

**ANALISA CONTINUOUS MARKOV PROCESS PADA
SISTEM PENDINGIN MESIN PENGGERAK
KMP. BONTOHARU**

SKRIPSI

**DITUJUKAN UNTUK MEMENUHI PERSYARATAN MEMPEROLEH
GELAR SARJANA TEKNIK PADA DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM
PERKAPALAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN**



STEVAN PASAMBO

D331 15 309

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2021**

**ANALISA CONTINUOUS MARKOV PROCESS PADA
SISTEM PENDINGIN MESIN PENGGERAK
KMP. BONTOHARU**

SKRIPSI

**DITUJUKAN UNTUK MEMENUHI PERSYARATAN MEMPEROLEH
GELAR SARJANA TEKNIK PADA DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM
PERKAPALAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN**



STEVAN PASAMBO

D331 15 309

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

GOWA

2021

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Analisa Continuous Markov Process Pada Sistem Pendingin
Mesin Penggerak KMP. Bontoharu

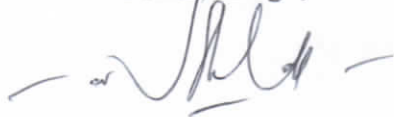
Nama Mahasiswa : Stevan Pasambo

NIM : D33115309

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

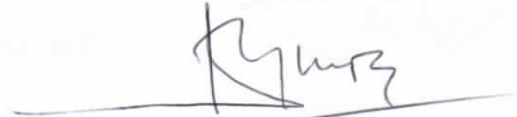
Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 31 Agustus 2021

Pembimbing I,



Surya Hariyanto, S.T., M.T
NIP. 197107022000121001

Pembimbing II



Ir. Zulkifli, M.T
NIP. 195701121988111002

Menyetujui,

Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan



Dr. Eng. Faizal, S.T., M.Inf., Tech, M.Eng
NIP. 198102112005011003

HALAMAN PERSETUJUAN

Judul Skripsi : Analisa Continuous Markov Process Pada Sistem Pendingin
Mesin Penggerak KMP. Bontoharu

Nama Mahasiswa : Stevan Pasambo

NIM : D33115309

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh Panitia Ujian Sarjana Program Strata Satu (S1) Teknik Sistem Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada tanggal 31 Agustus 2021.

Panitia Ujian Sarjana

Ketua : Surya Hariyanto, ST.,MT

Sekretaris : Ir. Zulkifli, MT

Anggota : Rahimuddin, ST.,MT.,Ph.D

: M. Rusydi Alwi, ST.,MT


:

:

:


PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan sesuai hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Gowa, 31 Agustus 2021

Mahasiswa,



Stevan Pasambo
D33115309

ANALISA CONTINUOUS MARKOV PROCESS PADA SISTEM PENDINGIN MESIN PENGGERAK KMP. BONTOHARU

ABSTRAK

Dalam dunia industri perkapalan, penerapan analisis keandalan (reliability) secara progresif dikembangkan dengan adanya tuntutan permintaan akan tingkat keamanan dan keandalan dari sistem yang ada. Kegagalan (failure) yang terjadi pada salah satu komponen dapat menimbulkan suatu kegagalan yang sifatnya merusak keseluruhan fungsi kapal dan pada akhirnya akan menyebabkan tingkat keselamatan menurun dan dapat membahayakan penumpang dan muatan yang di angkut, atau dengan kata lain bahwa dengan adanya kerusakan pada salah satu komponen yang ada di dalam suatu sistem akan mengakibatkan kerugian yang lebih besar, sehingga faktor keandalan suatu sistem atau komponen sangat perlu di perhatikan.

Penelitian ini merupakan studi terhadap aplikasi teori reliability sebagai alat untuk mengevaluasi sebuah pemodelan perawatan pada sistem pendingin mesin KMP. Bontoharu. Adapun metode analisa yang digunakan dalam mengevaluasi sistem adalah metode analisa secara kualitatif dan kuantitatif. Metode yang digunakan untuk analisa secara kualitatif adalah Failure Mode Effect And Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA). Dan untuk analisa secara kuantitatif digunakan metode Reliability block diagram (RBD) dan metode Continuous Markov Process.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa dalam sistem pendingin mesin penggerak KMP. Bontoharu diperoleh urutan komponen yang paling kritis dan perlu mendapat perhatian lebih adalah 1. Fresh water cooler, 2. Sea water pump, 3. Fresh water pump, 4. Filter, 5. Motor pompa. Dan di peroleh Nilai MTTF sistem (Mean Time To Failure) adalah 108,14 Jam, Reliability system adalah 0,633282 serta Availability system adalah 0,7503.

Kata Kunci : *FMEA, FTA, Reliability block diagram (RBD), Continous Markov Process*

ABSTRACT

In the ship industrial field, the application of reliability analysis has progressively implemented, because it is concerned with demand to increase the level of safety and reliability for the existing system. A failure that occurs in one of the components can cause a failure that is detrimental to the overall function of the ship and in the end will cause the level of safety to decrease and can endanger the passengers and cargo being transported. Or in other words, that with damage to one of the components in a system will result in greater losses, so that the reliability factor of a system or component really needs to be considered.

This research is a study of the application of reliability theory as a tool to evaluate an engine cooling system and maintenance modeling for KMP Bontoharu. The analytical method used in evaluating the system is a qualitative and quantitative analysis method. The methods used for qualitative analysis are Failure Mode Effect And Analysis (FMEA) and Fault Tree Analysis (FTA). And for quantitative analysis, the Reliability block diagram (RBD) method and the Continuous Markov Process method are used.

The results of this study indicate that in the engine cooling system of the KMP. Bontoharu obtained the order of the most critical components and needs more attention is 1. Fresh water cooler, 2. Sea water pump, 3. Fresh water pump, 4. Filter, 5. Pump motor. And the results obtained from the MTTF system (Mean Time To Failure) are 108.14 hours, system reliability is 0.633282 and system Availability is 0.7503.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kita persembahkan kehadiran Tuhan yang maha esa, karena berkat rahmat dan karunia-Nya semata sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan judul

*“ANALISA CONTINUOUS MARKOV PROCESS PADA SISTEM PENDINGIN
MESIN PENGGERAK KMP. BONTOHARU”*

Penulisan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat program strata 1 pada program studi teknik sistem perkapalan jurusan perkapalan fakultas teknik universitas hasanuddin. Proposal skripsi ini disusun berdasarkan kajian literatur, dan juga wawancara.

Dalam penyajian skripsi ini penulis menyadari masih belum mendekati kata sempurna, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun sebagai bahan masukan yang bermanfaat demi perbaikan dan peningkatan diri dalam bidang ilmu pengetahuan.

Penulis menyadari, berhasilnya penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak yang telah memberikan semangat dan do'a kepada penulis dalam menghadapi hambatan, sehingga sepatutnya pada kesempatan ini penulis menghaturkan rasa terima kasih kepada :

1. Keluarga penulis : Kedua orang tua, Ayahanda Marthen Luther Buri dan Ibunda Debora Tosuli yang sampai hari ini masih membuat penulis termotivasi. Saudari Yusriana Buri dan saudara Harter Chandra Buri serta saudara Sevriyanto Pasambo yang terus memberikan dukungan sehingga perkuliahan penulis dapat terselesaikan.
2. Bapak Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng selaku ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

3. Bapak Surya Harianto S.T., M.T selaku dosen pembimbing utama yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya penulisan dan penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Zulkifli M.T selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya penulisan dan penyusunan skripsi ini.
5. Bapak M. Rusydi Alwi, S.T.,M.T selaku Koordinator Tugas Akhir dan Skripsi Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas ilmu dan wawasan yang diberikan selama masa studi penulis.
7. Staf Tata Usaha Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah membantu segala aktivitas administrasi baik selama perkuliahan serta dalam penyelesaian skripsi ini.
8. Rekan-rekan mahasiswa Departemen Teknik Sistem Perkapalan khususnya WINDLAS5, dan rekan-rekan Laboratorium Permesinan Kapal yang telah memberikan pengalaman berharga selama penulis menjadi Mahasiswa. Tak lupa pula penulis sampaikan banyak terima kasih kepada kanda-kanda senior dan dinda-dinda junior atas motivasi dan dukungannya.

