for maintenance is gained when we increasing crew skill level to 130% and increase the crew size up to 2 crews.

Keyword : maintenance, crew skills, crew size, system dynamics

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah SWT karena berkat limpahan karunia-Nya penulis diberikan kesempatan untuk menyelesaikan tesis dalam bidang *Marine Safety and Reliability* dengan judul **“Pengaruh Kompetensi Dan Jumlah Kru Perawatan Terhadap Biaya Perawatan Kapal Penangkap Ikan Dengan Pemodelan Dinamika Sistem”**.

Penulisan dan penyusunan tesis ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan program pasca sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tesis ini disusun untuk mendapatkan model kompetensi kru dan jumlah kru hubungannya dengan biaya perawatan serta memebrikan rekomendasi jumlah kru yang optimum sehingga dapat meminimalkan biaya perawatan.

Dalam penyusunan laporan tesis ini penulis mendapatkan bimbingan, masukan, saran dan dukungan. Untuk itu secara khusus penulis mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat :

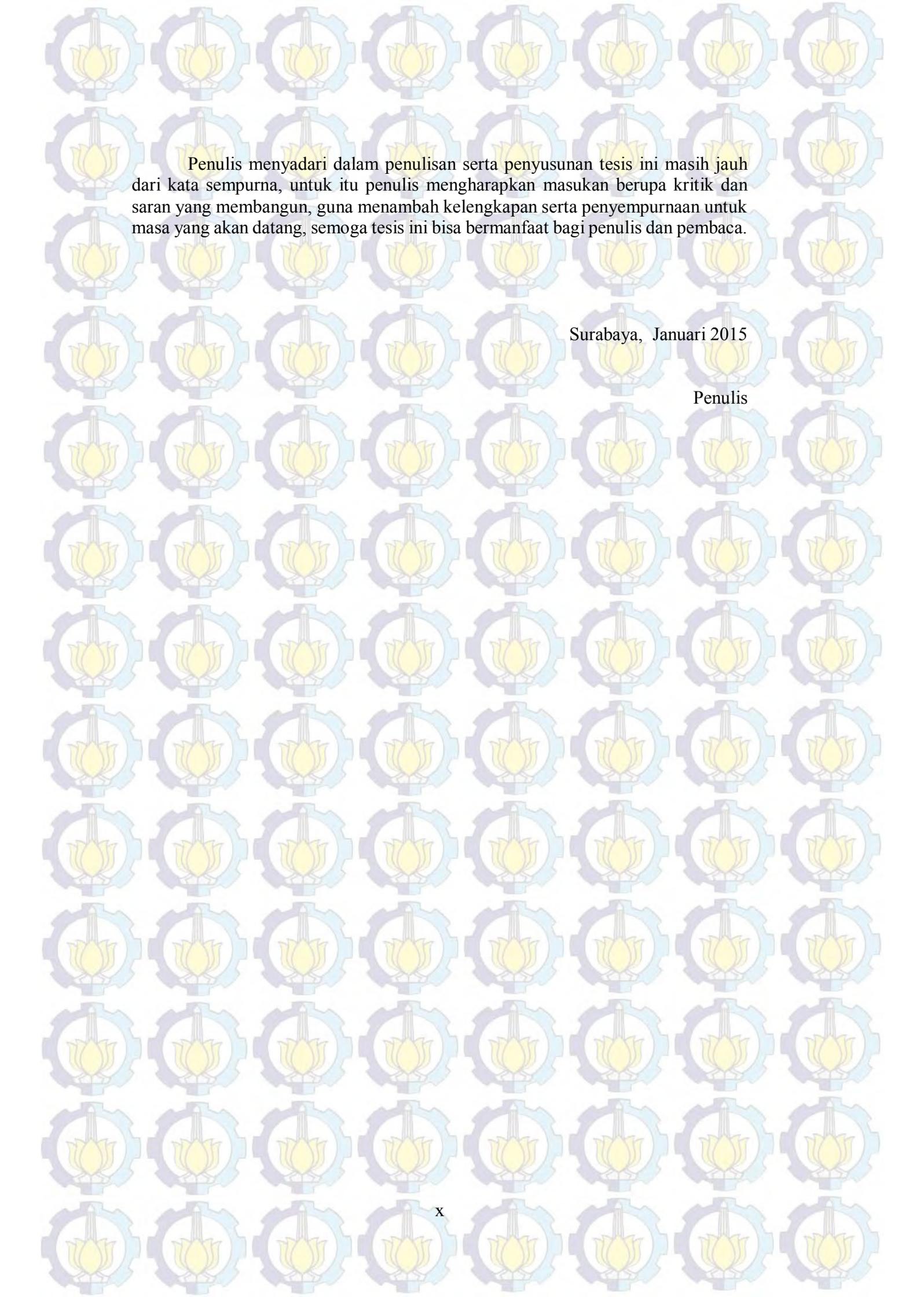
1. Bapak A.A.B.Dinariyana D.P, S.T, MES, Ph.D
2. Bapak Dr. Eng. Trika Pitana, ST., M.Sc.

Selaku dosen pembimbing dalam penyusunan tesis. Atas bimbingan, perhatian dan pendapat yang diberikan kepada penulis selama proses penyusunan tesis.

Ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang turut membantu penyelesaian tesis ini :

1. Bapak Dr. Suseno Sukoyono selaku Kepala BPSDMKP Kementerian Kelautan dan Perikanan, Bapak Silvester Simau, A.Pi, S.Pi, M.Si selaku Direktur Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong yang memberikan kesempatan untuk dapat menempuh pendidikan pascasarjana.
2. Bapak Prof. Dr. Ketut Buda Artana, ST., M.Sc. dan Bapak Badruz Zaman ST., MT., Ph.D selaku tim penguji.
3. Segenap jajaran dosen Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Program Pascasarjana Teknologi Kelautan dan staff Program Pascasarjana Teknologi Kelautan.
4. Rekan seperjuangan PPsTK 2013, Bidang RAMS : Teddy Sumarwondo, Munir M., M. Amril Idrus, Benedicta Dian A., Bidang MPP : Syafiuddin, Rizqi Fitra H., Suardi, Jauharul Alam, Imam Nurhadi.
5. Teman-teman Lab RAMS : Galih, Happy, Emmy, Uci, Kiky, Putri, Dini, Good, Alvin, Habib, Adi, Mas Dwi, Hayyi, Iqba, dan member lab RAMS lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.
6. Kepala Cabang PT. Alfa Kurnia di Sorong, Agus frianto dan rekan saya Zakiy Latif Abrori, Yasser Arafat, Djoko Prasetyo, Sepri Sumbang dan Akhmad Nurfauzi.
7. Purwestri Bungasari, istri dan anak saya Hafizh Raffi Ramadhan dan kedua orang tua kami atas motivasi dan doa.

Serta semua pihak yang belum dapat penulis sebutkan satu persatu.



Penulis menyadari dalam penulisan serta penyusunan tesis ini masih jauh dari kata sempurna, untuk itu penulis mengharapkan masukan berupa kritik dan saran yang membangun, guna menambah kelengkapan serta penyempurnaan untuk masa yang akan datang, semoga tesis ini bisa bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

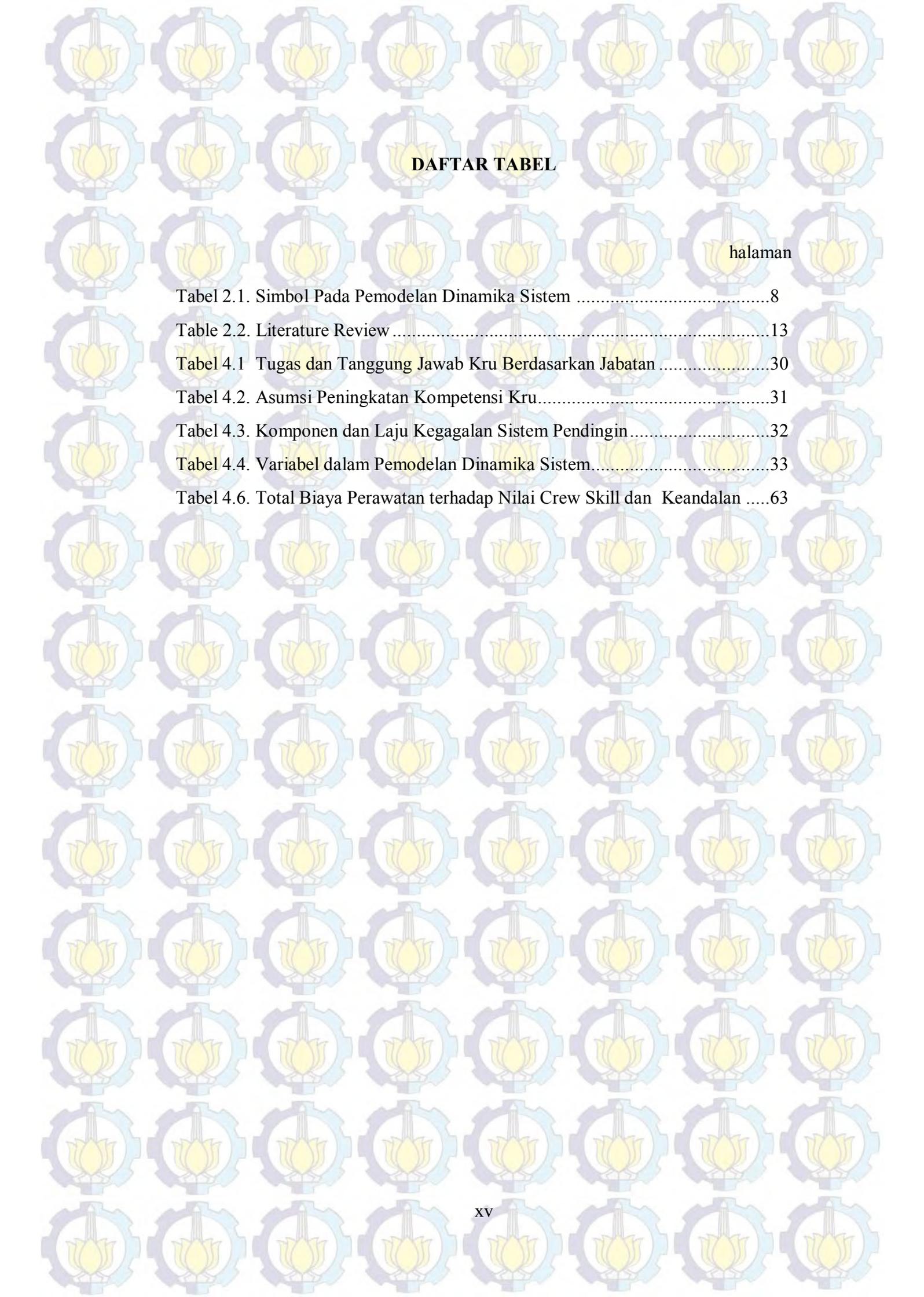
Surabaya, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN TESIS	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Dinamika Sistem	5
2.1.1 Simbol dalam Dinamika Sistem.....	8
2.1.2. Pemodelan Keandalan Sistem.....	9
2.2 <i>Literature Review</i>	12
2.3 Kebijakan Perawatan	17
2.4 <i>Human Factor</i>	22
BAB 3 METODOLOGI.....	25
3.1 Diagram Alir (<i>Flow Chart</i>).....	25
3.2 Identifikasi Masalah	26
3.3 Studi Literatur	26
3.4 Pengumpulan Data.....	26
3.5 Pemodelan Dinamika Sistem	26
3.6 Pengujian.....	28

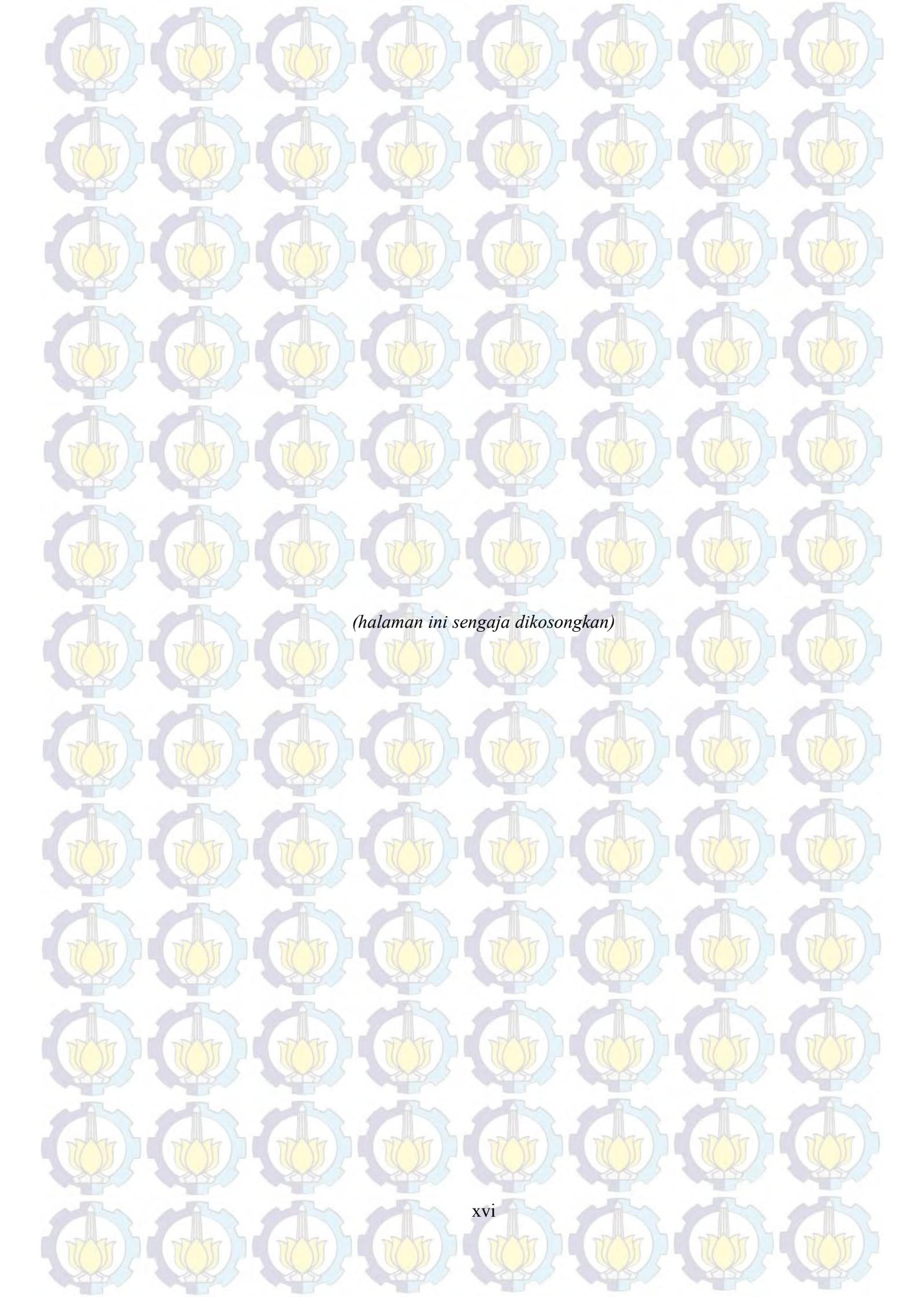
3.7 Perancangan dan Evaluasi Kebijakan	28
3.8 Kesimpulan	28
BAB 4 ANALISA DATA	29
4.1. Pengumpulan dan Pengolahan Data	29
4.1.1. Tugas dan Tanggung Jawab Kru	29
4.1.2 Sistem Pendingin Mesin induk	32
4.2. Pemodelan Dinamika Sistem	32
4.2.1 Variabel dalam Pemodelan dinamika sistem	33
4.2.2. Formulasi Tingkah Laku Sistem	34
4.2.3. Pemodelan Kondisi Komponen/Sistem	34
4.2.4. Pemodelan Laju Penurunan Nilai untuk <i>Level Reliability</i>	37
4.2.5. Pemodelan Laju Penambahan Nilai untuk <i>Level Reliability</i>	40
4.2.6. Pemodelan Kondisi Sistem	44
4.2.7. Pemodelan waktu operasional	45
4.2.8. Pemodelan biaya perawatan	48
4.2.9. Pemodelan <i>Availability</i> Sistem	53
4.3. Pengujian Variabel Pada Pemodelan Dinamika Sistem	56
4.3.1. Variabel Kompetensi Kru	57
4.3.2. Variabel Jumlah Kru	64
4.3.3. Pengaruh Peningkatan Jumlah Kru dan Kompetensi Kru	70
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	73
5.1. Kesimpulan	73
5.2. Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	75



DAFTAR TABEL

halaman

Tabel 2.1. Simbol Pada Pemodelan Dinamika Sistem	8
Table 2.2. Literature Review	13
Tabel 4.1 Tugas dan Tanggung Jawab Kru Berdasarkan Jabatan	30
Tabel 4.2. Asumsi Peningkatan Kompetensi Kru.....	31
Tabel 4.3. Komponen dan Laju Kegagalan Sistem Pendingin.....	32
Tabel 4.4. Variabel dalam Pemodelan Dinamika Sistem.....	33
Tabel 4.6. Total Biaya Perawatan terhadap Nilai Crew Skill dan Keandalan	63



(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1. Struktur dan Tingkah Laku digambarkan Terpisah.....	6
Gambar 2.2. Pemodelan Dinamika Sistem untuk Keandalan	10
Gambar 2.3. <i>Hybrid Perfect Maintenance</i>	18
Gambar 2.4. Hasil optimasi multiobjektif	20
Gambar 2.5. State Variable dan TTF	20
Gambar 2.6. MTTF dan MTTR	21
Gambar 2.7. The PDF of Time to failure	21
Gambar 2.8. Efek dari perbaikan	22
Gambar 2.9. Pengaruh Crew Skill terhadap biaya perawatan	23
Gambar 3.1. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian	25
Gambar 3.2. Causal Loop Diagram Kegiatan Perawatan	27
Gambar 4.1. Diagram Blok Sistem Pendingin Mesin Induk	32
Gambar 4.2. Pemodelan Dinamika Sistem untuk Keandalan Sistem	35
Gambar 4.3. Grafik nilai keandalan terhadap waktu	36
Gambar 4.4. Pemodelan Laju Penurunan Nilai untuk Level Reliability	37
Gambar 4.5. Pemodelan Laju Penambahan Nilai untuk Level Reliability	41
Gambar 4.6. Pemodelan Dinamika Sistem untuk Kondisi Sistem	44
Gambar 4.7. Pemodelan Dinamika Sistem untuk Waktu Operasional	46
Gambar 4.8. Pemodelan Dinamika Sistem untuk Biaya Perawatan	48
Gambar 4.9. Biaya Perawatan terhadap Waktu	52
Gambar 4.10. Pemodelan Dinamika Sistem untuk Nilai Availability	53
Gambar 4.11. Grafik Nilai Availability pada Pemodelan Dinamika Sistem	56
Gambar 4.12. Instrumen Kontrol Pengujian Model Dinamika Sistem	57
Gambar 4.13. Grafik Penurunan Nilai Keandalan terhadap Waktu pada Kondisi crew skill 100% dan jumlah kru 1 orang	58
Gambar 4.14. Grafik Nilai Reliability dan Availability terhadap Waktu pada Nilai Crew Skill 100% sampai dengan 140%	59
Gambar 4.15. Grafik Nilai Availability pada Crew Skill 100% hingga 150% dengan Jumlah Kru 1 Orang	60

Gambar 4.16. Grafik Nilai Availability dengan Jumlah Kru 1 Orang hingga 5 Orang dengan Crew Skill 100%	61
Gambar 4.17. Grafik Biaya Perawatan terhadap waktu pada Crew Skill 100%, 110%, 120%,130% dan 140%	62
Gambar 4.18. Grafik Hubungan Antara Biaya Perawatan terhadap Kompetensi Kru pada Nilai Keandalan Minimum 0.6, 0.7 dan 0.8	63
Gambar 4.19. Grafik Penurunan Nilai Keandalan terhadap Waktu pada Kondisi Crew Skill 100% dan Jumlah Kru 1 Orang	64
Gambar 4.20. Grafik Total Biaya Perawatan Terhadap Waktu	65
Gambar 4.21. Grafik Total Biaya untuk Sistem dengan Crew Skill 100 dan Jumlah kru 1 Orang	66
Gambar 4.22. Grafik Nilai Keandalan Terhadap waktu pada Jumlah Kru 1,2,3,4 dan 5 Orang	67
Gambar 4.23. Grafik Biaya Perawatan terhadap Waktu pada Jumlah Kru 1,2,3,4 dan 5 Orang	68
Gambar 4.24. Grafik Total Biaya terhadap waktu pada Jumlah kru 1,2,3,4 dan 5 Orang	69
Gambar 4.25. Grafik Pengaruh Peningkatan Jumlah Kru terhadap Total Biaya dengan Berbagai Batas Minimum Nilai Keandalan	70
Gambar 4.26. Grafik Total Biaya dengan Peningkatan Kompetensi Kru dan Jumlah Kru	71

DAFTAR PUSTAKA

- Artana, Ketut Buda, A. A. Bagus Dinariyana. *Teori Keandalan Sistem dan Aplikasinya*. Inti Karya Guna. Surabaya. 2013
- Azadzadeh S.M, A. Azadeh. *An Integrated Systemic Model for Optimization of Condition-Based Maintenance with Human Error*. *Reliability Engineering & System Safety*. Elsevier. 2014;124;117 – 131
- Bouvard K, Artus S, Bérenguer C, Cocquempot V. *Condition-based dynamic maintenance operations planning & grouping. Application to commercial heavy vehicles*. *Reliability Engineering & System Safety* 2011;96:601–10.
- Brails ford, Sally C. *System Dynamics: what's in it for healthcare simulation modelers*. University of southampton.2008
- Chang, Chin-cih. *Optimum preventive maintenance policies for systems subject to random working times, replacement, and minimal repair*. *Computer & industrial engineering*. Elsevier. 2014;67:185 – 194
- Dekker R, Wildeman R E, vander Duyn Schouten F A. *Are view of multi - component maintenance models with economic dependence*. *Mathematical Methods of Operations Research* 1997;45:411–35.
- Dekker R, Wildeman RE, van Egmond R. *Joint replacement in an operational planning phase*. *European Journal of Operational Research* 1996;91:74–88.
- Ghosh, Devarun, Sandip Roy; *Maintenance optimization using probabilistic cost-benefit analysis*. *Journal of loss prevention in the process industries*. elsevier 2009;22:403 – 407
- Gregorich, S.E., Wilhelm, J.A., 1993. *Crew resource management training assessment*. In: *Paul O'connor and Rhona Flin*. *Crew resource management training for offshore oil production teams*. *Safety science* 2003;41:591-609.
- Gustavsson, Emil. Michael Patriksson. *Ann-Brith Stromberg*. *Adam Wojciechowski*. Magnus Onnheim. *Computer and Industrial engineering*. Elsevier. 2014

Hoyland A, Rausand M. *System reliability theory: models and statistical methods*. NY: Wiley-Interscience publication, John Wiley & Sons; 1994.518p

Labib, Ashraf W. *A decision analysis model for maintenance policy selection using a CMMS (Computerised Maintenance Management Systems)*. *Jurnal of quality in maintenance engineering*; Emerald. 2004;10:191 – 202

Linderman, Kevin. Kathleen E. Mckone-Sweet. John C. Anderson. *An integrated systems approach to process control and maintenance*. *European journal of operational research*. Elsevier. 2005;164:324 – 340

Marseguerra, Mario. Enrico Zio. Luca Podofillini. *Condition based maintenance optimization by means of genetic algorithms and montecarlo simulation*. *reliability engineering and system safety*. Elsevier.2002;77:151 – 166

Myrtveit, Magne. Mohamed Saleh. *Superimposing Dynamic Behavior on Causal Loop Diagrams of System Dynamic Models*.

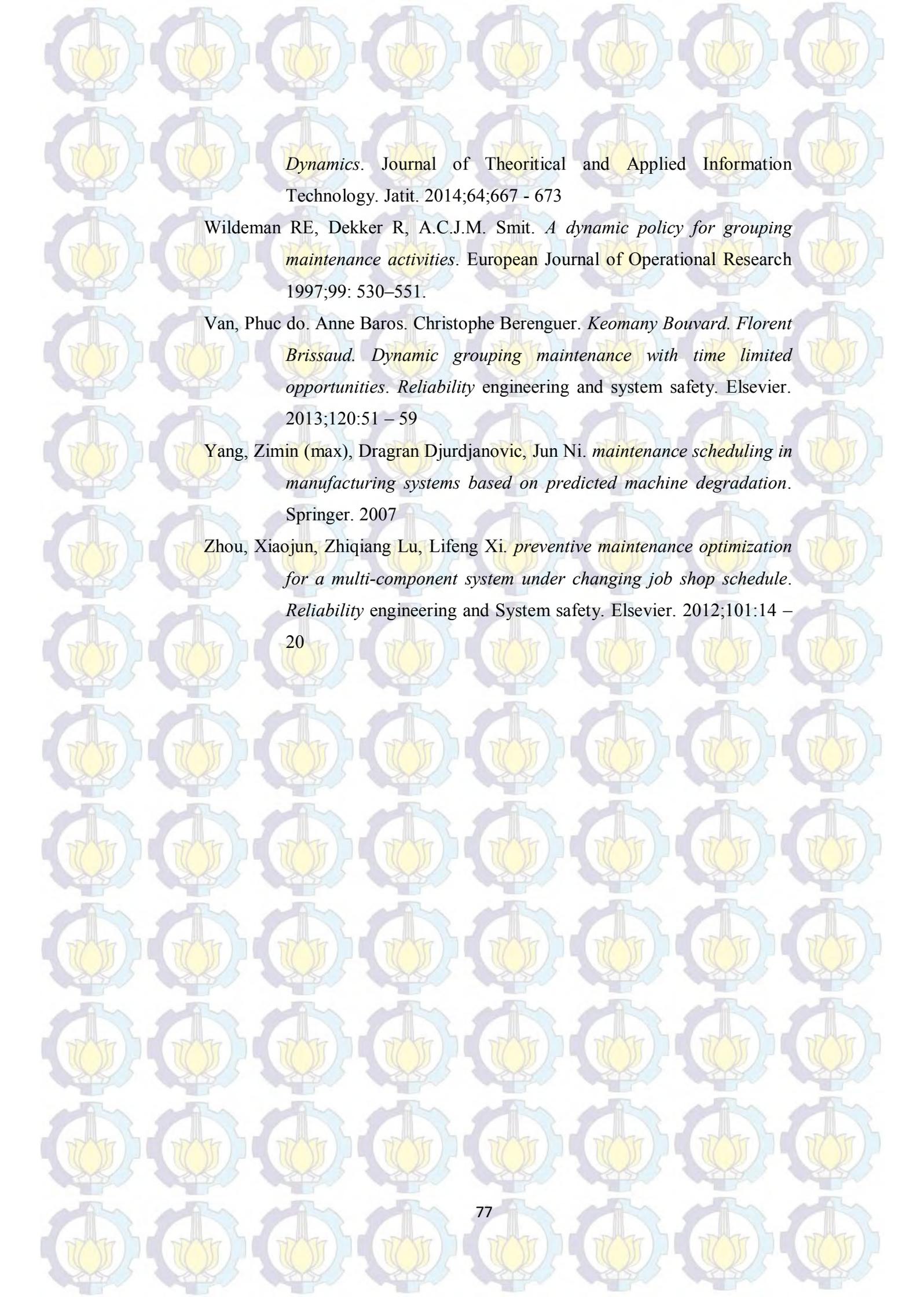
O'connor, Paul and Rhona Flin. *Crew resource management training for offshore oil production teams*. *Safety science* 2003;41:591-609.

