



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA UMUR PEMAKAIAN
SISTEM POROS BALING-BALING
KAPAL LAUT**

SKRIPSI

**AGA ALANDA
0403080036**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN
DEPOK
JULI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA UMUR PEMAKAIAN
SISTEM POROS BALING-BALING
KAPAL LAUT**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**AGA ALANDA
0403080036**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN
DEPOK
JULI 2009**

ii

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Aga Alanda
NPM : 0403080036
Tanda Tangan :
Tanggal : 9 Juli 2009

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah S.W.T. yang telah memberikan limpahan rahmat, nikmat dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini di semester “terakhirnya”.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan atas perhatian dan bimbingan yang diberikan hingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini kepada :

1. Pak Mukti Wibowo dan Pak Marcus sebagai Pembimbing Skripsi .
2. Kedua orang tua saya yang sungguh sangat bersabar mendidik saya hingga sekarang ini.
3. Kedua kakak saya (digo dan mbli) yang mungkin tidak percaya saya bisa menyelesaikan skripsi saya ini, dan Ando yang selalu menemani saya bergadang hingga larut pagi.
4. Calon istri saya **Lusi Rahmawati** yang selalu memberikan semangat dan keyakinan bahwa saya bisa menyelesaikan S1 saya, terima kasih atas perhatian, kesabaran, dukungan, kasih sayang dan cinta yang tiada habisnya.
5. Teman-teman seperjuangan yang sudah lulus lebih dulu maupun yang lulus belakangan khususnya ferdo dan ahadiat , terimakasih sudah menjadi teman yang baik, kalo saya ada salah dimaafkan yahhhh .
6. Teman-teman kampus saya Kahar, Nimon, Erwin dan lain lain, kalian sudah pada tua kok masih saja di kampus yahh.
7. Teman-teman fotografi UI, Marching band UI dan segenap kegiatan mahasiswa yang ada di UI.
8. Seluruh teman saya yang selalu memberikan pelajaran kepada saya.

Depok, Juli 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Aga Alanda
NPM : 0403080036
Program Studi : Teknik Perkapalan
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas skripsi saya yang berjudul:

“Analisa Umur Pemakaian Sistem Poros Baling-Baling Kapal Laut”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia bebas menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

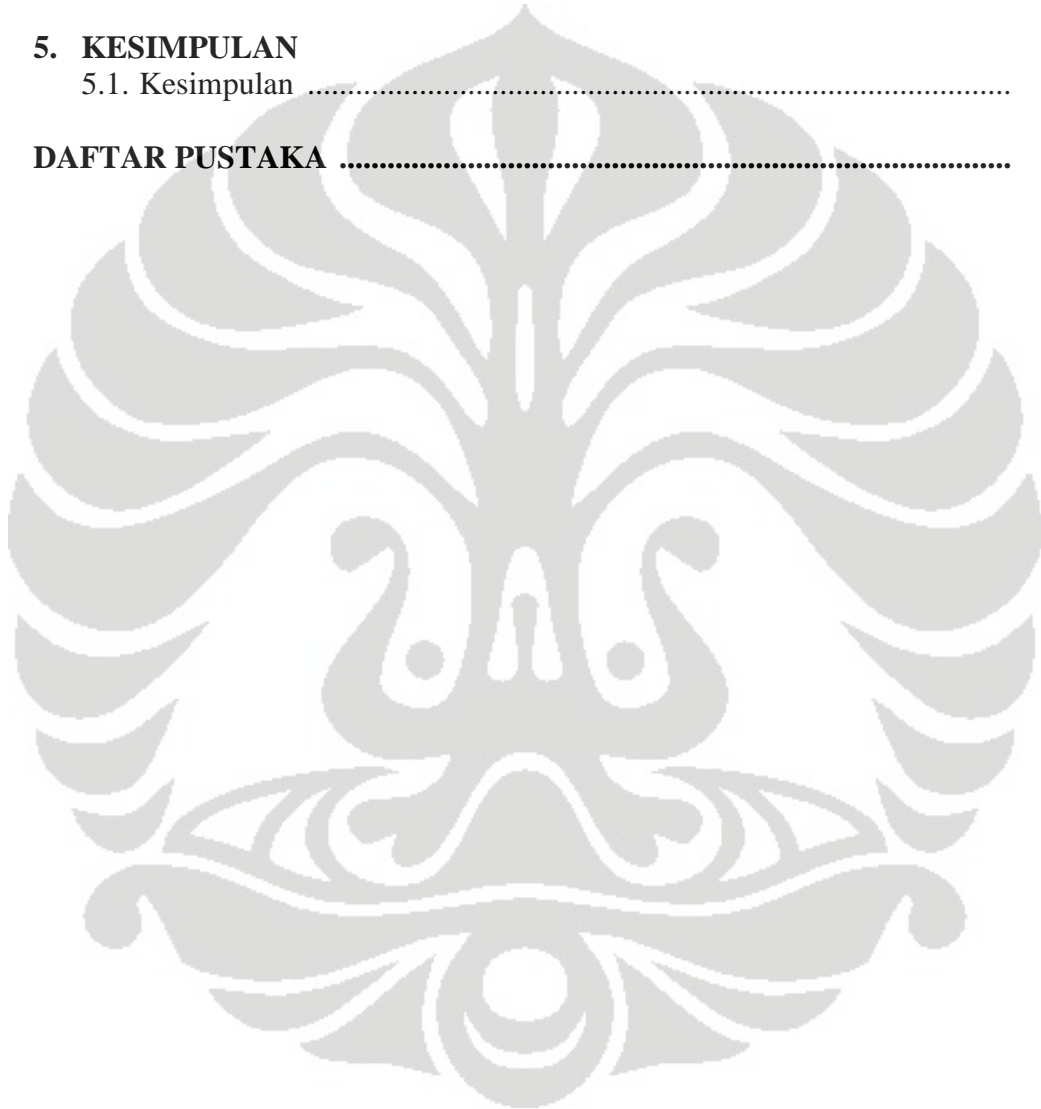
Dibuat di : Depok
Pada tanggal: Juli 2009
Yang Menyatakan

(Aga Alanda)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
LEMBAR PENGESAHAN	vi
KATA PENGANTAR	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
1. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan	4
1.4. Batasan Masalah	4
1.5. Sistematika Penulisan	5
1.6. Manfaat penulisan	7
2. DASAR TEORI	
2.1. Sistem poros baling-baling	9
2.1.1. Pelumasan air laut	9
2.1.2. Pelumasan minyak	10
2.2. Perawatan sistem poros	11
2.3. Keandalan sistem	12
2.4. Fungsi Keandalan	14
2.5. Mean Time To Failure	16
2.6. Tingkat keandalan alat	19
2.7. Penentuan interval pemeriksaan	22
2.8. Flow chart perhitungan	30
3. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Identifikasi dan perumusan masalah	33
3.2. Studi kepustakaan	34
3.3. Pengumpulan data	34
3.4. Pengolahan data	36
3.5. Analisa hasil perhitungan dan pembahasan	39
3.6. Kesimpulan	39

4. ANALISA DATA	
4.1. Perhitungan jumlah inspeksi optimum.....	40
4.2. Faktor koreksi	50
4.3. Sensitivity analysis	55
4.4. Pembahasan.....	58
4.5. Inspeksi optimal	63
4.6. Tinjauan terhadap aturan BKI.....	64
4.7. Annual survey	67
4.8. Potential failure.....	68
5. KESIMPULAN	
5.1. Kesimpulan	69
DAFTAR PUSTAKA	70



DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Data yang dibutuhkan
Tabel 2.	Failure rate komponen sistem poros baling-baling
Tabel 3.	Time to failure (1)
Tabel 4.	Time to failure (2)
Tabel 5.	Hasil perhitungan dengan faktor koreksi 25%
Tabel 6.	Hasil perhitungan dengan faktor koreksi 50%
Tabel 7.	Hasil perhitungan dengan faktor koreksi 75%
Tabel 8.	Hasil perhitungan dengan faktor koreksi 100%
Tabel 9.	Hasil perhitungan dengan faktor koreksi 125%
Tabel 10.	Perubahan tarif
Tabel 11.	Hasil perhitungan dengan perubahan tarif (1)
Tabel 12.	Hasil perhitungan dengan perubahan tarif (2)
Tabel 13.	Hasil perhitungan dengan perubahan tarif (3)
Tabel 14.	Hasil perhitungan dengan perubahan tarif (4)
Tabel 15.	Hasil perhitungan dengan perubahan cost (5)
Tabel 16.	Hasil perhitungan dengan perubahan cost (6)
Tabel 17.	Hasil perhitungan dengan perubahan cost (7)
Tabel 18.	Hasil perhitungan dengan perubahan cost (8)
Tabel 19.	Hasil perhitungan dengan perubahan cost (9)
Tabel 20.	Hasil perhitungan dengan perubahan cost (10)
Tabel 21.	Hasil perhitungan dengan perubahan cost (11)
Tabel 22.	Hasil perhitungan dengan perubahan cost (12)
Tabel 23.	Pola operasi dan jumlah inspeksi

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1. Penampang melintang sistem poros baling-baling kapal
- Gambar 2. Kurva Bathup
- Gambar 3. Flow chart pengerjaan tugas akhir
- Gambar 4. Flow chart penghitungan
- Gambar 5. Grafik pengaruh faktor koreksi terhadap MTTF
- Gambar 6. Grafik pengaruh faktor koreksi terhadap interval inspeksi
- Gambar 7. Grafik pengaruh faktor koreksi terhadap jumlah inspeksi
- Gambar 8. Grafik hubungan R dan n
- Gambar 9. Grafik hubungan R dan interval inspeksi
- Gambar 10. Grafik hubungan jumlah inspeksi dan output value
- Gambar 11. Grafik hubungan pola operasi kapal dengan jumlah inspeksi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kecelakaan kapal tidak hanya berakibat fatal pada kapal, muatan dan awak kapal saja. Pada beberapa kondisi, hal ini juga memberi akibat langsung pada lingkungan, baik laut maupun pesisir, serta juga mempengaruhi kinerja industri pantai dan pesisir. Begitu pula halnya dengan kerugian yang diakibatkan oleh kecelakaan kapal tidak hanya mencakup kerugian nominal akibat tidak mampu beroperasinya kapal dan hilangnya nilai muatan yang di angkut, namun lebih jauh dari itu, kerugian akan meliputi biaya penanggulangan pencemaran, kompensasi terhadap industri perairan laut dan pesisir yang terganggu, serta kerugian akibat hilangnya kesempatan berusaha akibat pencemaran yang diakibatkannya. Hal ini dibuktikan oleh kecelakaan yang menimpa kapal tanker MV NAHKODKA di laut Jepang pada Januari 1997 [1] serta kapal tanker MV PRESTIGE di perairan barat laut Spanyol pada November 2002 [2].