Akhir kata semoga skripsi ini dapat dimanfaatkan dan dapat memberikan sumbangsih pemikiran untuk perkembangan pengetahuan bagi penulis maupun bagi pihak yang berkepentingan.

Gowa, 31 Agustus 2021

STEVAN PASAMBO
D33115309

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 LATAR BELAKANG.....	1
I.2 RUMUSAN MASALAH.....	3
I.3 BATASAN MASALAH	3
I.4 TUJUAN PENELITIAN	3
I.5 MANFAAT PENELITIAN.....	4
I.6 SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 KONSEP DASAR KEANDALAN	6
II.2 SISTEM PENDINGIN MESIN	7
II.2.1 Macam-macam jenis pendingin pada kapal.....	8

II.2.2 Gangguan pada sistem pendingin	10
II.2.3 Peralatan sistem pendingin	10
II.3 ANALISA KUALITATIF	11
II.3.1 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA).....	11
II.3.2 Perhitungan Nilai RPN	12
II.3.3 Fault Tree Analysis (FTA).....	13
II.4 ANALISA KUANTITATIF	14
II.4.1 Terminologi Reliability.....	15
II.4.2 Waktu Rata-rata Kegagalan (MTTF).....	17
II.4.3 Reliability Block Diagram (RBD)	17
II.4.3.1 Susunan Seri	18
II.4.3.2 Susunan Paralel.....	19
II.4.3.3 Susunan Standby	19
II.4.4 Pemodelan Markov	20
II.4.4.1 Continuous Markov Proses	21
II.4.4.2 Konsep Umum Pemodelan Markov.....	22
II.4.4.3 State Space Diagram	28
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
III.1 TEMPAT DAN WAKTU PENELITIAN	30
III.1.1 Tempat/Lokasi Penelitian.....	30
III.1.2 Waktu Pengambilan Data Penelitian	30

III.2 METODE PENELITIAN	30
III.3 KERANGKA PEMIKIRAN	34

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 PRINSIP KERJA SISTEM PENDINGIN MESIN	35
IV.2 ANALISA KUALITATIF.....	36
IV.2.1 Failure Mode And Effect analysis (FMEA).....	36
IV.2.2 Fault Tree Analysis (FTA)	37
IV.3 ANALISA KUANTITATIF.....	40
IV.3.1 Reliability Block Diagram.....	40
IV.3.2 Continuous Markov Process.....	44

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 KESIMPULAN	47
V.2 SARAN.....	47

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN 1 : Kuisiner FMEA dan perhitungan nilai RPN

LAMPIRAN 2 : Perhitungan nilai Reliability dan MTTF

LAMPIRAN 3 : State Space Diagram dan Perhitungan Matrik STP

LAMPIRAN 4 : SK Pembimbing Skripsi

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Pendingin Mesin.....	8
Gambar 2.2 Realiability Block Diagram.....	18
Gambar 2.3 Diagram State Space Komponen Tunggal	22
Gambar 4.1 Diagram Sistem Pendingin Mesin KMP. Bontoharu	36
Gambar 4.2 Diagram Nilai RPN Sistem Pendingin Mesin.....	37
Gambar 4.3 Diagram Fault Tree Sistem Pendingin KMP. Bontoharu.....	38
Gambar 4.4 Block Diagram Sistem Pendingin	40
Gambar 4.5 Penyederhanaan Blok Diagram.....	43

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Simbol-simbol Penyusunan Fault Tree	14
Tabel 3.1	Data Utama Kapal KMP. Bontoharu	31
Tabel 3.2	Data Indeks Realibility Komponen Sistem Pendingin	32
Tabel 3.3	Failure Rate dan Repair Rate Komponen	33
Tabel 4.1	Cut Set dari Fault Tree Sistem Pendingin.....	39

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG

Penggunaan analisa keandalan dalam industri perkapalan semakin meningkat sehubungan dengan kebutuhan akan keamanan dan keselamatan kapal yang handal. Beberapa bagian pada desain kapal yang dapat dianalisa keandalannya, antara lain :

- Konstruksi kapal
- Sistem permesinan
- Peralatan dikapal (equipment)

Ketiga bagian tersebut merupakan faktor terpenting pada keamanan dan keandalan kapal untuk kelanjutan pelayanan dari pengoperasian kapal. Pada kapal-kapal yang telah beroperasi dengan waktu yang cukup lama perlu dilakukan ulang evaluasi keandalan untuk mengetahui keandalan sistem atau penyebab kegagalan/kerusakan masing-masing komponen sistem, karena kerusakan pada salah satu komponen akan menyebabkan kerusakan yang lebih besar pada seluruh fungsi kapal, akibatnya dapat menimbulkan kerusakan pada kapal dan membahayakan kehidupan manusia serta muatan yang diangkut.

Semakin banyaknya kapal yang beroperasi saat ini menuntut pihak pemilik untuk meningkatkan *availability* kapalnya. Salah satu cara untuk meningkatkan *availability* kapal adalah dengan meningkatkan keandalanya melalui usaha perawatan.

Perawatan sebuah kapal merupakan hal yang tidak bisa diabaikan karena apabila hal tersebut tidak dilakukan secara berkelanjutan maka akan terjadi penurunan kinerja pada salah satu sistem dari kapal tersebut dan dapat berdampak ke sistem yang lainnya. Pada tahun 2003 dibangun sebuah kapal penumpang

dengan nama KMP. Bontoharu di galangan PT. IKI Makassar dengan LOA 54,00 m dan memiliki 1.124 GT. Kapal tersebut beroperasi dip perairan Indonesia dengan trayek Bira-Selayar. Kapal tersebut selain mengangkut manusia juga mengangkut barang hingga kendaraan roda empat. Kapal tersebut sudah berusia 17 tahun hingga saat ini dan terus beroperasi, lamanya kapal beroperasi hingga saat ini mengakibatkan komponen-komponen pada kapal membutuhkan perawatan yang lebih.

Banyaknya kapal yang beroperasi pada saat ini menuntut pihak pemilik untuk meningkatkan perawatan kapalnya. Salah satu cara untuk menjaga pengoperasian kapal adalah dengan meningkatkan keandalannya melalui usaha perawatan. Perawatan adalah suatu fungsi dari kerusakan dimana hal tersebut dapat diartikan bahwa apabila terjadi kerusakan maka dibutuhkan perawatan. Perawatan tidak dapat dianggap hal yang dapat dikesampingkan karena apabila di dalam proses unjuk kerja suatu mesin induk, jika tidak dilakukan perawatan maka motor induk tersebut akan mengalami penurunan unjuk kerja secara perlahan tapi pasti.

Analisa keandalan terhadap komponen-komponen yang mendukung sistem di dalam kinerja mesin tidak perlu menunggu terjadinya kegagalan terlebih dahulu, namun lebih mengutamakan untuk melakukan analisa keandalan sebagai langkah preventif untuk mencegah kegagalan itu sendiri.