Okasha, Nader M. Dan M. Frangopol. *Redundancy of structural systems with and without maintenance: an approach based on lifetime functions*. *reliability engineering and system safety*. Elsevier. 2010;95:520 – 533

Pandey, Mayank. Ming J. Zuo. Ramin Moghaddass. M.K. Tiwari. *selective maintenance for binary systems under imperfect repair*. *reliability engineering and system safety*. Elsevier. 2013;113:42 – 51

Papageorgiou, George. Andreas Hadjis. Kristina Abrosimova. *Management flight simulator; a new approach to the development of decision support systems*. The european university of cyprus. Cyprus

Resobowo, Didiet Sudiro, Lahar Baliwangi, Ketut Buda Artana, AAB Dinariyana. *Sensitivity Analysis Of Crew skill to Maintenance Cost and Reliability for Main Engine Support Systems Using System*



Dynamics. Journal of Theoretical and Applied Information Technology. Jatit. 2014;64;667 - 673

Wildeman RE, Dekker R, A.C.J.M. Smit. *A dynamic policy for grouping maintenance activities*. European Journal of Operational Research 1997;99: 530–551.

Van, Phuc do. Anne Baros. Christophe Berenguer. *Keomany Bouvard. Florent Brissaud. Dynamic grouping maintenance with time limited opportunities*. Reliability engineering and system safety. Elsevier. 2013;120:51 – 59

Yang, Zimin (max), Dragan Djurdjanovic, Jun Ni. *maintenance scheduling in manufacturing systems based on predicted machine degradation*. Springer. 2007

Zhou, Xiaojun, Zhiqiang Lu, Lifeng Xi. *preventive maintenance optimization for a multi-component system under changing job shop schedule*. Reliability engineering and System safety. Elsevier. 2012;101:14 – 20

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama Yuniar Endri Priharanto, lahir di Tegal pada tanggal 2 Juni 1984. Merupakan anak pertama dari tiga bersaudara yang lahir dari pasangan Bapak Tri Mulyanto dan Ibu Endang Sri Wuryaningsih. Penulis telah menikah dengan Purwestri Bungasari dan memiliki seorang putra bernama Hafizh Raffi Ramadhan. Jenjang pendidikan penulis adalah sebagai berikut: Tamat SDN Mejasem 05 di Tegal pada tahun 1995, lulus dari SLTP N 10 di Tegal pada tahun 1998, lulus dari SMU Negeri 3 Tegal pada tahun 2001 di Tegal, kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Tinggi Perikanan (STP) Jakarta dan lulus pada tahun 2005. Setelah menyelesaikan pendidikan penulis diterima bekerja di Kementerian Kelautan dan Perikanan pada Tahun 2006. Pada tahun 2013 penulis mendapat tugas belajar untuk melanjutkan pendidikan jenjang magister di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada Fakultas Teknologi Kelautan, program studi Teknik Sistem dan Pengendalian Kelautan.

Yuniar Endri Priharanto
Mahasiswa Teknik Sistem dan Pengendalian Kelautan
Program Pascasarjana Teknologi Kelautan
e-mail : joeniar@gmail.com

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perawatan merupakan suatu usaha untuk mempertahankan kondisi suatu peralatan serta menambah usia pakai dari suatu peralatan tersebut. setiap komponen mesin atau sistem memiliki usia pakai tertentu, dimana usia pakai tersebut akan berkurang seiring dengan bertambahnya waktu pengoperasian.

Pelaksanaan kegiatan perawatan, baik perawatan preventif maupun reaktif, tidak terlepas dari peran kru. Dalam hal ini kru ditinjau dari sisi kompetensi masing-masing kru serta jumlah kru dalam melaksanakan kegiatan perawatan. Keterampilan seorang kru tidak hanya terbatas pada kemampuan dalam hal teknis saja melainkan terdapat *cognitive* dan *interpersonal skills*. *Cognitive skill* berkaitan dengan sikap mental yang akan mendukung dalam pengambilan keputusan dan memecahkan suatu masalah, sementara *interpersonal skill* berkaitan dengan komunikasi antar kru dan aktifitas dalam sebuah tim.

Kompetensi dari seorang kru dapat diketahui dari pendidikan dan pelatihan yang pernah diterima, keahlian dan pengalaman. Permasalahan yang terjadi di lapangan adalah terkadang kompetensi dari seorang kru saja tidaklah cukup untuk menjamin terlaksananya kegiatan perawatan, perlu adanya sebuah kerjasama antar beberapa personel sehingga menghasilkan sinergi untuk melaksanakan kegiatan perawatan dengan baik.

Faktor manusia menjadi perhatian dimana bentuk dari pelatihan bagi kru yang didesain untuk meningkatkan keselamatan yang disebut *Crew Resource Management (CRM)* yang telah digunakan pada dunia penerbangan diaplikasikan untuk pelatihan bagi kru pada offshore oil platform (O'connor, 2003). Muatan dari CRM training telah diidentifikasi dari analisis kecelakaan dan penelitian psikologi penerbangan, meliputi apakah di desain untuk pengetahuan, skill dan kemampuan kru, maupun sikap mental dan motivasi yang sesuai untuk proses kognitif dan hubungan interpersonal (Gregorich and Wilhelm, 1993). Kesuksesan dari CRM

dalam dunia penerbangan yang telah diadopsi dalam beberapa industri yang lain termasuk perawatan dalam penerbangan, pengobatan, pengendali lalu lintas udara dan industri maritim.

Dari sisi regulasi, menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2000 tentang Kepelautan, mengatur mengenai pengawakan kapal niaga yang tercantum pada bab III tentang pengawakan kapal niaga dan kewenangan jabatan. Selain mengatur mengenai pengawakan kapal niaga, diatur pula pengawakan kapal perikanan yang tercantum pada bab VI tentang pengawakan kapal penangkap ikan. Dalam hal pengawakan kapal penangkap ikan, diatur bahwa setiap kapal penangkap ikan yang berlayar harus berdinasi seorang nahkoda, beberapa perwira kapal dan sejumlah rating yang memiliki sertifikat keahlian pelaut dan sertifikat keterampilan dasar pelaut sesuai dengan daerah pelayaran, ukuran kapal dan daya penggerak kapal.

Pengawakan kapal niaga diatur pula melalui Keputusan Menteri Perhubungan Nomor: KM 70 Tahun 1998 tentang pengawakan kapal niaga yang mengatur mengenai jumlah minimum pengawakan kapal niaga. Sebagai contoh, jumlah minimum untuk kapal niaga untuk daerah pelayaran semua lautan untuk tonase kotor GT 10.000 atau lebih minimum memiliki jumlah awak kapal bagian dek 12 (dua belas) orang dengan jumlah jabatan 1 orang nahkoda, 1 orang mualim I, 2 orang mualim, 1 orang operator radio, 1 orang serang, 3 orang juru mudi, 2 orang kelasi, 1 orang koki dan 1 orang pelayan. Untuk awak kapal bagian mesin di kapal niaga dengan daerah pelayaran semua lautan dengan tenaga penggerak 7.500 KW atau lebih minimum memiliki jumlah awak 9 orang dengan jumlah jabatan 1 orang Kepala Kamar Mesin, 1 orang Masinis I, 2 orang Masinis, 1 orang mandor mesin, 3 orang juru minyak dan 1 orang pembantu di kamar mesin (*wiper*).

Ketentuan mengenai pengawakan kapal penangkap ikan belum diatur dalam regulasi, sehingga menimbulkan ketidakpastian mengenai pengawakan kapal penangkap ikan sesuai dengan daerah pelayaran, ukuran kapal dan daya penggerak kapal. Pola kegiatan kapal penangkap ikan yang berbeda dengan kapal niaga, sehingga memerlukan sertifikat keahlian dan jumlah awak kapal yang berbeda. Berdasarkan Standar Kapal Non-Konvensi Berbendera Indonesia bab VIII tentang

pengawasan, sertifikat keahlian pelaut penangkap ikan masuk kedalam kapal kategori E.

Hal yang menjadi perhatian dalam penelitian ini adalah bagaimana menentukan jumlah kru dan kompetensi kru yang sesuai dengan pole kegiatan kapal penangkap ikan sehingga dapat berdampak pada efisiensi biaya perawatan di kapal.

Metode dinamika sistem merupakan metode pemodelan yang menggunakan hubungan sebab-akibat dalam menyusun model suatu sistem yang kompleks.

Metode ini memberikan pemahaman yang jelas mengenai tindakan dan respon yang dihasilkan dari sebuah sistem. Dengan mempelajari dan memahami sistem yang sangat kompleks akan signifikan untuk sebuah organisasi dan individu (Sterman, 1994). Penggunaan metode ini lebih ditekankan tentang bagaimana tingkah laku sistem. Kaitannya dengan keterampilan kru dan jumlah kru terhadap perawatan pada kapal latih karena faktor human memiliki sifat yang dinamis, dengan pengertian kondisinya selalu berubah terhadap waktu serta fenomenanya yang mengandung umpan balik, artinya perlakuan terhadap kru pada saat ini merupakan umpan balik dari perlakuan terhadap kru di waktu yang akan datang.

1.2 Rumusan Masalah

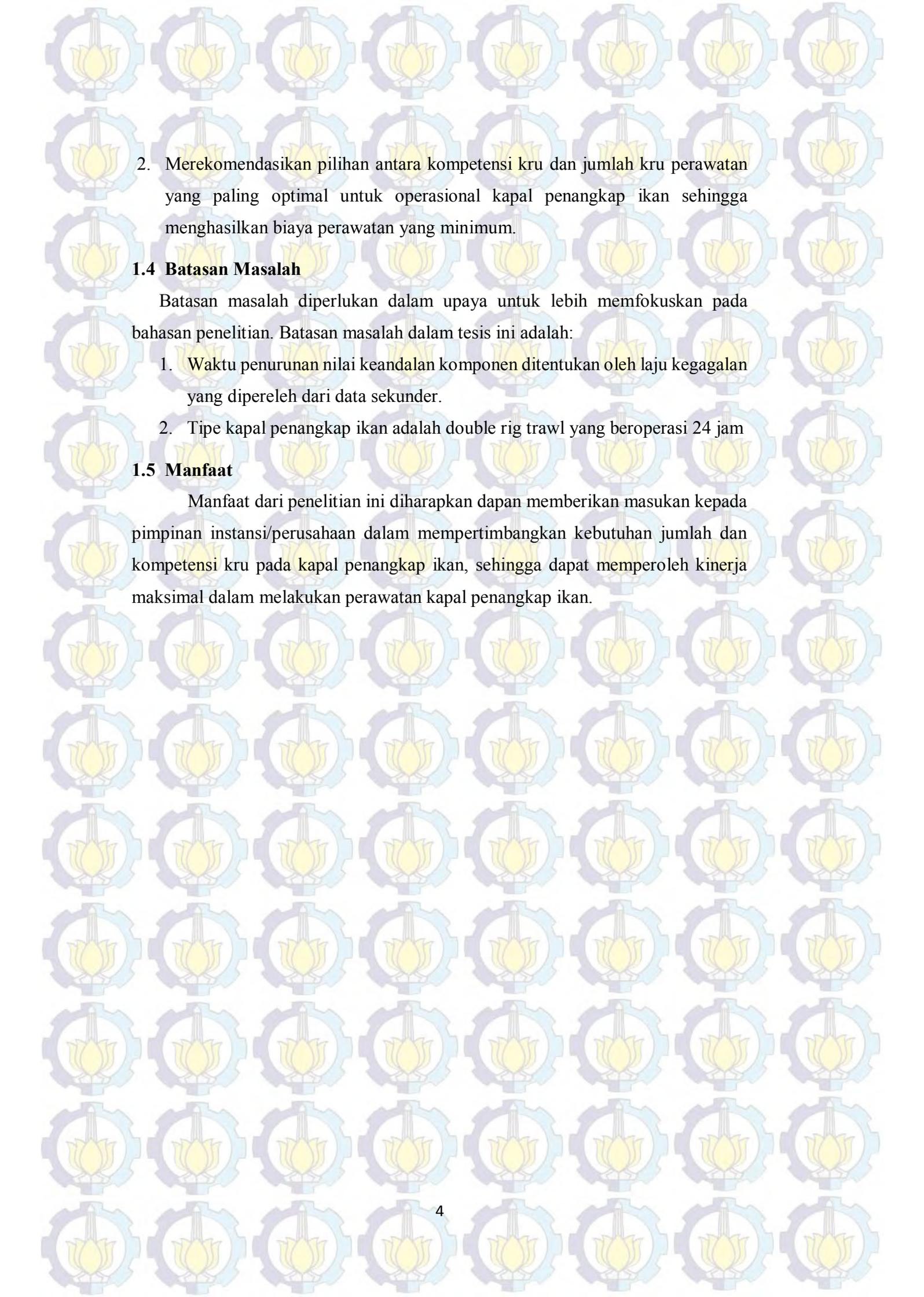
Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana memodelkan kompetensi dan jumlah kru perawatan terhadap biaya perawatan kapal penangkap ikan dengan menggunakan pendekatan dinamika sistem.
2. Manakah diantara kompetensi kru dan jumlah kru perawatan yang paling efektif untuk operasional kapal penangkap ikan sehingga menghasilkan biaya perawatan yang minimum.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Memodelkan kompetensi dan jumlah kru perawatan terhadap terhadap biaya perawatan kapal penangkap ikan dengan menggunakan pendekatan dinamika sistem.

- 
2. Merekomendasikan pilihan antara kompetensi kru dan jumlah kru perawatan yang paling optimal untuk operasional kapal penangkap ikan sehingga menghasilkan biaya perawatan yang minimum.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah diperlukan dalam upaya untuk lebih memfokuskan pada bahasan penelitian. Batasan masalah dalam tesis ini adalah:

1. Waktu penurunan nilai keandalan komponen ditentukan oleh laju kegagalan yang diperoleh dari data sekunder.
2. Tipe kapal penangkap ikan adalah double rig trawl yang beroperasi 24 jam

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan kepada pimpinan instansi/perusahaan dalam mempertimbangkan kebutuhan jumlah dan kompetensi kru pada kapal penangkap ikan, sehingga dapat memperoleh kinerja maksimal dalam melakukan perawatan kapal penangkap ikan.

Tabel 2.2. Literature Review (lanjutan)

NO	PENULIS/JUDUL	METODOLOGI	HASIL
5	Ashraf W. Labib ; 2004; Emerald/ <i>a decision analysis model for maintenance policy selection using a CMMS</i>	model analisis pengambilan keputusan dengan konsep <i>holonic system</i> dan <i>fuzzy logic</i>	kombinasi dari AHP dan FL control untuk memberikan panduan dalam pengambilan keputusan tentang bagaimana suatu aset seharusnya dirawat.
6	Chin-cih Chang ; 26 november 2013; Computer & industrial engineering ; Elsevier / <i>optimum preventive maintenance policies for systems subject to random working times, replacement, and minimal repair</i>	mengkombinasi model penggantian atau perbaikan minimal pada kegalan melalui perawatan tidak sempurna (p,q).	tiga model yang telah dimodifikasi dengan satu jam kerja, waktu kerja berturut-turut atau jam kerja pada usia T. Kegiatan perawatan dan penggantian membutuhkan waktu, kemungkinan kegagalan acak dapat diijinkan berdasar pada jumlah kegagalan atau usia sistem.
7	Xiaojun Zhou, Zhiqiang Lu, Lifeng Xi; 3 february 2012; <i>preventive maintenance optimization for a multi-component system under changing job shop schedule</i>	pemodelan optimasi perawatan pencegahan untuk sistem dengan banyak komponen	model yang ditawarkan berdasarkan pada pemrograman dinamik optimasi jangka pendek. Jarak waktu keputusan dari model sesuai dengan durasi pekerjaan, sesuai untuk mengubah jadwal job shop.

8. Emil

Tabel 2.2. Literature Review (lanjutan)

NO	PENULIS/JUDUL	METODOLOGI	HASIL
8	Emil Gustavsson et al; 24 february 2014; Computer and Industrial engineering; elsevier / <i>preventive maintenance scheduling of multi-component systems with interval cost</i>	0-1 <i>integer linear programming</i> (0-1 ILP) model	menggunakan 0-1 ILP model dapat mengurangi biaya perawatan hingga 16% dibandingkan dengan metode perawatan yang terbaik yang diinvestigasi.
9	Kevin Linderman et al; 26 february 2004; european journal of operational research;elsevier / <i>An integrated systems approach to process control and maintenance</i>	<i>Design of Experiments</i> (DOE) untuk membangun model dan memeriksa sensitifitas dari parameter model dengan variabel (n,h,L,k) dan biaya tiap jam	menyarankan bahwa pengambilan keputusan mengenai perawatan dan kendali proses perlu untuk dikoordinasikan, yang pada prakteknya sering dianggap terpisah.
10	Phuc do van et al ; 12 April 2013; elsevier / <i>Dynamic grouping maintenance with time limited opportunities</i>	metode numerik	perencanaan perawatan yang dikelompokkan yang dapat menghemat biaya perawatan. Pada konteks yang dinamis, sistem dapat dihentikan untuk interval waktu tertentu seperti produksi dan atau alasan komersial.

11. devarun ...

Tabel 2.2. Literature review (lanjutan)

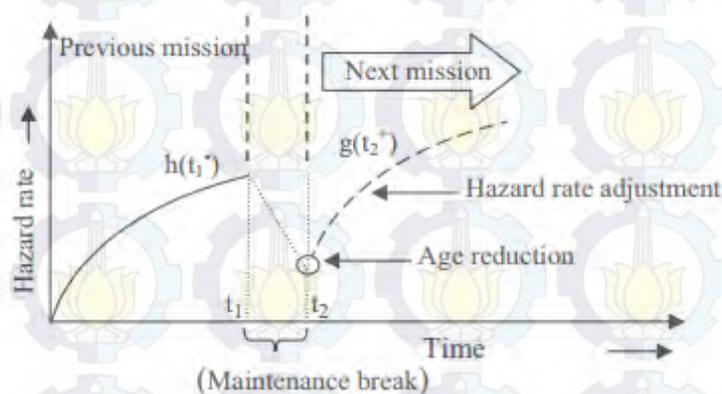
NO	PENULIS/JUDUL	METODOLOGI	HASIL
11	devarun ghosh, sandip roy; 25 januari 2009; journal of loss prevention in the process industries; elsevier / <i>optimization using probabilistic cost-benefit analysis</i>	meode numerik, <i>simple reliability analysis</i>	benefit-to-cost ratio (BCR) maksimum yang diperoleh untuk keduanya konstan dan secara linear meningkatkan nilai kegagalan peralatan. Interval perawatan preventif pada BCR maksimum adalah yang paling optimal
13	Resobowo, Didiet Sudiro, Lahar Baliwangi, Ketut Buda Artana, AAB Dinariyana. / <i>Sensitivity Analysis Of Crew skill to Maintenance Cost and Reliability for Main Engine Support Systems Using System Dynamics</i>	<i>System Dynamics</i>	Memetakan perilaku perubahan kemampuan ABK terhadap keandalan peralatan sistem bahan bakar kapal dan biaya perawatan

1.3 Kebijakan Perawatan

Suatu instalasi industri biasanya menggunakan dua jenis manajemen perawatan antara lain *Run-to-failure* atau *preventive maintenance*. Sebuah instalasi yang menggunakan manajemen *Run-to-failure* tidak mengeluarkan biaya untuk pemeliharaan mesin hingga mesin tersebut gagal untuk beroperasi. Hal ini

merupakan manajemen reaktif yang menunggu untuk kegagalan mesin atau peralatan sebelum tindakan perawatan dilaksanakan. Hal yang terkait dengan kebijakan perawatan ini terutama dari sisi biaya antara lain tingginya biaya persediaan suku cadang, biaya tenaga kerja yang tinggi, waktu mesin tidak dapat beroperasi cukup lama dan ketersediaan yang rendah.

Perawatan dapat didefinisikan sebagai sebagai semua kegiatan yang dibutuhkan untuk menjaga sebuah sistem bekerja sebagaimana fungsinya. Kegiatan tersebut diantaranya termasuk pemeriksaan, pelumasan, pengaturan, perbaikan, penggantian dan lain sebagainya (Pandey et al, 2012). Dalam melakukan kegiatan perawatan, tidak mungkin untuk melakukan semua kegiatan perawatan karena keterbatasan sumber daya seperti waktu, biaya dan ketersediaan SDM, dll. Dalam hal ini dilakukan pemilihan kegiatan perawatan untuk memastikan tujuan selanjutnya dapat dilaksanakan, kebijakan perawatan seperti ini disebut *selective maintenance*. Pada sebagian besar pekerjaan, waktu atau biaya dianggap sebagai sumber daya yang tersedia. Namun, biasanya personil pemeliharaan memiliki keterbatasan waktu dan biaya. Semua pekerjaan tersebut difokuskan pada penggantian dan/atau perbaikan minimal dari komponen saja. Namun, sistem dapat diperbaiki dengan kondisi antara sebaik kondisi awal dan seburuk kondisi akhir yang disebut dengan *imperfect maintenance* (Pandey et al, 2012).



Gambar 2.3. *hybrid imperfect maintenance* (Pandey et al, 2012)

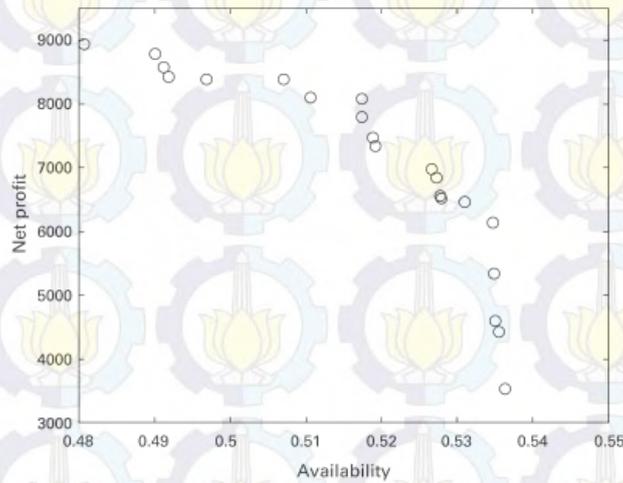
Pada saat pilihan kebijakan perawatan dalam hal ini menerapkan *imperfect maintenance*, sebuah keputusan dibutuhkan untuk pengurangan usia serta

pengurangan laju bahaya untuk tujuan selanjutnya. Selama masa perawatan, kegiatan perawatan dilakukan pada komponen yang mungkin akan mengubah usia efektifnya pada saat permulaan dari tujuan berikutnya serta laju kemiringan dari laju bahaya selama tujuan selanjutnya.

Pendekatan yang berbeda untuk perawatan dapat dilakukan secara korektif ataupun dijadwalkan secara berkala berdasarkan pengalaman teknisi. Ketika kondisi sistem dapat dimonitor secara terus menerus untuk sistem yang sedang beroperasi atau melalui test dan inspeksi untuk sistem *stand-by*, strategi perawatan *Conditional Based Maintenance* (CBM) dapat diterapkan (Marseguerra et al, 2002) dengan pengertian bahwa sebuah keputusan yang dibuat untuk mempertahankan kondisi sistem berdasarkan kondisi yang diamati dari sistem. Dengan pendekatan ini, kegiatan perawatan dilakukan hanya pada saat dibutuhkan misalnya terjadi degradasi komponen yang berlebihan atau komponen telah mencapai pada tingkat yang tidak dapat diterima. sehingga dapat menghemat sumberdaya dan ketersediaan sistem.

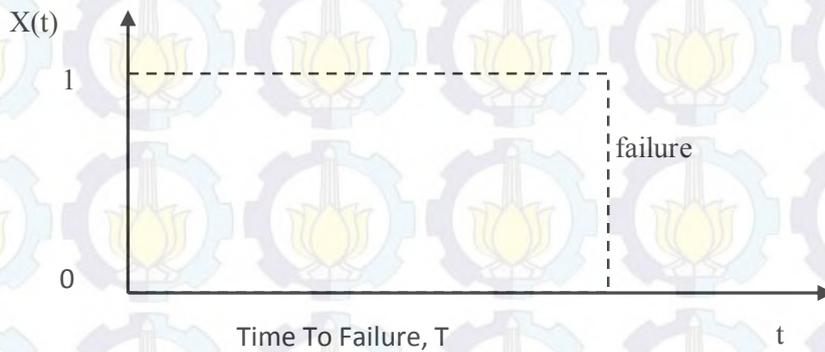
Gambar 4 menunjukkan estimasi monte carlo dari dua fungsi yaitu *system availability* selama mission time dan total profit bersih yang diterima selama mission time. Pada umumnya meningkatkan kondisi perubahan degradasi, nilai ketersediaan yang optimal akan lebih rendah dibanding kasus sebelumnya. Hal ini juga menarik untuk dicatat bahwa nilai-nilai ambang batas untuk komponen jenis ketiga terkonsentrasi di sekitar nilai atas interval. Hal Ini merupakan konsekuensi dari asumsi bahwa hanya dua dari tiga komponen dapat dilakukan perawatan pada saat yang sama untuk jenis komponen ini.

Dengan demikian, melakukan pemeliharaan sejarang mungkin memungkinkan untuk mengurangi efek dari berkurangnya jumlah pekerja pemeliharaan dan menghindari terlalu banyak *downtime* karena menunggu untuk pemeliharaan. Hal ini karena keandalan komponen yang relatif tinggi dari studi kasus ini atau *downtime* karena kegagalan akan merekomendasikan tindakan perawatan yang lebih sering bahkan dengan risiko waktu tunggu yang lama (Marseguerra et al, 2002).



