TUGAS AKHIR – MN 184802

STUDI IMPLEMENTASI *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* (RCM) UNTUK PROSES PERAWATAN DAN PERBAIKAN KAPAL TUNDA

Mohammad Alif Naufal
NRP 04111640000044

Dosen Pembimbing
Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

TUGAS AKHIR – MN 184802

STUDI IMPLEMENTASI *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* (RCM) UNTUK PROSES PERAWATAN DAN PERBAIKAN KAPAL TUNDA

Mohammad Alif Naufal
NRP 04111640000044

Dosen Pembimbing
Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

FINAL PROJECT – MN 184802

A STUDY ON RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) IMPLEMENTATION FOR TUGBOAT MAINTENANCE AND REPAIR PROCESS

Mohammad Alif Naufal
NRP 04111640000044

Supervisor
Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi, M.Sc.

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2020

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI IMPLEMENTASI *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* (RCM) UNTUK PROSES PERAWATAN DAN PERBAIKAN KAPAL TUNDA

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MOHAMMAD ALIF NAUFAL
NRP 04111640000044

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing

Ir. Triwilaswandio W.P., M.Sc.
NIP 19610914 198701 1 001

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan

Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 3 AGUSTUS 2020

LEMBAR REVISI

STUDI IMPLEMENTASI *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* (RCM) UNTUK PROSES PERAWATAN DAN PERBAIKAN KAPAL TUNDA

TUGAS AKHIR
Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 20 Juli 2020

Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MOHAMMAD ALIF NAUFAL
NRP 04111640000044

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Totok Yulianto, S.T., M.T. ……..……..
2. Dr. Ir. Heri Supomo, M.Sc. ……..……..
3. Sri Rejeki Wahyu Pribadi, S.T., M.T. ……..……..
4. Mohammad Sholikhan Arif, S.T., M.T. ……..……..
5. Sufian Imam Wahidi, S.T., M.Sc. ……..……..……..

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi, M.Sc. ……..……..……..

SURABAYA, 3 AGUSTUS 2020

HALAMAN PERUNTUKAN

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini dan selaku Kepala Laboratorium Desain Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas ijin pemakaian fasilitas laboratorium;
2. Bapak Dr. Ir. Heri Supomo, M.Sc. selaku Dosen wali yang telah memberikan bimbingan, prinsip keilmuan, motivasi yang telah diberikan selama dibangku kuliah;
3. Bapak Sufian Imam Wahidi, S.T., M.Sc. yang selalu memberikan masukan dan dukungan selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
4. Seluruh Bapak Ibu Dosen RMK Teknologi dan Manajemen Produksi Perkapalan, Ibu Sri Rejeki Wahyu Pribadi, S.T.,M.T. dan, Bapak M.Sholikan Arif S.T.,M.T., Bapak Imam Baihaqi, S.T.,M.T. terimakasih atas bimbigan, ilmu, dan motivasi yang telah diberikan selama dibangku kuliah;
5. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Perkapalan;
6. Pak Pardi, Pak Deni, dan Mas Joko yang selalu memberi dukungan;
7. Bapak H. M. Ilyas dan Ibu Nita Andri Prabaningrum orang tua yang selalu memberi doa dan motivasi tanpa henti;
8. Teman-teman RMK Teknologi dan Manajamen Produksi Perkapalan dan juga sahabat-sahabat terbaik Ega, Afuza, Naufal, Vialdo, Dion, Diego, Zhafir, Refo, Nais, Putri, Prisheila, Swasti, Timo, Deniar,Bisma, Tio, dan Farhan;
9. Teman-teman Serigala Kapal yang selalu memberikan semangat dan dukungan;
10. Teman-teman P56 IRONCLAD yang memberikan semangat dan bantuan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini;
11. Pak Lilik yang memberikan banyak bantuan, pengetahuan dan wawasan serta dukungan moral yang sangat berarti.
12. Semua pihak yang membantu dalam yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 30 Juni 2020

Mohammad Alif Naufal

STUDI IMPLEMENTASI *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* (RCM) UNTUK PROSES PERAWATAN DAN PERBAIKAN KAPAL TUNDA

Nama Mahasiswa	:	Mohammad Alif Naufal
NRP	:	04111640000044
Departemen / Fakultas	:	Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing	:	Ir. Triwilaswandio W.P., MSc.

ABSTRAK

Konektivitas antar pulau di Indonesia salah satunya ditunjang dengan ketersediaan pelabuhan. Mengingat begitu pentingnya peran kapal tunda (*tugboat*) pada pelabuhan dan proses transhipment, maka yang harus diusahakan adalah memastikan kapal tunda (*tugboat*) tersebut tetap beroperasi dengan baik selama *lifetime*-nya. Tindakan yang biasa dilakukan oleh pemilik untuk memastikan asetnya (kapal tunda) dapat beroperasi dengan baik selama *lifetime*-nya adalah dilakukan tindakan *maintenance* dan repair. Ide dasar dari teknik perawatan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sistem perawatan yang diterapkan saat ini pada komponenya yang berpengaruh pada *reliability* kapal tunda (*tugboat*) untuk merencanakan tindakan dan *interval* perawatan yang tepat untuk kapal tunda (*tugboat*). Dari hasil studi literatur, data yang sudah didapatkan terkait dengan data kerusakan kapal tunda dan sistem perawatan yang ada dianalisis sesuai dengan metode *Reliability Centered Maintenance* yang telah dipelajari. Terakhir, dari data yang sudah diolah akan dilakukan analisis mengenai keandalan komponen vital pada kapal tunda sebagai penentuan terhadap periode perbaikan sesuai dengan metode RCM. Sistem perawatan kapal tunda saat ini Komponen vital yang ditentukan adalah mesin induk, mesin bantu, poros, SRP, *winch*, *windlass*, *anchor*, *chain*, *cable* and *rope*, *fender*, *shell* dan *deck plate*, pompa PMK. Mesin induk, mesin bantu dan SRP memiliki RPN tertinggi. Sehingga dengan itu *task selection* yang dipilih adalah kombinasi kegiatan *on condition*, *hard time*, dan *failure finding*, dengan *interval* pemeriksaan yang optimal untuk mesin induk 15 hari, mesin bantu 66 hari, dan SRP 66 hari

Kata kunci: *RCM*, *Maintenance*, Kapal tunda

A STUDY ON RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) IMPLEMENTATION FOR TUGBOAT MAINTENANCE AND REPAIR PROCESS

Author : Mohammad Alif Naufal
Student Number : 04111640000044
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisor : Ir. Triwilaswandio W.P., MSc.

ABSTRACT

One of the inter-island connectivity in Indonesia is supported by the availability of ports. Considering how important the tugboat is in the port and the transhipment process, what must be done is to ensure that the tugboat continues to operate properly during its lifetime. The usual action taken by the owner to ensure that his assets (tugboat) can operate properly during its lifetime is to take maintenance and repair. This study aims to analyze the maintenance system currently applied to its components that affect the reliability of tugboats to plan appropriate actions and maintenance intervals for tugboats. From the results of the literature study, the data that has been obtained related to data on damage to tugboats and the existing maintenance system are analyzed according to the reliability centered maintenance method that has been studied. Finally, from the data that has been processed will be analyzed about the reliability of vital components on the tug ship as a determination of the repair period in accordance with the RCM method. Currently tugboat maintenance system vital components that are determined are the main engine, auxiliary engine, shaft, SRP, winch, windlass, anchor, chain, cable and rope, fender, shell and deck plate, FIFI pump. Where the main engine, auxiliary engine and SRP has the highest RPN. So that the selected task selection is a combination of on condition activities, hard time, and failure finding, with optimal inspection intervals for 15-day for Main Engine, 66-day for auxiliary engine, and 66-day for SRP.

Keyword: RCM, Maintenance, Tugboat

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN v
LEMBAR REVISI vii
HALAMAN PERUNTUKAN ix
KATA PENGANTAR xi
ABSTRAK xiii
ABSTRACT xv
DAFTAR ISI xvii
DAFTAR GAMBAR xxiii
DAFTAR TABEL xxv
DAFTAR SIMBOL xxvii
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang Masalah 1
1.2. Perumusan Masalah 2
1.3. Tujuan 2
1.4. Batasan Masalah 2
1.5. Manfaat 2
1.6. Hipotesis 3
BAB 2 STUDI LITERATUR DAN TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1. *Tugboat* 5
2.2. *Maintenance* 6
2.3. Jenis Jenis Tindakan Perawatan 7
2.3.1. *Preventive Maintenance* 8
2.3.2. *Predictive Maintenance* 8
2.3.3. *Corrective Maintenance* 8
2.3.4. Breakdown *Maintenance* 8
2.4. Konsep Dasar Keandalan 8
2.5. Karakteristik kegagalan 9
2.5.1. *Fase Burn-in/Decreasing Failure rate* 10
2.5.2. Fase Useful / *Constant failure rate* 10
2.5.3. Fase *Wear* Out / *Increasing Failure rate* 10
2.6. RCM (*Reliability Centered Maintenance*) 11
2.6.1. Tujuan Metode RCM (*Reliability Centered Maintenance*) 11
2.6.2. Prinsip-Prinsip RCM (*Reliability Centered Maintenance*) 12
2.7. Proses RCM (*Reliability Centered Maintenance)* 12
2.7.1. Identifikasi Fungsi 12
2.7.2. Analisa Kegagalan Fungsional 13
2.7.3. Seleksi Kegiatan 20
2.8. Model Distribusi Probabilitas Keandalan 27
2.8.1. Distribusi Eksponensial 27
2.8.2. Distribusi Weibull 28
2.8.3. Distrbusi Log-normal 29
2.8.4. Distribusi Normal 29
2.9. Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu 29
BAB 3 METODOLOGI 31

3.1. Bagan Alir 31
3.2. Tahapan Pendahuluan Penelitian 32
3.2.1. Identifikasi dan Perumusan Masalah 32
3.2.2. Tujuan Penelitian 33
3.2.3. Studi Lapangan 33
3.2.4. Studi Pustaka 33
3.3. Tahapan Pengumpulan Data 33
3.3.1. Data Primer 33
3.3.2. Data Sekunder 33
3.4. Tahapan Pengolahan Data dengan RCM (*Reliability Centered Maintenance)* 34
3.4.1. Penyusunan *Functional Block Diagram* 34
3.4.2. Identifikasi Fungsi dan Kegagalan 34
3.4.3. Identifikasi MSI (*Maintenance significant item*) 34
3.4.4. Analisis FMEA dan Penilaian RPN (*Risk Priority Number*) 34
3.4.5. Analisis FTA (*Fault Tree Analysis*) 35
3.4.6. Analisis LTA (*Logic Tree Analysis*) 35
3.4.7. Analisis DTA (*Decision tree analysis*) 35
3.4.8. Penetuan Distribusi 35
3.4.9. Penentuan Nilai MTTF (*Mean Time to Failure*) dan MTTR (*Mean Time to Repair*) 35
3.4.10. Penentuan *Reliability* 35
3.4.11. Pemilihan Kegiatan dan Waktu *Maintenance* 36
3.5. Tahapan Analisis Data 36
3.6. Tahapan Kesimpulan dan Saran 36
BAB 4 PENGUMPULAN DATA DAN PENGOLAHAN DENGAN METODE RCM 37
4.1. Pengumpulan Data 37
4.2. Pengolahan Data dengan RCM (*Reliability Centered Maintenance*) 38
4.2.1. Penyusuan *Functional Block Diagram* 39
4.2.2. Identifkasi Fungsi dan Kegagalan 40
4.2.3. Identifikasi *Maintenance significant item* (MSI) 42
4.2.4. Identifikasi FMEA (*Failure mode and Effect Analysis*) dan Penilaian RPN 46
4.2.5. Identifikasi FTA (*Fault Tree Analysis*) 46
4.2.6. Identifikasi LTA (*Logic Tree Analysis*) 47
4.2.7. Penentuan TTF 47
4.2.8. *Fitting Time to failure* (TTF) dan *Time to repair* (TTR) 49
4.2.9. Penghitungan MTTF dan MTTR 52
4.2.10. Penghitungan *Reliability* 54
4.2.11. Penentuan *Task selection* 55
4.2.12. Penentuan *Task interval* 55
4.2.13. Keandalan Sistem 56
BAB 5 ANALISA DAN PEMBAHASAN 59
5.1. Analisa Kualitatif Kapal Tunda X 59
5.1.1. Pemilihan Komponen MSI (*Maintenance Signficant Item)* 59
5.1.2. Analisis FMEA (*Failure mode and Effect Analysis*) 65
5.1.3. LTA (*Logic Tree Analysis*) 72
5.2. Analisa Kuantitatif 73
5.2.1. Analisa Keandalan KT. B 73
5.3. Pembahasan Hasil Analisa Kualitatif 76
5.4. Penetuan *Task selection* dan *Task interval* 78

5.5. Rekomendasi Kegiatan Perawatan 79
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN 81
6.1. Kesimpulan 81
6.2. Saran 82
DAFTAR PUSTAKA 83
LAMPIRAN
LAMPIRAN 1 Deskripsi Fungsi dan Kegagalan
LAMPIRAN 2 *Task Selection*
LAMPIRAN 3 Hasil Kurva *Reliability*
LAMPIRAN 4 FTA (*Fault Tree Analysis*)
LAMPIRAN 5 Kuisioner *Time To Repair*
LAMPIRAN 6 Kuisioner LTA (*Logic Tree Analysis*)
LAMPIRAN 7 Kuisioner MSI (*Maintenance Significant Item*)
LAMPIRAN 8 *Item* Pemeriksaan Survei *Class*
BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Klasifikasi Perawatan (Corder, 1996) 8
Gambar 2.2 Kurva *Bath-Tub* 10
Gambar 2.3 Analisa Pohon Keputusan 22
Gambar 2.4 Penggunaan Model Rumus Distribusi 27
Gambar 3.1 Bagan Alir Pengerjaan Tugas Akhir 32
Gambar 4.1 *Functional Block Diagram* antara Sistem, *Functional Group,* dan sub sistem 39
Gambar 4.2 Nilai Investasi Aset Kapal Tunda 43
Gambar 4.3 *Item* Inspeksi pada Kapal Tunda 44
Gambar 4.4 *Item Reliability* Kapal Tunda 45
Gambar 4.5 Diagram *Fault Tree Analysis* 46
Gambar 4.6 Ilustrasi Perawatan Sesuai *Running Hours* 49
Gambar 4.7 Kurva *Reliability* Mesin Induk KT. B 54
Gambar 4.8 *Reliaility Block Diagram Tugboat* 57
Gambar 5.1 Diagram batang kerusakan pada kapal tunda A 59
Gambar 5.2 Diagram batang kerusakan pada kapal tunda B 60
Gambar 5.3 Diagram batang kerusakan pada kapal tunda C 60
Gambar 5.4 Diagram batang kerusakan pada kapal tunda D 61
Gambar 5.5 *Failure mode* Kapal Tunda 72
Gambar 5.6 Kurva Penurunan Kecepatan dan Hambatan pada kapal 75

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kategori Kekritisan 13
Tabel 2.2 Skala Peringkat Keparahan 16
Tabel 2.3 Skala Peringkat Kejadian 17
Tabel 2.4 Skala Peringkat Deteksi 17
Tabel 2.5 Simbol Kejadian 18
Tabel 2.6 Simbol Gerbang 19
Tabel 4.1 Tabel *Tracking* Perawatan dan Perbaikan 37
Tabel 4.2 Kode Warna Sesuai Kelengkapan Dokumen 38
Tabel 4.3 Data Kapal Tunda 38
Tabel 4.4 Identifikasi Fungsi dan Kegagalan *Functional Group* 40
Tabel 4.5 Identifikasi Fungsi dan kegagalan Sistem 40
Tabel 4.6 Identifikasi Fungsi dan kegagalan Sub-Sistem 41
Tabel 4.7 Identifikasi Fungsi dan kegagalan Komponen 41
Tabel 4.8 Contoh TTF (*Time to failure*) pada mesin induk KT. B 47
Tabel 4.9 Data TTF dan TTR 50
Tabel 4.10 Tabel *Goodness of Fit* 50
Tabel 4.11 Tabel Parameter Distribusi 51
Tabel 4.12 Karakteristik Distribusi 51
Tabel 4.13 Rekap Hasil Distribution Plot 51
Tabel 5.1 Biaya kerusakan rata-rata masing masing komponen 62
Tabel 5.2 Nilai Aset Kapal Tunda 63
Tabel 5.3 *Item* Pemeriksaan *Class* pada Kapal Tunda 63
Tabel 5.4 Komponen Operasional Kapal Tunda 64
Tabel 5.5 FMEA Komponen pada Kapal Tunda (*Tugboat)* 66
Tabel 5.6 Table penjelas diagram LTA 73
Tabel 5.7 Rekap Keandalan dengan *Corrective Maintennce* 73
Tabel 5.8 Penghitungan Keandalan dengan Variasi Waktu Perawatan 74
Tabel 5.9 Waktu *Interval* Perawatan dan Pemeriksaan 79

DAFTAR SIMBOL

t_i = *Interval* Waktu Pemeriksaan
λ = Laju Kegagalan
k = Rata-rata Kerusakan
i = Waktu Rata-rata Pemeriksaan
n = Frekuensi Pemeriksaan Optimal
F(t) = Fungsi Kegagalan
h(t) = Fungsi Laju Kegagalan
R(t) = Fungsi Keandalan
t_0 = Waktu Rata-rata
s = Variansi
μ = mean
σ = Standard Deviasi
α = Parameter Skala
β = Parameter Kemiringan
γ = Parameter Lokasi
D = Volume Displacement
V = Kecepatan Kapal
C_{mv} = Koefisien Kecepatan Angin
B = Lebar Kapal
K = Faktor Kondisi Perairan

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Konektivitas antar pulau di Indonesia salah satunya ditunjang dengan ketersediaan pelabuhan. Menurut Undang-Undang Republik Indonesia No 17 tahun 2008 tentang Pelayaran, pelabuhan adalah tempat yang terdiri atas daratan dan/atau perairan dengan batas-batas tertentu sebagai tempat kegiatan pemerintahan dan kegiatan pengusahaan yang dipergunakan sebagai tempat kapal bersandar, naik turun penumpang dan/atau bongkar muat barang, berupa terminal dan tempat berlabuh kapal yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan dan keamanan pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan serta sebagai tempat perpindahan intra dan antarmoda transportasi. Kapal tunda begitu juga volume produksi batubara yang terus meningkat tiap tahunnya memerlukan peningkatan sarana transportasi dan infrastruktur. Sementara itu, menurut Tim Pelaksana Insentif Peningkatan Kemampuan Peneliti dan Perekayasa Kementerian Perhubungan (2012), kondisi geografis pulau Kalimantan dengan tambang batubara yang terletak dekat dengan sungai berjalan dengan proses *transhipment* memungkinkan pengembangan sarana transportasi air tanpa pengembangan infrastruktur yang intensif dan berbiaya mahal.

Mengingat begitu pentingnya peran kapal tunda *(tugboat*) pada pelabuhan dan proses *transhipment*, maka yang harus diusahakan adalah memastikan kapal tunda *(tugboat*) tersebut tetap beroperasi dengan baik selama *lifetime*-nya. Tindakan yang biasa dilakukan oleh pemilik untuk memastikan asetnya (kapal tunda) dapat beroperasi dengan baik selama *lifetime*-nya adalah dilakukan tindakan *maintenance* dan *repair*.

Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan suatu teknik perawatan yang menggunakan informasi keandalan untuk mendapatkan suatu perencanaan perawatan yang optimal (Smith,1992), (Moubray,1997). Ide dasar dari teknik perawatan ini adalah memelihara fungsi dan menemukan mode-mode kegagalan sistem. Strategi *maintenance* yang optimal akan memberikan jenis perawatan yang optimal bagi suatu komponen, sehingga aktivitas perawatan akan dilakukan sesuai dengan kebutuhan.

Oleh karena itu, pada penelitian ini penulis mencoba untuk menerapkan metode RCM (*Reliability Centered Maintenance)* yang dapat mengetahui sebuah tindakan dan rencana perawatan yang optimal untuk kapal tunda *(tugboat*).

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah diuraikan di atas, pokok permasalahan yang harus dipecahkan ialah :

1. Bagaimana sistem *maintenance* yang diterapkan saat ini untuk kapal tunda (*tugboat)*?
2. Apa saja komponen yang berpegaruh pada *reliability* kapal tunda (*tugboat)*?
3. Bagaimana tindakan dan rencana perawatan yang tepat untuk kapal tunda (*tugboat)* yang efektif dan optimal dengan menggunakan metode RCM (*Reliability Centered Maintenance)*?

1.3. Tujuan

Penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis sistem perawatan yang diterapkan saat ini pada kapal tunda (*tugboat).*
2. Mengidentifikasi komponen-komponen yang berpengaruh pada *reliability* kapal tunda (*tugboat).*
3. Merencanakan tindakan perawatan yang tepat dan *interval* perawatan untuk kapal tunda (*tugboat).*

1.4. Batasan Masalah

Pokok permasalahan akan lebih terarah jika permasalahan tersebut dibatasi dengan suatu batasan masalah. Dalam tugas akhir ini batasan masalah ialah sebagai berikut :

1. Masalah yang dibahas mengenai kegagalan dan kerusakan yang terjadi di kapal tunda (*tugboat).*
2. Data kerusakan pada kapal tunda (*tugboat)* yang diamati dan dianalisis adalah data tahun 2015-2019.
3. Kapal tunda (*tugboat*) yang dianalisis hanya satu jenis kapal tunda berdasarkan fungsi.

1.5. Manfaat

Manfaat yang ingin didapatkan dari penelitian ini adalah :

a. Bagi praktisi, penilitian dapat digunakan sebagai referensi dalam melakukan perawatan kapal tunda *(tugboat)* dan parameter untuk menilai performa kapal tunda *(tugboat).*
b. Bagi akademisi, penelitian dapat digunakan sebagai penambah wawasan dan contoh implementasi dari metode RCM pada bidang perkapalan untuk penulis, pembaca, maupun peneliti selanjutnya sehingga dapat dikembangkan.

1.6. Hipotesis

Penerapan perawatan dengan metode RCM *(Reliability Centered Maintenance*) dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis kerusakan, tingkat keparahan, dampak kerusakan dan tindakan perawatan untuk kapal tunda *(tugboat*).

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2
STUDI LITERATUR DAN TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Tugboat*

Kapal tunda yang dikategorikan sebagai kapal laut dengan tenaga yang tidak proporsional dengan ukuran dari kapal itu sendiri. Tenaga yang besar digunakan selama pengoperasian kapal untuk menarik atau mendorong struktur terapung lain. Kapal tunda modern diperuntukan untuk melaksanakan operasi besar yang bervariasi dari kebutuhan tenaga rendah, seperti *stand by* menunggu perintah pilot, sampai kebutuhan tenaga tinggi , seperti menahan momentum kapal besar dan pada titik henti atau operasi dari kapal besar. Pada kondisi darurat kapal tunda harus menggunakan kecepatan maksimum untuk mencapai lokasi kejadian dengan cepat. peningkatan kebutuhan operasional kapal tunda semakin menantang dan menuntut keandalan dan efisiensi dari kapal dan awak kapal. Kenaikan jumlah kapal dagang mengharuskan *harbour tugs* memiliki kekuatan tarik *bollard* lebih tinggi yang juga memerhatikan peningkatan kekuatan pada perlengkapan *towing*, sistem *fendering*, dan struktur kapal (terutama pada pondasi dari perlengkapan *towing* dan *push bow*). Kapal tunda (*Tugboat*) itu sendiri terbgai menajdi tiga klasifikasi yaitu:

a. *Harbour Tugs*

Kapal tunda *harbour tugs* digunakan untuk membantu kapal saat memasuki atau meninggalkan pelabuhan dan selama berlabuh dan berangkat. Sebuah kapal besar yang berlayar di perairan terbatas dihadapkan pada banyak bahaya, termasuk risiko tabrakan atau kandas yang mungkin memiliki konsekuensi terhadap lingkungan. Awak sangat memahami daerah operasi dan fasilitas pada tepi pantai untuk pemeliharaan, perbaikan, suku cadang, yang tersedia langsung dan dengan keterampilan tinggi. Juga setiap kapal yang akan diderek akan memiliki karakteristik kemudi yang unik. Dalam hal terjadi bencana bantuan sisi pantai tersedia di dekatnya. Kapal yang khusus digunakan untuk mendorong disebut *pusher tugs* dan memiliki konstruksi lambung dan *fender* lebih kaku. penerapan yang menarik dari ini adalah sistem *tug barge* menjadi lebih relevan di banyak pelayaran pesisir dan perairan di daratan. Komponen operasi dari kapal tunda adalah koponen yang termasuk sebagai sarana bantu pemanduan pada Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia nomor 93 Tahun 2014.

b. *Seagoing tugs*

Kapal tunda *seagoing tugs* digunakan untuk membantu kapal di pelabuhan maupun di laut. Kapal tunda dapat beroperasi tanpa batasan. *Seagoing tugs* dapat melakukan penarikan pada laut dalam, di wilayah laut mana pun, dan dalam periode tahun apa pun atau dapat melakukan operasi penarikan pesisir (*coastal towage*) atau di lokasi tertentu seperti terminal lepas pantai. *sea keeping* yang baik menjadi persyaratan tambahan dan membedakan dengan kapal tunda lain. Untuk penarikan pesisir (*coastal towage*) atau di lokasi tertentu seperti terminal lepas pantai, Awak sangat memahami daerah operasi dan fasilitas pada tepi pantai unutk pemeliharaan, perbaikan, suku cadang, yang tersedia langsung dan dengan keterampilan tinggi. Juga setiap kapal yang akan diderek akan memiliki karakteristik kemudi yang unik. Dalam hal terjadi bencana bantuan sisi pantai tersedia di dekatnya. Juga dipertimbangkan bahwa dalam keadaan darurat, bantuan pihak darat sudah siap jika kapal tunda tidak berada dalam jalur pelayaran selama lebih dari empat jam dengan kecepatan operasional dari tempat berlabuh yang aman, tetapi tidak untuk operasi penarikan laut dalam.

c. Escort Tugs

Escort tugs adalah perkembangan yang relatif baru dalam menanggapi risiko polusi yang disebabkan oleh kejadian kapal tanker minyak yang kandas. Kecelakaan yang terjadi di masa lalu, menyebabkan kerusakan besar, yang mempercepat peningkatan keselamatan dalam transportasi minyak melalui laut. Beberapa kecelakaan diakibatkan oleh kapal tanker minyak yang kehilangan kemampuan manuvernya atau tenaga dorong pada saat kritis. Sebagai konsekuensi dari kecelakaan minyak tersebut, persyaratan mengenai struktur kapal tanker telah diperketat, seperti struktur yang dipersyaratkan untuk dibangun di tanker. Sebagai tambahan, pengembangan *escort tugs* diperlukan untuk memberikan bantuan kepada dan mengawal tanker dalam bahaya dan perairan pesisir, di luar pelabuhan yang aman. Sementara pengawalan penarik, kapal tunda dimaksudkan untuk membantu dengan kecepatan tinggi sifat kemudi dan penahan kapal yang akan dibantu dengan menggunakan tali penarik yang berasal dari penarik *winch* dan terhubung ke kapal yang dibantu. Saat bekerja di pelabuhan, kapal tunda dapat diterapkan tugas derek dan penyangga normal. (Balakrishnan & Sasi, 2016)

2.2. *Maintenance*

Maintenance didefinisikan sebagai suatu aktifitas yang dilakukan agar peralatan atau *item* dapat dijalankan sesuai dengan standar performansi semula. Atau didefinisikan sebagai suatu tindakan yang dibutuhkan untuk mencapai hasil yang dapat mengembalikan atau mempertahankan *item* pada kondisi yang selalu berfungsi. Tujuan dari perawatan adalah

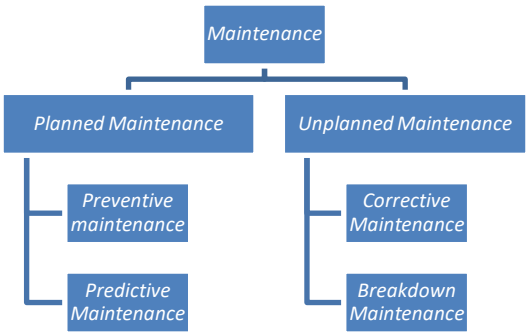
memperpanjang umur pakai peralatan, menjamin tingkat ketersediaan yang optimal dari fasilitas produksi, menjamin kesiapan operasional seluruh fasilitas untuk pemakaian darurat serta menjamin keselamatan operator dan pemakai fasilitas. Pendapat lain menjelaskan *maintenance* adalah kegiatan memastikan setiap asset fisik terus melakukan apa yang penggunanya ingin mereka lakukan, apa yang diinginkan penggunanya tergantung dimana dan bagaimana asset tersebut digunakan sesuai konteks operasionalnya (Moubray, 1997).

Berdasarkan teori di atas maka dapat diartikan bahwa perawatan adalah kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas, aset, mesin dan peralatan perusahaan, melakukan perbaikan, serta penggantian yang diperlukan agar keadaan operasional berjalan dengan optimal sesuai yang diharapkan. Sedangkan manajemen perawatan adalah strategi pengorganisasian operasional perawatan untuk memberikan panduan terhadap perawatan yang dilakukan oleh perusahaan atau pemilik aset. Pengorganisasian ini dibentuk melalui gagasan dan tindakan yang menghasilkan metode manajemen yang tepat dalam menunjang keberhasilan manajemen perawatan itu sendiri. Tujuan dilakukan perawatan (Corder, 1996) antara lain:

1. Memperpanjang operasional aset (baik setiap komponen yang ada dalam aset maupun keseluruhan aset itu sendiri)
2. Mampu menjamin bahwa setiap peralatan produksi yang digunakan untuk memperoleh profit perusahan berada dalam kondisi yang optimum
3. Menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu akan digunakan
4. Memberikan kepercayaan kepada pemilik aset bahwa operator terjaga keselamatannya pada saat operasional kerja

2.3. Jenis Jenis Tindakan Perawatan

Tindakan perawatan dapat dilakukan secara terencana (*planned maintenance*) maupun tak terencana (*unplanned maintenance*). Namun terdapat tindakan perawatan yang perlu segera dilakukan apabila terjadi kejadian serius dimana apabila tidak dilakukan tindakan perawatan tersebut maka dapat menimbulkan akibat yang serius seperti terhambatnya proses produksi, kerusakan serius pada peralatan, dan alasan keselamatan kerja yaitu disebut tindakan perawatan darurat (Corder, 1996) sesuai pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Klasifikasi Perawatan (Corder, 1996)

2.3.1. *Preventive Maintenance*

Tindakan pencegahan meliputi pencegahan munculnya kegagalan. Hal ini bisa berupa servis, pembersihan, dan pelumasan atau dengan inspeksi, yang secara langsung mempengaruhi *reliability*. Tindakan pada *preventive maintenance* harus direncanakan dan dilakukan sesuai rencana. *Preventive maintenance* diukur oleh waktu untuk melakukan *maintenance* dan frekuensi dalam jangka waktu tertentu (Mufarikhah & Pribadi, 2016).

2.3.2. *Predictive Maintenance*

Tindakan prediktif meliputi pendeteksian penurunan performa dari sistem secara teliti dengan melalui pengukuran sehingga penyebabnya dapat dihilangkan maupun dikendalikan tergantung dari kondisi komponen berdasarkan hasil pengukuran. Hasil dari tindakan prediktif dapat dijadikan sebagai indikator kapabilitas fungsi pada masa sekarang dan di masa depan.

2.3.3. *Corrective Maintenance*

Tindakan korektif meliputi reparasi minor, terutama untuk rencana jangka pendek, yang mungkin timbul diantara pemeriksaan, serta *overhaul* terencana. Namun dalam perkembangannya dilakukan tindakan perincian terencana untuk jangka panjang dengan menggunakan hasil pemeriksaan yang d*item*ukan selama masa waktu *preventive maintenance*.

2.3.4. Breakdown *Maintenance*

Tindakan perawatan ini dilakukan apabila sebuah komponen maupun sistem telah mengalami kerusakan. Tindakan yang dilakukan berupa perbaikan pada bagian yang mengalami kerusakan. Namun tindakan ini dilakukan apabila dampak kecil hingga menyebabkan adanya hambatan proses operasional kerja sistem (Priyanta, Zaman, & P, 2017).

2.4. Konsep Dasar Keandalan

Definisi dari keandalan adalah probabilitas suatu sistem berfungsi secara normal ketika digunakan dalam periode waktu yang diinginkan dengan kondisi operasi yang telah ditentukan (Dhillon, 2006). Sedangkan keandalan didefinisikan sebagai probabilitas dari sistem untuk bekerja secara optimal sesuai fungsi yang dibutuhkan dalam periode waktu tertentu (Ebeling,

1997). Keandalan sebuah sistem atau komponen dapat didefinisikan sebagai suatu probabilitas suatu sistem atau komponen dapat berfungsi dengan baik untuk melakukan tugas tertentu. Berikut ini merupakan rumusan keandalan secara umum:

$$R = P(\chi = 1) \tag{2.1}$$

Keterangan :

R = *Reliability* (Keandalan)

P = Probabilitas

Karena χ merupakan Fungsi waktu, maka R juga Fungsi waktu, sehingga didapatkan :

$$R(t) = P(\chi(t) = 1) \tag{2.2}$$

Dimana R(t) adalah keandalan peralatan saat t yang sering disebut fungsi. Beberapa elemen dasar pada konsep kendalan yang perlu di perhatikan seperti:

1. Probabilitas

   Identifikasi distribusi frekuensi dari suatu objek dimana nilai *reliability* adalah berada diantara 0 dan 1

2. Performance dan Kinerja

   Kemampuan dari suatu objek perlu diperjelas berupa *indicator* atau standar fungsi spesifik.

3. Waktu

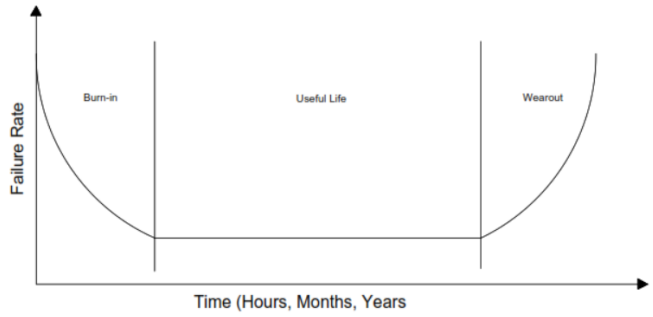
   Parameter yang penting untuk melakukan penilaian kemungkinan berhasilnya operasional suatu sistem.

4. Kondisi Lingkungan

   Kondisi lingkungan dimana objek dioperasikan mampu mempengaruhi umur dari sistem atau peralatan seperti suhu, kelembaban, kecepatan, dan tingkat kebisingan.

2.5. Karakteristik kegagalan

Karakteristik kegagalan digambarkan dengan laju kegaglan yang mengalami kenaikan, penurunan atau konstan, laju kegagalan yang menggambarkan karakteristik kegagalan memiliki fungsi terhadap waktu λ(t), penurunan laju kegagalan, konstant, dan penambahan membentuk sebuah kurva bak mandi (*bath-tub curve*) seperti pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Kurva *Bath-Tub*

2.5.1. *Fase Burn-in/Decreasing Failure rate*

Pada periode *burn-in* (permulaan bekerjanya peralatan). Kurva menunjukkan bahwa laju kerusakan menurun dengan bertambahnya waktu atau disebut dengan DFR (*Decreasing Failure rate*) λ(t) menunjukkan gejala menurun (DFR) akibat kegagalan dini (*early failure*). Kegagalan tersebut diakibatkan kerusakan dalam manufaktur, retak saat pengelasan, patah pengendalian terhadap kualitas rendah, kontaminasi, kualitas pengendalian rendah. Pada fase ini *preventive maintenance* akan bersifat kontra-produktif karena mengembalikan sistem atau komponen ke kondisi awal (*as good as new condition*) dengan *preventive maintenance* akan menyebabkan mode kegagalan baru seperti cacat sebagai akibat manufaktur,dsb.(Ebeling, 1997)

2.5.2. Fase Useful / *Constant failure rate*

Pada periode useful laju kerusakan cenderung konstan atau tetap dan disebut CFR (*Constant Failure rate*). Pada periode ini biasanya dikenal sebagai *useful life period*. Komponen menunjukkan λ(t) yang kurang lebih konstan (CFR). Pada fase ini, *preventive maintenance* tidak mempunyai efek apa-apa terhadap keandalan. Laju kegagalan pada fase ini disebabkan oleh *force majeur* atau lingkungan operasi dan sebagainya.(Ebeling, 1997)

2.5.3. Fase *Wear* Out / *Increasing Failure rate*

Periode *wear out* menunjukkan laju kerusakan dengan bertambahnya waktu yang disebut dengan IFR (*Increasing Failre Rate*). λ(t) menunjukkan peningkatan IFR, dimana peluang kegagalan komponen selama *interval* waktu yang sama berikutnya bertambah besar. Kegagalan diakibatkan oleh penuaan, korosi, gesekan sehingga disebut fase pengausan (*wear out*) untuk megurangi pengaruh keusangan yang biasanya dilakukan penggantian (*replacement*) beberapa bagian alat atau bahkan seluruhnya dengan yang baru. Pada fase ini, tindakan *preventive maintenance* dapat meningkatkan keandalan pada komponen.(Ebeling, 1997)

2.6. RCM (*Reliability Centered Maintenance*)

Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan untuk menjamin agar suatu asset fisik dapat berlangsung terus memenuhi fungsi yang diharapkan dalam konteks operasinya saat ini (Dhillon, 2006). Proses analisa *RCM (Reliability Centered Maintenance)* terdiri dari 3 tahap yaitu pertama identifikasi fungsi, kedua analisa kegagalan fungsional dan ketiga seleksi kegiatan.Identifikasi terdiri dari penggambaran *Functional Block Diagram*, dan identifikasi fungsi. Analisa kegagalan fungsional terdiri dari deskripsi kegagalan fungsional, identifikasi komponen *maintenance significant item*, analisis *failure mode and effect analysis, fault tree analysis* dan *logic tree analysis.* Sedangkan seleksi kegiatan terdiri dari jenis kegiatan *maintenance* dan prediksi waktu kegiatan (Moubray, 1997). Teknik RCM difokuskan pada aktivitas yang dapat memastika sistem dan komponenya tetap berjalan sesuai fungsinya pada berbagai kondisi operasi, untuk mempertahankan sistem terdapat tujuh pertanyaan *(seven basic question)* yang harus dijawab (Moubray, 1997).

1. Apakah fungsi dan hubungan performansi standar dari *item* dalam konteks pada saat ini (*system function*)?
2. Bagaimana *item*/peralatan tersebut rusak dalam menjalankan fungsinya (*functional failure*)?
3. Apa yang menyebabkan terjadinya kegagalan fungsi tersebut (*failure mode*)?
4. Apakah yang terjadi pada saat terjadi kerusakan (*failure effect*)?
5. Bagaimana masing-masing kerusakan tersebut terjadi (*failure consequence*)?
6. Apakah yang dapat dilakukan untuk memprediksi atau mencegah masing-masing kegagalan tersebut (*proactive task* and *task interval*)?
7. Apakah yang harus dilakukan apabila kegiatan proaktif yang sesuai tidak berhasil d*item*ukan?

2.6.1. Tujuan Metode RCM (*Reliability Centered Maintenance*)

Tujuan utama menerapkan metode RCM (*Reliability Centered Maintenance*) menurut (Moubray, 1997) adalah :

1. Peningkatan integrasi antara keselamatan dan lingkungan
2. Meningkatkan Performa Operasi
3. Meningkatkan efektivitas biaya pemeliharaan
4. Waktu hidup lebih lama untuk *item* tertentu
5. Database yang komprehensif

2.6.2. Prinsip-Prinsip RCM (*Reliability Centered Maintenance*)

RCM (*Reliability Centered Maintenance*) memiliki prinsip-prinsip diantaranya adalah:

1. RCM berfokus pada sistem atau peralatan yang berhubungan dengan fungsi sistem perawatan.
2. *Safety dan economics drive* RCM. Keselamatan adalah faktor penting, begitu juga dengan harga atau efektivitas pengeluaran.
3. RCM *is function oriented*, RCM berperan penting dalam memelihara fungsi dari suatu sistem atau alat.
4. *Design limitation are acknowledge by* RCM. Ujuan dari RCM adalah untuk merawat berdasarkan *reliability* dari desain alat atau sistem.
5. *RCM is reliability-centered*. RCM memiliki peran penting dalam hubungan anatara umur pengoprasian dan kerusakan yang dialami.
6. *RCM is a living system*. RCM mengumpulkan informasi dari hasil yang diterima dan mengembalikanya kembali untuk meningkatkan rencana perawatan.

2.7. Proses RCM (*Reliability Centered Maintenance)*

Seven basic question yang digunakan sebagai acuan RCM (*Reliability Centered Maintenance*) diterjemahkan menjadi analisa RCM dengan tiga tahapan meliputi identifikasi fungsi, selanjutnya analisa kegagalan fungsional dan terakhir adalah seleksi kegiatan.

2.7.1. Identifikasi Fungsi

Sebagaimana telah diuraikan bahwa tujuan dari RCM (*Reliability Centered Maintenance*) adalah untuk mempertahankan fungsi dari sebuah sistem. Oleh karena itu, pengidentifikasian fungsi-fungsi dari suatu sistem perlu dilakukan untuk membentuk hierarki fungsi sistem yang ada dengan membaginya menjadi elemen-elemen kecil sampai pada elemen kecil yang ingin dicapai. Dengan terbentuknya hierarki fungsional maka fungsi *system* yang ada secara logika akan terkait dalam satu sistem hierarki. Hierarki fungsi ini akan menunjukkan secara jelas fungsi utama mana yang mungkin tidak beroperasi jika fungsi tertentu mengalami kegagalan. Identifikasi hirarki fungsional meliputi penggambaran *functional block diagram*, dan deskripsi fungsi, Sistem mempunyai kontribusi yang besar terhadap terjadinya *full* atau *partial outage* (*shutdown*).

1. *Functional Block Diagram*

   Functional block diagram merupakan representasi tertinggi dari fungsi-fungsi utama sistem, yang dibuat dalam bentuk blok-blok, dengan kata lain blok diagram terbentuk oleh fungsi-

fungsi. Pada dasarnya diagram dibuat untuk memberi gambaran bagaimana interaksi satu blok dengan blok lain.

2. Deskrispi Fungsi dan Kegagalan

   Deskripsi fungsi sistem dilakukan untuk mendefinisikan fungsi operasional setiap sistem bersama dengan standar performasinya. Deskripsi fungsi dibuat dalam bentuk kalimat (frasa) yang terdiri dari "sebuah kata kerja, sebuah tujuan dan standar performa yang diinginkan" (Moubray, 1997). Oleh karena itu sangat penting untuk mendefinisikan terlebih dahulu fungsi-fungsi sistem sebelum proses analisa secara lebih lanjut dilakukan.

2.7.2. Analisa Kegagalan Fungsional

Kegagalan dalam RCM disebut juga sebagai kegagalan fungsional karena saat terjadi kegagalan fungsi dari suatu sistem atau alat tidak seusai dengan standar yang ada. Analisa kegagalan fungsional meliputi, deskripsi kegagalan fungsional, identifikasi komponen MSI, analisis FMEA, FTA, dan LTA.

1. Deskripsi Kegagalan Fungsional

Seperti yang telah dijelaskan diatas, bahwa kegagalan fungsional didefinisikan sebagai ketidakmampuan *item* (sistem, sub sistem dan komponen) memenuhi fungsinya terhadap suatu standar performa yang bisa di terima oleh pemakai. Oleh karena itu, dalam mendefinisikan kegagalan harus dicatat semua kegagalan fungsional yang bisa memengaruhi masing-masing fungsi.

2. Identifikasi MSI (*Maintenance significant item*)

Identifikasi MSI dimaksudkan untuk melakukan pemilihan komponen yang layak untuk dilakukan perawatan atau tetap pada perencanaan perawatan yang sudah ada. Pemilihan dilakukan berdasarkan jenis kategori kekritisan (*criticality categories*) yang biasanya dilakukan melalui kuisioner pada masing-masing komponen pada kapal tunda dengan menggunakan *rating scale* seperti pada. dari dampak kegagalan fungsional dari komponen yang secara fungsional diidentifikasi dakam hierarki fungsional sistem. maka akan dilakukan analisis FMEA *(Failure mode and Effect Analysis).*

Tabel 2.1 Kategori Kekritisan

No	Dampak Kegagalan	Bobot Nilai	Kategori Kekritisan	Koefisien
1	*Safety (S)*	1	Tidak menimbulkan kecelakaan	0,3
		2	Kemungkinan menimbulkan kecelakaan	

No	Dampak Kegagalan	Bobot Nilai	Kategori Kekritisan	Koefisien
		3	Kemungkinan mengakibatkan kematian	
2	*Environment (E)*	1	Tidak menimbulkan polusi	0,15
		2	Polusi yang ditimbulkan tidak parah	
		3	Polusi yang ditimbulkan parah	
3	*Availability (A)*	1	Sistem tidak berfungsi kurang dari 4 jam	0,3
		2	Sistem tidak berfungsi 4-8 jam	
		3	Sistem tidak berfungsi lebih dari 8 jam	
4	*Cost (C)*	1	Total biaya perbaikan tanpa melakukan PM akan lebih kecil dibanding total biaya perbaikan ditambah biaya PM	0,25
		2	Total biaya perbaikan tanpa melakukan PM akan 1 s/d 5 kali lebih besar dibanding total biaya perbaikan ditambah biaya PM	
		3	Total biaya perbaikan tanpa melakukan PM akan 5 kali lebih besar dibanding total biaya perbaikan ditambah biaya PM	

Dengan mengacu pada Tabel 2.1 diatas, formula pendekatan yang digunakan untuk menentukan indeks kekritisan suatu komponen adalah :

MSI = [(S*0,3)+(E*0,15)+(A*0,3)+(C*0,25)]

Dengan ketentuan jika nilai MSI>1.5 maka akan dilakukan analisis FMEA *(Failure mode and Effect Analysis)*

3. Analisis *Failure mode and Effect Analysis* (FMEA)

FMEA adalah sebuah teknik yang sistematis untuk menganalisa kegagalan secara kualitatif (Moubray, 1997). FMEA dimulai dengan mendefinisikan mode kegagalan, selanjutnya mengidentifikasi dampak dari setiap mode kegagalan yang terjadi, rekomendasi tindakan dari kegagalan yang terjadi ,serta nilai RPN.

a. Mode Kegagalan

Setiap kali kegagalan fungsional telah diidentifikasi, langkah berikutnya adalah mencoba mengidentifikasi semua kejadian yang besar kemungkinannya menjadi penyebab setiap kegagalan. Kejadian ini dikenal sebagai mode-mode kegagalan (*failure mode*) mode kegagalan didefinisikan sebagai kejadian yang besar kemungkinannya menjadi penyebab sebuah sistem/peralatan menjadi gagal. Jadi, mode kegagalan adalah kejadian yang menjadi penyebab sebuah kegagalan fungsional. Mode kegagalan dapat diklasifikasikan dalam tiga kelompok yaitu:

1. Ketika kemampuan sistem berada dibawah performa yang diinginkan
2. Ketika performa yang diinginkan berada diatas *initial capability*
3. Ketika aset tidak mampu melakukan fungsi yang diinginkan

b. Dampak Kegagalan

Dampak kegagalan menggambarkan apa yang terjadi ketika mode kegagalan terjadi (Moubray, 1997). Gambaran ini harus memuat seluruh informasi yang dibutuhkan untuk mendukung evaluasi terhadap konsekuensi terjadinya kegagalan, seperti:

1. Apa bukti (jika ada) bahwa kegagalan telah terjadi?
2. Dalam cara apa (jika ada) bentuk ancaman terhadap keselamatan atau lingkungan?
3. Dalam cara apa (jika ada) dia mempengaruhi produksi atau operasional?
4. Apa bentuk kerusakan fisik (jika ada) yang disebabkan oleh kegagalan?
5. Apa yang harus dilakukan untuk memperbaiki kegagalan?

c. Rekomendasi Tindakan

Rekomendasi tindakan dibutuhkan dalam FMEA untuk mengetahui cara apa yang bisa dilakukan untuk mengatasi dan menggurangi kegagalan berdasarkan pada mode kegagalan yang terjadi.

4. Analisis RPN (*Risk Priority Number)*

Penentuan nilai prioritas dari kegagalan dan akibatnya ditentukan oleh tiga faktor, yaitu:

1. Keseriusan atau keparahan (*Severity*):konsekuensi dari kegagalan yang seharusnya terjadi padanya
2. Kejadian (*Occurance*):kemungkinan atau frekuensi terjadinya kegagalan
3. Deteksi (*Detection*):kemungkinan dari kegagalan terdeteksi sebelum pengaruh dari akibat terjadi.

Nilai prioritas resiko berdasarkan perkalian nilai (*rating*) dari ketiga faktor tersebut yaitu (*severity x occurance x detection*) untuk masing-masing mode dan akibat kegagalan potential. Mode-mode yang mempunyai *Risk Priority Number* tertinggi harus mendapatkan

perhatian pertama, perhatian khusus jika mode mempunyai rating *severity* tinggi yaitu (9 atau 10), tanpa memandang rating *risk* nmber-nya. Tabel 2.2, Tabel 2.3 dan Tabel 2.4 dibawah ini merupakan nilai *rating scale* untuk *severity*, *occurance* dan *detection*.