Dari dua kasus diatas, ada 4 masalah umum yang dihadapi dan harus dipecahkan, yakni:

1. Penemuan dan pengaplikasian teknologi dan *hardware* untuk penyelamatan dan pengumpulan tumpahan bahan bakar serta polutan lainnya.
2. Kompensasi terhadap kerusakan lingkungan
3. Pembinaan dan penerapan peraturan internasional terhadap kapal-kapal *substandard* dan *Port State Control*
4. Standar prosedur penanggulangan dan pelokalisiran wilayah yang terkena dampak

Poin (1) dan (2) diatas dapat digolongkan sebagai upaya untuk memaksimalkan langkah korektif yang dapat dilakukan pasca kecelakaan. Tanpa mengesampingkan peran kedua

poin tersebut, pada penelitian ini titik berat akan diberikan terhadap 2 poin terakhir, yang merupakan upaya preventif terhadap meningkatnya kecenderungan kecelakaan kapal.

Berkaitan dengan poin (3) hingga saat ini *International Maritime Organization (IMO)* telah menghasilkan beberapa konvensi yang bertujuan untuk menjamin keselamatan pengoperasian kapal dan pencegahan polusi seperti MARPOL, SOLAS, ISM CODE dan lainnya. Namun pada pelaksanaannya masih banyak sekali terdapat bias yang utamanya disebabkan karena ketidaksiapan dari beberapa negara anggota yang telah menandatangani konvensi tersebut dengan alasan keterbatasan biaya dan sumber daya manusia. Hal ini diperparah lagi dengan kecenderungan perusahaan pemilik kapal untuk membeli kapal-kapal bekas, dan kemudian melakukan modifikasi secukupnya hanya untuk memenuhi peraturan internasional modern, dan terkadang mereka memperlakukan kapal bekas tersebut seperti layaknya kapal baru. Hal ini tentunya akan sangat berpengaruh terhadap kelayakan kapal untuk beroperasi. Mengingat pembelian kapal-kapal bekas merupakan salah satu solusi terhadap kelangkaan armada laut yang sulit dihindari, maka dalam penelitian ini akan didisain sebuah *reliability database* yang komprehensif.

Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) mensyaratkan poros baling-baling harus dicabut dan diperiksa pada selang waktu tiga tahun untuk sistem poros dengan pelumasan air laut, dan pada selang waktu lima tahun untuk sistem poros dengan pelumasan minyak. Pemeriksaan dilakukan untuk memastikan kondisi poros dalam keadaan baik, atau dapat dilakukan penggantian pada beberapa komponen jika sudah tidak lagi memenuhi persyaratan minimum yang ditentukan oleh kelas, atau sudah dianggap sudah tidak layak pakai.

Untuk melakukan inspeksi yang mendetail terhadap sistem poros baling-baling, maka sistem tersebut harus dibuka secara keseluruhan, atau lebih dikenal dengan istilah survey pencabutan poros. Proses pencabutan dan pemeriksaan poros propeller menjadi salah satu penyebab tingginya maintenance cost yang harus dikeluarkan oleh pihak pemilik kapal. Hal ini disebabkan karena selain diperlukan biaya untuk melakukan pencabutan, juga kapal harus melakukan proses docking sebelum poros dapat dicabut.

Untuk melakukan penghematan biaya, maka pada umumnya proses pencabutan poros dilakukan bersamaan dengan survey docking yang dikeluarkan oleh kelas. Sehingga berbagai komponen yang lain pun ikut diperiksa. Namun perawatan terhadap sistem ini tetap menjadi salah satu sumber pengeluaran terbesar disebabkan oleh mahalnnya harga dari komponen-komponen yang terpasang didalamnya.

1.2 Perumusan Masalah

Selang waktu yang ditentukan oleh kelas konstan yaitu 3 tahun untuk sistem poros tunggal dan 4 tahun untuk poros jamak, serta 5 tahun untuk sistem poros dengan pelumasan minyak. Sedangkan kondisi dilapangan menunjukan bahwa jam operasional dari tiap-tiap kapal berbeda-beda sehingga menyebabkan adanya perbedaan tingkat keandalan poros baling-baling antara kapal yang satu dengan yang lainnya. Pada satu sisi jika dilakukan docking untuk pemeriksaan poros dalam kondisi tingkat keandalan dari poros masih cukup baik, maka akan menimbulkan tambahan biaya perawatan. Sedangkan di sisi lain jika tidak dilakukan pemeriksaan kondisi poros karena mengacu pada interval waktu yang telah ditentukan oleh Biro Klasifikasi (antara 3 sampai 5 tahun) sedangkan jam operasional kapal tinggi, maka akan mengurangi tingkat keandalan dari sistem poros sehingga rentan terhadap kerusakan.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisa kondisi dari sistem perporosan ini ialah dengan menggunakan pendekatan teori keandalan. Dengan mengetahui laju kegagalan (*failure rate*) dari masing-masing komponen pada sistem ini, dapat dilakukan perhitungan distribusi kerusakan dari setiap komponen. Dari perhitungan tersebut dapat dihitung pula tingkat keandalan komponen pada periode tertentu. Dengan mengetahui periode kerusakan (*Time to Failure*) yang akan terjadi, maka dapat ditentukan periode inspeksi yang dibutuhkan sehingga maintenance peralatan dapat dilakukan pada interval waktu yang tepat sehingga tingkat keandalan poros dapat dijaga.

Selain pendekatan teknis yang menjadi acuan utama maka analisa dari segi ekonomis pun dilakukan. Salah satu caranya ialah dengan menghitung biaya -biaya yang timbul akibat dari adanya proses inspeksi dan maintenance yang harus dilakukan. Dengan begitu diharapkan dapat ditentukan interval waktu optimum sehingga

meminimalkan biaya yang harus dikeluarkan oleh pihak pemilik kapal disamping tetap menjaga kondisi komponen dari sistem poros baling-baling dalam keadaan cukup andal.

1.3 Tujuan Penelitian

Dari latar belakang permasalahan yang dijelaskan diatas , maka dapat ditentukan bahwa tujuan dari penulisan ini adalah :

1. Menganalisa dan menentukan interval waktu pemeriksaan sistem poros baling-baling yang optimal, berdasarkan analisa tingkat keandalan komponen dan waktu operasional kapal dengan pendekatan teori keandalan
2. Dari waktu interval pemeriksaan optimum, diharapkan dapat dilakukan penghematan biaya yang dikeluarkan biaya yang dikeluarkan untuk pemeriksaan atau penggantian komponen poros baling-baling, dan memaksimalkan keuntungan dari operasional kapal.
3. Mengembangkan disain database penggantian sistem poros baling-baling kapal yang dapat dipergunakan sebagai acuan dalam melakukan manajemen perawatan kapal sehingga dapat mengurangi peluang gagal beroperasinya kapal yang nantinya akan mengurangi tingkat kecelakaan kapal.

1.4 BATASAN MASALAH

Untuk memfokuskan permasalahan yang akan dianalisa dalam penelitian ini, maka akan dibatasi permasalahan-permasalahan yang akan dibahas sebagai berikut :

1. Komponen yang akan ditinjau hanya komponen poros baling-baling dengan sistem poros tunggal tipe non control fixed propeller.
2. Diasumsikan komponen bekerja dalam keadaan normal .
3. Penurunan tingkat keandalan yang dianalisa hanya terjadi karena lamanya waktu operasi dari kapal.
4. Kapal yang diteliti hanya kapal container.

1.5 METODE PENELITIAN

Didalam melaksanakan penelitian ini digunakan tahapan-tahapan metode penelitian sebagai berikut :

1.5.1. Studi Literatur

Tahapan Studi Literatur dilaksanakan di awal penelitian dengan tujuan untuk memperoleh dasar-dasar teori dan berbagai informasi yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan. Pada tahap Studi Literatur dicoba untuk mendalami beberapa hal, antara lain :

- a. Apa saja permasalahan yang timbul didalam melaksanakan program perawatan dan perbaikan pada kapal.
- b. Syarat-syarat atau ketentuan klas mengenai sistem poros baling-baling.
- c. Dasar-dasar teori mengenai analisa tingkat keandalan sebuah komponen dan probabilitas kerusakan yang mungkin terjadi.
- d. Teori untuk menganalisa dan menentukan jumlah waktu pemeriksaan optimum pada proses perawatan sistem poros baling-baling kapal.