Gambar 2.4. Hasil optimasi multiobjective (Marseguerra et al, 2002)

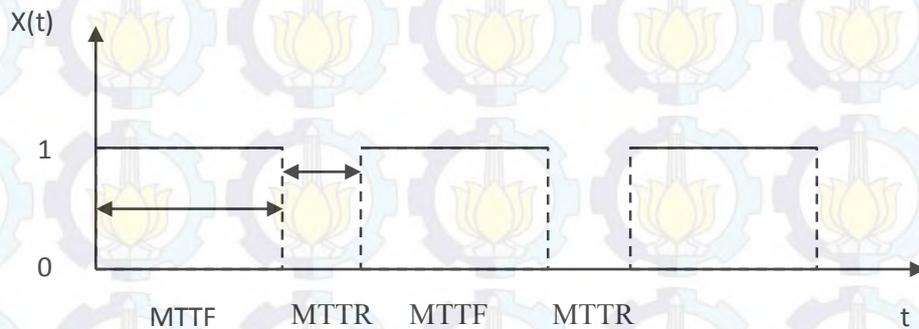
Beberapa ukuran kuantitatif keandalan sebuah komponen atau sistem antara lain fungsi keandalan (*Reliability function* $R(t)$), laju kegagalan (*failure rate* – $z(t)$) dan *Mean time to Failure* (MTTF) (artana, 2013). *Time to failure* (TTF) merupakan durasi waktu yang dimulai saat komponen atau sistem tersebut dioperasikan hingga mengalami kegagalan pertama. Waktu untuk mencapai kegagalan pertama tersebut bersifat acak sehingga TTF merupakan variabel acak yang disimbolkan dengan T .



Gambar 2.5. State variable dan TTF (Artana, 2013)

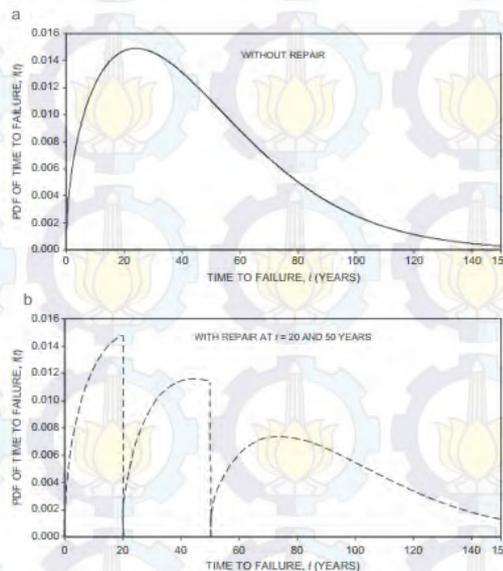
Mean Time To Failure (MTTF) merupakan waktu rata-rata sistem beroperasi hingga kegagalan terjadi. Apabila waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan atau penggantian komponen adalah sangat singkat, maka MTTF sering diartikan sama dengan MTBF (*mean time between failure*). Namun jika waktu

pergantian atau perbaikan komponen tidak dapat diabaikan, maka MTBF harus mengakomodasi MTTR (*mean time to repair*)



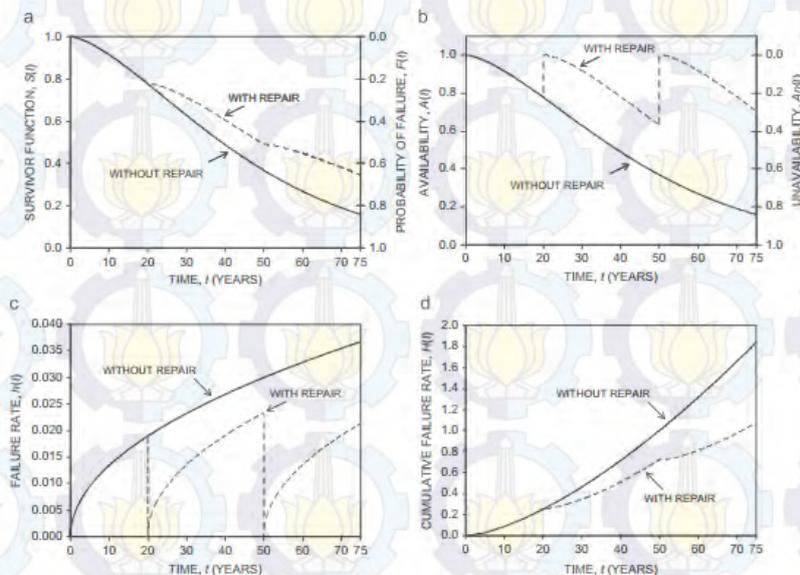
Gambar 2.6. MTTF dan MTTR (Artana, 2013)

Probability Density Function (PDF) of Time To Failure merupakan hubungan antara informasi statistik yang tersedia dan model prediktif seumur hidup. *Time to failure* dari sebuah komponen diperlakukan sebagai variabel acak T , didefinisikan sebagai waktu berlalu dari waktu komponen tersebut mulai beroperasi sampai gagal untuk pertama kalinya (Hoyland, 1994). Pilihan dari *time to failure* PDF diatur berdasarkan karakteristik komponen dan pola kegagalannya.



Gambar 2.7. *The PDF of Time to failure* $f(t)$: a. Tanpa perbaikan dan b. Dengan perbaikan pada $t=20$ dan 50 tahun (Okasha, 2010)

Gambar 2.8 menunjukkan plot untuk semua fungsi pada komponen baik dengan perbaikan maupun tanpa perbaikan. Terlihat jelas bahwa tindakan perawatan memperlambat kerusakan dan fungsi untuk mempertahankan $S(t)$ (Gbr. 7 (a)) dan peningkatan pada tingkat bahaya kumulatif $H(t)$ (Gbr. 7 (d)). Terlihat jelas bahwa perbaikan mengembalikan ketersediaan $A(t)$ (Gbr. 7 (b)) dan laju kegagalan $h(t)$ (Gbr. 7 (c)) menjadi nilai awalnya (Okasha, 2010)



Gambar 2.8. Efek dari perbaikan pada $t=20$ dan 50 tahun pada (a) *survivor function* dan *availability* (b) *redundancy* (c) *hazard* dan (d) *cumulative hazard* pada sebuah sistem dengan tiga komponen paralel (Okasha, 2010)

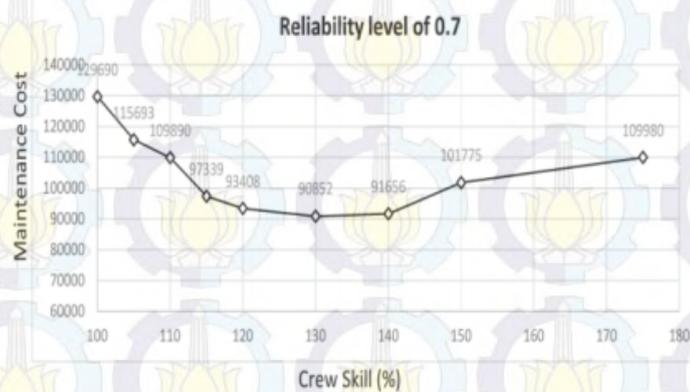
1.4 Human Factor

Secara umum terdapat 2 tipe perawatan preventif yaitu *Time Based Maintenance* (TBM) dan *Condition Based Maintenance* (CBM). Untuk CBM, dimana kegiatan dilakukan setelah inspeksi, tergantung pada kondisi sistem. Hal tersebut dapat berupa tanpa perawatan atau perawatan ringan, untuk mengembalikan sistem ke kondisi sebelum terjadi degradasi atau *major maintenance* untuk mengembalikan sistem pada kondisi sebaik kondisi barunya. Untuk *Time Based Maintenance* (TBM) dilakukan pada interval waktu tertentu untuk mengembalikan ke kondisi sebaik barunya. (Asadzadeh, et al, 2014) pada

realitasnya strategi perawatan melibatkan manusia pada fungsi yang berbeda sementara itu performa manusia tidak selalu sempurna

Nakagawa dan Yasui mengusulkan dua alasan yang menyebabkan perawatan yang tidak baik yang pertama adalah *hidden faults and failures* yang tidak terdeteksi selama perawatan selanjutnya adalah *human errors* seperti pengaturan yang tidak tepat yang menyebabkan kerusakan selama perawatan dan penggantian dengan komponen yang salah.

Hubungan antara kompetensi kru terhadap biaya perawatan pada berbagai tingkat keandalan ditunjukkan dengan menggunakan simulasi dinamika sistem. Seperti terlihat pada gambar 2.9 bahwa peningkatan kompetensi kru akan berpengaruh terhadap biaya perawatan pada tingkat keandalan tertentu. Hal ini berarti peningkatan skill dari teknisi perawatan akan mengurangi biaya perawatan, peningkatan tingkat keandalan pada *crew skill* tertentu akan berpengaruh terhadap biaya investasi dan biaya perawatan (Resobowo, et al, 2014)



Gambar 2.9. pengaruh *crew skill* terhadap biaya perawatan

Dalam gambar 2.9 menjelaskan bahwa terdapat nilai optimum dalam menaikkan skill dari seorang kru yang berhubungan dengan biaya perawatan. Terlihat pada grafik bahwa peningkatan kompetensi kru pada *level* diatas 130% tidak dapat mengurangi biaya perawatan melainkan justru akan menambah biaya perawatan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dinamika Sistem

Dinamika sistem merupakan suatu metode untuk menjelaskan sebuah sebab dari suatu kejadian yang dianggap sebuah masalah yang terkadang dianggap sebagai suatu kejadian yang lain. Jay forrester mendefinisikan sistem dinamik sebagai sebuah studi dari kegiatan industri yang mempunyai karakteristik informasi umpan balik yang bertujuan ntuk menunjukkan bagaimana struktur dari sebuah organisasi, penerapan kebijakan,dan tindakan yang ditunda yang mempengaruhi performa dari organisasi secara keseluruhan. Dinamika sistem digunakan untuk memodelkan sistem dengan karakteristik umpan balik yang kompleks dengan umpan balik dari beberapa keputusan, penundaan dan nonlinearitas.

Forrester menyarankan bahwa sebuah model harus mengikuti karakteristik :

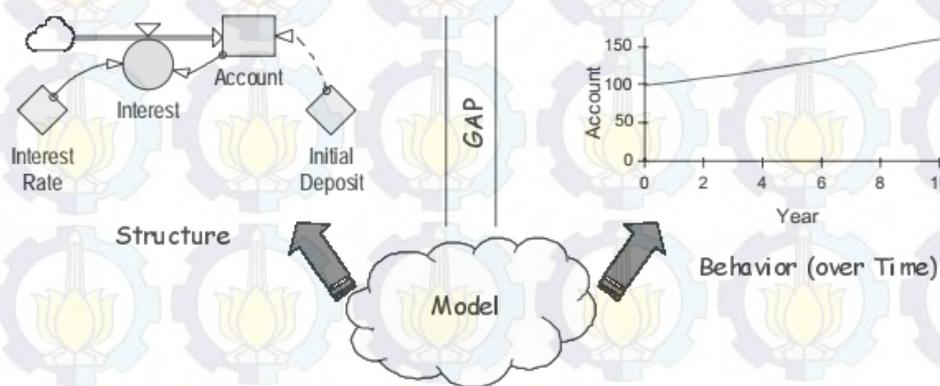
- a. Dapat mendeskripsikan beberapa pernyataan dari hubungan sebab akibat yang akan dimasukkan
- b. Merupakan matematika sederhana
- c. Memiliki kesamaan yang dekat dalam nomenklatur untuk industri, ekonomi dan sosial
- d. Dapat diperluas untuk jumlah variabel yang besar (ribuan)
- e. Dapat menangani interaksi yang berkelanjutan

Dinamika sistem memiliki dua aspek yaitu kualitatif dan kuantitatif. Aspek kualitatif melibatkan konstruksi dari *causal loop* atau *influence diagram*, yang menggambarkan secara grafis bagaimana elemen sistem berhubungan. Tujuannya adalah untuk memahami permasalahan melalui struktur sistem dan hubungannya yang variabel yang relevan. (Brailsford, 2008).

Untuk pemodelan dinamika sistem secara kuantitatif, *causal loop diagram* dikonversi menjadi *stock-flow diagram*. Model ini dapat dianalogikan sebagai sistem dari tangki air yang dihubungkan dengan pipa. Air mengalir dari pipa ke pipa dan laju alirannya diatur oleh katup pada pipa. Air pada pipa dianalogikan

dalam dinamika sistem merupakan kuantitas yang berkelanjutan. Oleh karena itu dapat merepresentasikan keuangan, manusia, material, produk dan lainnya.

Dinamika sistem telah mengembangkan berbagai cara untuk membantu memahami struktur dan perilaku model. Solusi paling sederhana yang berkaitan dengan struktur model dan perilaku model yang terpisah. Tabel waktu dan grafik waktu biasanya digunakan untuk menampilkan bagaimana nilai-nilai variabel berkembang dari waktu ke waktu. Simbol yang mewakili variabel model dapat dihubungkan bersama-sama dalam berbagai cara untuk membentuk *Causal Loop Diagram* (CLD) atau *Accumulator Flow Diagram* (AFD) memvisualisasikan struktur model (Magne Myrvtveit)



Gambar 2.1 Struktur dan tingkah laku digambarkan secara terpisah

Sifat (menyeimbangkan atau memperkuat) dari sebuah loop akan berubah jika salah satu koneksi mengubah polaritas (dari negatif ke positif, atau sebaliknya). Kekuatan relatif mereka biasanya bervariasi dari waktu ke waktu dalam model non-linear. Mengetahui sifat loop tidak cukup untuk menentukan perilaku.

Terdapat beberapa pendekatan yang telah dilakukan dalam membangun sistem dynamics antara lain:

(1) pembangunan model berdasarkan berdasar *causal-loop diagram* (Coyle, 1996) model ini membangun model kuantitatif menggunakan *causal loop diagram* karena dapat menjelaskan struktur model untuk mengatur kondisi awal dan akhir dari proses pemodelan (Mirjana Pejic-bach, 2007). Beberapa masalah dapat muncul pada saat menggambarkan dan membangun *causal-loop diagram* serta dalam memperoleh karakter sistem. Masalah utamanya adalah *causal loop diagram*

mengaburkan struktur persediaan dan aliran dari sistem (Richardson, 1986). Causal loop diagram digunakan untuk memperoleh *stock and flow diagram* seperti persamaan dinamika sistem.

(2) pembangunan model berdasar pada identifikasi sumber dan kondisinya (Wolfstenholme, 1990)

pendekatan ini berdasar pada identifikasi sumber daya, kondisi dan lajunya, dimana sumber daya dapat mengubah kondisinya. Sumberdaya dalam hal ini dapat berupa material, manusia, uang, permintaan dll. Kondisi sumberdaya merupakan akumulasi sumber daya yang relevan untuk tujuan dari model sementara laju merupakan sumber daya yang diubah antar kondisi yang direpresentasikan oleh *rate variables* (Mirjana Pejic-bach, 2007). Tujuan dari pendekatan ini adalah untuk menjelaskan sumber daya dan kondisinya, mengidentifikasi sumber daya yang tidak sesuai dengan tujuan pemodelan (Wolstenholme, 1990)

(3) penggunaan struktur yang umum (*generic structures*) untuk wilayah yang spesifik (Wolfstenholme, 2004)

generic structures merupakan struktur yang cukup sederhana yang muncul dalam berbagai situasi (Albin et al, 2001) dan dapat membantu dengan membuat hipotesis dinamik pada awal proses pemodelan. Dengan menyederhanakan sistem menjadi *generic structures* pembuat model yang kurang berpengalaman dan dengan mudah menggunakan *generic structures* yang salah yang tidak sesuai dengan sistem tertentu (Breirova, 2001)

(4) Strategi komponen untuk memformulasikan model dinamika sistem (Forrester, 1968; Goodman, 1975)

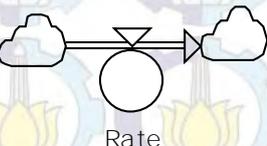
konsep yang paling banyak digunakan saat ini adalah strategi komponen dalam membangun model dinamika sistem. Pendekatan ini terkonsentrasi pada formulasi *stock and flow diagram*, dan menghubungkan konsep dari interaksi matriks untuk mendukung formulasi beberapa model (Burns et al, 2002). Tujuannya adalah untuk mengembangkan bantuan komputer yang akan memfasilitasi formulasi model agar meningkatkan kecepatan proses dari formulasi model dinamika sistem (Mirjana Pejic-bach, 2007).

2.1.1 Simbol dalam Dinamika Sistem

Pemodelan dinamika sistem memiliki beberapa simbol yang digunakan untuk mewakili variabel dan fungsi yang berbeda pada model. Tiap simbol memiliki fungsi yang berbeda sehingga penting untuk memahami kapan dan bagaimana tiap simbol ditempatkan dalam pemodelan dinamika sistem.

Table 2.1 merupakan bentuk simbol serta pengertian dan fungsi dari tiap simbol yang digunakan dalam pengujian kompetensi dan jumlah kru.

Tabel 2.1. Simbol pada Pemodelan Dinamika Sistem

NO	SIMBOL	NAMA	FUNGSI
1	 level	<i>LEVEL</i>	Berfungsi untuk mengakumulasi hasil dari masukan yang ditentukan oleh <i>rate</i>
2	 Auxiliary	<i>Auxiliary</i>	Menerima, menghitung dan meneruskan hasil perhitungan ke perhitungan selanjutnya yang bersifat dinamis terhadap waktu
3	 Constant	<i>Constant</i>	variabel yang bernilai tetap dan tidak dipengaruhi oleh waktu
4	 Rate	<i>Inflow Rate</i> / <i>Outflow Rate</i>	Mengontrol nilai akumulasi pada <i>level</i> berdasarkan satuan waktu tertentu dapat berupa laju penambahan atau pengurangan terhadap <i>level</i>
5		Link	Membuat hubungan antar variabel
6	 Auxiliary	Error Symbol	Simbol dengan “?” mengindikasikan bahwa simbol tidak didefinisikan dengan benar

Dilanjutkan ..

Tabel 2.1. Simbol pada Pemodelan Dinamika Sistem (lanjutan)

7		# symbol	Simbol dengan indikator “#” mengindikasikan bahwa terdapat ketidak sesuaian antara diagram yang dibuat dengan definisi modelnya
---	---	----------	---

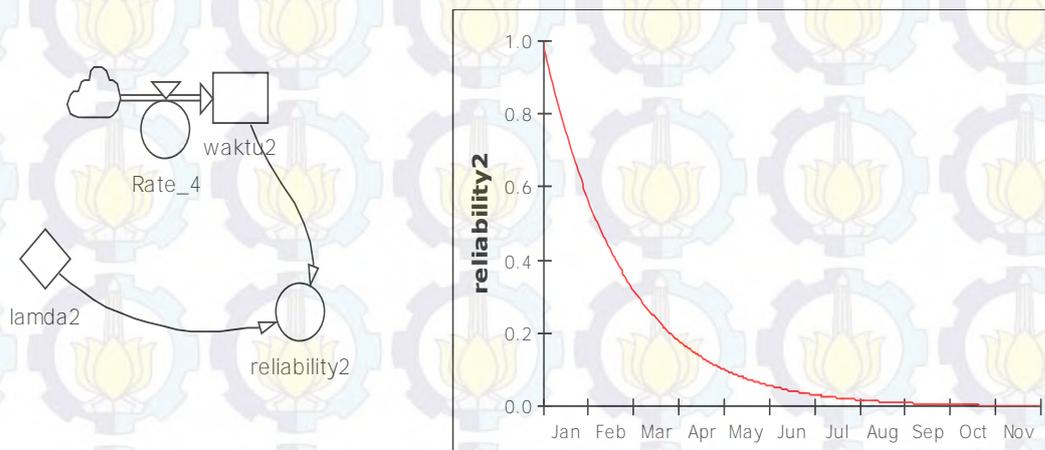
Dalam pemodelan dinamika sistem perlu dipertimbangkan penggunaan simbol tersebut untuk memodelkan kondisi real ke dalam simulasi sehingga hasil simulasi dapat mendekati dan mewakili kondisi yang sebenarnya.

Dalam pemodelan, seringkali terdapat kesalahan yang ditunjukkan oleh munculnya tanda “?” atau “#” pada *level*, *auxiliary*, *flow rate*, maupun *constant*. Tanda “?” muncul apabila simbol tersebut belum didefinisikan dengan benar, sumber kesalahannya dapat berasal dari tidak ada definisi model dalam simbol, formula yang digunakan tidak tepat, kesalahan dalam penulisan definisi model atau satuan antar variabel yang berhubungan tidak sesuai.

Kesalahan yang ditunjukkan oleh tanda “#” pada *level*, *auxiliary*, link, maupun *constant* menunjukkan bahwa terdapat ketidak sesuaian hubungan antara diagram dengan definisi model. Hal ini dapat terjadi apabila dua variabel yang terhubung pada diagram namun belum terhubung pada definisi model. Kesalahan lainnya adalah apabila dua variabel tidak terhubung oleh link pada diagram, namun terhubung pada definisi model.

2.1.2. Pemodelan Keandalan Sistem

Keandalan menyatakan peluang sebuah komponen atau sistem dapat menjalankan fungsinya dalam periode waktu tertentu, sehingga semakin bertambahnya waktu, peluang sukses dari komponen atau sistem tersebut akan semakin berkurang.



Gambar 2.2. Pemodelan dinamika sistem untuk keandalan

Pada simulasi dinamika sistem diatas menjelaskan bahwa *level* mewakili penambahan waktu, *constant* merupakan laju kegagalan dan *auxiliary* merupakan kondisi keandalan komponen yang mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya waktu. Sehingga menghasilkan grafik penurunan nilai keandalan terhadap waktu.

Pada gambar 2.2 terdapat 4 simbol untuk membentuk nilai keandalan yaitu *level*, *inflow rate*, *auxiliary* dan *constant*. Variabel “waktu2” merupakan *level* yang mengakumulasi nilai dari “rate_4” yang merupakan *inflow rate*. Dalam melakukan akumulasi informasi ini, variabel “waktu2” dimodelkan sebagai waktu sehingga pada *inflow rate* model didefinisikan akan memberikan nilai 1 tiap 1 jam ($1/1 \llcorner hr \gg$). Definisi *inflow rate* ini dapat didefinisikan bahwa tiap 1 jam terdapat penambahan nilai sebesar 1 pada *level* “waktu2”.

Variabel “lamda2” merupakan *constant* yang menginformasikan nilai laju kegagalan komponen yang bernilai tetap sepanjang waktu simulasi. Sementara variabel “reliability2” merupakan *auxiliary* yang menerima informasi berupa nilai lamda dari *constant* “lamda2” dan waktu yang nilainya berubah tiap jam dari *level* “waktu2”. *Auxiliary* “reliability2” bekerja berdasarkan definisi model $EXP(-(\text{lamda} * \text{waktu2}))$. Dari definisi model pada *auxiliary* “reliability2” dapat terlihat bahwa terdapat variabel tetap yang mempengaruhi nilai dari *auxiliary* yaitu *constant* “lamda2” dan variabel yang dinamis yang mempengaruhi nilai dari

auxiliary yaitu *level* "waktu2" sehingga menghasilkan grafik yang berubah terhadap waktu pada gambar 2.2.

Diagram dinamika sistem pada gambar 2.2 dapat dituliskan dalam teks sebagai berikut

1. Definisi model untuk *level* "waktu2"

```
Level waktu2 {  
  reservoir  
  autotype Real  
  init 0  
  inflow {autodef rate_4}}
```

Teks di atas mendefinisikan untuk variabel *Level* dengan nama "waktu2" pada diagram memiliki karakteristik sebagai "reservoir". Karakteristik reservoir pada variabel *level* memiliki arti bahwa nilai akumulasi pada *level* tersebut tidak dapat bernilai lebih rendah daripada nol.

Autotype real menjelaskan bahwa nilai pada *level* "waktu" merupakan bilangan riil dengan nilai awal adalah 0 (init 0). Selanjutnya untuk teks *inflow {autodef rate_4}* menjelaskan nilai yang diperoleh pada *level* "waktu2" diperoleh dari *auxiliary* "rate_4" yang merupakan laju penambahan nilai pada *level* "waktu"

2. Definisi model untuk *auxiliary* "rate_4"

```
Aux Rate_4 {  
  Autotype Real  
  Autounit hr^-1  
  Def 1/1 <<hr>>}
```

Teks tersebut mendefinisikan variabel *Auxiliary* dengan nama "Rate_4" pada diagram merupakan bilangan real yang dinotasikan dengan *Autotype Real* dengan satuan hr^{-1} dideskripsikan oleh *autounit* hr^{-1} . Definisi fungsi dari *auxiliary* adalah $1/1$ jam artinya *auxiliary* "rate_4" akan menambahkan nilai sebesar 1 satuan untuk *level* "waktu2" tiap simulasi berjalan 1 jam yang dinotasikan oleh *Def* $1/1 \ll hr \gg$.

3. Definisi model untuk *auxiliary* “reliability2”

Aux *reliability2* {
 Autotype real
 *Def EXP(-(lamda2*waktu2))*}

Teks di atas mendefinisikan variabel *auxiliary* dengan nama “reliability2” pada diagram merupakan bilangan riil dengan definisi fungsinya adalah $EXP(-(lamda2*waktu2))$ berdasar pada fungsi *Reliability* ($R = e^{-\lambda t}$). Variabel *auxiliary* akan menampilkan nilai hasil perhitungan fungsi yang didefinisikan pada model tersebut dan akan merekam setiap perubahannya terhadap waktu sehingga dapat menghasilkan grafik keandalan seperti pada gambar 4.2

Definisi model tersebut dapat dituliskan dalam bentuk persamaan fungsi *Reliability* untuk distribusi eksponensial ($R = e^{-\lambda t}$) dimana e adalah bilangan euler dengan nilai 2.71828, λ adalah laju kegagalan dan t adalah waktu

4. Definisi model untuk *constant* “lamda2”

Const *lamda2* {
 Autotype real
 Init 0.000795}

Teks di atas mendefinisikan variabel *constant* “lamda2” pada diagram merupakan bilangan real yang dinotasikan oleh *Autotype real* dengan nilai 0.000795. Nilai pada *constant* “lamda2” merupakan nilai yang tetap dan tidak berubah sepanjang waktu simulasi.