Tabel 2.2 Skala Peringkat Keparahan

Severity	
1	Kegagalan tidak berakibat apapun
2	Kegagalan tidak menyebabkan kerugian operasional
3	Kegagalan terlihat dan dapat diatasi, tidak ada korban, kerugian ekonomi rendah
4	Kegagalan menyebabkan penurunan kinerja unit, berpotensi korban cedera, kerugian ekonomi rendah
5	Kegagalan menyebabkan kerugian operasional unit, berpotensi korban cedera, kerugian ekonomi sedang
6	Kegagalan menyebabkan kerugian operasional sedang, berpotensi korban cedera, kerugian ekonomi sedang
7	Kegagalan menyebabkan kerugian operasional sedang, berpotensi korban cedera, kerugian ekonomi tinggi
8	Kegagalan menyebabkan kerugian operasional tinggi, berpotensi korban cedera, kerugian ekonomi tinggi
9	Kegagalan menyebabkan kerugian operasional sangat tinggi, berpotensi korban jiwa, kerugian ekonomi tinggi
10	Kegagalan menyebabkan kerugian operasional sangat tinggi, berpotensi korban jiwa, kerugian ekonomi sangat tinggi

Pada Tabel 2.2 diatas dapat dilihat skala peringkat keparahan mulai dari 1-10 dengan peringkat satu merupakan peringkat kegagalan yang tidak berakibat pada apapun. Pada *severity* ada 3 faktor yang menjadi pertimbangan untuk melakukan penilaian yaitu kinerja dan operasional dari kegagalan fungsi atau dampak pada kapal tunda beserta dengan biaya yang dikeluarkan untuk melakukan perbaikan atau penggantian, cedera atau kematian yang terjadi pada personel yang terlibat, dan ekonomi adalah dampak pada proses bisnis yang dijalani. Pemilihan kriteria *severity* yang digunakan dalam *rating scale* dengan menggunakan refenresi terkait *Towage Risk Assessment* (Fuller, 2018).

Tabel 2.3 Skala Peringkat Kejadian

Occurance	
1	Kejadian lebih dari 5 tahun
2	Kejadian setiap 3-5 tahun
3	Kejadian setiap 1-3 tahun
4	Kejadian setiap satu tahun
5	Kejadian setiap 6 bulan
6	Kejadian setiap 3 bulan
7	Kejadian setiap bulan
8	Kejadian setiap minggu
9	Kejadian setiap 3-4 hari
10	Kejadian setiap hari

Sedangkan, pada Tabel 2.3 diatas, dapat dilihat skala peringkat kejadian terdiri dari peringkat 1-10. Peringkat–peringkat tersebut menunjukkan tingkat kejadian pada masing-masing periode.

Tabel 2.4 Skala Peringkat Deteksi

Detection	
1	Potensi kerusakan selalu bisa terdeteksi
2	Potensi kerusakan sangat tinggi dan terkontrol
3	Potensi kerusakan terdeteksi tinggi, dan terkontrol berkala
4	Potensi kerusakan kemungkinan akan terdeteksi tinggi dan jarang terkontrol
5	Potensi kerusakan terdeteksi sedang dan terkontrol berkala
6	Potensi kerusakan terdeteksi sedang dan jarang terkontrol
7	Potensi kerusakan kemungkinan terdeteksi kecil dan terkontrol
8	Potensi kerusakan kemungkinan terdeteksi kecil dan terkontrol berkala
9	Potensi kerusakan kemungkinan akan terdeteksi kecil dan jarang terkontrol
10	Potensi kerusakan tidak akan terdeteksi sama sekali

Pada Tabel 2.4 diatas, dapat dilihat bahwa skala peringkat deteksi sama dengan skala peringkat kejadian dan keparahan yang terdiri dari 1-10 peringkat. Skala 10 menunjukkan peringkat deteksi yang tidak akan terdeteksi sama sekali (sulit terdeteksi)

5. *Fault Tree Analysis*

Analisis FTA (*Fault Tree Analysis*) merupakan salah satu alat penting yang dikenal di dunia untuk mengevaluasi keamanan dan reliabilitas dalam desain sistem, proses pengembangan, dan operasi. Dalam penyusunan suatu model FTA, pendekatan yang digunakan adalah pendekatan dari atas ke bawah (*a top-down approach*), dimana kejadian yang tidak diinginkan diletakkan sebagai kejadian teratas (*top event*) dan kejadian terbawah yang dicari melalui FTA dikatakan sebagai *basic event*. Tujuan FTA sendiri yaitu untuk mengidentifikasi terjadinya suatu kegagalan dari berbagai cara, baik dari faktor fisik maupun manusia, yang dapat mengarah pada penyebab dari terjadinya kegagalan/kesalahan tersebut. FTA digunakan setelah kita memperoleh pengertian secara menyeluruh dari *system* yang menjadi studi / penelitian, dimana:

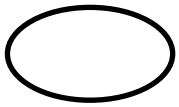
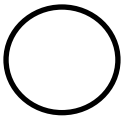
1. FMEA merupakan *tools* awal
2. FTA digunakan untuk menganalisis sistem menjadi lebih detail
3. FMEA sangat membantu dalam menetapkan "*top event*" dari FTA

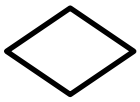
Beberapa symbol yang umum digunakan dalam modet FTA yaitu:

a. Simbol Kejadian

Simbol kejadian adalah simbol yang menyatakan berisi *event*/ kejadian pada sistem. Simbol-simbol kejadian dapat dilihat pada Tabel 2.5 dibawah ini:

Tabel 2.5 Simbol Kejadian

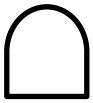
No	*Event*	Simbol	Keterangan Simbol
1	*Conditioning Event*		*Conditioning event* menyatakan suatu kondisi atau batasan khusus yang diterapkan pada suatu gerbang logika (biasanya gerbang INHIBIT dan PRIORITY AND).
2	*Basic Event*		*Basic event* menyatakan kegagalan mendasar yang tidak perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mencari penyebab dari *event* tersebut.
3	*External Event*		*External event* menyatakan sebuah *event* yang diharapkan muncul secara normal, tidak termasuk dalam kejadian gagal.

No	*Event*	Simbol	Keterangan Simbol
4	*Intermediate Event*		*Intermediate event* menyatakan *event* yang muncul dari kombinasi kejadian-kejadian masukan gagal/input gagal yang masuk ke gerbang.
5	*Undeveloped Event*		*Undeveloped event* menyatakan sebuah *event* yang tidak diteliti lebih lanjut karena tidak tersedianya/cukupnya informasi atau karena konsekuensi dari *event* ini tidak terlalu penting

b. Simbol Gerbang

Symbol gerbang digunakan untuk menyatakan hubungan kejadian input yang mengarah pada kejadian output. Simbol-simbol gerbang dalam model FTA (*Fault Tree Analysis*) dapat dilihat pada Tabel 2.6 dibawah ini:

Tabel 2.6 Simbol Gerbang

No	Gerbang	Simbol	Keterangan Simbol
1	Gerbang OR		Gerbang OR menyatakan *event* yang muncul/*output* terjadi jika setidaknya salah satu masukan/input terjadi.
2	Gerbang AND		Gerbang AND menyatakan *event output* muncul jika semua masukan/input terjadi.
3	*Priority* AND		*Priority* AND adalah gerbang AND dengan kasus tertentu yaitu *event* muncul/*output* terjadi jika semua kejadian *input* terjadi dengan urutan tertentu (urutan diwakili oleh conditioning *event*).
4	*Exclusive* OR		*Exclusive* OR adalah gerbang OR dengan kasus tertentu yaitu *event*

No	Gerbang	Simbol	Keterangan Simbol
			yang muncul/*output* terjadi jika tepat satu dari *input*/masukan terjadi.

6. *Logic Tree Analysis*

Analisis LTA (*Logic Tree Analysis)* merupakan analisa kualitatif yang digunakan untuk mengetahui konsekuensi yang ditimbulkan oleh masing-masing *failure mode* yang telah didapatkan pada tahap analisis FMEA (*Failure mode and Effect Analysis*).

Tujuan LTA adalah untuk mengklasifikasikan *failure mode* kedalam beberapa kategori sehingga nantinya dapat ditentukan prioritas dalam penanganan masing-masing *failure mode* berdasarkan kategorinya. Terdapat tiga pertanyaan dalam pengklasifikasian *failure mode* tersebut. Tiga pertanyaan tersebut adalah sebagai berikut:

1. *Evident* yaitu apakah operator mengetahui dalam kondisi normal, telah terjadi gangguan dalam sistem?
2. *Safety* yaitu apakah mode kerusakan ini menyebabkan masalah keselamatan?
3. *Outage* yaitu apakah mode kerusakan ini menyebabkan seluruh atau sebagian mesin berhenti?

   Berdasarkan tiga pertanyaan tersebut *failure mode* dapat digolongkan kedalam empat kategori yaitu.

1. Kategori A jika *failure mode* mempunyai konsekuensi *safety* terhadap personel maupun lingkungan.
2. Kategori B jika *failure mode* mempunyai konsekuensi terhadap *operasional plant* (memengaruhi kualitas maupun kuantitas *output*) yang dapat menyebabkan kerugian ekonomi secara signifikan.
3. Kategori C jika *failure mode* tidak berdampak pada *safety* maupun *operasional plant* dan hanya menyebabkan kerugian ekonomi yang relatif kecil untuk perbaikan.
4. Kategori D jika *failure mode* tergolong sebagai *hidden failure*.

2.7.3. Seleksi Kegiatan

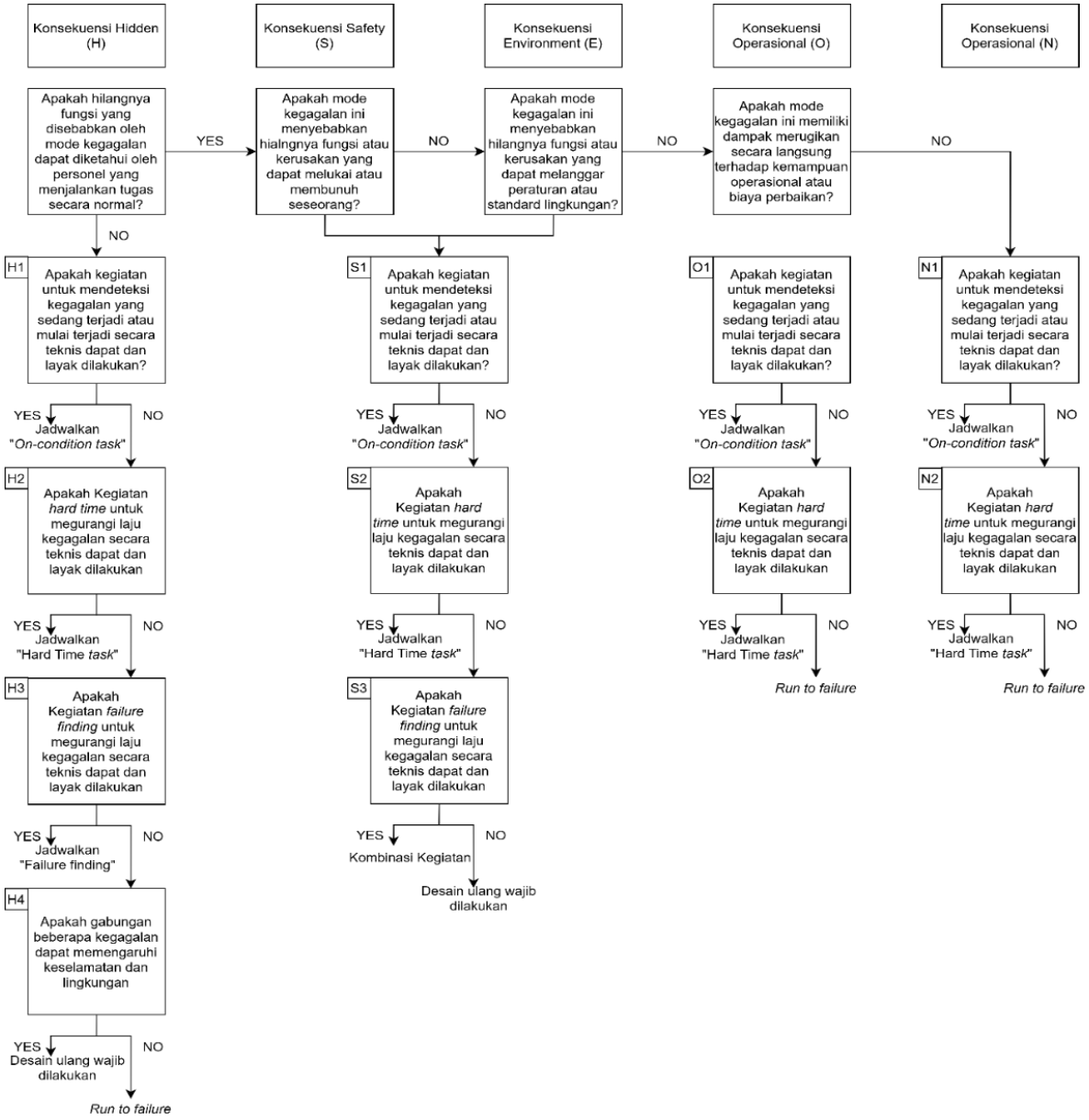
Pada dasarnya seleksi kegiatan dilakukan untuk mendapatkan kandidat jenis kegiatan sehingga bisa dibuatkan sebuah perencanan perawatan yang menyeluruh. Proses seleksi kegiatan meliputi pemilihan jenis kegiatan, dan prediksi waktu kegiatan

1. Pemilihan Jenis Kegiatan

Dalam pemilihan kegiatan, kegagalan berpengaruh pada sistem dalam berbagai cara, tetapi dalam setiap kasus dampaknya berlainan. Mungkin berdampak pada operasional, keselamatan atau lingkungan. Kesemuanya itu akan membutuhkan biaya dan waktu untuk memperbaikinya. Konsekuensi inilah yang sangat mempengaruhi kita untuk mencoba mencegah setiap kegagalan. Dengan kata lain, jika sebuah kegagalan memiliki konsekunsi yang serius, kita mungkin akan berbuat apa saja untuk mencoba mencegahnya. Dilain pihak, jika efeknya kecil atau tidak ada sama sekali, kita mungkin memilih untuk melakukan perawatan tidak rutin selain pembersihan mendasar dan pelumasan (Moubray, 1997) Proses RCM mengklasifikasikan konsekuensi dalam empat kelompok yaitu:

- Konsekuensi kegagalan yang tersembunyi: kegagalan tersembunyi yang tidak berpengaruh langsung, tetapi bila terkumpul akan berkonsekuensi serius
- Kosekuensi terhadap keselamatan dan lingkungan: sebuah kegagalan memiliki konsekunsi terhadap keselamatan jika dapat melukai atau mematikan seseorang, dia memiliki konsekuensi terhadap lingkungan, jika dapat melanggar sebuah standar peraturan terhadap lingkungan, baik regional, nasional ataupun internasional.
- Konsekuensi terhadap operasional: sebuah kegagalan memiliki konsekuensi terhadap operasional, jika mempengaruhi produktivitas *system*
- Konsekuensi non- operasional: kegagalan yang terjadi pada kategori ini hanya berpengaruh langsung pada biaya perbaikan.

Kelebihan dari proses RCM adalah memberikan jalan yang sederhana, tepat dan tergolong mudah dipahami untuk menentukan berapa kali mereka harus melakukan kegiatan perawatan. Proses penentuan kegiatan perawatan dilakukan melalui sebuah diagram keputusan RCM atau biasa disebut analisa pohon keputusan DTA (*Decision Tree Analysis*) seperti terlihat pada Gambar 2.3 dibawah ini



Gambar 2.3 Analisa Pohon Keputusan

Pada Gambar 2.3 diatas, dapat diketahui bahwa analisa pohon keputusan atau DTA digunakan untuk menentukan jenis kegiatan yang sesuai untuk menghilangkan atau mengurangi konsekuensi dari kegagalan fungsional. Setiap kegagalan fungsional memiliki satu atau lebih mode kegagalan, dimana jika terjadi akan menyebabkan hilangnya fungsi sistem. Setiap mode kegagalan ini harus diproses dalam DTA (*Decision Tree Analysis)* untuk menentukan sebuah kegiatan perawatan pencegahan atau kegiatan proaktif yang harus dilakukan atau kegiatan lainnya yang bisa menjamin terpenuhinya fungsi dari sistem tersebut. Apakah kegiatan proaktif secara teknis layak digunakan atau tidak, ditentukan oleh karakteristik teknik dari kegiatan tersebut dan kegagalan mana yang akan dicegah. Apakah itu patut dilakukan atau tidak ditentukan oleh bagaimana konsekuensi yang ditimbulkan oleh kegagalan itu. Jika tidak dapat

d*item*ukan sebuah kegiatan proaktif yang secara teknis mudah dan baik, maka harus diambil sebuah kegiatan yang sesuai. Proses untuk memilih kegiatan/tugas tersebut pada intinya adalah meliputi:

- Untuk kegagalan yang tersembunyi, tugas proaktif adalah langkah yang tepat jika akan mengurangi risiko dari kumpulan beberapa kegagalan dan cocok untuk fungsi pada level rendah. Jika langkah demikian tidak dapat ditentukan maka harus dibuat jadwal pencarian kegagalan. Jika tugas pencarian kegagalan yang sesuai tidak dapat d*item*ukan, maka langkah kedua diputuskan adalah *item* tersebut mungkin perlu di desain ulang.
- Untuk kegagalan yang konsekuensinya terhadap keselamatan dan lingkungan, tugas proaktif hanya dilakukan untuk mengurangi risiko kegagalan yang levelnya rendah, jika tidak bisa dikurangi secara bersamaan. Jika tidak dapat d*item*ukan sebuah tugas untuk mengurangi risiko kegagalan yang sesuai untuk level rendah, maka harus dilakukan desain ulang atau prosesnya yang harus dirubah.
- Jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap operasional, tugas proaktif hanya tepat dilakukan jika pada sebuah periode waktu tertentu total biaya pelaksanaannya kurang dari biaya konsekuensi operasionalnya dan biaya reparasi pada periode yang sama. Dengan kata lain, langkah tersebut harus ekonomis. Jika tidak, keputusan awal yang d*item*puh adalah perawatan tak terencana. Jika ini masih terjadi dan konsekuensinya terhadap operasional tetap tidak dapat diterima maka langkah kedua yang d*item*puh adalah melakukan desain ulang.
- Jika kegagalan memiliki konsekunsi terhadap *non-operational*, tugas proaktif hanya tepat diambil jika biaya tugas tersebut pada sebuah periode waktu tertentu kurang dari biaya reparasi pada periode yang sama. Dengan demikian, tugas ini juga harus memerhatikan faktor ekonomis. Jika tidak, keputusan awal yang d*item*puh adalah perawatan tidak terencana dan jika biaya reparasi sangat tinggi, langkah berikutnya yang diambil adalah melakukan desain ulang sekali lagi.

Sebuah kegiatan secara teknis layak dilakukan jika tugas tersebut secara nyata memungkinkan untuk mengurangi, atau memungkinkan untuk mengambil tindakan guna mengurangi tingkat konsekuensi dari mode kegagalan yang terjadi pada level yang dapat diterima oleh pemilik atau pemakai. Kegiatan yang dapat dilakukan untuk menghilangkan kegagalan-kegagalan dapat dikategorikan dalam dua jenis yaitu (Moubray, 1997):

- *Proactive task*: kegiatan dilakukan untuk mencegah terjadinya kegagalan *item*. Kegiatan ini dikenal sebagai *preventive* dan *Predictive maintenance*, akan tetapi dalam analisis RCM

dikenal sebagai *tasks* (*scheduled restoration task & scheduled dischard task*) dan *on condition task*

1. *Scheduled Restoration Task & Scheduled Dischard Task*

   Kegiatan perbaikan terjadwal (*scheduled restoration task*) atau tindakan penggantian penggantian terjadwal (*scheduled discard task*) disebut sebagai kegiatan *hard time* dari suatu *item* untuk mencegah kegagalan fungsional. Suatu kegiatan *hard time* mungkin sesuai dilakukan ketika suatu mode kegagalan tidak memperlihatkan karakteristik yang cukup untuk melakukan suatu kegiatan *on condition* yang efektif.

   Kegiatan perbaikan terjadwal meliputi perbaikan kemampuan dari *item* atau komponen pada saat atau sebelum mencapai batasan umurnya dan menjaga kondisinya pada saat itu. Kegiatan penggantian terjadwal meliputi penggantian sebuah *item* atau komponen pada saat atau sebelum mencapai batasan umurnya dan menjaga kondisinya pada saat itu.

   Frekuensi dari jadwal kegiatan perbaikan atau jadwal kegiatan penggantian ditentukan oleh umur dari *item* atau komponen yang menunjukkan peningkata secara cepat kondisi kemungkinan terjadinya kegagalan.

2. Kegiatan *on condition*

   Kegiatan *on condition* meliputi pengecekan terhadap kegagalan potential *(potential failure*), sehingga dapat diambil langkah untuk mencegah kegagalan fungsional atau untuk menghindari konsekuensi dari kegagalan fungsional. *Potential failure* (PF) didefinisikan sebagai kondisi fisik yang dapat teridentifikasi dan terukur yang mengindikasikan bahwa sebuah kegagalan fungsional dengan segera akan terjadi, akan tetapi hanya menunjukkan bahwa kegagalan akan datang. Kegagalan *potential* ditandai oleh menurunnya *performance* sistem, tetapi fungsi-fungsi masih berada pada batasan yang diberikan. Empat kategori utama dari kegiatan *on condition* yaitu:

   a. Teknik *condition monitoring*, meliputi kegiatan yang menggunakan alat khusus untuk memantau kondisi peralatam lainnya.
   b. Teknik yang berdasarkan variasi mutu produk
   c. Teknik memonitor dampak utama, meliputi kegiatan yang menggunakan alat ukur dan proses monitoring peralatan.
   d. Teknik inspeksi berdasarkan indera manusia.

Jika kegiatan proaktif yang secara teknis layak dan patut dilakukan untuk beberapa bentuk kegagalan tidak dapat d*item*ukan, maka *default action* yang harus diambil berdasarkan konsekuensi kegagalan yaitu:

a. Jika tidak dapat d*item*ukan kegiatan proaktif yang mengurangi risiko dari beberapa kegagalan dalam bentuk fungsi tersembunyi maka kegiatan pencarian kegagalan periodeik harus dilakukan. Jika kegiatan pencarian kegagalan yang sesuai tidak dapat d*item*ukan, keputusan selanjutnya adalah bahwa *item* tersebut mungkin perlu di desain ulang.
b. Jika tidak dapat d*item*ukan kegiatan proaktif untuk mengurangi risiko kegagalan yang mempengaruhi keselamatan dan lingkungan, *item* tersebut harus didesain ulang atau prosesnya yang harus diganti.
c. Jika tidak dapat d*item*ukan kegiatan proaktif yang lebih murah hingga kegagalan yang berkonsekuensi pada operasional berakhir, keputusan yang diambil adalah perawatan yang tidak terjadwal. Jika sudah ditempuh dan konsekuensi operasional tetap tak dapat diterima, keputusan selanjutnya adalah didesain ulang lagi.
d. Jika tidak dapat ditemukan kegiatan proaktif yang lebih murah hingga kegagalan yang berkonsekuensi pada non-operasional berakhir, keputusan yang diambil adalah perawatan tak terjadwal dan jika biaya-biaya perbaikan sangat inggi, keputusan selanjutnya adalah di desain ulang sekali lagi.

- *Default action*: kegiatan ini dilakukan jika kegagalan telah terjadi dan dipilih Ketika tidak memungkinkan untuk mengidentifikasi sebuah kegiatan proaktif yang efektif. *Failure finding*, redesign, dan *run-to-failure* (*no-scheduled maintenance*) termasuk dalam *default action*

1. Kegiatan *Failure finding*

Kegiatan pencarian kegagalan (*failure finding*) memerlukan pengecekan sebuah fungsi yang tersembunyi pada *interval* biasa untuk menemukan apakah dia telah gagal. Tujuan dari *failure finding* adalah untuk meyakinkan kita bahwa langkah pencegahan yang diambil akan menghasilkan sebuah tindakan pencegahan. Dengan kata lain, kita tidak memeriksa apakah peralatan kelihatannya baik, tetapi kita memeriksa apakah dia tetap bekerja dengan baik.

2. *Redesign*

Jika kegiatan *failure-finding* yang sesuai tidak dapat d*item*ukan, maka desain ulang wajib dilakukan jika beberapa kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan atau lingkungan. Desain ulang adalah perubahan spesifikasi beberapa *item* sebuah peralatan termasuk perubahan spesifikasi komponen, penambahan *item* baru, penggantian seluruh mesin dengan sebuah perubahan merk atau tipe, atau pemindahan mesin. Hal ini juga

berarti sebuah perubahan proses atau *procedure* yang berdampak pada pengoperasian peralatan. Untuk kegagalan yang berdampak pada keselamatan atau lingkungan, desain ulang diakukan dengan tujuan untuk:

a. Mengurangi kemungkinan terjadinya mode kegagalan pada level yang dapat dipertahankan. Biasanya, dilakukan penggantian komponen yang berpengaruh dengan sebuah komponen yang lebih kuat atau handal
b. Mengganti peralatan atau proses kerjanya sehingga betul-betul kegagalan tidak lagi memiliki konsekunsi terhadap keselamatan atau lingkungan
c. Untuk kegagalan yang tersembunyi, risiko beberapa kegagalan dapat dikurangi dengan memodifikasi peralatan seperti:
    - Membuat fungsi yang tersembunyi menjadi tampak dengan menambahkan alat lain
    - Mengganti fungsi tersembunyi dengan sebuah fungsi yang tampak jelas
    - Untuk kegagalan yang berkonsekuensi terhadap operasional dan non operasional, peralatan dapat dimodifikasi untuk mengurangi jumlah waktu terjadinya kegagalan, atau mungkin menghilangkannya secara keseluruhan, membuat komponen menjadi lebih kuat atau lebih handal. Serta mengurangi atau menghilangkan konsekuensi kegagalan

3. *No Scheduled Maintenance*

Keputusan untuk melakukan perawatan yang tidak terjadwal (*no scheduled maintenance)* yang lebih dikenal sebagai *run to failure* dipilih jika kegagalan yang terjadi jelas atau nampak dan tidak berdampak pada keselamatan atau lingkungan, atau jika kegagalan terjadi secara tersembunyi (*hidden failure*)

2. *Interval* Kegiatan

Interval kegiatan adalah jarak waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perawatan berdasarkan jenis kegiatan terpilih. *Task interval* ditentukan dengan dua pendekatan yaitu secara kualitatif, dan kuantitatif.

a. Analisa Kuantitatif

Analisa kualitatif dilakukan dengan mengadopsi rencana perawatan dari buku petunjuk perawatan (*manual book*) atau perencanaan perawatan yang ada selain itu juga berdasarkan pada analisa kualitatif pada tahapan analisa kegagalan.

b. Analisa Kualitatif

Analisa kuantitatif dilakukan bergantung dari hasil dari hasil distribusi waktu kegagalan (*time to failure*) dari masing-masing komponen kapal tunda (*Tugboat*).

2.8. Model Distribusi Probabilitas Keandalan

Gambar 2.4 Penggunaan Model Rumus Distribusi

Langkah awal dalam perhitungan keandalan suatu komponen atau peralatan adalah menentukan model distribusi probabilitas suatu komponen atau peralatan yang dinyatakan secara statistik. Gambar 2.4 adalah gambaran penggunaan rumus-rumus model distribusi yang digunakan dalam penelitian ini. Gambar 2.4 diatas merupakan distribusi probabilitas yang umumnya digunakan untuk perhitungan keandalan suatu komponen atau peralatan. Dibawah ini merupakan penjelasan dan rumus pada distribusi-distribusi diatas.

2.8.1. Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial merupakan distribusi yang banyak dipakai di dalam mengevaluasi keandalan sistem. Ciri utama dari distribusi ini adalah laju kegagalannya adalah konstan. Distribusi eksponensial sering digunakan untuk kerusakan peralatan yang diakibatkan oleh kerusakan komponen penyusun peralatan tersebut. Persamaan yang digunakan dalam distribusi ini (Lewis E., 1987) adalah sebagai berikut :

- Fungsi keandalan distribusi eksponensial adalah

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2.3)$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.4)$$

- Laju kegagalan distribusi eksponensial adalah

$$h(t) = \lambda \quad (2.5)$$

- *Mean Time to failure* distribusi eksponensial adalah

$$\text{MTTF} = \int_0^\infty R(t)dt \quad (2.6)$$

$$\text{MTTF} = 1/\lambda \quad (2.7)$$

2.8.2. Distribusi Weibull

Distribusi weibull merupakan distribusi yang sering digunakan pada perhitungan keandalan. Menurut (Lewis, 1994), distribusi weibull sering digunakan dalam perhitungan keandalan karena kemampuannya untuk dapat memodelkan berbagai perilaku kegagalan. Distribusi weibul terdiri atas 2 jenis parameter yaitu weibull 2 parameter dan weibull 3 rparameter. Parameter dari weibull 2 adalah parameter kemiringan (β) dan parameter skala (α).

Sementara parameter weibull 3 adalah parameter kemiringan (β), parameter skala (α) dan parameter lokasi (γ). Menurut Lewis E. (1987), persamaan yang digunakan dalam distribusi weibull 2 parameter antara lain :

- Fungsi keandalan distribusi weibull 2 parameter

$$R(t) = e^{-(\frac{t}{\alpha})^\beta} \quad (2.8)$$

- Laju kerusakan distribusi weibull 2 parameter

$$h(t) = \frac{\beta}{\alpha}(\frac{t}{\alpha})^{\beta-1} \quad (2.9)$$

- *Mean Time to failure* (MTTF) distribusi weibull 2 paramater

$$MTTF = \int_0^\infty e^{-(\frac{t}{\alpha})^\beta} = \alpha \times \exp\,(\text{GAMMALN}(1 + \frac{1}{\beta})) \quad (2.10)$$

Selain weibull 2 parameter, juga ada weibull dengan 3 parameter. Menurut (Lewis, 1994), persamaan yang digunakan dalam weibull 3 parameter antara lain :

- Fungsi keandalan distribusi weibull 3 parameter

$$R(t) = \begin{Bmatrix} 0, & t < \gamma \\ \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^\beta\right], & t \geq \gamma \end{Bmatrix} \quad (2.11)$$

- Laju kerusakan distribusi weibull 3 parameter

$$h(t) = \lambda(t)\begin{Bmatrix} 0, & t < \gamma \\ \frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1}, & t \geq \gamma \end{Bmatrix} \quad (2.12)$$

- *Mean Time to failure* (MTTF) distribusi weibull 3 paramater

$$MTTF = \int_0^{\infty} \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta}\right] dt = \alpha \times \exp(\text{GAMMALN}(1+\frac{1}{\beta})) + \gamma \quad (2.13)$$

2.8.3. Distrbusi Log-normal

Suatu komponen memiliki *time to failure* (t) yang diasumsikan berdistribusi log-normal apabila $y = \ln(t)$, mengikuti distribusi normal dengan rata-rata $t_0$dan variansinya adalah s. Menurut (Lewis, 1994), persamaan yang digunakan pada distribusi ini adalah sebagai berikut.

Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu komponen, subsistem, atau sistem mengikuti distribusi lognormal, maka:

- Fungsi keandalan distribusi lognormal

$$R(t) = 1 - \theta\left[\frac{1}{s}\ln\frac{t}{t0}\right] \quad (2.14)$$

- Laju kerusakan distribusi lognormal

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.15)$$

- *Mean Time to failure* (MTTF) distribusi lognormal

$$MTTF = \exp(t_0 + (0{,}5 \times s^2) \quad (2.16)$$

2.8.4. Distribusi Normal

Distribusi normal banyak digunakan dalam pemodelan probabilitas yang juga dikenal sebagai distribusi Gaussian. Distibusi normal memiliki dua parameter, yaitu *mean* (μ) dan *standard deviation* (σ) dari data *time to failure*. Distribusi normal berguna dalam penggambaran keandalan suatu komponen.

Jika distribusi suatu komponen, subsistem, atau sistem mengikuti distribusi normal, maka:

- Fungsi keandalan distribusi normal adalah

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (2.17)$$

- Laju kegagalan distribusi normal adalah

$$h(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}}\exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]\left[1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)\right]^{-1} \quad (2.18)$$

2.9. Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian ini didasarkan pada penelittian terdahula yang membahas perancangan aktivitas pemeliharaan dengan *Reliability Centered Maintenance.* Beberapa diantaranya yaitu penelitian yang dilakukan oleh Nurlaily Mufarikhah di PT. Dok dan Perkapalan Surabaya (DPS) di surabaya untuk dok apung (*floating dock*). Penelitian didasarkan pada produktivitas dok apung yang digunakan. PT. Dok dan Perkapalan Surabaya menerapkan menerapkan sistem *maintenance* secara berkala dengan *interval* 3 bulan, dan *corrective maintenance*. Perencanaan

perawatan yang tepat berdasarkan fungsi dari komponen atau fasilitas yang ada pada dok apung. Pemilihan *maintenance* juga disesuaikan dengan perbedaan nilai keandalan dari masing-masing komponen setelah dan sesudah diterapkanya perencanaan perawatan. Penelitian ini menghasilkan pemilihan kegiatan dan *interval* waktu pada perawatan yang tepat untuk komponen yang mempengaruhi *reliability* dari dok apung PT. Dok dan Perkapalan Surabaya.

Penelitian selanjutnya, dari Weny Yuliana yang melakukan penelitian pada sub sistem Evaporasi Pabrik Urea Kaltim-3 PT.Pupuk Kalimantan Timur. Pada penelitiannya aktivitas perencanaan yang dilakukan di PKT masih menunjukkan adanya *over* dan *under maintenance*, oleh karena itu itu penggunaan RCM untuk mengetahui fungsi, kegagalan fungsi, dan FMEA. Dari penelitiannya tersebut dihasilkan kebijakan perawatan dan pelaksana teknis. Serta, perhitungan persediaan *spare part* dengan memerhatikan lead time pemesanan komponen.

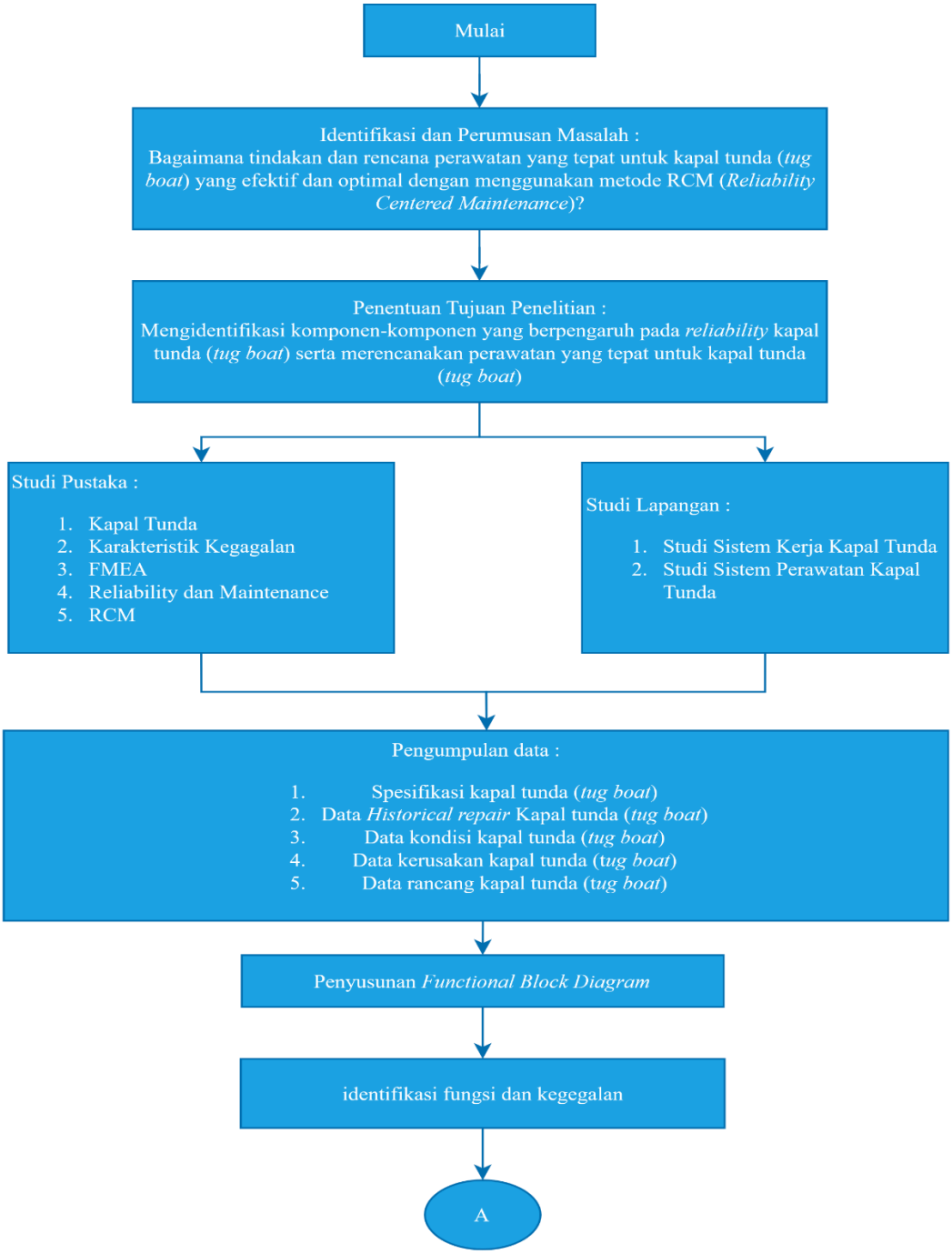
penelitian yang dilakukan oleh Dewi Novita di pabrik urea Kalimantan Timur-3 tepatnya di subsistem *waste water treatment*. Penelitian didasarkan pada permasalahan aktivitas pemeliharaan yang berupa *turn around* setiap 2 tahun sekali yang kurang efisien karena biaya pemeliharaan yang dikeluarkan oleh perusahaan semakin besar. Perancangan aktivitas pemeliharaan dengan menggunakan RCM II akan menghasilkan aktivitas pemeliharaan yang paling tepat berdasarkan fungsi dari peralatan atau komponen yang digunakan, baik berupa fungsi primer maupun fungsi sekunder. Selain itu penggunaan RCM pada penelitian ini juga akan menghasilkan *interval* pemeliharaan yang optimum yang dapat diaplikasikan pada peralatan yang ada pada *sub sistem waste water treatment*.

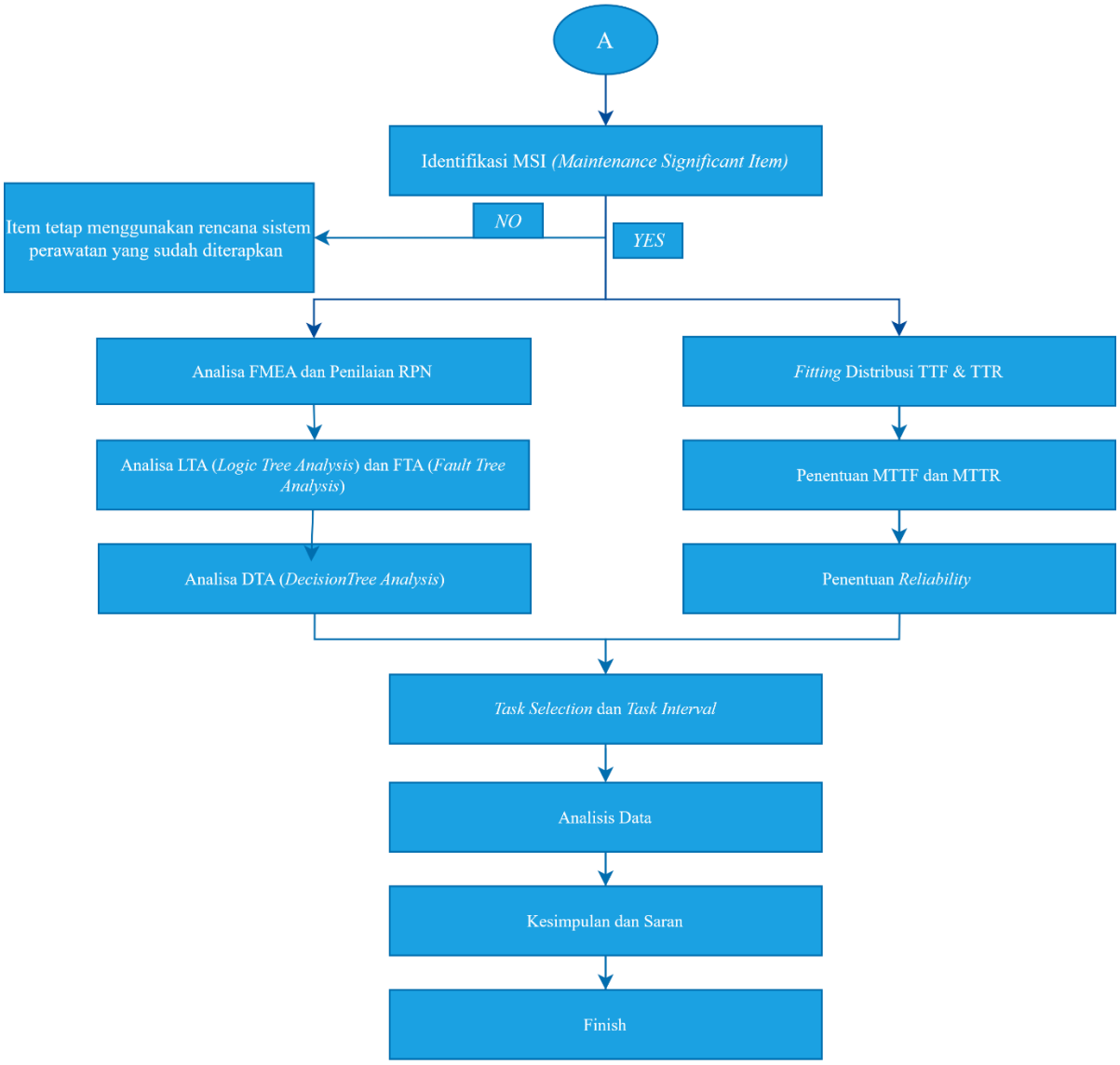
Pada penelitian terkait dengan penggunaan metode *Reliability Centered Maintenance* dalam perancangan pemeliharaan dan perencanaan *interval* yang optimal telah banyak dilakukan. Akan tetapi, penelitian hanya sampai pada tindakan dan perencanaan *interval maintenance* yang tepat. Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan perhitungan nilai keandalan sebelum dan sesudah tindakan *maintenance* untuk menentukan periode *maintenance*. Dari perhitungan nilai keandalan tersebut perusahaan dapat menafsirkan waktu yang paling optimal untuk dilakukan tindakan *maintenance*.

BAB 3
METODOLOGI

3.1. Bagan Alir

Sebuah penelitian tentunya membutuhkan metodologi yang jelas agar proses penelitian dapat dilakukan secara terstruktur. Metodologi penelitian yang digambarkan pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Bagan Alir Pengerjaan Tugas Akhir

3.2. Tahapan Pendahuluan Penelitian

Pada tahapan ini terdapat pembahasan singkat mengenai identifikasi dan perumusan masalah, tujuan penelitian, tahapan studi penelitian di lapangan dan terhadap pustaka yang digunakan.

3.2.1. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Tahapan pertama dalam penelitian ini adalah melakukan identifikasi dan perumusan masalah. Identifikasi masalah dilakukan dengan mencari permasalahan yang ada pada sebuah objek. Rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana tindakan dan rencana perawatan kapal tunda (*tugboat*) yang efektif dan optimal dengan menggunakan metode RCM (*Reliability Centered Maintenance*)?

3.2.2. Tujuan Penelitian

Tahapan kedua yang dilakukan setelah melakukan identifikasi dan perumusan masalah yaitu menentukan tujuan penelitian. Tujuan penelitian ini yaitu mengidentifikasi komponen/*item* yang berpengaruh pada *reliability* kapal tunda (*tugboat*) serta merencanakan perawatan yang tepat untuk kapal tunda (*tugboat*).

3.2.3. Studi Lapangan

Studi lapangan dengan cara observasi langsung dilakukan guna mengetahui kondisi *real* yang terjadi pada kapal tunda (*tugboat*). Studi lapangan juga berguna untuk memberi pehaman tambahan kepada penulis terkait bentuk dan kondisi kapal tunda (*tugboat*). Observasi lapangan berupa pengamatan proses *maintenance* secara langsung, diskusi dengan pihak terkait seperti ABK dan Divisi Teknik selaku operator, Peninjauan langsung kondisi dan sistem kerja kapal tunda.

3.2.4. Studi Pustaka

Tahapan Studi Pustaka dalam tugas akhir ini didapatkan dari sumber-sumber informasi seperti buku, jurnal, website dan hal-hal lain yang bisa menunjang pemecahan masalah yang dihadapi oleh penulis. Konsep pendukung tugas akhri ini adalah pengertian kapal tunda (*tugboat*), *Maintenance*, Keandalan, Karakteristik kegagalan, RCM *(Reliability Centered Maintenance*), dan perbandingan dengan penelitian terdahulu.

3.3. Tahapan Pengumpulan Data

Tahapan pengumpulan data pada tugas akhir ini dilakukan dengan mengumpulkan data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini akan dilakukan pengolahan data dengan menggunakan metode yang sudah ditetapkan. Data-data yang berhasil dikumpulkan oleh penulis didapatkan dari Divisi Teknik. Metode pengumpulan data yang dilakukan penulis terdiri dari dua yaitu:

3.3.1. Data Primer

Pengumpulan data primer berupa wawancara dengan operator serta melakukan observasi langsung yang dapat mendukung penilitian untuk mengidentifikasi komponen-komponen yang berpengaruh pada *reliability* kapal tunda (*tugboat*), kondisi kapal tunda (*tugboat*), sistem dan cara kerja kapal tunda (*tugboat*), mode kegagalan dan penanganan pada kerusakan yang terjadi di kapal tunda (*tugboat*).

3.3.2. Data Sekunder

Data Sekunder diperoleh dari server data divisi terkait berupa data kerusakan, waktu kerusakan, waktu perbaikan, dan gambar rancang kapal tunda (*tugboat*) yang akan digunakan dalam pengolahan data.

3.4. Tahapan Pengolahan Data dengan RCM (*Reliability Centered Maintenance)*

pengolahan data terhadap data-data terkait yang telah dikumpulkan pada tahap sebelumnya dengan menggunakan metode RCM. Tahapan ini dibagi menjadi beberapa tahap yaitu penyusunan *Functional Block Diagram*, identifikasi fungsi dan kegagalan, identifikasi MSI (*Maintenance Significant Item*), analisis FMEA dan penilaian RPN (*Risk Priority Number*), analisis FTA (*Fault Tree Analysis*), analisis LTA (*Logic Tree Analysis*), analisis DTA (*Decision tree analysis*) penentuan distribusi, penentuan MTTF dan MTTR, penentuan *reliability*, penentuan *failure rate*, dan pemilihan kegiatan (*task selection*) serta waktu kegiatan (*task interval*).

3.4.1. Penyusunan *Functional Block Diagram*

Penyusunan *Functional Block Diagram*, berupa sebuah susunan diagram yang dapat digunakan untuk mengatahui hubungan antara fungsi satu dengan lainya beserta dengan urutan dan ketergantungan satu dan lainya.

3.4.2. Identifikasi Fungsi dan Kegagalan

Selanjutnya adalah identifikasi fungsi dan kegagalan, setelah menyusun *functional Block Diagram*, fungsi dari masing-masing komponen dapat diketahui begitu juga dengan kegagalan yang akan terjadi dari komponen tersebut.

3.4.3. Identifikasi MSI (*Maintenance significant item*)

Tahapan setelah mengidentifikasi fungsi dan kegagalan dari komponen komponen yang ada pada kapal tunda (*tugboat*), identifikasi selanjutnya yang dilakukan adalah identifikasi MSI (*Maintenance significant item*) untuk mengetahui komponen apa saja yang mempengaruhi *reliability* kapal tunda (*tugboat*). Pada penelitian ini komponen-komponen yang masuk kedalam MSI yaitu komponen yang saling beririsan antara *item* yang berpengaruh pada *reliability* kapal tunda, dan penilaian didasarkan pada biaya kerusakan, nilai investasi, tingkat kerusakan, *Item* yang di inspeksi oleh klasifikasi seperti dan tingkat kejadian kerusakan atau menggunakan penilaian melalui kuisoner, komponen yang yang memiliki nilai diatas 1.5 akan dianalisis lebih lanjut. Komponen-komponen yang termasuk Non MSI akan tetap menggunakan sistem perawatan yang sudah ada tanpa adanya perubahan jadwal.

3.4.4. Analisis FMEA dan Penilaian RPN (*Risk Priority Number*)

Analisis lanjutan untuk komponen yang termasuk komponen MSI (*Maintenance significant item*) yaitu analisis FMEA dan penilaian RPN (*Risk Priority Number*). Analisa FMEA memberikan pengetahuan menganai mode kegagalan serta dapat di ketahui nilai RPN

dari masing-masing mode kegagalan yang ada.dilanjutkan dengan mengidentifikasi dampak dan rekomendasi tindakan dari mode kegagalan yang terjadi.

3.4.5. Analisis FTA (*Fault Tree Analysis*)

Berdasarkan hasil dari FMEA (*Failure mode and Effect Analysis*), analisis selanjutnya adalah analisis FTA yang akan menghasilkan beberapa penyebab (*basic event*) dari puncak kegagalan (*Top Event*) sehingga dapat diketahui jenis-jenis kejadian yang menyebabkan kegagalan.

3.4.6. Analisis LTA (*Logic Tree Analysis*)

Setelah melakukan analisis FMEA (*Failure mode and Effect Analysis*) dan FTA (*Fault Tree Analysis*), langkah selanjutnya yaitu melakukan analisa LTA (*Logic Tree Analysis*). Analisis LTA (*Logic Tree Analysis*) akan didapatkan konsekuensi dan klasifikasi *failure mode* yang telah didapat dari analisis FMEA dalam beberapa kategori. Sehingga dapat diketahui tingkat prioritas dalam penanganan masing-masing *failure mode*.