1.5.2. Survey dan Pengumpulan Data

Pada tahapan ini dilakukan proses survey dan pengumpulan data-data yang akan diolah dan dianalisa pada proses penelitian. Data-data yang akan dianalisa antara lain :

- a. Peraturan kelas mengenai perawatan dan inspeksi sistem poros baling-baling dan poros kemudi
- b. Failure rate dari komponen-komponen pada sistem poros baling-baling.
- c. Waktu penggantian komponen poros baling-baling dan poros kemudi yang telah dilakukan sebelumnya
- d. Data inspeksi / survey

- e. Biaya inspeksi / survey
- f. Biaya penggantian komponen
- g. Biaya *docking*

Data-data tersebut akan diambil pada beberapa instansi terkait antara lain :

- a. Biro Klasifikasi Indonesia
- b. Pihak Galangan (shipyard)
- c. Pihak Owner (pemilik kapal)
- d. Studi Literatur

1.5.3. Pengolahan Data

Dari data-data yang diperoleh, maka tahapan selanjutnya ialah mulai menghitung dan menentukan interval waktu optimum pemeriksaan dari sebuah sistem poros baling-baling. Yang menjadi tinjauan utama didalam proses ini selain jumlah inspeksi optimum yang diperoleh, juga apakah inspeksi dilakukan pada kondisi sistem masih dalam tingkat keandalan yang cukup tinggi. Analisa mendalam dilakukan dengan menggunakan pendekatan teori keandalan untuk menghitung failure rate dari masing-masing komponen yang ada pada sistem poros baling-baling dan poros kemudi. Pada kondisi tertentu, data TTF dimanipulasi dengan menggunakan simulasi Montecarlo, dan optimasi penjadwalan inspeksi dilakukan dengan menggunakan software.

1.5.4. Analisa data

Dari hasil pengolahan data, akan diperoleh hasil interval waktu inspeksi optimum dengan failure rate dari sistem dengan memodelkan pola inspeksi kedalam fasilitas optimasi dari software yang akan dibuat menggunakan visual basic. Hasil tersebut kemudian akan dianalisa dengan cara membandingkan dengan ketentuan dari Biro Klasifikasi mengenai interval waktu inspeksi sistem poros.

1.5.5. Kesimpulan dan Saran

Setelah seluruh proses penelitian telah selesai, maka akan ditarik kesimpulan secara menyeluruh mengenai penentuan interval waktu optimum pemeriksaan poros baling-baling dan poros kemudi. Kemudian ditarik kesimpulan dengan menggunakan frekuensi inspeksi serta pengaruhnya terhadap keuntungan (profit) yang didapat dari algoritma yang didisain untuk dapat mencari maksimum keuntungan dari pola inspeksi yang dimodelkan. Selain itu juga akan diberikan beberapa saran-saran berdasarkan hasil penelitian kepada pihak owner, galangan, klas ataupun pihak-pihak terkait lainnya mengenai pola perawatan dan inspeksi sistem poros baling-baling dari kapal.

1.6 MANFAAT PENULISAN

Dari penulisan ini diharapkan dapat bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan. Manfaat yang bisa diperoleh antara lain :

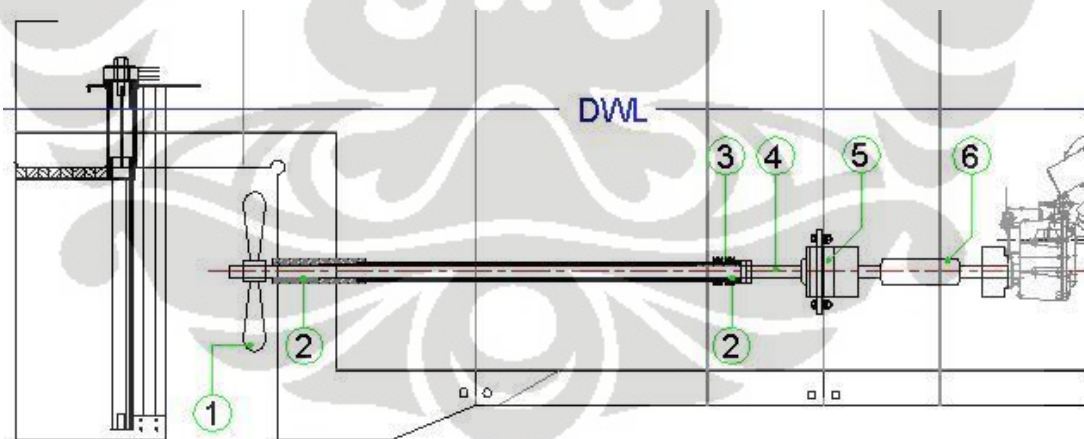
- a. Menentukan interval waktu yang optimal untuk proses pemeriksaan poros baling-baling
- b. Dengan interval waktu yang tepat, maka tingkat keandalan dari komponen dapat dijaga sehingga mendukung fungsi operasional kapal
- c. Pemeriksaan komponen pada interval waktu yang tepat sesuai dengan jumlah waktu operasional kapal akan menekan biaya pemeliharaan kapal yang harus dikeluarkan oleh pihak owner.
- d. Model perhitungan yang dihasilkan dapat dimanfaatkan oleh pihak Owner untuk melakukan penjadwalan pemeliharaan dan inspeksi guna mempertahankan tingkat keandalan dari komponen poros baling-baling dan poros kemudi.
- e. Dapat dijadikan pertimbangan oleh BKI (Biro Klasifikasi Indonesia) untuk mulai mencoba menentukan interval waktu pemeriksaan poros baling-baling berdasarkan jumlah waktu operasional kapal dengan meninjau tingkat keandalan komponen.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 SISTEM POROS BALING BALING

Sistem poros baling-baling merupakan suatu perangkat sistem transmisi tenaga yang berfungsi mengantarkan putaran dari motor induk ke propeller sehingga dapat dihasilkan daya dorong yang menyebabkan kapal dapat bergerak. Sistem ini adalah salah satu bagian dari sistem penggerak utama pada kapal sehingga memegang peranan penting didalam operasional. Oleh sebab itu kemampuan sistem ini untuk beroperasi secara normal haruslah dipertahankan. Sistem poros baling-baling terdiri dari beberapa komponen dengan masing-masing fungsinya untuk mendukung kerja dari poros. Komponen-komponen dari sistem poros sebagian besar terdapat pada selubung yang menutupi poros dan dikenal sebagai stern tube.



Pada dasarnya sistem poros baling-baling dapat dibedakan menjadi 2 jenis :

1. Sistem poros dengan pelumasan air laut .
2. Sistem poros dengan pelumasan minyak.

2.1.2 Pelumasan air laut

Pada sistem ini terdapat bantalan (bearing) yang terbuat dari bahan cast iron yang sedikit lebih besar dari pada bagian depan serta mudah untuk dibuka. Bagian dari stern tube dengan pelumasan air ini menempel pada after peak bulkhead. Pada ujung bagian depan dilengkapi dengan *stuffing box dan gland*, sedangkan pada bagian belakang terdapat bearing dari bahan kayu *lignum vitae* atau sejenisnya. Bahan ini jika terkena air laut maka akan mengeluarkan cairan yang dapat difungsikan sebagai pelumas. Selain bahan *lignum vitae* , juga dapat digunakan bahan karet komposit (*cutlass rubber*) atau beberapa material plastic yang telah diizinkan sebagai bantalan.

Untuk bantalan pada sistem pelumasan air laut, diameternya tidak kurang dari 4 x diameter poros. Jika diameter bearing lebih dari 380 mm, maka masuknya air kedalam stern tube harus dilakukan dengan paksa (*forced water lubrication*) dengan menggunakan circulating pump atau peralatan tambahan lainnya yang dilengkapi dengan flow indicator. Pemeriksaan poros dengan sistem ini (pencabutan poros) dilakukan setiap tiga tahun sekali. Penampang melintang dari sistem pelumasan air laut dapat dilihat pada gambar berikut :

2.1.2 Pelumasan minyak

Tidak seperti pada pelumasan air laut , pada pelumasan minyak, shaft liner tidak lagi dibutuhkan. Secara umum, hanya sedikit shaft liner kecil dipasang di bagian belakang sebagai tempat untuk menempelkan

seal pada propeller boss. Dengan dipasangkan seal akan berguna untuk membatasi masuknya air laut ke dalam stern tube, sehingga pelumasan hanya dilakukan oleh minyak pelumas

Bearing berguna untuk menahan gesekan atau beban punter dari poros sehingga tidak merusak poros. Bearing terbuat dari bahan *white metal*. Bahan plastic yang kaku dapat juga digunakan untuk menggantikan *white metal*, selain itu untuk bantalan juga dapat digunakan bahan dari keramik.