Definisi model tersebut dapat dituliskan untuk lamda yang merupakan konstanta dalam persamaan matematika, $\lambda = 0.000795$.

1.2 Literature Review

Beberapa penelitian sebelumnya yang telah dilakukan yang berkaitan dengan topik pada penelitian ini sebagai bahan referensi disajikan dalam tabel 1 di bawah ini

Tabel 2.2. Literature Review

NO	PENULIS/JUDUL	METODOLOGI	HASIL
1	Lahar Baliwangi, Kenji Ishida, hidetoshi arima, ketut buda artana / <i>Obtaining optimum composition of multinational crew based on ship maintenance cost using artificial neural network</i>	Penggunaan pemodelan Neural network untuk menginvestigasi korelasi antara kewarganegaraan para kru dan peringkatnya dengan biaya pemeliharaan kapal	Pemodelan neural network dapat menduga variabel yang berpengaruh terhadap biaya pemeliharaan. Dengan asumsi kewarganegaraan dan peringkat kru mempengaruhi biaya pemeliharaan, jaringan memberikan 44,97% tanpa menggeser periode tahun dan 33,02% dengan menggeser periode tahun. Pengalaman kru merupakan satu variabel yang harus dipertimbangkan.
2	Celestine A. Ntuen & Eui H. Park / <i>Simulation of Crew size Requirement in a maintained reliability system</i>	Model simulasi dengan menggabungkan aturan produksi diskrit, yang menggunakan informasi perubahan kondisi.	jumlah perbaikan yang tidak direncanakan mempengaruhi ukuran kru yang dijadwalkan, model simulasi dikembangkan untuk memperkirakan kebutuhan ukuran kru pemeliharaan. Model simulasi menggabungkan aturan diskrit, yang menggunakan informasi perubahan kondisi.

3. Mohammad....

Tabel 2.2. Literature Review (lanjutan)

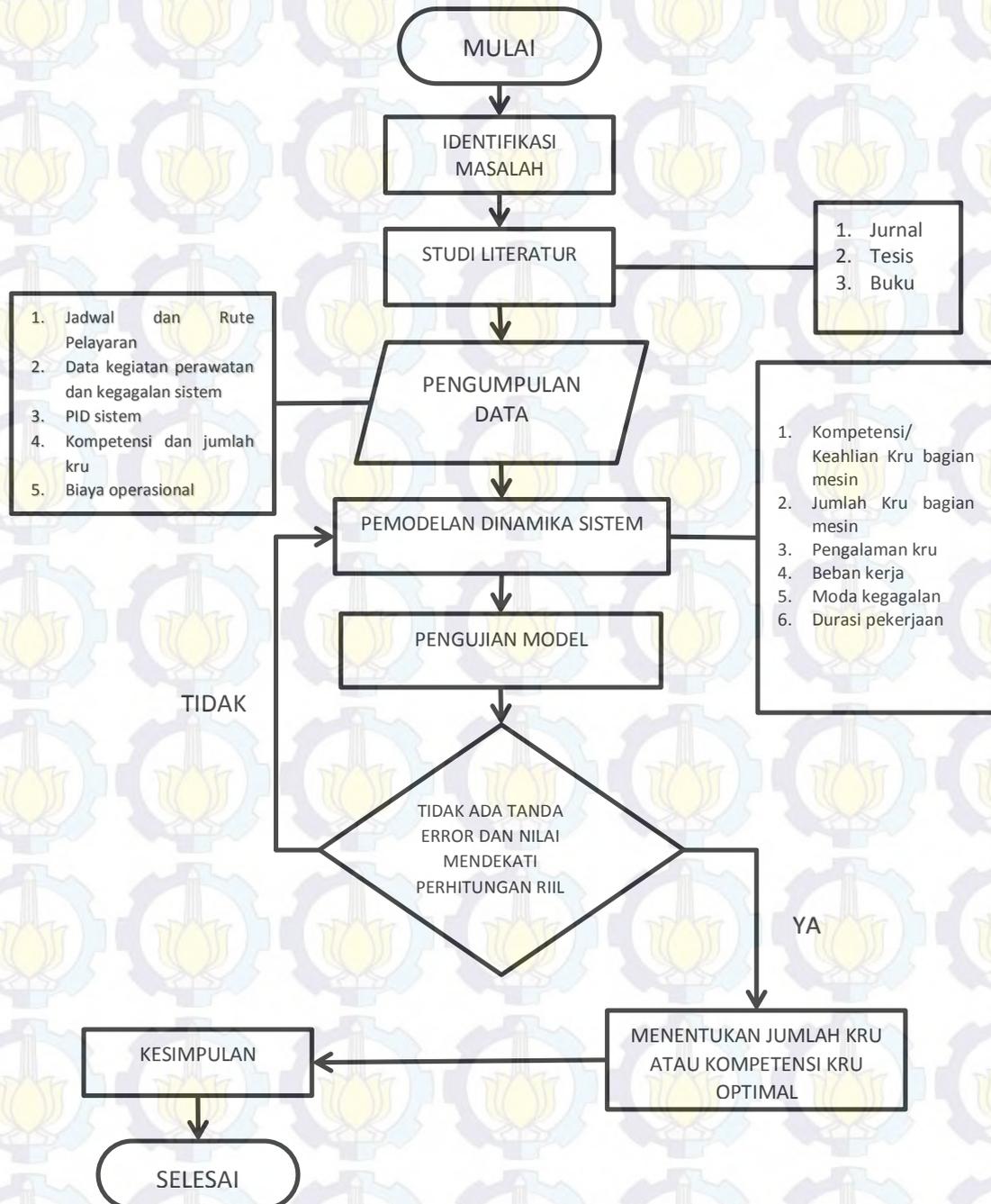
NO	PENULIS/JUDUL	METODOLOGI	HASIL
3	Mohammad Doostparast, Farhad Kolahan, Mahdi Doostparast / <i>A reliability-based approach to optimize preventive maintenance scheduling for coherent systems</i>	distribusi weibull digunakan untuk menghitung keandalan komponen dengan kebijakan perawatan yang diberikan <i>Simulated annealing (SA) algoritm</i> untuk mencari jadwal perawatan yang optimum	Efek dari kegiatan pemeliharaan pada reliabilitas sistem kemudian dirumuskan dengan menggunakan dua faktor perbaikan dan algoritma SA dilakukan untuk memecahkan masalah yang sedang dipertimbangkan secara efisien Hasil perhitungan menunjukkan bahwa algoritma SA mampu memperoleh solusi berkualitas tinggi (optimal atau mendekati optimal) dalam masa yang wajar.
4	Zimin (max) yang, Dragran Djurdjanovic, jun ni; july 2007; Springer / <i>maintenance scheduling in manufacturing systems based on predicted machine degradation</i>	<i>genetic algoritm</i> , digunakan untuk mencari jadwal perawatan dengan biaya paling efektif, berdasarkan produksi dan biaya perawatan	jadwal perawatan menghasilkan peningkatan yang signifikan pada biaya-manfaat, penggunaan informasi prediktif tentang performa peralatan melalui metode jadwal perawatan baru yang diusulkan, dapat menghasilkan keuntungan yang diperoleh dari jadwal perawatan yang optimal

5. Ashraf...

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Diagram Alir (Flow Chart)

Metodologi Penelitian secara umum dapat dijelaskan melalui diagram alir yang menggambarkan secara keseluruhan tahapan dalam menyelesaikan masalah.



Gambar 3.1. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

3.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah bertujuan untuk memperoleh gambaran umum dari permasalahan yang sedang diamati. Permasalahan pada penelitian ini antara lain Bagaimana pengaruh kompetensi dan jumlah kru perawatan terhadap biaya operasional kru kapal penangkap ikan

3.3 Studi Literatur

Tahap studi literatur ini bertujuan untuk memperoleh referensi dan landasan teori yang berkaitan dan mendukung dalam pelaksanaan penelitian ini. Studi literatur diperoleh dari beberapa bahan literatur seperti jurnal penelitian, Tesis atau penelitian yang pernah dilakukan dan buku terkait. Literatur yang terkait antara lain mengenai manajemen perawatan sebagai landasan teori dalam menentukan suatu perawatan pada sistem tertentu, mengetahui bagaimana perilaku kru, kompetensi kru serta kebutuhan kru dalam suatu kegiatan perawatan, pemodelan sistem dinamik untuk memodelkan bagaimana pengaruh keahlian dari seorang kru terhadap kegiatan perawatan.

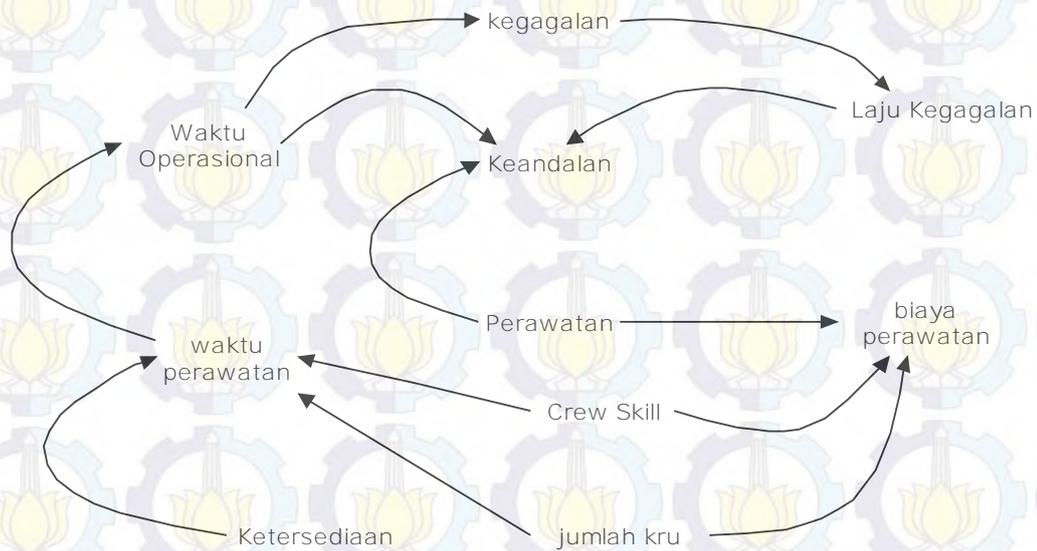
3.4 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui wawancara dengan pengelola dan kru kapal. Data yang dikumpulkan antara lain jadwal pelayaran kapal, Data kegiatan perawatan dan kegagalan sistem, PID sistem, kompetensi yang dimiliki kru, pengalaman yang dimiliki kru perawatan, jumlah kru perawatan dan biaya operasional.

3.5 Pemodelan Dinamika Sistem

Data yang telah diperoleh dianalisis dengan menggunakan pemodelan sistem dinamik. Sebelum melakukan pemodelan tersebut perlu dilakukan analisis pola kegiatan di kapal penangkap ikan terutama pada jumlah kru terkait dengan beban kerja untuk abk bagian mesin. Beban kerja dari abk mesin meliputi *preventive maintenance*, melakukan kegiatan penangkapan dan perawatan korektif. Pada saat terjadi kegagalan sistem yang mengakibatkan operasi penangkapan tidak dapat dilakukan, maka perlu dilakukan perawatan korektif/perbaikan pada sistem tersebut. Waktu yang dibutuhkan dalam melakukan kegiatan tersebut serta tingkat

kesulitannya akan mengarahkan pada siapa yang berkompoten untuk memperbaiki kerusakan tersebut.



Gambar 3.2. Causal loop diagram kegiatan perawatan

Tahap pemodelan terdiri dari konsep sistem dan simulasi model penyusunan skenario perawatan kapal yang dihubungkan dengan kompetensi dan jumlah kru perawatan.

Gambar 3.2. merupakan *causal loop* diagram kegiatan perawatan hubungannya dengan keandalan, kompetensi kru, jumlah kru dan biaya perawatan. Dalam melaksanakan kegiatan perawatan, dipengaruhi oleh tingkat keandalan dari suatu komponen. Ketika terjadi kegagalan, maka dalam melakukan perawatan korektif diperlukan sejumlah kru yang mampu untuk menangani beban kerja perawatan korektif. Selain jumlah kru yang dibutuhkan, waktu perawatan dipengaruhi juga oleh kompetensi kru, dimana waktu perawatan dimungkinkan lebih singkat jika kompetensi kru di tingkatkan. Sementara itu, untuk meningkatkan kompetensi kru, diperlukan training terhadap kru tersebut serta pengalaman dari kru tersebut. Dengan pelaksanaan kegiatan perawatan ini yang melibatkan keandalan, *crew skill* dan jumlah kru maka akan berdampak pada biaya perawatan yang dikeluarkan.

Pemodelan dilakukan dengan mengidentifikasi variabel dalam sistem yang kemudian disusun dalam *causal loop diagram*, formulasi model dan simulasi dilakukan dengan perhitungan dengan bantuan komputer.

3.6 Pengujian

Pengujian model dilakukan untuk melihat kesesuaian antara perilaku simulasi model dengan perilaku sistem yang sebenarnya. Setiap variabel dalam model harus dapat menggambarkan kondisi yang terjadi di dunia nyata. Selanjutnya apabila ditemukan ketidaksesuaian perilaku antara model dengan kondisi nyata, maka model segera diperbaiki sehingga model dapat menggambarkan keadaan sesuai dengan kondisi nyata.

3.7 Perancangan dan Evaluasi Kebijakan

Setelah struktur model diyakini telah menggambarkan perilaku sistem di dunia nyata, selanjutnya dikembangkan untuk merancang dan mengevaluasi kebijakan. Hal ini dilakukan untuk mengkaji pengaruh dari beberapa alternatif kebijakan dalam kegiatan perawatan yang berkaitan dengan sumber daya manusia, apakah dari sisi kompetensi kru ataupun dari sisi jumlah kru sehingga akan menghasilkan sistem yang sesuai harapan. Terhadap kebijakan yang dipilih diantisipasi juga dampak yang akan mengikuti kebijakan tersebut, sehingga dapat dilakukan langkah-langkah pencegahan.

3.8 Kesimpulan

Kesimpulan merupakan tahap akhir dari penelitian ini yang merupakan jawaban dari permasalahan yang dikemukakan dalam penelitian ini. Dengan menarik kesimpulan maka akan tergambar secara ringkas keseluruhan proses yang telah dilakukan dalam penelitian ini sehingga pembaca dapat mengetahui hasil dari penelitian ini.

BAB 4

ANALISA DATA

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana memodelkan hubungan antara kompetensi kru dengan jumlah kru dan biaya perawatan. Penggunaan metode dinamika sistem ini bertujuan untuk bagaimana kompetensi dan jumlah kru dapat mempengaruhi keandalan sebuah sistem yang akan berdampak pada biaya perawatan.

4.1. Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer meliputi jumlah kru, jam kerja kru, tugas dan tanggung jawab kru, sertifikat yang dimiliki para kru dan pengalaman bekerja. Selanjutnya data sekunder digunakan untuk melengkapi kekurangan data dikarenakan keterbatasan dalam memperoleh data primer meliputi laju kegagalan untuk komponen sistem.

4.1.1. Tugas dan Tanggung Jawab Kru

Tugas dan tanggung jawab kru kapal dikelompokkan berdasarkan jabatan, sehingga dapat diketahui pekerjaan yang dilakukan untuk tiap jabatan dan keterkaitan antara jabatan dengan pengalaman kerja, pendidikan atau sertifikat yang dimiliki. Lebih lanjut tugas dan tanggung jawab kru ini lebih dikembangkan sehingga menjadi list pekerjaan dan uraian kerja sehingga dapat diketahui beban kerja untuk tiap pekerjaan serta kategori pelaksana pekerjaan berdasarkan pengalaman kerja yang berhubungan dengan penentuan kompetensi kru.

Selanjutnya untuk memodelkan kompetensi kru kedalam pemodelan dinamika sistem, dibuat beberapa asumsi sehingga kompetensi kru yang bersifat kualitatif dapat disetarakan menjadi nilai persentase sehingga dapat dihitung dalam pemodelan dinamika sistem.

Tabel 4.1 Tugas dan tanggung jawab kru berdasarkan jabatan

Jabatan	Tugas dan Tanggung Jawab
Kepala Kamar Mesin (KKM)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Memegang kekuasaan tertinggi di kamar mesin, bertanggung jawab kepada nahkoda terhadap seluruh kegiatan yang ada di kamar mesin 2. Mengatur dan mengawasi kerja diruang mesin 3. Membuat dan mengisi buku jurnal harian kamar mesin 4. Melakukan dan merawat mesin – mesin yang ada diatas kapal 5. Mengontrol dan memeriksa keadaan semua mesin – mesin diatas kapal
Masinis	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sebagai pembantu utama KKM dalam melaksanakan pekerjaan di kamar mesin 2. Mengawasi dan melaporkan kejadian penting yang terjadi di dalam kamar mesin 3. Ikut menjaga kelancaran kerja mesin kapal secara bersama – sama dengan KKM dan melakukan perbaikan – perbaikan apabila terjadi kerusakan pada alat – alat mesin 4. Mencatat jurnal harian mesin
Juru Minyak (Oilers)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Membantu segala kegiatan yang dilakukan KKM maupun masinis dalam melaksanakan tugasnya 2. Melakukan perawatan mesin – mesin yang ada di atas kapal 3. Melakukan perbaikan – perbaikan pada mesin atau alat – alat yang rusak

Dilanjutkan ..

Tabel 4.1 Tugas dan tanggung jawab kru berdasarkan jabatan (Lanjutan)

	<ol style="list-style-type: none"> 4. Mengecek keadaan tangki harian, menjurnal harian di kamar mesin 5. Membersihkan ruang palka dan freezer, mengecek dan melaporkan suhu ruang palka maupun freezer 6. Bertanggung jawab kepada KKM atas kelengkapan dan kesiapan alat – alat mesin yang akan di gunakan
Kelasi Mesin	<ol style="list-style-type: none"> 1. Membantu masinis melaksanakan kegiatan perawatan dan perbaikan unit mesin. 2. Menjaga kebersihan ruang mesin 3. Melaksanakan tugas jaga mesin

Asumsi peningkatan kompetensi kru mengikuti table 4.2 yang mengklasifikasikan kompetensi kru berdasarkan sertifikat keahlian dan pengalaman kerja seorang kru.

Tabel 4.2. Asumsi Peningkatan Kompetensi Kru

Level	Sertifikat	Pengalaman
100 %	Sertifikat Keselamatan Dasar (BST)	0 – 24 bulan
110 %		2 – 4 Tahun
120 %		4 – 6 Tahun
130 %	ATKAPIN II	6 – 7 Tahun
140 %		7 – 8 Tahun
150 %		8 – 10 Tahun
160 %	ATKAPIN I dan beberapa sertifikat keterampilan lainnya	> 10 tahun

4.1.2 Sistem Pendingin Mesin induk

Sistem pendingin pada main engine berfungsi untuk menjaga kondisi komponen mesin agar tidak terjadi panas yang berlebih akibat pembakaran pada ruang bakar. Komponen pendukung sistem pendingin pada mesin induk tergambar pada diagram berikut.



Gambar 4.1. Diagram Blok Sistem Pendingin Mesin Induk

Tabel 4.3. Komponen dan Laju Kegagalan Sistem Pendingin

No	Nama Komponen	Laju Kegagalan	Waktu Perbaikan (jam)
1	Pompa Air tawar	3.34E-06	33
2	Heat Exchanger	1.88E-05	30.5
3	Oil Cooler	3.99E-06	15.3
4	Pompa air laut	6.45E-05	36
5	Filter	7.07E-05	1
	Laju kegagalan sistem	1.61E-04	115.8

4.2. Pemodelan Dinamika Sistem

Pemodelan dinamika sistem dilakukan untuk mencapai tujuan dari penelitian ini. Seperti telah disebutkan dalam bab 1 bahwa tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana kompetensi dan jumlah kru perawatan berpengaruh terhadap biaya perawatan serta merekomendasikan pilihan antara kompetensi kru dan jumlah kru perawatan yang paling efektif untuk operasional sehingga menghasilkan biaya perawatan yang minimum.

Pemodelan dinamika sistem dibangun untuk mencapai tujuan tersebut sehingga dapat mengetahui:

1. Faktor-faktor yang mempunyai dampak terhadap ketersediaan dan keandalan sistem, dalam hal ini di fokuskan terhadap kompetensi kru, jumlah kru serta biaya perawatan
2. Faktor-faktor yang mempunyai kaitan terhadap kompetensi kru seperti pendidikan, pelatihan dan pengalaman kerja,
3. Biaya yang dikeluarkan untuk menjamin sistem dapat bekerja dengan baik, termasuk biaya untuk kru.

4.2.1 Variabel dalam Pemodelan dinamika sistem

Beberapa variable yang digunakan dalam pemodelan dinamika sistem pada penelitian ini dapat didefinisikan pada table berikut

Tabel 4.4 Variable dalam Pemodelan Dinamika Sistem

Varibel	Deskripsi
<i>Reliability</i>	Peluang terjadinya kegagalan dalam sebuah sistem
<i>Failure rate</i>	Jumlah kegagalan dalam suatu interval waktu tertentu
Waktu Operasional	Lama sistem beroperasi sebelum terjadi perawatan atau perbaikan
Kondisi sistem	Menyatakan kondisi sistem sedang beroperasi atau dilakukan perawatan
Jumlah kru	Jumlah kru dalam perawatan sistem
Beban kerja	Pekerjaan yang harus diselesaikan dalam waktu tertentu
Biaya perawatan	Biaya yang dikeluarkan dalam melakukan perawatan
<i>Crew skill</i>	Keahlian yang dimiliki seorang kru
Waktu perbaikan	Waktu yang dibutuhkan dalam melakukan perbaikan
Waktu simulasi	Waktu yang digunakan dalam menjalankan simulasi (1 jam)

4.2.2. Formulasi Tingkah Laku Sistem

Beberapa asumsi awal dalam membangun tingkah laku sistem antara lain:

- a. Peluang terjadinya kegagalan akan meningkat seiring dengan bertambahnya waktu
- b. Waktu perbaikan dapat berkurang apabila pekerjaan dilakukan oleh kru yang memiliki kompetensi atau penambahan jumlah kru

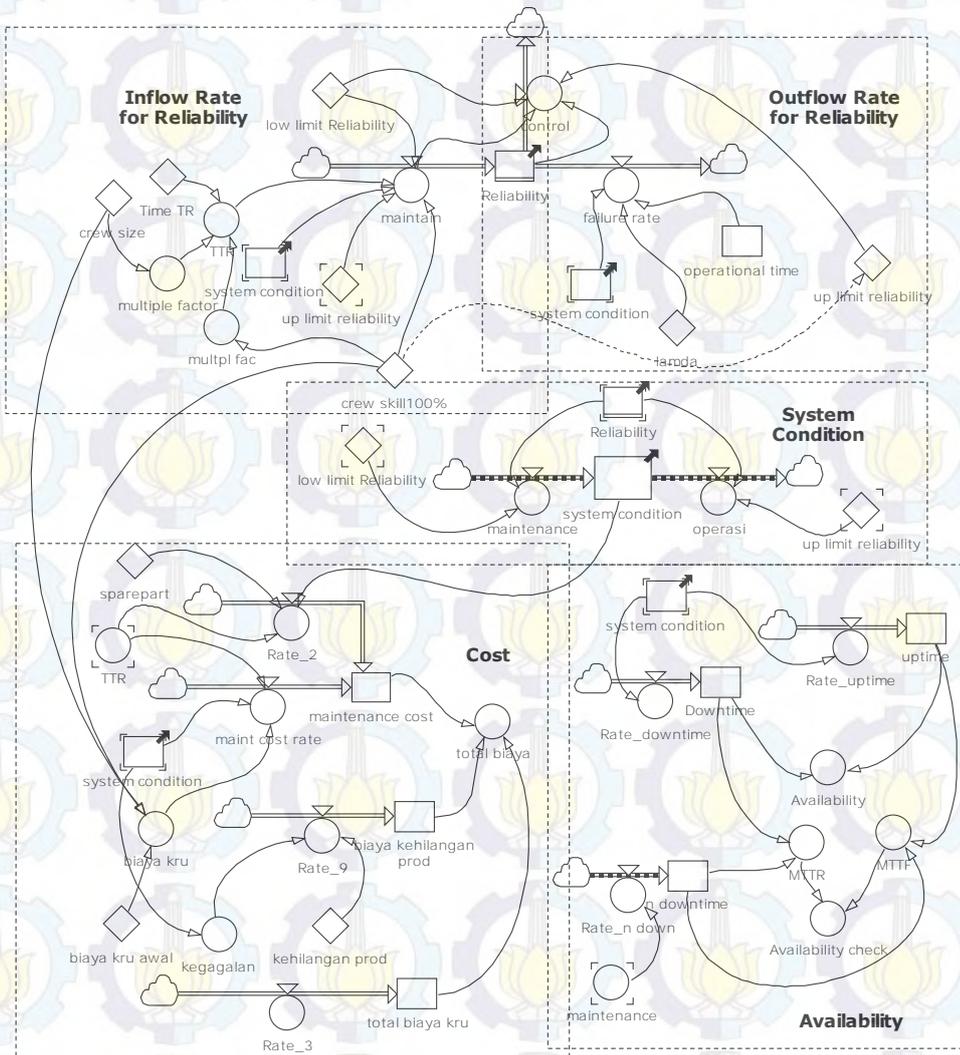
4.2.3. Pemodelan Kondisi Komponen/Sistem

Pemodelan kondisi komponen/sistem dilakukan untuk mengetahui berapa lama komponen dapat mempertahankan kondisi operasionalnya kaitannya dengan nilai keandalan komponen tersebut. Berdasar pada tingkah laku sistem bahwa peluang terjadinya kegagalan meningkat seiring berjalannya waktu, sehingga perlu dilakukan perawatan untuk meningkatkan peluang sukses komponen/sistem tersebut.

Level “reliability” menunjukkan bahwa pengurangan nilai *reliability* dipengaruhi oleh *auxiliary rate “failure rate”* sementara penambahan nilai *reliability* dipengaruhi oleh *auxiliary rate “maintain”*. *Auxiliary “failure rate”* berfungsi sebagai pengurang apabila *level “system condition”* bernilai *false*. Sementara itu *auxiliary “maintain”* berfungsi sebagai penambah nilai *level “reliability”* apabila *level “system condition”* bernilai *true*.

Level “system condition” sendiri merupakan fungsi logika yang bekerja berdasarkan nilai *reliability* dan nilai *constant “low limit reliability”* untuk mengaktifkan kondisi perbaikan. Sementara untuk kondisi operasional, *level “system condition”* bekerja berdasarkan nilai *level “reliability”* dan *constant “up limit reliability”*.