3.4.7. Analisis DTA (*Decision tree analysis*)

Tahapan selanjutnya untuk mengetahui *task selection* dilakukan analisa DTA (*Decision tree analysis*), DTA (*Decision tree analysis*) berupa diagram untuk menentukan jenis kegiatan yang sesuai untuk menanggulangi atau mengurangi konsekuensi dari kegagalan fungsi yang dialami komponen.

3.4.8. Penetuan Distribusi

Penentuan waktu distribusi antar kegagalan didasarkan pada *failure history* dengan menggunakan *software*. Masing-masing distribusi yang dipilih akan memiliki nilai beragam.

3.4.9. Penentuan Nilai MTTF (*Mean Time to Failure*) dan MTTR (*Mean Time to Repair*)

Setelah melakukan penentuan distribusi, maka akan didapat distribusi yang sesuai dengan *failure rate*. Untuk mendapatkan nilai MTTF dan MTTR, dibutuhkan data waktu antar kegagalan dan data waktu antar perbaikan masing-masing komponen yang termasuk MSI. Dari penilaian distribusi tersebut akan didapat variabel yang bisa digunakan untuk mentukan nilai MTTF dan MTTR.

3.4.10. Penentuan *Reliability*

Berdasarkan Penentuan parameter uji yang didapat dari *software*, maka dengan menggunakan persamaan yang ada pada BAB 2, dapat ditentukan nilai *reliability* sesuai dengan pada distribusinya, yang di plot dalam sebuah grafik hubungan antara nilai *reliability* dengan waktu operasional. Untuk nilai *reliability* yang dibutuhkan kapal tunda akan akurat jika sesuai dengan kebutuhan dari pengguna atau PIC (*Person in Charge*) dari kapal tunda.

3.4.11. Pemilihan Kegiatan dan Waktu *Maintenance*

Setelah didapat distribusi sampai pada penentuan distribusi sampai pada penetuan *failure rate*, langkah selanjutnya yaitu melakukan pemilihan kegiatan (*Task selection*). Pemilihan kegiatan disesuaikan dengan kondisi dari masing-masing komponen, dan berfungsi untuk menanggulangi atau mengurangi kerusakan atau kegagalan pada komponen, agar komponen tetap beroperasi sesuai dengan fungsinya. Setelah itu dilakukan penentuan waktu kegiatan (*task interval*) *maintenance* yang sesuai dan optimal untuk mejaga keandalan dari komponen.

3.5. Tahapan Analisis Data

Dari data yang didapat, akan dilakukan analisis berupa analisis kualitatif dan analisis kuantitatif. Data primer yang didapat berupa hasil wawancara akan dianalisis secara kuaitatif pada metode RCM (*Reliability Centered Maintenance*) terdiri dari analisa pemilihan MSI, FMEA, dan LTA. Sedangkan untuk data sekunder berupa data *historical repair* dan perbaikan akan dilakukan analisis kuantitatif dengan menggunakan distribusi pada metode RCM (*Reliability Centered Maintenance*).

3.6. Tahapan Kesimpulan dan Saran

Tahapan terakhir pada tugas akhir ini adalah penarikan kesimpulan dan saran. Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini akan menjawab tujuan dari penelitian ini. Dimana tujuannya adalah untuk mengetahui tindakan perawatan dengan metode RCM (*Reliability Centered Maintenance*) dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis kerusakan, tingkat keparahan, dampak kerusakan dan cara melakukan tindakan yang sesuai dengan tingkatan keparahan, serta tindakan rencana perawatan untuk kapal tunda (*tugboat*). Setelah melakukan penarikan kesimpulan, maka pemberian saran juga dilakukan pada tugas akhir ini. Saran ini diharapkan dapat membantu penelitian-penelitian selanjutnya yang sejenis dengan tugas akhir ini.

BAB 4
PENGUMPULAN DATA DAN PENGOLAHAN DENGAN METODE RCM

Pada BAB 4 ini akan dijelaskan mengenai gambaran umum kapal tunda, alur pelaksanaan perawatan dan perbaikan kapal tunda, pengumpulan dan pengolahan data yang telah dilakukan. Data yang didapat berupa data kualitatif dan data kuantitatif yang diproses menggunakan analisis RCM (*Reliability Centered Maintenance).*

4.1. Pengumpulan Data

Dalam Pengolahan data *historical* kerusakan dan perbaikan didapap berbagai dokumen pendukung untuk mngetahui kerusakan yang terjadi sampai perbaikan yang dilakukan untuk mengetahui seluruh perbaikan atau perawatan yang dilakukan, Acuan yang digunakan adalah *item* pada rekap realisasi anggaran tahunan. Perbaikan pada PT. X dilakukan oleh PT. X sendiri dan vendor/pihak ketiga. Dokumen yang dikeluarkan pun berbeda jika dikerjakan sendiri oleh PT. X maka menggunakan Dokumen *work order* (WO) dan akan ada pembelian komponen atau *item* yang digunakan untuk perawatan atau perbaikan dengan dilihat dengan dokumen *purchased order* (PO). Sedangkan jika PT. X menggunakan jasa pihak ketiga biaya yang dikeluarkan sudah termasuk jasa dan barang yang digunakan untuk perawatan atau perbaikandan dokumen yang dikeluarkan adalah surat perintah kerja (SPK). Kerusakan atau penggantian pada komponen yang dilakukan tertulis pada dokumen permintaan perbaikan (PP) Contoh *tracking* yang dilakukan adalah seperti pada Tabel 4.1 dibawah ini

Tabel 4.1 Tabel *Tracking* Perawatan dan Perbaikan

No	Warna	Nomor PP	Tanggal PP	Nomor PO/SPK	Tanggal PO/SPK	Pekerjaan	Jenis pekerjaan	Sub Kegiatan	Penyedia Barang/Jasa	Alamat	Biaya Anggaran (Rp)
40				PO/2019/II/PMS-0019	7-Feb-19		Main Engine	ACCU GS AM PREMIUM GSPR-N200 KT KRESNA 306	KOPERASI PEGAWAI PT. PELINDO MARINE	JL. PRAPAT	25,560,500
41								KT KRESNA 306 KT KRESNA 306			599,238
42		PP0050/KRES/2/I/2019	28/01/2019			Perbaikan Sistem Propulsi Kanan SRP 1010 FP KT Kresna 306	SRP	Sistem Propulsi Kanan KT KRESNA 306			160,000,000
43								KT KRESNA 306 KT KRESNA 306			309,686
44				PO/2019/II/PMS-0074	19-Feb-19		Shaft	V SEAL KT KRESNA 306	PT. TESCO INDOMARITIM	JL. STASIU	3,000,000
45				PO/2019/II/PMS-0074	19-Feb-19		Shaft	FIXING RING KT KRESNA 306	PT. TESCO INDOMARITIM	JL. STASIU	2,048,000
46								SUBENO			170,000
47		PP0027/KRES/2/II/2019	18/02/2019	SPK/2019/V/PMS-0050	17-May-19	PERBAIKAN INTERCOOLER KAPAL KT KRESNA 306	Intercoller	RENDAM CHEMICAL KT KRESNA 306	BENGKEL SEMPURNO JOYO	JL. SAMPU	1,725,000
48		PP0027/KRES/2/II/2019	18/02/2019	SPK/2019/V/PMS-0050	17-May-19	PERBAIKAN INTERCOOLER KAPAL KT KRESNA 306	Intercoller	CEK PIPA SELUBUNG KT KRESNA 306	BENGKEL SEMPURNO JOYO	JL. SAMPU	1,325,000
49		PP0027/KRES/2/II/2019	18/02/2019	SPK/2019/V/PMS-0050	17-May-19	PERBAIKAN INTERCOOLER KAPAL KT KRESNA 306	Intercoller	WATER PRESSURE KT KRESNA 306	BENGKEL SEMPURNO JOYO	JL. SAMPU	550,000
50								DAMPER GP-BA KT KRESNA 306			156,056,422

Dari tabel diatas dapat diketahui tanggal dan jenis kerusakan yang terjadi dan tanggal perbaikan yang dilakukan dilakukan, sedangkan perawatan dapat dilihat dari pembelian *item* atau komponen. Terdapat juga kusakan yang tidak diperbaiki. Penjelasan dapat dilihat dari kode warna sesuai dengan petunjuk Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Kode Warna Sesuai Kelengkapan Dokumen

Warna	Keterangan
	Hanya ada PO/SPK
	Hanya ada PP
	Lengkap (PP, PO, SPK)
	Tidak Ada (PP, PO, SPK)

Data-data yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari server data EPMS milik PT. X. Data yang didapat digunakan untuk dianalisis dengan menggunakan metode RCM. Data yang digunakan untuk analisis kuantitatif adalah data *time to failure* atau waktu antar kerusakan, data *time to repair* atau waktu perbaikan komponen Kapal Tunda yang diperoleh dari *historical data.*

4.2. Pengolahan Data dengan RCM (*Reliability Centered Maintenance*)

Pengolahan data dengan RCM terdiri dari beberapa tahap yaitu, penyusunan *Functional Block Diagram* (FBD), identifikasi fungsi dan kegagalan, identifikasi *Maintenance significant item* (MSI), analisis *Failure mode and Effect Analysis* (FMEA) dan penilaian RPN (*Risk Priority Number*), analisis FTA (*Fault Tree Analysis*), analisis *Logic Tree Analysis* (LTA), fitting distribusi TTF dan TTR, penentuan MTTF dan MTTR, penentuan *reliability*, dan *task selection*. Dari beberapa tahap ini hanya dapat dilakukan optimal apabila didukung dengan adanya koleksi data, maka data awal yang memperlihatkan deskripsi sistem sangat diperlukan. Data tersebut diperoleh dari server EPMS milik PT. X dan studi pustaka. Berikut adalah data kapal tunda yang digunakan seperti pada Tabel 4.3:

Tabel 4.3 Data Kapal Tunda

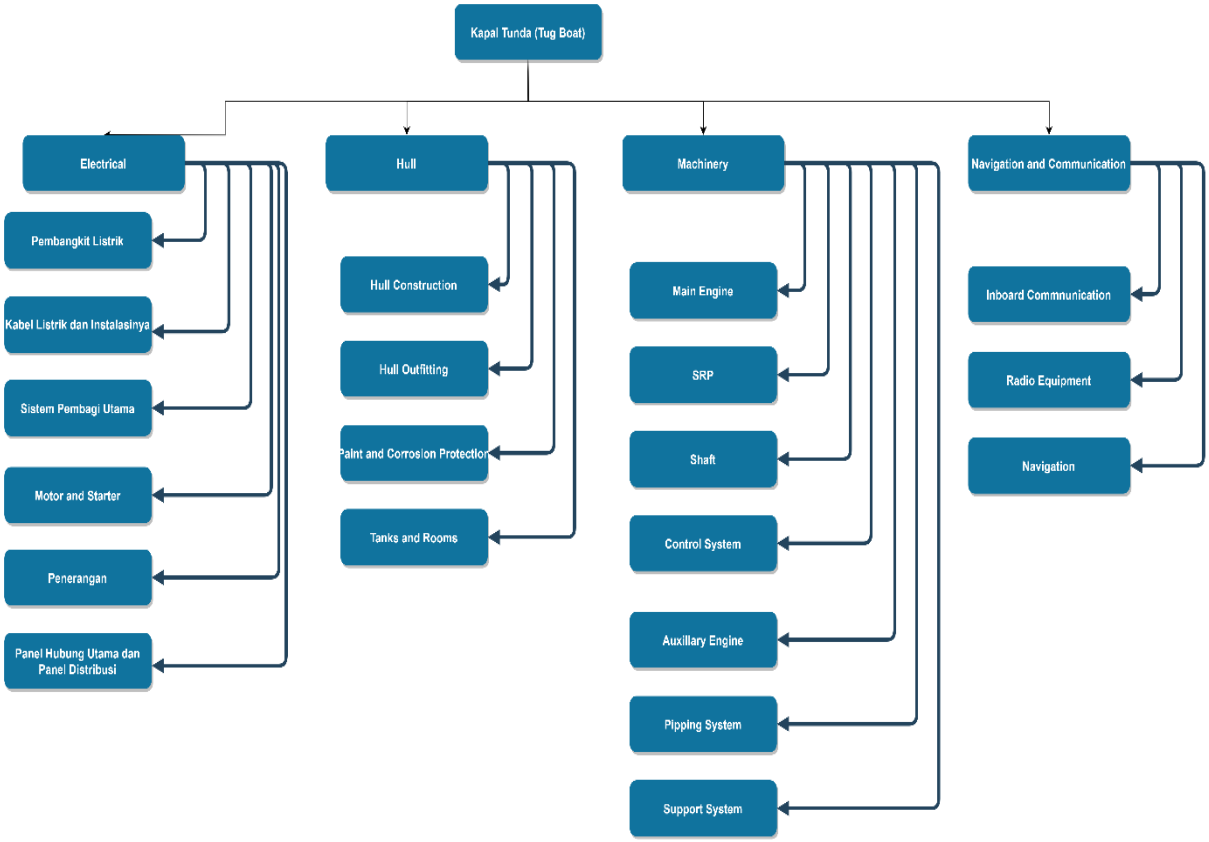
NO	NAMA	HP M/E	GT	*LENGTH*	*BREADTH*	HP A/E	JENIS KAPAL	TAHUN
1	KT. A	2 x 1000 HP	188 tons	-	-	2 x 129 HP	Kapal Tunda	2001
2	KT. B	2 x 1600 HP	371 tons	32 m	10 m	2 x 120 HP	Kapal Tunda	2002
3	KT. C	2 x 1000 HP	326 tons	30 m	17 m	2 x 220 HP	Kapal Tunda	2010
4	KT. D	2 x 1800 HP	321 tons	33 m	9 m	2 x 250 HP	Kapal Tunda	2007

Tabel 4.3 menunjukan kapasitas mesin induk dan mesin bantu yang digunakan masing masing kapal tunda. Faktor utama adalah umur dari kapal tunda tersebut sehingga dapat

diketahui *trend* kerusakan yang terjadi pada kapal dengan *range* umur kapal tertentu. Terdapat dua *range* umur kapal yang digunakan yaitu dengan umur 11-15 Tahun yang di representasikan oleh KT. C dan KT. D dan umur 16-20 Tahun yang di representasikan oleh KT. A dan KT. B. Dengan *range* kapasitas mesin induk yang digunakan 1000 HP sampai dengan 1800 HP.

4.2.1. Penyusuan *Functional Block Diagram*

Penyusunan *Functional Block Diagram* pada kapal tunda (*tugboat*) bertujuan untuk mengetahui urutan proses sistem dan urutan dari sistem, sub sistem dan komponen. Dalam melakukan penyusunan *Functional Block Diagram* (FBD) kapal tunda (*tugboat*) berdasarkan pada gambar kapal tunda yang di peroleh dari divisi teknik, dan berdasarkan dari studi pustaka untuk mendapatkan informasi mengenai sistem kerja, urutan atau level sistem, sub sistem dan komponen kapal tunda, dari studi pustaka dan gambar dari divisi teknik. Sub sistem dari kapal tunda terdiri dari *Hull*, *Machinery*, dan *Electrical*. Selain melakukan penyusunan *Functional Block Diagram*, juga perlu melakukan penyusunan *Reliability Block Diagram* (RBD) untuk mengetahui hubungan antar sub sistem kapal tunda (*tugboat*). Untuk contoh *Functional Block Diagram* diagram pada kapal tunda (*tugboat*) dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 *Functional Block Diagram* antara Sistem, *Functional Group*, dan sub sistem

4.2.2. Identifkasi Fungsi dan Kegagalan

Setelah melakukan penyusunan *Functional Block Diagram* (FBD) langkah selanjutnya yaitu melakukan identifikasi fungsi dan kegagalan dari komponen-komponen kapal tunda (*tugboat*). Identifikasi fungsi dilakukan untuk merinci fungsi-fungsi semua peralatan/*item* kapal tunda (*tugboat*), mulai dari level sistem, sub sistem sampai pada level minimum yang ingin dicapai. Identifikasi tersebut berguna untuk menghindari terabaikannya fungsi-fungsi *potential* atau menghindari terjadinya tumpang tindih sistem yang berdekatan. Identifikasi kegagalan digunakan untuk mengetahui kegagalan setiap komponen-komponen kapal tunda, mulai dari level sistem, sub sistem sampai pada komponen. Semua fungsi dan bentuk kegagalan komponen-komponen kapal tunda dicatat yang selanjutnya dianalisis mode-mode kegagalan yang menyebabkan kegagalan fungsional tersebut, tabel identifikasi fungsi dan kegagalan pada level sistem seperti pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 dibawah ini.

Tabel 4.4 Identifikasi Fungsi dan Kegagalan *Functional Group*

No	Functional Group	Fungsi	Kegagalan
1	Kapal Tunda (*Tugboat*)	Sarana pelayanan jasa pandu dan tunda kapal pada pelabuhan	Kapal mengalami kerusakan mesin induk untuk menunjang sistem propulsi oleh karena itu tidak bisa melakukan proses pandu dan tunda

Tabel 4.5 Identifikasi Fungsi dan kegagalan Sistem

No	Sistem	Fungsi	Kegagalan
1	Hull	Sebagai struktur kapal yang memebrikan daya apung dan tempat komponen yang ada pada kapal	Lambung dan konstruksi menipis dan keropos karena terjadi korosi
2	Instalasi Permesinan	Untuk sumber energi yang dibutuhkan untuk operasional kapal tunda	Kerusakan pada instalasi permesinan, sehingga tidak ada daya propulsi yang dihasilkan ke unit SRP
3	Instalasi Kelistrikan	Untuk menyalurkan energi pada komponen elektrik operasional kapal	Kerusakan pada instalasi listrik, sehingga tidak bisa menyalurkan sumber energi ke unit unit elektrik

No	Sistem	Fungsi	Kegagalan
4	Nautika	Untuk pandu penentu posisi, arah, komunikasi pada suatu kapal	alat komunikasi dan navigasi tidak dapat beroperasi dengan maksimal

Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 diatas, merupakan identifikasi fungsi dan kegagalan dari functional group (*Tugboat*) dan sistem. Dari pendeskripsian fungsi dan kegagalan fungsi maka data diketahui kriteria kegagalan atau kerusakannya. Untuk tabel identifikasi fungsi dan kegagalan functional group dan komponen dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.6 Identifikasi Fungsi dan kegagalan Sub-Sistem

No	Sub Sistem	Fungsi	Kegagalan
1	*Hull Outfitting*	unit atau instalasi yang dibuthkan untuk operasi dan tambat pada kapal	unit mengalami kerusakan dan tidak dapat berfungsi proses operasi
2	*Hull Construction*	Sebagai kekuatan utama kapal untuk menahan beban yang berasal baik dari dalam kapal maupun dari luar kapal	unit mengalami kerusakan dan tidak dapat memenuhi kebutuhan dan persyaratan minimum
3	*Paint and Corrosion Protection*	Agar badan kapal dapat terlindungi dari efek korosi yang berasal dari lingkungan luar	kompnen cat terkelupas dan menipis

Tabel 4.7 Identifikasi Fungsi dan kegagalan Komponen

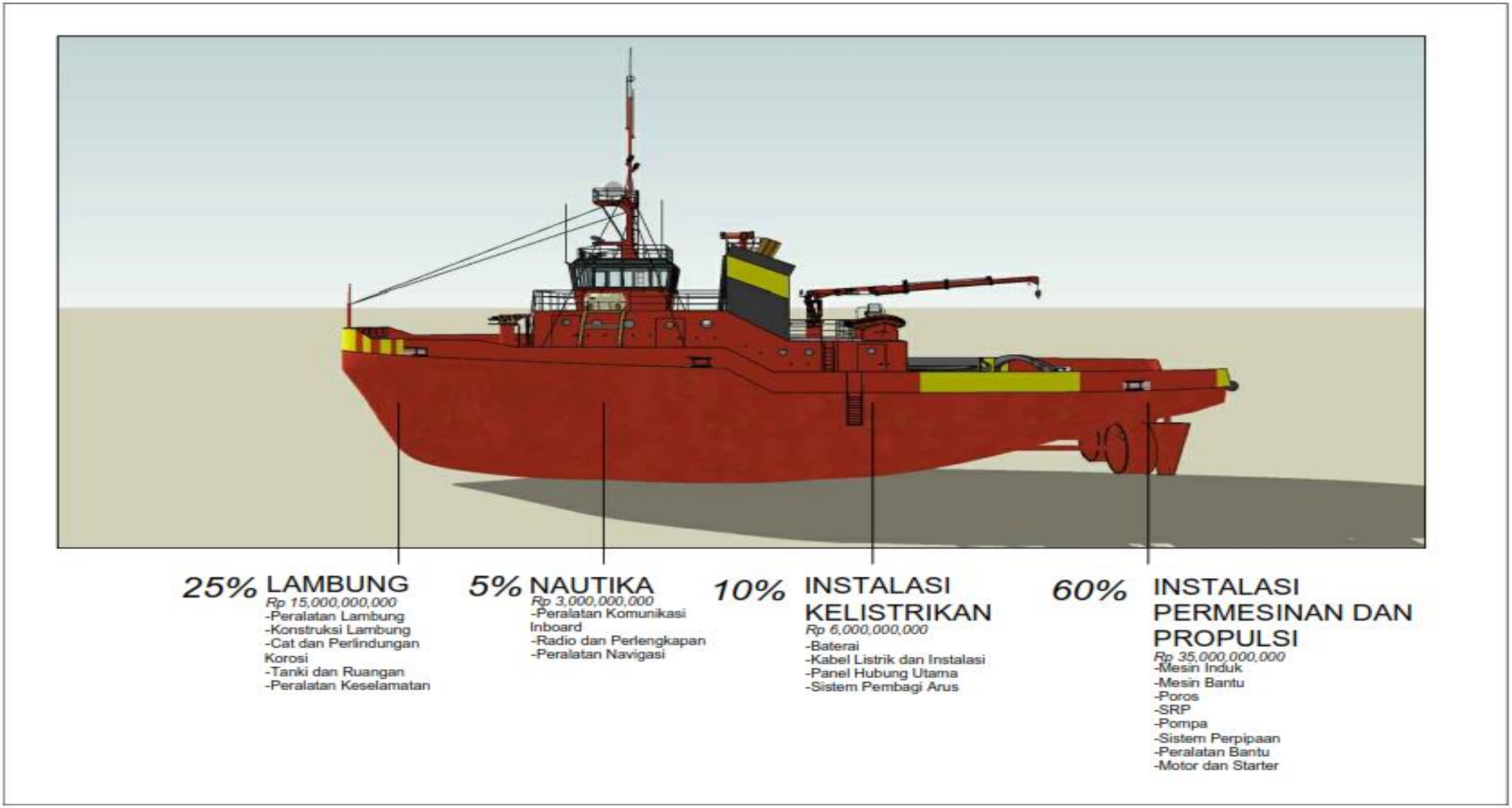
No	Komponen	Fungsi	Kegagalan
1	*Winch*	untuk mengencangkan atau mengendrokan tali tambat/ tali tunda pada kapal	terjadi kerusakan dan tidak dapat menggulung tali tambat/tali tunda
2	Windlass (fore)	untuk menaikan dan menurunkan jangkar dengan menarik atau mengulur rantai jangkar	terjadi kerusakan dan tidak dapat menggulung rantai jangkar

No	Komponen	Fungsi	Kegagalan
3	Fender	untuk meredam benturan dengan kapal lain saat pengoperasian kapal tunda	terjadi kerusakan tidak dapat meredam tekanan
4	Deck crane	untuk memindahkan suplai barang ke dalam atau keluar kapal	terjadi kerusakan tidak dapat berfungsi
5	Anchor and chain cable	sebagai alat tambat dari kapal tunda	Putus dan terjadi kerusakan

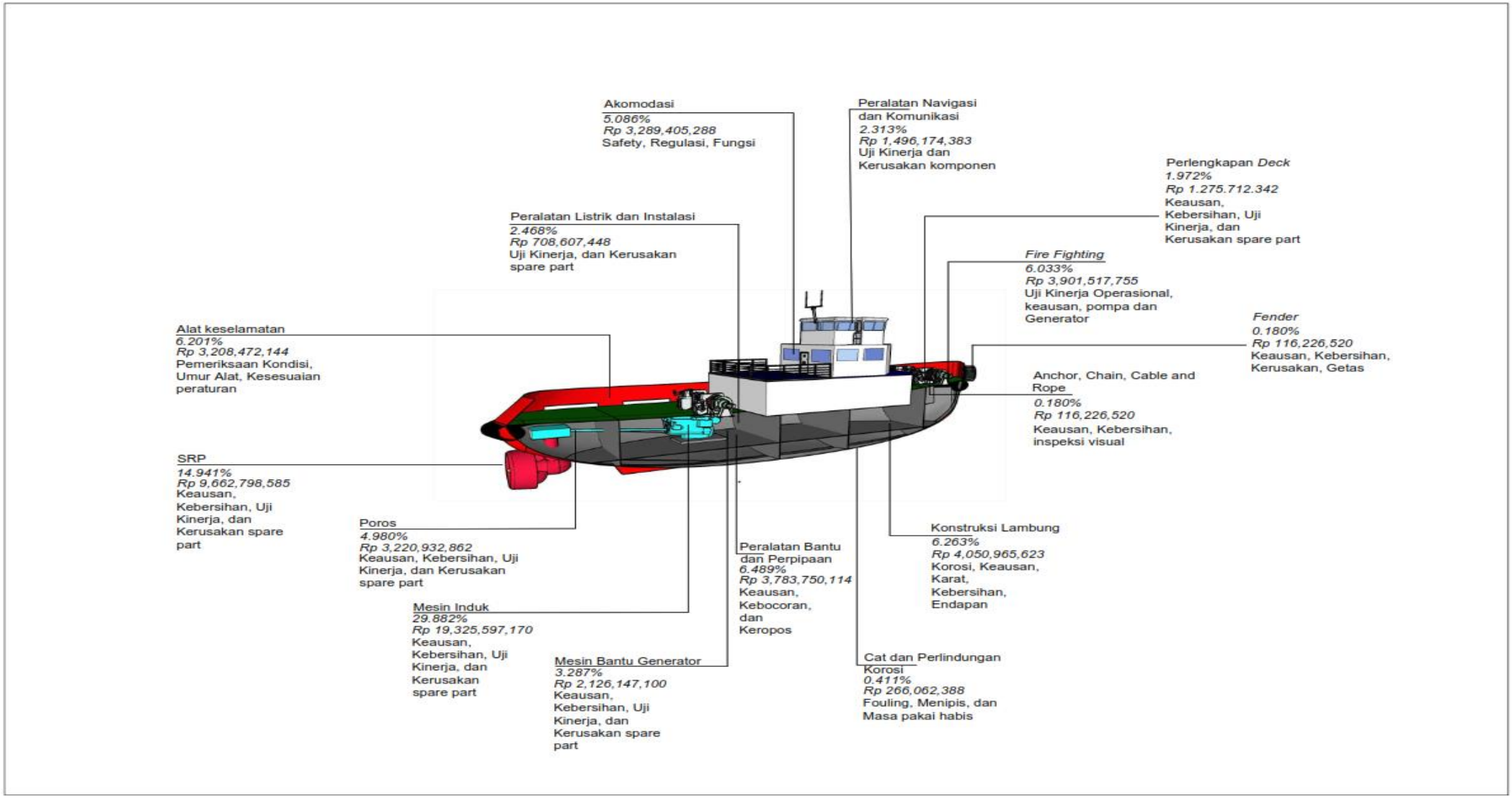
Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 diatas, merupakan contoh identifikasi fungsi dan kegagalan dari Sub-sistem (*Tugboat*) dan komponen dari masing-masing sub-sistem. Dari pendeskripsian fungsi dan kegagalan fungsi maka data diketahui kriteria kegagalan atau kerusakannya. Untuk tabel identifikasi fungsi dan kegagalan functional group dan komponen dapat dilihat pada lampiran.

4.2.3. Identifikasi *Maintenance significant item* (MSI)

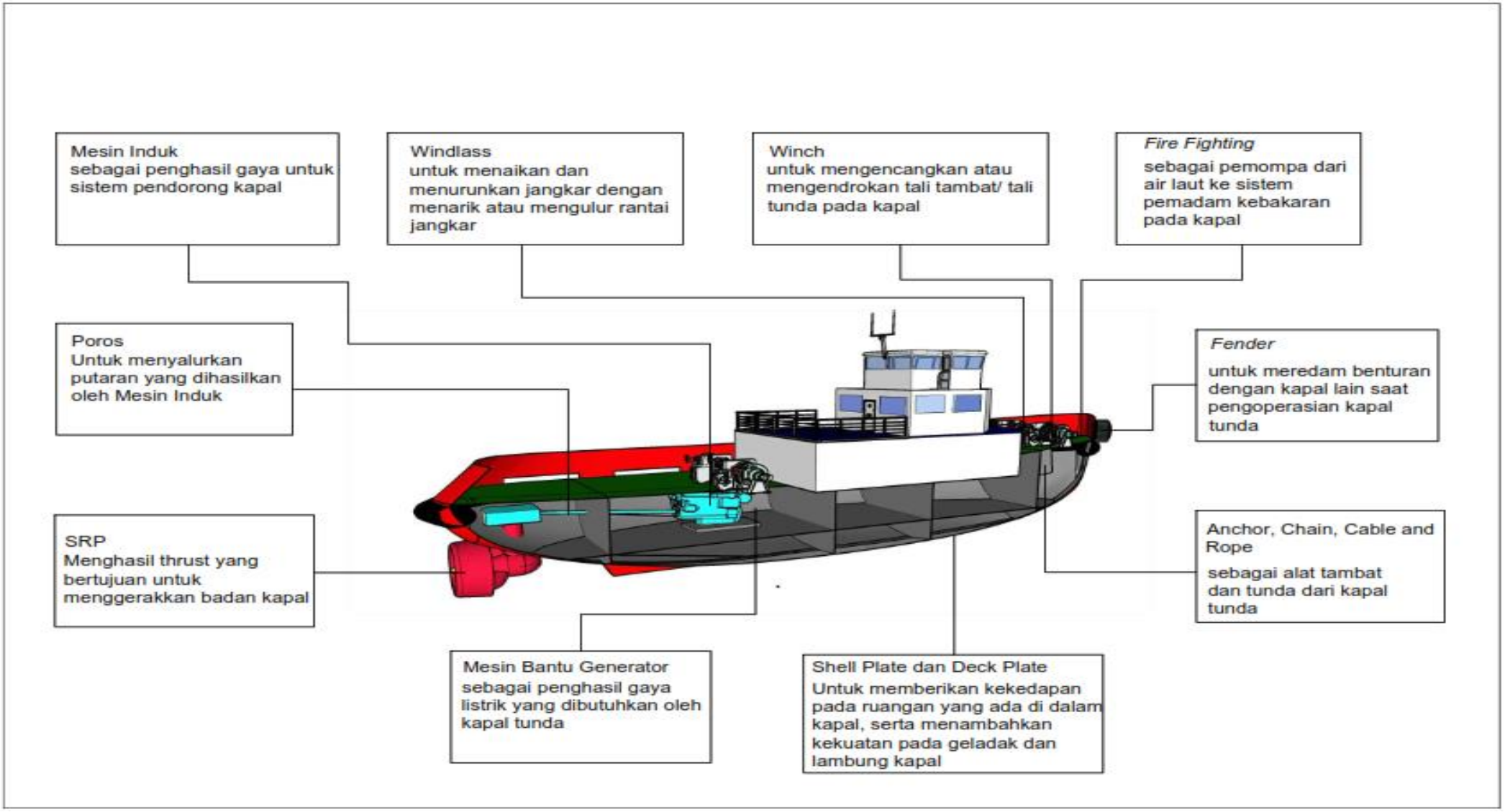
Tahap selanjutnya setelah melakukan identifikasi fungsi dan kegagalan yaitu penentuan komponen *Maintenance significant item* (MSI). Dari semua komponen-komponen kapal tunda (*tugboat*) dilakukan analisa *Maintenance significant item* (MSI), yang saling beririsan antara *item* yang berpengaruh pada *reliability* kapal tunda seperti pada Gambar 4.4 *item*, biaya kerusakan yang diperoleh dari harga rata-rata satu kali kerusakan pada masing-masing komponen, nilai investasi seperti pada Gambar 4.2 dimana nilai investasi untuk keseluruhan kapal tunda diasumsikan senilai Rp. 65.000.000.000 yang diperoleh dari literatur mengenai pembiayaan kapal tunda oleh bank, tingkat kerusaskan dari data *historical*, *Item* yang di inspeksi oleh klasifikasi dan nilai investasi masing-masing komponenya seperti yang ada pada Gambar 4.3 sesuai dengan klasifikasi dan tingkat kejadian kerusakan data *historical* maka termasuk kedalam komponen MSI, Komponen-komponen dari kapal tunda (*tugboat*) yang akan dilakukan analisis selanjutnya yaitu komponen-komponen MSI. Hasil dari penentuan *Maintenance significant item* (MSI) dapat dilihat pada bab V.



Gambar 4.2 Nilai Investasi Aset Kapal Tunda



Gambar 4.3 *Item* Inspeksi pada Kapal Tunda



Gambar 4.4 *Item Reliability* Kapal Tunda

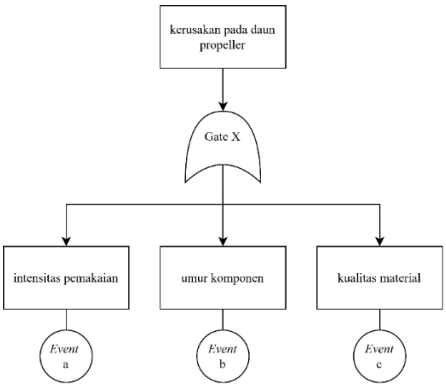
4.2.4. Identifikasi FMEA (*Failure mode and Effect Analysis*) dan Penilaian RPN

FMEA merupakan teknik analisa yang sistematis untuk menganalisa kegagalan fungsional yang berkaitan dengan fungsi sistem. Proses analisa FMEA dilakukan pada komponen *Maintennace Significant Item* (MSI). Pada tahap ini semua komponen yang termasuk ke dalam komponen MSI di analisa tiap-tiap mode kegagalan yang menjadi kegagalan fungsional, dampak kegagalan dan nilai *risk priority number* (RPN). Nilai *risk priority number* (RPN) ditentukan oleh tiga faktor yaitu tingkat keperahan (*severity*), tingkat kejadian (*occurance*), dan tingkat deteksi (*detection*). Dari masing-masing faktor diatas mempunyai nilai 1 sampai 10, dimana nilai 1 merupakan nilai yang paling tidak berpengaruh, sedangkan nilai 10 merupakan nilai yang paling berpengaruh.

Analisis FMEA (*Failure mode and Effect Analysis*) dan penilaian RPN (*Risk Priority Number*). Dari hasil analisa FMEA kapal tunda (*tugboat*) teridentifikasi mode-mode kegagalan yang menyebabkan terjadinya kegagalan fungsional akibat kegagalan-kegagalan fungsional dari komponen MSI, tingkat *severity, occurance,* dan *detection*. Serta rekomendasi kegiatan dan penilaian RPN. Untuk hasil FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dan penilaian RPN (*Risk Priority Number*) dapat dilihat pada BAB 5.

4.2.5. Identifikasi FTA (*Fault Tree Analysis*)

Identifikasi FTA (*Fault Tree Analysis*) digunakan untuk mengidentifikasi kegagalan yang terjadi pada *top event* yang telah didapat pada identifikasi FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*). Identifikasi FTA dilakukan dengan menjabarkan penyebab dari kegagalan (*top event*) yang kemudian disebut sebagai “AND GATE” atau “OR GATE” dimana dari AND GATE atau OR GATE tersebut dapat diketahui kegagalan dasarnya (*basic event*).



Gambar 4.5 Diagram *Fault Tree Analysis*

Gambar 4.5 diatas, merupakan identifikasi FTA pada kerusakan daun *propeller*, dapat dilihat bahwa kerusakan tersebut disebabkan oleh tiga faktor yaitu umur komponen, intensitas

pemakaian, dan kualitas material. Sehingga, ketiga faktor diatas disebut sebagai *basic event* (kegagalan dasar). Untuk identifikasi FTA dari kapal tunda dapat dilihat pada Lampiran.

4.2.6. Identifikasi LTA (*Logic Tree Analysis*)

Pada tahap analisis LTA (*Logic Tree Analysis*) dilakukan *critical analysis* terhadap konsekuensi dari *failure mode* yang telah di analisis pada tahap FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*). Pada tahap ini digunakan tiga pertanyaan logis yang sederhana atau struktur keputusan. Tiga pertanyaaan tersebut meliputi *evident*, *safety* dan *outage*. Sehingga setelah diketahui secara akurat dan cepat dari ketiga pertanyaan tersebut, langkah selanjutnya *failure mode* dapat dikategorikan berdasarkan ketentuan kategori A, B, C, dan D seperti yang telah dijelaskan pada BAB 2. Untuk identifikasi LTA dapat dilihat pada BAB 5.

4.2.7. Penentuan TTF

Penetuan TTF didapat dari tanggal terjadinya kerusakan pada komponen MSI kapal tunda, dengan beberapa asumsi jam operasional perhari dikarenakan keterbatasan informasi mengenai jam tempuh operasional masing-masing kapal tunda. Berikut adalah contoh TTF (*time to failure)* pada komponen MSI yaitu mesin bantu yang terjadi pada KT. A, seperti yang terlihat pada Tabel 4.8:

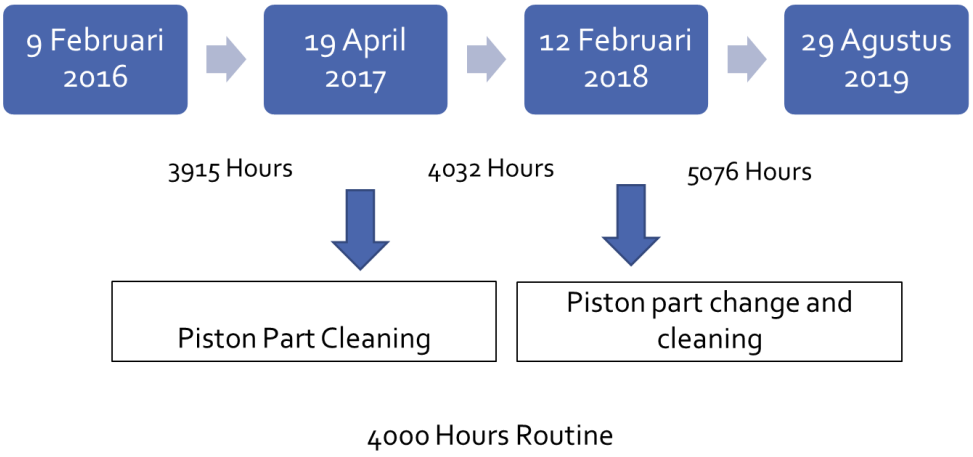
Tabel 4.8 Contoh TTF (*Time to failure*) pada mesin induk KT. B

Tanggal Kejadian	*Time to failure* (Hari)	24 jam/ hari (Jam)	18 Jam/ hari (Jam)	12 jam/ hari (Jam)	9 jam/hari (Jam)
27-Jan-15	50	1200	900	600	450
18-Mar-15	15	360	270	180	135
2-Apr-15	69	1656	1242	828	621
10-Jun-15	28	672	504	336	252
8-Jul-15	203	4872	3654	2436	1827
27-Jan-16	7	168	126	84	63
3-Feb-16	6	144	108	72	54
9-Feb-16	65	1560	1170	780	585
14-Apr-16	7	168	126	84	63
21-Apr-16	96	2304	1728	1152	864
26-Jul-16	3	72	54	36	27
29-Jul-16	14	336	252	168	126
12-Aug-16	4	96	72	48	36
16-Aug-16	22	528	396	264	198
7-Sep-16	6	144	108	72	54
13-Sep-16	56	1344	1008	672	504

Tanggal Kejadian	*Time to failure* (Hari)	24 jam/ hari (Jam)	18 Jam/ hari (Jam)	12 jam/ hari (Jam)	9 jam/hari (Jam)
8-Nov-16	66	1584	1188	792	594
13-Jan-17	14	336	252	168	126
27-Jan-17	32	768	576	384	288
28-Feb-17	22	528	396	264	198
22-Mar-17	7	168	126	84	63
29-Mar-17	21	504	378	252	189
19-Apr-17	1	24	18	12	9
20-Apr-17	279	6696	5022	3348	2511
24-Jan-18	19	456	342	228	171
12-Feb-18	149	3576	2682	1788	1341
11-Jul-18	117	2808	2106	1404	1053
5-Nov-18	46	1104	828	552	414
21-Dec-18	10	240	180	120	90
31-Dec-18	25	600	450	300	225
25-Jan-19	7	168	126	84	63
1-Feb-19	17	408	306	204	153
18-Feb-19	25	600	450	300	225
15-Mar-19	18	432	324	216	162
2-Apr-19	20	480	360	240	180
22-Apr-19	11	264	198	132	99
3-May-19	54	1296	972	648	486
26-Jun-19	57	1368	1026	684	513
22-Aug-19	7	168	126	84	63
29-Aug-19	13	312	234	156	117
11-Sep-19	1	24	18	12	9
12-Sep-19	4	96	72	48	36
16-Sep-19	65	1560	1170	780	585
20-Nov-19	8	192	144	96	72
28-Nov-19					

Seperti yang terlihat pada selisih hari antara kerusakan mesin bantu pada KT. A bersifat *random* tetapi jika dilihat dengan asumsi pada waktu operasi kapal tunda dalam sehari dapat dianalisa dengan mencocokan *schedule* perawatan dari *maker* dengan *running hours* yang diasumsikan. Asumsi *running hours* itu sendiri terbagi menjadi empat yaitu 24 jam sehari,18 jam sehari, 12 jam sehari, dan 9 jam sehari. Pemeriksaan yang dilakukan pada setiap *running hours* begitu juga dengan hasil pemeriksaan yang didapat. Pemeriksaan sesuai *running hours* juga terbagi menjadi beberapa, yaitu 250/350 *hours*, 500 *hours*, 700 *hours*, 1000 *hours*, 2000

hours, 4000/5000 *hours*, 8000/10000 *hours*, 15000 *hours*, dan 20000/25000 *hours*. Contoh terjadinya perawatan berdasarkan *running hours* dapat dilihat pada contoh perawatan piston KT. B, seperti pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Ilustrasi Perawatan Sesuai *Running Hours*

Sehingga dapat dilihat perawatan yang diterapkan saat ini sesuai dengan *running hours* dari mesin induk yang termasuk komponen MSI pada kapal tunda, pada ilustrasi terlihat bahwa kegiatan pembersihan piston terjadi setelah 4000 *running hours* dengan asumsi mesin induk bekerja 9 jam perhari. Kegiatan pembersihan piston dilakukan pada pengulangan perawatan 4000 *running hours*, dan bertepatan dengan perawatan 8000 *running hours* bagian dari yang mengalami perlu untuk diganti sehingga pada 8000 *running hours* dilakukan pembersihan dan penggantian bagian dari piston. Sedangkan untuk selain mesin dan kejadian tidak terduga yang terjadi pada mesin menggunakan *corrective maintenance* yang tergolong sebagai *no schedule Maintenance*.

4.2.8. *Fitting Time to failure* (TTF) dan *Time to repair* (TTR)

Fitting distribusi *time to failure* dan *time to repair* dari setiap komponen yang termasuk *Maintenance significant item* pada kapal tunda menggunakan *software* minitab 18. *Fitting* distribusi *Time to failure* dan *time to repair* dilakukan pada komponen MSI yang memiliki RPN tertinggi dari hasil FMEA (*Failure mode and Effect Analysis*). Contoh *fitting* yang digunakan pada studi ini dilakukan pada mesin induk, SRP, dan mesin bantu kapal tunda KT. B dengan *availability* paling rendah diantara kapal tundai yang dijadikan subjek studi. Seperti yang terlihat pada Tabel 4.9 adalah contoh rekapan TTF dan TTR dari mesin induk KT. B.

Tabel 4.9 Data TTF dan TTR

Tanggal	TTF	TTR	Tanggal	TTF	TTR	Tanggal	TTF	TTR
27-Jan-15	50	2	8-Nov-16	66	1	18-Feb-19	25	1
18-Mar-15	15	1	13-Jan-17	14	1	15-Mar-19	18	1
2-Apr-15	69	1	27-Jan-17	32	2	2-Apr-19	20	1
10-Jun-15	28	1	28-Feb-17	22	2	22-Apr-19	11	1
8-Jul-15	203	1	22-Mar-17	7	1	3-May-19	54	1
27-Jan-16	7	1	29-Mar-17	21	1	26-Jun-19	57	3
3-Feb-16	6	2	19-Apr-17	1	2	22-Aug-19	7	1
9-Feb-16	65	2	20-Apr-17	279	2	29-Aug-19	13	2
14-Apr-16	7	3	24-Jan-18	19	1	11-Sep-19	1	2
21-Apr-16	96	2	12-Feb-18	149	7	12-Sep-19	4	3
26-Jul-16	3	1	11-Jul-18	117	1	16-Sep-19	65	1
29-Jul-16	14	2	5-Nov-18	46	1	20-Nov-19	8	1
12-Aug-16	4	1	21-Dec-18	10	1	28-Nov-19		1
16-Aug-16	22	2	31-Dec-18	25	2			
7-Sep-16	6	1	25-Jan-19	7	1			
13-Sep-16	56	1	1-Feb-19	17	1			

Time to failure dimasukan kedalam *worksheet* dari minitab kemudian dilakukan *distribution plot* pada dari *reliability*/*survival* untuk mengetahui dsitribusi apa yang paling cocok untuk digunakan, dilihat dari nilai *Correlation Coefficient* yang paling tinggi pada *goodness of fit* seperti pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Tabel *Goodness of Fit*

Distribution	*Anderson-Darling (adj)*	*Correlation Coefficient*
Weibull	1,287	0,977
Lognormal	0,524	0,992
Exponential	2,884	*
Loglogistic	0,540	0,992
3-Parameter Weibull	0,917	0,983
3-Parameter Lognormal	0,521	0,994
2-Parameter Exponential	3,147	*
3-Parameter Loglogistic	0,553	0,992

Distribution	*Anderson-Darling (adj)*	*Correlation Coefficient*
Smallest Extreme Value	12,263	0,684
Normal	5,236	0,804
Logistic	4,587	0,816

Seperti yang terlihat, distribusi TTF mesin induk KT. B mimiliki nilai *correlation coefficient* paling tinggi adalah 3 parameter lognormal dengan nilai 0,994 setelah mengatahui distribusi yang paling sesuai untuk TTF tersebut, dilakukan *distribution overview* untuk mengetahui Parameter dari distribusi pada Tabel 4.11 dan *Characteristic* dari distribusi seperti pada Tabel 4.12.

Tabel 4.11 Tabel Parameter Distribusi

Parameter	*Estimate*
Location	3,03844
Scale	1,22018
Threshold	-0,706455

Tabel 4.12 Karakteristik Distribusi

	Estimate
Mean (MTTF)	43,2352
Standard Deviation	81,4047
Median	20,1661
First Quartile(Q1)	8,45893
Third Quartile(Q3)	46,8272
Interquartile Range (IQR)	38,3683

Parameter yang didapat dari minitab 18 disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing fungsi penghitungan untuk mendapatkan nilai MTTF, MTTR, dan *Reliability*. Rekap dari distribusi, dan parameter komponen yang dihitung adalah seperti pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Rekap Hasil Distribution Plot

TTF								
NO	Komponen	Distribusi	α	β	γ	λ	μ	σ
1	Mesin Induk	lognormal 3 parameter	1,220		-0,706		3,038	1,712
2	Mesin Bantu	Weibull 3 parameter	87,298	0,827	-1,032			

3	SRP	lognormal 3 parameter	1,240		-5,348		4,166	2,905
TTR								
NO	Komponen	Distribusi	α	β	γ	λ	μ	σ
1	Mesin Induk	lognormal 3 parameter	0,968		0,775		-0,619	1,072
2	Mesin Bantu	lognormal 3 parameter	0,693		0,658		-0,484	0,615
3	SRP	lognormal 3 parameter	0,024		-27,118		3,402	3,203

4.2.9. Penghitungan MTTF dan MTTR

Nilai parameter dari komponen-komponen tersebut digunakan untuk melakukan perhitungan *mean time to failure* yang disesuaikan dengan masing-masing distribusi komponen seperti pada Tabel 4.13 berikut adalah contoh penghitungan MTTF untuk komponen mesin bantu, dengan distribusi weibull 3 parameter:

1. Mesin Bantu (Distribusi weibull 3 parameter)

Eta : 87,298

Beta: 0,827

Gamma: -1,032

Perhitungan MTTF Mesin bantu KT.B dengan menggunakan persamaan 2.13

$$MTTF = \int_0^\infty \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^\beta\right] dt$$

$$= \int_0^\infty \exp\left[-\left(\frac{t-(-1{,}032)}{87{,}298}\right)^{0{,}827}\right] dt = 95{,}64$$

Selain itu, MTTF juga dapat dihitung menggunakan Excel dengan persamaan seperti berikut

$$= \alpha \times \exp(\text{GAMMALN}(1+\frac{1}{\beta})) + \gamma$$

$$= 87{,}298 \times \exp(\text{GAMMALN}(1+\frac{1}{0{,}827})) + (-1{,}032) = 95{,}64$$

Sehingga MTTF dari Mesin bantu KT. B adalah 95,64 hari.