Oleh karena itu untuk mengantisipasi kegagalan pada komponen-komponen kapal dapat dilakukan dengan cara analisa keandalan. Pelaksanaannya dengan cara mengidentifikasi kapan komponen tersebut mengalami kegagalan dan dari kejadian tersebut dapat diperoleh jadwal perawatan yang intensif.

I.2 RUMUSAN MASALAH

Rumusan Masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana cara mengidentifikasi terjadinya kegagalan pada sistem pendingin mesin?
2. Bagaimana cara mengidentifikasi tingkat keandalan (indeks reliability) pada sistem pendingin KMP. Bontoharu?
3. Bagaimana cara menentukan agar tingkat keandalan dan ketersediaan sistem pendingin mesin pada KMP. Bontoharu tetap terjaga dalam periode waktu tertentu?

I.3 BATASAN MASALAH

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Fokus objek penelitian adalah sistem pendingin mesin pada KMP. Bontoharu.
2. Analisa tingkat keandalan dan ketersediaan sistem pendingin mesin menggunakan metode Continuous Markov Process.
3. Dalam penelitian ini tidak dilakukan perhitungan biaya hasil analisa keandalan sistem pendingin mesin.

I.4 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi komponen-komponen yang paling kritis yang dapat menyebabkan terjadinya kegagalan pada sistem pendingin mesin KMP. Bontoharu.
2. Mengidentifikasi tingkat keandalan (indeks reliability) pada sistem pendingin KMP. Bontoharu.
3. Menentukan indeks ketersediaan (availability) dan indeks ketidakterediaan (unavailability) pada sistem pendingin KMP. Bontoharu.

I.5 MANFAAT PENELITIAN

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui komponen-komponen yang paling kritis dan perlu mendapat perhatian lebih.
2. Mengetahui penyebab dan dampak terjadinya kegagalan pada komponen serta pengaruhnya terhadap kondisi operasi sistem pendingin mesin.
3. Memberikan informasi tentang tingkat keandalan dan ketersediaan sistem pendingin mesin pada KMP. Bontoharu dalam periode waktu tertentu.

I.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Secara garis besar penyusunan proposal skripsi agar pembaca dapat memahami uraian dan makna secara sistematis, maka skripsi disusun pada pola berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini konsep dasar penyusunan skripsi yang meliputi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian,serta sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini memberikan penjelasan mengenai teori dasar yang digunakan dalam penyelesaian skripsi ini yaitu teori dasar tentang konsep dasar keandalan, penjelasan mengenai sistem pendingin serta penjelasan mengenai analisa kualitatif yaitu metode FMEA dan FTA dan analisa kuantitatif yaitu metode RBD dan continuous markov process.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi tentang waktu dan tempat penelitian serta tahapan-tahapan berupa proses yang dimulai dari mengidentifikasi masalah yang ada hingga hasil akhir yang diharapkan.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas hasil analisa kualitatif dengan menggunakan metode FMEA dan FTA untuk menentukan komponen yang paling kritis yang perlu untuk mendapat perhatian lebih serta analisa kuantitatif dengan menggunakan metode RBD dan continuous markov process untuk menentukan ketersediaan dan ketidaksediaan suatu sistem.

BAB V : PENUTUP

Bab ini akan menyajikan secara singkat kesimpulan yang diperoleh dari pembahasan dan juga memuat saran-saran bagi pihak yang berkepentingan untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 KONSEP DASAR KEANDALAN

Keandalan didefinisikan sebagai probabilitas dari suatu item untuk dapat melaksanakan fungsi yang telah diterapkan, pada kondisi pengoperasian dan lingkungan tertentu untuk periode waktu yang ditentukan. Terminologi item yang dipakai dalam definisi keandalan diatas dapat mewakili semua komponen, subsistem, atau sistem yang dapat dianggap satu kesatuan. Definisi diatas dapat disajikan empat komponen pokok meliputi :

1. Probabilitas
2. Kinerja yang memadai (performance)
3. Waktu
4. Kondisi pengoperasian

Probabilitas yang merupakan komponen pokok, merupakan input numeric bagi pengkajian keandalan suatu sistem yang juga merupakan indeks kuantitatif untuk menilai kelayakan suatu sistem. Pada beberapa kajian yang melibatkan disiplin ilmu keandalan, probabilitas bukan merupakan satu-satunya indeks, ada beberapa indeks lain yang dapat dipakai untuk menilai keandalan suatu sistem yang dikaji.

Keandalan pada keseluruhan sistem dikapal akan mempengaruhi availability dari kapal. Untuk itu diperlukan langkah untuk mempertahankan keandalan dari sistem di kapal terkhusus sistem yang mengalami kritis dapat mengakibatkan kegagalan operasi secara tiba-tiba apabila terjadi kerusakan pada sistemnya.

Untuk dapat menilai keandalan sistem ataupun komponen harus diketahui dengan jelas karakteristik kerja dari sistem atau komponen yang akan dianalisa

termasuk juga dengan pola operasi, pola perawatan, pola kegagalan dan pengaruh kondisi operasi terhadap kinerja sistem atau komponen tersebut.

Aplikasi sistem reliability untuk bidang perkapalan lebih banyak dipakai untuk mengevaluasi desain yang sudah ada dan hasil evaluasi ini dipakai sebagai input untuk menerapkan strategi perawatan kapal.

II.2 SISTEM PENDINGIN MESIN

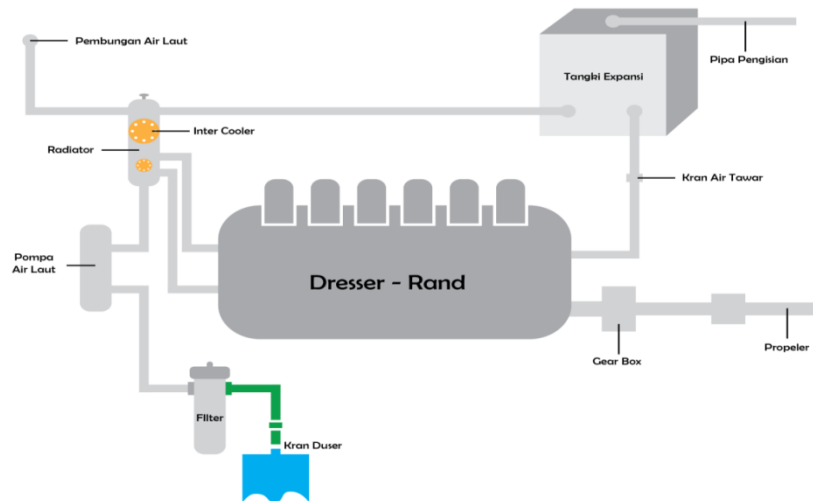
Mesin yang dipasang pada kapal dirancang untuk bekerja dengan efisien maksimal dan berjalan selama berjam - jam berjalan lamanya. Hilangnya energi paling sering dan maksimum dari mesin adalah dalam bentuk energi panas. Untuk menghilangkan energi panas yang berlebihan harus menggunakan media pendingin (*Cooler*) untuk menghindari gangguan fungsional mesin atau kerusakan pada mesin. Untuk itu, sistem air pendingin dipasang pada kapal. Ada dua sistem pendingin yang digunakan di kapal untuk tujuan pendinginan:

a) Sistem pendingin Air Laut

Air laut langsung digunakan dalam sistem mesin sebagai media pendingin untuk penukar panas.

b) Air Tawar atau sistem pendingin utama

Air tawar digunakan dalam rangkaian tertutup untuk mendinginkan mesin yang ada di kamar mesin. Air tawar kembali dari *exchanger* panas setelah pendinginan mesin yang selanjutnya didinginkan oleh air laut pada pendingin air laut.