Berikut gambar untuk pemodelan kondisi komponen/sistem



Gambar 4.2 Pemodelan Dinamika Sistem untuk Keandalan Sistem

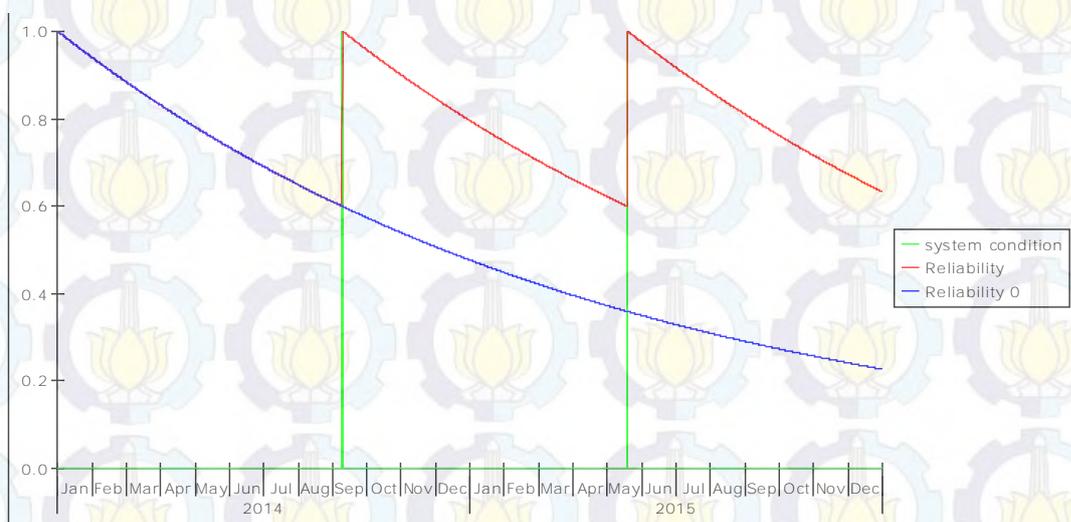
Nilai *reliability* pada pemodelan dinamika sistem dipengaruhi oleh *auxiliary* “*failure rate*” dan “*maintain*”. *Auxiliary* “*Failure rate*” merupakan fungsi yang mengurangi nilai level “*reliability*” berdasar pada laju kegagalan sistem dan waktu operasional. *Auxiliary* “*failure rate*” bekerja berdasar pada level “*system condition*” yang merupakan fungsi *logical*, dimana jika level “*system condition*” bernilai *true*, maka *auxiliary* “*failure rate*” akan bekerja sebagai laju pengurang nilai dari level “*Reliability*” sesuai dengan laju kegagalannya.

Nilai *auxiliary* “*maintain*” merupakan fungsi yang menambah nilai level “*reliability*” berdasar pada waktu perbaikan, jumlah kru dan *crew skill*. *Auxiliary*

“failure rate” bekerja berdasar pada level “system condition” yang merupakan fungsi *logical*, *auxiliary* “maintain” bekerja apabila nilai keandalan telah sampai pada titik dimana ditentukan batas minimum *reliability* yang ditentukan dalam *constant* “low limit reliability”.

Level “System condition” merupakan fungsi *logical* yang berfungsi untuk mengaktifkan kerja dari *auxiliary* “maintain” atau *auxiliary* “failure rate”. *Auxiliary* “maintenance” pada loop *system condition* memberikan nilai *true* pada level “system condition” apabila nilai *reliability* lebih kecil atau samadengan *low limit reliability*. Sementara untuk *auxiliary* “operasi” memberikan nilai *true* apabila nilai *reliability* lebih besar atau samadengan nilai *up limit reliability*.

Dari pemodelan sistem dinamik tersebut dilakukan pengujian dengan menggunakan data laju kegagalan $3.34E-6$, waktu perbaikan sebesar 33 jam dan batas minimum *reliability* sebesar 0.6. Setelah dilakukan simulasi selama periode 2 tahun dengan waktu berjalan 1 jam menghasilkan data grafik yang ditampilkan pada gambar 4.3.



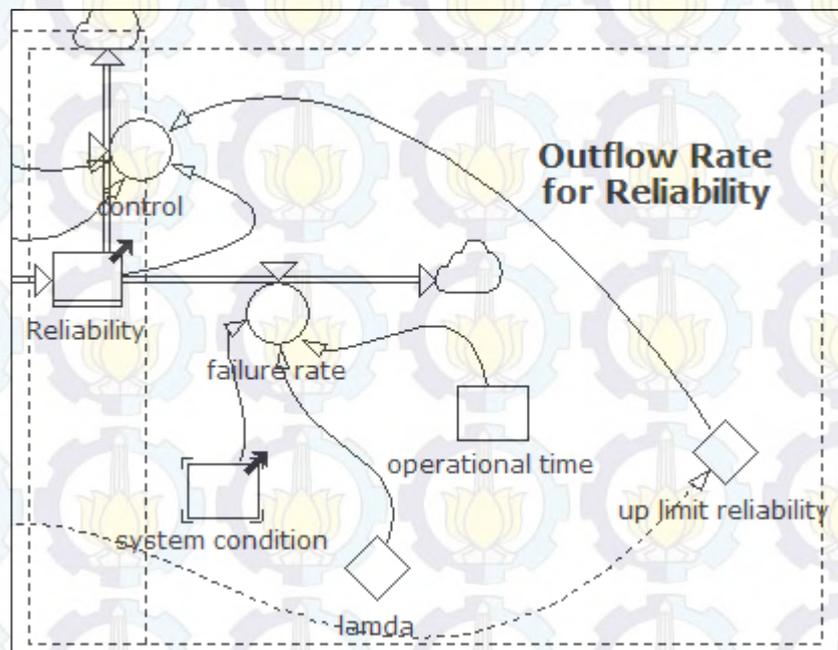
Gambar 4.3. Grafik Nilai Keandalan Terhadap Waktu

Pada grafik diatas menunjukkan nilai keandalan dengan menggunakan pemodelan dinamika sistem. Garis berwarna biru merupakan penurunan nilai keandalan terhadap waktu tanpa dilakukan perawatan. Sementara garis berwarna merah merupakan penurunan nilai keandalan terhadap waktu dimana dilakukan perawatan pada waktu nilai keandalan berada pada nilai 0.6, sehingga nilai

keandalan dapat kembali naik pada batas atas nilai keandalan. Garis berwarna hijau merupakan kondisi dimana komponen dilakukan perawatan.

4.2.4. Pemodelan Laju Penurunan Nilai untuk *Level Reliability*

Pemodelan laju penurunan nilai *reliability* dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti, nilai lamda, waktu operasional dan kondisi sistem. Ketiga faktor tersebut secara terintegrasi akan berpengaruh terhadap laju penurunan keandalan sistem. Selanjutnya dibuat dalam diagram alir pemodelan dinamika sistem pada gambar 4.5, dimana ketiga faktor yang berpengaruh secara langsung terhadap penurunan nilai keandalan menjadi masukan bagi Variabel *auxiliary rate* “*failure rate*”.



Gambar 4.4 Pemodelan Laju Penurunan Nilai untuk *Level “reliability”*

Pada gambar 4.4 menunjukkan *level “system condition”*, *level “operational time”* dan *constant “lamda”* merupakan input untuk *auxiliary “failure rate”* dimana *auxiliary “failure rate”* merupakan nilai pengurangan *level “reliability”* yang berubah selama waktu operasional.

Secara detail, pengaruh tiap bagaimana variabel terhadap variabel lainnya dapat dijelaskan melalui definisi

1. *Level “Reliability”*

Level “reliability” menunjukkan kondisi keandalan sistem yang berkurang nilainya tiap penambahan waktu operasional berdasarkan laju pada *auxiliary “failure rate”* dengan definisi model sebagai berikut

```
level Reliability {  
    reservoir  
    autotype Real  
    init 1  
    outflow { autodef 'failure rate' }  
    inflow { autodef 'maintain' }  
    outflow { autodef 'control' } }
```

Dari definisi teks diatas dapat dijelaskan bahwa *level “reliability”* memiliki karakteristik sebagai reservoir yang berarti bahwa nilai akumulasi pada *level* ini tidak dapat lebih rendah dari nol. Merupakan bilangan real (autotype real) dengan nilai awal adalah 1 (init 1). Nilai *level* ini dipengaruhi oleh laju pengurangan nilai berdasarkan fungsi “*failure rate*” (outflow {autodef ‘*failure rate*’}) dan control (outflow {autodef ‘control’}).

2. *Auxiliary “Failure rate”*

Auxiliary “Failure rate” merupakan variabel yang dapat mengurangi nilai *level “reliability”*. Laju pengurangan nilainya berdasarkan laju kegagalan dan waktu operasional.

```
aux failure rate {  
    autotype Real  
    autounit hr^-1  
    def IF('system condition', 0/1<<hr>>, EXP(-(lamda*1<<hr>>)*  
    'operational time') }
```

Definisi model di atas menjelaskan bahwa *auxiliary “failure rate”* merupakan bilangan real (autotype real) dengan *level ‘system condition’* sebagai kondisi acuan, jika *level ‘system condition’* bernilai benar maka laju pengurangan *level “reliability”* adalah sebesar nol tiap jam yang berarti *auxiliary “failure rate”* tidak bekerja. Apabila *level “system condition”* bernilai salah maka *auxiliary “failure rate”* akan bekerja mengurangi nilai *level “reliability”* berdasar pada fungsi *Reliability*

$$R = e^{-\lambda t}$$

Dimana :

R = Nilai Keandalan

e = euler number = 2.71828

t = waktu

λ = laju kegagalan

dengan menggunakan data pada model, nilai keandalan di hitung pada $t = 439$ dengan nilai $\lambda = 0.000161$, nilai *Reliability* yang diperoleh adalah 0.93, sementara pada model pada nilai $\lambda = 0.000161$ dan $t = 439$, nilai *reliability* berada pada nilai 0.90 sehingga dapat disimpulkan mendekati nilai perhitungan.

3. *Level “system condition”*

Level “system condition” merupakan fungsi logika untuk menentukan sistem dalam kondisi beroperasi atau dalam kondisi dirawat. *Level “system condition”* ini menjadi kondisi acuan untuk variabel lainnya sehingga dapat menentukan komponen variabel yang bekerja pada saat sistem dalam kondisi operasional atau kondisi dirawat. Secara detail penjelasan mengenai kondisi sistem dijelaskan pada sub bab 4.2.6

4. *Constant “lamda”*

Variabel *constant “lamda”* pada gambar 4.4 merupakan variabel yang bernilai tetap yang merupakan nilai lamda dari sistem atau komponen. Nilai ini dapat diubah sesuai dengan kebutuhan pengujian disesuaikan dengan nilai lamda dari komponen atau sistem yang akan disimulasikan. *Constant lamda* pada gambar 4.4 memiliki definisi sebagai berikut

Const lamda {

Autotype Real

Autounit hr⁻¹

Init 1.6E-04/1<<hr>> }

Variabel *constant “lamda”* merupakan bilangan real yang dinotasikan oleh Autotype real dengan nilai 1.6E-04. Nilai pada *constant “lamda”* merupakan nilai yang tetap dan tidak berubah sepanjang waktu simulasi namun nilai

lamda ini dapat diubah mengikuti nilai lamda komponen atau sistem yang akan di simulasikan.

Definisi model tersebut apabila di tuliskan dalam persamaan berikut

$$\lambda = 0.00016$$

Lamda bernilai tetap selama simulasi berjalan dan dapat diubah pada saat simulasi telah selesai.

5. *Level “operational time”*

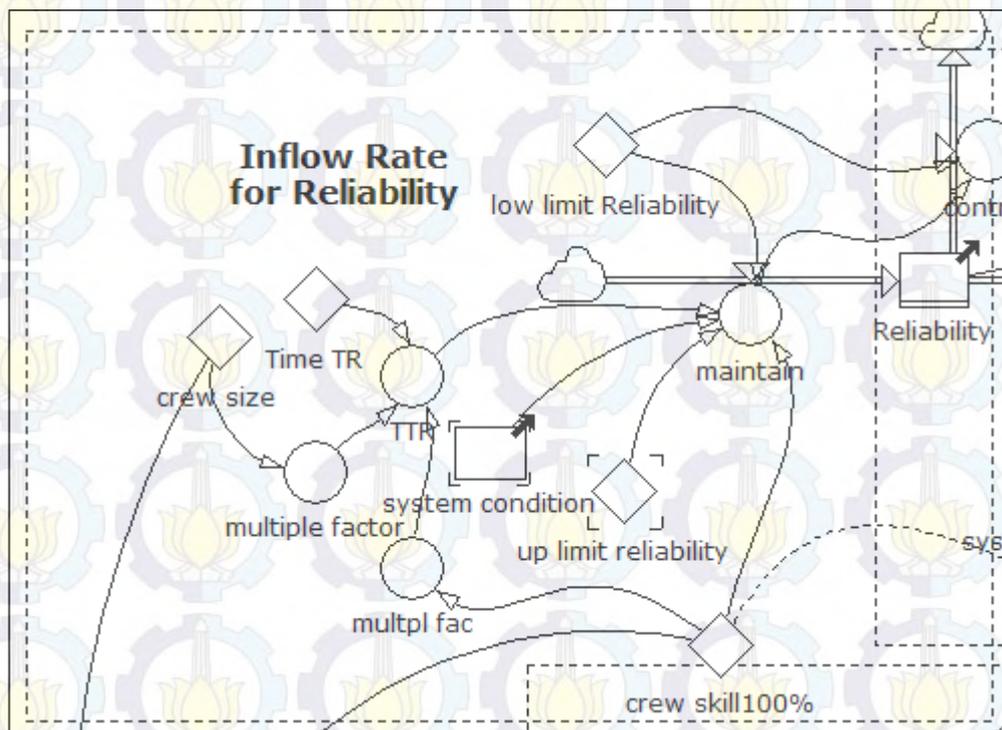
Level “operational time” pada gambar 4.4 merupakan *level* yang menghitung waktu operasional dari sistem. Nilai dari *level* ini akan bertambah sebesar 1 tiap 1 jam sehingga dengan penambahan 1 nilai tiap satu jam akan mengakibatkan perubahan nilai pada *auxiliary “failure rate”*.

Secara detail penjelasan mengenai *level “operational time”* dijelaskan pada sub bab 4.2.7.

4.2.5. **Pemodelan Laju Penambahan Nilai untuk *Level Reliability***

pemodelan laju penambahan nilai untuk *level “reliability”* di tentukan oleh *auxiliary rate “maintain”* dimana *auxiliary* ini dipengaruhi oleh beberapa variabel antara lain *level “system condition”*, *constant up limit reliability*, *constant low limit reliability*, *constant “time TR”*, *constant “crew skill”*, *constant “crew size”* dan *auxiliary TTR*. Nilai *Auxiliary rate “maintain”* ini berfungsi untuk mengembalikan nilai keandalan karena dilakukan perawatan sebesar batas nilai atas dari keandalan.

Diagram pemodelan penambahan nilai *level “reliability”* dapat dilihat pada gambar 4.5 yang menggambarkan hubungan antar variabel yang berpengaruh pada *auxiliary “maintain”*.



Gambar 4.5 Pemodelan Laju Penambahan Nilai Untuk Level “reliability”

Gambar 4.5 menjelaskan variabel *auxiliary* “maintain” dipengaruhi oleh level “system condition”, *auxiliary* “TTR”, constant “crew skill”, constant “low limit reliability” dan constant “up limit reliability”. Secara detail dapat dijelaskan tiap variabel pembentuk model ini pada deskripsi model di bawah ini

1. *Auxiliary rate* “maintain”

Variabel ini merupakan variabel yang berfungsi untuk mengembalikan nilai keandalan ke batas maksimal *reliability*. Bekerja berdasarkan kondisi level ‘system condition’ yang sama dengan yang *auxiliary* “failure rate” sehingga dalam simulasi tidak dapat terjadi penurunan nilai level *reliability* bersamaan dengan kenaikan nilai level “reliability”. Sehingga *auxiliary* ini akan bekerja apabila *auxiliary* “failure rate” sedang tidak bekerja.

aux maintain {

autotype Real

autounit hr⁻¹

def IF(‘system condition’,((‘up limit reliability’ – ‘low limit reliability’)/(TTR),0<<1/hr>>) }

Definisi model diatas menjelaskan bahwa *level “system condition”* merupakan variabel acuan, dimana jika *level “system condition”* bernilai benar, maka akan diartikan bahwa sistem dalam kondisi dirawat. Apabila sistem dalam kondisi dirawat, maka *auxiliary* ini akan bekerja berdasarkan fungsi yang didefinisikan diatas. Fungsi tersebut dapat diartikan bahwa *auxiliary* ini bekerja meningkatkan *level “reliability”* dengan waktu tertentu yang ditentukan oleh variabel *auxiliary “TTR”*

Definisi model tersebut dapat dituliskan menjadi persamaan berikut

$$\text{maintain} = \frac{\text{up limit reliability} - \text{low limit reliability}}{\text{TTR}}$$

Up limit reliability adalah batas atas nilai keandalan dan *low limit reliability* adalah batas bawah nilai keandalan. Dalam model dimaksudkan bahwa selisih antara nilai *up limit reliability* dan *low limit reliability* merupakan nilai yang harus dikembalikan oleh kegiatan perawatan dalam waktu tertentu yang ditentukan oleh TTR.

2. *Auxiliary “TTR”*

Auxiliary ini merupakan variabel waktu yang diperlukan untuk meningkatkan nilai keandalan dalam hal ini pada *level “reliability”*. Dipengaruhi oleh variabel *constant “crew skill”, “crew size”* dan *“time TR”*.

Aux TTR {

Autotype real

Autounit hr

Def ‘Time TR’‘crew size factor’*‘crew skill factor’*1<<hr>> }*

Dengan definisi model tersebut, *auxiliary* ini dapat diartikan sebagai waktu yang dibutuhkan untuk meningkatkan nilai *level “reliability”* dengan pengaruh variabel *constant “crew skill”* dan *“crew size”* yang telah dikonversi sehingga mendekati asumsi kondisi realnya. Untuk *Auxiliary “‘crew size factor’* merupakan konversi untuk *constant “crew size”* dimana diasumsikan bahwa waktu perbaikan sistem secara merata terbagi pada berapa jumlah kru yang melakukan pekerjaan perawatan tersebut. Sedangkan untuk *auxiliary “‘crew skill factor’* merupakan konversi untuk *constant “crew skill”* dimana peningkatan kompetensi kru akan menurunkan

waktu perbaikan dengan asumsi sama dengan prosentasi kenaikan kompetensi kru tersebut.

Definisi Model tersebut dapat dituliskan menjadi persamaan berikut

$$TTR = Time TR \times crew\ size\ factor \times crew\ skill\ factor$$

Dimana Time TR adalah waktu perbaikan pada kondisi awal tanpa peningkatan *crew skill* maupun *crew size* (*crew size* = 1 dan *crew skill* = 100%).

3. *Constant "crew skill"*

Variabel *constant "crew skill"* merupakan variabel yang mewakili tingkat kompetensi kru. Variabel ini bernilai tetap sesuai dengan nilai yang diberikan pada awal simulasi dan dapat diubah ketika simulasi telah selesai untuk melakukan pengujian dengan menggunakan nilai yang lainnya.

Nilai *constant* pada pemodelan dinamika sistem untuk mengetahui pengaruh *crew skill* bernilai 100% hingga 180% yang diujikan pada pemodelan dinamika sistem.

4. *Constant "crew size"*

Variabel "*crew size*" pada pemodelan ini merupakan variabel jumlah kru yang melakukan kegiatan perawatan. Dalam hal ini, variabel ini bernilai tetap namun dapat diubah sesuai kebutuhan pengujian di awal atau akhir simulasi. Nilai variabel pada *constant "crew size"* yang akan diuji berada pada nilai 1 sampai dengan 9 orang kru.

5. *Constant "up limit reliability"*

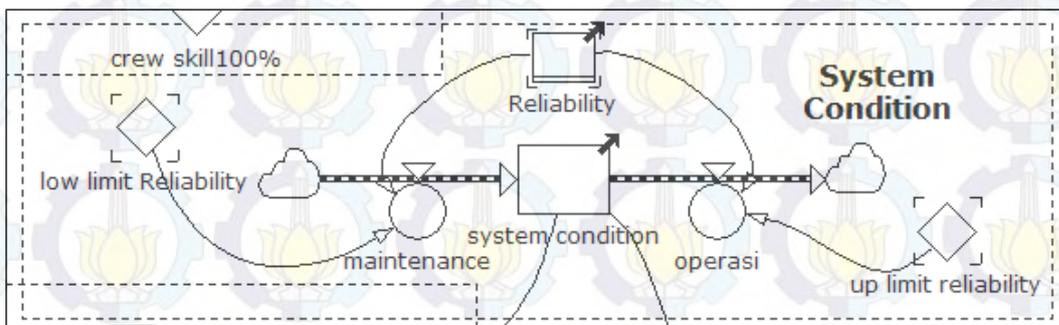
Constant "up limit reliability" merupakan variabel yang menunjukkan nilai batas atas dari keandalan yang selanjutnya menjadi acuan bagi *level system condition* untuk menentukan sistem dalam kondisi operasional atau dalam kondisi dirawat.

6. *Constant "low limit reliability"*

Constant "low limit reliability" merupakan variabel yang menunjukkan nilai batas terendah dari keandalan, pada kondisi nilai *level "reliability"* telah mencapai nilai *constant "low limit reliability"* maka *level "system condition"* akan menghentikan kerja dari *auxiliary "failure rate"* dan akan mengaktifkan *auxiliary "maintain"*.

4.2.6. Pemodelan Kondisi Sistem

Pemodelan kondisi sistem dibuat untuk menentukan waktu operasional dan waktu perawatan berdasar pada nilai keandalan yang dalam pemodelan ini merupakan nilai dari *level “reliability”*. Kondisi sistem dalam pemodelan ini merupakan nilai logic pada *level “system condition”* yang dipengaruhi oleh *auxiliary “operasi”* dan *auxiliary “maintenance”*. Apabila nilai pada *auxiliary “operasi”* bernilai true, maka *Auxiliary “failure rate”* akan aktif dan menyebabkan nilai *level “reliability”* mengalami penurunan. Selanjutnya apabila *auxiliary “maintenance”* bernilai true, menyebabkan *auxiliary “maintain”* aktif dan nilai *level “reliability”* bertambah sebesar laju penambahan nilai dari *auxiliary “maintain”*.



Gambar 4.6 Pemodelan Dinamika Sistem untuk Kondisi Sistem

Gambar 4.6 menjelaskan variabel yang berpengaruh terhadap *level “system condition”* adalah *auxiliary “operasi”* yang merupakan *outflow rate* untuk *level “system condition”* dan *auxiliary “maintenance”* merupakan *inflow rate* untuk *level “system condition”*. Selanjutnya *constant “low limit reliability”*, dan *level “reliability”* adalah input untuk *auxiliary “maintenance”* serta *constant “up limit reliability”* dan *level “reliability”* adalah input untuk *auxiliary “operasi”*. Secara detail pengaruh tiap variabel dapat dijelaskan dari definisi model berikut

1. *Level system condition*

Level “system condition” merupakan fungsi logic yang menjadi acuan bagi variabel lain dalam menentukan waktu operasi dan perawatan sistem. *Level* ini dipengaruhi oleh *auxiliary “operasi”* dan *“maintenance”*.

2. *Auxiliary* operasi

Auxiliary “operasi” merupakan fungsi logic yang bekerja apabila kondisi yang didefinisikan telah terpenuhi. *Auxiliary* ini menggunakan nilai *level* “*reliability*” dan *constant* “*up limit reliability*” untuk mendefinisikan kondisinya

aux operasi {

autotype Logical

def Reliability >= ‘*up limit reliability*’ }

Definisi model diatas menjelaskan bahwa *auxiliary* operasi akan bernilai true apabila *level* “*reliability*” bernilai lebih besar atau sama dengan nilai dari *constant* “*up limit reliability*”. Selanjutnya apabila *auxiliary* “operasi” bernilai true, maka variabel lain yang menjadikan *level* “*system condition*” sebagai kondisi acuan akan aktif hingga *auxiliary* “*maintenance*” bernilai true

3. *Auxiliary maintenance*

Auxiliary “*maintenance*” merupakan fungsi logical yang berkerja apabila kondis yang didefinisikan telah terpenuhi. *Auxiliary* ini menggunakan nilai *level* “*reliability*” dan *constant* “*low limit reliability*” untuk mendefinisikan kondisinya

aux maintenance {

autotype logical

def reliability <= ‘*low limit reliability*’ }

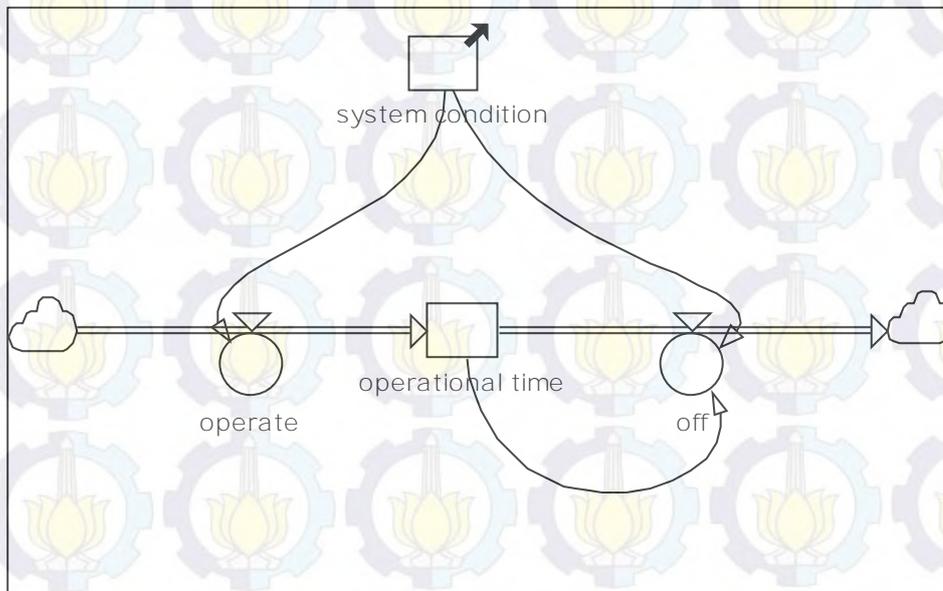
Definisi model tersebut menjelaskan bahwa *auxiliary* ini memiliki nilai *logical* yang akan bernilai *true* apabila *level* “*reliability*” bernilai lebih kecil atau sama dengan *constant* “*low limit reliability*”. Apabila *auxiliary* ini bernilai *true* maka variabel yang menjadikan *level* “*system condition*” sebagai acuan menjadi aktif hingga *auxiliary* “operasi” bernilai *true*.