2. Mesin induk (Distribusi lognormal 3 parameter)

t_0 : 20

s : 2,905

Perhitungan MTTF Mesin induk KT.B dengan menggunakan persamaan 2.16

$MTTF = \exp(t_0 + (0{,}5 \times s^2)$

$= \exp(20 + (0{,}5 \times 2{,}905^2)$ = 87,28

Sehingga MTTF dari Mesin induk KT. B adalah 87,28 Hari

3. SRP (Distribusi lognormal 3 parameter)

t_0 : 59

s : 1,269

Perhitungan MTTF Mesin induk KT.B dengan menggunakan persamaan 2.16

$MTTF = \exp(t_0 + (0{,}5 \times s^2)$

$= \exp(59 + (0{,}5 \times 1{,}269^2)$ = 133,65

Sehingga MTTF dari SRP KT. B adalah 133,65 Hari

Sedangkan untuk nilai parameter dari komponen-komponen tersebut digunakan untuk penghitungan *mean time to repair* yang disesuaikan dengan masing-masing komponen. Berikut merupakan penghitungan MTTR untuk komponen MSI tersebut pada KT. B:

1. Mesin induk (Distribusi lognormal 3 parameter)

t_0 : 1,273

s : 1,058

Perhitungan MTTR mesin induk KT.B dengan menggunakan persamaan 2.16

$MTTR = \exp(t_0 + (0{,}5 \times s^2)$

$= \exp(1{,}273 + (0{,}5 \times 1{,}058^2)$ = 2,229

Sehingga MTTR dari mesin induk KT. B adalah 2,229 Hari

2. Mesin bantu (Distribusi lognormal 3 parameter)

t_0 : 1,314

s : 1,372

Perhitungan MTTR mesin bantu KT.B dengan menggunakan persamaan 2.16

$MTTR = \exp(t_0 + (0{,}5 \times s^2)$

$= \exp(1{,}314 + (0{,}5 \times 1.372^2)$ = 3,361

Sehingga MTTR dari SRP KT. B adalah 3,361 Hari

3. SRP (Distribusi lognormal 3 parameter)

t_0 : 2,920

s : 0,491

Perhitungan MTTR SRP KT.B dengan menggunakan persamaan 2.16

$MTTR = \exp(t_0 + (0{,}5 \times s^2)$

$= \exp(2{,}920 + (0{,}5 \times 10{,}491^2)$ = 3,295

Sehingga MTTR dari SRP KT. B adalah 3,295 Hari

4.2.10. Penghitungan *Reliability*

Penghitungan *reliability* dari masing-masing komponen kapal tunda (*tugboat*) dilakukan sesuai dengan distribusi masing-masing komponen. Fungsi *reliability* yang digunakan adalah distribusi weibull 3 parameter dan lognormal 3 parameter. Seperti pada persamaan :

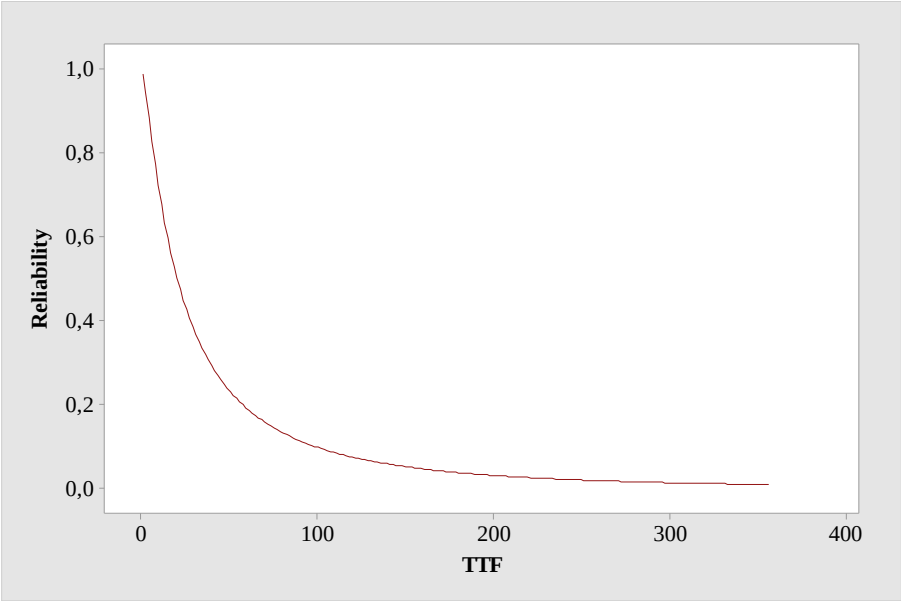
Reliability distribusi Weibull 3 parameter

$$R(t) = 1 - \theta\left[\frac{1}{s}\ln\frac{t}{t0}\right]$$

Reliability distribusi lognormal

$$R(t) = \begin{Bmatrix} 0, & t < \gamma \\ \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta}\right], & t \geq \gamma \end{Bmatrix}$$

Perhitungan *reliability* yang di plot dalam sebuah grafik hubungan antara keandalan dengan waktu operasional dan nilai keandalan untuk berbagai nilai t (hari) waktu operasional dapat dihitung sebagaimana ditunjukan pada Gambar 4.7 kurva *reliability* mesin induk KT. B dibawah ini:



Gambar 4.7 Kurva *Reliability* Mesin Induk KT. B

Dari gambar terlihat bahwa kurang dalam 100 hari mengalami penurunan nilai *reliability* dan nilai *reliability* mencapai 0 sebelum 400 hari. Hal ini menunjukan bahwa dalam 100 hari penurunan fungsi pada mesin induk KT. B akan mengalami penurunan. Untuk nilai *reliability*

yang dibutuhkan ditentukan sebesar 0,8 karena telah digunakan pada Penelitian sebelumnya yang didapat dari wawancara pihak terkait dengan perawatan komponen pada dok apung.

4.2.11. Penentuan *Task selection*

Tahap terakhir dalam metode RCM adalah menentukan jenis perawatan (*Task selection*), penentuan jenis perawatan berdasarkan diagram DTA dan berdasarkan pada penentuan masing-masing distribusi komponen kapal tunda. Setelah mengetahui jenis perawatan yang paling optimal dilakukan perhitungan *interval* kegiatanya dan dihitung perubahan nilai keandalan setelah *maintenance*. Dibawah ini merupakan hasil analisa jenis kebijakan perawatan yang diterapkan dalam *maintenance* kapal tunda. Penetuan kebijakan perawatan berdasarkan pada evaluasi konsekuensi *hidden*, *safety*, *environment*, dan *operational* seperti yang ada pada tinjauan pustaka. Tabel *task selection* untuk komponen lain terlampir.

4.2.12. Penentuan *Task interval*

Penentuan *task interval* digunakan untuk menentukan *interval* waktu pemeriksaan yang optimal pada masing masing komponen pada kapal tunda. Penentuan *task interval* pada mesin induk KT. B menggunakan rumus perhitungan dengan tahapan seperti berikut:

a. Rata-rata jam kerja per bulan

   Hari kerja per bulan = 30 hari

   Jam kerja tiap hari = 24 jam

b. Jumlah Kerusakan

   Jumlah Kerusakan selama 5 tahun = 44 kerusakan

c. Waktu rata-rata perbaikan

$$\frac{1}{\mu} = \frac{MTTR}{rata - rata\ jam\ kerja\ perbulan} = \frac{2.229}{720} = 0{,}003$$

$$\mu = \frac{1}{1/\mu} = \frac{1}{0{,}003} = 322{,}981$$

d. Waktu Rata-Rata Pemeriksaan

   Rata-rata 1 kali pemeriksaan = 12 jam

$$\frac{1}{i} = \frac{rata - rata\ 1\ kali\ pemeriksaan}{rata - rata\ jam\ kerja\ perbulan} = \frac{12}{720} = 0{,}167$$

$$i = \frac{1}{1/i} = \frac{1}{0.167} = 60$$

e. Rata-Rata Kerusakan

$$k = \frac{Jumlah\ kerusakan\ selama\ 5\ tahun}{Jumlah\ Bulan} = \frac{44}{60} = 0{,}733$$

f. Frekuensi pemeriksaan optimal

$$n = \sqrt{\frac{k \times i}{\mu}} = \sqrt{\frac{0.733 \times 60}{322.981}} = 0{,}369$$

g. *Interval* waktu pemeriksaan

$$t_i = \frac{rata - rata\ jam\ kerja\ perbulan}{n} = \frac{720}{0{,}369} = 1950{,}720\ Jam = 81{,}28\ hari$$

Sehingga didapatkan untuk pelaksanaan kegiatan pemeriksaan atau monitoring adalah 81.28 hari untuk mesin induk KT. B. Sedangkan untuk melaksanakan perawatan *preventive maintenance* yang paling optimal ditunjukan dengan persamaan:

$t(R = 0{,}5) = \gamma + \theta(-ln0{,}5)^{1/\beta}$

$t(R = 0{,}5)$: Nilai keandalan yang diharapkan perusahaan

γ : Parameter lokasi dari distribusi

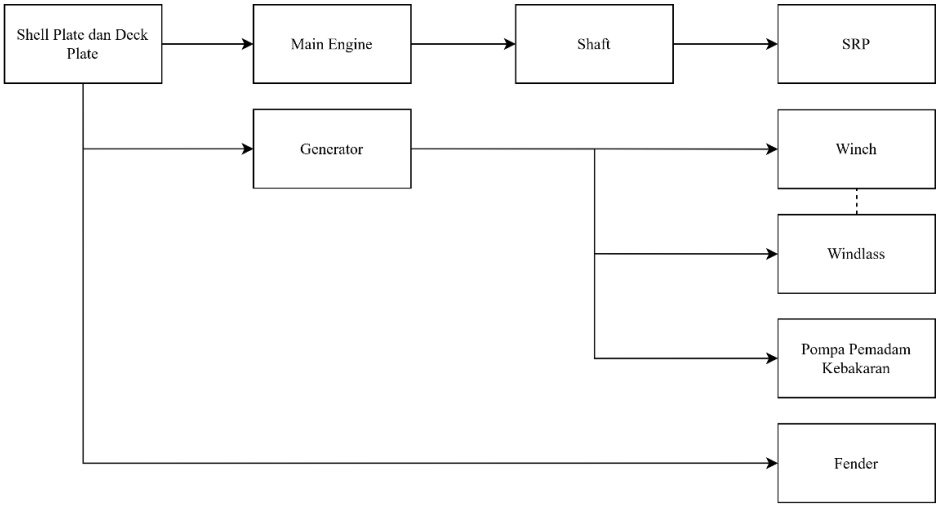
θ : parameter skala dari distribusi

β : Parameter bentuk dari distribusi

Waktu yang didapatkan akan sesuai dengan kebutuhan komponen mencapai nilai keandalan yang diasumsikan bernilai 0,5.

4.2.13. Keandalan Sistem

Setelah menentukan *task selection*, tahap selanjutnya yaitu menentukan nilai keandalan *functional group* kapal tunda. Dalam menentukan keandalan sistem, langkah pertama yang dilakukan adalah penyusunan *block diagram*. *Reliability block diagram* disesuaikan dengan komponen yang temasuk MSI, dimana komponen yang termasuk MSI adalah mesin induk, mesin bantu *generator*, poros, SRP, pelat geladak, pelat kulit lambung, pompa pemadam kebakaran, *fender*, windlass, *winch*, jankar, rantai, dan tali. Dibawah ini adalah *reliability block diragram* pada kapal tunda seperti pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 *Reliaility Block Diagram Tugboat*

Halaman ini sengaja dikosongkan

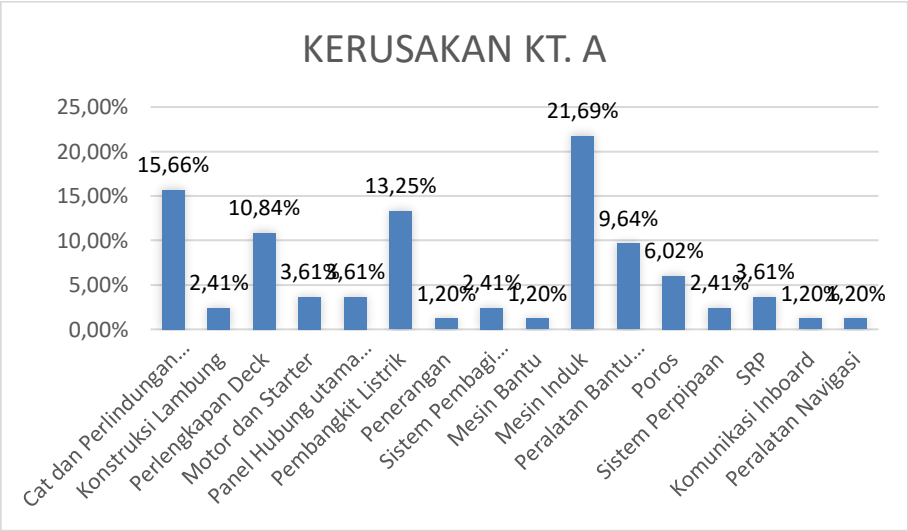
BAB 5
ANALISA DAN PEMBAHASAN

5.1. Analisa Kualitatif Kapal Tunda X

Analisa Kualitatif pada metode RCM (*Reliability Centered Maintenance*) terdiri dari analisa pemilihan koponen MSI (*Maintenance* Sigificant *Item*), FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dan Analisa LTA (*Logic Tree Analysis*) yang telah dilakukan pada BAB 4.

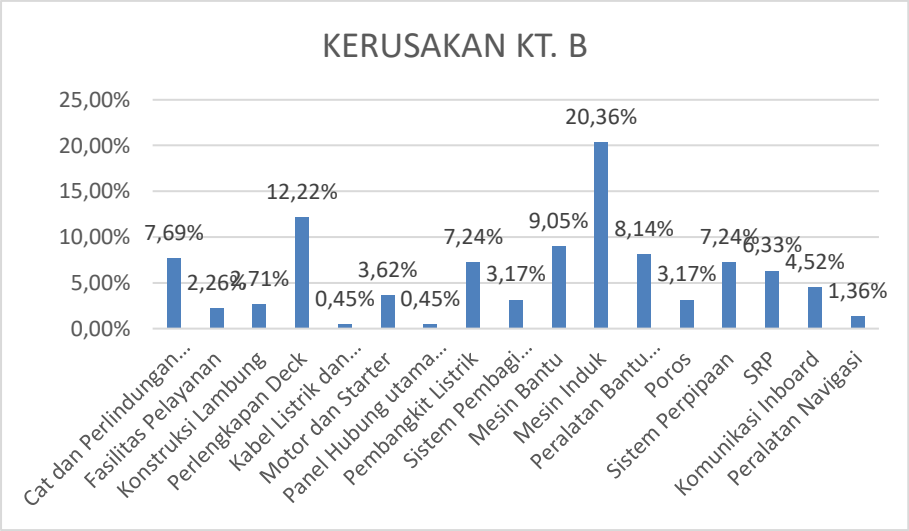
5.1.1. Pemilihan Komponen MSI (*Maintenance Signficant Item)*

Pemilihan komponen MSI didasarkan pada *item* dengan kerusakan yang sering terjadi pada masing-masing kapal, dan merupakan *item survey* dari klasifikasi baik *annual, intermediate, special,* dan *docking survey*. *Item* yang mengalami kerusakan dan bersinggungan dengan *item* yang di *survey* klasifikasi, di sortir berdasarkan fungsi yang berhubungan dengan operasi tunda oleh kapal tunda.



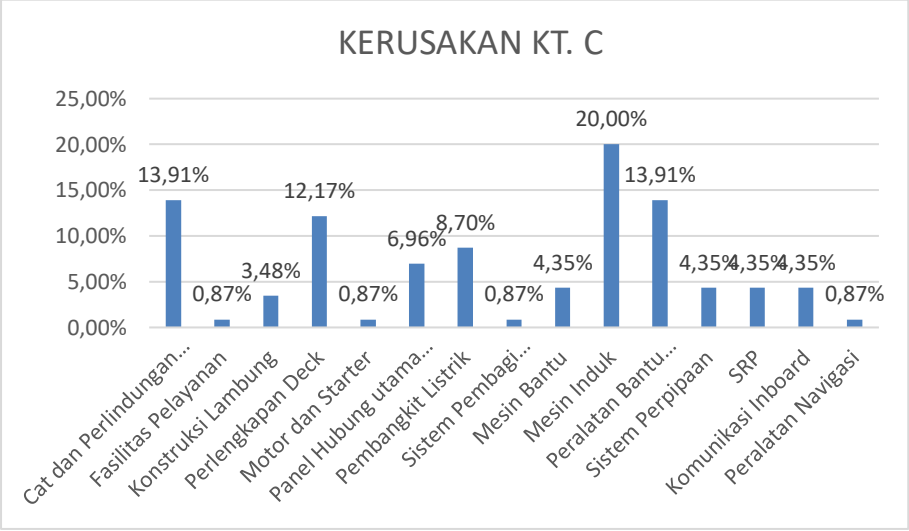
Gambar 5.1 Diagram batang kerusakan pada kapal tunda A

Pada Gambar 5.1 terlihat bahwa angka presentase nilai yang signifikan terlihat dimiliki oleh mesin induk dengan besar 21,69%, pembangkit listrik dengan besar 13,25%, cat dan perlindungan korosi 15,66%, perlengkapan deck dengan besar 10,84% dan peralatan bantu permesinan dengan nilai 9,64%.



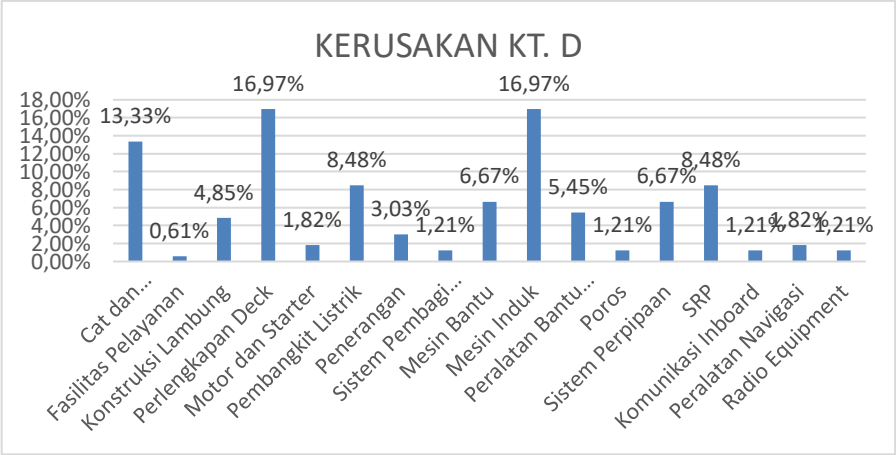
Gambar 5.2 Diagram batang kerusakan pada kapal tunda B

Pada Gambar 5.2 terlihat bahwa angka presentase nilai yang signifikan terlihat dimiliki oleh mesin induk dengan besar 20,36%, mesin bantu 9,05%, pembangkit listrik dengan besar 7,24%, cat dan perlindungan korosi 7,69%, perlengkapan peck dengan besar 12,22%, Sistem perpipaan 7,24%, SRP dengan besar 6,33% dan peralatan bantu permesinan dengan nilai 8,14%.



Gambar 5.3 Diagram batang kerusakan pada kapal tunda C

Pada Gambar 5.3 terlihat bahwa angka presentase nilai yang ada cukup merata namun jika dilihat dari *item* yang ignifikan pada kapal tunda B nilai yang dimiliki oleh mesin induk dengan besar 20,00%, mesin bantu 4,35%, pembangkit Listrik dengan besar 8,70%, cat dan perlindungan korosi 13,91%, perlengkapan deck dengan besar 12,17%, sistem perpipaan 4,35%, SRP dengan besar 6,33% dan peralatan bantu permesinan dengan nilai 13,91%.



Gambar 5.4 Diagram batang kerusakan pada kapal tunda D

Pada Gambar 5.4 terlihat bahwa angka presentase nilai yang signifikan terlihat dimiliki oleh mesin induk dengan besar 16,97%, mesin bantu 6,67%, pembangkit listrik dengan besar 8,48%, cat dan perlindungan korosi 13,33%, perlengkapan deck dengan besar 16,97%, sistem perpipaan 8,48%, SRP dengan besar 6,33% dan sistem perpipaan 6,67%.

Dari kondisi yang terjadi terlihat bahwa ada anomali pada kerusakan kapal. Seperti pada kapal tunda A kerusakan pada mesin bantu sangat rendah, sedangkan untuk kapal tunda B mesin bantu memiliki jumlah kerusakan yang tinggi. Pada SRP kerusakan pada SRP tertinggi dimiliki oleh kapal tunda D. Anomali kerusakan disebabkan oleh beberapa faktor seperti :

1. *Human Factor* dilihat ABK atau pihak yang melakukan perbaikan dan perawatan
2. *Quality* atau kualitas dari komponen
3. *Environment* atau lingkungan operasi dari sistem
4. Operasi atau pengoprasian dari unit atau sistem terkait dengan beban kerja dan spesifikasi serta bahan bakar yang digunakan.
5. Dan perawatan berkala berupa pelumas, *coolant* dan zat *anti-corrosion.*

faktor yang mempengaruhi anomali kerusakan didapat dari lierartur analisa kritis terhadap risiko operasional *harbour towage* (Ford, 2013) terhadap keselamatan. Dapat terlihat dari persentase kerusakan tertinggi dari semua kapal adalah sebagai berikut:

1. Mesin induk.
2. Mesin bantu
3. Perlengkapan deck,
4. Cat dan perlindungan korosi,
5. Pembangkit listrik,
6. Peralatan bantu permesinan,

7. Sistem perpipaan,
8. dan SRP.

Tabel 5.1 Biaya kerusakan rata-rata masing masing komponen

Komponen	Pesentase dari biaya perawatan selama 5 tahun	Jumlah Kerusakan	Biaya yang dikeluarkan selama 5 tahun	Rata-Rata Biaya Perkejadian Kerusakan	Ranking Kerusakan
Poros	3,17%	7	Rp319.790.000	Rp45.684.286	1
Mesin Induk	20,36%	45	Rp845.133.862	Rp18.780.752	2
SRP	6,33%	14	Rp220.939.149	Rp15.781.368	3
Motor dan Starter	3,62%	8	Rp112.227.800	Rp14.028.475	4
Perlengkapan Deck	12,22%	27	Rp368.259.109	Rp13.639.226	5
Komunikasi Inboard	4,52%	10	Rp114.855.534	Rp11.485.553	6
Pembangkit Listrik	7,24%	16	Rp172.741.400	Rp10.796.338	7
Sistem Perpipaan	7,24%	16	Rp145.899.222	Rp9.118.701	8
Peralatan Bantu Permesinan	8,14%	18	Rp147.020.551	Rp8.167.808	9
Konstruksi Lambung	2,71%	6	Rp44.244.364	Rp7.374.061	10
Kabel Listrik dan instalasinya	0,45%	1	Rp7.000.000	Rp7.000.000	11
Cat dan Perlindungan Korosi	7,69%	17	Rp101.174.923	Rp5.951.466	12
Sistem Pembagi Tegangan	3,17%	7	Rp34.415.000	Rp4.916.429	13
Panel Hubung utama dan distribusi	0,45%	1	Rp3.965.830	Rp3.965.830	14
Mesin Bantu	9,05%	20	Rp63.817.830	Rp3.190.892	15
Fasilitas Pelayanan	2,26%	5	Rp12.212.000	Rp2.442.400	16
Peralatan Navigasi	1,36%	3	Rp4.937.500	Rp1.645.833	17

Menentukan komponen MSI (*Maintenance significant item*) juga dilihat dari biaya, baik nilai aset dan biaya rata-rata yang dikeluarkan untuk melakukan satu kali perbaikan. Seperti yang dapat dilihat pada Tabel 5.1. dapat terlihat bahwa poros menduduki biaya kerusakan

tertinggi dilanjutkan dengan mesin induk dan SRP. Sedangkan untuk biaya yang dikeluarkan untuk membeli komponen atau nilai aset itu sendiri seperti yang terlihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Nilai Aset Kapal Tunda

Sistem	Persentase	Nilai Asset
Lambung dan perlengkapan lambung	25%	Rp 14.698.163.639.19
Permesinan dan perlengkapan kamar mesin	60%	Rp 35.275.592.734.06
Peralatan listrik	10%	Rp 5.879.265.455.68
Perlengkapan nautika	5%	Rp 2.939.632.727.84

Data kerusakan kapal tunda yang ada dipilih sub system yang termasuk dari *item survey* klasifikasi yang termasuk komponen penting untuk keselamatan kapal tunda dapat dilihat dari Tabel 5.3

Tabel 5.3 *Item* Pemeriksaan *Class* pada Kapal Tunda

Intermediate Survey	*Annual Survey*	*Special Survey*
Cat dan Perlindungan Korosi	Cat dan Perlindungan Korosi	Cat dan Perlindungan Korosi
Fasilitas Pelayanan	Fasilitas Pelayanan	Fasilitas Pelayanan
Konstruksi Lambung	Konstruksi Lambung	Konstruksi Lambung
Perlengkapan Deck	Perlengkapan Deck	Perlengkapan Deck
Panel Hubung utama dan distribusi	Kabel Listrik dan instalasinya	Motor dan Starter
Pembangkit Listrik	Motor dan Starter	Panel Hubung utama dan distribusi
Penerangan	Panel Hubung utama dan distribusi	Pembangkit Listrik
Sistem Pembagi Tegangan	Pembangkit Listrik	Penerangan
Mesin Bantu	Sistem Pembagi Tegangan	Sistem Pembagi Tegangan
Mesin Induk	Mesin Bantu	Mesin Bantu
Peralatan Bantu Permesinan	Mesin Induk	Mesin Induk
Poros	Peralatan Bantu Permesinan	Peralatan Bantu Permesinan
Sistem Perpipaan	Poros	Poros
SRP	Sistem Perpipaan	Sistem Perpipaan
Komunikasi Inboard	SRP	SRP
Peralatan Navigasi	Komunikasi Inboard	Komunikasi Inboard
Radio Equipment	Peralatan Navigasi	Outfitting
Outfitting	Radio Equipment	Peralatan Keselamatan
Peralatan Keselamatan	Dokumen Pendukung	
	Peralatan Keselamatan	

Komponen atau *item* dengan nilai tinggi, sering terjadi kerusakan, dan termasuk menjadi *item* wajib pemeriksaan klasifikasi yang saling beririsan dengan *item* yang digunakan untuk

menjalankan proses tunda oleh kapal tunda menjadi MSI (*Maintenance significant item), item* operasional itu ditinjau dari fungsi komponen itu sendiri dengan operasi kapal tunda yang sudah dijelaskan pada BAB 2, fungsi dari *item* yang terlibat langsung dalam proses tunda seperti pada Tabel 5.4:

Tabel 5.4 Komponen Operasional Kapal Tunda

Item	Fungsi
Mesin Induk	Penghasil tenaga agar dapat menggerakkan sistem propulsi pada kapal
Mesin Bantu	Memberikan daya awal saat mesin induk akan dinyalakan
SRP	Menghasil *thrust* yang bertujuan untuk menggerakkan badan kapal
Poros	Untuk menyalurkan putaran yang dihasilkan oleh Mesin Induk
Pompa Pemadam Kebakaran	sebagai pemompa dari air laut ke sistem pemadam kebakaran pada kapal
Winch	untuk mengencangkan atau mengendorkan tali tambat/ tali tunda pada kapal
Windlass	untuk menaikan dan menurunkan jangkar dengan menarik atau mengulur rantai janngkar
Fender	untuk meredam benturan dengan kapal lain saat pengoperasian kapal tunda
Anchor, chain cable, dan *rope*	sebagai alat tambat dan tunda dari kapal tunda
Shell Plate	Untuk memberikan kekedapan pada ruangan yang ada di dalam kapal, serta menambahkan kekuatan pada kapal
Deck Plate	Untuk memberikan kekedapan pada ruangan yang pada geladak kapal, serta menambahkan kekuatan pada kapal

Dari faktor yang menjadi pertimbangan pemilihan MSI (*Maintenance Significant Item*) diatas seperti tingkat kerusakan, tingkat kejadian, biaya kerusakan, nilai aset, dan *item* operasional kapal tunda maka dapat disimpulkan bahwa yang menjadi *item* MSI adalah sebagai berikut:

1. Mesin induk
2. Mesin bantu
3. SRP
4. Poros
5. *Winch*
6. *Windlass*
7. *Anchor*, *Chain*, *Cable*, dan *Rope*
8. Pelat geladak

9. Pelat kulit
10. Pompa pemadam kebakaran
11. dan *Fender*

5.1.2. Analisis FMEA (*Failure mode and Effect Analysis*)

Dalam melakukan analisa FMEA dan penilaian RPN (*Risk Priority Number*) dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut yaitu *severity*, *occurance*, dan juga *detection* seperti yang dijelaskan pada BAB 2. Analisa dilakukan pada *item* yang sudah ditentukan sebagai MSI untuk menilai risiko dari masing-masing komponen, berikut adalah FMEA dari kapal tunda pada Tabel 5.5. Penilaian untuk *occurance* menggunakan dari tingkat kejadian dari *historical repair data*. Sedangkan untuk *detection* dinilai dari rutinitas pemeriksaan yang dilakukan oleh klas dan pihak terkait dalam proses perawatan kapal tunda. Dan untuk *severity* diambil kemungkinan kejadian apabila mode kegagalan terjadi begitu juga dengan fungsi komponen yang ada pada kapal induk. Kecelakaan kapal tunda yang sering terjadi pada kapal tunda adalah tubrukan, kegagalan mekanis, *onboard hazards*, *capsizing*. Akibat pada keselamatan ABK sendiri seperti tepeleset, jatuh, trauma otak, tenggelam, cedera tulang, cedera sendi dan terbakar oleh api atau cairan kimia. (Skrabanek, Pierce, 2020)

Tabel 5.5 FMEA Komponen pada Kapal Tunda (*Tugboat)*

Nama Komponen	Penyebab kegagalan	Dampak kegagalan	Rekomendasi kegiatan	*Severity* (S)	*Occurance* (O)	*Detection* (D)	RPN
Main Engine	Kerusakan pada *bolt*, *nut* mesin, Kerusakan pada *bushing mesin*, Kerusakan *crankshaft* mesin, kerusakan *cylinder block* mesin, Kerusakan *cylinder head* mesin, Kerusakan *cylinder liner* mesin, Kerusakan *Injector* mesin, Kerusakan katup mesin, kerusakan o-ring mesin, kerusakan piston mesin, kerusakan sistem penyaring mesin, kerusakan pada *bearing* mesin, kerusakan *governoor* mesin,	tekanan kompresi tidak mencukupi, bahan bakar terkontaminasi air, minyak pelumas terkontaminasi debu, sirkulasi *lube oil* berkurang, udara kompresi tidak mencukupi, pengaturan injeksi bahan bakar tidak terkontrol, pengaturan sirkulasi *coolant* tidak terkontrol, suhu meningkat tinggi, *overheating*,	Melakukan penggantian pelumas secara berkala dan jika terindikasi adanya kontaminasi, melakukan penggantian sistem penyaringan mesin, menguji dan memonitor komponen mesin, menghindari penggunaan melebihi margin spesifikasi	7	7	5	245

Nama Komponen	Penyebab kegagalan	Dampak kegagalan	Rekomendasi kegiatan	*Severity* (S)	*Occurance* (O)	*Detection* (D)	RPN
	kerusakan pompa BBM, kerusakan pompa pendingin mesin, Kerusakan Thermostat, kerusakan *seal* mesin, kerusakan pada *cooler* mesin						
Auxillary Engine	Kerusakan pada pompa pendingin mesin, kerusakan pada *alternator*, kerusakan pada sistem penyaringan mesin, kerusakan pada *belt* mesin	*generator* mengalam *overheating*, bahan bakar dan pelumas terkontaminasi, energi tidak dapat disimpan pada baterai, mesin tidak dapat menghasilkan putaran untuk menghasilkan tenaga	Melakukan penggantian pelumas secara berkala dan jika terindikasi adanya kontaminasi, melakukan penggantian sistem penyaringan mesin, menguji dan memonitor komponen mesin, menghindari penggunaan melebihi margin spesifikasi	6	5	5	150

Nama Komponen	Penyebab kegagalan	Dampak kegagalan	Rekomendasi kegiatan	*Severity* (S)	*Occurance* (O)	*Detection* (D)	RPN
Shaft	Kerusakan pada *bearing shaft*, kerusakan pada *coupling*, kerusakan, kerusakan pada *cardan shaft*, kerusakan pada *fixing ring*	Poros mengalami gesekan besar, poros mengalami getaran besar, beban puntir poros membesar, poros macet, poros mengalami bengkok atau patah	Memeriksa Kelurusan poros sesuai ketentuan klasifikasi, memeriksa pelumasan dan kondisi dari *bearing* poros, memonitor kondisi poros	7	3	3	63
SRP	Kerusakan pada *nozzle* SRP, Kerusakan pada *propeller* blade, kerusakan pada sistem penyaringan SRP, Kerusakan pada sistem hidrolik SRP	terjadi losses daya pada *propeller*, *lube oil* yang tersirkulasi tercampur kontoran, tekanan aliran tidak sesuai kebutuhan, SRP macet tidak dapat berputar atau diarahkan	Memonitor dan mensinkronkan arah dan *pitch* dari *propeller*, pemeriksaan pelumas secara berkala, Pemeriksaan korosi dan kerusakan dari masing masing komponen sesuai ketentuan *survey*	9	5	9	405
FIFI pump	Kerusakan pada pompa ebara	Pompa tidak dapat digunakan, pompa	Melakukan pengujian fungsi secara berkala	5	2	5	50

Nama Komponen	Penyebab kegagalan	Dampak kegagalan	Rekomendasi kegiatan	*Severity* (S)	*Occurance* (O)	*Detection* (D)	RPN
		macet, dan mengalami getaran					
Deck Plate	pelat korosi dan mengalami keropos	pelat geladak mengalami tipis, berlubang dan penyok	Dilakukan Pemeriksaan berkala, dan replating atau *doubling plate*, melakukan pencucia geladak dari karat dan bahan kontaminasi lain	4	1	2	8
Shell Plate	Pelat mengalami korosi, Pelat mengalami penipisan, pelat mengalami deformasi,	lambung kapal mengalami penyok, kebocoran, tipis	Dilakukan Pemeriksaan berkala, dan *replating* atau *doubling plate*	9	2	8	144
Anchor and chain cable, rope	Kerusakan pada segel rantai jangkar, kerusakan pada kili-kili, kerusakan pada rantai jangkar, kerusakan pada tali tambat, kerusakan pada tali tunda.	proses tambat dan tunda menggunakan tali tidak bisa dilaksanakan, rantai jangkar putus dan tidak bisa digunakan	Pemeriksaan terhadap karat dan defisiensi pada rantai, pemeriksaaan pelumas pada sambungan, melaksanakan operasi pencucian jangkar	3	6	6	108

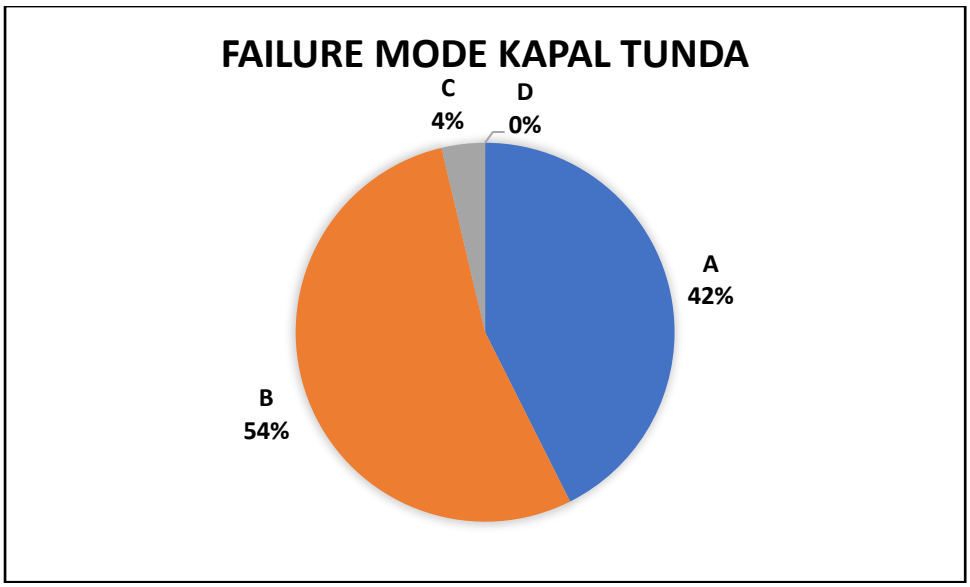
Nama Komponen	Penyebab kegagalan	Dampak kegagalan	Rekomendasi kegiatan	*Severity* (S)	*Occurance* (O)	*Detection* (D)	RPN
Fender	terjadi pecah, sobek, retak halus, kerusakan pada segel rantai ban dapra, kerusakan pada rantai ban dapra,	Ban dapra jatuh, tidak ada penahan benturan pada kapal	Melakukan pemeriksaan secara berkala, melakukan pencegahan korosi pada komponen, mengganti ban daprah	5	5	2	50
windlass	Kerusakan pada as hidrolis, kerusakan pada pipa hidrolis, kerusakan pada pipa *cooler*, keruskan pada *chockliner*	windlass macet, overheating dan tidak bisa menggulung atau menurunkan jangkar	memonitor keadaan *windlass*, melakukan pemeriksaan kekencangan *bolts windlass*, perbeharui pemulas dari *windlass*, memonitor pipa dan sambungan untuk kebocoran, memonitor kondisi rem dari *windlass*	5	3	5	75

Nama Komponen	Penyebab kegagalan	Dampak kegagalan	Rekomendasi kegiatan	*Severity* (S)	*Occurance* (O)	*Detection* (D)	RPN
Winch	Kerusakan pada sistem hidrolik, kerusakan pada pipa hidrolik, kerusakan pada pipa *cooler*, kerusakan pada sistem pelumas.	*winch* macet, *overheating* dan tidak bisa menarik tali tunda	memonitor keadaan *winch*, melakukan pemeriksaan kekencangan *bolts winch*, perbaharui pelumas dari *winch*, memonitor pipa dan sambungan untuk kebocoran	7	3	5	105

Dari FMEA diatas terlihat bahwa dari sebelas komponen MSI, tiga diantaranya dengan RPN tertinggi dimiliki oleh SRP pada urutan pertama dengan nilai 405, kedua tertinggi oleh mesin induk (*main engine*) dengan nilai 245, dan urutan ketiga tertinggi adalah mesin bantu (*auxillary engine*). Nilai *severity* yang ada pada FMEA dinilai dari dampak yang berpotensi terjadi jika komponen mengalami kerusakan selama pengoperasian kapal tunda dan kemampuan penanganan kerusakan. Nilai *occurance* didapatkan dengan menghitung jumlah rata-rata kerusakan selama 5 tahun dari kapal tunda yang digunakan sebagai bahan studi dan waktu kejadian dari masing-masing komponen. Sedangkan untuk nilai *detection* dinilai dari jadwal perawatan dan pemerikaan oleh klas dan posisi dari komponen itu sendiri jika terjadi kerusakan. Ketiga *item* diatas akan di analisa menggunakan perhitungan matematis pada analisa keandalan untuk mengetahui *task interval* perwatan dan pemeriksaan.

5.1.3. LTA (*Logic Tree Analysis*)

Item atau komponen kapal tunda yang termasuk MSI di analisis dengan menggunakan *Logic Tree Analysis* (LTA) untuk mengathui konsekuensi dari mode kegagalan yang terjadi pada masing masing komponen MSI. Konsekuensi dan kategori telah dijelaskan pada tinjauan pustaka. Dan hasil yang didapat LTA mode kegagalan komponen pada kapal tunda dapat dilihat pada Gambar 5.5



Gambar 5.5 *Failure mode* Kapal Tunda

Berdasarakan Gambar 5.5 diatas, dapat dilihat bahwa komponen kapal tunda mempunyai konsekuensi terhadap personel maupun lingkungan (Kategori A) sebesar 42% sedangkan untuk konsekuensi yang mempengaruhi kemampuan operasional (Kategori B) sebesar 54%, dan nilai yang sangat berbeda dengan kategori A dan B sebesar 4% untuk (Kategori C) dimana *failure mode* tidak memiliki konsekuensi pada *safety* maupun operasional,

dan mode kegagalan yang tergolog *hidden failure* tidak ada pada kapal tunda (Kategori D). Jumlah dari masing masing kategori terlihat pada tabel jumlah di Tabel 5.6, beserta dengan keterangan dari masing masing kategori.

Tabel 5.6 Table penjelas diagram LTA

Kategori	Jumlah	Persentase	Keterangan
A	23	42,6%	*Safety* terhadap personel dan lingkungan
B	29	53,7%	operasional dengan menyebabkan ketidaksesuaian output
C	2	3,7%	tidak berdampak pada *safety* dan operasional
D	0	0,0%	*hidden failure*

Dari Hasil Analisa tersebut diketahui bahwa mode kegagalan pada kapal tunda secara signifikan berpengaruh pada *safety* dan operasional kapal tunda. Maka dari itu komponen dengan mdoe kegagalan diatas perlu di *maintenance* dan diperiksa secara berkala dan teliti sesuai dengan *task selection* dan *interval* untuk menghindari konsekuensi yang ada.

5.2. Analisa Kuantitatif

Analisa untuk mengetahui *task interval* atau *interval* perawatan dan peningkatan keandalan setelah dilakukan Tindakan *maintenance*. Pada analisa kuantitatif ini, akan dilakukan perhitungan nilai keandalan pada waktu MTTF (*Mean Time to failure*) untuk tindakan *corrective maintenance.*

5.2.1. Analisa Keandalan KT. B

Pada BAB 4 telah dijelaskan jika *maintenance* dilakukan sesuai dengan *running hours* dan perbaikan dilakukan jika d*item*ukan temuan dari hasil *survey* klasifikasi. Dengan *running hours* 250/350 jam, dengan asumsi waktu operasional 9-12 jam perhari didapat waktu 29,167 Hari atau 1 bulan sekali. Dan *corrective maintenance* untuk kejadian kerusakan diluar temuan saat pemeriksaan sesuai running *hours* atau *survey class.*

Tabel 5.7 Rekap Keandalan dengan *Corrective Maintennce*

TTF		
NO	Komponen	*Reliability*
1	Mesin Induk	0,32276
2	Mesin Bantu	0,336881
3	SRP	0,16602

Seperti yang terlihat pada Tabel 5.7 komponen dengan RPN tinggi dengan MTTF seperti diatas dengan diterapkanya *corrective maintenance* memiliki keandalan dibawah 0,8 (diasumsikan sebagai nilai keandalan minimal yang dibutuhkan komponen).

Tabel 5.8 Penghitungan Keandalan dengan Variasi Waktu Perawatan

NO	Komponen	Jarak Perawatan (hari)	R(t)	Waktu *Interval* perawatan (hari)
1	Mesin Induk	87,27919049	0,32276	7,689
2		7,689	0,8	
3		29,16666667	0,41294	
4		365	0,04363	
5		111	0,15625	
6	Mesin Bantu	96,67423728	0,336881	13,200
7		13,200	0,8	
8		29,16666667	0,667708	
9		365	0,038229	
10		111	0,295308	
11	SRP	132,2155401	0,16602	12,775
12		12,775	0,8	
13		912,5	0,00554	
14		365	0,03836	
15		111	0,20327	

Perbandingan dilakukan dengan variasi *interval* pada Tabel 5.8, perawatan, pada 29 hari sesuai dengan *running hours* dari komponen tetap didapatkan nilai keandalan dibawah 0,8 pada komponen mesin induk, oleh karena itu mesin induk akan dilakukan perubahan waktu perawatan berdasarkan RCM (*Reliability Centered Maintenance*). mesin bantu juga belum memenuhi dengan kebutuhan nilai keandala 0,8 menggunakan *interval maintenance* setiap 30 hari. Khusus untuk SRP pemeriksaan komponen dilakukan setiap *docking* atau intermediate *survey* oleh klasifikasi dengan asumsi dilaksanakan setiap 912,5 hari, nilai keandalan yang didapat sangat jauh dibandingkan dengan asumsi nilai kebutuhan sebesar 0,8. Komponen SRP juga akan dilakukan penyesuaian *maintenance time interval* menggunakan metode RCM. Dengan nilai keandalan 0,8 kapal tunda diharapkan mampu memenuhi kebutuhan operasional sesuai dengan peraturan yang berlaku dimana, Kapal dengan panjang lebih dari 70 meter yang berolah gerak di daerah perairan pelabuhan, untuk pertimbangan keselamatan pelayaran dalam menggunakan jasa penundaan berpedoman pada ketentuan sebagai berikut :

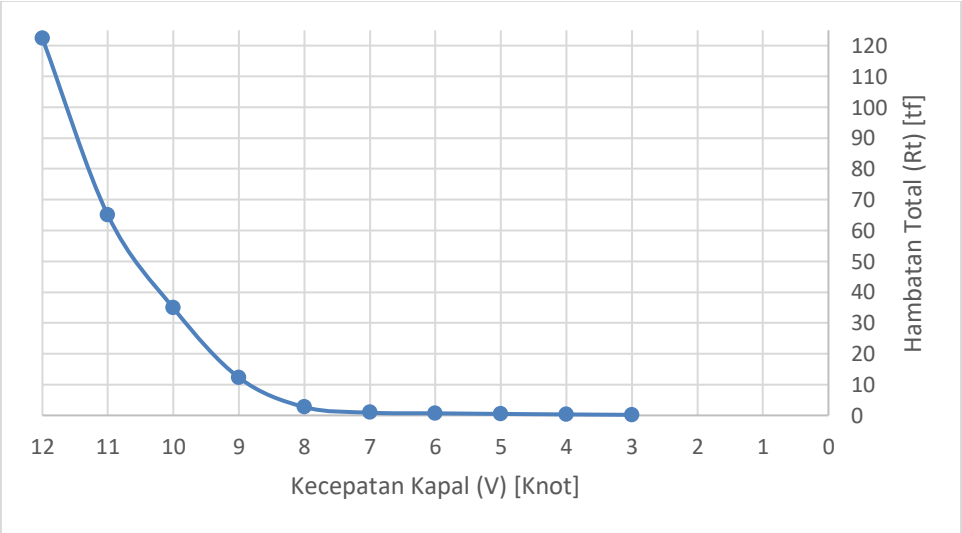
a. Panjang 71 meter sampai dengan 100 meter dapat ditunda dengan 1(satu) kapal tunda yang mempunyai daya minimal 600 PK.
b. Panjang 101 meter sampai dengan 150 meter dapat ditunda dengan minimal 2 (dua) kapal tunda yang mempunyai daya 1600 PK sampai dengan 3400 PK;
c. Panjang 151 meter sampai dengan 200 meter dapat ditunda dengan minimal 2 (dua) kapal tunda yang mempunyai daya 3400 PK sampai dengan 5000 PK;

d. Panjang 201 meter sampai dengan 300 meter dapat ditunda dengan minimal 3 (tiga) kapal tunda yang mempunyai daya 5000 PK sampai dengan 10.000 PK;
e. Panjang 301 meter ke atas dapat ditunda minimal 4 (empat) kapal tunda yang mempunyai daya 10.000 PK.

Dan dengan kemampuan *bollar pull* seperti berikut :

a. Panjang kapal 70 (tujuh puluh) meter sampai dengan 150 (seratus lima puluh) meter menggunakan paling sedikit 1 (satu) unit kapal tunda dengan jumlah daya paling rendah 2000 (dua ribu) DK dan jumlah gaya tarik paling rendah 24 ton *bollard pull*;
b. Panjang kapal di atas 150 (seratus lima puluh) meter sampai dengan 250 (dua ratus lima puluh) meter menggunakan paling sedikit 2 (dua) unit kapal tunda dengan jumlah daya paling rendah 6.000 (enam ribu) DK dan jumlah gaya tarik paling rendah 65 ton *bollard pull*;
c. atau Panjang kapal 250 (dua ratus lima puluh) meter ke atas paling sedikit 3 (tiga) unit kapal tunda dengan jumlah daya paling rendah 11.000 (sebelas ribu) DK dan jumlah gaya tarik paling rendah 125 ton *bollard pull*.

Tenaga yang dihasilkan dari propulsi pada kapal tunda digunakan untuk menghasilkan kecepatan kapal yang digunakan untuk bergerak dan menarik beban dari *bollard pull* saat proses tunda. Gambar 5.6 merupakan contoh penurunan kecepatan kapal dan hambatan yang terjadi menggunakan metode Holtrop dan Mennen.



Gambar 5.6 Kurva Penurunan Kecepatan dan Hambatan pada kapal

Kemampuan *bollard pull* dari kapal tunda dapat dihitung dari rumus seperti :

$$BP = \left(\frac{D^{2/3}.V^3}{7200} + Cmv.B.D1\right)K$$

Dimana :

D = Volume Displacement

V = kecepatan kapal

C_{mv}= koefisien kecepatan angin

B = Lebar Kapal

K = faktor kondisi perairan

Dari rumus penghitungan *bollard pull* yang ada, Kecepatan kapal akan berubah jika nilai *reliability* kapal tunda mengalami penurunan maka mesin induk dan SRP akan mengalami penurunan kemampuan untuk menghasilkan tenaga (*Horsepower*). Penurunan HP berdampak pada kecepatan yang dihasilkan dan kemampuan untuk menarik beban *bollard pull* seperti yang sudah ditetapkan. Jika tenaga yang dibutuhkan untuk mencapai ketentuan *bollard pull* diasumsikan tetap maka sisa tenaga digunakan untuk mencapai kecepatan tertentu yang akan mengalami penurunan, sehingga kecepatan (V) maksimal kapal tunda saat melakukan proses tunda akan semakin rendah seperti yang terlihat pada Gambar 5.6.

5.3. Pembahasan Hasil Analisa Kualitatif

Berdasarkan nilai RPN dari komponen-kompone kapal tunda (*tugboat*) dapat diketahui jenis-jenis mode kegagalanya. Dimana nilai RPN tertinggi yaitu SRP, mesin induk, dan mesin bantu.