Gambar 2.1 Sistem Pendingin Mesin

II.2.1 Macam-macam jenis pendingin pada kapal

- Sistem Pendingin Terbuka

Merupakan sistem pendingin yang langsung berhubungan dengan air laut. Sistem ini menggunakan air laut yang langsung masuk untuk mendinginkan komponen yang perlu untuk didinginkan.

1) Keuntungan Pendingin Terbuka

- a) Sistem cukup sederhana, tidak memerlukan tangki *expansi*, *cooler* sehingga biaya berkurang.
- b) Media pendingin atau air laut selalu tersedia.

2) Kerugian Pendingin Terbuka

- a) Pada suhu lebih dari 50°C akan terjadi kerak garam yang akan mempersempit pipa.
- b) Resiko terhadap proses korosi sangat besar sehingga motor akan cepat rusak.
- c) Resiko berlayar di daerah dingin maka pengaturan suhu air masuk motor sulit diatur karena suhu air laut terlalu rendah

sehingga *cylinder* liner dapat retak karena perbedaan suhu yang tinggi antara di dalam *cylinder* liner dan suhu air laut di luar *cylinder* liner.

- Sistem Pendingin Tertutup

Sistem pendingin yang menggunakan air tawar yang disirkulasikan dalam suatu sirkuit tertutup untuk mendinginkan komponen yang perlu didinginkan. Kemudian air tawar tersebut didinginkan oleh air laut, kemudian air tawar tersebut disirkulasikan kembali untuk mendinginkan komponen. Sistem ini dibagi menjadi dua yaitu:

- a) Sistem *independent* yaitu dimana air tawar yang digunakan untuk mendinginkan tiap-tiap komponen didinginkan secara terpisah, tidak bersama dalam sebuah penukar panas.
- b) Sistem terpusat yaitu dimana air tawar yang digunakan untuk mendinginkan komponen, dikumpulkan untuk didinginkan secara bersama, dalam sebuah *heat exchanger*. Sistem pendingin ini didesain dengan hanya mempunyai satu *heat exchanger* yang didinginkan dengan air laut, sedangkan untuk *cooler* yang lain termasuk *jacket water*, minyak pelumas, udara bilas, didinginkan dengan air tawar yang bertemperatur rendah. Sistem pendingin jenis ini sangat kecil peralatan yang berhubungan langsung dengan air laut sehingga masalah korosi dapat dikurangi.

- 1) Keuntungan Pendingin Tertutup

- a) Dengan media air tawar maka resiko terhadap korosi dapat dicegah atau dihindari.
- b) Pengaturan suhu masuk dan suhu keluar dari air pendingin lebih mudah diatur melalui *cooler*.

- 2) Kerugian Pendingin Tertutup

- a) Ketergantungan terhadap persediaan air tawar pendingin (*fresh water generator*).

- b) Konstruksi rumit karena memerlukan perlengkapan *expansi tank* maupun cooler sehingga biaya perawatan lebih mahal.

II.2.2 Gangguan pada sistem pendingin

Beberapa gangguan yang sering terjadi pada mesin pendingin (Suharto,1991).

- a. Tersumbatnya pipa-pipa dan saluran-saluran pendinginan (pada mantel-mantel air) oleh kerak-kerak.
- b. Terhambatnya aliran udara yang dihisap pada permukaan radiator oleh debu atau kotoran-kotoran
- c. Berobahnya desain serta pemasangan pendingin Radiator
- d. Menurutnya kapasitas pendinginan disebabkan performansi engine yang tidak bisa seimbang oleh performansi pompa pensirkulasi airnya. Mungkin hal ini untuk engine yang berkali-kali overhaul sementara pompanya tetap lama.
- e. Kekosongan Air Pendingin di Tangki Air Tawar.
- f. Air Tawar ditangki Cepat Habis.
- g. Air Ditangki Air Tawar Cepat Kotor.

II.2.3 Peralatan sistem pendingin

Peralatan meliputi perlengkapan yang diperlukan untuk pendinginan yang efektif dari mesin diesel. Pada sistem pendingin tertutup memerlukan peralatan terdiri atas :

- a. Pompa sirkulasi air tawar beserta alat penduga tekanannya (isap dan tekan).
- b. Saluran pipa untuk sirkulasi air tawar.
- c. Tangki ekspansi untuk air tawar.
- d. Penukar kalor
- e. Termometer untuk air tawar masuk dan keluar mesin.

- f. Alat pengaman (sistem alarm tanda bahaya) untuk melindungi mesin
- g. Pompa sirkulasi air laut beserta alat penduga tekanannya (isap dan tekan).
- h. Saluran pipa air laut yang dilengkapi dengan *bypass*.
- i. Termometer untuk pendingin air laut masuk dan keluar penukar kalor.
- j. Alat penghenti mesin otomatis.

Bagian motor berikut dalam rangka pembakaran harus mendapatkan pendinginan :

- a. Bagian dari lapisan silinder.
- b. Tutup silinder.
- c. Bagian atas torak.
- d. Rumah katup buang dan sejenis, termasuk juga katup buang.
- e. Bagian dari katup bahan bakar disekeliling pengabut.
- f. Rumah turbin gas buang

II.3 ANALISA KUALITATIF

Analisa kualitatif adalah suatu analisa yang digunakan untuk mengevaluasi keandalan suatu sistem berdasarkan analisa kegagalan, sehingga kita dapat melakukan penilaian keandalan berdasarkan data kualitatif serta pengalaman yang sudah ada. Dalam analisa kualitatif untuk mengevaluasi keandalan suatu sistem sering digunakan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA).

II.3.1 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

FMEA merupakan salah satu bentuk analisa kualitatif. FMEA bertujuan untuk mengidentifikasi mode-mode kegagalan penyebab kegagalan. Serta dampak kegagalan yang ditimbulkan oleh tiap-tiap komponen terhadap sistem. Kegiatan FMEA tersebut ditulis dalam sebuah bentuk FMEA *worksheet*. Connor. [1993].

Teknik analisa ini menekankan pada bottom – up approach yaitu analisa yang dilakukan dimulai dengan memeriksa komponen-komponen tingkat rendah dan meneruskannya ke sistem yang merupakan tingkat yang lebih tinggi serta mempertimbangkan kegagalan sistem sebagai hasil dari semua mode kegagalan. Roger. [1995].

Secara umum, FMEA (Failure Modes and Effect Analysis) didefinisikan sebagai sebuah teknik yang mengidentifikasi tiga hal, yaitu :

- Penyebab kegagalan yang potensial dari sistem, desain produk, dan proses selama siklus hidupnya
- Efek dari kegagalan tersebut
- Tingkat kekritisan efek kegagalan terhadap fungsi sistem, desain produk, dan proses.

Output dari Process FMEA adalah:

- Daftar mode kegagalan yang potensial pada proses.
- Daftar critical characteristic dan significant characteristic.
- Daftar tindakan yang direkomendasikan untuk menghilangkan penyebab munculnya mode kegagalan atau untuk mengurangi tingkat kejadiannya dan untuk meningkatkan deteksi terhadap produk cacat bila kapabilitas proses tidak dapat ditingkatkan.