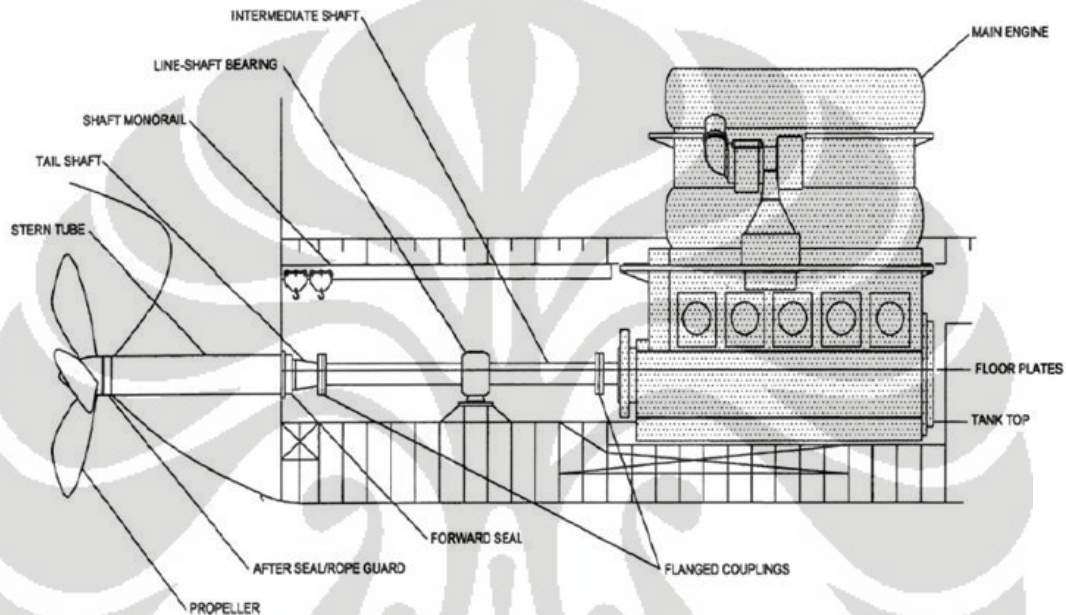
Sistem pelumasan yang dipasang harus dapat mempertahankan viskositas dari minyak pelumas pada kondisi temperature yang berbeda-beda. Gravity tank diletakkan dilengkapi dengan *low level alarm* untuk mengalirkan minyak secara gravitasi ke seluruh *stern tube* dan melumasi poros. Sistem pelumasan ini bergantung pada beban sisa pada *stern tube* untuk dilakukan pengukuran tekanan dilakukan untuk memastikan bahwa tidak ada saluran yang tersumbat. Hal ini dilakukan dengan memanipulasi katup pada tangki yang terletak diatas dan operasi pompa dengan sedikit kelebihan tekanan. Jika pelumas kembali ke tangki menandakan bahwa jalur minyak telah bersih. Jalur pipa pelumas harus betul-betul dijaga dalam keadaan bersih (tidak tersumbat) agar minyak pelumas dapat bergerak secara gravitasi dan melumasi poros.

Pada kapal dengan perubahan yang besar pada draft, pada umumnya digunakan dua *gravity tank*. Upper tank digunakan pada saat muatan penuh atau ketika terdapat rembesan air laut.

2.2 PERAWATAN SISTEM POROS

Perawatan sistem poros baling-baling secara berkala dilakukan oleh pihak pemilik kapal. Namun secara kontinyu klas telah menentukan periode survey pencabutan poros. Yaitu setiap tiga tahun untuk sistem poros tunggal dan setiap empat tahun sekali untuk sistem poros jamak. Pada periode tertentu dan setelah

melakukan pemeriksaan dan pengukuran, maka beberapa komponen dari sistem ini harus direpair atau bahkan diganti dengan komponen yang baru sesuai dengan tingkat kerusakannya.



2.3 KEANDALAN SISTEM

Salah satu hal yang menjadi pertimbangan khusus didalam mendisain sebuah sistem permesinan atau konstruksi teknis lainnya ialah kerusakan komponen yang terdapat didalamnya. Kerusakan pada komponen yang bekerja pada sebuah sistem dapat menyebabkan penurunan output dari sistem tersebut atau bahkan dapat menyebabkan kerusakan besar sehingga sistem tidak dapat bekerja sama sekali. Para disainer dan engineer memperhitungkan berbagai kerusakan yang mungkin terjadi dan memperkirakan waktu kerusakan. Perkiraan ini berguna untuk dilakukan langkah prefentif pencegahan dengan cara maintenance and repair sehingga sistem dapat bekerja sesuai dengan yang diinginkan.

Ilmu keandalan (*Reliability*) adalah sebuah cabang ilmu yang telah berkembang sejak lama, namun penerapan teori keandalan sebagai salah satu cabang ilmu teknik baru digunakan setelah Perang Dunia I dengan menerapkannya pada pemeliharaan beberapa pesawat tempur Amerika dengan menterjemahkan tingkat keandalan komponen sebagai jumlah kerusakan per jam terbang pesawat.

Setelah perang dunia ke II ilmu keandalan semakin banyak digunakan seiring dengan perkembangan dunia industri yang memproduksi berbagai macam peralatan teknis. Perkembangan evaluasi tingkat keandalan sebuah sistem awalnya berkembang sebagai efek dari seiringnya terjadi kecelakaan-kecelakaan besar yang menelan kerugian materi dan korban jiwa. Hal ini menimbulkan tekanan yang cukup besar untuk melakukan penilaian tingkat keandalan, keselamatan, dan segala resiko berbahaya yang mungkin terjadi secara objektif.

Keandalan ialah sebuah konsep umum yang direpresentasikan dengan model perumusan matematis. Keandalan dapat didefinisikan sebagai probabilitas dari suatu item untuk dapat melaksanakan fungsi yang telah ditetapkan, pada kondisi pengoperasian dan kondisi lingkungan tertentu, untuk periode waktu yang telah ditentukan fungsi reliability didefinisikan sebagai :

- a. Probabilitas
- b. Waktu
- c. Kinerja komponen yang memadai
- d. Kondisi kerja

Studi tentang keandalan sistem dewasa ini semakin banyak dikembangkan dalam berbagai bidang. Penyempurnaan-penyempurnaan dilakukan disana-sini sehingga ilmu keandalan menjadi salah satu cabang ilmu engineering yang berkembang cukup pesat. Hal ini ditambah dengan pentingnya analisa keandalan sehingga dapat meminimalisir kerugian harta atau nyawa akibat kecelakaan yang mungkin dapat terjadi. Teknologi keandalan memiliki bidang aplikasi yang cukup luas. Teknologi keandalan dapat digunakan antara lain untuk :

- a. Safety risk analysis
- b. Environmental protection .

- c. Pengendalian kualitas.
- d. Optimasi maintenance dan operasional
- e. Engineering design, dan lain lain

Keandalan dalam kinerja suatu sistem digunakan untuk memenuhi fungsi yang diharapkan. Apabila terjadi suatu sistem yang berhenti ataupun peralatan komunikasi dalam keadaan mati, maka sistem tersebut dapat dikatakan rusak. Akhirnya variable yang sangat penting dan berpengaruh terhadap keandalan adalah waktu, sehingga bias dikatakan keandalan merupakan fungsi dari waktu.

Suatu mesin bias dikatakan handal bila mesin tersebut dapat berfungsi dengan baik. Misalnya : V menyatakan state dari alat.

$V = 1$, alat berfungsi dengan baik.

$V = 0$, alat tidak berfungsi dengan baik.

Keadaan state dari keandalan merupakan proses stokastik, sehingga jika keandalan bernilai = 1 adalah mesin dalam kondisi baik, dan sebaliknya. Karena keandalan merupakan suatu proses probabilitas maka harga keandalan nilainya :

$$0 \leq a \leq 1$$

2.4 FUNGSI KEANDALAN

Fungsi keandalan dinotasikan dengan R , yaitu merupakan range dimana

Jika : $R = 1$: Sistem dapat bekerja dengan baik

$R = 0$: Sistem tidak dapat bekerja dengan baik

$R = 0,8$: a) Peluang sistem dapat bekerja dengan baik 0,8

b) Peluang sistem tidak dapat bekerja dengan baik 0,2

Keandalan suatu sistem merupakan ukuran peluang yang merupakan fungsi dari waktu sehingga untuk mengetahui keandalan sistem tersebut diperlukan suatu fungsi yang disebut fungsi keandalan. Fungsi keandalan merupakan hubungan antara keandalan dan waktu sehingga untuk menghitung keandalan diperlukan notasi $R(t)$:

$R(t)$: Peluang sistem dapat beroperasi dengan baik selama pemakaian $(0,t)$

$R(t) = P(X(t)) = 1$ (alat dapat berfungsi)

$$R(t) = P [T > t]$$

$$R(t) = 1 - P [T \leq t]$$

$$R(t) = 1 - F_T(t)$$

$F_T(t)$ = fungsi distribusi kerusakan yang merupakan fungsi waktu atau ketidakandalan (*failure*). Jadi fungsi keandalan merupakan komplemen dari fungsi distribusi kumulatif *life time* sistem tersebut. Sedangkan fungsi kerapatan $f_T(t)$ adalah turunan dari $F_T(t)$:

Maka :
$$f_T(t) = \frac{dF_T(t)}{dt}$$

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

$$f(t) = -\frac{dR(t)}{dt}$$

Didapat : $d(1 - R(t)) = f_T(t)dt$

Jika masing-masing diintegrasikan terhadap t dari 0 sampai dengan t :

$$\int_0^t d(1 - R(t)) = \int_0^t f_T(t)dt$$

$$1 - R(t) = \int_0^t f_T(t)dt$$

$$R(t) = 1 - \int_0^t f_T(t)dt$$

Sehingga :

$$R(t) = \int_0^{\infty} f_T(x) dx$$

Maka : $R(0) = 1$ alat pada $t = 0$ (keadaan baru)

$R(\infty) = 0$ alat pada $t = \infty$ (keadaan rusak)

2.5 MEAN TIME TO FAILURE (MTTF)

Keandalan dapat dinyatakan dalam rangka angka ekspektasi masa pakai yang dinotasikan dengan $E(t)$ dan sering disebut rata-rata waktu kerusakan atau *mean time to failure* (MTTF), yang hanya digunakan pada komponen yang sekali mengalami kerusakan maka harus diganti dengan komponen yang baru dan baik. Rata-rata kerusakan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} E(t) &= \int_0^{\infty} t f(t) dt \\ &= \int_0^{\infty} dF(t) dt \\ &= \int_0^{\infty} t d[1 - R(t)] \\ &= \int_{-0}^{\infty} t dR(t) \\ &= \int_{-0}^{\infty} t dR(t) + \int_0^{\infty} R(t) \end{aligned}$$

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

Grafik fungsi distribusi kerusakan dan distribusi keandalan adalah sebagai berikut :

Laju Kerusakan

Laju Kerusakan menyatakan banyaknya kerusakan yang terjadi tiap satuan waktu.