4.2.7. Pemodelan Waktu Operasional

Pemodelan waktu operasional digunakan untuk mengembalikan penghitungan waktu dari sistem. *Level* “*operational time*” bekerja dengan mengembalikan penghitungan waktu kembali ke nol pada saat sistem pada kondisi

maintenance, sehingga pola penurunan keandalan menjadi identik dan tidak mengalami penyimpangan.

Berikut gambar untuk pemodelan waktu operasional



Gambar 4.7. Pemodelan Dinamika Sistem untuk Waktu Operasional

Gambar 4.7 menjelaskan variabel yang mempengaruhi nilai dari *level* “*operational time*” antara lain *auxiliary* “*operate*”, *auxiliary* “*off*” dan *level* “*system condition*”. Model untuk waktu operasional dapat dituliskan dalam bentuk teks sebagai berikut:

1. *Level Operational time*

Level “*operational time*” merupakan variabel yang memiliki fungsi untuk menghitung waktu operasional dengan menjadikan *level* “*system condition*” sebagai acuan. Penambahan nilai *level* ini berasal dari *auxiliary* “*operate*” dan pengurangan nilai *level* ini berdasarkan laju pengurangan dari *auxiliary* “*off*”.

```
level operational time {
    autotype real
    init 0
    inflow {autodef operate;}
    outflow {autodef off;} }
```

Level ini merupakan bilangan real dengan nilai awal adalah nol dan akan bertambah berdasarkan laju penambahan dari *auxiliary* “operate”. *Level* ini akan mengakumulasi nilai penambahan yang diberikan oleh *auxiliary* “operate” dan akan mereset nilai hasil akumulasi sebelumnya menjadi nol apabila *auxiliary* “off” aktif.

2. *Auxiliary operate*

Auxiliary “operate” merupakan variabel yang berfungsi menambahkan nilai pada *level* “operational time” sebesar 1 tiap 1 jam yang bertujuan untuk menghitung waktu operasional.

```
aux operate {  
    autotype real  
    autounit hr^-1  
    def IF('system condition', 0/1<<hr>>, 1/1<<hr>>)
```

level “system condition” merupakan kondisi acuan untuk mengaktifkan *auxiliary* ini. Apabila *level* system condition bernilai false (*auxiliary failure rate* beroperasi) maka *level* “operational time” bertambah senilai 1 tiap 1 jam (1/1<<hr>>).

3. *Auxiliary off*

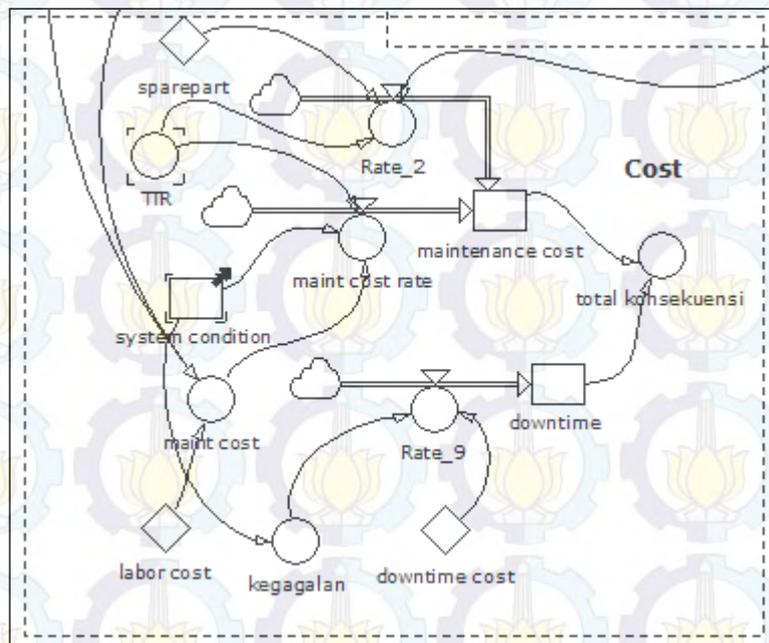
Auxiliary “off” merupakan variabel yang berfungsi mereset nilai dari *level* “operational time” menjadi nol Sehingga pada saat sistem beroperasi kembali berdasarkan *level* system condition, perhitungan waktunya dimulai dari awal kembali.

```
aux off {  
    autotype real  
    autounit day^-1  
    def IF('system condition', 'operational time'/Timestep,  
0/Timestep) }
```

Berdasarkan definisi model tersebut, *level* “system condition” merupakan kondisi acuan untuk mengaktifkan *auxiliary* ini. Apabila *auxiliary* “maintenance” bernilai true maka *auxiliary* “off” akan bekerja mereset nilai *level* “operational time” menjadi nol.

4.2.8. Pemodelan Biaya Perawatan

Pemodelan biaya perawatan dibuat untuk mengetahui bagaimana pengaruh jumlah kru dan *crew skill* terhadap biaya perawatan. Biaya perawatan akan muncul pada saat dilakukan perawatan baik terencana maupun korektif, sehingga dalam pemodelan biaya perawatan ini merujuk pada kondisi sistem pada pemodelan. Dalam melakukan perawatan sendiri tidak terlepas dari biaya kru sehingga biaya kru dalam melakukan perawatan dapat dihitung dari rata-rata gaji kru dalam 1 trip (25 hari) yaitu Rp. 7.500.000 dibagi jumlah hari sehingga menghasilkan biaya kru tiap jam adalah Rp. 12.500.



Gambar 4.8. Pemodelan Dinamika Sistem untuk Biaya Perawatan

Pemodelan sistem dinamik untuk biaya perawatan dihitung berdasarkan kondisi dari keandalan sistem, sehingga dalam pemodelan biaya *maintenance* dimasukkan *level* sistem condition yang merupakan kondisi dimana sistem tersebut dirawat pada batas minimal nilai *reliability* tertentu. *Auxiliary* “maint cost rate” bekerja apabila sistem condition dalam kondisi true atau sistem dalam kondisi *maintain*, kemudian akan menambah nilai *level* “maintenance cost” selama masa perbaikan. Penambahan nilai *auxiliary* “maintenance cost” akan berhenti pada saat

kondisi perawatan sistem telah selesai atau sistem telah mencapai nilai batas keandalan maksimumnya.

1. *Level maintenance cost*

Level ‘maintenance cost’ berfungsi untuk mengakumulasi biaya yang dikeluarkan untuk perawatan selama periode waktu yang ditentukan pada simulasi. *Level ‘maintenance cost’* tidak memiliki laju pengurangan nilai sehingga nilai pada *level* ini akan terus bertambah seiring dengan bertambahnya waktu.

Level maintenance cost {

Autotype Real

Init 0

Inflow {autodef ‘maint cost rate’}

Inflow {autodef Rate_2} }

Level ini memperoleh penambahan nilai yang berasal dari *auxiliary ‘maint cost rate’* dan *auxiliary ‘Rate_2’* yang akan diakumulasi oleh *level* ini hingga waktu simulasi berakhir.

2. *Auxiliary maint cost rate*

Auxiliary ‘maint cost rate’ merupakan variabel yang menambah nilai dari *level ‘maintenance cost’* yang nilainya dipengaruhi oleh *level ‘system condition’*, *auxiliary ‘TTR’* dan *auxiliary ‘maint cost’*.

Aux maint cost rate{

Def (if(‘system condition’,1,0)/TTR)‘maint cost’ }*

Auxiliary ini akan menambahkan nilai pada *level ‘maintenance cost’* jika *level ‘system condition’* bernilai *true* sebesar *auxiliary ‘maint cost’* tiap nilai *Auxiliary ‘TTR’*.

3. *Auxiliary Rate_2*

Auxiliary ‘Rate_2’ berfungsi untuk menambahkan nilai pada *level ‘maintenance cost’* berdasarkan nilai dari *constant ‘spare part’*

Aux Rate_2 {

Def if(‘system condition’, spare part/TTR,0/1<<hr>>) }

Auxiliary ini berfungsi untuk menambahkan biaya *spare part* yang ditentukan pada *constant* “*spare part*” pada waktu sistem berada pada kondisi dilakukan perawatan.

Definisi model tersebut dapat dituliskan menjadi persamaan berikut :

$$Rate_2 = \frac{Spare\ part}{TTR}$$

Dimana *Rate_2* adalah penambahan biaya untuk suku cadang pada saat dilakukan perawatan. *Constant* “*Spare part*” adalah total biaya suku cadang untuk kegiatan perawatan sementara TTR adalah waktu perbaikan.

Apabila nilai biaya suku cadang adalah Rp. 21.930.084,- dan dilaksanakan dalam waktu 29 jam maka nilai *Rate_2* adalah Rp. 756.209,- tiap jam sedangkan untuk simulasi adalah Rp. 757.515,- sehingga dapat disimpulkan nilai simulasi mendekati nilai perhitungan riil.

4. *Auxiliary* maint cost

Auxiliary “*maint cost*” merupakan nilai yang menjadi masukan untuk *Auxiliary* “*maint cost rate*” untuk mengakumulasikan biaya kru *maintenance* yang dihitung tiap jam dalam melakukan kegiatan perawatan *Aux maint cost* {

$$Def\ 'labor\ cost'\ *'\ crew\ size'\ *'\ crew\ skill'\ *100\% \}$$

Definisi model diatas menjelaskan nilai *Auxiliary* “*maint cost*” diperoleh dari biaya kru tiap jam selama melakukan pekerjaan perawatan untuk tiap kru dengan penambahan biaya apabila skill kru meningkat. Penambahan biaya peningkatan kru skill diasumsikan sama besarnya dengan prosentase kenaikan kompetensi kru.

Definisi model tersebut dapat dituliskan menjadi persamaan berikut :

$$Maint\ Cost = Labor\ cost \times crew\ size \times crew\ skill \times 100\%$$

5. *Constant* spare part

Constant “*spare part*” merupakan variabel yang ditentukan di awal simulasi yang nilainya tetap selama simulasi dijalankan. Nilai variabel ini diperoleh dari biaya suku cadang yang dibutuhkan untuk melakukan kegiatan perawatan sistem. Nilai variabel ini dapat diubah sesuai dengan kebutuhan simulasi.

6. *Constant labor cost*

Constant “labor cost” merupakan biaya kru tiap jam yang dalam hal ini dihitung dari rata-rata pendapatan bulanan kru sebesar Rp. 7.500.000,- yang selanjutnya dihitung pendapatan tiap jam nya selama 1 bulan. Dalam perhitungan di simulasi ini untuk *maintenance cost*, hanya dihitung biaya yang harus dikeluarkan untuk kru hanya pada saat kru melakukan kegiatan perawatan. Sedangkan untuk pendapatan kru bulanan akan dimasukkan dalam total biaya.

7. *Level downtime*

Level “downtime” berfungsi untuk mengakumulasikan biaya downtime selama periode simulasi. *level* ini memperoleh penambahan nilai dari *auxiliary “Rate_9”*.

8. *Auxiliary Rate_9*

Auxiliary “Rate_9” merupakan laju penambahan nilai untuk *level “downtime”* yang aktif saat sistem dalam kondisi dirawat yang menghitung biaya *downtime* tiap jamnya.

Aux Rate_9 {

Autotype real

*Def if(kegagalan=1, ‘downtime cost’*timestep,0)/1<<hr>>}*

Dari definisi model diatas menjelaskan bahwa *auxiliary* ini akan bekerja apabila nilai dari *auxiliary “kegagalan”* bernilai 1, yang berarti bahwa sistem tersebut sedang dilakukan perawatan selanjutnya *auxiliary* ini akan menambahkan nilai sebesar nilai pada *constant “downtime cost”* tiap jamnya.

Definisi model tersebut dapat dituliskan dalam persamaan berikut

$$Rate_9 = downtimecost \times total\ waktu\ perawatan$$

9. *Auxiliary kegagalan*

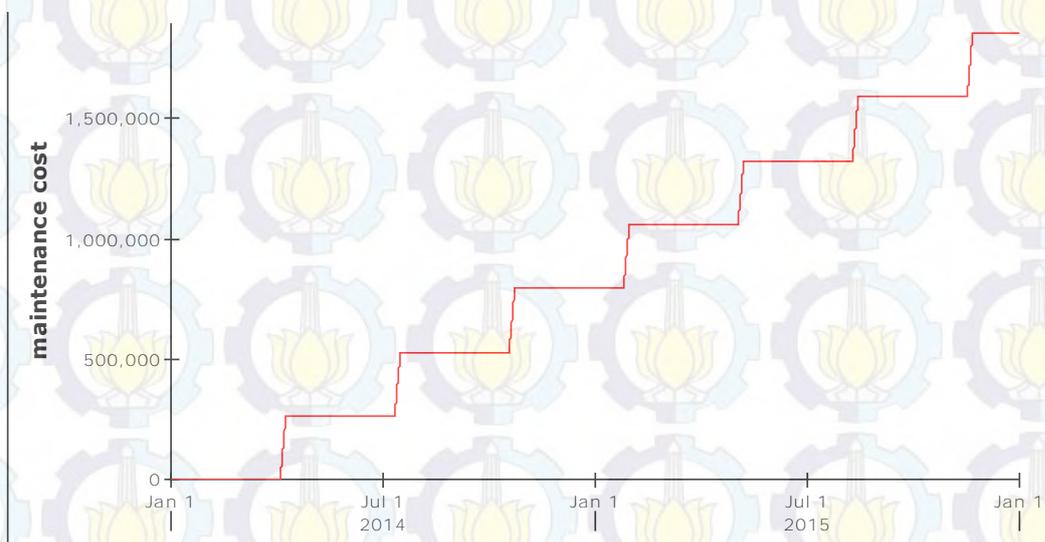
Auxiliary “kegagalan” berfungsi untuk mengidentifikasi kondisi sistem supaya dapat dibaca oleh *auxiliary “Rate_9”*. *Auxiliary* ini akan memberikan nilai 1 apabila *Level “system condition”* bernilai true yang selanjutnya dibaca oleh *auxiliary “Rate_9”* sebagai kondisi aktif untuk melakukan perawatan.

10. *Constant downtime cost*

Constant “downtime cost” merupakan nilai tetap yang dihitung dari potensi kerugian yang terjadi akibat dari sistem yang berhenti beroperasi karena melakukan kegiatan perawatan. Dalam simulasi ini nilai dari *constant* ini adalah Rp. 704.381,- tiap jamnya.

11. *Auxiliary total konsekuensi*

Auxiliary “total konsekuensi” merupakan penjumlahan antara *level “maintenance cost”* dengan *level “downtime”*.



Gambar 4.9. Biaya Perawatan Terhadap Waktu

Gambar 4.9 merupakan grafik hasil dari pemodelan system dinamik pada biaya perawatan.pada grafik tersebut menunjukkan bahwa terdapat kondisi peningkatan dan kondisi datar. Pada kondisi terjadi peningkatan biaya perawatan menunjukkan bahwa pada waktu tersebut terjadi perawatan sistem hingga waktu tertentu grafik tersebut berada pada kondisi tetap yang berarti kegiatan perawatan telah selesai dilakukan. Peningkatan biaya perawatan selanjutnya merupakan akumulasi dari biaya perawatan yang telah dilakukan sebelumnya.

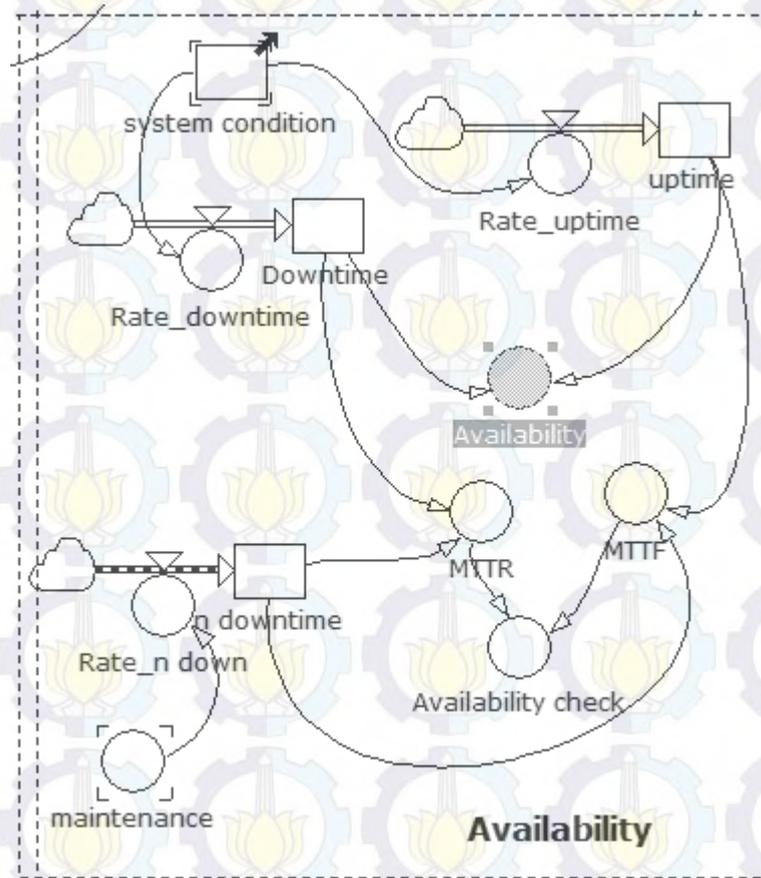
4.2.9. Pemodelan Availability Sistem

Pemodelan Availability sistem dilakukan untuk mengetahui pengaruh peningkatan kompetensi kru dan jumlah kru terhadap tingkat ketersediaan sistem. Availability merupakan peluang dari suatu sistem untuk dapat beroperasi sesuai dengan fungsinya dalam waktu tertentu pada kondisi operasi yang telah ditetapkan.

Pada model dinamika sistem ini nilai availability dipengaruhi oleh faktor berapa lama perawatan sistem dilakukan dan jumlah perawatan yang dilakukan. Nilai *Availability* dalam model mengikuti persamaan berikut

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

Berikut pemodelan dinamika sistem untuk ketersediaan sistem berdasarkan persamaan tersebut



Gambar 4.10. Pemodelan Dinamika Sistem untuk Nilai *Availability*

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa nilai ketersediaan sistem yang diwakili oleh *auxiliary* “*availability*” dipengaruhi oleh waktu sistem dalam kondisi dirawat yang diwakili oleh *level* “*downtime*” dan waktu sistem dalam kondisi operasional yang diwakili oleh *level* “*uptime*”. Sementara nilai pada *auxiliary* “*availability check*” digunakan untuk memvalidasi nilai *availability* berdasarkan MTTR dan MTTF. Secara detail tiap variabel pembentuk model dapat dijelaskan pada deskripsi model di bawah ini

1. *Level* “*uptime*”

Level “*uptime*” berfungsi untuk menghitung waktu operasional sistem berdasarkan kondisi sistem yang ditentukan oleh *level* “*system condition*” sehingga nilai dari *level* “*uptime*” merupakan akumulasi dari waktu untuk kondisi sistem operasional. Penambahan nilai dari *level* ini ditentukan oleh *auxiliary* “*rate_uptime*” yaitu berdasarkan fungsi logika dengan meliha kondisi *level* “*system condition*”, jika *level* “*system condition*” dalam keadaan operasional, maka *auxiliary* “*rate_uptime*” akan menambahkan nilai sejumlah 1 tiap 1 jam. Apabila *level* “*system condition*” dalam keadaan perawatan, maka tidak ada penambahan nilai pada *level* “*uptime*” tiap jamnya.

2. *Level* “*downtime*”

Level “*downtime*” berfungsi untuk menghitung waktu sistem dalam kondisi perawatan berdasarkan kondisi sistem yang ditentukan oleh *level* “*system condition*” sehingga nilai dari *level* “*downtime*” merupakan akumulasi dari waktu untuk sistem dalam kondisi perawatan. Penambahan nilai dari *level* ini ditentukan oleh *auxiliary* “*rate_downtime*” yaitu berdasarkan fungsi logika dengan meliha kondisi *level* “*system condition*”, jika *level* “*system condition*” dalam keadaan perawatan, maka *auxiliary* “*rate_downtime*” akan menambahkan nilai sejumlah 1 tiap 1 jam. Apabila *level* “*system condition*” dalam keadaan operasional, maka tidak ada penambahan nilai pada *level* “*downtime*” tiap jamnya.

3. Auxiliary “Availability”

Auxiliary “Availability” merupakan model tingkat ketersediaan sistem yang dipengaruhi oleh kompetensi kru dan jumlah kru yang juga mempengaruhi waktu perbaikan. Dengan bertambah atau berkurangnya waktu perbaikan yang diwakili oleh *level* “downtime” maka akan mengubah nilai ketersediaan sistem tersebut. Nilai Auxiliary “availability” pada model ini bekerja berdasarkan persamaan $A = 1 - \frac{\text{Downtime}}{\text{Uptime} + \text{Downtime}}$ yang dalam model ini diwakili oleh *level* “uptime” dan *level* “downtime”.

4. Level “n downtime”

Level “n downtime” berfungsi untuk menghitung berapa jumlah total perawatan yang dilakukan dalam 1 siklus simulasi. penghitungan ini dimaksudkan untuk mengetahui nilai MTTF dan MTTR untuk memvalidasi nilai dari Auxiliary “Availability”. Nilai pada *level* ini bertambah berdasarkan pada auxiliary “rate_n down” yang mengacu pada auxiliary “maintenance” pada *loop system condition*. Auxiliary “rate_n down” akan menambahkan nilai sejumlah 1 jika auxiliary “maintenance” berada pada kondisi aktif yang artinya sistem sedang melakukan perawatan.

5. Auxiliary “MTTF”

Auxiliary “MTTF” berfungsi sebagai input untuk *level* “availability check” untuk memvalidasi nilai dari auxiliary “Availability”. Auxiliary ini dihitung berdasarkan nilai pada *level* “uptime” dan *level* “n downtime” dengan mengikuti persamaan $MTTF = \frac{\text{Total Uptime}}{\text{jumlah downtime}}$.

6. Auxiliary “MTTR”

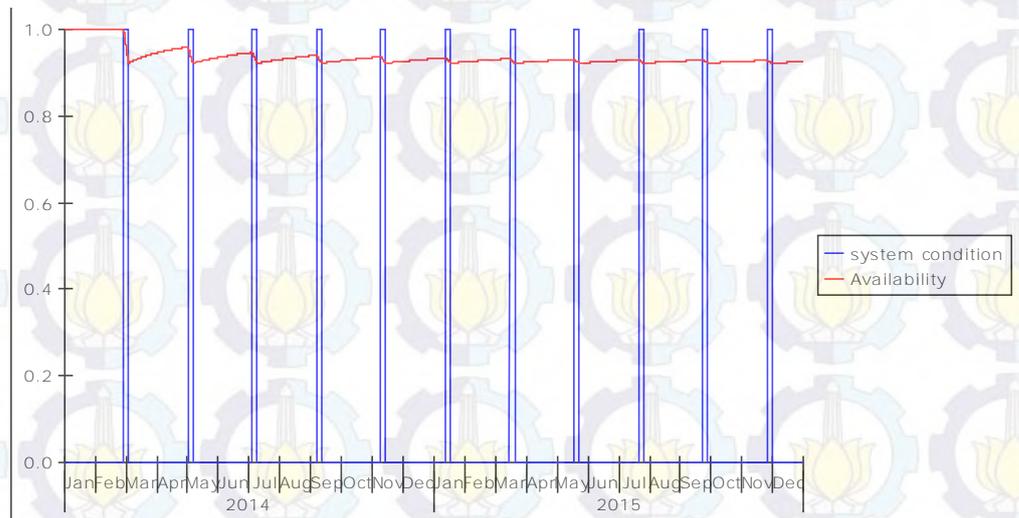
Auxiliary “MTTR” berfungsi sebagai input untuk *level* “availability check” untuk memvalidasi nilai dari auxiliary “Availability”. Auxiliary ini dihitung berdasarkan nilai pada *level* “downtime” dan *level* “n downtime” dengan mengikuti persamaan $MTTR = \frac{\text{Total downtime}}{\text{jumlah downtime}}$.

7. Auxiliary “Availability check”

Auxiliary “Availability check” digunakan untuk memvalidasi nilai dari auxiliary “Availability” berdasarkan persamaan $A = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$ dimana

nilai MTTR diambil dari *auxiliary* “MTTR” dan nilai MTTF diambil dari *auxiliary* “MTTF” pada model.

Dari model tersebut dapat dilakukan simulasi untuk mengetahui nilai ketersediaan sistem sehingga menghasilkan grafik nilai *availability* pada gambar 4.11

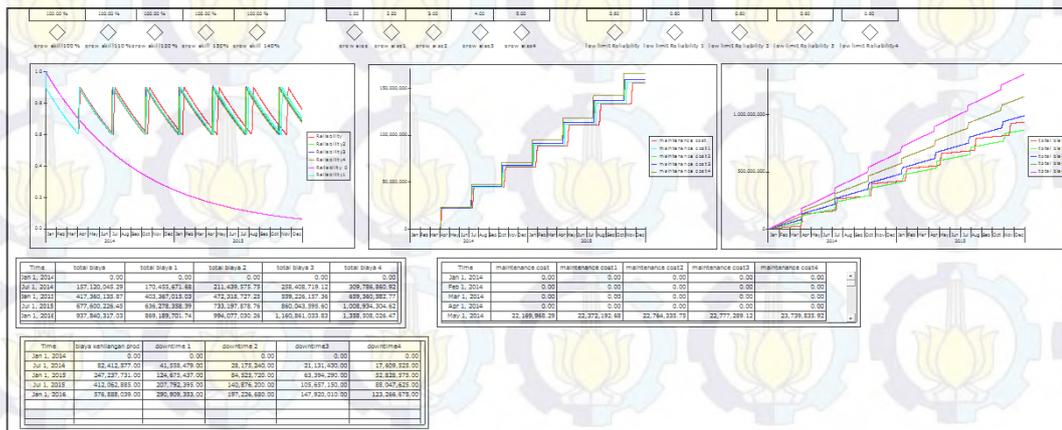


Gambar 4.11. Grafik Nilai *Availability* pada Pemodelan Dinamika Sistem

4.3. Pengujian Variabel Pada Pemodelan Dinamika Sistem

Model sistem dinamik yang telah lengkap selanjutnya digandakan menjadi 5 model untuk lebih mudah dalam melakukan simulasi dan untuk mengetahui perbedaan hasil pada tiap variable yang berbeda. Untuk memudahkan identifikasi, tiap model hasil penggandaan, diberi nama yang berbeda dengan menambah angka pada tiap model. Sebagai contoh untuk *level reliability*, diidentifikasi dengan nama *reliability*, *reliability1*, *reliability2*, *reliability3* dan *reliability4*. Demikian juga dengan variable lainnya mengikuti kode angka pada *level reliability*

Variable yang akan diuji pada model sistem dinamik ini adalah variable jumlah kru dan kompetensi kru dan mengetahui pengaruhnya terhadap biaya perawatan. Untuk mempermudah dalam perubahan nilai variable tersebut, konstanta *crew skill* dan *crew size* dikelompokkan dalam 1 halaman beserta hasil simulasi berupa grafik keandalan, biaya perawatan dan table biaya perawatan.