Dengan menggunakan metode FMEA, dapat dilakukan pencegahan terjadinya kegagalan dalam produk atau proses, sejak dari tahap awal. FMEA merupakan salah satu langkah quality management sekaligus risiko management. Hasilnya tidak hanya menurunkan risiko kegagalan, melainkan juga meningkatkan kualitas dari produk/proses. HØyland, Arnljot and marvin Rausan. [1994].

II.3.2 Perhitungan Nilai RPN

Untuk memudahkan dalam menilai resiko, mode kegagalan dinyatakan dalam skala nilai kualitatif yang mengidentifikasi berbagai tingkat kondisi bahaya

skala kualitatif, untuk menilai severity (tingkat keparahan), occurrence (frekuensi kejadian), dan detection (deteksi). Franceschini, F. & Galetto, M. [2001]. Selanjutnya, *Risk Priority Number* (RPN) dapat ditentukan dengan menghitung nilai severity (S), occurrence (O) dan detection (D) berdasarkan persamaan : $RPN = S \times O \times D$.

II.3.3 Fault Tree Analysis (FTA)






Teknik untuk mengidentifikasi kegagalan dari suatu sistem dengan memakai Fault Tree Analysis diperkenalkan pertama kali pada tahun 1962 oleh Bell Telephone Laboratories dalam kaitannya dengan studi tentang evaluasi keselamatan sistem peluncuran rudal antar benua. Boeing Company memperbaiki teknik yang dipakai oleh Bell Telephone Laboratories dan memperkenalkan program komputer untuk melakukan analisa dengan memanfaatkan FTA baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Davidson, John. [1988].

Fault Tree Analysis (FTA) adalah sebuah metode untuk mengidentifikasi kegagalan (failure) dari suatu sistem, baik yang disebabkan oleh kegagalan komponen atau kejadian kegagalan lainnya secara bersama-sama atau secara individu. Høyland, Arnljot and Marvin Rausan [1994].

Fault Tree Analysis (FTA) lebih menekankan pada “top-down approach” yaitu karena analisa ini berawal dari sistem top level dan meneruskannya ke bawah. Titik awal analisa ini adalah pengidentifikasian mode kegagalan pada top level suatu sistem. Connor. [1993].

Sebuah fault tree mengilustrasikan keadaan komponen-komponen sistem (basic event) dan hubungan antara basic event dan top event. Sistem kemudian dianalisa untuk menemukan semua kemungkinan kegagalan yang didefinisikan pada top event. Setelah mengidentifikasi top events, event-event yang memberikan kontribusi secara langsung terjadinya top event dengan memakai hubungan logika dengan menggunakan gerbang AND (AND-gate) dan gerbang

OR (OR-gate) sampai dicapai event besar. Pengkontruksian fault tree dimulai dari top event. Sistem dianalisa untuk menentukan semua kemungkinan yang menyebabkan suatu sistem mengalami kegagalan seperti yang didefinisikan pada top event. Oleh karena itu, berbagai fault event yang secara langsung menjadi penyebab terjadinya top event harus secara teliti diidentifikasi. Høyland, Arnljot and Marvin Rausan [1994].

<u>Nama Simbol</u>	<u>Simbol</u>	<u>Deskripsi</u>
OR – gate		<u>Kejadian output akan terjadi hanya jika salah satu input terjadi.</u>
AND – gate		<u>Kejadian output akan terjadi hanya jika beberapa input terjadi.</u>
Basic events		<u>Kegagalan sebuah basic equipment yang tidak memerlukan penelitian lebih lanjut dari penyebab kegagalan.</u>
Undeveloped events		<u>Event yang tidak dianalisa lebih jauh karena keterbatasan informasi atau alasan lain.</u>
Coment Retangale		<u>Digunakan untuk informasi tambahan</u>

Tabel 2.1 Simbol-Simbol Penyusunan Fault Tree

II.4 ANALISA KUANTITATIF

Dalam melakukan analisa keandalan suatu sistem tidak terlepas akan tersedianya data yang akan diolah. Nilai keandalan suatu komponen akan bergantung terhadap waktu. Untuk itu analisa keandalan akan berhubungan dengan distribusi probabilitas dengan waktu sebagai variable random. Variable random adalah suatu nilai atau parameter yang akan diukur di dalam pengolahan data. Agar teori probabilitas dapat diterapkan maka kejadian atau nilai-nilai tersebut haruslah random terhadap waktu. Parameter kejadian yang akan diukur yaitu misalnya laju kegagalan komponen, lama waktu untuk mereparasi, kekuatan mekanis komponen, adalah variabel yang bervariasi secara random terhadap waktu dan atau ruang. Variable random ini dapat didefinisikan secara diskrit maupun secara continue. Billinton. R. and Ronald N. Allan [1992].

II.4.1 Terminologi Reliability

Keandalan (reliability) dari suatu sistem merupakan peluang (probability) dimana sistem tidak akan gagal selama periode waktu dan kondisi pengoperasian tertentu, sementara resiko kegagalan adalah peluang dimana sistem akan gagal selama periode waktu dan kondisi pengoperasian tertentu pula.

Kegagalan (failure) adalah suatu kejadian yang tidak pasti (probabilistic event) dan dapat terjadi akibat kerusakan-kerusakan dalam sistem, wear and tear atau faktor gangguan dari dalam maupun dari luar yang tidak disangka-sangka. Hal ini dapat juga terjadi akibat kesalahan perencanaan (faulty design), pemeliharaan yang tidak cukup, kesalahan pengoperasian, bencana alam atau faktor-faktor lain.

Dengan demikian keandalan (reliability) dapat didefinisikan secara lengkap yaitu bahwa keandalan suatu komponen atau sistem merupakan peluang komponen atau sistem tersebut untuk memenuhi tugas atau fungsinya yang telah ditetapkan atau diperlukan tanpa mengalami kegagalan dalam kurun waktu tertentu bila dioperasikan secara benar dalam lingkungan tertentu, Davidson, J. ed. [1988].

Beberapa fungsi yang digunakan untuk mengevaluasi reliability suatu sistem yang dikeluarkan dari Ramakumar [1993], Billinton dan Allan [1992] sebagai berikut :

Bila T adalah random variable yang menggambarkan waktu kegagalan suatu komponen atau sistem maka peluang kesuksesan (reliability) dari komponen atau sistem terhadap waktu t adalah :

$$P(t > T) = R(t) \quad (2.1)$$

Dimana $R(t)$ adalah time-independent reliability atau peluang kesuksesan dari komponen atau sistem sebagai fungsi dari waktu. Bila t bertambah,

kesempatan terjadinya kegagalan bertambah pula atau dengan kata lain bila $t \rightarrow \infty$, maka $R(t) \rightarrow 0$.