Laju kerusakan dinyatakan dalam $\lambda(t)$, hubungan $R(t)$ dengan α adalah :

$$R(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(x)dx\right)$$

Laju kerusakan diatas lebih dikenal sebagai fungsi kerusakan atau *hazard function* ,

$h(t)$ dan $\int_0^t h(t) = H(t)$ disebut *integrated Hazard Function*, sehingga

$R(t)$ bias ditulis :

$$R(t) = \exp(-H(t))$$

Failure Rate juga dapat ditulis :

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(T \leq t + \Delta t / T > t)}{\Delta t}$$

Dengan pendekatan dapat juga ditulis :

$$\lambda(t)\Delta t \approx P\left(T \leq t + \frac{\Delta t}{T} > t\right)$$

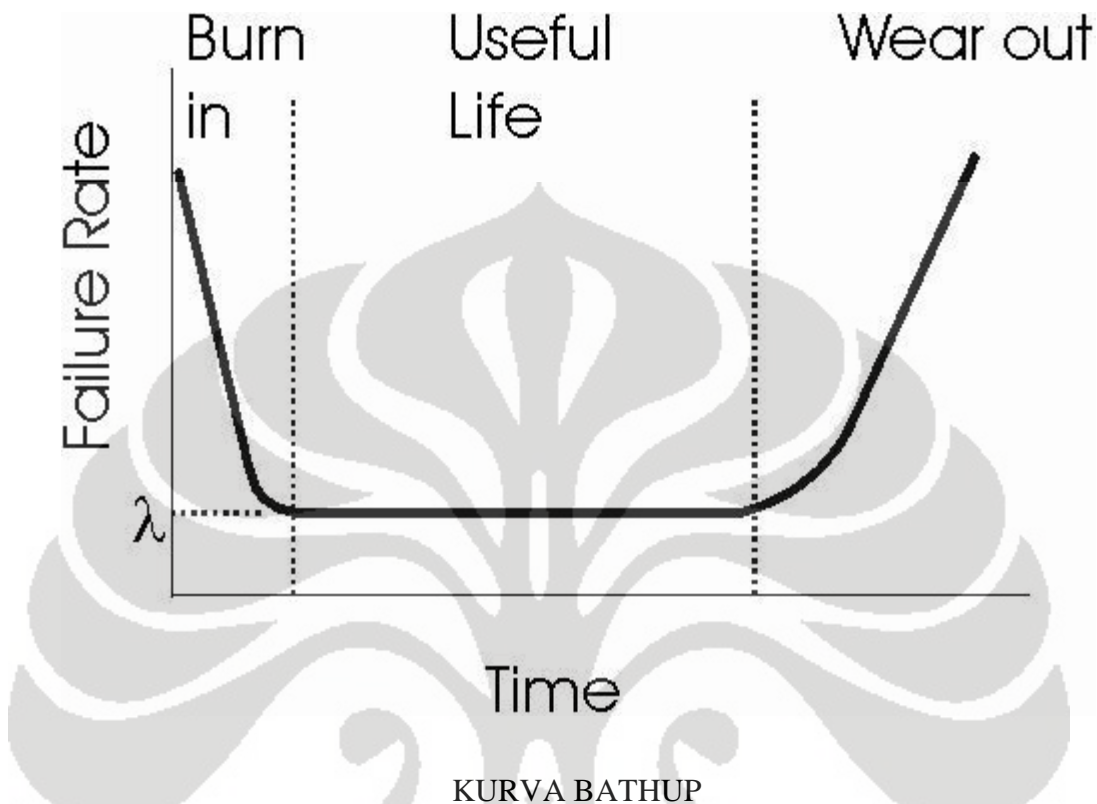
$\lambda(t)\Delta t$ Menyatakan peluang komponen yang sampai saat t belum rusak dan rusak paling lambat Δt lagi.

Distribusi Kerusakan

Kerusakan suatu mesin mempunyai pola tertentu sesuai dengan periode waktu beroperasi. Gambaran laju kerusakan suatu komponen adalah sebagai berikut :

1. Pada periode 0 sampai t_1 (awal mulanya mesin bekerja), kurva menunjukkan bahwa laju kerusakan rendah dengan bertambahnya waktu atau dinamakan *Decreasing Failure Rate (DFR)*. Kerusakan pada periode ini disebabkan pengendalian kualitas dari produk atau komponen kurang sempurna , perancangan yang kurang baik serta proses pembuatan produk yang tidak menghasilkan mutu yang sering menjadi penyebab kerusakan awal.
2. Pada periode t_1 sampai dengan t_2 laju kerusakan yang terjadi konstan atau tetap sehingga dinamakan *Constant Failure Rate (CFR)*. Pada periode ini bias dikenal dengan *Useful Life Period*. Keadaan bersifat random yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan bekerjanya komponen tersebut. Pada periode ini merupakan periode pemakaian yang normal dan dikarakteristikan secara pendekatan dengan jumlah kerusakan yang konstan tiap satuan waktu.
3. Pada periode ini setelah t_2 menunjukkan laju kerusakan dengan bertambahnya waktu yang dinamakan *Increasing Failure Rate (IFR)* Hal ini dikarenakan proses keausan komponen sangat tinggi.

Untuk lebih jelasnya, maka dapat kita lihat pada gambaran kurva dibawah ini



2.6 TINGKAT KEANDALAN ALAT

Tingkat keandalan alat dapat dihitung dengan menggunakan Uji Hipotesa Distribusi Data (*Test Goodness Of Fit*). Terdapat dua macam *Test Goodness Of Fit*, yaitu *Chi-Square* (Untuk distribusi data yang bersifat diskrit) dan uji *Kolmogorov-Smirnof* (untuk distribusi data yang bersifat continue). Dalam analisa keandalan distribusi yang sering digunakan yaitu distribusi *exponensial*, distribusi *normal* dan distribusi Weibull.

1. Distribusi *exponensial* digunakan untuk mengukur laju kerusakan Fungsi kepadanannya, dimana : λ = Parameter waktu dan t = waktu, dengan $t \geq 0$ dan $\lambda > 0$

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

Sedangkan fungsi Kumulatifnya :

$$R(t) = 1 - F(t)$$

$$R(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda t})$$

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

Laju kerusakannya ata Hazard Function

$$\lambda(t) = \frac{R'(t)}{R(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}}$$

λ = Parameter

$$\lambda(t) = \lambda$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda}$$

2. Distribusi Normal

Distribusi ini digunakan untuk menunjukkan laju kerusakan alat yang terus meningkat.

Fungsi Kepadannya :

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

$$F(t) = \int_{-\infty}^t \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \right] dt$$

Atau dengan bantuan Tabel *Normal* dinyatakan :

$$F(t) = \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)$$

Sedangkan Keandalannya :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_t^{\infty} \exp\left[-\frac{(tp - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

Atau :

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

Laju Kerusakan atau Hazard Function :

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

3. Distribusi Weibull

Sering digunakan dalam perhitungan keandalan dengan adanya parameter-parameter. Dalam distribusi *weibull* bentuk-bentuk perilaku kerusakan dapat lebih mudah dimodelkan.

Fungsi Kepepadannya :

$$f(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp - \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha}$$

$$f(t) = \alpha\beta^{-\alpha} t^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha}}$$

Laju Kerusakan :

$$\lambda(t) = \alpha\beta^{-\alpha} t^{\alpha-1}$$

Fungsi Kumulatifnya

$$F(t) = \int_0^t 1 - F(t)$$

$$F(t) = 1 - \exp^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha}$$

Harga Keandalannya

$$R(t) = 1 - F(t)$$

$$R(t) = \exp^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha}$$

Dengan mengintegalkan keandalan antara 0 sampai ∞ maka :

$$MTTF = \beta \tau 1 + \frac{1}{\alpha}$$

Dimana :

$$\tau(n) = \int_0^{\infty} x^{n-1} e^{-x} dx$$

2.7 PENENTUAN WAKTU PEMERIKSAAN OPTIMUM

Maintenance atau perawatan ialah serangkaian kegiatan yang dilakukan terhadap komponen-komponen dari sebuah sistem guna menjaga performa komponen agar dapat terus beroperasi dan menghasilkan produksi seperti yang diharapkan. Sebagai sebuah wahan teknis yang terdiri dari berbagai sistem didalamnya, maka permesinan dan komponen-komponen yang ada juga wajib untuk dimaintenance agar dapat berfungsi dengan baik dan mendukung operasional kapal.

Melaksanakan proses *maintenance* dari sebuah kapal dapat dilakukan dengan berbagai metode. Namun ada beberapa permasalahan mendasar yang menjadi pertimbangan- pertimbangan khusus, antara lain :

- ✓ Interval waktu overhaul peralatan yang harus dilakukan.
- ✓ Kapan dan beberapa lama jumlah waktu breakdown pada saat melakukan maintenance.
- ✓ Peraturan *replacement* komponen yang harus dipenuhi.
- ✓ Peraturan *replacement* untuk komponen- komponen besar yang harus dipenuhi.
- ✓ Modifikasi peralatan yang mungkin dapat dilakukan untuk lebih mengoptimalkan kinerja peralatan yang ada.
- ✓ Pertimbangan dari segi keandalan sistem.
- ✓ Jumlah sumber daya manusia yang tersedia untuk melakukan proses *maintenance*.
- ✓ Komposisi peralatan pendukung untuk melakukan proses *maintenance*.
- ✓ *Sparepart* yang tersedia.
- ✓ Jumlah inspeksi dalam satuan waktu.
- ✓ Seberapa dalam inspeksi yang harus dilakukan.