Mode Kegagalan yang sering terjadi pada SRP adalah pada *nozzle* SRP, *propeller* blade, sistem penyaringan SRP, dan sistem hidrolik SRP. Penyebab mode kegagalan dari adalah kurangnya perawatan, kurangnya pengawasan, penggunaan dengan beban kerja tinggi, umur dari masing-masing komponen pada SRP sudah melewati batasanya, kerusakan *propeller blade* sendiri sering terjadi akibat korosi, aus dan kavitasi. Begitu juga dengan *nozzle* SRP kegagalan terjadi akibat korosi dan dipengaruhi faktor lingkungan operasi. Kegagalan yang terjadi pada sistem hidrolik seringkali terjadi akibat tersumbatnya saringan atau *filter* dari SRP, atau adanya korosi atau kerak endapan, bahkan kebocoran pada pipa hidrolik SRP yang mengakibatkan fluida tidak dapat mencukupi sehingga arah dari *propeller* tidak bisa dikontrol karena kurangnya tenaga yang dibutuhkan. Suhu tinggi dari fluida menjadi salah satu penyebab terjadinya korosi pada pipa hidrolik SRP. *Filter* fluida dari sistem hidrolik sering mangalami kegagalan dikarenakan fluida yang digunakan terkontaminasi dan bearada pada *filter* dalam waktu yang lama, dikarenakan *filter* tidak diganti secara berkala.

Mesin induk memiliki variasi mode kegagalan paling banyak dikarenakan jumlah *spare part* mesin cukup banyak. Mode kegagalan yang sering terjadi pada mesin induk adalah

kerusakan pada *bolt*, *nut* mesin, kerusakan pada *bushing* mesin, kerusakan *crankshaft* mesin, kerusakan *cylinder block* mesin, kerusakan *cylinder head* mesin, kerusakan *cylinder liner* mesin, kerusakan *gasket* mesin, kerusakan *injector* mesin, kerusakan katup mesin, kerusakan o-ring mesin, kerusakan piston mesin, kerusakan sistem penyaring mesin, kerusakan pada *bearing* mesin, kerusakan *governoor* mesin, kerusakan pompa bbm, kerusakan pompa pendingin mesin, kerusakan thermostat, kerusakan *seal* mesin, dan kerusakan pada *cooler* mesin. pengaruh dari kerusakan *crankshaft* mesin, kerusakan *cylinder block* mesin, kerusakan *cylinder head* mesin, kerusakan *cylinder liner* mesin, kerusakan *injector* mesin, kerusakan katup mesin, kerusakan o-ring mesin, dan kerusakan piston mesin mengakibatkan kemampuan mesin induk dalam menghasilkan putaran dan daya sesuai spesifikasi tidak maksimal. Korosi dan aus dari masing-masing komponen tersebut menyebabkan beban kerja dari tiap komponen lebih berat karena saling berkaitan satu sama lain. Proses kompresi udara yang menjadi proses utama memulai pembakaran dan menghasilkan putaran, berpotensi terjadi kebocoran dari *seal* sehingga oli memasuki ruang bakar, atau komponen piston, *cylinder head*, *cylinder liner* dan *cylinder block* serta gasket mengalami aus sehingga kompresi yang dibutuhkan tidak cukup. Proses injeksi bahan bakar yang tidak tepat dari segi waktu dan volume yang diinjeksikan diakibatkan oleh kerusakan pada *injector* bahan bakar, pembakaran dengan bahan bakar yang tidak sesuai ketentuan, tidak akan maksimal. *Overheating* juga menjadi masalah utama dalam operasi mesin induk dikarenakan masing-masing komponen memiliki beban kerja lebih untuk mencapai spesifikasi operasional. Sistem pendingin pada mesin atau kondisi lingkungan mesin induk beroperasi juga menjadi faktor agar *overheating* tidak terjadi. Sistem pelumasan menjadi perhatian utama dikarenakan dapat menjaga kondisi dari masing-masing komponen dari aus atau korosi, begitu juga dengan *filter* oli pelumas untuk menghindarkan pelumas terkontaminasi kotoran. *Seal* pada mesin mengalami gesekan secara terus menerus dan berpotensi mengalami *wear*, bocornya ruang pembakaran atau ruang kompresi akibat kerusakan *seal* memiliki kemungkinan besar untuk terjadi. Umur dari masing-masing komponen sesuai ketentuan *maker* menjadi aspek penting dalam menjaga kemampuan komponen untuk berfungsi. begitu juga dengan cairan pendingin yang digunakan pada sistem pendingin mesin.

Mode kegagalan pada mesin bantu yang sering terjadi adalah kerusakan pada pompa pendingin mesin, kerusakan pada *alternator*, kerusakan pada sistem penyaringan mesin, kerusakan pada *belt* mesin. Mode kegagalan pada mesin bantu berpengaruh pada penghasil gaya mekanik kerusakan pada pompa pendingin mesin, kerusakan pada sistem penyaringan mesin, kerusakan pada *belt* mesin, sistem pelumas dan bahan bakar yang digunakan untuk

proses pembakaran untuk menghasilkan putaran mekanis, penyebab kerusakan adalah kurangnya perawatan, ketidak sesuaian umur penggunaan komponen dengan ketentuan *maker*, kualitas dari komponen dan pelumas serta pendingin yang digunakan pada sistem. Pompa pendingin mengalami kerusakan akibat komponen seperti *impeller* dikarenakan aus dan korosi. Untuk *belt* sendiri mengalami kerusakan akibat *human error* dikarenakan pemasangan *belt* yang terlalu kencang atau terlalu longgar berpengaruh pada kinerja dan umur *belt*. Pada saat proses bekerja *belt* yang terkena dengan minyak pelumas yang bocor akan lebih getas, sehingga mudah putus. penghasil listrik itu sendiri memiliki mode kegagalan yang sering terjadi adalah kerusakan pada *alternator*, beban yang ditanggung melebihi spesifikasi, kerusakan pada *diode*, *voltage regulator*, dan *carbon brush* sehingga gaya magnet yang dihasilkan tidak mencukupi untuk menghasilkan listrik.

5.4. Penetuan *Task selection* dan *Task interval*

Berdasarkan hasil analisis keandalan secara kualitatif, setelah mendapatkan komponen MSI pada kapal tunda dan mode kegagalan serta nilai RPN dari masing-masing komponen, dilakukan analisa LTA untuk mengatuhi konsekuensi dari mode kegagalan sehingga jika terjadi kerusakan sistem dapat dievaluasi konsekuensi untuk menentukan task *maintenance* yang dibutuhkan untuk menjaga fungsi komponen itu sendiri. *Task selection* untuk kapal tunda dapat dilihat pada lampiran tabel *task selection*. *Task selection* pada kapal tunda adalah kombinasi kegiatan *on condition*, *hard time*, dan *failure finding* dan kegiatan *on conditon*, kombinasi kegiatan diperuntukan untuk mencegah menurun atau hilangnya kemampuan komponen untuk sesuai dengan fungsi dari komponen tersebut, komponen dengan *task selection* kombinasi kegiatan adalah mesin induk, mesin bantu, poros, SRP, *windlass*, dan *winch* dan pompa PMK. Pemeriksaan secara berkala atau kegiatan *on condition* dan kombinasi *condition monitoring* untuk memeriksa fungsi dari komponen dan perawatan seperti membersihkan, mengganti oli, dan memeriksa keausan. Kegatan *hard time* penggantian *spare part* sesuai dengan umur atau ketentuan dari *maker* dengan pertimbangan umur dari *spare part* yang digunakan komponen tersebut. Dan *failure finding* adalah memeriksa mode dampak dari kegagalan dengan mencoba kegagalan tersebut untuk memasitikan mode kegagalan tidak terjadi. Sedangkan untuk komponen dengan *task selection on condition* dikombinasikan *condition monitoring*, untuk mengetahui kegagalan dini dari komponen sehingga bisa dilakukan penggantian komponen, komponen dengan menggunakan *task selection on condition* adalah pelat kulit dan geladak, *fender*, Jangkar, Rantai dan Tali temali.

Untuk *Task interval* terdapat dua penghitungan yaitu untuk perawatan dan pemeriksaan. Sesuai dengan penghitungan pada BAB 4.

Tabel 5.9 Waktu *Interval* Perawatan dan Pemeriksaan

Komponen	Waktu *Interval* perawatan (hari)	Waktu *Interval* pemeriksaan (hari)
Mesin Induk	7,689	81,28004
Mesin Bantu	13,200	66,14522
SRP	12,775	66,85477

Pada Tabel 5.9 penghitungan waktu *interval* dihitung dengan asumsi kebutuhan nilai keandalan adalah 0,8 dan waktu pemeriksaan dihitung dengan asumsi lama operasi kapal tunda sehingga diketahui *interval* pemeriksaan yang optimal. Mesin induk memiliki rekomendasi perawatan setiap 1 minggu seperti pembersihan part mesin untuk mencapai nilai kenadalan 0,8 dan pemeriksaan setiap 3 bulan untuk memastikan kondisi dan fungsi dari mesin induk. Sedangkan mesin bantu masih sesuai dengan *running hours* yang ada 250/350 *hours* atau setiap 2 minggu dan *interval* pemeriksaan setiap 2 bulan sekali. Sedangkan untuk SRP dilakukan perawatan setiap 2 minggu berupa penggantian oli, dan *interval* pemeriksaan setiap 66 hari untuk memeriksa kondisi dan fungsi, supaya tidak memakan waktu yang lama. Inspeksi bawah air diajukan sebagai rekomendasi untuk melakukan pemeriksaan rutin pada SRP kapal tunda.

5.5. Rekomendasi Kegiatan Perawatan

Rekomendasi kegiatan yang dihasilkan, berdasarkan pada *root cause mode* kegagalan masing -masing komponen yang ada pada Pembahasan Hasil Analisa Kualitatif, rekomendasi kegiatan komponen dengan tiga RPN tertinggi pada *item reliability* kapal tunda, dilakukan untuk mencegah mode kegagalan untuk terjadi sehingga masing-masing komponen kapal tunda dapat beroperasi sesuai fungsinya :

1. SRP

Sistem *hydraulic* SRP menjadi komponen paling rentan dalam pengoprasian SRP itu sendiri untuk mengendalikan arah dari SRP. *Filter oil* memilki peran penting untuk menjaga fluida yang digunakan agar tidak terkontaminasi. Pemeriksaan dan pembersihan dari pipa pada sistem *hydraulic* juga harus dilakukan secara berkala untuk mencegah adanya kotoran mengendap, korosi, dan kebocoran pada pipa. Begitu juga dengan *propeller blade* dan *nozzle* yang rentan terhadap kavitasi, maka dari itu dibutuhkan pemeriksaan berkala terhadap konstruksi untuk mengetahui ketebalan dari konstruksi *propeller blade*. Pemeriksaan visual dan pembersihan juga dilakukan pada *nozzle* SRP secara berkala.

2. Mesin Induk

Komponen pada mesin induk memiliki umur penggunaan masing masing sesuai manual dari *maker* yang harus diganti. Umur komponen yang ditentukan dari *maker* didasarkan pada operasi dengan kondisi ideal. Dikarenakan adanya faktor yang mempengaruhi kondisi operasional mesin. Komponen pada mesin induk perlu diperiksa secara berkala untuk keausan dan dilakukan pembersihan untuk menghindari endapan kotoran, kerak dan korosi. Pelumas pada mesin juga memiliki peran penting untuk mengurangi korosi dan gesekan pada mesin, sehingga perlu diperiksa dan diganti secara berkala agar terhindar dari kotoran dan endapan yang dihasilkan mesin. Begitu juga dengan *coolant* yang digunakan untuk memindahkan panas yang dihasilkan mesin, perlu untuk diperiksan dan diganti secara berkala. Jika pelumas dan *coolant* tidak diperhatikan akan menyebabkan beban kerja mesin induk meningkat untuk mencapai spesfifikasi operasi yang digunakan, termasuk merusak komponen yang ada pada mesin induk. Pemeriksaan dan penggantian *seal* juga menjadi perhatian utama dalam proses perawatan, untuk menjaga proses pembakaran dari potensi kebocoran akibat *wear*. Komponen yang diperhatikan dalam proses perawatan meliputi komponen dengan mode kegagalan yang ada pada Tabel 5.5.

3. Mesin Bantu

Proses perawatan pada mesin bantu terbagi pada dua bagian, proses perawatan komponen yang menghasilkan tenaga mekanis diutamakan pada pendingin dan sistem pelumasan. Pelumas pada mesin memiliki peran penting untuk mengurangi korosi dan gesekan pada mesin, sehingga perlu diperiksa dan diganti secara berkala agar terhindar dari kotoran dan endapan yang dihasilkan mesin. Begitu juga dengan *coolant* yang digunakan untuk memindahkan panas yang dihasilkan mesin, perlu untuk diperiksan dan diganti secara berkala. Jika pelumas dan *coolant* tidak diperhatikan akan menyebabkan beban kerja mesin bantu meningkat untuk mencapai spesifikasi operasi yang digunakan, termasuk merusak komponen yang ada pada mesin bantu. Sedangkan untuk bagian yang menghasilkan energi listrik pemeriksaan berkala terhadap fungsi dari masing masing komponen seperti *alternator*, *diode*, *voltage regulator*, dan *carbon brush*. *Belt* pada mesin bantu juga menjadi komponen perawatan yang perlu diperiksa dan diganti secara berkala karena berpotensi tinggi mengalami kegagalan.

BAB 6
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

1. Sistem Perawatan yang diterapkan pada Kapal tunda pada menggunakan *Periodic Maintenance* dimana adanya tindakan perawatan terjadwal sesuai *running hours* dari komponen seperti mesin induk, mesin bantu, SRP, poros, *windlass*, *winch*, dan pompa PMK. Beberapa komponen selain *machinery* seperti *fender*, jangkar, rantai, tali, pelat kulit dan geladak. menerapkan tindakan perawatan tak terjadwal *(no scheduled maintenance).* Perbaikan pada komponen juga dilakukan setelah adanya temuan dari inspeksi *Class.*
2. Komponen yang berpengaruh pada *reliability* kapal tunda atau *Maintenance significant item (MSI)* dipilih dari biaya dan nilai aset komponen, komponen yang termasuk *item* dari *Survey Class*, tingkat keseringan kerusakan, dan komponen yang terlibat secara langsung pada operasional kapal tunda, komponen MSI kapal tunda adalah mesin induk, mesin bantu, poros, SRP, *FIFI pump, deck plate, shell plate, anchor, chain, cable, fender, windlass*, dan *winch*. MTTF komponen mesin induk sebesar 87 hari. mesin bantu sebesar 96 hari, dan SRP sebesar 132 hari.
3. Prencanaan tindakan perawatan yang sesuai untuk kapal tunda, menggunakan metode RCM berupa penentuan *task selection* dan *task interval* memiliki hasil sebagai berikut:
   a. Hasil Analisa FMEA menhasilkan tiga komponen dengan RPN tertinggi yaitu SRP, mesin induk, dan mesin bantu. *Task selection* dari komponen tersebut adalah *On condition, hard time, dan failure finding,* kombinasi kegiatan diperlukan untuk menjaga performa mesin dan menhindari risiko yang terjadi saat operasi. Saran untuk *interval* perawatan yang didapat dari nilai keandalan minimal 0,8 adalah, setiap 7 hari untuk mesin induk, 14 hari untuk mesin bantu, dan 12 Hari untuk SRP. Dan untuk *interval* pemeriksaan yang optimal adalah 81 hari untuk mesin induk dan 66 hari untuk mesin bantu dan SRP.
   b. *Task selection* untuk komponen mesin induk adalah melakukan penggantian pelumas secara berkala dan jika terindikasi adanya kontaminasi, melakukan penggantian sistem penyaringan mesin, dan *seal* pada mesin menguji dan memonitor komponen mesin, menghindari penggunaan melebihi margin spesifikasi, serta melakukan pembersihan dari kotoran dan korosi dan mesin bantu seperti melakukan penggantian pelumas secara

berkala dan jika terindikasi adanya kontaminasi, melakukan penggantian sistem penyaringan mesin, menguji dan memonitor komponen mesin, terutama pada *seal* menghindari penggunaan melebihi margin spesifikasi. Sedangkan untuk SRP kegiatan memonitor dan mensinkronkan arah dan *pitch* dari *propeller*, pemeriksaan pelumas secara berkala, penggantian *filter* oli, Pemeriksaan korosi dan kotoran pada pipa *hydraulic* kerusakan dari masing masing komponen sesuai ketentuan *survey* dan *maker*.

6.2. Saran

Beberapa saran yang dapat disampaikan untuk pengembangan penelitian ini antara lain:

1. Untuk pengembangan penelitian selanjutnya untuk menentukan tindakan dan rencana perawatan tindakan dan rencana perawatan menggunakan metode RCM berdasarkan faktor seperti biaya, analisis kinerja teknisi dalam menangani tindakan secara spesifik, begitu juga dengan pengetahuan kondisi operasi dan lama dari operasi untuk menjadi faktor pertimbangan serta dilengkapi dengan kuisoner dan data lapangan yang lebih banyak agar data yang didapat lebih *comprehensive*.
2. Untuk pihak terkait yang menggunakan kapal tunda disarankan untuk menerapkan penilitian ini untuk proses perawatan dan perbaikan aset, serta melakukan evaluasi penerapan sehingga *record* lebih *comprehensive* dan proses penerapan RCM lebih maksimal untuk masing-masing komponen pada masing-masing kapal tunda.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmed, S., & Gu, X. C. (2020). Accident-based FMECA study of Marine boiler for risk prioritization using fuzzy expert system. Results in Engineering, 6(April), 100123. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2020.100123

Anantharaman, M., Islam, R., Khan, F., Garaniya, V., & Lewarn, B. (2019). Data analysis to evaluate *reliability* of a main engine. TransNav, 13(2), 403–407. https://doi.org/10.12716/1001.13.02.18

Anantharaman, M. (2013). Using *Reliability* Block Diagrams and Fault Tree circuits, to develop a Condition Based *Maintenance* Model for a Vessel's Main Propulsion System and Related Subsystems. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and *Safety* of Sea Transportation, 7(3), 409–413. https://doi.org/10.12716/1001.07.03.13

Astuti, F. A. F., & Sugiono, S. (2016). Analisis *Interval* Perawatan Komponen Kritis Unit Mesin Stitching Untuk Meminimumkan Biaya Perawatan Dan Meningkatkan Produktivitas. *None*, *17*(2), 253–262. https://doi.org/10.20527/infotek.v17i2.2500

Balakrishnan, P. K., & Sasi, S. (2016). Technological and Economic Advancement of Tug Boats. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, *87*(January), 2278–1684.

Corder, A. S. (1996). *Teknik Manajemen Pemeliharaan*. jakarta: Penerbit Erlangga.

Dhillon, B. S. (2006). *Maintenance , and Reliability and Reliability*.

Ebeling, C. E. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering.pdf* (R. A. Ausburn, ed.). McGraw-Hill.

Ford, S. (2013). *A Critical Analysis of Harbour Towage Operations Risks to Safety*. (May), 87. Retrieved from https://britishtug.com/wordpress/wp-content/uploads/2013/06/A-Critical-Analysis-of-Harbour-Towage-Operations-Risks-To-Safety-by-Stephen-Ford.-31-May-13.pdf

Fuller, P. (2018). *Towage Risk Assessment*. Hampshire.

Lewis, E. E. (1994). *introduction to Reliability Engineering* (2nd ed.). Illinois: John wiley & Sons, Inc.

Moubray, J. (1997). Reliability-centered Maintenance. In *Butterworth-Heinemann* (2nd ed., Vol. 2). Butterworth-Heinemann.

Mufarikhah, N., & Pribadi, T. W. (2016). Studi Implementasi RCM untuk Peningkatan

Produktivitas Dok Apung (Studi Kasus: PT.Dok dan Perkapalan Surabaya). *Jurnal Teknik ITS*, *5*(2). https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.17032

Priyanta, D., Zaman, M. B., & P, A. D. (2017). Maintenance Task Allocation And Planning In KT. X Tugboat Using Reliability Centered Maintenance Method. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, *2*(1). https://doi.org/10.12962/j25481479.v2i1.2704

Ramadhan, M. A. Z., & Sukmono, T. (2019). Penentuan *Interval* Waktu *Preventive Maintenance* Pada Nail Making Machine Dengan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II. *PROZIMA (Productivity, Optimization and Manufacturing System Engineering)*, *2*(2), 49. https://doi.org/10.21070/prozima.v2i2.1349

Republik Indonesia. 2014. Keputusan Presiden No. 66 Tahun 1994 tentang Jasa Kepelabuhanan untuk Angkutan Laut Luar di Pelabuhan Laut yang Diusahakan. Presiden Republik Indonesia, Jakarta.

Republik Indonesia. 2014. Peraturan Menteri Perhubungan No. 93 Tahun 2014 tentang Sarana Bantu dan Prasarana Pemandu Kapal. Perhubungan, Jakarta.

Saputra, A. W. (n.d.). *Analisis Keandalan dalam Menentukan Interval Penggantian Serta Biaya Preventive Maintenance Komponen Cutting Knife (-Studi Kasus di PT . Nyata Grafika Media) Pendahuluan*. 97–102.

Sarwar, G. M. (2006). The Maritime Commons : Digital Repository of the World.

Shipowners. (2015). Loss Prevention: Tugs and Tows - a practical safety and operational guide. 90. Retrieved from www.ukho.gov.uk

Skrabanek, Pierce. (2020, 07 29). *Tugboat* Accidents. Retrieved from Pierce Skrabanek PLLC: https//www.Pstriallaw.com/martime-and-jones-act-injuries/*tugboat*-accindents/

Stazić, L., Knežević, V., Orović, J., & Mihanović, L. (2020). *Maintenance interval* adjustment based on the experience, case study of marine air compressor system. Nase More, 67(2), 146–152. https://doi.org/10.17818/NM/2020/2.7

Taufik, T., & Septyani, S. (2016). Penentuan *Interval* Waktu Perawatan Komponen Kritis pada Mesin Turbin Di PT Pln (Persero) Sektor Pembangkit Ombilin. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, *14*(2), 238. https://doi.org/10.25077/josi.v14.n2.p238-258.2015

Wening, K., Pribadi, T. W., & Baihaqi, I. (2017). Analisis Risiko Pembiayaan Bank pada Galangan Kapal untuk Pembangunan Kapal Baru. Jurnal Teknik ITS, 5(1). https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i1.17672

Xin, Q. (2011). Diesel engine system design. In Diesel Engine System Design (1st Edition). Woodhead Publishing. Basel Committee on Banking Supervision. (2011). Principles for the Sound Management of Operational Risk. Bank for International Settlements, (June 2011), 1–19. Retrieved from https://www.bis.org/publ/bcbs195.pdf

.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Deskripsi Fungsi dan Kegagalan
Lampiran 2 Task Selection
Lampiran 3 Hasil Kurva *Reliability*
Lampiran 4 FTA
Lampiran 5 Kuisioner *Time to repair*
Lampiran 6 Kuisioner LTA
Lampiran 7 Kuisioner MSI
Lampiran 8 *Item* Pemeriksaan Survei *Class*

LAMPIRAN 1
DESKRIPSI FUNGSI DAN KEGAGALAN

No	Functional Group	Fungsi	Kegagalan
1	Kapal Tunda (Harbour Tug)	Sarana pelayanan jasa pandu dan tunda kapal pada pelabuhan	Kapal mengalami kerusakan mesinn induk untuk menunjang sistem propulsi oleh karena itu tidak bisa melakukan proses pandu dan tunda

No	Sistem	Fungsi	Kegagalan
1	Hull	Sebagai struktur kapal yang memebrikan daya apung dan tempat komponen yang ada pada kapal	Lambung dan konstruksi menipis dan keropos karena terjadi korosi
2	Instalasi Permesinan	Untuk sumber energi yang dibutuhkan untuk operasional kapal tunda	Kerusakan pada instalasi permesinan, sehingga tidak ada daya propulsi yang dihasilkan ke unit SRP
3	Instalasi Kelistrikan	Untuk menyalurkan energi pada komponen elektrik operasional kapal	Kerusakan pada instalasi listrik, sehingga tidak bisa menyalurkan sumber energi ke unit unit elektrik
4	Nautika	untuk pandu penentu posisi, arah, komunikasi pada suatu kapal	alat komunikasi dan navigasi tidak dapat beroperasi dengan maksimal

Functional Group	Sistem	Sub Sistem	Fungsi	Kegagalan
Kapal Tunda	*Hull*	*Hull Outfitting*	unit atau instalasi yang dibuthkan untuk operasi dan tambat pada kapal	unit mengalami kerusakan dan tidak dapat berfungsi proses operasi

Functional Group	Sistem	Sub Sistem	Fungsi	Kegagalan
		Hull Construction	Sebagai kekuatan utama kapal untuk menahan beban yang berasal baik dari dalam kapal maupun dari luar kapal	unit mengalami kerusakan dan tidak dapat memenuhi kebutuhan dan persyaratan minimum
		Paint and Corrosion Protection	Agar badan kapal dapat terlindungi dari efek korosi yang berasal dari lingkungan luar	kompnen cat terkelupas dan menipis
		Tanks and Rooms	Memberikan ruang untuk muatan dan ruang akomodasi untuk *crew*	mengalami kebocoran dan tidak mampu menampung kebutuhan kapal
	Instalasi Permesinan	Mesin Induk	Penghasil tenaga agar dapat menggerakkan sistem propulsi pada kapal	terjadi kerusakan sehingga tidak ada tenaga gerak untuk propulsi kapal
		Mesin Bantu	Memberikan daya awal saat mesin induk akan dinyalakan	terjadi kerusakan sehingga tidak ada tenaga listrik untuk unit unit pada kapal

Functional Group	Sistem	Sub Sistem	Fungsi	Kegagalan
		SRP	Menghasil *thrust* yang bertujuan untuk menggerakkan badan kapal	tidak dapat menghasilkan *thrust* dan tidak bisa berubah arah
		Poros	Untuk menyalurkan putaran yang dihasilkan oleh Mesin Induk	terjadi kerusakan pada poros dan bantalan , tidak dapat menghantarkan tenaga dengan maksimum
		Sistem Pendukung	pompa dan instalasi untuk kebutuhan pendukung operasional kapal	teradi kerusakan pada unit tidak dapat mendukung operasional kapal
		Sistem Perpipaan	Untuk mengalirkan baik berupa cairan maupun gas	terjadi kebocoran, penyumbatan dan tidak dapa menyalurkan fluida
		Sistem Kontrol propulsi	Untuk mengatur sudut *pitch* yang dibutuhkan, serta mengatur sudut *rudder*	terjadi kerusakan pada komponen tidak dapat mengontrol SRP
	Instalasi Kelistrikan	Sistem Pembagi Tegangan	membagi Tegangan Input menjadi satu atau beberapa Tegangan Output yang diperlukan oleh Komponen lainnya didalam instalasi listrik kapal	

Functional Group	Sistem	Sub Sistem	Fungsi	Kegagalan
		Kabel Listrik dan instalasinya	Untuk menyalurkan energi listrik ke seluruh bagian di kapal	terjadi putus atau kerusakan tidak dapat menghantarkan arus listrik
		Pembangkit listrik	Untuk mensuplai energi listrik yang dibutuhkan kapal	tidak dapat menghasilkan tenaga listrik
		Panel Hubung Utama dan Panel distribusi	panel untuk menghubungkan atau membagi arus menjadi grup atau cabang sampai ke komponen	terbakar atau terjadi *short circuit* sehingga tidak terdistribusi
		Motor dan starter	Memutarkan *fly wheel* saat pertama kali, sehingga mesin dapat hidup	tidak mampu memnuhi kebutuhan tenaga awal untuk menyalakan mesin
		Penerangan	Untuk memberikan penerangan pada ruangan-ruangan yang terdapat di kapal	terjadi kerusakan pada lampu
	Nautika	Komunikasi *Inboard*	Untuk berkomunikasi dengan *crew* kapal mengenai keadaan internal kapal	sistem komunikasi dan peringatan mengalami keruskaan sehingga tidak dapat berfungsi

Functional Group	Sistem	Sub Sistem	Fungsi	Kegagalan
		Radio Equipment	Untuk berkomunikasi dengan lingkungan luar kapal (*coast guard*, kapal lain) mengenai keadaan kapal	terjadi kerusakan dan kegagalan pada komponen tidak dapat berkomunikasi selama operasi
		Peralatan Navigasi	Untuk penentuan lokasi dan petunjuk arah yang dibutuhkan	peralatan mengalami keruskaan sehingga tidak dapat menjalankan fungsi navigasi

no	Sub-Sistem	Komponen	Fungsi	Kegagalan
1	Mesin Induk	Diesel Engine	sebagai penghasil gaya untuk sistem pendorong kapal	tidak dapat menghasilkan gaya putar untuk propulsi kapal
2	Poros	Intermediate Shaft	sebagai poros yang menghubungkan poros tekan dengan poros ekor	terjadi deformasi atau defleksi atau tidak dapat menghantarkan daya secara maksimal
		Flexibel Coupling	sebagai penghubung poros untuk meneruskan daya yang ditransmisikan	terjadi kerusakan atau tidak dapat meneruskan daya gerak antar poros
		Intermediate Bearing	sebagai tumpuan shaft hingga dapat berputar tapa gesekan yang berlebihan	terjadi kerusakan atau pergesaran dalam menumpu shaft
		Hydraulic clutch	sebagai penghubung poros untuk meneruskan daya yang ditransmisikan dengan sistem hidrolik	terjadi kerusakan pada smaungan atau sistem hidrolik untuk menghantarkan daya secara maksimal

no	Sub-Sistem	Komponen	Fungsi	Kegagalan
3	SRP	Power Input	unit pertama yang menerima gaya dari shaft yang terhubung meisn utama	terjadi misalignment atau tidak dapat menerima dan menghantarkan gaya dari shaft
		Steering Gear	poros yang digunakan untuk memutar *propeller* SRP ke kanan dan kiri	terjadi macet atau kerusakan untuk berputar
		Upper Gearbox	serangkaian unit yang dugunakan untuk meneruskan daya gerak ke unit propulsi yang terletak pada bagian SRP atas	terjadi misalignment atau tidak dapat menerima dan menghantarkan gaya dari shaft
		Underwater Gearbox	serangkaian unit yang dugunakan untuk meneruskan daya gerak ke unit propulsi yang terletak pada bagian SRP yang tercelup	terjadi misalignment atau tidak dapat menerima dan menghantarkan daya gerak ke *propeller*
		Nozzle	digunakan untuk mengarahkan aliran fluida pada SRP	terjadi korosi dan keropos
		Vertical Power Transmission shaft	poros untuk penyambung daya secara vertikal dari upper gear ke underwater gear	terjadi deformasi atau defleksi atau tidak dapat menghantarkan daya secara maksimal
		Propeller Blade	untuk mengubah daya rotasi menajdi gaya dorong	terjadi korosi dan keropos atau patah
		Pompa Pelumas	untuk memompa minyak pelumas ke unit SRP kapal tunda	tidak dapat memompa pelumas untuk disalurkan ke komponen dalam SRP
4	Sistem Kontrol Propulsi	Electro-Peneumatic System	sistem kontrol SRP jarak jauh dengan menggunakan joy stick	terjadi kerusakan atau tidak terhubung dengan SRP
		Joystick	unit yang digunakan untuk mengontrol SRP dari anjungan	terjadi kerusakan pada sistem kontrol SRP

no	Sub-Sistem	Komponen	Fungsi	Kegagalan
5	Mesin Bantu	Engine Control Unit	unit untuk mengontrol kerja dari suatu mesin secara otomatis	terjadi kerusakan sehingga tidak dapat mengontrol kerja mesin
		Diesel generator	sebagai penghasil gaya listrik yang dibutuhkan oleh kapal tunda	tidak dapat menghasilkan listrik untuk alat operasional kapal tunda
		Altenator	alat elektromekanis yang mengkonversi energi mekanik menjadi energi arus listrik bolak balik	tidak dapat mengkonversi energi mekanik menjadi energi arus listrik
		Pompa Pendingin Air Tawar	untuk memompa air tawar untuk mendinginkan unit pada blok mesin	tidak dapat memompa air tawar untuk disalurkan ke dalam pendingin mesin
		Pompa Pendingin Air Laut	untuk memompa air laut dari luar kapal dan mensirkulasikan pada pendingin kapal	tidak dapat memompa air laut untuk disalurkan ke dalam pendingin mesin
		Pompa minyak Pelumas	untuk memompa minyak pelumas ke unit pada mesin	tidak dapat memompa pelumas untuk disalurkan ke dalam mesin
		Cooler minyak Pelumas	untuk mendinginkan minyak pelumas yang tersirkulasi pada mesin	tidak dapat mendinginkan minyak pelumas yang tersirkulasi pada mesin
		Cooler air tawar	untuk mendinginkan air tawar yang tersirkulasi pada mesin	tidak dapat mendinginkan air tawar yang tersirkulasi pada mesin
		Pompa Bahan bakar	untuk memompa bahan bakan ke unit pembakaran pada mesin	tidak dapat memompa bahan bakar untuk disalurkan ke dalam pemabakar mesin
6	Peralatan Bantu	Kompresor dan Botol Angin	sebagai penyedia dan penyimpanan udara bertekanan untuk air starter	tidak dapat menjalankan fungsi dengan maksimal
		Pompa minyak Pelumas	untuk memompa minyak pelumas ke unit mesin bantu yang digunakan pada kapal tunda	tidak dapat memompa minyak pelumas ke alat penndukung permesinan dan perlengkapan kapal

no	Sub-Sistem	Komponen	Fungsi	Kegagalan
		Pompa Bilga	untuk memompa oily water yang ada pada bilge kamar mesin untuk dibuang	tidak dapt dipompa untuk dibuang melaului overboard
		Pompa Ballast	untuk memompa air laut untuk mengisi dan mengosongkan air laut dari kompartemen ballast pada kapal tunda	tidak dapat atau terjadi penurunan kapastsitas dalam pengisian kompartemen ballas
		Pompa General Service Pump	untuk memompa air laut yang digunakan untuk pemadam, pendingin, dan lainya.	tidak dapat memompa air laut untuk disalurkan ke dalam unit kapal
		Oil Water Separator	untuk memisahkan antara air dan kandungan minyak utuk dibuang ke laut	tidak dpat memisahkan air dengan kandungan minyak
		Pompa Bilga Tangan	untuk memompa oily water yang ada pada bilge kamar mesin untuk dibuang secara manual	tidak dapt dipompa untuk dibuang melaului overboard
		Pompa dan Tangki Hydrophore	untuk memompa dan menyimpan air tawar bertekanan sehingga siap digunakan	tidak dapat menyalurkan air tawar untuk kebutuhan sehari hari pada kapal
		Pompa Pemadam Kebakaran	sebagai pemompa dari air laut ke sistem pemadam kebakaran pada kapal	tidak dapar menyalurkan debit air yanng cukup untuk proses pemadam kebakaran
		Sprinkler Dispersant	sistem yang digunakan untuk menguarangi pencemaran akibat tumpahan minyak	tersumbat atau tidak dapat berfungsi dengan maksimal
		Sprinkler	sistem yang digunakan untuk memadamkan kebakaran dengan memancarkan air	tersumbat atau tidak dapat berfungsi dengan maksimal
7	Sistem Perpipaan	pipa udara tekan	untuk mengalirkan udara bertekanan ke *air starter*	tidak dapat mengalirkan cukup

no	Sub-Sistem	Komponen	Fungsi	Kegagalan
				udara untuk proses air starter
		pipa PMK	untuk pipa pemadam kebakaran	penurunan kapasitas aliran air untuk proses pemadam kebakaran
		pipa Pencuci Geladak	untuk menyalurkan air ke pencuci geladak	penurunan kapasitas aliran air untuk pencuci geladak
		Pipa Bilga	sebagai penghubun pompa bilga dengan *bilge well*	terjadi kebocoran atau penurunan kapasitas aliran fluida
		Pipa Ballast	untuk menyalurkan air ke kompartemen-kompartemen ballast kapal tunda	terjadi kebocoran atau penurunan kapasitas aliran fluida
		Pipa PMK Eksternal	untuk pipa pemadam kebakaran darurat yang tidak berada pada kapal	terjadi kebocoran atau penurunan kapasitas aliran fluida
		Pipa Pendingin Mesin Induk	untuk menyalurkan air laut yang digunakan sebagai pendingin mesin utama	terjadi kebocoran atau penurunan kapasitas aliran fluida pendingin
		Pipa Pendingin Mesin Bantu	untuk menyalurkan air laut yang digunakan sebagai pendingin mesin utama	terjadi kebocoran atau penurunan kapasitas aliran fluida pendingin
		Pipa Bahan Bakar	untuk menyalurkan bahan bakar dari tangki bahan bakar ke mesin	terjadi kebocoran atau penurunan kapasitas aliran bahan bakar ke mesin
		Pipa Minyak Pelumas	untuk menyalurkan minyak pelumas dari tangki bahan bakar ke mesin	terjadi kebocoran atau penurunan kapasitas aliran pelumas
		Pipa Hydrophore Air Tawar	untuk mengalirkan air tawar kedalam kapal dari tangki hydrophore	terjadi kebocoran atau penurunan kapasitas aliran air tawar
		Pipa Udara	untuk mengurangi tekanan udara dalam tangki	terjadi penyumbatan atau kebocoran pada pipa

no	Sub-Sistem	Komponen	Fungsi	Kegagalan
		Pipa Sounding	untuk mengetahui kuantitas cairan dalam suatu tangki	terjadi kemiringan atau ketidak sesuaian
		Pipa pembuangan	untuk mengalirkan air kotor dan ar limbah ke tangki pembuangan	terjadi kebocoran atau kapasitas aliran fluida tidak sesuai
		Sea Chest	untuk mengalirkan air laut kedalam kapal untuk diperguanakn selama pengoprasian	terjadi kebocoran atau penurunan kapasitas aliran fluida
1	Perlengkapan Lambung	*Winch*	untuk mengencangkan atau mengendrokan tali tambat/ tali tunda pada kapal	terjadi kerusakan dan tidak dapat menggulung tali tambat/tali tunda
		Windlass (fore)	untuk menaikan dan menurunkan jangkar dengan menarik atau mengulur rantai janngkar	terjadi kerusakan dan tidak dapat menggulung rantai jangkar
		Fender	untuk meredam benturan dengan kapal lain saat pengoperasian kapal tunda	terjadi kerusakan tidak dapat meredam tekanan
		Deck crane	untuk memindahkan suplai barang ke dalam atau keluar kapal	terjadi kerusakan tidak dapat berfungsi
		Anchor and chain cable	sebagai alat tambat dari kapal tunda	Putus dan terjadi kerusakan
		Bollards	untuk mengikat, mematikan, megatur arah tali tambat	terjadi keropos dan kerusakan
		Mooring pipe	untuk mengikat dan mematikan tali tambat	terjadi keropos dan kerusakan
		Deck roller	mengatur arah dan mengurangi gesekan peralatan tambat	terjadi keropos dan kerusakan
		Anchor bow roller	mengatur arah dan mengurangi gesekan rantai jangkar	terjadi keropos dan kerusakan

no	Sub-Sistem	Komponen	Fungsi	Kegagalan
		Fairleader	mengatur arah dan mengurangi gesekan tali tambat	terjadi keropos dan kerusakan
		Mooring lines	tali yang digunakan untuk proses tambat kapal	terjadi keropos dan kerusakan
		tow beam	untuk mengikat, mematikan, megatur arah tali derek	terjadi keropos dan kerusakan
		Towing Hook	sebagai pengai tali untuk menarik kapal lain	terjadi keropos dan kerusakan
2	Cat dan Perlindungan Korosi	Red lead paint	lapisan cat untuk memberi warna pada lambung kapal	terkelupas dan menipis tidak melapisi konstruksi kapal
		Anti corrosive paint	untuk mencegah air laut menyerap ke bagian lambung dan menyebabkan korosi	terkelupas dan menipis tidak melapisi konstruksi kapal dari korosi
		Anti fouling paint	untuk melindungi bagian lambung dari kontaminasi binatang laut	trkelupas dan menipis tidak melapisi konstruksi kapal dari biofouling
		Bottom paint	lapisan cat pada bagian bottom kapal	terkelupas dan menipis tidak melapisi konstruksi kapal
		Deck coat	untuk melapisi bagian deck pada kapal	terkelupas dan menipis tidak melapisi konstruksi kapal
		Finished coat	pelapis terakhir bagian luar lapisan cat anti fouling	terkelupas dan menipis tidak melapisi konstruksi kapal
		Iron oxide coat	untuk melapisi bagian deck pada kapal dari korosi	terkelupas dan menipis tidak melapisi konstruksi kapal
		Coal tar coat	untuk memproteksi pipa dan tangki pada kapal dari korosi	terkelupas dan menipis tidak melapisi konstruksi kapal
		Tar Epoxy coat	untuk memproteksi pipa dan tangki pada kapal dari korosi	terkelupas dan menipis tidak melapisi konstruksi kapal
		*Seal*er	untuk mengikat antara dua lapisan pada cat atau pelapis anti korosi pada kapal	terkelupas dan menipis tidak melapisi konstruksi kapal

no	Sub-Sistem	Komponen	Fungsi	Kegagalan
		High resistance coat	untuk memproteksi pipa dan tangki pada kapal dari suhu tinggi	terkelupas dan menipis tidak melapisi konstruksi kapal
		High built epoxy taste and coat	lapisan tambahan memproteksi pipa dan tangki pada kapal darisuhu tinggi	terkelupas dan menipis tidak melapisi konstruksi kapal
		Bitumen solution	untuk memproteksi pipa dan tangki pada kapal dari korosi	terkelupas dan menipis tidak melapisi konstruksi kapal
		Sacrificial anode	untuk melindungi lambung kapal dari karat	Habis dan tidak berfungsi melindungi kapal dari korosi
3	Konstruksi Lambung	Plate	Untuk memberikan kekedapan pada ruangan yang ada di dalam kapal, serta menambahkan kekuatan pada kapal	terjadi penipisan dan kebocoran
		Hatch opening	Pembuka / penutup lubang palkah	terjadi keropos dan korosi
		portable panel	penutup lubang langsung ke arah SRP pada main deck	terjadi keropos dan korosi
		Main Deck Beam	Penopang beban dari main deck	terjadi kerusakan tidak dapat memenuhi kebutuhan kekuatan konstruksi
		Main deck web	Penopang beban dari main deck	terjadi kerusakan tidak dapat memenuhi kebutuhan kekuatan konstruksi
		main deck side girder	Menguatkan konstruksi main deck secara menanjang	terjadi kerusakan tidak dapat memenuhi kebutuhan kekuatan konstruksi
		main deck center girder	Menguatkan konstruksi main deck secara menanjang	terjadi kerusakan tidak dapat memenuhi kebutuhan kekuatan konstruksi
		Transverse Bulkhead	Sekat memisahkan bagian dari kapal secara melintang	terjadi kerusakan tidak dapat memenuhi kebutuhan kekuatan konstruksi

no	Sub-Sistem	Komponen	Fungsi	Kegagalan
		Centerline Bulkhead (Watertight Bulkhead)	Sekat memisahkan bagian dari kapal secara memanjang	terjadi kerusakan tidak dapat memenuhi kebutuhan kekuatan konstruksi
		Stringer	Profil untuk menambah kekuatan memanjang lambung kapal	terjadi kerusakan tidak dapat memenuhi kebutuhan kekuatan konstruksi
		Stem Bar	sebagai konstruksi linggi yang tersambung dengan uung lunas pelat	terjadi kerusakan tidak dapat memenuhi kebutuhan kekuatan konstruksi
		Pillar	Menguatkan konstruksi main deck dengan luasan tertentu	terjadi kerusakan tidak dapat memenuhi kebutuhan kekuatan konstruksi
		Bulkhead Stiffener	penegar dari dinding sekat pemisah	terjadi kerusakan tidak dapat memenuhi kebutuhan kekuatan konstruksi
		Tank Top	pelat dindiing bagian atas dari tangki penyimpanan pada kapal	terjadi kerusakan tidak dapat memenuhi kebutuhan kekuatan konstruksi
		Pillar Bracket	pelat siku penguat sambungan pillar dengan geladak	terjadi kerusakan tidak dapat memenuhi kebutuhan kekuatan konstruksi
		Flange	komponen untuk menggabungkan dua pipa atau pipa dengan valve	terjadi kerusakan tidak dapat memenuhi kebutuhan kekuatan konstruksi
		Plummer Block seating	tempat penyangga dari shaft kapal dengan bearing	terjadi kerusakan tidak dapat memenuhi kebutuhan kekuatan konstruksi
		Outboard engine girder	Penyangga mesin induk yang mendekati kanan dan kiri kapal secara memanjang	terjadi kerusakan tidak dapat memenuhi kebutuhan kekuatan konstruksi
		inboard engine girder	Penyangga mesin induk yang mendekati centerline secara memanjang	terjadi kerusakan tidak dapat memenuhi kebutuhan kekuatan konstruksi

no	Sub-Sistem	Komponen	Fungsi	Kegagalan
		Floor	konstruksi penguat untuk menyanngga pelat alas lambung kapal	terjadi kerusakan tidak dapat memenuhi kebutuhan kekuatan konstruksi
		Wing tank floor	konstruksi penguat untuk menyanngga pelat sisi lambung kapal	terjadi kerusakan tidak dapat memenuhi kebutuhan kekuatan konstruksi
		Engine room floor	konstruksi penguat untuk menyanngga pelat alas pada kamar mesin	terjadi kerusakan tidak dapat memenuhi kebutuhan kekuatan konstruksi
		Bulwark	Pengaman pada sisi main deck	terjadi keropos dan korosi
4	Tanks and rooms	Fuel Oil Tank	sebagai tempat menyimpan bahan bakar minyak untuk operasional kapal	terjadi crack atau berlubang
		Lube Oil Tank	sebagai tempat menyimpan minyak pelumas untuk operasional kapal	terjadi crack atau berlubang
		Dirty Oil Tank	sebagai tempat menyimpan minyak pelumas yang telah digunakan sirkulasi pada mesin	terjadi crack atau berlubang
		Foam Double bottom tank	tangki penyimpanan alat pemadam kebakaran berupa foam	terjadi crack atau berlubang
		Leak Tank		terjadi crack atau berlubang
		Sewage Tank	sebagai tempat penampungan limbah yang dihasilkan selama pengoperasian kapal	terjadi crack atau berlubang
		Fire Pump	ruang untuk pompa keperluan pemadam kebakaran	terjadi crack atau berlubang
		Cofferdam	ruang kosong untuk mencegah kontaminasi pada suatu zat di salah satu sisi pada kapal	terjadi crack atau berlubang

no	Sub-Sistem	Komponen	Fungsi	Kegagalan
		Fresh Water tank	sebagai tempat menyimpan persediaan air tawar yang digunakan selama pengoperasian kapal	terjadi crack atau berlubang
		Chain Locker	sebagai tempat rantai dari jangkar kapal saat jangkar tidak diturunkan	terjadi crack atau berlubang
		Water Ballast Tank	kompartemen untuk air ballast dari kapal tunda	terjadi crack atau berlubang
		Oil Dispersant BOOM	tempat penyimpanan oil dispersant	terjadi crack atau berlubang
		Bilge Holding tank	sebagai tempat penampungan campuran air dan oli dari kamar mesin sebelum dibuang ke laut	terjadi crack atau berlubang
		CO2 room	tempat penyimpanan Tabung CO2 yang digunakan untuk memadamkan kebakaran	terjadi crack atau berlubang
1	Sistem Pembagi Tegangan	Sistem Arus Bolak Balik	untuk menyalurkan arus listrik yang digunakan untuk penerangan, kontrol, navigasi, dan komunikasi kapal tunda	terjadi kerusakan atau tidak dapat menyalurkan arus listrik
		Sistem Arus Searah	untuk menyalurkan arus listrik yang digunakan untuk penerangan, kontrol, navigasi, dan komunikasi kapal tunda dalam keadaan darurat	terjadi kerusakan atau tidak dapat menyalurkan arus listrik dalam keadaan darurat
2	Kabel Listrik dan instalasinya	Kabel Listrik Marine	Untuk menyalurkan listrik yang dihasilkan generator ke unit elektrikal yang ada pada kapal	terjadi putus atau terbakar sehingga listrik tidak dapat tersalurkan

no	Sub-Sistem	Komponen	Fungsi	Kegagalan
		Instalasi Kabel Listrik	pelengkap seperti pelindung, tray untuk kabel listrik yang dipasang pada kapal tunda	terjadi kerusakan sehingga posisi instalasi kelistrikan akan berubah atau berantakan
3	Pembangkit listrik	Generator Utama	sebagai unit pembangkit lstrik yang akan disalurkan kepada komponen kelistrikan	tidak dapat menghasilkan listrik untuk alat operasional kapal tunda
		Baterai	alat untuk meyimpan daya listrik untuk suplai listrik dalam keadaan darurat	terjadi kerusakan atau perubahan kapasitas penyimpanan energi listrik
4	Panel Hubug Utama dan Panel distribusi	Panel Hubung utama	untuk kontrol dan distribusi keseluruh bagian kapal	terjadi kerusakan dan tidak dapat mendistribusikan energi listrik
		Panel Distribusi	penghubung dari main switch board ke unit elektrik kotak distributor	terjadi kerusakan dan tidak dapat mendistribusikan energi listrik
		Panel Lokal	penghubung dari panel distribusi ke unit unit elektrik pada kapal	terjadi kerusakan dan tidak dapat mendistribusikan energi listrik ke unit elektrik
5	Motor dan starter	Motor	untuk menggerakan unit pendukung dengan energi listrik	terjadi kerusakan atau tidak dapat menggerakan unit pendukung dan mesin
		Starter	untuk memberi tenaga atau putaran awal bagi mesin untuk bekerja	terjadi kerusakan atau tidak dapat memberi tenaga awal untuk mesin
6	Penerangan	penerangan utama	untuk penerangan diseluruh bagian dan ruangan pada kapal tunda	terjadi kerusakan pada komponen penerangan kapal
		Penerangan darurat	untuk penerangan diseluruh bagian dan ruangan pada kapal tunda dalam keadaan darurat	terjadi kerusakan pada komponen penerangan untuk kondisi darurat

no	Sub-Sistem	Komponen	Fungsi	Kegagalan
		Lampu Navigasi dan isyarat	lampu yang digunakan untuk menetukan arah, posisi dan jenis kapal	terjadi kerusakan pada komponen penerangan navigasi dan isyarat
1	Komunikasi *Inboard*	Sistem Telepon	Untuk melakukan komunikasi antar *crew* yang ada di kapal	Sistem Komunikasi tidak dapat berfungsi
		Sistem Pengeras suara	Merubah gelombang elektrik atau listrik menjadi audio atau gelombang suara.	Sistem Komunikasi tidak dapat berfungsi
		Indikator *Propeller*	untuk menunjukan posisi atau araha dari *propeller*	Sistem mengalami kerusakan tidak dapat menunjukan arah *propeller*
		Indikator Putaran Mesin	untuk menunjukan kondisi putaran atau RPM mesin saat beroperasi	Sistem mengalami kerusakan tidak dapat menunjukan putaran mesin
		Sistem isyarat Panggilan	untuk komuniaksi internal antara ruang navigasi dan kamr mesin berupa bell atau lampu dan dilengkapi saklar untuk respon balik	Sistem Komunikasi tidak dapat berfungsi
		Sistem Alarm Bahaya	untuk peringatan jika terjadi bahaya atau keadaan darurat pada kapal	Sistem mengalami kerusakan tidak dapat menunjukan tanda bahaya
		Sistem Alarm Mesin	untuk peringatan jika terjadi perubahan tekanan, volume cairan, temperatur dan kerusakan pada komponen mesin	Sistem mengalami kerusakan tidak dapat berfungsi
		Powered Independet Telephone	untuk alat komunikasi antara navigasi dan kamar mesin atau ruang kemudi SRP	Sistem Komunikasi tidak dapat berfungsi
2	Radio Equipment	VHF Radio Telephone	Untuk melakukan komunikasi apabila kapal dalam keadaan bahaya	Sistem Komunikasi tidak dapat berfungsi

no	Sub-Sistem	Komponen	Fungsi	Kegagalan
		Radio Telephone VHF 2 Arah	Untuk melakukan komunikasi dengan *coast guard* apabila kapal dalam keadaan bahaya	Sistem Komunikasi tidak dapat berfungsi
		EPIRB (Emergency Positionin Indicating Radio Beacon)	Mengirimkan sinyal apabila kapal dalam keadaan bahaya	Sistem Komunikasi tidak dapat berfungsi
		SART (Search and Rescue Radar Transponder)	Untuk memudahkan menemukan lokasi kapal (*survival craft*)	Sistem Komunikasi tidak dapat berfungsi
		RadioTelephone SSB	Mengirimkan informasi dengan jarak yang jauh	Sistem Komunikasi tidak dapat berfungsi
		TV-FM-AM Broadcast Radio Receiver	unit untuk entertaimen dari awak kapal	Sistem Komunikasi tidak dapat berfungsi
3	Peralatan Navigasi	Standard Table Compass	Menunjukkan arah mata angin	peralatan navigasi tidak dapat berfungsi
		Echo Sounder	Mengukur kedalaman perairan, mengetahui bentuk dasar suatu perairan dan untuk mendeteksi gerombolan ikan dibagian bawah kapal secara vertical.	peralatan navigasi tidak dapat berfungsi
		GPS	Menentukan letak di permukaan bumi dengan bantuan penyelarasan (synchronization) sinyal satelit.	peralatan navigasi tidak dapat berfungsi
		Radar	Mendeteksi, mengukur jarak dan membuat map benda-benda yang berada di sekitar kapal	peralatan navigasi tidak dapat berfungsi
		Suling Kapal	Memberikan instruksi kepada *crew dan penumpang kapal bahwa kapal akan sandar atau pun yang lain*	peralatan navigasi tidak dapat mengeluarkan suara

no	Sub-Sistem	Komponen	Fungsi	Kegagalan
		Clear View Screen and Wiper	Agar operator dapat melihat dengan jelas objek yang berada di depan kapal	peralatan terjadi kerusakan dan tidak dapat berfungsi
		Sistem Kontrol Kemudi	Untuk mengatur sudut dan arah dari *propeller* maupun *rudder* supaya sesuai dengan arah yang akan dituju oleh kapal	peralatan navigasi tidak dapat berfungsi kemudi kapal terganggu
		Anemometer	Untuk mengukur kecepatan angin	peralatan navigasi tidak dapat berfungsi