Jika $f(t)$ adalah sebuah probability density function dari sebuah komponen atau sistem maka peluang kegagalan komponen atau sistem sebagai fungsi dari waktu kegagalan, dalam interval waktu $(0,t)$ adalah :

$$P(T(t) = Q(t) = F(t)) \quad (2.2)$$

atau

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt \quad (2.3)$$

Persamaan diatas sering pula disebut sebagai fungsi unreliability $Q(t)$, yang merupakan fungsi distribusi kegagalan dari random variable T , sehingga fungsi kerapatan kegagalan (failure density function) dari suatu komponen atau sistem adalah :

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = \frac{d}{dt}(1 - R(t))$$

$$f(t) = -R'(t) \quad (2.4)$$

Sebaliknya, fungsi reliability atau keandalan adalah peluang dimana kegagalan tidak akan terjadi sebelum waktu t . Dengan kata lain reliability didefinisikan sebagai peluang dari komponen atau sistem tidak akan mengalami kegagalan dalam interval waktu (t, ∞) dan didefinisikan sebagai berikut :

$$R(t) = 1 - F(t) = Q(t) = P(T > t)$$

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt = \int_t^{\infty} f(t)dt \quad (2.5)$$

Untuk fungsi eksponensial, probability density functionnya didefinisikan sebagai berikut :

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.6)$$

Dimana λ adalah failure rate dari komponen dalam jumlah kegagalan per jam. Sehingga fungsi reliability untuk distribusi eksponensial dari persamaan (2.5) akan berubah menjadi :

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.7)$$

II.4.2 Waktu Rata-rata Kegagalan (Mean Time To Failure / MTTF)

Expected value dari densitas kegagalan (failure density function) $f(t)$, sering ditunjukkan sebagai waktu rata-rata kegagalan (mean time to failure/ MTTF). Dalam situasi praktis MTTF cukup digunakan untuk menilai kualitas dan kegunaan suatu komponen, Ramakumar [1993]. MTTF dari suatu komponen yang memiliki failure density function $f(t)$ didefinisikan sebagai berikut :

$$MTTF = E(t) = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad (2.8)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.4) kedalam persamaan (2.8) akan diperoleh

$$MTTF = - \int_0^{\infty} t R'(t) dt \quad (2.9)$$

$$MTTF \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.10)$$

Dari fungsi reliability untuk distribusi eksponensial persamaan (2.7) disubstitusikan kedalam persamaan (2.10) akan diperoleh :

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.11)$$

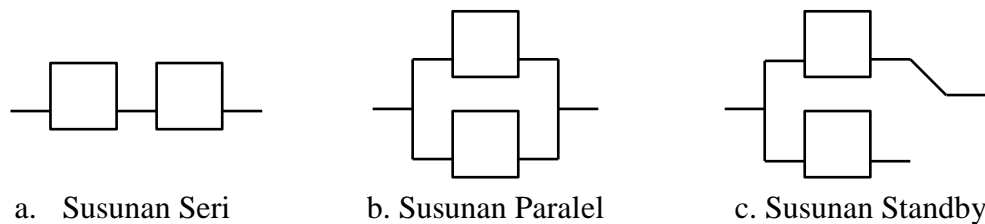
II.4.3 Reliability Block Diagram (RBD)

Dalam perancangan sistem rekayasa sebelum dilakukan perancangan secara rinci terlebih dahulu sistem yang ditinjau diungkapkan dalam skema blok diagram yang menunjukkan keterkaitan fisik antara komponen penyusun sistem tersebut. Selanjutnya disusun sebuah fungsional diagram yang menunjukkan :

1. Keterkaitan fungsi setiap komponen secara menyeluruh
2. Urutan proses yang dikehendaki terjadi dalam sistem tersebut

Berdasarkan diagram-diagram tersebut disusun sebuah diagram blok keandalan *reliability block diagram (RBD)* yang menunjukkan logika yang harus diikuti agar sistem tersebut dapat melakukan fungsinya sesuai dengan tugas. Sebuah RBD telah disusun dengan berpijak pada diagram fungsional. Davidson, J. ed [1988].

Analisis keandalan untuk sistem yang sederhana dapat dilakukan dengan menggabungkan model keandalan sistem seri, paralel aktif dan standby.



Gambar 2.2 Reliability Block Diagram

II.4.3.1 Susunan seri

Suatu sistem seri, seperti pada gambar 2.2.a secara umum terdiri dari grup komponen independen (kegagalan dari suatu komponen adalah bebas dari kegagalan komponen lain), dimana kegagalan suatu komponen menyebabkan kegagalan sistem. Jika $R_i(t)$ adalah reliability komponen ke i , hal ini dapat diperlihatkan bahwa keandalan sistem seri $R_s(t)$ merupakan produk reliability komponen.

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (2.12)$$

Bila setiap komponen dari suatu sistem distribusi secara eksponensial dengan laju kegagalan konstan maka reliability sistem menjadi :

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i t} = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t} \quad (2.13)$$

Mean time to failure (MTTF) dari sistem seri dapat dihitung dengan persamaan (2.10).

$$MTTF = \int_0^{\infty} R_s(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t} dt = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (2.14)$$

II.4.3.2 Susunan Paralel

Gambar 2.2.b. menunjukkan blok diagram keandalan suatu sistem yang memiliki dua komponen dengan susunan paralel. Dalam susunan hanya satu komponen dari sistem yang dibutuhkan agar sistem dapat beroperasi sedangkan yang lainnya adalah komponen redundan dan dalam kondisi on-line standby.

Laju kegagalan (failure rate) dari komponen-komponen diasumsikan independen dari sejumlah komponen yang masih beroperasi. Kegagalan sistem paralel terjadi semua komponen-komponen yang ada mengalami kegagalan.

$$F_p(t) = \prod_{i=1}^n F_i(t) \quad (2.15)$$

atau

$$Q_p(t) = \prod_{i=1}^n Q_i(t) \quad (2.16)$$

Sehingga persamaan reliability dari sistem dengan n komponen dalam susunan paralel adalah :

$$R_p(t) = 1 - Q_p(t) \quad (2.17)$$

$$R_p(t) = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i(t) \quad (2.18)$$

Sedangkan MTTF nya dapat dihitung dengan persamaan (2.10) yaitu :

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} [1 - \prod_{i=1}^n Q_i(t)] dt \quad (2.19)$$

II.4.3.3 Susunan Standby

Untuk sistem dengan konfigurasi stand by, laju kegagalan komponen

konstan maka fungsi reliability sistem dapat dievaluasi dengan menggunakan distribusi eksponensial yang mempunyai bentuk umum sebagai berikut :

$$R_{SB}(t) = e^{-\lambda_1 t} + \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} (e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda_1 t}) \quad (2.20)$$

Sehingga MTTF dapat dihitung sesuai dengan persamaan (2.10)

II.4.4 PEMODELAN MARKOV

Proses stokastik secara praktis berasal dari beberapa pengukuran dan kejadian-kejadian secara fisik. Seperti proses-proses yang berkenaan dengan pengamatan yang tidak dapat diprediksi lebih dahulu secara pasti, namun peluang dari state-state yang mungkin berbeda pada waktu tertentu dapat ditentukan. Berarti suatu proses stokastik merupakan famili dari variabel-variabel random yang diamati pada waktu t yang berbeda (ditunjukkan dengan parameter t) dan ditetapkan pada suatu space peluang tertentu.

Suatu state merupakan sebuah nilai yang diasumsikan dengan suatu variabel random dan state space dari proses stokastik merupakan sekumpulan nilai-nilai yang dapat mengasumsikan variabel random.

Dalam bidang keandalan, kita menaruh perhatian pada pengevaluasian sistem secara fisik yang berkenaan dengan waktu, tanpa kecuali state space dari proses stokastik.

Pada tahun 1907 ahli matematik Rusia A.A. Markov (1856-1922) memperkenalkan suatu tipe khusus dari proses stokastik yang mempunyai perilaku (behavior) peluang yang akan datang (future probabilistic) yang ditentukan secara unit oleh statenya yang sekarang. Hal ini jelas bahwa tipe perilaku ini bukan turunan (non hereditary) atau memoryless, sehingga dengan adanya masukan dari Markov ini maka permasalahan-permasalahan dapat disederhanakan.

Suatu proses stokastik Markov yang mempunyai state space dan time space yang diskrit disebut dengan Markov Chain. Sedangkan apabila mempunyai time space yang kontinu disebut Markov Proses.