Gambar 4.12 Instrumen Kontrol Pengujian Model Dinamika Sistem

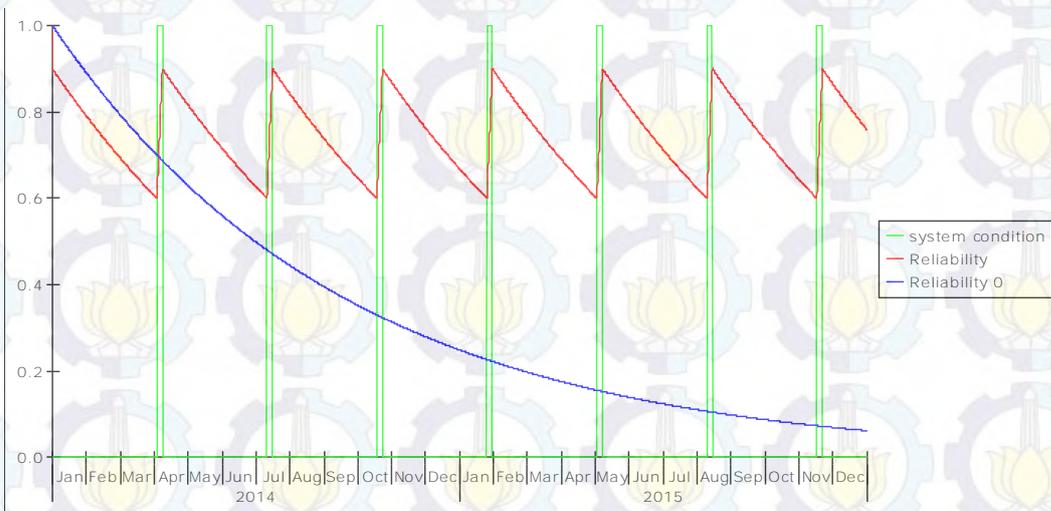
Gambar 4.12 merupakan instrumen control dalam melakukan pengujian, dengan memasukan nilai pada variabel yang akan diuji yang terbagi menjadi 4 bagian yaitu variabel *constant* “crew skill”, *constant* “jumlah kru” dan *constant* “low limit reliability” masing-masing sebanyak 5 variabel.

Pengujian untuk kompetensi kru dilakukan dengan mengubah nilai pada *constant* “crew skill” sementara untuk *constant* “jumlah kru” bernilai tetap atau sama. Selanjutnya untuk pengujian terhadap jumlah kru dilakukan dengan mengubah nilai pada *constant* “jumlah kru” dengan nilai *constant* “crew skill” bernilai tetap. Pegujian dilakukan pada berbagai *level* nilai minimum *reliability* dengan mengatur pada nilai *constant* “low limit reliability”.

4.3.1. Variabel Kompetensi Kru

Variabel kompetensi kru (*crew skill*) pada pemodelan sistem dinamik diwakili oleh *constant crew skill*. Nilai *constant* dalam pemodelan dinamika sistem merupakan variabel yang dapat diubah sesuai dengan kebutuhan simulasi atau pengujian. Pengujian untuk kompetensi kru dilakukan dengan mengubah nilai *constant crew skill* mulai dari 100%, 110%, 120%, 130% sampai dengan 190% dengan interval peningkatan *crew skill* sebesar 10%.

Pada tahap awal sebelum melakukan pengujian, model dinamika sistem untuk *crew skill* dan jumlah kru di jalankan pada kondisi tidak ada penambahan jumlah kru untuk melihat kondisi awal dari model. Hasil simulasi pada kondisi awal terlihat pada gambar 4.13 berikut

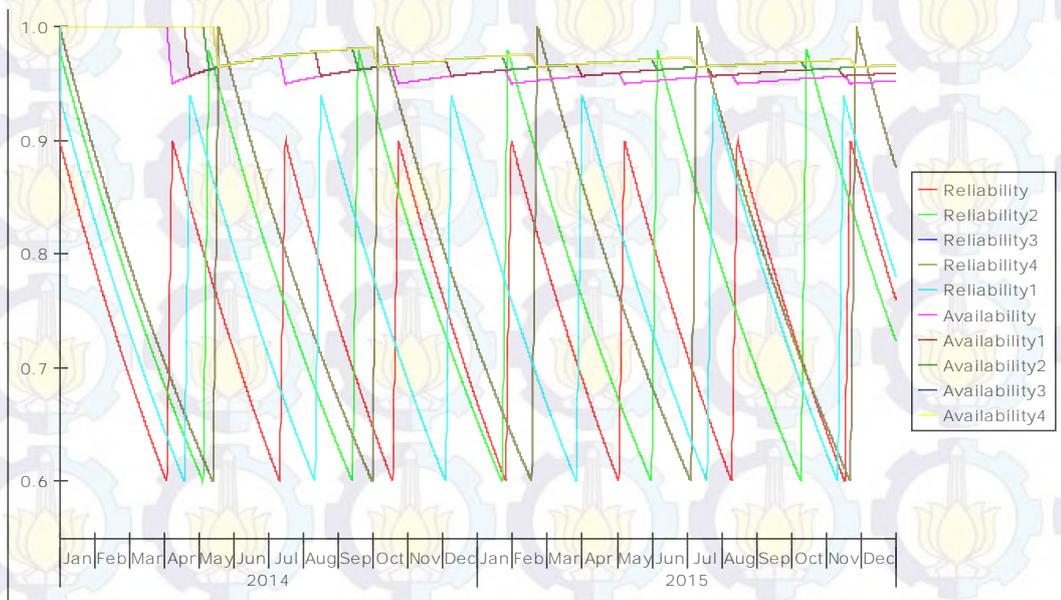


Gambar 4.13 grafik penurunan nilai keandalan terhadap waktu pada kondisi *crew skill* 100% dan jumlah kru 1 orang

Dari hasil simulasi dengan kondisi awal yaitu dengan nilai batas minimum *reliability* 0.6 dengan pengaruh *crew skill* bernilai 100% dengan jumlah kru 1 orang ditunjukkan oleh grafik dengan garis berwarna merah pada gambar 4.13.

Penurunan nilai keandalan pada kondisi awal simulasi ini dibatasi penurunan nilainya hingga pada nilai keandalan 0.6. Apabila penurunan nilai keandalan telah mencapai nilai 0.6, maka dalam simulasi akan dilakukan perawatan hingga tercapai batas atas nilai keandalan yang selanjutnya sistem akan kembali beroperasi lagi dan nilai keandalan akan mengalami penurunan kembali

Untuk mempercepat simulasi, maka model dinamika sistem digandakan selanjutnya untuk memudahkan identifikasi *constant crew skill* diberi inisial sesuai nilai kompetensi kru. Sebagai contoh, untuk kompetensi kru sebesar 100% maka *constant* untuk kompetensi kru diberi nama *crew skill*100%, demikian juga untuk nilai kompetensi kru yang lainnya. Simulasi ini dilakukan dengan nilai variabel jumlah kru adalah 1 orang, hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan kompetensi kru terhadap total biaya perawatan. Simulasi dilakukan dalam rentang waktu 2 tahun dengan timestep simulasi adalah 1 jam. Berikut grafik hasil simulasi pemodelan dinamika sistem untuk kompetensi kru.



Gambar 4.14. Grafik Nilai *Reliability* dan *Availability* Terhadap Waktu Pada Nilai *Crew skill* 100% Sampai Dengan 140%

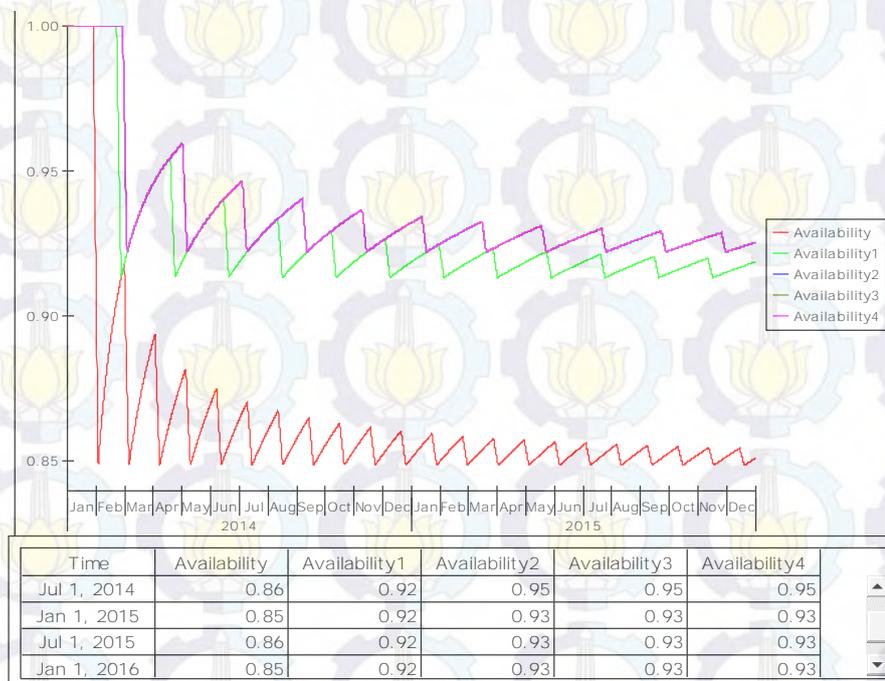
Gambar 4.14 menggambarkan kondisi nilai keandalan dan ketersediaan sistem yang berubah secara dinamik dalam rentang waktu 24 bulan dengan dipengaruhi oleh penambahan nilai *crew skill*. Terdapat beberapa nilai keandalan berdasarkan nilai *crew skill*nya dibedakan berdasarkan warna grafik.

Grafik berwarna merah (*Reliability*) merupakan grafik nilai keandalan dengan nilai *crew skill* 100%. *Crew skill* 100% merupakan asumsi kondisi awal kompetensi kru. Dikarenakan keterbatasan data dan referensi nilai laju peningkatan kompetensi kru serta berapa besar nilai peningkatan kru setelah mengikuti training atau memperoleh pengalaman. Asumsi tersebut dibuat dengan merujuk pada Resobowo,2014.

Grafik berwarna biru (*Reliability1*) merupakan grafik nilai keandalan terhadap waktu dengan nilai *crew skill* 110%. Grafik tersebut menunjukkan bahwa peningkatan *crew skill* dari 100% menjadi 110% dapat meningkatkan nilai *reliability* sehingga waktu operasional sistem menjadi lebih lama. Hal yang sama terjadi pada peningkatan *crew skill* 120 % (*Reliability 2*), *crew skill* 130% (*Reliability 3*) dan *crew skill* 140% (*Reliability 4*).

Pengaruh peningkatan kompetensi kru dan jumlah kru terlihat dengan meningkatnya nilai ketersediaan sistem. Dengan meningkatnya kompetensi atau

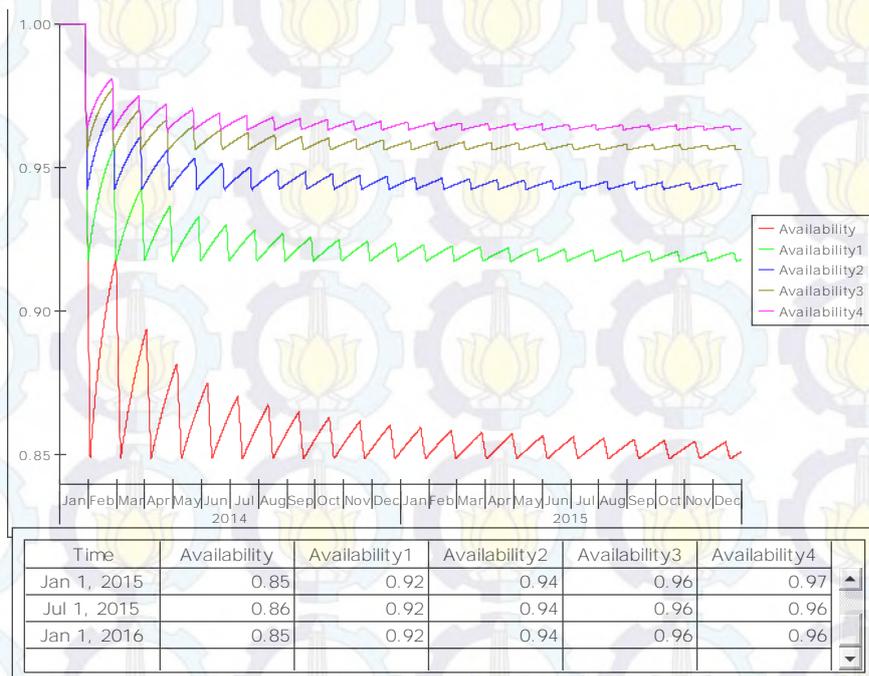
jumlah kru, maka ketersediaan sistem dapat meningkat yang berarti peluang sistem untuk beroperasi sesuai dengan fungsinya pada kurun waktu tertentu menjadi lebih tinggi seperti yang terlihat pada gambar 4.15



Gambar 4.15. Grafik Nilai *Availability* pada *Crew skill* 100% Hingga 150% dengan Jumlah Kru 1 Orang

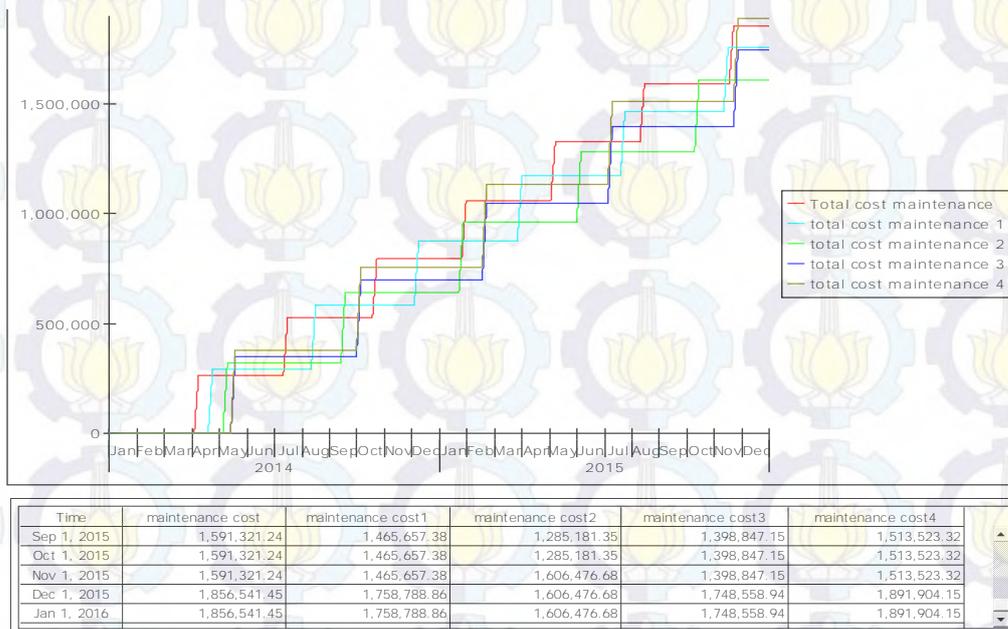
Gambar 4.15 menunjukkan terdapat peningkatan nilai ketersediaan untuk peningkatan kompetensi kru hingga 130% pada nilai keandalan minimum berada pada nilai 0.8, sedangkan untuk peningkatan kompetensi kru diatas 130% untuk jumlah kru 1 orang menghasilkan nilai ketersediaan yang relatif sama dengan nilai ketersediaan untuk *level* kru 130%.

Untuk pengaruh peningkatan jumlah kru terhadap nilai ketersediaan pada pemodelan dinamika sistem pada nilai keandalan minimum 0.8 dapat terlihat pada gambar 4.16 berikut.



Gambar 4.16. Grafik Nilai *Availability* dengan Jumlah Kru 1 Orang Hingga 5 Orang dengan *Crew skill* 100%

Gambar 4.16 menunjukkan peningkatan nilai ketersediaan dalam periode waktu tertentu dengan nilai keandalan minimum berada pada nilai 0.8 yang dipengaruhi oleh peningkatan jumlah kru. Pada grafik tersebut menunjukkan grafik berwarna merah untuk 1 orang kru, grafik berwarna hijau untuk 2 orang kru, grafik berwarna biru untuk 3 orang kru, grafik berwarna coklat untuk 4 orang kru dan grafik berwarna ungu untuk 5 orang kru. Menunjukkan bahwa nilai ketersediaan meningkat dengan peningkatan jumlah kru hingga 4 orang kru, selanjutnya nilai ketersediaan relatif tetap untuk peningkatan jumlah kru hingga 5 orang.



Gambar 4.17. Grafik Biaya Perawatan Terhadap Waktu pada *Crew skill* 100%, 110%, 120%, 130% dan 140%

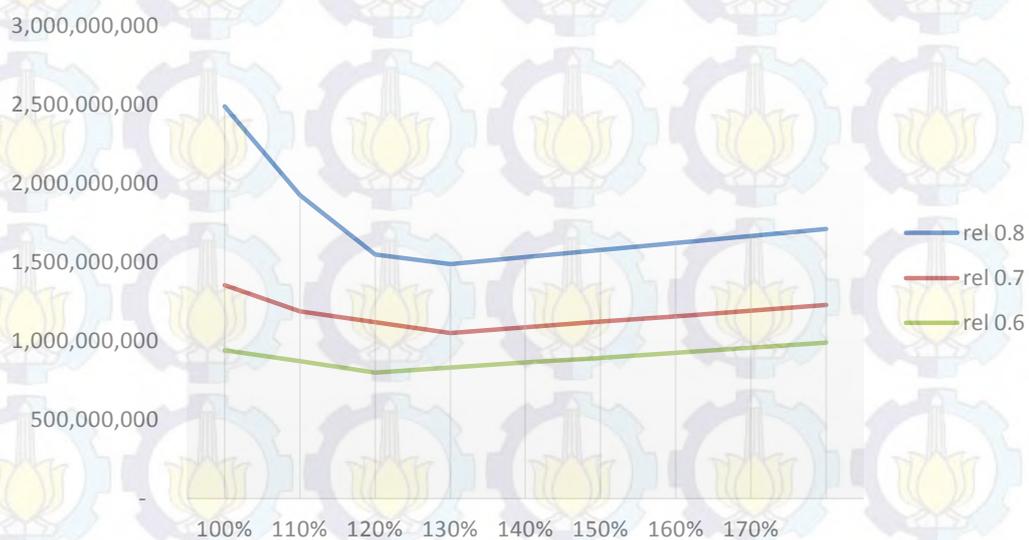
Gambar 4.17 merupakan hasil simulasi yang dilakukan pada nilai *crew skill* 100% sampai dengan 140% dengan jumlah kru adalah 1 orang pada tiap simulasi. Hasil simulasi tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kompetensi kru berpengaruh terhadap biaya perawatan. Peningkatan kompetensi kru dapat meningkatkan waktu operasional komponen (TTF) sehingga biaya perawatan dapat dikurangi. Peningkatan kompetensi kru juga berpengaruh terhadap biaya perawatan, dimana terdapat biaya perawatan optimum untuk tingkat kompetensi kru.

Untuk memperoleh nilai optimum pada biaya perawatan yang dipengaruhi oleh kompetensi kru, dilakukan simulasi dengan berbagai nilai *crew skill* mulai dari 100% hingga 190% pada batas nilai bawah *reliability* 0.6, 0.7 dan 0.8. Selanjutnya dilakukan rekapitulasi terhadap total biaya perawatan pada tiap tingkatan *crew skill*. Hasil rekapitulasi dapat terlihat pada tabel dan grafik hasil simulasi berikut.

Tabel 4.5. total biaya perawatan terhadap nilai *crew skill* dan keandalan

<i>Crew skill</i>	R=0.6	R=0.7	R=0.8
100	937,840,317	1,350,320,498	2,484,640,996
110	868,753,088	1,184,329,632	1,920,674,901
120	795,522,850	1,117,316,560	1,546,374,840
130	827,486,056	1,046,160,479	1,483,509,324
140	859,450,525	1,082,270,736	1,527,911,156
150	891,416,257	1,118,382,761	1,572,315,767
160	923,383,253	1,154,496,554	1,616,723,156
170	955,351,511	1,190,612,115	1,661,133,324
180	987,321,032	1,226,729,445	1,705,546,270

Hasil simulasi tersebut selanjutnya dibuat grafik perubahan nilainya untuk dapat lebih mudah mengetahui pada tingkat *crew skill* yang mana biaya perawatan yang paling optimum.



Gambar 4.18. Grafik Hubungan Antara Biaya Perawatan Terhadap Kompetensi Kru pada Nilai Keandalan Minimum 0.6, 0.7 dan 0.8

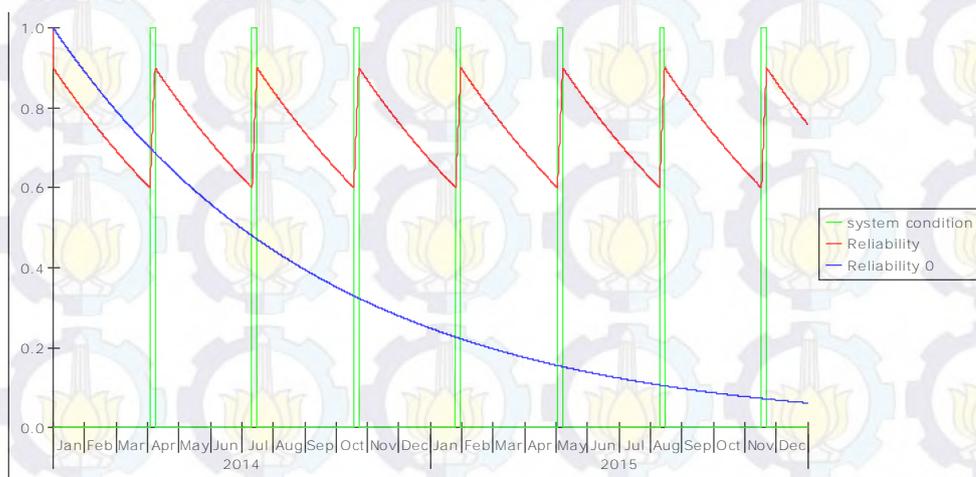
Grafik tersebut menjelaskan bahwa terdapat titik dimana kompetensi kru ditingkatkan akan memberi dampak penurunan biaya perawatan. Pada sistem

dengan batas bawah nilai keandalan 0.6, peningkatan kompetensi kru berdampak pada penurunan biaya total perawatan hingga *level* 120% dengan penurunan biaya total perawatan dari Rp. 937.840.317,- menjadi Rp. 795.522.850,- . untuk sistem dengan batas bawah nilai *reliability* 0.7, peningkatan kompetensi kru mencapai nilai minimum hingga *level* 130% dengan penurunan biaya total perawatan dari Rp. 1.350.320.498,- menjadi Rp. 1.046.160.476,-. Selanjutnya untuk sistem dengan batas bawah nilai *reliability* 0.8, peningkatan kompetensi kru mencapai nilai minimum hingga *level* 130% dengan penurunan biaya total perawatan dari Rp. 2.484.640.996,- menjadi Rp. 1.483.509.324,-.

Nilai tersebut nilai minimum yang dapat dicapai untuk meminimalkan total biaya perawatan, apabila tingkat kompetensi ditingkatkan kembali maka akan terjadi kenaikan biaya total perawatan secara bertahap tiap kenaikan tingkat kompetensinya.

4.3.2. Variabel Jumlah Kru

Variabel jumlah kru diterjemahkan ke dalam sistem dinamik dengan *constant crewsize*. Nilai *constant* dalam sistem dinamik merupakan variabel yang dapat diubah sesuai dengan kebutuhan simulasi maupun pengujian. Sebelum melakukan pengujian, dilakukan simulasi pada kondisi tidak ada penambahan jumlah kru untuk melihat kondisi awal dari model. Hasil simulasi pada kondisi awal terlihat pada gambar 4.19 berikut

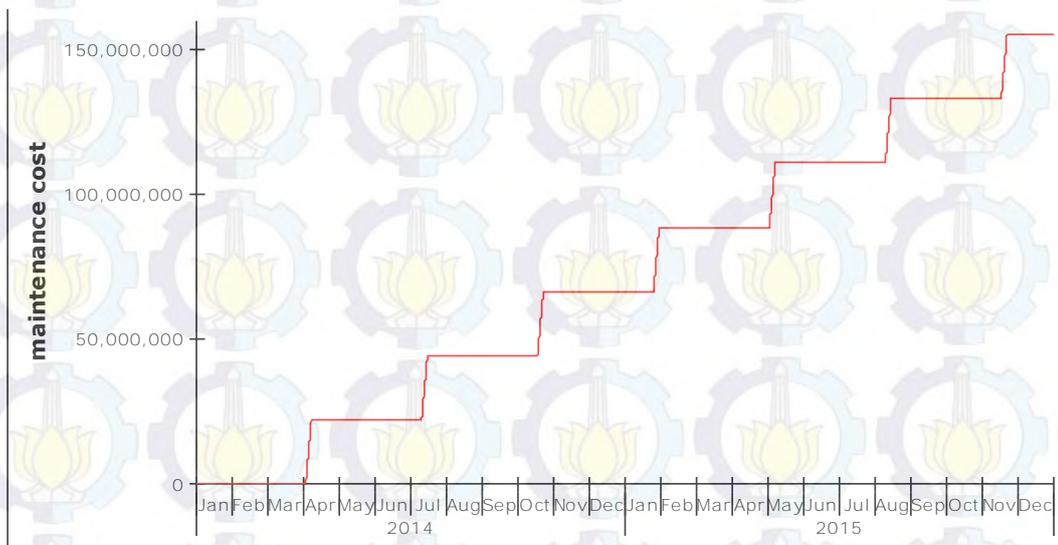


Gambar 4.19 Grafik Penurunan Nilai Keandalan Terhadap Waktu pada Kondisi *Crew skill* 100% dan Jumlah Kru 1 Orang

Terdapat beberapa variabel Pada gambar 4.19 antara lain *reliability* dengan nilai *crew skill* 100% dengan jumlah kru 1 orang yang ditunjukkan oleh grafik berwarna merah, selanjutnya *reliability* 0 menggambarkan kondisi tingkat keandalan tanpa dilakukan perawatan dan grafik berwarna hijau merupakan kondisi saat dilakukan perawatan terhadap sistem.