LAMPIRAN 2
TASK SELECTION

no	nama komponen	task kebijakan saat ini	Evaluasi konsekuensi				H1 S1 E1 O1	H2 S2 E2 O2	S3	H3	H4	*TASK SELECTION*	KETERANGAN
			H	S	E	O							
1	Mesin Induk	*On condition* dan *Hard time*	Y	Y	-	Y	Y	Y	Y	-	-	*On condition, Hard time,* dan *Failure finding*	Kombinasi kegiatan dipilih dengan pertimbangan bahwa komponen akan aman digunakan jika dilakukan kegiatan *on condition* berupa inspeksi visual dan pendengaran dipadukan dengan penggantian komponen secara berkala beserta menguji kinerja agar terhindar dari kegagalan komponen saat operasi
2	Mesin Bantu	*On condition* dan *Hard time*	Y	Y	-	Y	Y	Y	Y	-	-	*On condition, Hard time,* dan *Failure finding*	Kombinasi kegiatan dipilih dengan pertimbangan bahwa komponen akan aman digunakan jika dilakukan kegiatan *on condition* berupa inspeksi visual dan pendengaran dipadukan dengan penggantian komponen secara berkala beserta menguji kinerja agar terhindar dari kegagalan komponen saat operasi

no	nama komponen	task kebijakan saat ini	Evaluasi konsekuensi				H1 S1 E1 O1	H2 S2 E2 O2	S3	H3	H4	*TASK SELECTION*	KETERANGAN
			H	S	E	O							
3	Poros	*On condition* dan *Hard time*	Y	Y	-	Y	Y	Y	Y	-	-	*On condition, Hard time,* dan *Failure finding*	Kombinasi kegiatan dipilih dengan pertimbangan bahwa komponen akan aman digunakan jika dilakukan kegiatan *on condition* berupa inspeksi visual dan pendengaran dipadukan dengan penggantian komponen secara berkala beserta menguji kinerja agar terhindar dari kegagalan komponen saat operasi
4	SRP	*On condition* dan *Hard time*	Y	Y	-	Y	Y	Y	Y	-	-	*On condition, Hard time,* dan *Failure finding*	Kombinasi kegiatan dipilih dengan pertimbangan bahwa komponen akan aman digunakan jika dilakukan kegiatan *on condition* berupa inspeksi visual dan pendengaran dipadukan dengan penggantian komponen secara berkala beserta menguji kinerja agar terhindar dari kegagalan komponen saat operasi

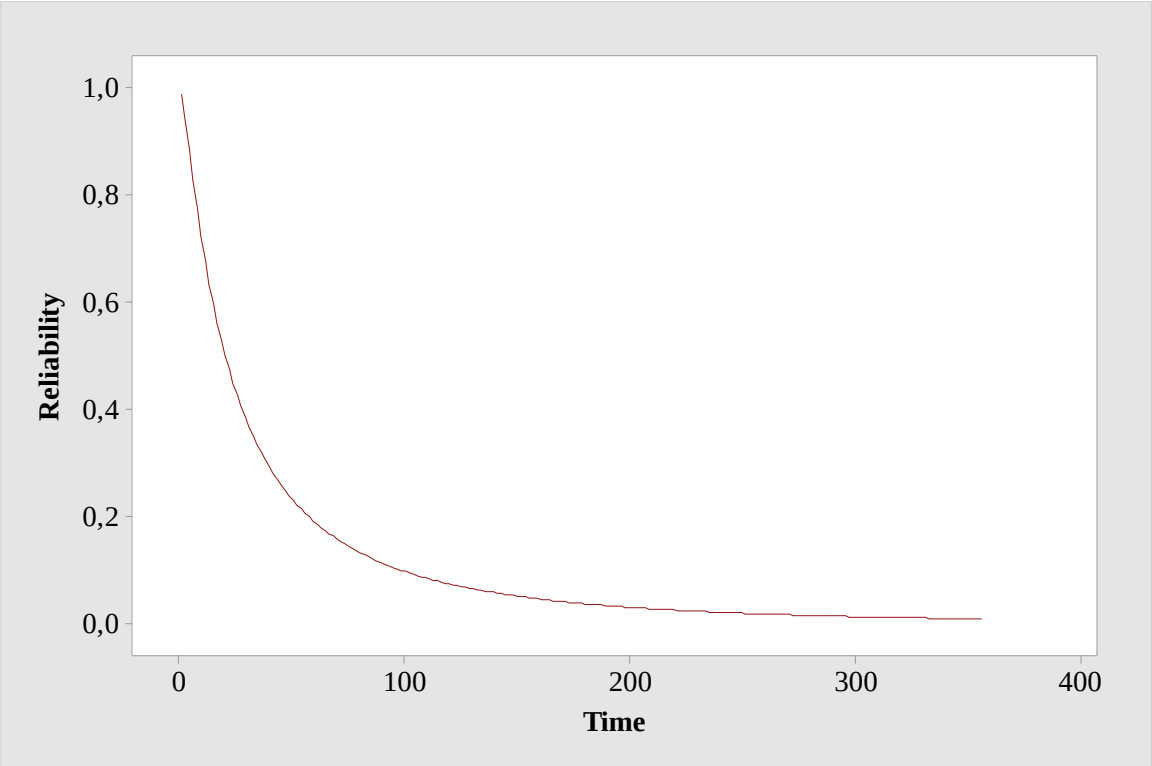
no	nama komponen	task kebijakan saat ini	Evaluasi konsekuensi				H1 S1 E1 O1	H2 S2 E2 O2	S3	H3	H4	*TASK SELECTION*	KETERANGAN
			H	S	E	O							
5	FIFI Pump	*On condition* dan *Hard time*	Y	Y	-	Y	Y	Y	Y	-	-	*On condition, Hard time,* dan *Failure finding*	Kombinasi kegiatan dipilih dengan pertimbangan bahwa komponen akan aman digunakan jika dilakukan kegiatan *on condition* berupa inspeksi visual dan pendengaran dipadukan dengan penggantian komponen secara berkala beserta menguji kinerja agar terhindar dari kegagalan komponen saat operasi
6	Deck Plate	*On condition* dan *run to failure*	Y	Y	-	Y	Y	-	-	-	-	*On condition*	Kegiatan *on condition* dipilih dengan pertimbangan lebih aman secara fungsi operasional, kegiatan berupa inspeksi visual dipadukan dengan *condition monitoring*

no	nama komponen	task kebijakan saat ini	Evaluasi konsekuensi				H1 S1 E1 O1	H2 S2 E2 O2	S3	H3	H4	*TASK SELECTION*	KETERANGAN
			H	S	E	O							
7	Shell Plate	*On condition* dan *run to failure*	Y	Y	-	Y	Y	-	-	-	-	*On condition*	Kegiatan *on condition* dipilih dengan pertimbangan lebih aman secara fungsi operasional, kegiatan berupa inspeksi visual dipadukan dengan *condition monitoring*
8	Ancor, chain, Cable, Rope	*On condition* dan *run to failure*	Y	Y	-	Y	Y	-	-	-	-	*On condition*	Kegiatan *on condition* dipilih dengan pertimbangan lebih aman secara fungsi operasional, kegiatan berupa inspeksi visual dipadukan dengan *condition monitoring*
9	Fender	*On condition* dan *run to failure*	Y	Y	-	Y	Y	-	-	-	-	*On condition*	Kegiatan *on condition* dipilih dengan pertimbangan lebih aman secara fungsi operasional, kegiatan berupa inspeksi visual dipadukan dengan *condition monitoring*

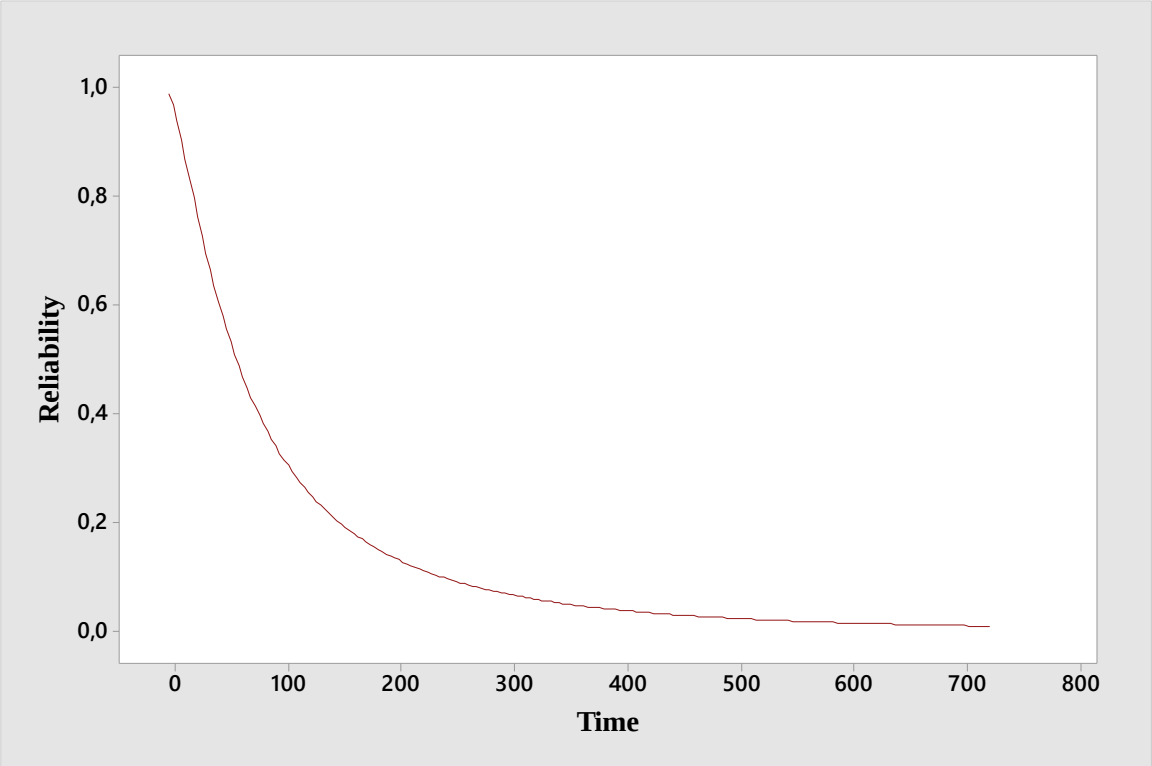
no	nama komponen	task kebijakan saat ini	Evaluasi konsekuensi				H1 S1 E1 O1	H2 S2 E2 O2	S3	H3	H4	*TASK SELECTION*	KETERANGAN
			H	S	E	O							
10	Windlass	*On condition* dan *Hard time*	Y	Y	-	Y	Y	Y	Y	-	-	*On condition, Hard time,* dan *Failure finding*	Kombinasi kegiatan dipilih dengan pertimbangan bahwa komponen akan aman digunakan jika dilakukan kegiatan *on condition* berupa inspeksi visual dan pendengaran dipadukan dengan penggantian komponen secara berkala beserta menguji kinerja agar terhindar dari kegagalan komponen saat operasi
11	*Winch*	*On condition* dan *Hard time*	Y	Y	-	Y	Y	Y	Y	-	-	*On condition, Hard time,* dan *Failure finding*	Kombinasi kegiatan dipilih dengan pertimbangan bahwa komponen akan aman digunakan jika dilakukan kegiatan *on condition* berupa inspeksi visual dan pendengaran dipadukan dengan penggantian komponen secara berkala beserta menguji kinerja agar terhindar dari kegagalan komponen saat operasi

LAMPIRAN 3
HASIL KURVA *RELIABILITY*

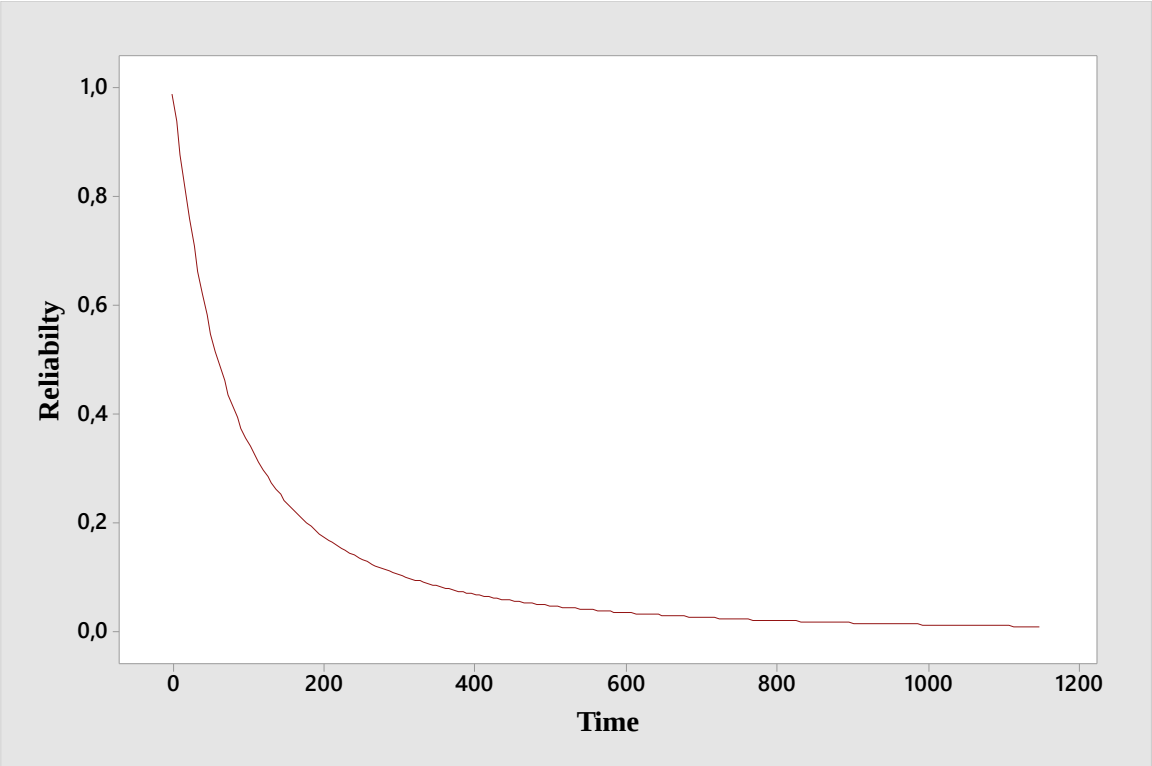
Mesin Induk



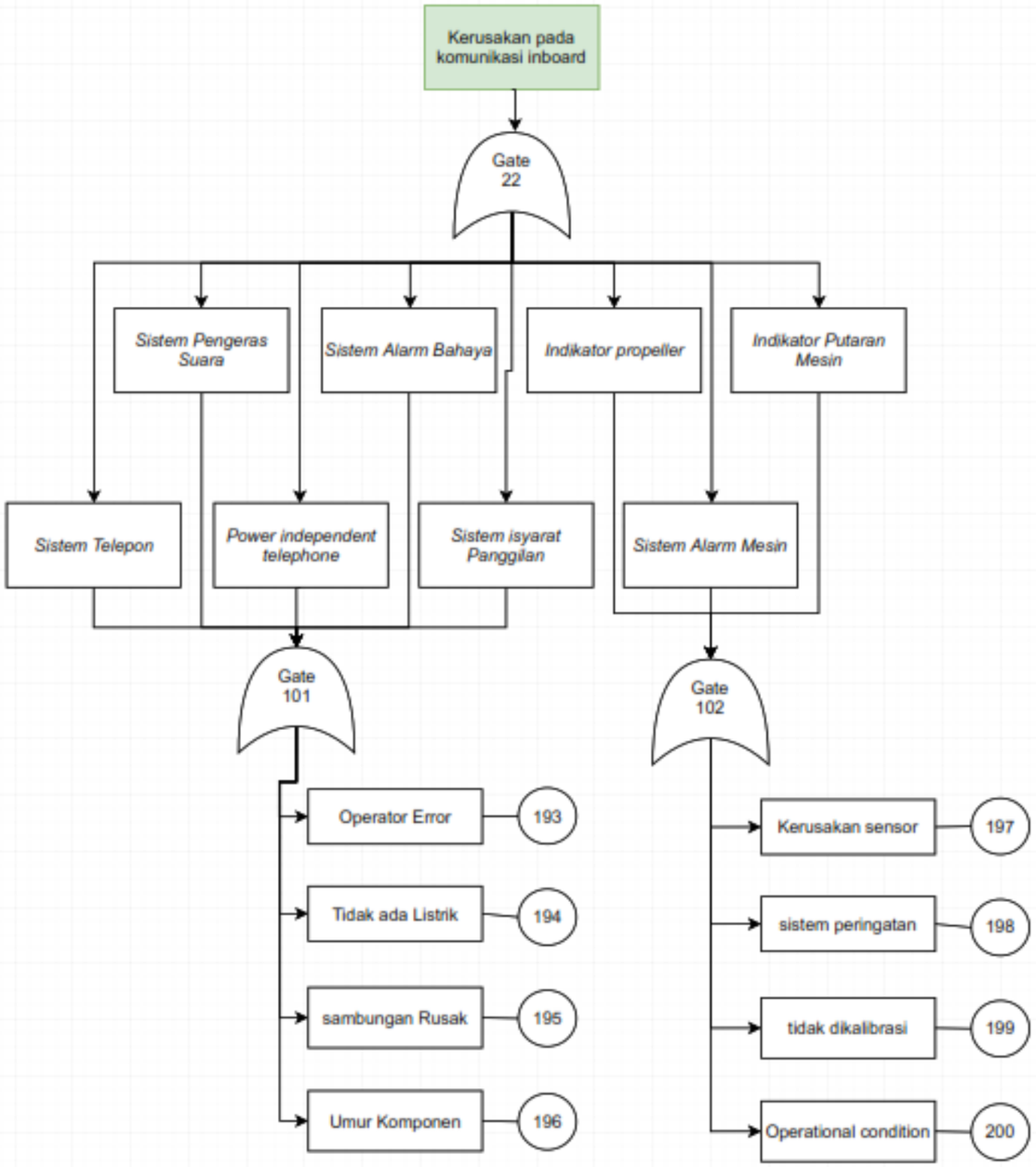
Mesin Bantu

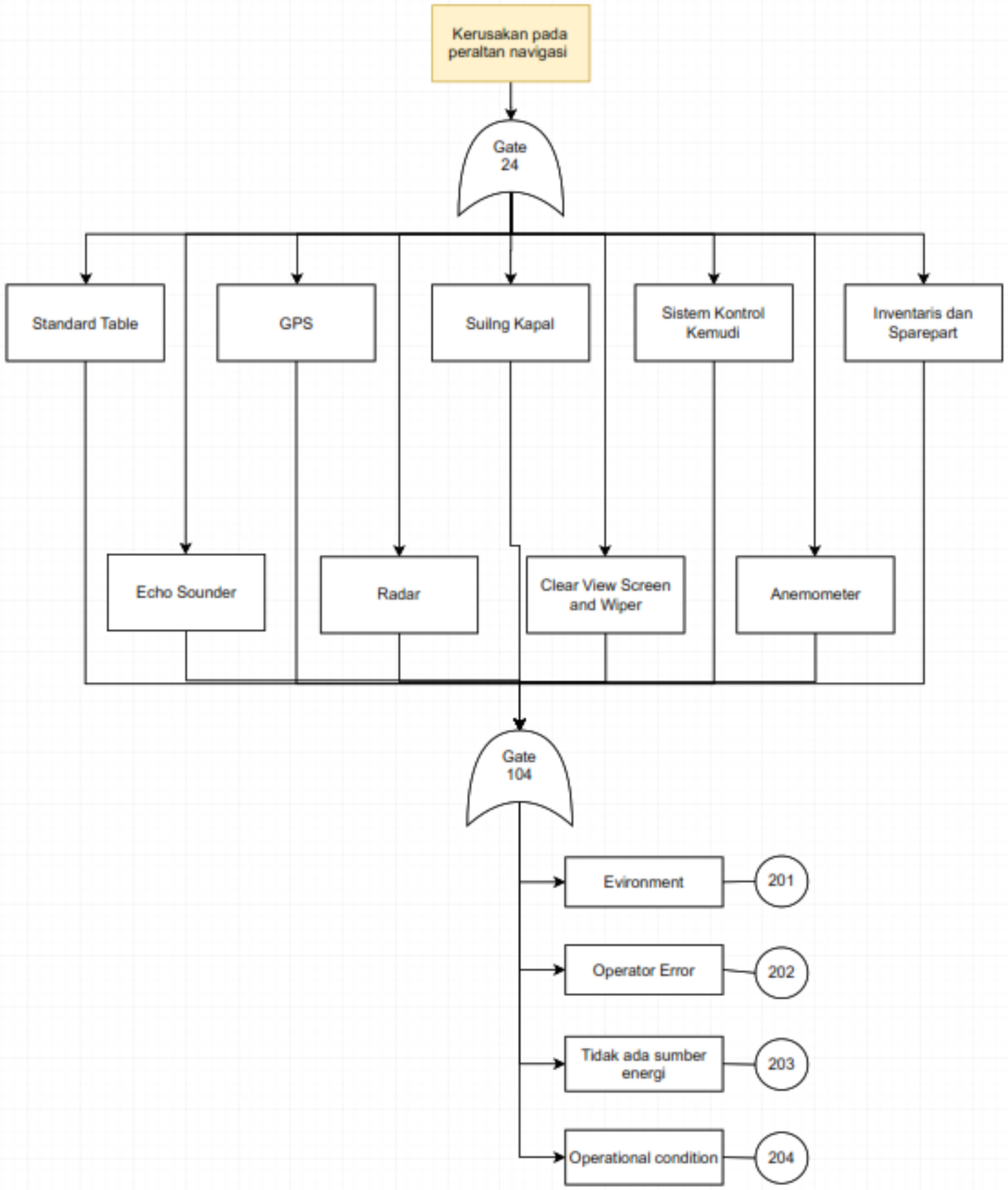


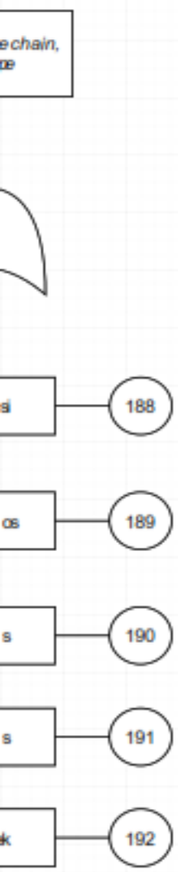
SRP

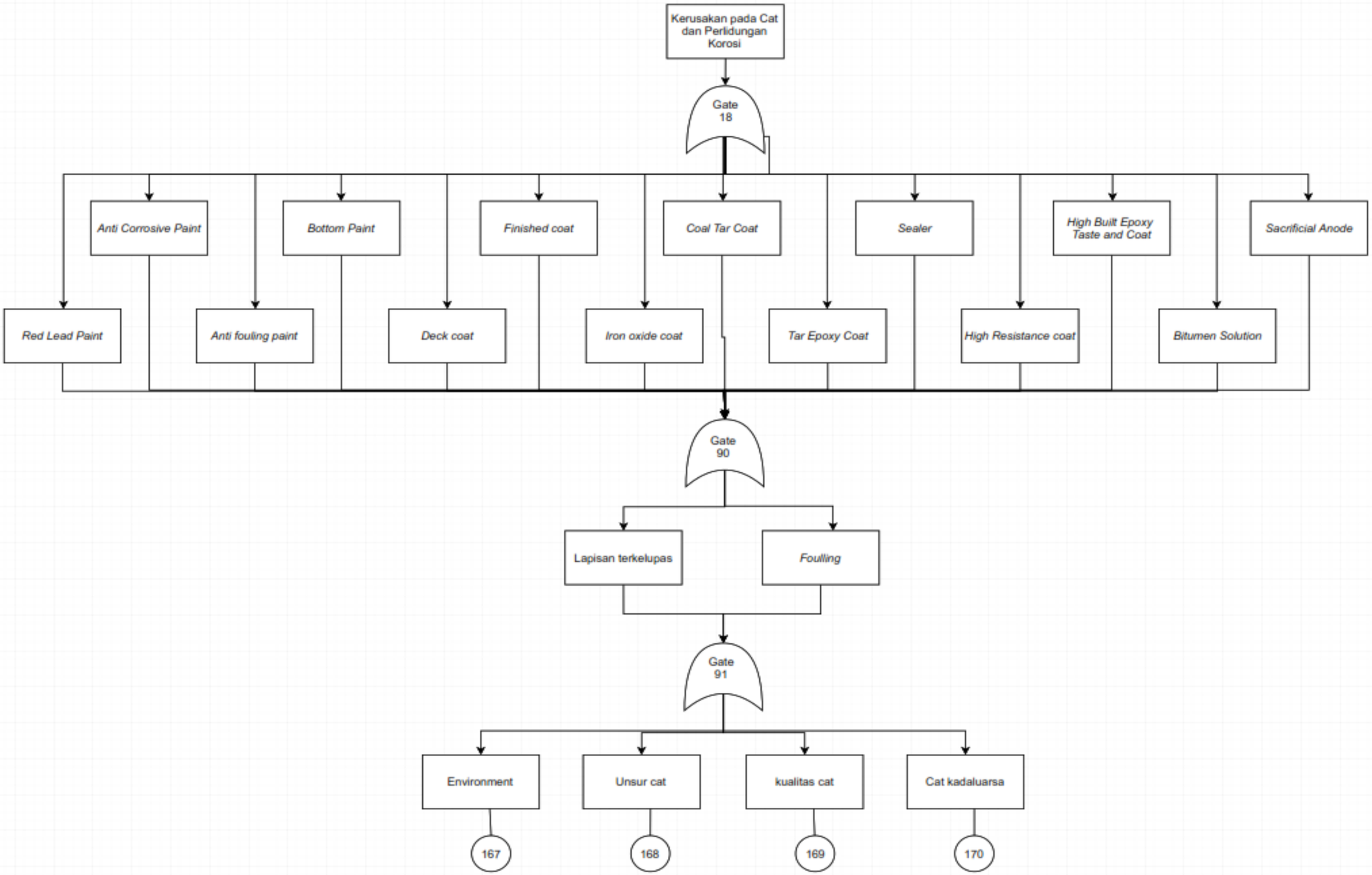


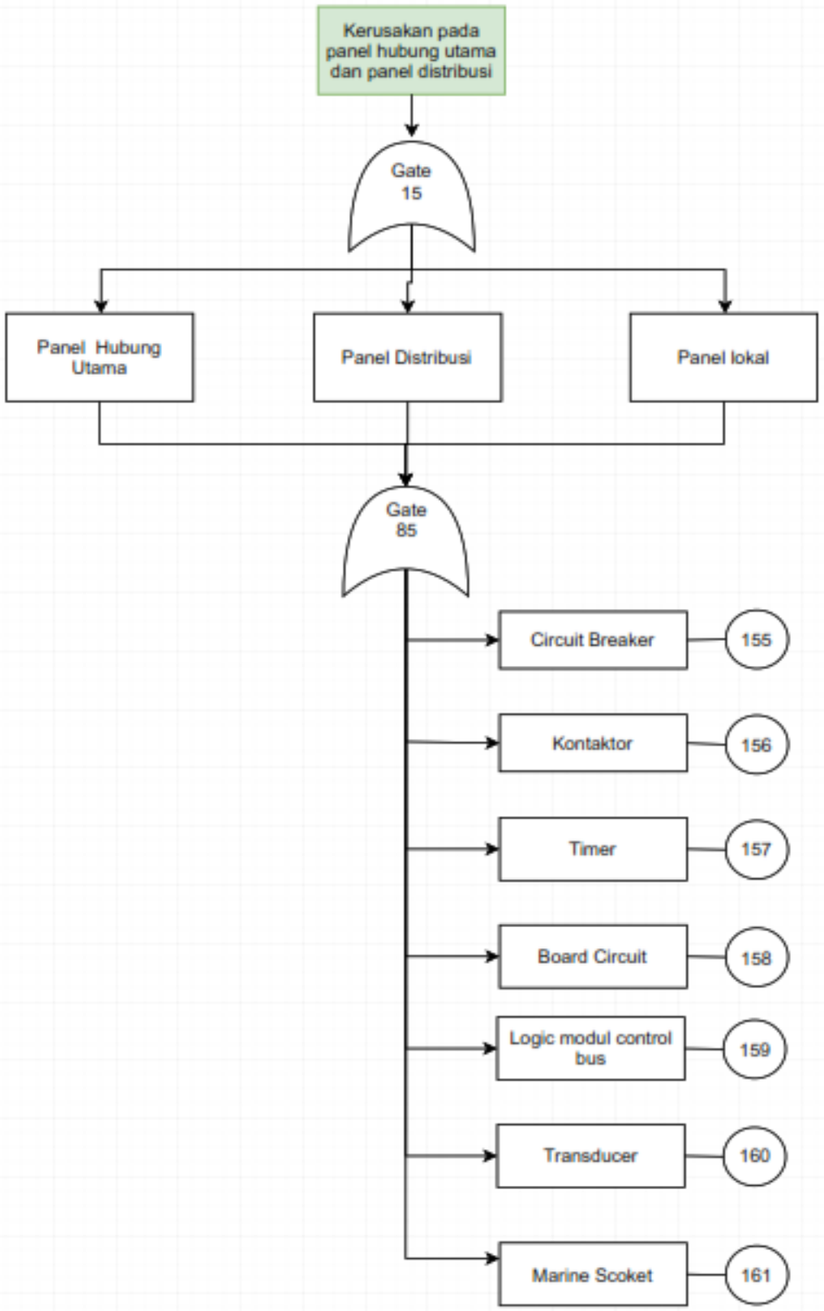
LAMPIRAN 4
FTA (*FAULT TREE ANALYSIS*)

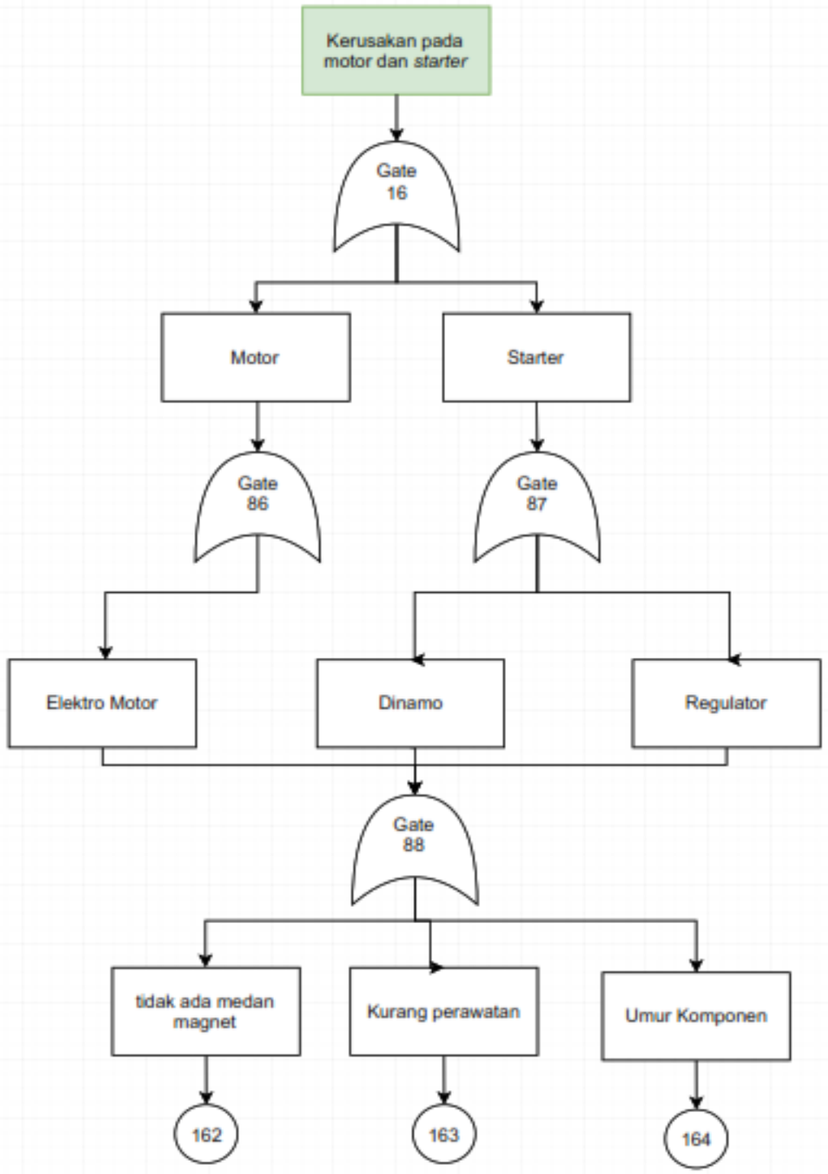

Kerusakan pada komunikasi inboard
Gate 22
Sistem Pengeras Suara
Sistem Alarm Bahaya
Indikator propeller
Indikator Putaran Mesin
Sistem Telepon
Power independent telephone
Sistem isyarat Panggilan
Sistem Alarm Mesin
Gate 101
Gate 102
Operator Error
193
Tidak ada Listrik
194
sambungan Rusak
195
Umur Komponen
196
Kerusakan sensor
197
sistem peringatan
198
tidak dikalibrasi
199
Operational condition
200

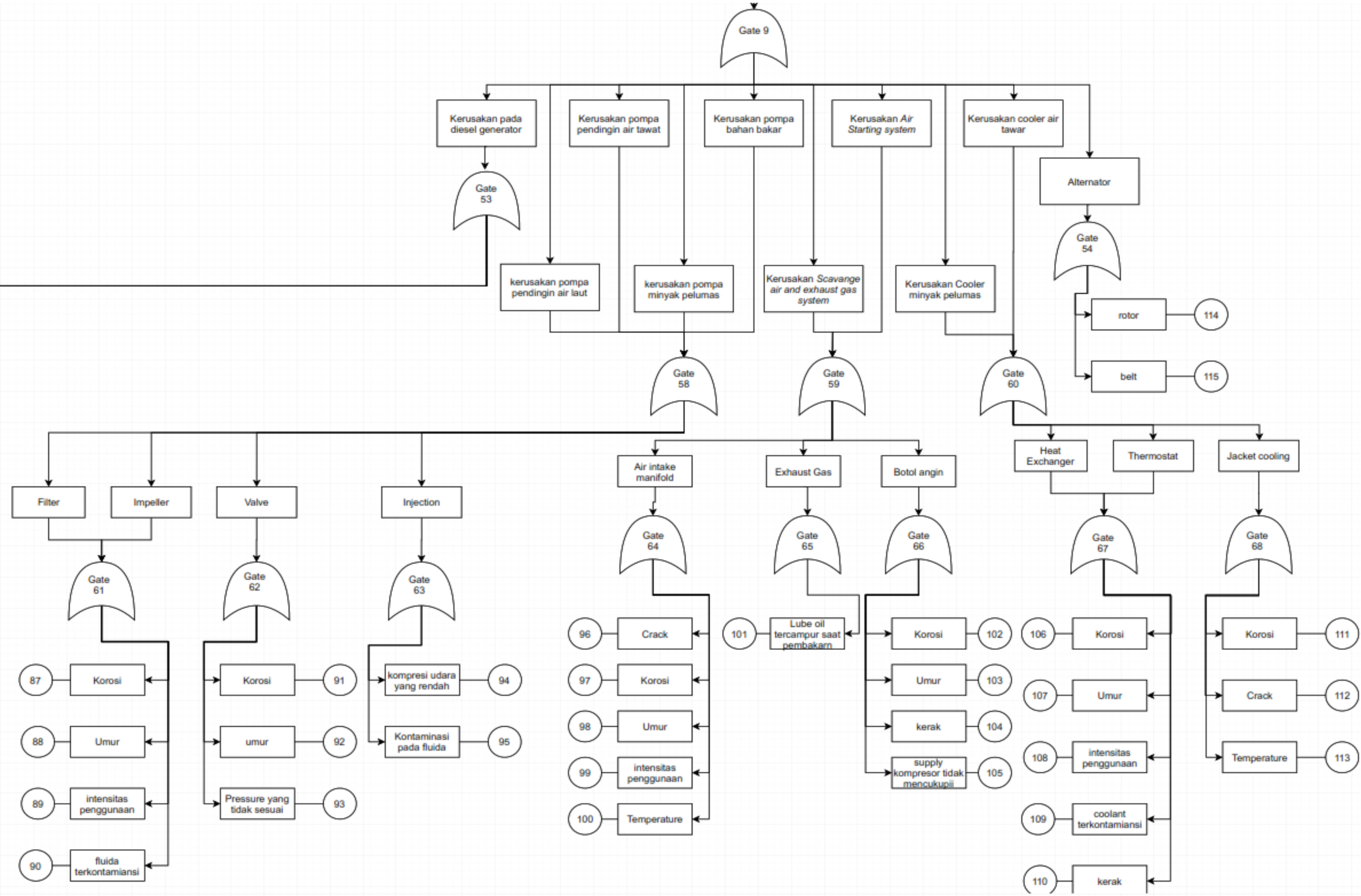

Kerusakan pada peraltan navigasi
Gate 24
Standard Table
GPS
Suiing Kapal
Sistem Kontrol Kemudi
Inventaris dan Sparepart
Echo Sounder
Radar
Clear View Screen and Wiper
Anemometer
Gate 104
Evironment
201
Operator Error
202
Tidak ada sumber energi
203
Operational condition
204

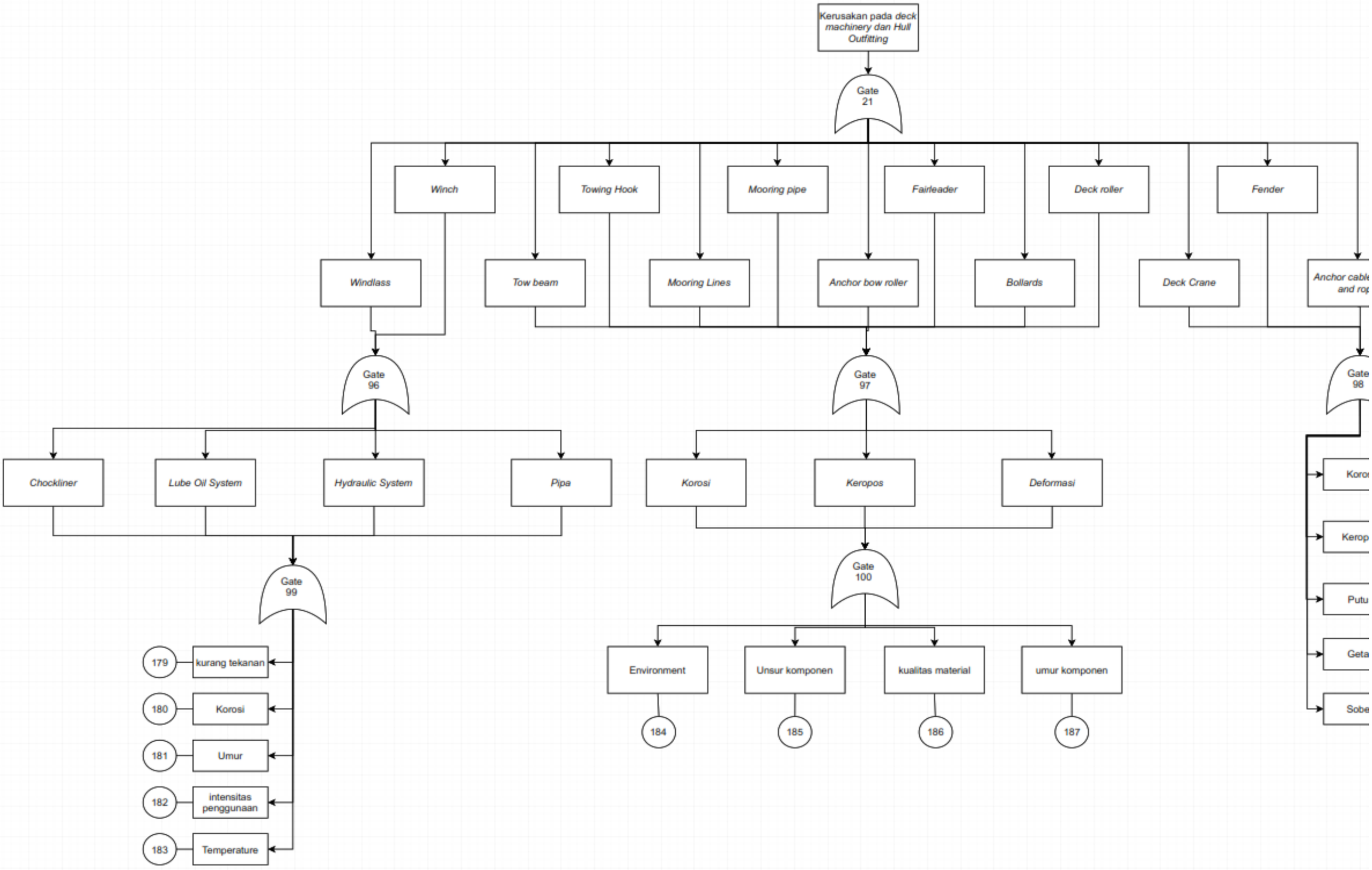

188
189
190
191
192

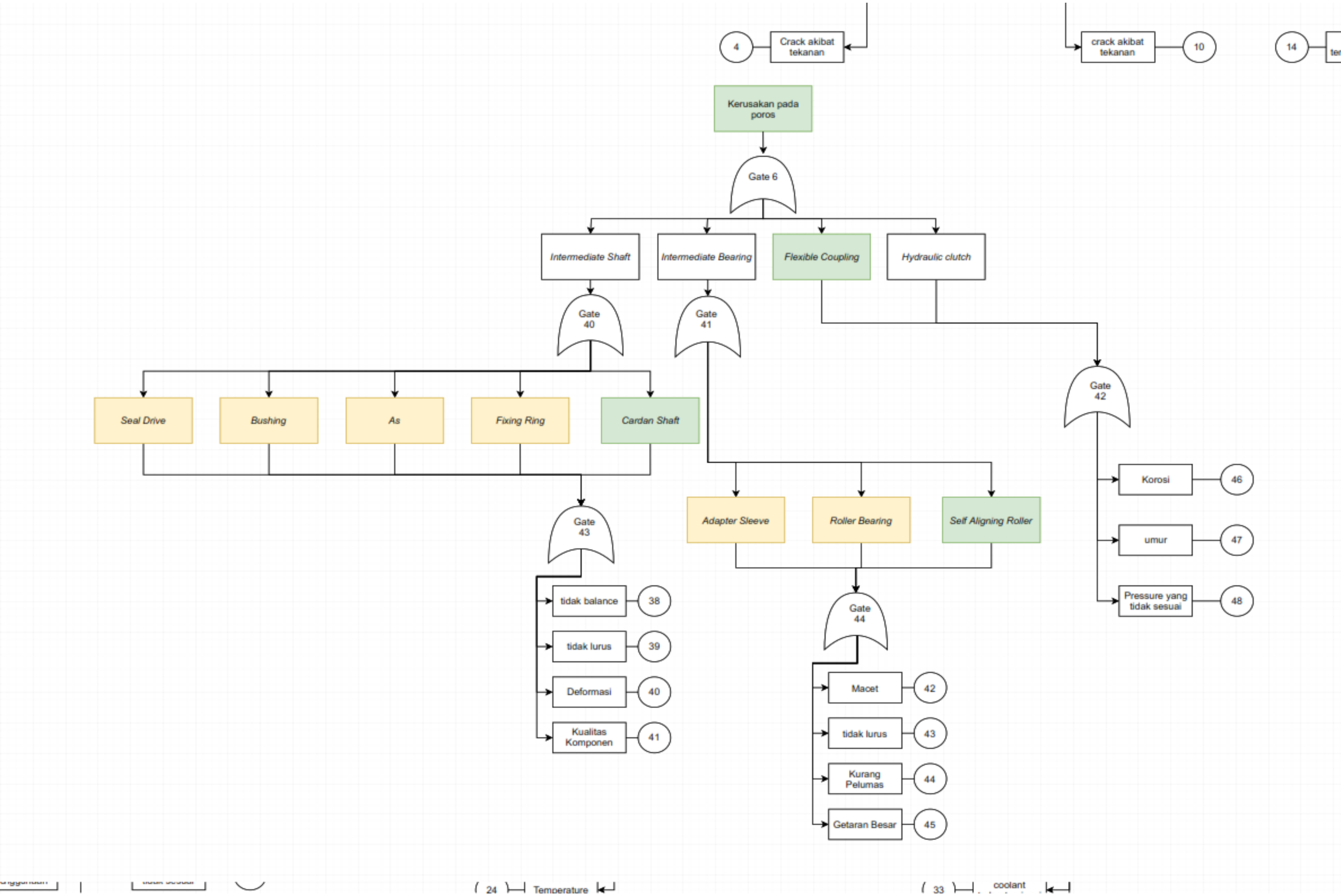

Kerusakan pada Cat dan Perlidungan Korosi
Gate 18
Anti Corrosive Paint
Bottom Paint
Finished coat
Coal Tar Coat
Sealer
High Built Epoxy Taste and Coat
Sacrificial Anode
Red Lead Paint
Anti fouling paint
Deck coat
Iron oxide coat
Tar Epoxy Coat
High Resistance coat
Bitumen Solution
Gate 90
Lapisan terkelupas
Foulling
Gate 91
Environment
Unsur cat
kualitas cat
Cat kadaluarsa
167
168
169
170