Mengingat Markov proses memainkan peranan penting dalam pengevaluasian keandalan sistem-sistem rekayasa maka dalam penelitian ini akan dibahas dengan menggunakan Markov proses (Continuous Markov Process).

II.4.4.1 Proses Markov Kontinu (Continuous Markov Proses)

Masalah keandalan yang berkenaan dengan sistem secara normal meupakan space yang memiliki sifat diskrit yaitu dapat berada pada salah satu keadaan diskrit dengan state-state yang dapat diidentifikasi dan dalam waktu kontinu yaitu sifat tersebut secara kontinu berada pada salah satu state sistem sampai terjadi sebuah transisi yang membawa sistem tersebut secara diskrit ke state yang lain. Selanjutnya secara kontinu sistem tinggal sampai terjadi transisi yang lain. Dengan kata lain bahwa masalah keandalan yang berkenaan dengan sistem adalah space yang memiliki sifat diskrit dan dalam waktu yang kontinu.

Dalam teknik pengevaluasian ini, akan menyinggung sistem yang dapat diekspresikan secara stasionary Markov proses yaitu probabilitas kegagalan kondisional atau reparasi selama interval waktu tertentu adalah konstan. Hal ini menyatakan secara tidak langsung bahwa karakteristik kegagalan dan reparasi dari komponen berkaitan dengan distribusi eksponensial.

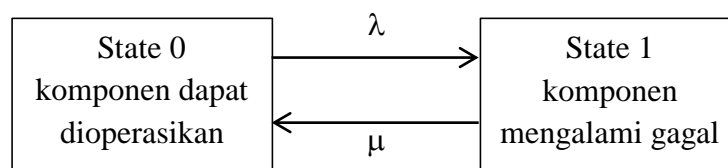
Apabila kondisi yang disyaratkan diatas terpenuhi maka pendekatan Markov dapat diaplikasikan untuk berbagai permasalahan keandalan, termasuk sistem-sistem yang non-repairable atau repairable dihubungkan secara seri, paralel serta stand by.

II.4.4.2 Konsep Umum Pemodelan Markov

1. Konsep Laju Perpindahan (Transition Rate Concepts)

Untuk memberi penjelasan tentang konsep laju perpindahan, disini diberikan sebuah contoh awal pemodelan yang mempertimbangkan sebuah contoh tunggal yang mampu reparasi (repairable) dimana failure rate dan repair rate nya adalah konstan, dimana kedua-duanya dikarakteristikkan dengan distribusi eksponensial.

Adapun diagram state space untuk komponen ini diperlihatkan dalam gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2.3 Diagram State Space Komponen Tunggal

Untuk dapat menjelaskan diagram state space pada gambar 2.3 juga diperlukan definisi-definisi seperti dibawah ini :

$P_0(t)$ = Probabilitas komponen dapat beroperasi pada saat t

$P_1(t)$ = Probabilitas komponen tidak dapat beroperasi pada saat t

λ = Laju Kegagalan (failure rate)

μ = Laju Perbaikan (repair rate)

Fungsi kerapatan kegagalan (failure density function) untuk sebuah komponen dengan laju kegagalan (λ) yang konstan, dapat dituliskan sebagai :

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.21)$$

Dan fungsi kerapatan kegagalan (density function) yang mewakili keadaan sistem pada saat beroperasi dan pada saat dalam keadaan gagal diperlihatkan dalam diagram state space pada gambar 2.3 serta dengan memanfaatkan persamaan (2.21). Makamasing-masing dapat dituliskan sebagai :

$$f_0(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.22)$$

$$f_1(t) = \mu e^{-\mu t} \quad (2.23)$$

Parameter λ dan μ menunjukkan laju peralihan (transition rate) yang mewakili laju peralihan sistem dari satu state ke state yang lainnya.

2. Pengevaluasian Probabilitas Yang Tergantung Waktu

Diagram state space untuk komponen tunggal sederhana diperlihatkan pada gambar 2.3 pada *diskrit Markov Chain*, perpindahan dari satu keadaan ke keadaan yang lain ditunjukkan oleh *probabilitas transitional*. Sedangkan untuk kasus *Continuous Markov Process*, perpindahan dari satu keadaan ke keadaan yang lain ditunjukkan oleh laju perpindahan (*transitional rate*) yaitu dengan parameter λ dan μ yang masing-masing mewakili laju peralihan dari keadaan beroperasi dan peralihan keadaan gagal.

$$\text{Laju peralihan} = \frac{\text{Jumlah berapa kali transisi terjadi dari suatu state tertentu}}{\text{waktu yang dipakai pada state tersebut}}$$

Mengenai penambahan interval waktu dt yang sangat kecil, sehingga peluang dari dua atau lebih event kejadian selama penambahan waktu ini dapat diabaikan atau dengan kata lain tidak memungkinkan terjadinya lebih dari satu kegagalan pada interval waktu dt yang digunakan untuk perpindahan dari satu state ke state yang lainnya. Probabilitas bahwa komponen tetap berada dalam keadaan beroperasi (state 0) pada saat $(t + dt)$ dapat dinyatakan sebagai berikut :

[Probabilitas untuk tetap beroperasi pada saat t dan tidak mengalami kegagalan pada saat dt] + [Probabilitas untuk mengalami kegagalan pada saat t dan akan dapat direparasi pada saat t].

Uraian diatas dapat dituliskan secara matematis sebagai berikut :

$$P_0(t + dt) = P_0(t) (1 - \lambda dt) + P_1(t) (\mu dt) \quad (2.24)$$

atau

$$\frac{P_0(t+dt)-P_0(t)}{dt} = -\lambda P_0(t)+P_1(t)\mu \quad (2.25)$$

Sehingga untuk $dt \rightarrow 0$, maka :

$$\lim_{dt \rightarrow 0} \frac{P_0(t+dt)-P_0(t)}{dt} = \frac{dP_0(t)}{dt} = P_0'(t) \quad (2.26)$$

Berarti persamaan (2.24) akan berubah menjadi :

$$P_0'(t) = -\lambda P_0(t) + P_1(t)\mu \quad (2.27)$$

Dengan pendekatan yang sama, probabilitas bahwa komponen tersebut tetap berada dalam keadaan gagal (state 1) pada saat $(t + dt)$ dapat dinyatakan sebagai :

$$P_1(t + dt) = P_1(t) (1-\mu dt) + P_0(t) (\lambda dt) \quad (2.28)$$

Untuk $dt \rightarrow 0$, maka persamaan (2.28) dapat dituliskan sebagai :

$$P_1'(t) = P_1(t) - \mu P_1(t) \quad (2.29)$$

Sehingga persamaan (2.27) dan (2.29) dapat diekspresikan dalam sebuah bentuk persamaan matrik seperti dibawah ini :

$$[P_0'(t) \quad P_1'(t)] = [P_0(t) \quad P_1(t)] \begin{bmatrix} -\lambda & \lambda \\ \mu & -\mu \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

Matrik koefisien pada persamaan (2.30) diatas bukan merupakan matrik STP (Stochastic Transition Probability) karena penjumlahan semua koefisien pada satu baris menghasilkan 0 (nol), sedangkan pada matrik STP akan menghasilkan nilai 1 (satu) atau unity.