Penurunan nilai keandalan pada kondisi awal simulasi ini dibatasi penurunan nilainya hingga pada nilai keandalan 0.6. Apabila penurunan nilai keandalan telah mencapai nilai 0.6, maka dalam simulasi akan dilakukan perawatan hingga tercapai batas atas nilai keandalan yang selanjutnya sistem akan kembali beroperasi lagi dan nilai keandalan akan mengalami penurunan kembali.

Selanjutnya dari kegiatan perawatan yang dilakukan pada saat sistem telah mencapai batas nilai terendahnya, akan muncul biaya yang diakibatkan oleh kegiatan perawatan tersebut. Biaya yang muncul dalam simulasi digambarkan oleh gambar 4.20 yang merupakan akumulasi biaya perawatan



Gambar 4.20. Grafik Total Biaya Perawatan Terhadap Waktu

Gambar 4.20 menunjukkan total biaya perawatan dalam periode waktu tertentu grafik total biaya berbentuk grafik pulsa menunjukkan bahwa biaya perawatan terjadi hanya pada periode waktu tertentu, yaitu pada saat nilai keandalan telah mencapai batas nilai minimum, sehingga mengakibatkan munculnya biaya karena kegiatan perawatan untuk meningkatkan nilai keandalan. Pada saat nilai keandalan telah mencapai batas maksimal, maka tidak ada biaya perawatan yang

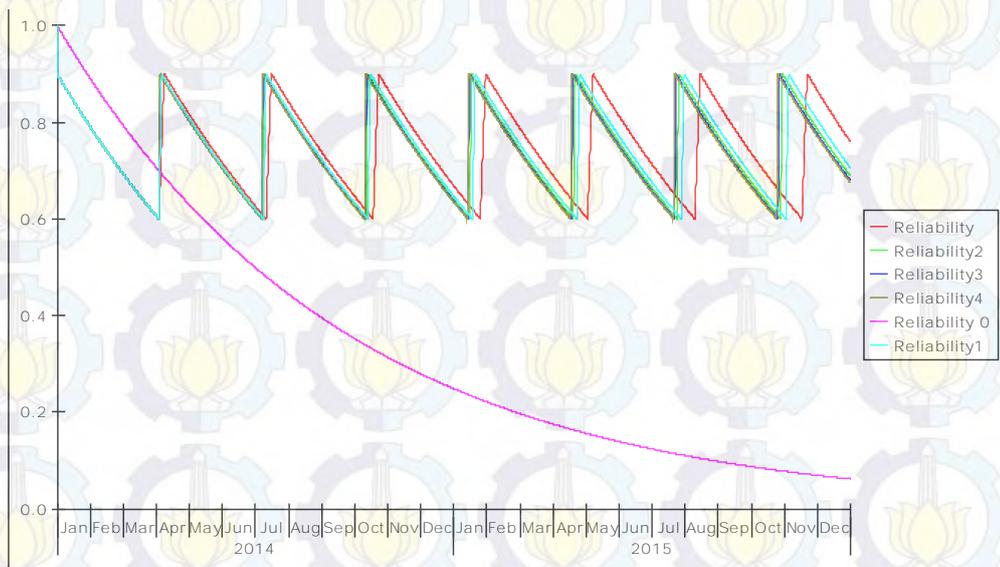
muncul yang diwakili oleh grafik dengan garis horizontal, pada periode perawatan selanjutnya merupakan penambahan biaya perawatan terhadap biaya yang telah dikeluarkan pada perawatan sebelumnya, sehingga grafik ini menggambarkan total biaya perawatan yang dikeluarkan selama periode waktu tertentu.



Gambar 4.21. Grafik Total Biaya Untuk Sistem Dengan *Crew skill* 100% dan Jumlah Kru 1 Orang

Gambar 4.21 menggambarkan total biaya yang dikeluarkan termasuk di dalamnya adalah biaya downtime atau potensi kerugian yang muncul akibat sistem berhenti beroperasi yang dihitung dari rata – rata profit dalam satu periode yang selanjutnya dapat diketahui potensi kehilangan pendapatan tiap jamnya. Termasuk di dalam total biaya adalah biaya yang dikeluarkan untuk gaji kru. Sama halnya dengan grafik total biaya perawatan pada gambar 4.20, grafik ini menggambarkan akumulasi dari total biaya yang dikeluarkan pada periode tertentu.

Pengujian untuk mengetahui pengaruh jumlah kru dilakukan dengan mengubah nilai variable *constant crew size* untuk mengetahui bagaimana variable jumlah kru berpengaruh terhadap biaya perawatan. Simulasi dilakukan secara parallel dengan pemodelan sistem dinamik yang memiliki variable yang sama. Dalam simulasi tersebut untuk tiap model diubah variable *constant crew size* menjadi 1 orang, 2 orang, 3 orang, 4 orang dan 5 orang kru. Simulasi dilakukan dalam rentang waktu 2 tahun dengan timestep simulasi adalah 1 jam.

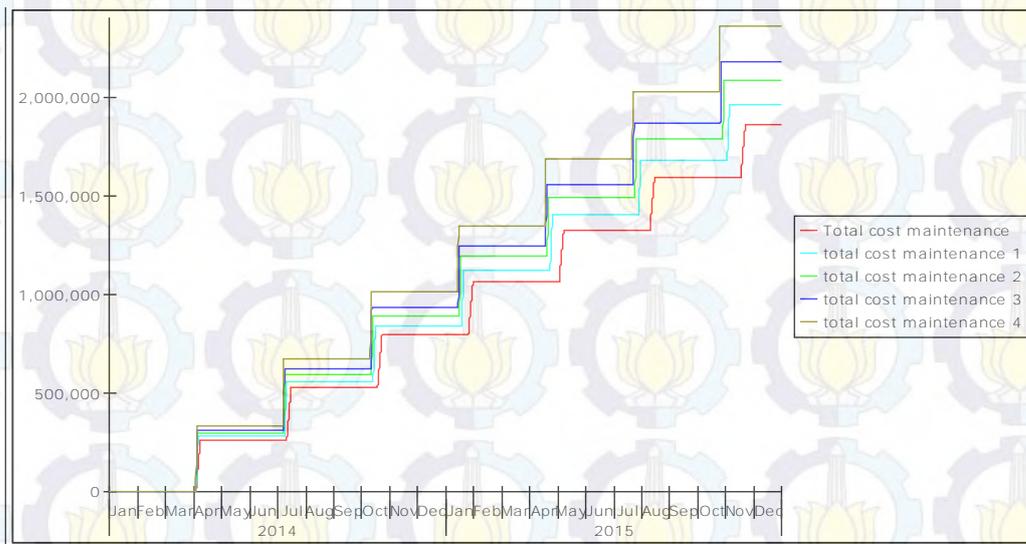


Gambar 4.22. Grafik Nilai Keandalan Terhadap Waktu pada Jumlah Kru 1,2,3,4 dan 5 Orang

Gambar 4.22 menggambarkan keadaan keandalan sistem yang berubah dinamis terhadap waktu dengan pengaruh variabel penambahan jumlah kru dalam melakukan perawatan. Pada grafik keandalan dengan warna merah, jumlah kru yang melakukan perawatan adalah 1 orang kru, selanjutnya untuk grafik dengan warna biru, hijau dan coklat telah terjadi penambahan jumlah kru yang melakukan perawatan. Penambahan jumlah kru menjadi 2 orang diwakili oleh grafik berwarna biru muda, penambahan menjadi 3 orang kru diwakili oleh grafik berwarna hijau, penambahan menjadi 4 orang kru diwakili oleh grafik berwarna biru dan penambahan menjadi 5 orang kru diwakili oleh grafik berwarna coklat.

Penambahan jumlah kru ini akan berdampak pada lamanya waktu pengerjaan pekerjaan perawatan, sehingga tampak terlihat pada grafik berwarna merah membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menaikan nilai keandalan ke batas atas nilai keandalan.

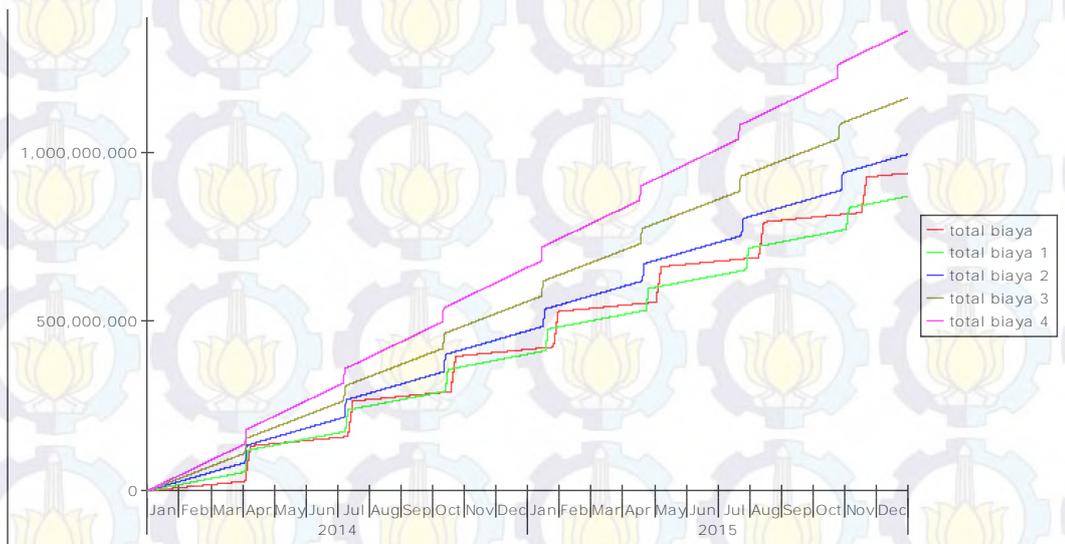
Setelah dilakukan penambahan jumlah kru, terlihat pada grafik yang berwarna biru, hijau dan coklat, waktu kegiatan perawatan dapat lebih dipersingkat, dengan kata lain bahwa beban kerja kegiatan perawatan tersebut dibagi secara merata untuk tiap kru yang melakukan kegiatan perawatan



Time	maintenance cost1	maintenance cost2	maintenance cost3	maintenance cost4
Sep 1, 2015	1,591,321.24	1,681,347.15	1,787,564.77	1,865,284.97
Oct 1, 2015	1,591,321.24	1,681,347.15	1,787,564.77	1,865,284.97
Nov 1, 2015	1,591,321.24	1,681,347.15	2,085,492.23	2,176,165.80
Dec 1, 2015	1,856,541.45	1,961,571.68	2,085,492.23	2,176,165.80
Jan 1, 2016	1,856,541.45	1,961,571.68	2,085,492.23	2,176,165.80

Gambar 4.23. Grafik Biaya Perawatan Terhadap Waktu pada Jumlah Kru 1,2,3,4 dan 5 Orang

Gambar 4.23 merupakan hasil simulasi yang dilakukan pada nilai kru skill 100% dan perlakuan yang sama pada tiap jumlah kru. Grafik tersebut menunjukkan bahwa biaya perawatan akan bertambah karena biaya untuk kru bertambah, sementara downtime cost dapat berkurang dengan meningkatkan jumlah kru. Hal ini disebabkan karena pada saat melakukan perawatan dengan jumlah kru 1 orang, maka waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan kondisi komponen pada batas atas nilai *reliability* menjadi lebih lama, sehingga akan berdampak pada meningkatnya biaya perawatan. Dengan penambahan jumlah kru, maka beban pekerjaan menjadi terbagi pada beberapa orang kru sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan kondisi komponen menjadi lebih singkat sehingga total biaya perawatan akan berkurang.

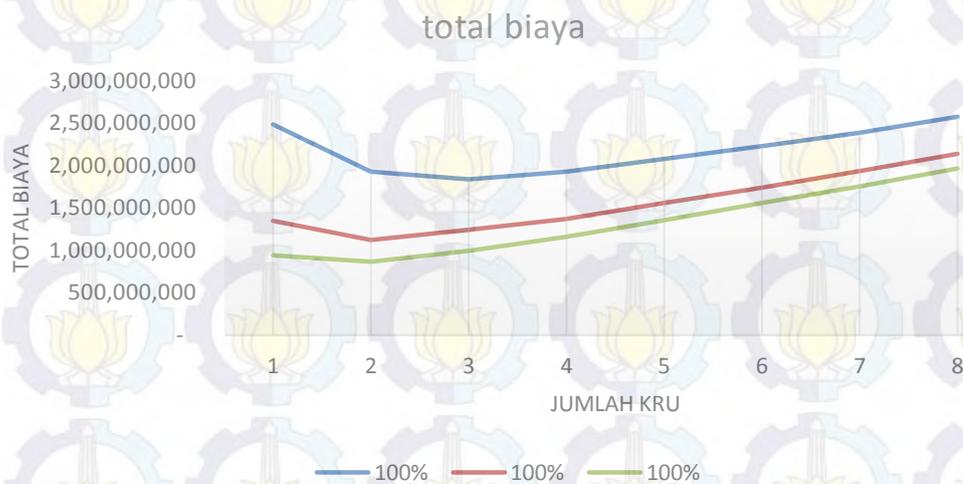


Time	total biaya	total biaya 1	total biaya 2	total biaya 3	total biaya 4
Jan 1, 2014	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jul 1, 2014	157,120,045.29	170,455,671.68	211,439,575.75	258,408,719.12	309,786,860.92
Jan 1, 2015	417,360,135.87	403,367,015.03	472,318,727.25	559,226,157.36	659,360,582.77
Jul 1, 2015	677,600,226.45	636,278,358.39	733,197,878.76	860,043,595.60	1,008,934,304.62
Jan 1, 2016	937,840,317.03	869,189,701.74	994,077,030.26	1,160,861,033.83	1,358,508,026.47

Gambar 4.24. Grafik Total Biaya Terhadap Waktu pada Jumlah Kru 1, 2, 3, 4 dan 5 Orang

Total biaya merupakan biaya perawatan yang dikeluarkan ditambah potensi keuntungan yang hilang (kerugian) yang timbul akibat sistem tidak dapat beroperasi karena kegiatan perawatan. Dalam hal ini potensi kerugian dihitung dari rata-rata pendapatan kapal per trip yaitu Rp. 422.628.954,- dimana 1 trip selama 25 hari, sehingga potensi keuntungan tiap hari sebesar Rp. 16.905.158 atau Rp.704.381,- tiap jam. Selain potensi kerugian diperhitungkan juga biaya yang dikeluarkan untuk gaji kru.

Berdasarkan hasil simulasi tersebut, dilanjutkan dengan membuat grafik hubungan antara peningkatan jumlah kru dengan total biaya pada nilai minimum keandalan 0.6, 0.7 dan 0.8 berikut



Gambar 4.25. Grafik Pengaruh Peningkatan Jumlah Kru Terhadap Total Biaya dengan Berbagai Batas Minimum Nilai Keandalan

Gambar 4.25 menunjukkan total biaya mengalami penurunan dengan menambah jumlah kru, hal ini disebabkan karena peningkatan jumlah kru mampu mengurangi waktu downtime sehingga potensi kerugian yang diakibatkan oleh sistem yang tidak dapat beroperasi menjadi berkurang.

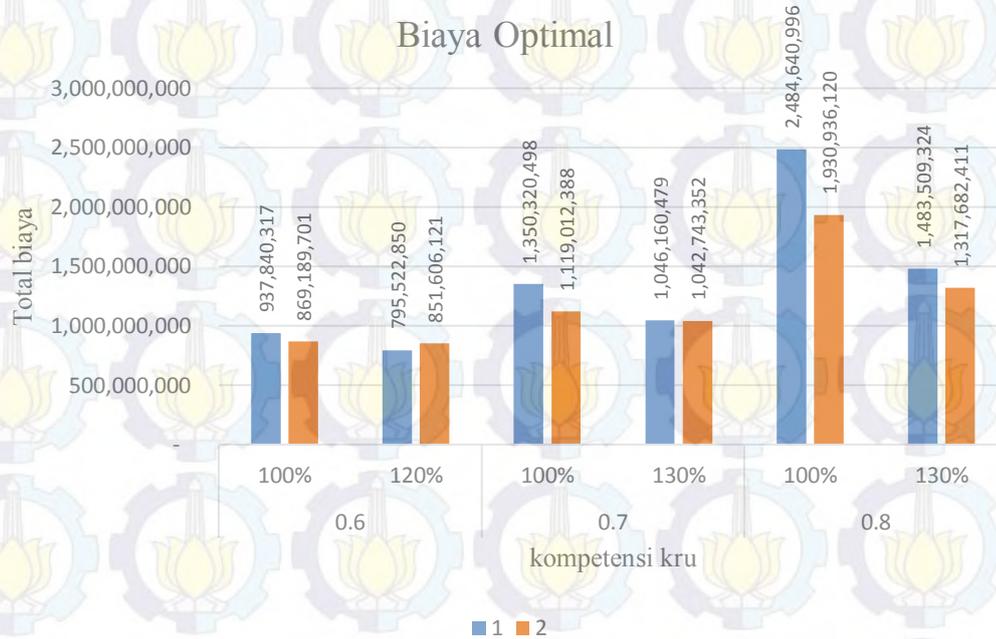
Peningkatan jumlah kru berdasarkan gambar 4.25 mampu menurunkan biaya downtime, namun memiliki pengaruh pada biaya yang harus dikeluarkan oleh perusahaan untuk gaji kru dengan rata-rata gaji kru sebesar Rp. 7.500.000,- maka peningkatan jumlah kru ke jumlah yang lebih besar dapat menjadi kerugian bagi perusahaan.

Dapat diambil kesimpulan bahwa peningkatan kru pada jumlah kru tertentu dapat menurunkan total biaya yang dikeluarkan perusahaan namun terdapat nilai optimal dari peningkatan jumlah kru tersebut sehingga apabila jumlah kru makin ditingkatkan akan berdampak pada peningkatan total biaya yang harus dikeluarkan oleh perusahaan nilai optimum peningkatan jumlah kru berada pada 2 sampai dengan 3 orang kru dalam melakukan kegiatan perawatan.

4.3.3. Pengaruh Peningkatan Jumlah Kru dan Kompetensi Kru

Setelah dilakukan pengujian terhadap peningkatan jumlah kru dan kompetensi kru, selanjutnya dari tiap hasil pengujian yang telah diketahui total biayanya dibuat

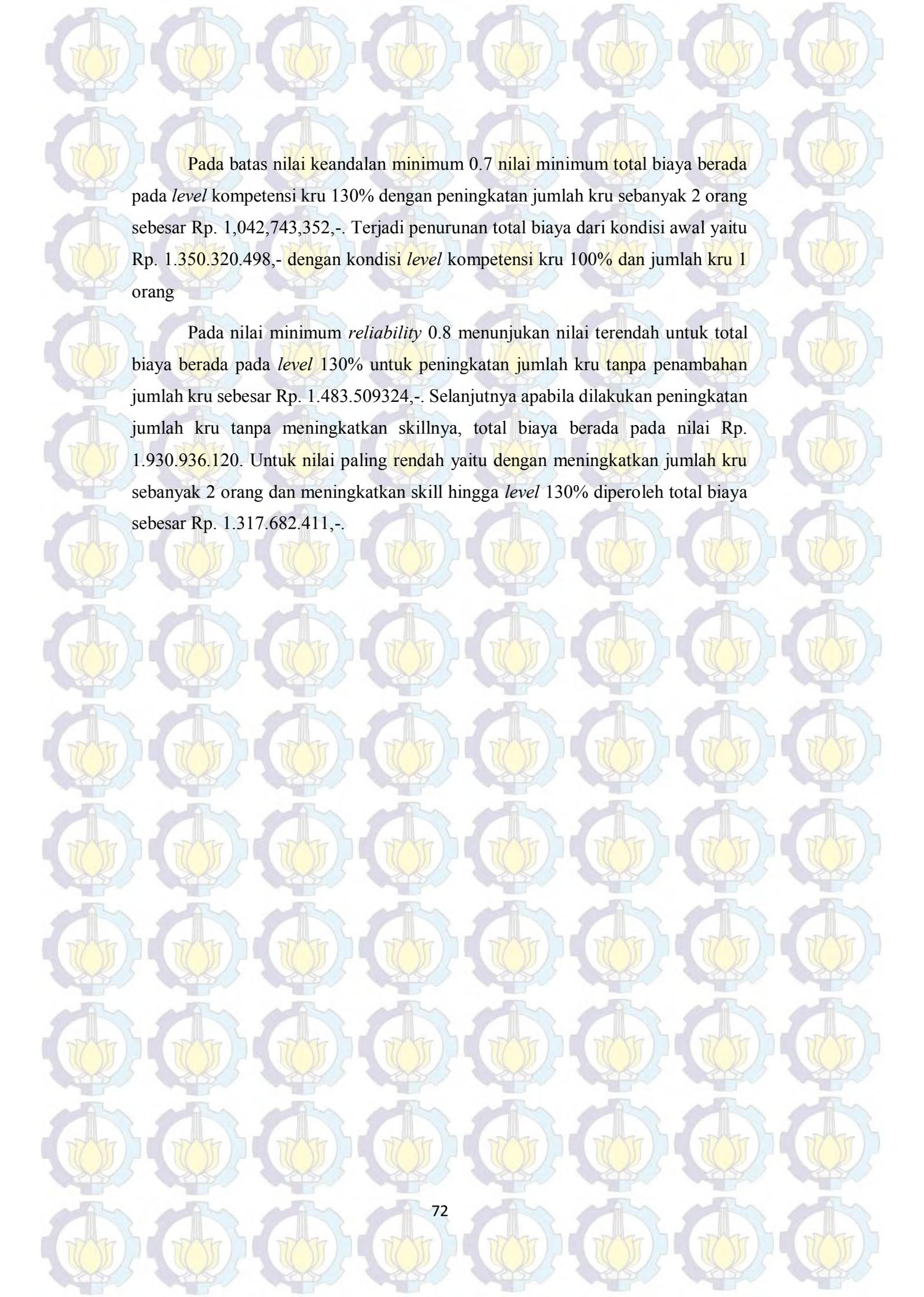
grafik yang menggambarkan hubungan antara peningkatan jumlah kru dan kompetensi kru terhadap peningkatan biaya perawatan.



Gambar 4.26. Grafik Total Biaya dengan Peningkatan Kompetensi Kru dan Jumlah Kru

Pada gambar 4.26 menggambarkan terdapat perubahan total biaya untuk setiap perubahan variabel kompetensi kru maupun jumlah kru. Dari grafik hasil simulasi tersebut menjelaskan kondisi saat tidak ada peningkatan jumlah kru maupun kompetensi kru yang digambarkan pada *level* 100% dengan grafik berwarna biru pada tiap batas bawah nilai keandalan. Untuk nilai selanjutnya mengikuti perubahan variabel baik itu penambahan sejumlah 1 orang kru sehingga total kru menjadi 2 orang untuk grafik berwarna oranye.

Untuk mempertahankan batas nilai bawah keandalan pada nilai 0.6 menunjukan nilai terendah untuk total biaya yaitu pada *level* kompetensi kru sebesar 120% tanpa peningkatan jumlah kru sebesar Rp.795.522.850,-. Selanjutnya apabila dilakukan peningkatan jumlah kru tanpa meningkatkan skillnya, biaya total menjadi Rp. 869.189.701,-. Nilai total biaya terendah yaitu dengan meningkatkan *crew skill* hingga 120% yaitu sebesar Rp. 795.522.850,-



Pada batas nilai keandalan minimum 0.7 nilai minimum total biaya berada pada *level* kompetensi kru 130% dengan peningkatan jumlah kru sebanyak 2 orang sebesar Rp. 1,042,743,352,-. Terjadi penurunan total biaya dari kondisi awal yaitu Rp. 1.350.320.498,- dengan kondisi *level* kompetensi kru 100% dan jumlah kru 1 orang

Pada nilai minimum *reliability* 0.8 menunjukkan nilai terendah untuk total biaya berada pada *level* 130% untuk peningkatan jumlah kru tanpa penambahan jumlah kru sebesar Rp. 1.483.509324,-. Selanjutnya apabila dilakukan peningkatan jumlah kru tanpa meningkatkan skillnya, total biaya berada pada nilai Rp. 1.930.936.120. Untuk nilai paling rendah yaitu dengan meningkatkan jumlah kru sebanyak 2 orang dan meningkatkan skill hingga *level* 130% diperoleh total biaya sebesar Rp. 1.317.682.411,-.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Kompetensi dan jumlah kru perawatan dimodelkan dengan menggunakan 4 loop yaitu *Reliability*, *Operational time*, *System condition* dan Biaya perawatan yang saling berkaitan. Variabel kompetensi dan jumlah kru terletak pada loop *Reliability* yang dapat berpengaruh pada biaya perawatan.
2. Hasil simulasi menunjukkan bahwa baik kompetensi kru maupun jumlah kru memiliki nilai optimum sehingga menghasilkan biaya perawatan ataupun total biaya yang minimal. Dari hasil simulasi pada batas bawah nilai keandalan 0.6, 0.7 dan 0.8, diketahui nilai optimum *crew skill* pada level 120 % dan 130%. Sementara untuk jumlah kru optimum pada level *crew skill* 100% berjumlah 2 atau 3 orang crew untuk memperoleh total biaya yang minimum.

5.2. Saran

Kegiatan perawatan sudah dilakukan pada kapal penangkap ikan, namun informasi dan dokumentasi mengenai kegiatan perawatan belum sepenuhnya tercatat dengan baik. Disarankan untuk mendokumentasikan kegiatan perawatan yang telah dilakukan terhadap komponen atau sistem di kapal sehingga dapat digunakan oleh memprediksi komponen atau sistem yang segera membutuhkan perawatan. Selain itu, dapat digunakan apabila terjadi pergantian kru sehingga dapat lebih cepat untuk mempelajari moda kegagalan sistem tersebut.