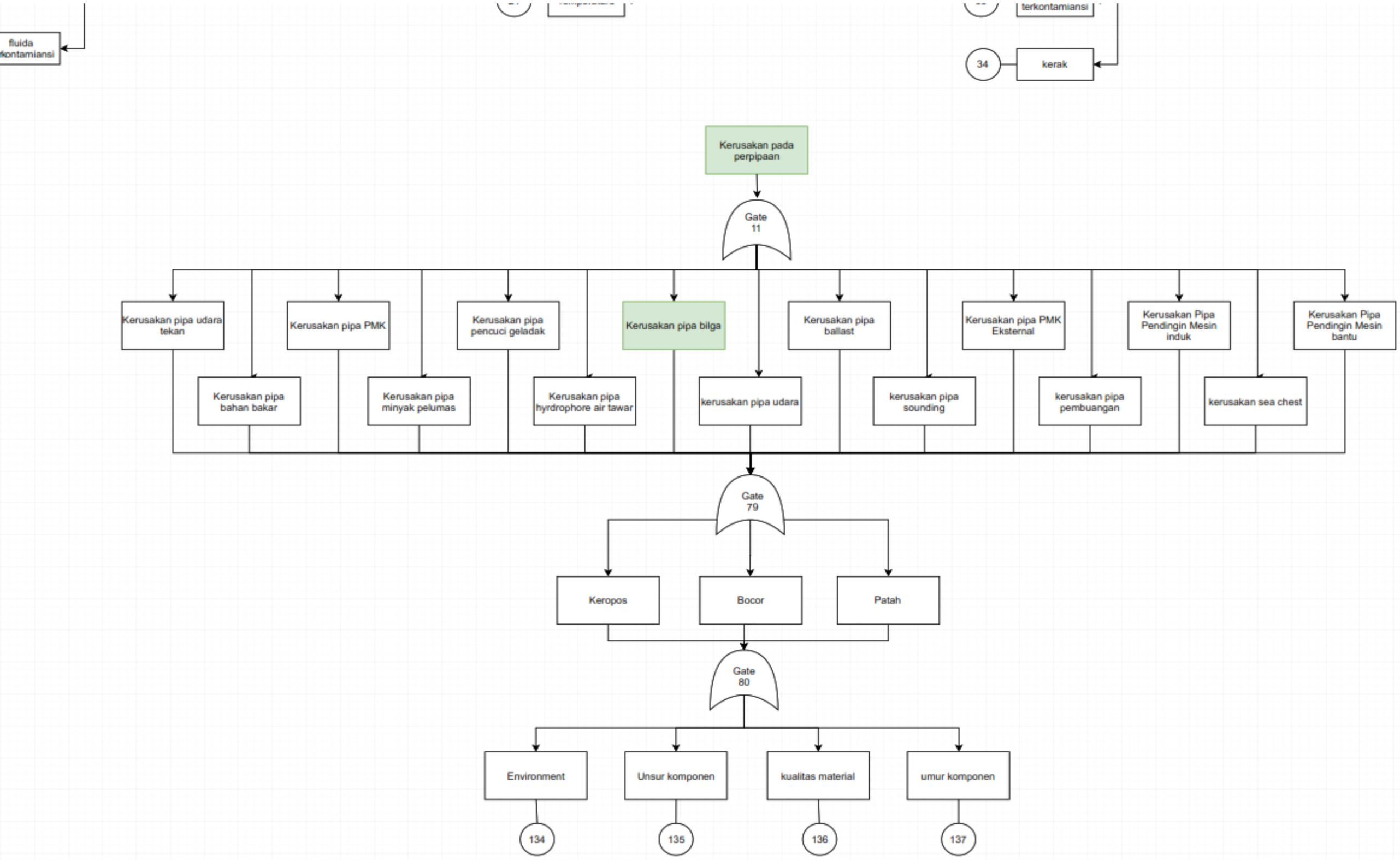

Kerusakan pada panel hubung utama dan panel distribusi
Gate 15
Panel Hubung Utama
Panel Distribusi
Panel lokal
Gate 85
Circuit Breaker
155
Kontaktor
156
Timer
157
Board Circuit
158
Logic modul control bus
159
Transducer
160
Marine Scoket
161

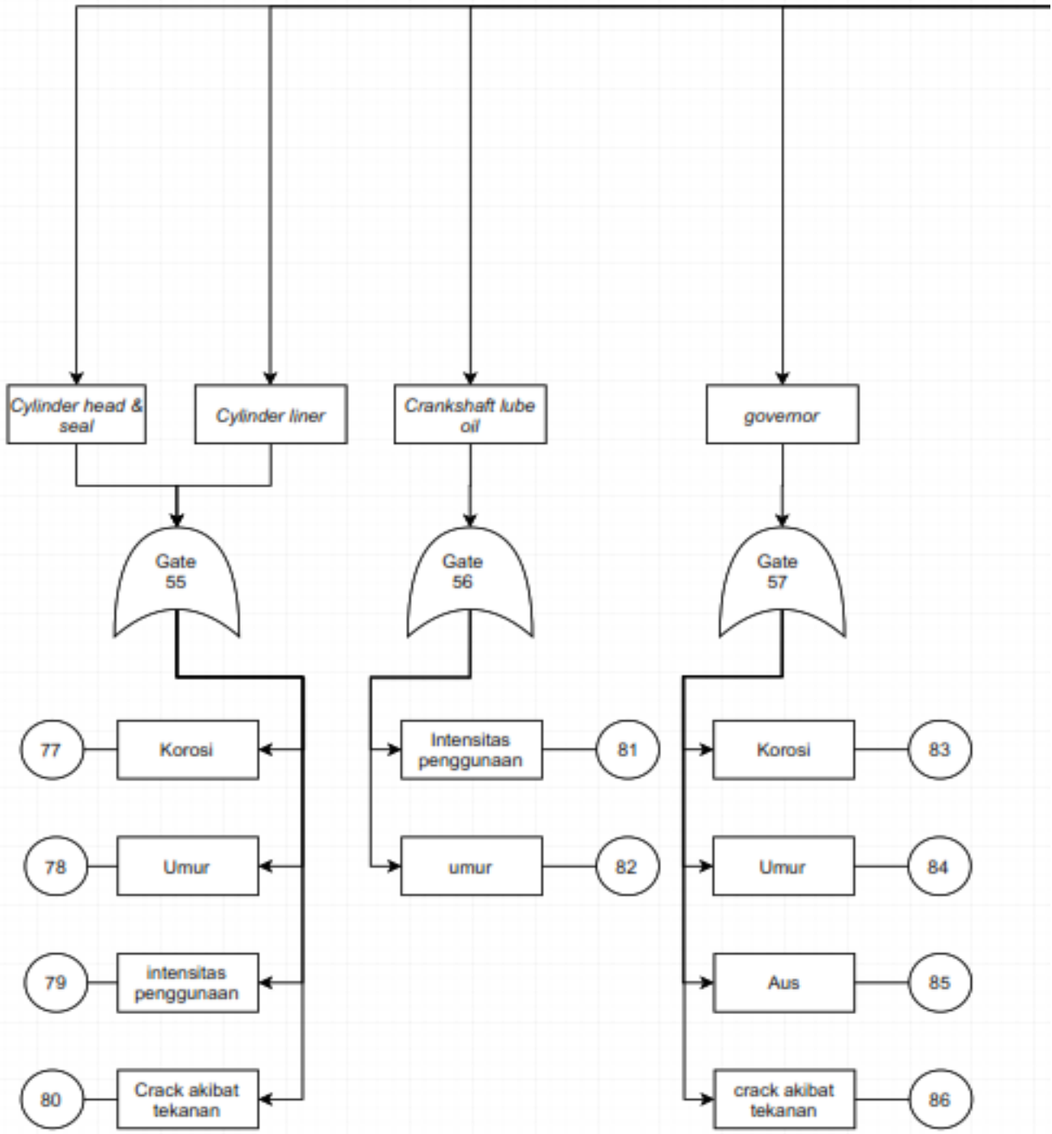

Kerusakan pada motor dan starter
Gate 16
Motor
Starter
Gate 86
Gate 87
Elektro Motor
Dinamo
Regulator
Gate 88
tidak ada medan magnet
Kurang perawatan
Umur Komponen
162
163
164

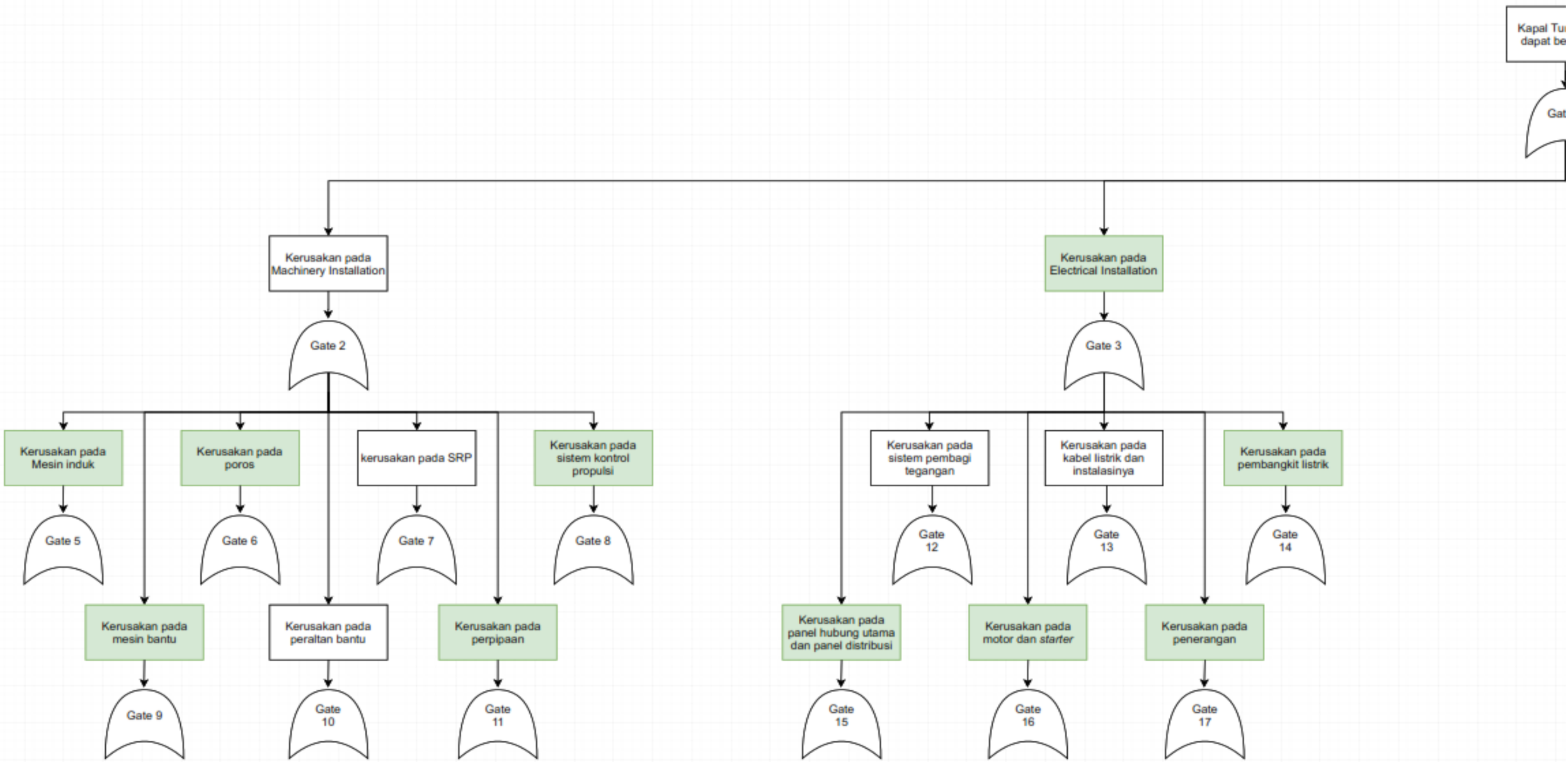

Gate 9
Kerusakan pada diesel generator
Kerusakan pompa pendingin air tawat
Kerusakan pompa bahan bakar
Kerusakan Air Starting system
Kerusakan cooler air tawar
Alternator
Gate 53
Gate 54
kerusakan pompa pendingin air laut
kerusakan pompa minyak pelumas
Kerusakan Scavange air and exhaust gas system
Kerusakan Cooler minyak pelumas
rotor
114
belt
115
Gate 58
Gate 59
Gate 60
Filter
Impeller
Valve
Injection
Air intake manifold
Exhaust Gas
Botol angin
Heat Exchanger
Thermostat
Jacket cooling
Gate 61
Gate 62
Gate 63
Gate 64
Gate 65
Gate 66
Gate 67
Gate 68
87
Korosi
88
Umur
89
intensitas penggunaan
90
fluida terkontamiansi
Korosi
91
umur
92
Pressure yang tidak sesuai
93
kompresi udara yang rendah
94
Kontaminasi pada fluida
95
96
Crack
97
Korosi
98
Umur
99
intensitas penggunaan
100
Temperature
101
Lube oil tercampur saat pembakarn
Korosi
102
Umur
103
kerak
104
supply kompresor tidak mencukupii
105
106
Korosi
107
Umur
108
intensitas penggunaan
109
coolant terkontamiansi
110
kerak
Korosi
111
Crack
112
Temperature
113

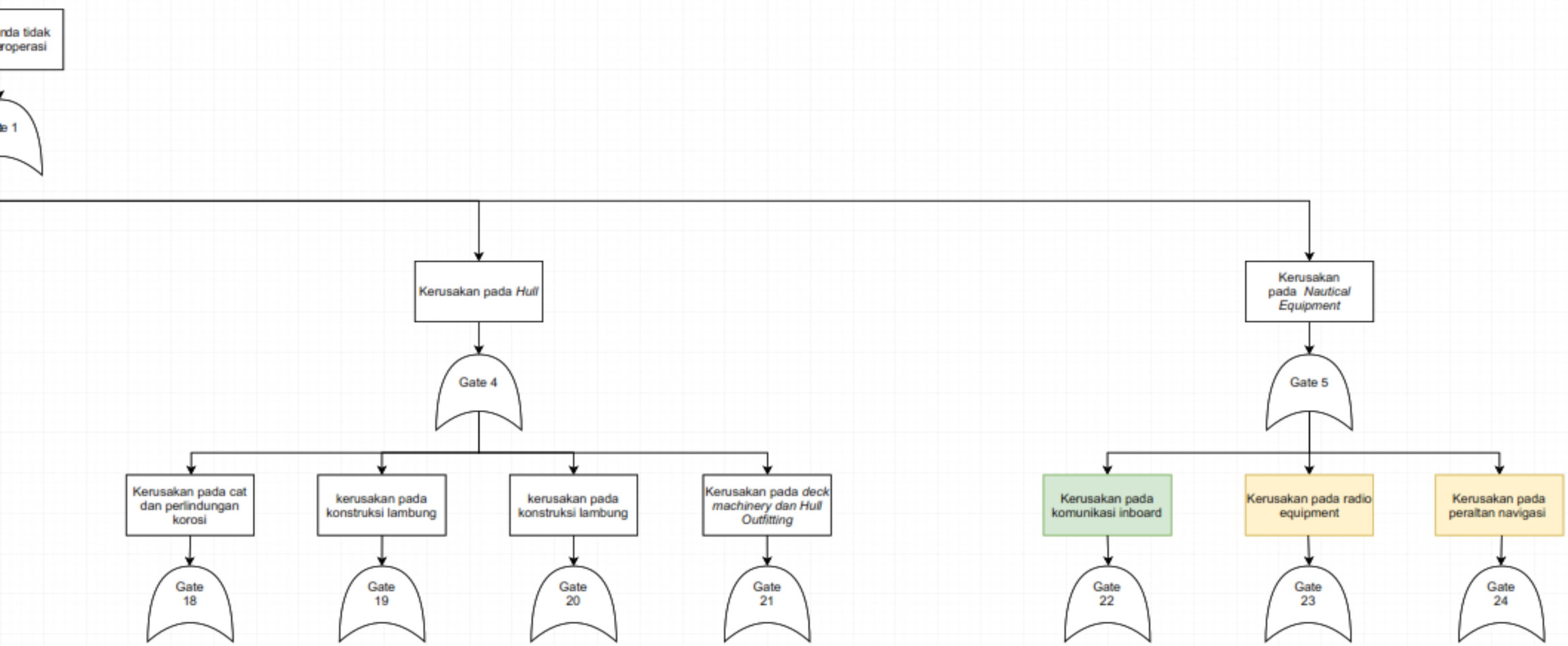

Kerusakan pada deck machinery dan Hull Outfitting
Gate 21
Winch
Towing Hook
Mooring pipe
Fairleader
Deck roller
Fender
Windlass
Tow beam
Mooring Lines
Anchor bow roller
Bollards
Deck Crane
Gate 96
Gate 97
Chockliner
Lube Oil System
Hydraulic System
Pipa
Korosi
Keropos
Deformasi
Gate 99
Gate 100
179
kurang tekanan
180
Korosi
181
Umur
182
intensitas penggunaan
183
Temperature
Environment
Unsur komponen
kualitas material
umur komponen
184
185
186
187

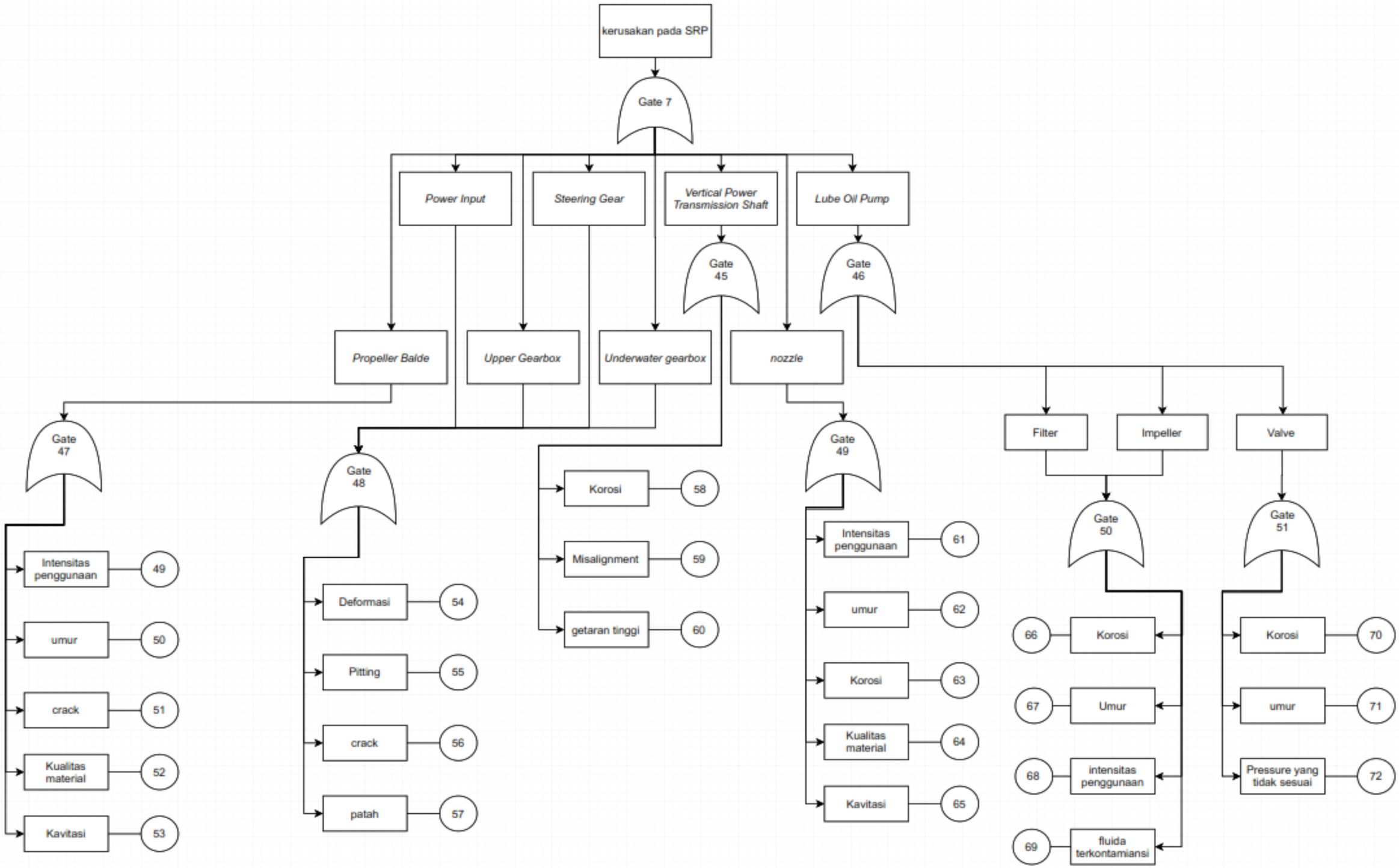

4
Crack akibat tekanan
crack akibat tekanan
10
14
Kerusakan pada poros
Gate 6
Intermediate Shaft
Intermediate Bearing
Flexible Coupling
Hydraulic clutch
Gate 40
Gate 41
Gate 42
Seal Drive
Bushing
As
Fixing Ring
Cardan Shaft
Korosi
46
umur
47
Pressure yang tidak sesuai
48
Gate 43
Adapter Sleeve
Roller Bearing
Self Aligning Roller
tidak balance
38
tidak lurus
39
Deformasi
40
Kualitas Komponen
41
Gate 44
Macet
42
tidak lurus
43
Kurang Pelumas
44
Getaran Besar
45
24
Temperature
33
coolant

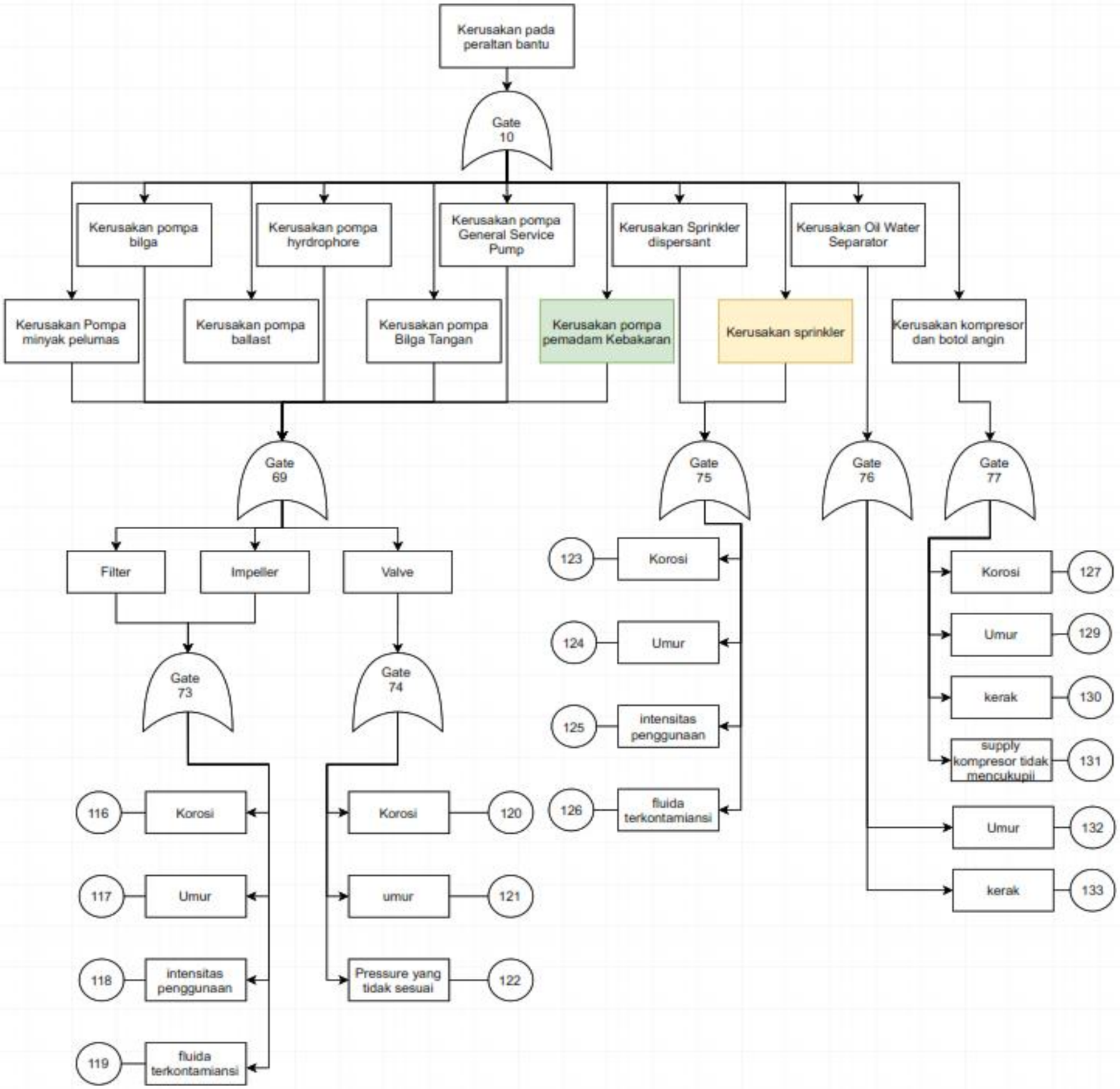

fluida
kontamiansi
terkontamiansi
34
kerak
Kerusakan pada perpipaan
Gate 11
Kerusakan pipa udara tekan
Kerusakan pipa PMK
Kerusakan pipa pencuci geladak
Kerusakan pipa bilga
Kerusakan pipa ballast
Kerusakan pipa PMK Eksternal
Kerusakan Pipa Pendingin Mesin induk
Kerusakan Pipa Pendingin Mesin bantu
Kerusakan pipa bahan bakar
Kerusakan pipa minyak pelumas
Kerusakan pipa hyrdrophore air tawar
kerusakan pipa udara
kerusakan pipa sounding
kerusakan pipa pembuangan
kerusakan sea chest
Gate 79
Keropos
Bocor
Patah
Gate 80
Environment
Unsur komponen
kualitas material
umur komponen
134
135
136
137

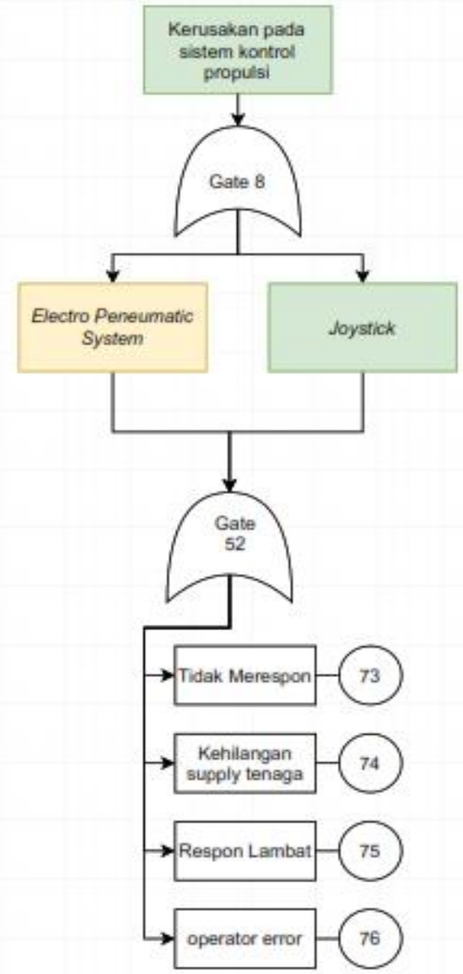

Cylinder head & seal
Cylinder liner
Crankshaft lube oil
governor
Gate 55
Gate 56
Gate 57
77
Korosi
78
Umur
79
intensitas penggunaan
80
Crack akibat tekanan
Intensitas penggunaan
81
umur
82
Korosi
83
Umur
84
Aus
85
crack akibat tekanan
86

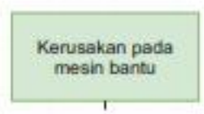

Kapal Tu
dapat be
Gat
Kerusakan pada Machinery Installation
Gate 2
Kerusakan pada Electrical Installation
Gate 3
Kerusakan pada Mesin induk
Gate 5
Kerusakan pada poros
Gate 6
kerusakan pada SRP
Gate 7
Kerusakan pada sistem kontrol propulsi
Gate 8
Kerusakan pada mesin bantu
Gate 9
Kerusakan pada peraltan bantu
Gate 10
Kerusakan pada perpipaan
Gate 11
Kerusakan pada sistem pembagi tegangan
Gate 12
Kerusakan pada kabel listrik dan instalasinya
Gate 13
Kerusakan pada pembangkit listrik
Gate 14
Kerusakan pada panel hubung utama dan panel distribusi
Gate 15
Kerusakan pada motor dan starter
Gate 16
Kerusakan pada penerangan
Gate 17

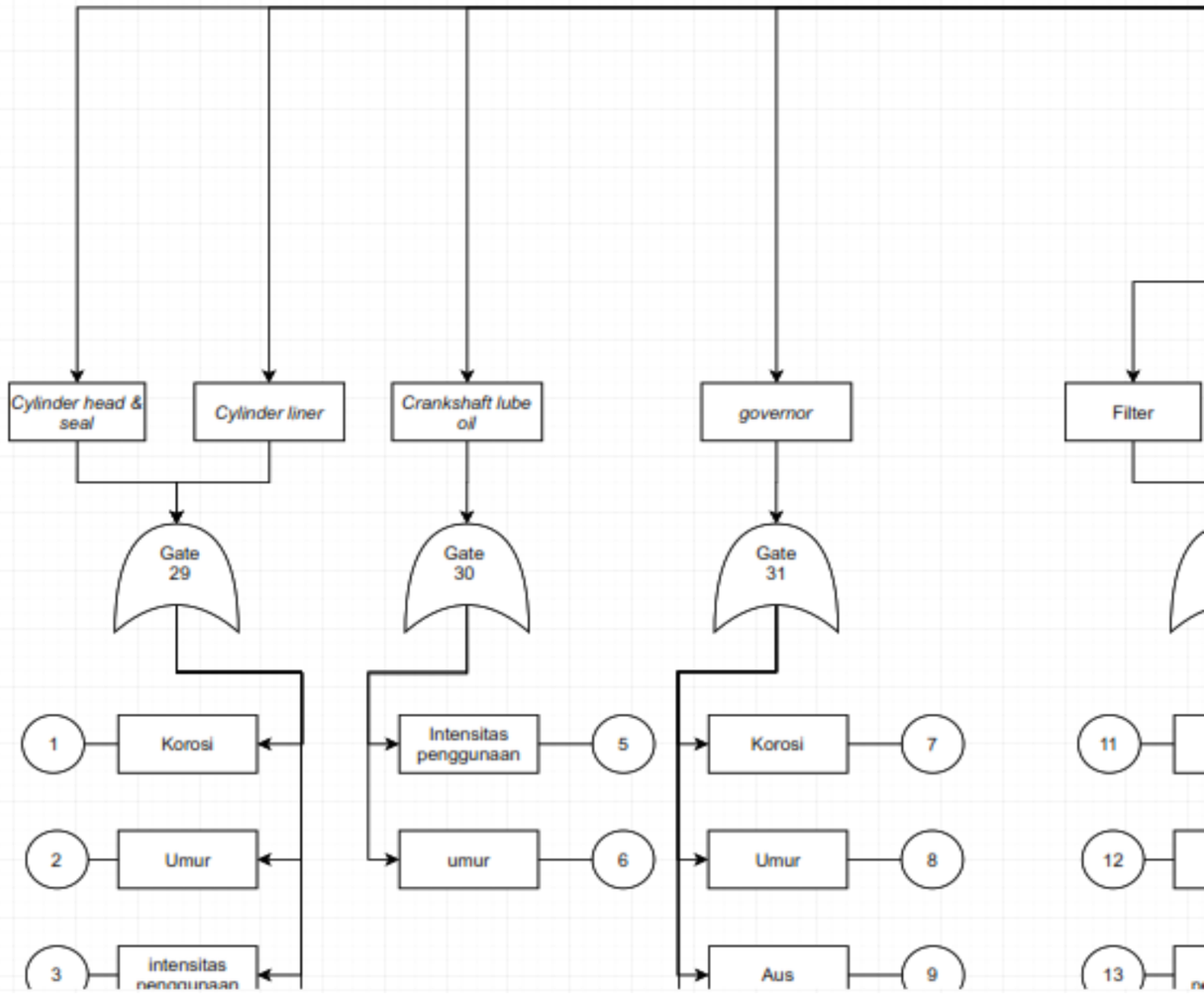

nda tidak
roperasi
e 1
Kerusakan pada *Hull*
Kerusakan pada *Nautical Equipment*
Gate 4
Gate 5
Kerusakan pada cat dan perlindungan korosi
kerusakan pada konstruksi lambung
kerusakan pada konstruksi lambung
Kerusakan pada *deck machinery dan Hull Outfitting*
Kerusakan pada komunikasi inboard
Kerusakan pada radio equipment
Kerusakan pada peraltan navigasi
Gate 18
Gate 19
Gate 20
Gate 21
Gate 22
Gate 23
Gate 24

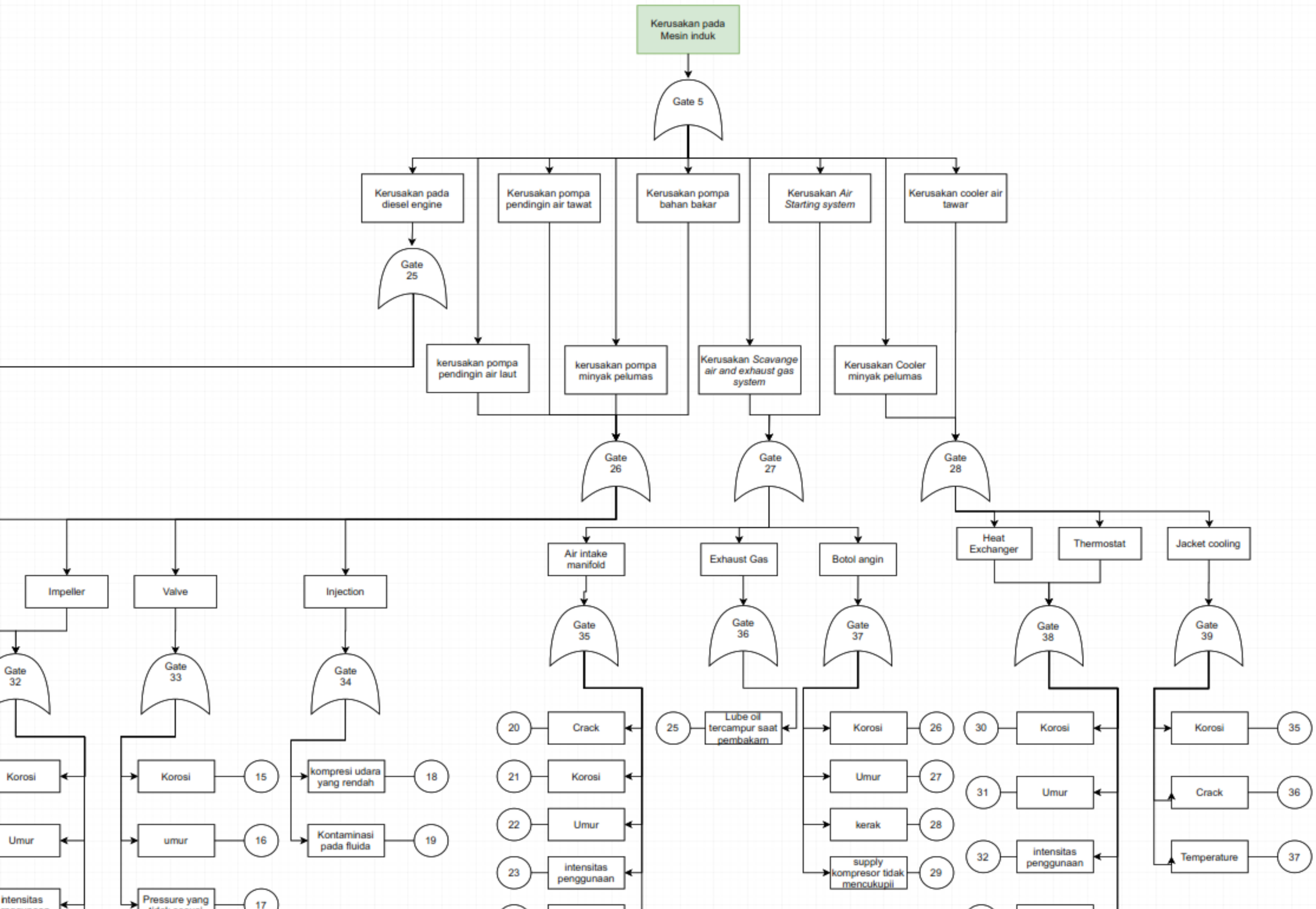

kerusakan pada SRP
Gate 7
Power Input
Steering Gear
Vertical Power Transmission Shaft
Lube Oil Pump
Gate 45
Gate 46
Propeller Balde
Upper Gearbox
Underwater gearbox
nozzle
Gate 47
Gate 48
Gate 49
Filter
Impeller
Valve
Gate 50
Gate 51
Intensitas penggunaan
49
umur
50
crack
51
Kualitas material
52
Kavitasi
53
Deformasi
54
Pitting
55
crack
56
patah
57
Korosi
58
Misalignment
59
getaran tinggi
60
Intensitas penggunaan
61
umur
62
Korosi
63
Kualitas material
64
Kavitasi
65
66
Korosi
67
Umur
68
intensitas penggunaan
69
fluida terkontamiansi
Korosi
70
umur
71
Pressure yang tidak sesuai
72

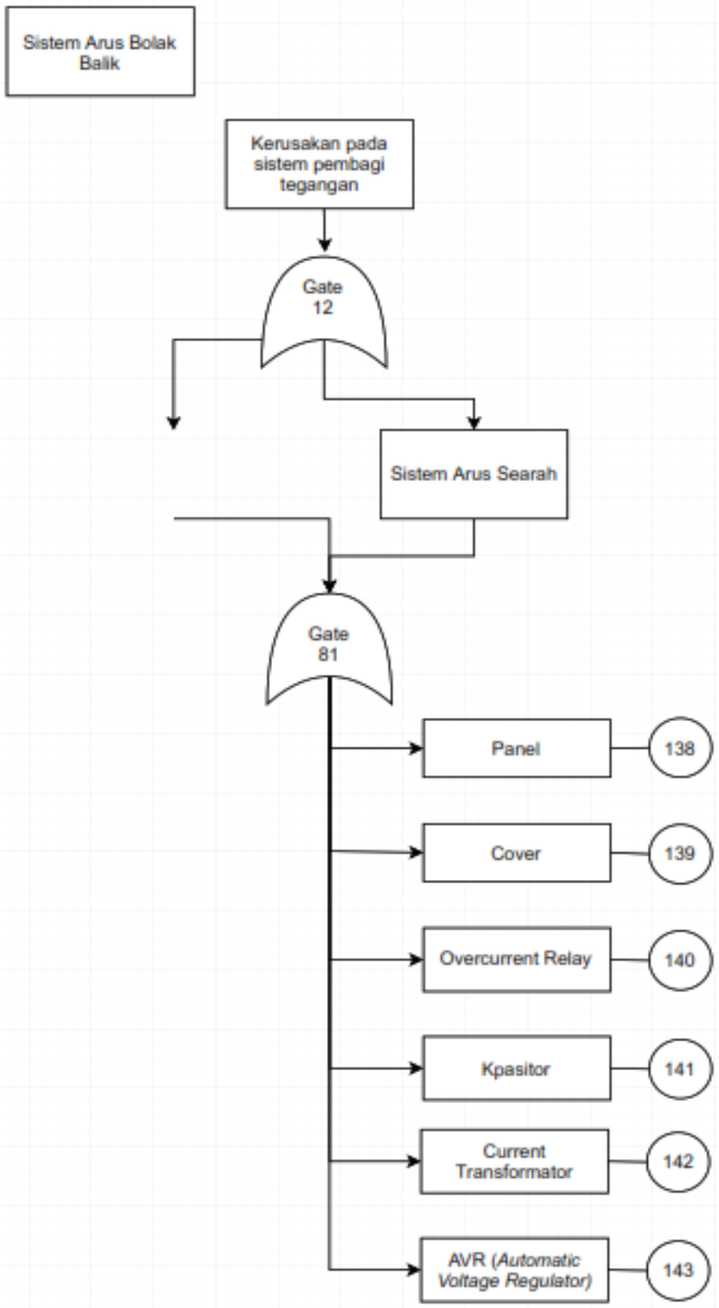

Kerusakan pada peraltan bantu
Gate 10
Kerusakan pompa bilga
Kerusakan pompa hyrdrophore
Kerusakan pompa General Service Pump
Kerusakan Sprinkler dispersant
Kerusakan Oil Water Separator
Kerusakan Pompa minyak pelumas
Kerusakan pompa ballast
Kerusakan pompa Bilga Tangan
Kerusakan pompa pemadam Kebakaran
Kerusakan sprinkler
Kerusakan kompresor dan botol angin
Gate 69
Gate 75
Gate 76
Gate 77
Filter
Impeller
Valve
Gate 73
Gate 74
116
Korosi
117
Umur
118
intensitas penggunaan
119
fluida terkontamiansi
Korosi
120
umur
121
Pressure yang tidak sesuai
122
123
Korosi
124
Umur
125
intensitas penggunaan
126
fluida terkontamiansi
Korosi
127
Umur
129
kerak
130
supply kompresor tidak mencukupii
131
Umur
132
kerak
133

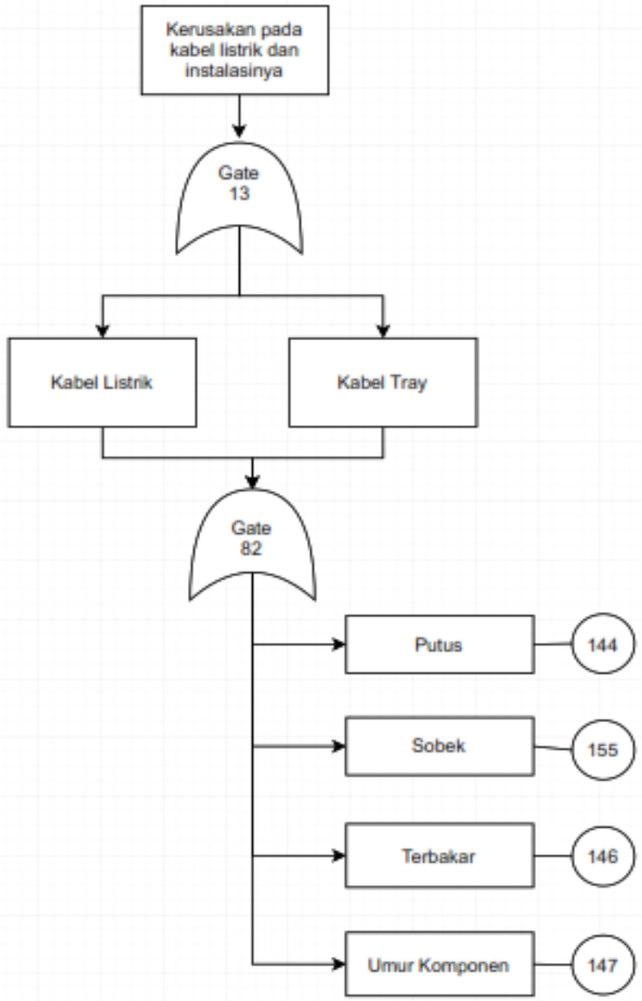

Kerusakan pada sistem kontrol propulsi
Gate 8
Electro Peneumatic System
Joystick
Gate 52
Tidak Merespon
73
Kehilangan supply tenaga
74
Respon Lambat
75
operator error
76

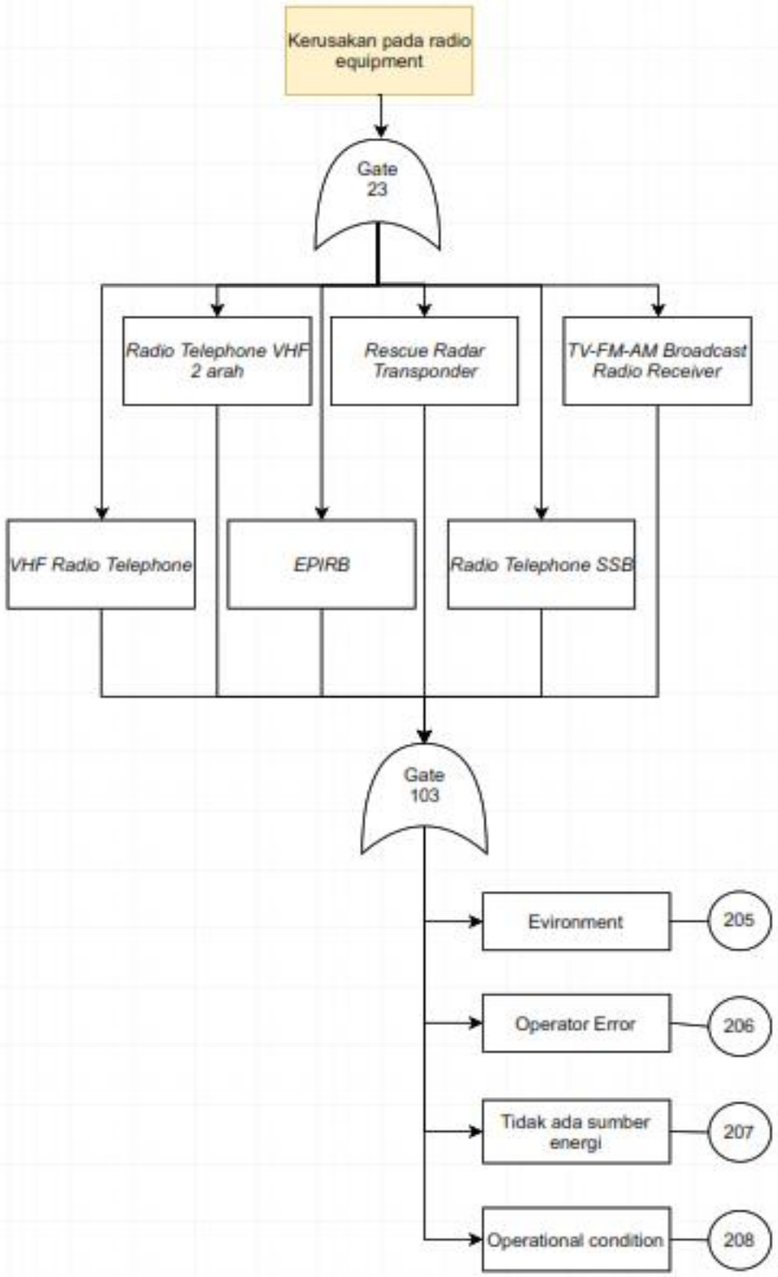

Kerusakan pada mesin bantu

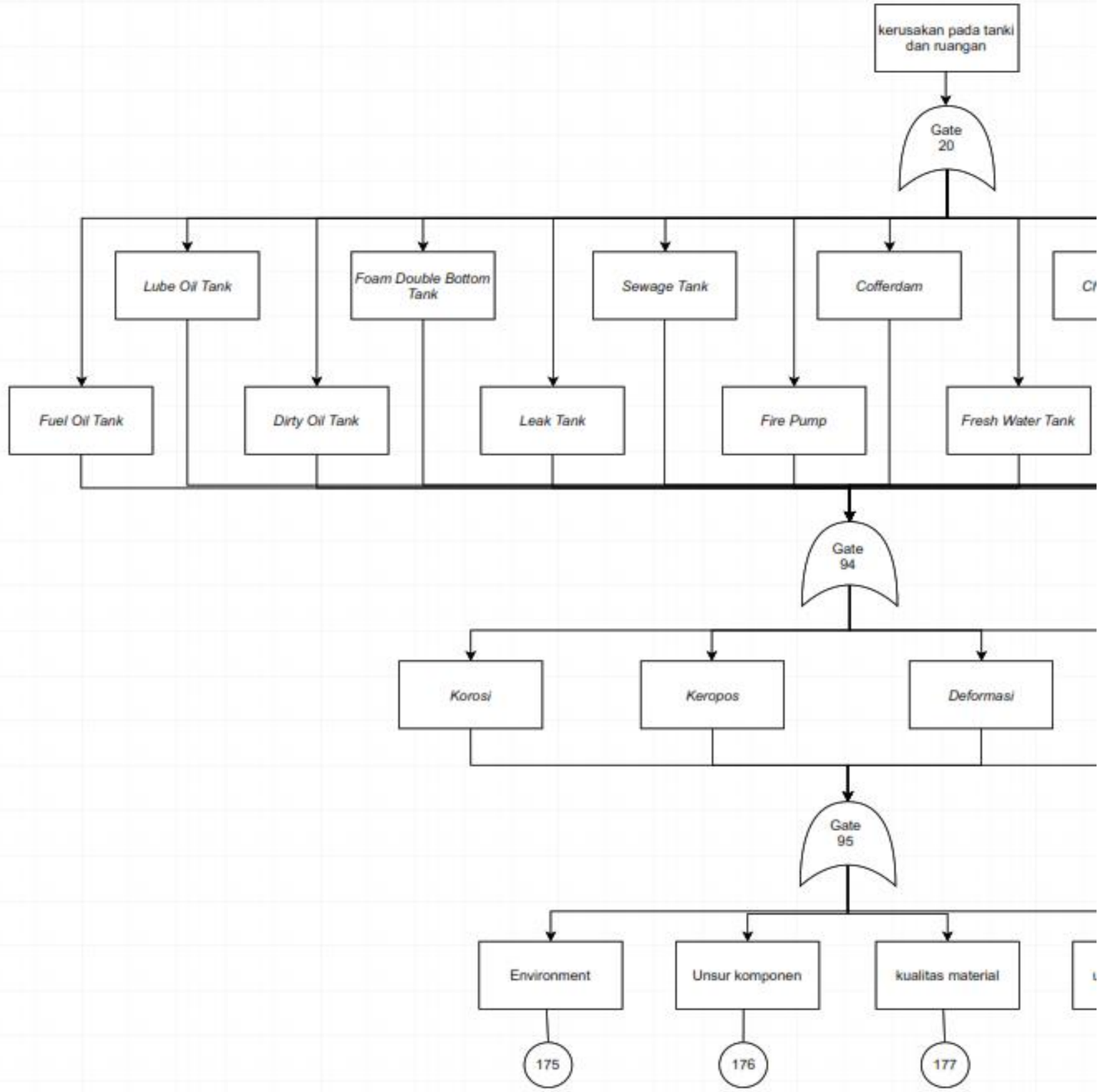

Cylinder head & seal
Cylinder liner
Crankshaft lube oil
governor
Filter
Gate 29
Gate 30
Gate 31
1
Korosi
2
Umur
3
intensitas
Intensitas penggunaan
5
umur
6
Korosi
7
Umur
8
Aus
9
11
12
13