Pada penelitian ini akan di titik beratkan pada permasalahan inspeksi yang dilakukan dalam sebuah proses *maintenance* . Difokuskan pada penentuan jumlah inspeksi optimum dalam suatu interval waktu tertentu. Selain dari pertimbangan, penelitian ini juga akan membahas mengenai pertimbangan keandalan sistem dan komponen-komponen yang ada didalamnya, sehingga diharapkan inspeksi dilakukan pada waktu yang tepat sebelum tingkat keandalan komponen sudah dibawah nilai yang diijinkan. Inspeksi atau pemeriksaan terhadap komponen- komponen di dalam sebuah sistem adalah salah satu bagian terpenting dari rangkaian manajemen perawatan. Inspeksi dilakukan berbagai metode dan interval waktu tertentu sesuai dengan kebutuhan dan analisa tingkat keandalan dari komponen yang akan diinspeksi. Dengan inspeksi yang

rutin, maka dapat dideteksi kondisi dari komponen apakah dalam keadaan layak pakai atau harus dilakukan maintenance atau bahkan perlu dilakukan penggantian (*replacement*). Pada perawatan kapal inspeksi atau survey dilakukan secara berkala berdasarkan ketentuan yang dikeluarkan oleh Biro Klasifikasi, inspeksi juga dapat dilakukan oleh pihak owner sebagai salah satu langkah preventif didalam proses perawatan kapal.

2.7.1 Inspeksi Poros

Tujuan utama dari proses inspeksi adalah untuk memperkirakan kondisi dari peralatan yang diinspeksi. Perkiraan kondisi ini dapat dilakukan dengan mengacu pada beberapa indikator seperti kondisi bantalan poros, seal, mengecek keretakan yang terjadi dan mengukur diameter dari poros. Inspeksi dilakukan untuk memperkirakan akibat yang akan timbul dari kondisi komponen-komponen tersebut. Dengan adanya inspeksi, maka kerusakan-kerusakan kecil dapat dideteksi sejak dini serta dapat segera diperbaiki, sehingga terhindar dari kerusakan mayor yang mungkin saja terjadi dan dapat menyebabkan pengeluaran biaya yang jauh lebih besar.

Permasalahan utama yang timbul dalam proses inspeksi adalah bagaimana cara membuat sebuah jadwal inspeksi yang tepat pada sebuah sistem, dalam hal ini sistem poros baling-baling kapal. Penentuan jadwal inspeksi berkaitan erat dengan cost yang harus dikeluarkan oleh pihak owner. Proses inspeksi yang mendalam pada sistem poros baling-baling dapat dilakukan hanya jika poros dicabut dan komponen-komponen yang ada didalamnya dibuka. Proses pencabutan poros mengharuskan kapal untuk docking, hal ini memerlukan breakdown time yang cukup lama dan menyebabkan berhentinya operasi kapal sehingga mengurangi keuntungan bagi pihak owner. Selain itu diperlukan juga biaya tersendiri untuk melaksanakan proses inspeksi.

2.7.2 Frekuensi Optimal Inspeksi

Setelah pemakaian yang cukup lama dan melewati umur pakai dari sebuah peralatan, maka peralatan tersebut akan mengalami kerusakan. Hal ini membutuhkan perbaikan atau proses penggantian komponen. Selama waktu perawatan dan penggantian komponen kapal tidak dapat beroperasi, sehingga terjadi penurunan keuntungan bagi pihak owner. Dalam rangka meminimalisir jumlah waktu *breakdown*, maka proses inspeksi terhadap komponen dapat dilakukan secara berkala sehingga dapat memperbaiki kerusakan- kerusakan kecil sehingga tidak menyebabkan kerusakan besar yang memerlukan waktu *breakdown* cukup lama.

Frekuensi inspeksi dikatakan optimum jika terdapat keseimbangan antara jumlah inspeksi dan nilai keuntungan yang diperoleh jika kapal beroperasi secara penuh. Namun inspeksi dilakukan tentunya tidak hanya dari segi pertimbangan ekonomis saja, namun juga harus memperhatikan kondisi tekniss dari peralatan- peralatan yang akan di survey.

Untuk menentukan frekuensi atau interval waktu sebuah inspeksi dapat dilakukan dengan pendekatan matematis. Ada dua cara yang dapat dilakukan, yaitu :

Memaksimalkan profit

Jumlah inspeksi optimal dapat dihitung dengan rumus matematis dengan pendekatan memaksimal kan keuntungan. Keuntungan yang dimaksud dalam hal ini ialah dengan cara meminimalisir jumlah waktu *breakdown* sehingga jumlah waktu operasi kapal lebih besar, yang otomatis akan berpengaruh pada keuntungan yang diterima pihak owner.

Untuk dapat menentukan jumlah inspeksi optimum per satuan waktu, maka dibutuhkan data-data sebagai berikut :

1. Kesalahan peralatan terjadi berdasarkan pada distribusi eksponensial negative dengan waktu kesalahan rata-rata (MTTF) = $1/\lambda$ dimana λ adalah rata-rata tingkat terjadinya kesalahan. (sebagai contoh, jika MTTF = 0,5 tahun maka angka rata-rata kesalahan pertahun = $1 / 0,5 = 2$, dengan demikian $\lambda = 2$)
2. Waktu perbaikan didistribusikan sebagai eksponen negative dengan waktu rata-rata $1 / \mu$.
3. Kebijakan inspeksi adalah dengan melaksanakan inspeksi sebanyak n per unit waktu. Waktu inspeksi didistribusikan sebagai eksponen negative dengan waktu rata-rata $1/i$.
4. Nilai dari output didalam sebuah unit waktu yang tak terpakai merupakan nilai profit V . V merupakan nilai profit / keuntungan jika tidak ada kerugian downtime.
5. Biaya rata-rata inspeksi per unit waktu yang tak terpakai disimbolkan dengan I .
6. Biaya rata-rata perbaikan per unit waktu yang tak terpakai disimbolkan dengan R . perhatikan bahwa I dan R merupakan biaya-biaya yang akan dikeluarkan jika inspeksi atau perbaikan dilakukan pada suatu waktu unit waktu. Pada biaya-biaya yang harus dikeluarkan tersebut, antara nilai I dan R harus seimbang.
7. Tingkat kerusakan dari peralatan, λ , merupakan suatu fungsi dari n , yang merupakan frekuensi inspeksi. Yaitu bahwa, kerusakan-kerusakan tersebut dapat juga dipengaruhi banyaknya inspeksi, oleh karenanya, $\lambda = \lambda(n)$

$\lambda(0)$ = tingkat kerusakan jika tidak ada inspeksi yang dilakukan.

$\lambda(1)$ = tingkat kerusakan jika dilakukan 1 kali inspeksi.

Pengaruh dari pelaksanaan inspeksi adalah meningkatnya rata-rata waktu kesalahan dari peralatan yang bersangkutan.

8. Tujuannya adalah untuk memilih jumlah n untuk memaksimalkan keuntungan yang ingin didapatkan per unit waktu dari pengoperasian peralatan tersebut. Hubungan- hubungan dasar yang terjadi ditunjukkan pada gambar.

Besarnya keuntungan per unit waktu dari pengoperasian peralatan tersebut akan menjadi sebuah fungsi dari banyak inspeksi. Oleh karenanya, kita simbolkan keuntungan per unit waktu sebagai $P(n)$.

Yang akan ditentukan adalah pola inspeksi yang akan memberikan keseimbangan antara jumlah inspeksi dan hasil dari inspeksi yang dilakukan seperti keuntungan dari semakin tingginya jam operasional kapal. Perhitungan dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan :

$$P(n) = V - \frac{V\lambda(n)}{\mu} - \frac{V}{i} - R \frac{\lambda'(n)}{\mu} - \frac{I}{i}$$

Dimana :

P(n) : Nilai operasional kapal (output) per unit waktu jika tidak berkurang akibat proses inspeksi dan repair.

(-) Nilai output yang hilang karena repair per unit waktu

(-) Nilai output yang hilang karena inspeksi per unit waktu

(-) Biaya repair per unit waktu

(-) Biaya inspeksi per unit time

Nilai Output yang hilang karena proses repair per unit waktu = Nilai output persatuan waktu yang tidak hilang x jumlah repair x waktu rata-rata repair = $(V\lambda(n) / \mu)$ catatan : bahwa $\lambda(n) / \mu$ adalah proporsi dari unit waktu yang disediakan untuk pekerjaan repair.

Nilai Output yang hilang karena inspeksi per unit waktu = Nilai output per unit waktu jika tidak berkurang karena inspeksi dan repair x Jumlah inspeksi per unit waktu x Rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk repair (Vn/i)

Biaya repair per unit waktu = Biaya repair per waktu jika tidak hilang karena inspeksi dan repair x jumlah repair per unit waktu x waktu rata-rata repair ($R[\lambda(n)/\mu]$)

Biaya inspeksi per unit waktu = Biaya repair per unit waktu jika tidak hilang karena inspeksi dan repair x jumlah inspeksi per unit waktu x waktu rata-rata inspeksi ($I(n/i)$)

Persamaan

$$P(n) = V - \frac{V\lambda(n)}{\mu} - \frac{V}{i} - R \frac{\lambda'(n)}{\mu} - \frac{I}{i}$$

adalah model dari permasalahan hubungan antara frekuensi inspeksi dengan keuntungan $P(n)$. Untuk memperoleh perkiraan jawaban, maka diasumsikan $P(n)$ menjadi fungsi kontinu dari n , sehingga

$$\frac{dP(n)}{dn} = -\frac{V\lambda'(n)}{\mu} - \frac{V}{i} - R \frac{\lambda'(n)}{\mu} - \frac{I}{i}$$

Dimana $\lambda'(n) = d[\lambda(n)/dn$

$$\text{Sehingga : } 0 = \frac{\lambda'(n)}{\mu} (V + R) + \frac{I}{i} (V + I)$$

$$\text{Maksimum} = \lambda'(n) = -\frac{\mu}{i} \left(\frac{V + I}{V + R} \right)$$

Sejak nilai dari μ , I , V , R , I dan bentuk dari λ_n diketahui sebagai optimal frekuensi untuk memaksimalkan keuntungan perunit waktu adalah jika nilai n menyebabkan persamaan di kiri sama dengan persamaan di kanan.