Persamaan (2.27) dan (2.29) merupakan persamaan differensial linear dengan koefisien-koefisien konstan. Dengan mudah kedua persamaan diatas dapat diselesaikandengan menggunakan transformasi Laplace. Transformasi Laplace secara umum didefinisikan sebagai :

$$F(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} f(t)dt \quad (2.31)$$

Sehingga bila persamaan (2.27) ditransformasikan secara Laplace akan menghasilkan persamaan sebagai berikut :

$$sP_0(s) - P_0(0) = -\lambda P_0(s) + P_1(s)\mu \quad (2.32)$$

Dimana : $P_1(s) = \text{Transpormasi Laplace dari } P_1(t)$

$$P_0(s) = \text{Nilai awal dari } P_0(t)$$

Dengan menyusun kembali persamaan (2.32) kita akan peroleh persamaan sebagai berikut :

$$P_0(s) = \frac{\mu}{s+\lambda} P_1(s) + \frac{1}{s+\lambda} P_0(0) \quad (2.33)$$

Dengan cara yang serupa untuk persamaan (2.29), ditransformasikan Laplace dari persamaan ini dapat disederhanakan menjadi :

$$P_1(s) = \frac{\lambda}{s+\lambda} P_0(s) + \frac{1}{s+\lambda} P_1(0) \quad (2.34)$$

Dimana : $P_1(0) = \text{Nilai awal } P_1(t)$

Persamaan (2.33) dan (2.34) dapat diselesaikan untuk mendapatkan $P_0(s)$ dan $P_1(s)$ sebagai persamaan linear simultan dengan menggunakan metode

substitusi atau menggunakan teknik-teknik penyelesaian matrik maka kita akan peroleh :

$$P_0(s) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \left[\frac{P_0(0) + P_1(0)}{s} \right] + \frac{1}{\lambda + \mu} \frac{1}{s + \lambda + \mu} [\lambda P_0(0) - \mu P_1(0)] \quad (2.35)$$

$$P_1(s) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \left[\frac{P_0(0) + P_1(0)}{s} \right] + \frac{1}{\lambda + \mu} \frac{1}{s + \lambda + \mu} [\mu P_1(0) - \lambda P_0(0)] \quad (2.36)$$

Persamaan (2.35) dan (2.36) sekarang harus ditransformasikan kembali ke fungsi waktu (time domain) dengan menggunakan Invers transformasi Laplace, masing-masing ditunjukkan oleh persamaan :

$$P_0(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} [P_0(0) + P_1(0)] + \frac{e^{-(\lambda + \mu)t}}{\lambda + \mu} [\lambda P_0(0) - \mu P_1(0)] \quad (2.37)$$

$$P_1(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} [P_0(0) + P_1(0)] + \frac{e^{-(\lambda + \mu)t}}{\lambda + \mu} [\mu P_1(0) - \lambda P_0(0)] \quad (2.38)$$

Untuk semua kondisi akan berlaku $P_0(0) + P_1(0) = 1$, oleh karena itu persamaan (2.37) dan (2.38) akan berubah menjadi :

$$P_0(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{e^{-(\lambda + \mu)t}}{\lambda + \mu} [\lambda P_0(0) - \mu P_1(0)] \quad (2.39)$$

$$P_1(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} + \frac{e^{-(\lambda + \mu)t}}{\lambda + \mu} [\mu P_1(0) - \lambda P_0(0)] \quad (2.40)$$

Secara praktis, pada umumnya sistem berawal dari state 0 yaitu sistem berada pada keadaan atau kondisi yang dapat beroperasi pada saat $t = 0$. Dimana pada kasus ini $P_0(0) = 1$ dan $P_1(0) = 0$ sehingga persamaan (2.39) dan (2.40) dapat di tuliskan menjadi :

$$P_0(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda e^{-(\lambda + \mu)t}}{\lambda + \mu} \quad (2.41)$$

$$P_1(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} - \frac{\lambda e^{-(\lambda + \mu)t}}{\lambda + \mu} \quad (2.42)$$

Persamaan (2.41) dan (2.42) masing-masing menyatakan probabilitas dari sistem untuk berada pada keadaan beroperasi dan gagal sebagai fungsi dari waktu dimana sistem mulai beroperasi pada saat $t = 0$ pada saat sistem dalam keadaan beroperasi.

3. Pengevaluasian Probabilitas Untuk Kondisi Mantap

Dalam kasus komponen tunggal yang dapat beroperasi (single repairable component) yang diperlihatkan pada gambar 2.2, peluang untuk keadaan atau kondisi mantap (limiting state probability) dapat dievaluasi dari persamaan (2.41) dan (2.42) dengan mengambil nilai $t \rightarrow \infty$. Jika nilai dari probabilitas kondisi batas didefinisikan sebagai P_0 dan P_1 untuk state beroperasi dan state gagal maka selanjutnya dari persamaan (2.41) dan (2.42) untuk $t \rightarrow \infty$ dapat ditulis menjadi :

$$P_0 = P_0(\infty) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (2.43)$$

$$P_1 = P_1(\infty) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \quad (2.44)$$

Ekspresi probabilitas untuk keadaan atau kondisi mantap dapat diterapkan tanpa memandang apakah sistem berawal dari keadaan beroperasi atau dari keadaan gagal. Dengan mensubstitusikan $MTTF = \frac{1}{\lambda}$ dan $MTTR = \frac{1}{\mu}$ kedalam persamaan (2.43) dan (2.44) maka diperoleh :

$$P_0 = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (2.45)$$

$$P_1 = \frac{MTTR}{MTTF + MTTR} \quad (2.46)$$

Nilai-nilai P_0 dan P_1 secara umum masing-masing dirujuk sebagai ketersediaan pada keadaan mantap (Steady state atau limiting availability) (A) dan Unavailability (U) dari sistem. Availability (A) dari sistem diberikan dari persamaan (2.41) yaitu :

$$A(t) = P_0(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (2.47)$$

Probabilitas kondisi batas (limiting state probabilities) dapat dievaluasi secara langsung dari persamaan differensial yang ditunjukkan pada persamaan (2.27) dan (2.29). Pendekatan yang digunakan adalah dengan mengevaluasi probabilitas keadaan untuk $t \rightarrow \infty$. Untuk kondisi seperti ini, $P_0'(t)$ dan $P_1'(t)$ keduanya cenderung bernilai nol dan kedua persamaan tersebut masing-masing dapat direduksi menjadi :

$$-\lambda P_0 + \mu P_1 = 0 \quad (2.48)$$

$$\lambda P_0 - \mu P_1 = 0 \quad (2.49)$$

Kedua persamaan ini merupakan persamaan yang identik, sehingga diperlukan persamaan lain agar nilai P_0 dan P_1 dapat diselesaikan. Persamaan tersebut adalah : $P_0 + P_1 = 1$

Dengan menggunakan persamaan ini akan diperoleh :

$$P_0 = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (2.50)$$

$$P_1 = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \quad (2.51)$$

II.4.4.3 State Space Diagram Untuk Sistem Yang Lebih Kompleks

Pengkonstruksian state space diagram merupakan salah satu bagian terpenting dari seluruh rangkaian penyelesaian masalah dengan menggunakan metode Markov Proses. Pengkonstruksian diagram ini perwujudan dari pengetahuan seorang analis terhadap pengoperasian sistem dalam bentuk pemodelan matematis yang nantinya akan diselesaikan dengan menggunakan teknik Markov.

Untuk suatu sistem yang lebih kompleks langkah pengevaluasiannya sam seperti yang telah dibahas diatas, namun untuk persoalan sistem yang lebih

kompleks penyelesaiannya akan menjadi lebih rumit baik dalam hal pemodelan state space diagram, pemodelan secara matematisnya pun menjadi lebih kompleks, sehingga dalam penyelesaian masalah diatas diperlukan suatu pemrograman dengan menggunakan software Matlab.