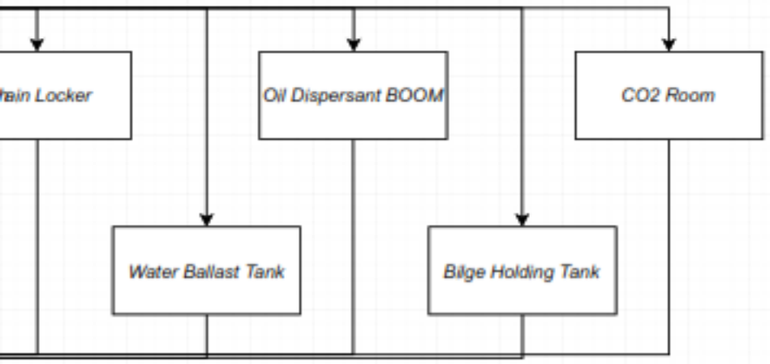

Kerusakan pada Mesin induk
Gate 5
Kerusakan pada diesel engine
Kerusakan pompa pendingin air tawat
Kerusakan pompa bahan bakar
Kerusakan Air Starting system
Kerusakan cooler air tawar
Gate 25
kerusakan pompa pendingin air laut
kerusakan pompa minyak pelumas
Kerusakan Scavange air and exhaust gas system
Kerusakan Cooler minyak pelumas
Gate 26
Gate 27
Gate 28
Impeller
Valve
Injection
Air intake manifold
Exhaust Gas
Botol angin
Heat Exchanger
Thermostat
Jacket cooling
Gate 32
Gate 33
Gate 34
Gate 35
Gate 36
Gate 37
Gate 38
Gate 39
Korosi
Umur
intensitas
Korosi
15
umur
16
Pressure yang
17
kompresi udara yang rendah
18
Kontaminasi pada fluida
19
20
Crack
21
Korosi
22
Umur
23
intensitas penggunaan
25
Lube oil tercampur saat pembakarn
Korosi
26
Umur
27
kerak
28
supply kompresor tidak mencukupii
29
30
Korosi
31
Umur
32
intensitas penggunaan
Korosi
35
Crack
36
Temperature
37

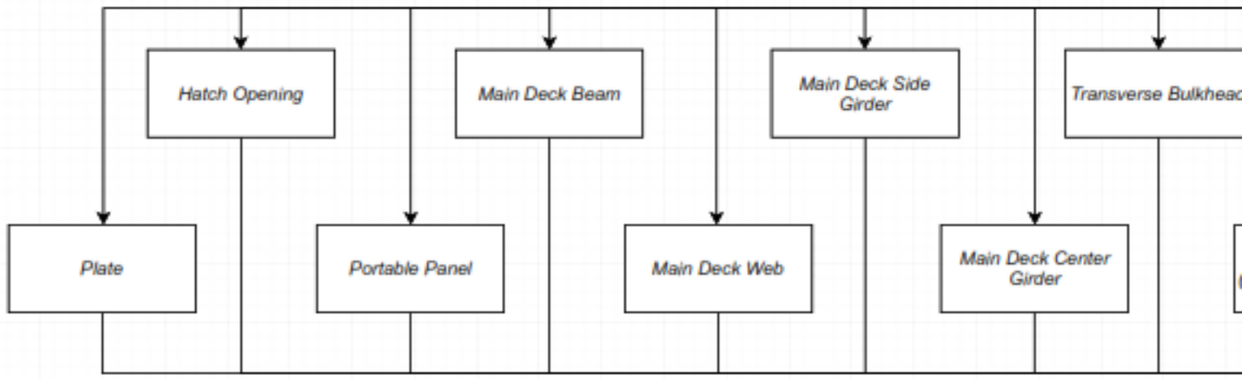

Sistem Arus Bolak Balik
Kerusakan pada sistem pembagi tegangan
Gate 12
Sistem Arus Searah
Gate 81
Panel
138
Cover
139
Overcurrent Relay
140
Kpasitor
141
Current Transformator
142
AVR (Automatic Voltage Regulator)
143

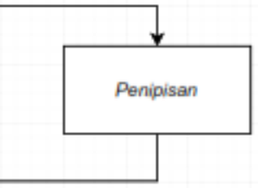

Kerusakan pada kabel listrik dan instalasinya
Gate 13
Kabel Listrik
Kabel Tray
Gate 82
Putus
144
Sobek
155
Terbakar
146
Umur Komponen
147


Kerusakan pada radio equipment
Gate 23
Radio Telephone VHF 2 arah
Rescue Radar Transponder
TV-FM-AM Broadcast Radio Receiver
VHF Radio Telephone
EPIRB
Radio Telephone SSB
Gate 103
Evironment
205
Operator Error
206
Tidak ada sumber energi
207
Operational condition
208

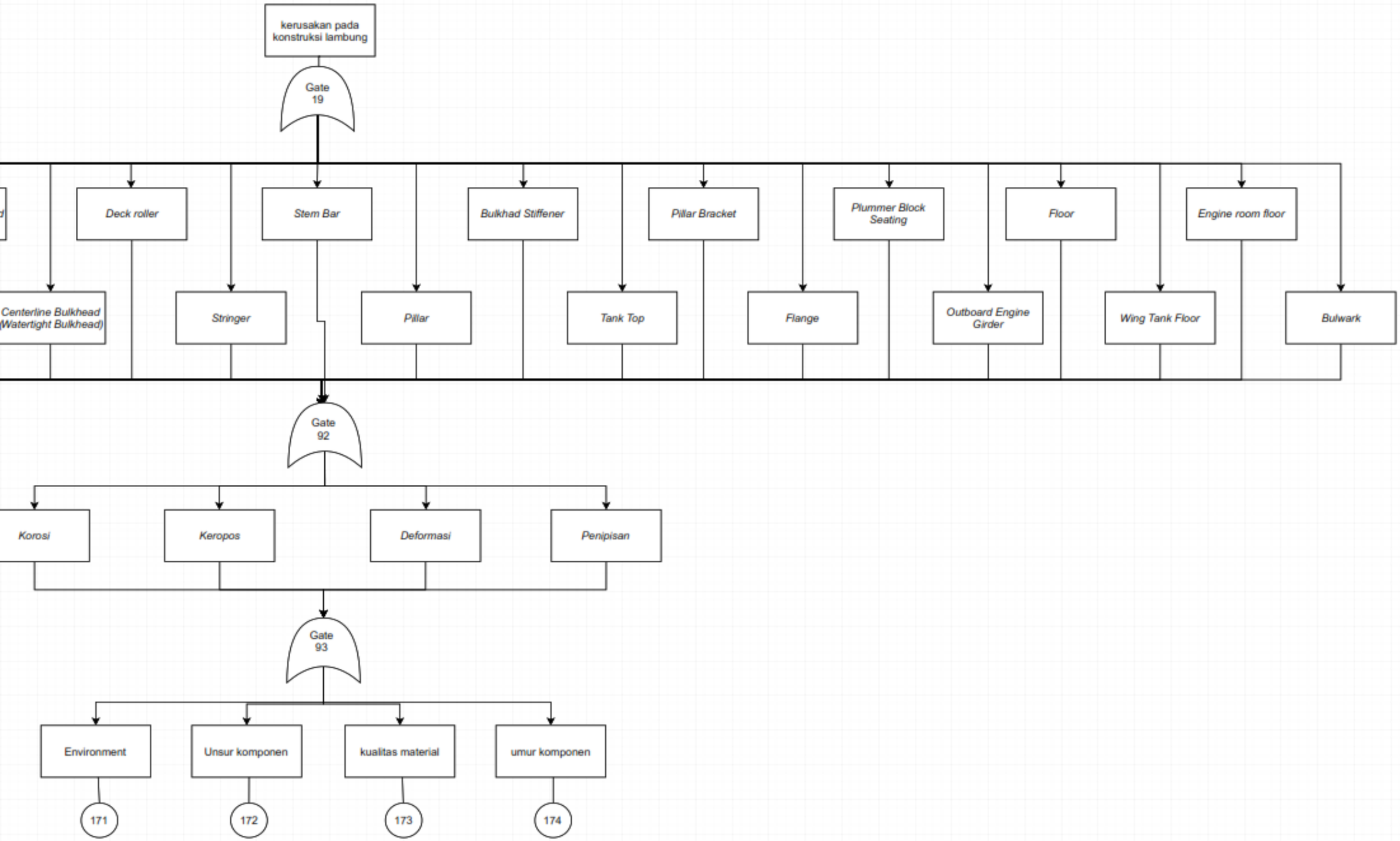

kerusakan pada tanki dan ruangan
Gate 20
Lube Oil Tank
Foam Double Bottom Tank
Sewage Tank
Cofferdam
Fuel Oil Tank
Dirty Oil Tank
Leak Tank
Fire Pump
Fresh Water Tank
Gate 94
Korosi
Keropos
Deformasi
Gate 95
Environment
Unsur komponen
kualitas material
175
176
177

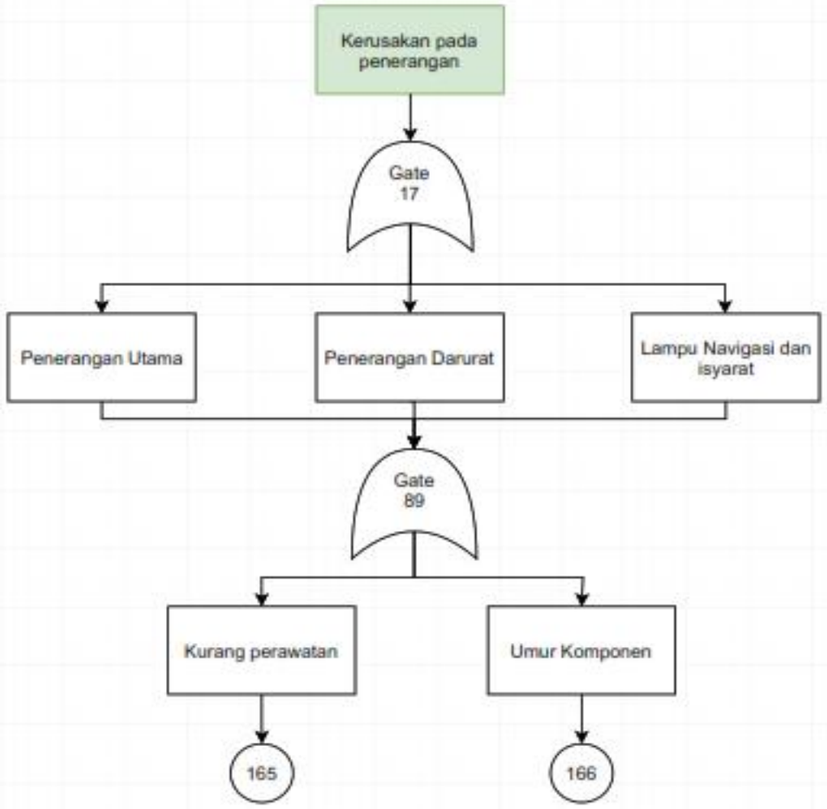

ain Locker
Oil Dispersant BOOM
CO2 Room
Water Ballast Tank
Bilge Holding Tank

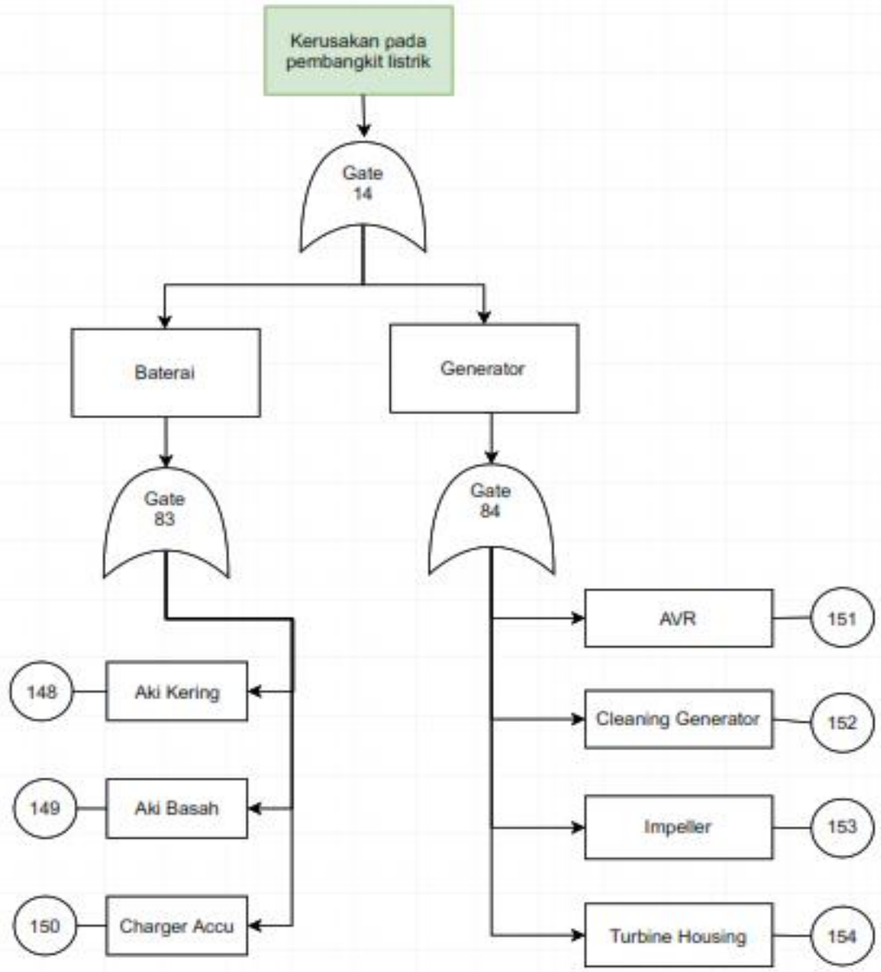

Hatch Opening
Main Deck Beam
Main Deck Side Girder
Transverse Bulkhead
Plate
Portable Panel
Main Deck Web
Main Deck Center Girder


Penipisan

umur komponen
178


kerusakan pada konstruksi lambung
Gate 19
Deck roller
Stem Bar
Bulkhad Stiffener
Pillar Bracket
Plummer Block Seating
Floor
Engine room floor
Centerline Bulkhead (Watertight Bulkhead)
Stringer
Pillar
Tank Top
Flange
Outboard Engine Girder
Wing Tank Floor
Bulwark
Gate 92
Korosi
Keropos
Deformasi
Penipisan
Gate 93
Environment
Unsur komponen
kualitas material
umur komponen
171
172
173
174


Kerusakan pada penerangan
Gate 17
Penerangan Utama
Penerangan Darurat
Lampu Navigasi dan isyarat
Gate 89
Kurang perawatan
Umur Komponen
165
166


Kerusakan pada pembangkit listrik
Gate 14
Baterai
Generator
Gate 83
Gate 84
148
Aki Kering
149
Aki Basah
150
Charger Accu
AVR
151
Cleaning Generator
152
Impeller
153
Turbine Housing
154

LAMPIRAN 5
KUISIONER *TIME TO REPAIR*

Kuisioner TTR (*Time to repair)*			
Kuisioner ini ditujukan untuk estimasi *downtime* dari kapal tunda, dengan mengisi kolom TTR dengan estimasi waktu pengerjaan perbaikan dengan satuan Hari apabila terjadi kerusakan pada komponen dari masing masing unit			
NO	UNIT	KOMPONEN	TTR (*Time to repair*)
1	Mesin Induk	Bearing Mesin	
2		Gasket Mesin	
3		*Belt* Mesin	
4		Bolt dan Nut Mesin	
5		Bushing Mesin	
6		Crankshaft Mesin	
7		Cylinder Block Mesin	
8		Cylinder Head Mesin	
9		Cylinder Liner Mesin	
10		*Injector* Mesin	
11		Katup Mesin	
12		O-ring Mesin	
13		Piston Mesin	
14		Sistem Penyaring Mesin	
15		Governoor Mesin	
16		Pompa BBM Mesin	
17		Pompa Pendingin Mesin	
18		Thermostat	
19		Turbocharger	
20		*Seal* Mesin	
21		Cooler Mesin	
22	Poros	Bearing Shaft	
23		Coupling	
24		Cardan Shaft	
25	SRP	Nozzle SRP	
26		Daun *Propeller*	
27		Sistem Hidrolik SRP	
28		Sistem Penyaring SRP	
29	Mesin Bantu	Pompa Pendingin Mesin	
30		Alternator	
31		Sistem Penyaring Mesin	

32		*Belt* Mesin	
33	Jangkar rantai dan Tali	Segel rantai jangkar	
34		Tali tambat	
35		Kili-kili	
36		Tali Tunda	
37		Rantai jangkar	
38	Fender	Ban Dapra	
39		Rantai Ban Dapra	
40		Segel Rantai Ban dapra	
41	Pelat Kulit	Korosi	
42		Keropos	
43		Menipis	
44		Deformasi	
45	Pelat Geladak	Korosi	
46		Keropos	
47		Deformasi	
48	Windlass	As Hidrolis	
49		Pipa Hidrolis	
50		Pipa cooler	
51		Chockliner	
52	Winch	Pipa Hidrolis	
53		Pipa cooler	
54		Sistem Pelumas	

LAMPIRAN 6
KUISIONER LTA (*LOGIC TREE ANALYSIS)*

KUISIONER *LOGIC TREE ANALYSIS*					
Evident yaitu apakah operator mengetahui dalam kondisi normal, telah terjadi gangguan dalam sistem?					
Safety yaitu apakah mode kerusakan ini menyebabkan masalah keselamatan?					
Outage yaitu apakah mode kerusakan ini menyebabkan seluruh atau sebagian mesin berhenti?					
Mohon beri tanda "Y" untuk iya dan "N" untuk tidak pada ketiga kolom jawaban					
CONTOH :					
no	Unit	Komponen	Evident	*Safety*	Outage
1	A	B	Y	Y	N
no	Unit	Komponen	Evident	*Safety*	Outage
1	Mesin Induk	Bearing Mesin			
2		Gasket Mesin			
3		*Belt* Mesin			
4		Bolt dan Nut Mesin			
5		Bushing Mesin			
6		Crankshaft Mesin			
7		Cylinder Block Mesin			
8		Cylinder Head Mesin			
9		Cylinder Liner Mesin			
10		*Injector* Mesin			
11		Katup Mesin			
12		O-ring Mesin			
13		Piston Mesin			
14		Sistem Penyaring Mesin			
15		Governoor Mesin			
16		Pompa BBM Mesin			
17		Pompa Pendingin Mesin			
18		Thermostat			
19		Turbocharger			
20		*Seal* Mesin			
21		Cooler Mesin			
22	Poros	Bearing Shaft			
23		Coupling			
24		Cardan Shaft			
25	SRP	Nozzle SRP			
26		Daun *Propeller*			
27		Sistem Hidrolik SRP			
28		Sistem Penyaring SRP			
29	Mesin	Pompa Pendingin Mesin			

30		Alternator			
31		Sistem Penyaring Mesin			
32		*Belt* Mesin			
33	Jangkar rantai dan Tali	Segel rantai jangkar			
34		Tali tambat			
35		Kili-kili			
36		Tali Tunda			
37		Rantai jangkar			
38	Fender	Ban Dapra			
39		Rantai Ban Dapra			
40		Segel Rantai Ban dapra			
41	Pelat Kulit	Korosi			
42		Keropos			
43		Menipis			
44		Deformasi			
45	Pelat Geladak	Korosi			
46		Keropos			
47		Deformasi			
48	Windlass	As Hidrolis			
49		Pipa Hidrolis			
50		Pipa cooler			
51		Chockliner			
52	Winch	Pipa Hidrolis			
53		Pipa cooler			
54		Sistem Pelumas			

LAMPIRAN 7
KUISIONER MSI (*MAINTENANCE SIGNIFICANT ITEM)*

No	Sub-Sistem	Komponen	*Safety*	*Environment*	Availabilty	*Cost*	Total Score
1	Mesin Induk	Diesel Engine					
		Engine Control Unit					
		Pompa Pendingin Air Tawar					
		Pompa Pendingin Air Laut					
		Pompa minyak Pelumas					
		Cooler minyak Pelumas					
		Cooler air tawar					
		Pompa Bahan bakar					
		Air Starting System					
		Scavange air and exhaust gas system					
2	Poros	Intermediate Shaft					
		Flexibel Coupling					
		Intermediate Bearing					
		Hydraulic clutch					
3	SRP	Power Input					
		Steering Gear					
		Upper Gearbox					
		Underwater Gearbox					
		Nozzle					
		Vertical Power Transmission shaft					
		Propeller Blade					

No	Sub-Sistem	Komponen	*Safety*	*Environment*	Availabilty	*Cost*	Total Score
		Pompa Pelumas					
4	Sistem Kontrol Propulsi	Electro-Peneumatic System					
		Joystick					
5	Mesin Bantu	Engine Control Unit					
		Diesel generator					
		Altenator					
		Pompa Pendingin Air Tawar					
		Pompa Pendingin Air Laut					
		Pompa minyak Pelumas					
		Cooler minyak Pelumas					
		Cooler air tawar					
		Pompa Bahan bakar					
6	Peralatan Bantu	Kompresor dan Botol Angin					
		Pompa minyak Pelumas					
		Pompa Bilga					
		Pompa Ballast					
		Pompa General Service Pump					
		Oil Water Separator					
		Pompa Bilga Tangan					
		Pompa dan Tangki Hydrophore					

No	Sub-Sistem	Komponen	*Safety*	*Environment*	Availabilty	*Cost*	Total Score
		Pompa Pemadam Kebakaran					
		Sprinkler Dispersant					
		Sprinkler					
	Sistem Perpipaan	pipa udara tekan					
		pipa PMK					
		pipa Pencuci Geladak					
		Pipa Bilga					
		Pipa Ballast					
		Pipa PMK Eksternal					
		Pipa Pendingin Mesin Induk					
		Pipa Pendingin Mesin Bantu					
		Pipa Bahan Bakar					
		Pipa Minyak Pelumas					
		Pipa Hydrophore Air Tawar					
		Pipa Udara					
		Pipa Sounding					
		Pipa pembuangan					
7		Sea Chest					
	Perlengkapan Lambung	Winch					
		Windlass (fore)					
		Fender					
		Deck crane					
		Anchor and chain cable					
		Bollards					
		Mooring pipe					
1		Deck roller					

No	Sub-Sistem	Komponen	*Safety*	*Environment*	Availabilty	*Cost*	Total Score
		Anchor bow roller					
		Fairleader					
		Mooring lines					
		tow beam					
		Towing Hook					
2	Cat dan Perlindungan Korosi	Red lead paint					
		Anti corrosive paint					
		Anti fouling paint					
		Bottom paint					
		Deck coat					
		Finished coat					
		Iron oxide coat					
		Coal tar coat					
		Tar Epoxy coat					
		*Seal*er					
		High resistance coat					
		High built epoxy taste and coat					
		Bitumen solution					
		Sacrificial anode					
3	Konstruksi Lambung	Plate					
		Hatch opening					
		portable panel					
		Main Deck Beam					
		Main deck web					
		main deck side girder					
		main deck center girder					
		Transverse Bulkhead					

No	Sub-Sistem	Komponen	*Safety*	*Environment*	Availabilty	*Cost*	Total Score
		Centerline Bulkhead (Watertight Bulkhead)					
		Stringer					
		Stem Bar					
		Pillar					
		Bulkhead Stiffener					
		Tank Top					
		Pillar Bracket					
		Flange					
		Plummer Block seating					
		Outboard engine girder					
		inboard engine girder					
		Floor					
		Wing tank floor					
		Engine room floor					
		Bulwark					
4	Tanks and rooms	Fuel Oil Tank					
		Lube Oil Tank					
		Dirty Oil Tank					
		Foam Double bottom tank					
		Leak Tank					
		Sewage Tank					
		Fire Pump					
		Cofferdam					
		Fresh Water tank					
		Chain Locker					
		Water Ballast Tank					
		Oil Dispersant BOOM					
		Bilge Holding tank					

No	Sub-Sistem	Komponen	*Safety*	*Environment*	Availabilty	*Cost*	Total Score
		CO2 room					
1	Sistem Pembagi Tegangan	Sistem Arus Bolak Balik					
		Sistem Arus Searah					
2	Kabel Listrik dan instalasinya	Kabel Listrik Marine					
		Instalasi Kabel Listrik					
3	Pembangkit listrik	Generator Utama					
		Baterai					
4	Panel Hubug Utama dan Panel distribusi	Panel Hubung utama					
		Panel Distribusi					
		Panel Lokal					
5	Motor dan starter	Motor					
		Starter					
6	Penerangan	penerangan utama					
		Penerangan darurat					
		Lampu Navigasi dan isyarat					
1	Komunikasi *Inboard*	Sistem Telepon					
		Sistem Pengeras suara					
		Indikator *Propeller*					
		Indikator Putaran Mesin					
		Sistem isyarat Panggilan					
		Sistem Alarm Bahaya					
		Sistem Alarm Mesin					

No	Sub-Sistem	Komponen	*Safety*	*Environment*	Availabilty	*Cost*	Total Score
		Powered Independet Telephone					
2	Radio Equipment	VHF Radio Telephone					
		Radio Telephone VHF 2 Arah					
		EPIRB (Emergency Positionin Indicating Radio Beacon)					
		SART (Search and Rescue Radar Transponder)					
		RadioTelephone SSB					
		TV-FM-AM Broadcast Radio Receiver					
3	Peralatan Navigasi	Standard Table Compass					
		Echo Sounder					
		GPS					
		Radar					
		Suling Kapal					
		Clear View Screen and Wiper					
		Sistem Kontrol Kemudi					
		Anemometer					

LAMPIRAN 8
ITEM PEMERIKSAAN SURVEI *CLASS*

1. *Annual Survey*

a. Hull

Dokumentasi dan gambar rencana	
No	*Survey Items*
1	Buku Informasi Stabilitas *Stability Information Booklet*
2	Gambar Rencana Kendali Pemadam Kebakaran *Fire Control Plan*
Pemeriksaan Kondisi Umum	
1	Pelat kulit diatas garis air *Shell Plating above W.L*
2	Pelat geladak cuaca *Weather deck plating*
3	Ambang dan peralatan penutup palka diatas geladak terbuka dan didalam bangunan atas terbuka atau rumah geladak terbuka dan side port, cargo port pintu rampa depan, samping dan belakang dan visor depan dan tingkap sisi dibawah geladak lambung timbul atau geladak bangunan atas tertutup *Coamings and closing appliances of hatchways on exposed deck and within unenclosed superstructures or unenclosed deck houses, and side ports, cargo ports, bow, side and stern doors and bow visor and side scuttles below freeboard or enclosed superstructure deck*
4	Bukaan-bukaan lain pada geladak lambung timbul terbuka atau di luar bangunan atas tertutup: Lubang lalu orang dan tutup kedap air *Miscellaneous opening in expose freeboard deck or within other than enclose superstructure: Flush manhole and watertight cover*
5	Selubung kamar mesin terbuka dan jendela cahaya *Exposed engine room casing and skylights*
6	Ventilator *Ventilator*
7	Pipa udara dan pipa duga *Air pipes and sounding pipes*
8	Pintu kedap air, penetrasi dan katup penghenti pada sekat kedap air dan peralatan penutup bukaan-bukaan pada sekat ujung bangunan atas tertutup, rumah geladak tertutup dan akses ke ruangan dibawah geladak *Watertight doors, penetrations and stop valves on watertight bulkheads, and closing appliances of openings on enclosed superstructure's*

	end bulkheads, enclosed deck houses and companions
9	Marka garis muat *Load line marks*
10	Kubu – kubu, pagar dan lubang pembebasan *Bulwarks, guard rails and freeing ports*
11	Skaper, inlet, pipa pembuangan yang lain dan katup - katup *Scuppers, inlets, other discharge pipe and valves*
12	Perlengkapan jangkar dan tambat *Anchoring and mooring arrangement*
13	Perlengkapan pemadam kebakaran *Fire extinguishing arrangement*
14	Perlindungan kebakaran dan peralatan penyelamatan darurat, dll *Fire protection and means of escape, etc*
15	Peralatan tarik dan tambat (kondisi umum dan penandaan SWL) *Towing and mooring fittings (general condition, and marking of SWL)*
16	Tanda nomor identifikasi kapal *Marking of ship identification number*
Uji Kinerja	
1	Seluruh tutup palka kedap cuaca (uji selang atau yang setara) *All weather tight hatch covers (Hose test or equivalent test)*
2	Tutup palka dioperasikan secara mekanis *Mechanically operated hatch covers*
3	Peralatan penutup pada sekat ujung bangunan atas *Closing appliances on superstructure end bulkheads*
4	Susunan pengering, tambat dan jangkar dan perlengkapannya *Drainage, mooring and anchoring arrangement and their accessories*
5	Peralatan yang berhubungan dengan perlindungan kebakaran dan jalan penyelamatan *Appliances related to fire protection and escape*
6	Pompa pemadam kebakaran termasuk pompa pemadam kebakaran darurat, pipa, hidran, selang, nosel dll *Fire pump including emergency fire pump, piping, hydrants, hoses, nozzles, etc*

7	Sistem pemadam kebakaran pemercik air bertekanan tetap (system pipa dan pompa) *Fixed pressure water spraying fire fighting system (pump and piping system)*
8	Peralatan penutup bukaan – bukaan yang berkaitan dengan pemadaman kebakaran didaerah ruang muat *Closing appliances of openings related to fire fighting in way of cargo holds*
Pemeriksaa Internal	
1	Ruang mesin *Engine room*
2	Ruang mesin kemudi *Steering gear room*

c. *Machinery*

Pemeriksaan Umum	
1	Mesin penggerak utama, mesin transmisi tenaga, sistem poros, mesin penggerak selain mesin penggerak utama, ketel, pemanas minyak panas, pembakar sampah, bejana tekan, permesinan bantu, sistem pipa, sistem kontrol, instalasi listrik dan papan hubung utama *Main propulsion machinery, power transmission machinery, shafting system, prime movers other than main propulsion* *machinery, boilers, thermal oil heaters, incinerators, pressure vessels, auxiliary machinery, piping systems, control systems, electrical installations and switchboards*
2	Kondisi baut pengikat kopling poros penggerak utama *Condition of shaft coupling bolts of main propulsion*
3	Kamar mesin, ruang ketel dan jalan penyelamatan darurat *Engine room, boiler spaces and means of escape*
4	Bagian-bagian penting dari crankcase dan silinder jaket, baut pondasi, ganjal pondasi dan baut tie rod *Essential parts of crankcase and cylinder jacket, foundation bolts, chock liners and tie rod bolts*
5	Pintu crankcase, peralatan pengaman tekanan crankcase dan ruang udara bilas *Door of crankcase and explosion relief devices of crackcase and scavenge space*
6	Pembumian *Earthing*
Uji Kinerja	
1	Peralatan penutup cepat untuk tangki minyak *Shut-off devices for oil tanks*

2	Pemutus darurat motor untuk pompa bahan bakar, pompa muatan minyak, kipas ventilasi dan kipas aliran udara ketel *Emergency shut-down of motor for F.O. pump, cargos oil pumps, ventilating fans & boiler draught fans*
3	Sumber tenaga listrik darurat *Emergency electrical power source*
4	Sistem komunikasi dengan alarm perwira mesin *Communication system with engineer's alarm*
5	Mesin kemudi (termasuk system kendali) *Steering gears (including control system)*
6	Sistem bilga *Bilge system*
7	Peralatan pengaman atau peralatan alarm mesin penggerak utama dan mesin bantu *Safety devices or alarm devices of main propulsion machinery and auxiliary machinery*
8	Peralatan pengaman atau peralatan alarm ketel, pemanas minyak panas dan pembakar sampah *Safety devices or alarm devices of boiler, thermal oil heaters and incinerators*
9	Peralatan pemonitoran, seperti penunjuk tekanan, pengukur suhu dll *Monitoring devices, such as pressure indicators, thermometers etc*
10	Peralatan otomatis atau kendali jarak jauh *Automatic or remote control devices*
11	Governor kecepatan putaran, pemutus sirkuit dan perangkat relay dari semua generator (uji kinerja dalam kondisi berbeban, baik secara terpisah atau pararel *Speed governors, circuit breakers and associated relays of all generators (Performance test under loaded condition, either separately or in parallel)*
12	Seluruh permesinan dan bagian-bagiannya selain diatas (uji tekan, jika perlu) *All machinery and its parts other than above (Pressure test, if necessary)*
13	Sistem penerangan, komunikasi dan sistem sinyal, sistem ventilasi dan peralatan listrik lainnya (Uji kinerja termasuk uji operasi peralatan interlock untuk keselamatan operasi, bila diperlukan) *Lighting system, communication and signaling system, ventilating system, and other electrical equipment (performance tests (including operation tests) of interlocking devices for, safety operation, if necessary)*

2. *Intermediate Survey*

a. *Hull*

Dokumentasi dan gambar rencana

No	*Survey Items*
1	Buku Informasi Stabilitas *Stability Information Booklet*
2	Gambar Rencana Kendali Pemadam Kebakaran *Fire Control Plan*
Pemeriksaan Kondisi Umum	
1	Pelat kulit diatas garis air *Shell Plating above W.L*
2	Pelat geladak cuaca *Weather deck plating*
3	Ambang dan peralatan penutup palka diatas geladak terbuka dan didalam bangunan atas terbuka atau rumah geladak terbuka dan side port, cargo port pintu rampa depan, samping dan belakang dan visor depan dan tingkap sisi dibawah geladak lambung timbul atau geladak bangunan atas tertutup *Coamings and closing appliances of hatchways on exposed deck and within unenclosed superstructures or unenclosed deck houses, and side ports, cargo ports, bow, side and stern doors and bow visor and side scuttles below freeboard or enclosed superstructure deck*
4	Bukaan-bukaan lain pada geladak lambung timbul terbuka atau di luar bangunan atas tertutup: Lubang lalu orang dan tutup kedap air *Miscellaneous opening in expose freeboard deck or within other than enclose superstructure:* *Flush manhole and watertight cover*
5	Selubung kamar mesin terbuka dan jendela cahaya *Exposed engine room casing and skylights*
6	Ventilator *Ventilator*
7	Pipa udara dan pipa duga *Air pipes and sounding pipes*
8	Pintu kedap air, penetrasi dan katup penghenti pada sekat kedap air dan peralatan penutup bukaan-bukaan pada sekat ujung bangunan atas tertutup, rumah geladak tertutup dan akses ke ruangan dibawah geladak *Watertight doors, penetrations and stop valves on watertight bulkheads, and closing appliances of openings on enclosed superstructure's*

	end bulkheads, enclosed deck houses and companions
9	Marka garis muat *Load line marks*
10	Kubu – kubu, pagar dan lubang pembebasan *Bulwarks, guard rails and freeing ports*
11	Skaper, inlet, pipa pembuangan yang lain dan katup - katup *Scuppers, inlets, other discharge pipe and valves*
12	Perlengkapan jangkar dan tambat *Anchoring and mooring arrangement*
13	Perlengkapan pemadam kebakaran *Fire extinguishing arrangement*
14	Perlindungan kebakaran dan peralatan penyelamatan darurat, dll *Fire protection and means of escape, etc*
15	Peralatan tarik dan tambat (kondisi umum dan penandaan SWL) *Towing and mooring fittings (general condition, and marking of SWL)*
16	Peralatan tarik dan penguatan pada konstruksi geladak *Towing gear and its stiffening to the deck structure*
17	Tanda nomor identifikasi kapal *Marking of ship identification number*
Uji Kinerja	
	Susunan pengering, tambat dan jangkar dan perlengkapannya *Drainage, mooring and anchoring arrangement and their accessories*
	Peralatan yang berhubungan dengan perlindungan kebakaran dan jalan penyelamatan *Appliances related to fire protection and escape*
	Deteksi kebakaran dan sistem alarm kebakaran termasuk uji coba alarm yang dioperasikan secara manual *Fire detection and fire alarm system including manually operated call points*
	Pompa pemadam kebakaran termasuk pompa pemadam kebakaran darurat, pipa, hidran,

	selang, nosel dll *Fire pump including emergency fire pump, piping, hydrants, hoses, nozzles, etc*
	Sistem pemercik air *Water spray system*
	Kwantitas media pemadam karbon dioksida *Quantity of carbon dioxide extinguishing medium*
	Kwantitas media pemadam bubuk kimia kering *Quantity of dry chemical powder extinguishing medium*
	Sistem deteksi dan alarm tinggi permukaan air *Water level detection and alarm systems*
Pemeriksaa Internal	
1	Ruang mesin *Engine room*
2	Ruang mesin kemudi *Steering gear room*
Internal Examination	
1	After Peak Tank
2	Fore Peak Tank

b. Machinery

Pemeriksaan Umum	
1	Mesin penggerak utama, mesin transmisi tenaga, sistem poros, mesin penggerak selain mesin penggerak utama, ketel, pemanas minyak panas, pembakar sampah, bejana tekan, permesinan bantu, sistem pipa, sistem kontrol, instalasi listrik dan papan hubung utama *Main propulsion machinery, power transmission machinery, shafting system, prime movers other than main propulsion machinery, boilers, thermal oil heaters, incinerators, pressure vessels, auxiliary machinery, piping systems, control systems, electrical installations and switchboards*
2	Kondisi baut pengikat kopling poros penggerak utama *Condition of shaft coupling bolts of main propulsion*
3	Kamar mesin, ruang ketel dan jalan penyelamatan darurat *Engine room, boiler spaces and means of escape*

4	Kelurusan crankshafts *Crankshaft alignment*
5	Tahanan isolasi generator dan papan hubung, papan distribusi termasuk untuk penggunaan darurat *Insulation resistance of generators and switchboards distribution boards including for emergency use*
6	Suku cadang dan perlengkapan yang terkait *Spare parts and associated fittings*
7	Pembumian *Earthing*
Uji Kinerja	
1	Peralatan penutup cepat untuk tangki minyak *Shut-off devices for oil tanks*
2	Pemutus darurat motor untuk pompa bahan bakar, pompa muatan minyak, kipas ventilasi dan kipas aliran udara ketel *Emergency shut-down of motor for F.O. pump, cargos oil pumps, ventilating fans & boiler draught fans*
3	Sumber tenaga listrik darurat *Emergency electrical power source*
4	Sistem komunikasi dengan alarm perwira mesin *Communication system with engineer's alarm*
5	Mesin kemudi (termasuk system kendali) *Steering gears (including control system)*
6	Sistem bilga *Bilge system*
7	Peralatan pengaman atau peralatan alarm mesin penggerak utama dan mesin bantu *Safety devices or alarm devices of main propulsion machinery and auxiliary machinery*
8	Peralatan pengaman atau peralatan alarm ketel, pemanas minyak panas dan pembakar sampah *Safety devices or alarm devices of boiler, thermal oil heaters and incinerators*
9	Peralatan pemonitoran, seperti penunjuk tekanan, pengukur suhu dll *Monitoring devices, such as pressure indicators, thermometers etc*
10	Governor kecepatan putaran, pemutus sirkuit dan perangkat relay dari semua generator (uji kinerja dalam kondisi berbeban, baik secara terpisah atau pararel *Speed governors, circuit breakers and associated relays of all generators*

	(Performance test under loaded condition, either separately or in parallel)
11	Seluruh permesinan dan bagian-bagiannya selain diatas (uji tekan, jika perlu) *All machinery and its parts other than above (Pressure test, if necessary)*
12	Sistem penerangan, komunikasi dan sistem sinyal, sistem ventilasi dan peralatan listrik lainnya (Uji kinerja termasuk uji operasi peralatan interlock untuk keselamatan operasi, bila diperlukan) *Lighting system, communication and signaling system, ventilating system, and other electrical equipment (performance tests (including operation tests) of interlocking devices for, safety operation, if necessary)*

3. *Special Survey*

c. *Hull*

Dokumentasi dan gambar rencana	
1	Buku Informasi Stabilitas *Stability Information Booklet*
2	Gambar Rencana Kendali Pemadam Kebakaran *Fire Control Plan*
Pemeriksaan Kondisi Umum	
1	Pelat kulit diatas garis air *Shell Plating above W.L*
2	Pelat geladak cuaca *Weather deck plating*

3	Ambang dan peralatan penutup palka diatas geladak terbuka dan didalam bangunan atas terbuka atau rumah geladak terbuka dan side port, cargo port pintu rampa depan, samping dan belakang dan visor depan dan tingkap sisi dibawah geladak lambung timbul atau geladak bangunan atas tertutup *Coamings and closing appliances of hatchways on exposed deck and within unenclosed superstructures or unenclosed deck houses, and side ports, cargo ports, bow, side and stern doors and bow visor and side scuttles below freeboard or enclosed superstructure deck*
4	Bukaan-bukaan lain pada geladak lambung timbul terbuka atau di luar bangunan atas tertutup: Lubang lalu orang dan tutup kedap air *Miscellaneous opening in expose freeboard deck or within other than enclose superstructure:* *Flush manhole and watertight cover*
5	Selubung kamar mesin terbuka dan jendela cahaya *Exposed engine room casing and skylights*
6	Ventilator *Ventilator*
7	Pipa udara dan pipa duga *Air pipes and sounding pipes*
8	Pintu kedap air, penetrasi dan katup penghenti pada sekat kedap air dan peralatan penutup bukaan-bukaan pada sekat ujung bangunan atas tertutup, rumah geladak tertutup dan akses ke ruangan dibawah geladak *Watertight doors, penetrations and stop valves on watertight bulkheads, and closing appliances of openings on enclosed superstructure's* *end bulkheads, enclosed deck houses and companions*
9	Marka garis muat *Load line marks*
10	Kubu – kubu, pagar dan lubang pembebasan *Bulwarks, guard rails and freeing ports*

11	Skaper, inlet, pipa pembuangan yang lain dan katup - katup *Scuppers, inlets, other discharge pipe and valves*
12	Perlengkapan jangkar dan tambat *Anchoring and mooring arrangement*
13	Perlengkapan pemadam kebakaran *Fire extinguishing arrangement*
14	Perlindungan kebakaran dan peralatan penyelamatan darurat, dll *Fire protection and means of escape, etc*
15	Peralatan tarik dan tambat (kondisi umum dan penandaan SWL) *Towing and mooring fittings (general condition, and marking of SWL)*
16	Tanda nomor identifikasi kapal *Marking of ship identification number*
17	Seluruh kepala pipa udara otomatis (SS No. 3 dan SS berikutnya) *All automatic air pipe heads, (at SS No. 3 and subsequent SS)*
Uji Kinerja	
1	Peralatan penutup pada sekat ujung bangunan atas *Closing appliances on superstructure end bulkheads*
2	Susunan pengering, tambat dan jangkar dan perlengkapannya *Drainage, mooring and anchoring arrangement and their accessories*
3	Peralatan yang berhubungan dengan perlindungan kebakaran dan jalan penyelamatan *Appliances related to fire protection and escape*
4	Deteksi kebakaran dan sistem alarm kebakaran termasuk uji coba alarm yang dioperasikan secara manual *Fire detection and fire alarm system including manually operated call points*
5	Pompa pemadam kebakaran termasuk pompa pemadam kebakaran darurat, pipa, hidran, selang, nosel dll *Fire pump including emergency fire pump, piping, hydrants, hoses, nozzles, etc*
6	Sistem ventilasi untuk ekstraksi asap *Ventilation system for smoke extraction*

7	Kwantitas media pemadam karbon dioksida *Quantity of carbon dioxide extinguishing medium*
8	Sistem pemadam kebakaran karbon dioksida tetap (pipa dan sistem alarm) *Fixed carbon dioxide fire fighting system (Piping and alarm of systems)*
9	Peralatan penutup bukaan – bukaan yang berkaitan dengan pemadaman kebakaran didaerah ruang muat *Closing appliances of openings related to fire fighting in way of cargo holds*
10	Sistem deteksi dan alarm tinggi permukaan air *Water level detection and alarm systems*
11	Semua sistem pipa bilga dan balas (sesuai tekanan kerja) *All bilge and ballast piping systems (under working pressure)*
Pemeriksaan Internal	
1	Ruang mesin *Engine room*
2	Ruang mesin kemudi *Steering gear room*
3	Koferdam *Cofferdam*
Internal Examination, Pressure Test, Result Test	
1	FPT
2	FWT
3	FOT
4	APT

b. Machinery

Pemeriksaan Umum	
1	Mesin penggerak utama, mesin transmisi tenaga, sistem poros, mesin penggerak selain mesin penggerak utama, ketel, pemanas minyak panas, pembakar sampah, bejana tekan, permesinan bantu, sistem pipa, sistem kontrol, instalasi listrik dan papan hubung utama *Main propulsion machinery, power transmission machinery, shafting system, prime movers other than main propulsion machinery, boilers, thermal oil heaters, incinerators, pressure vessels, auxiliary machinery, piping systems, control systems, electrical installations and switchboards*
2	Kondisi baut pengikat kopling poros penggerak utama *Condition of shaft coupling bolts of main propulsion*

3	Kamar mesin, ruang ketel dan jalan penyelamatan darurat *Engine room, boiler spaces and means of escape*
4	Bagian-bagian penting dari crankcase dan silinder jaket, baut pondasi, ganjal pondasi dan baut tie rod *Essential parts of crankcase and cylinder jacket, foundation bolts, chock liners and tie rod bolts*
5	Pintu crankcase, peralatan pengaman tekanan crankcase dan ruang udara bilas *Door of crankcase and explosion relief devices of crackcase and scavenge space*
6	Tahanan isolasi generator dan papan hubung, papan distribusi termasuk untuk penggunaan darurat *Insulation resistance of generators and switchboards distribution boards including for emergency use*
7	Suku cadang dan perlengkapan yang terkait *Spare parts and associated fittings*
8	Pembumian *Earthing*
Uji Kinerja	
1	Peralatan penutup cepat untuk tangki minyak *Shut-off devices for oil tanks*
2	Pemutus darurat motor untuk pompa bahan bakar, pompa muatan minyak, kipas ventilasi dan kipas aliran udara ketel *Emergency shut-down of motor for F.O. pump, cargos oil pumps, ventilating fans & boiler draught fans*
3	Sumber tenaga listrik darurat *Emergency electrical power source*
4	Sistem komunikasi dengan alarm perwira mesin *Communication system with engineer's alarm*
5	Mesin kemudi (termasuk system kendali) *Steering gears (including control system)*
6	Sistem bilga *Bilge system*
7	Peralatan pengaman atau peralatan alarm mesin penggerak utama dan mesin bantu *Safety devices or alarm devices of main propulsion machinery and auxiliary machinery*
8	Peralatan pengaman atau peralatan alarm ketel, pemanas minyak panas dan pembakar sampah *Safety devices or alarm devices of boiler, thermal oil heaters and incinerators*
9	Peralatan pemonitoran, seperti penunjuk tekanan, pengukur suhu dll *Monitoring devices, such as pressure indicators, thermometers etc*
10	Governor kecepatan putaran, pemutus sirkuit dan perangkat relay dari semua generator (uji kinerja dalam kondisi berbeban, baik secara terpisah atau pararel *Speed governors, circuit breakers and associated relays of all generators (Performance test under loaded condition, either separately or in parallel)*
11	Seluruh permesinan dan bagian-bagiannya selain diatas (uji tekan, jika perlu) *All machinery and its parts other than above (Pressure test, if necessary)*

12	Sistem penerangan, komunikasi dan sistem sinyal, sistem ventilasi dan peralatan listrik lainnya (Uji kinerja termasuk uji operasi peralatan interlock untuk keselamatan operasi, bila diperlukan) *Lighting system, communication and signaling system, ventilating system, and other electrical equipment (performance tests (including operation tests) of interlocking devices for, safety operation, if necessary)*

BIODATA PENULIS

Mohammad Alif Naufal, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Jakarta pada 27 Juli 1999 silam, Penulis merupakan anak pertama dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Al-azhar, kemudian melanjutkan ke SDI Al-Azhar, SMPI Al-Azhar dan SMA Labschool Jakarta. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2016 melalui jalur SBMPTN tulis.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Rumpun Mata Kuliah Manajemen dan Teknologi produksi. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi *staff* Departemen Dalam Negeri BEM FTK ITS 2017/2018, *staff* Departemen PSDM Himatekpal 2017/2018 dan Kepala Departemen PSDM Himatekpal 2018/2019. Selan itu, Penulis juga pernah menjadi Panitia Kegiatan Tingkat ITS dan beberapa Panitia kegiatan Ormawa lainya.

Email: alif_naufal279@yahoo.com/alifnaufalmohammad@gmail.com