Bila diasumsikan tingkat breakdown berbanding terbalik dengan jumlah inspeksi $\lambda(n) = -k/n$ ditulis sebagai $\lambda'(n) = -k/n^2$. Jika nilai k dapat diinterpretasikan sebagai rata-rata breakdown per unit waktu ketika satu inspeksi dilakukan per unit waktu. Jika persamaan $\lambda'(n) = -k/n^2$ disubstitusikan pada persamaan

$$\lambda'(n) = -\frac{\mu}{i} \left(\frac{V+I}{V+R} \right)$$

Maka dapat dihitung jumlah inspeksi optimal adalah

$$n = \sqrt{\left(\frac{ik}{\mu} \right) \left(\frac{V+R}{V+I} \right)}$$

Meminimalisasi down time

Tujuan dari metode ini ialah untuk memilih jumlah inspeksi (n) untuk meminimalisasi total downtime per unit waktu. Total downtime per unit waktu akan berupa fungsi dari frekuensi inspeksi, n , dilambangkan dengan $D(n)$.

Untuk itu

D_n = Downtime yang terjadi karena repair per unit waktu + downtime yang terjadi karena inspeksi per unit waktu.

$$D_n = \frac{\lambda(n)}{\mu} + \frac{n}{i}$$

Karena $\lambda'(n) = -k/n^2$, maka

$$D'n = \frac{k}{n^2\mu} + \frac{1}{2}$$

$$n = \frac{ki}{\mu}$$

n = Jumlah inspeksi per unit waktu

2.8 FLOW CHART PERHITUNGAN

Untuk menentukan interval waktu optimum digunakan proses perhitungan sebagai berikut :

Menghitung frekuensi

Pada tahapan ini dilakukan perhitungan frekuensi inspeksi. Atau jumlah inspeksi dalam satu satuan waktu tertentu. Dengan pendekatan memaksimalkan output dan meminimalisir downtime dari kapal.

Menentukan interval

Setelah diketahui jumlah inspeksi yang ideal dalam satu satuan waktu tertentu, maka langkah selanjutnya ialah menentukan interval waktu inspeksi. (Tahunan, Bulanan, atau Mingguan).

Menghitung tingkat keandalan

Langkah selanjutnya ialah menghitung tingkat keandalan dari komponen- komponen dalam sistem. Pada interval waktu tersebut diatas (hasil perhitungan) apakah komponen- komponen yang ada masih dalam tingkat keandalan yang diizinkan ataukah tidak.

Menentukan interval waktu

Jika hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada interval waktu tersebut tingkat keandalan komponen masih diatas nilai yang diijinkan, maka interval tersebut dapat dikatakan sebagai interval waktu pemeriksaan optimum.

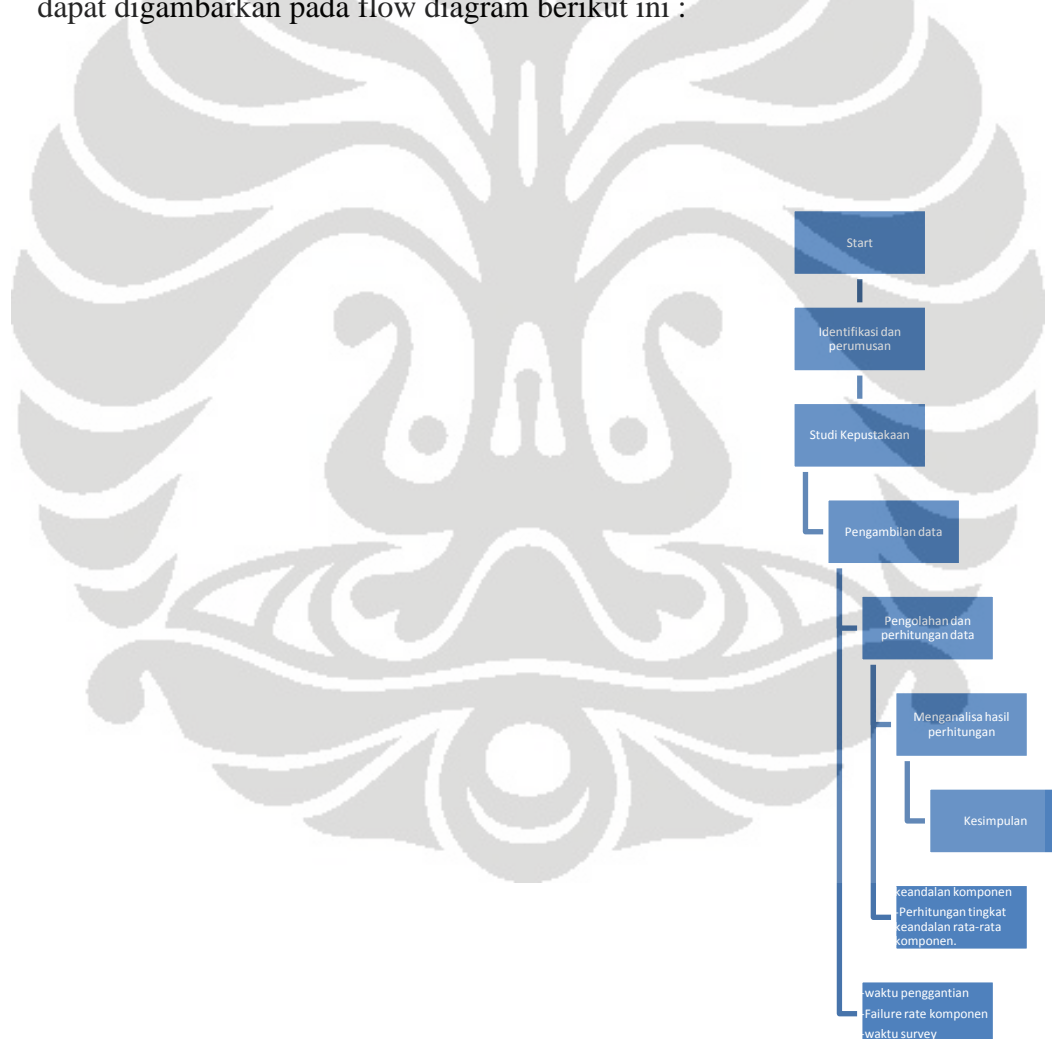


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan analisa teoritis mengenai tingkat keandalan komponen dari sebuah sistem serta manajemen perawatan dari sistem untuk memperoleh hasil berupa penentuan interval waktu optimum untuk melakukan inspeksi dari sebuah sistem poros baling-baling kapal.

Didalam pelaksanaan penelitian ini akan dilalui tahapan-tahapan penelitian yang dapat digambarkan pada flow diagram berikut ini :



Flow Chart Pengerjaan Tugas Akhir

3.1 IDENTIFIKASI DAN PERUMUSAN MASALAH

Pada tahapan ini dilakukan proses identifikasi terhadap permasalahan yang ada khususnya pada bidang manajemen perawatan kapal. Kekurangan-kekurangan yang terjadi di lapangan, kemungkinan penyelesaian yang dapat dilakukan, pendekatan dari segi teori, dan berbagai kemungkinan lain yang dapat diwujudkan dalam sebuah bentuk penelitian.

Diperoleh sebuah permasalahan mengenai penjadwalan waktu survey pencabutan poros baling-baling (*inspeksi sistem poros baling-baling*) jika dibandingkan dengan kebijakan yang selama ini dilakukan yaitu mengikuti peraturan yang ditetapkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia. Permasalahan yang timbul adalah bagaimana menentukan interval waktu inspeksi yang optimum pada poros baling-baling dengan pendekatan penurunan tingkat keandalan dari komponen sistem poros yang berhubungan dengan jumlah jam operasional dari sebuah kapal.

3.2 STUDI KEPUSTAKAAN

Tahap selanjutnya ialah melakukan studi literature dengan tujuan merangkum teori-teori dasar, acuan secara umum dan khusus, serta untk memperoleh berbagai informasi pendukung lainnya yang berhubungan dengan pengerjaan penelitian ini. Pada tahapan ini dilakukan pengumpulan materi-materi pendukung antara lain mengenai dasar-dasar teori keandalan. Persamaan-persamaan untuk menghitung waktu kerusakan (Time to Failure / TTF) dari sebuah komponen hingga pada proses penentuan waktu rata-rata kerusakan komponen dalam sistem (Mean Time to Failure / MTTF).

Selain itu juga dilakukan studi literatur peraturan Biro Klasifikasi Indonesia mengenai pola perawatan dan survey terhadap sistem poros baling-baling kapal, definisi dari sistem poros, serta gambaran umum sistem poros baling-baling dari kapal. Salah satu bagian yang juga tidak kalah pentingnya ialah mempelajari teori manajemen perawatan sistem, pola untuk menghitung jumlah frekuensi inspeksi optimal dari sebuah sistem dan pendekatan ekonomis lainnya yang memungkinkan untuk melakukan analisa terhadap permasalahan yang telah dirumuskan.

Sebagai tambahan juga dilakukan browsing di internet untuk mencari informasi informasi lain yang dapat mendukung dan lebih melengkapi pada proses penelitian ini.

3.3 PENGUMPULAN DATA

Untuk melakukan analisa terhadap permasalahan yang diangkat, diperlukan berbagai data pendukung yang diperoleh dari berbagai sumber antara lain perusahaan pelayaran, galangan kapal, dan Biro Klasifikasi Indonesia. Data yang dicari berupa data primer dan dapat disajikan pada table dibawah ini :



Data yang dibutuhkan

NO	Data	Diperoleh	Keterangan
1	Record berbagai kerusakan komponen pada sistem poros baling-baling dan poros kemudi yang pernah terjadi	Ship Owner	Untuk menghitung time to failure
2	Waktu penggantian komponen poros baling-baling dan poros kemudi yang telah dilakukan sebelumnya	Ship Owner	Untuk menghitung time to failure
3	Jumlah muatan	Ship Owner	Untuk menghitung Output value
4	Tarif muatan	Ship Owner	Untuk menghitung Output value
5	Rute pelayaran	Ship Owner	Untuk menghitung Output value
6	Data inspeksi / survey yang pernah dilakukan sebelumnya	Ship Owner	Untuk menghitung time to failure
7	Biaya inspeksi / surveys	Kelas	Untuk menghitung Frekuensi inspeksi optimum
8	Biaya Penggantian komponen	Galangan	Untuk menghitung frekuensi

Pada proses pengambilan data primer ini ditemukan kendala antara lain :

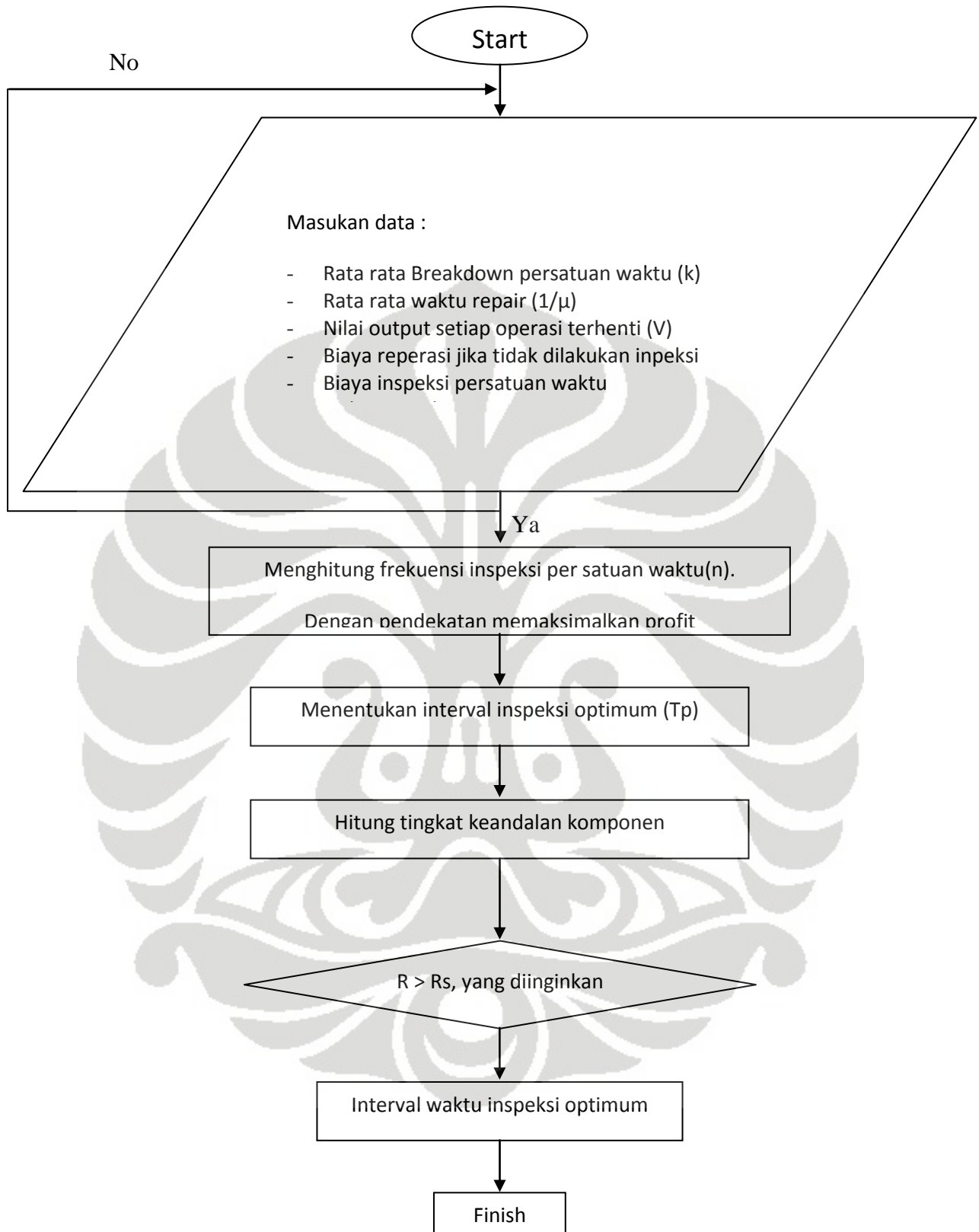
- Pada umumnya perusahaan pelayaran tidak memiliki data record kerusakan yang diinginkan
- Pola perawatan kapal pada perusahaan pelayaran sepenuhnya mengikuti rule Klasifikasi. Pada saat survey pencabutan poros, seluruh komponen diganti tanpa memperhatikan kondisi dari komponen (masih dalam keadaan baik ataupun sudah rusak). Hal ini dilakukan untuk meminimalisir resiko yang ditimbulkan. Dengan kebijakan seperti ini, maka menyulitkan untuk diambil data history record dari kerusakan komponen yang ada untuk menghitung time to failure dari komponen.
- Beberapa perusahaan menolak untuk dilakukan penelitian pada perusahaan tersebut.
- Beberapa data tarif pada galangan kapal bersifat rahasia dan tidak dapat dipublikasikan.
- Data tarif survey pada Biro Klasifikasi Indonesia bersifat *confidential* sehingga hanya diberikan garis besar penentuan tarif dari survey pencabutan poros baling-baling.

Oleh karena banyak kendala-kendala yang dihadapi dalam proses pengumpulan data primer diatas, maka untuk proses analisa digunakan data sekunder berupa data realibility komponen-komponen dari sistem poros baling-baling yang dipublikasikan oleh Reliability Analysis Center di New York USA dalam bukunya : “ *Nonelectronic Parts Reliability Data (1991)* ” yang disusun oleh *William Denson, Greg Chandler, William Crowel dan Rick Wanner.*

3.4 PENGOLAHAN DATA

Setelah diperoleh data-data, langkah berikutnya ialah melakukan proses pengolahan data berupa perhitungan matematis untuk mengetahui tingkat keandalan komponen untuk menentukan interval waktu inspeksi serta pendekatan ekonomis untuk mengikuti jumlah frekuensi yang optimum. Urutan proses pengolahan data dapat digambarkan pada diagram alir berikut ini :

- *Menghitung Frekuensi Inspeksi per satuan waktu*
Berupa jumlah inspeksi yang optimum dalam satuan waktu. Perhitungan ini dapat diperoleh dari pengolahan data-data ekonomis seperti biaya inspeksi, biaya down time, serta output value yang hilang selama proses inspeksi dilakukan.
- *Menentukan Interval Waktu Inspeksi Optimum*
Setelah diketahui frekuensi (jumlah inspeksi yang optimum dalam suatu interval waktu tertentu, maka ditentukan interval inspeksi (jarak antara inspeksi yang satu dengan inspeksi yang lainnya).
- *Menyesuaikan dengan Tingkat Keandalan*
Interval inspeksi yang tepat ialah jika inspeksi dilakukan sebelum tingkat keandalan komponen dibawah level yang diizinkan. Oleh karena itu diperlukan perhitungan tingkat keandalan dari tiap-tiap komponen sistem.
- *Koreksi hasil perhitungan*
Jika penentuan interval tidak sesuai dengan tingkat keandalan komponen, maka dilakukan iterasi ulang untuk menentukan interval inspeksi.
- *Hasil Analisa*
Setelah interval yang ditentukan sesuai dengan tingkat keandalan, maka hasil tersebut dapat dinyatakan sebagai interval waktu inspeksi optimum .
Untuk lebih mempermudah perhitungan, maka saya akan membuat sebuah program perhitungan dengan menggunakan Visual Basic.



Flow Chart perhitungan

3.5 ANALISA HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Setelah proses perhitungan berakhir, maka langkah selanjutnya ialah menganalisa dan meinterpretasikan hasil perhitungan. Pada tahapan ini juga akan dibahas mengenai pola penerapan kebijakan penentuan interval inspeksi ini pada perusahaan-perusahaan pelayaran guna membangun sebuah manajemen perawatan perkapalan.

Agar proses analisa ini dapat lebih bermanfaat bagi masyarakat umum dan pihak pemilik kapal pada khususnya, maka akan dibuat sebuah *software* / program computer pembantu yang memudahkan dalam melakukan perhitungan interval inspeksi optimum.

Pembuatan program computer pendukung, bertujuan untuk menerapkan proses analisa penentuan interval waktu inspeksi berdasarkan pendekatan teori keandalan secara lebih aplikatif dan dapat lebih mudah dimanfaatkan oleh berbagai pihak yang membutuhkan.

3.6 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada akhir pengerjaan Tugas Akhir ini akan ditarik kesimpulan dari seluruh penelitian yang dilakukan. Kesimpulan yang dihasilkan merupakan jawaban dari permasalahan yang dibahas didalam penelitian ini, dan merupakan rangkuman dari proses penelitian dan pengolahan data yang dilakukan.

Pengerjaan terdiri dari dua bagian besar, yaitu :

1. Menghitung tingkat keandalan komponen dan Time to Failure komponen sebagai konstrain utama dalam melaksanakan inspeksi.
2. Melakukan perhitungan optimasi dari penjadwalan interval waktu inspeksi untuk sistem poros baling-baling.

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini mencoba untuk menerapkan sebuah model perhitungan dan analisa untuk menentukan jumlah inspeksi dan interval waktu antar inspeksi yang optimum pada sistem poros baling-baling di kapal. Perhitungan yang dilakukan memakai salah satu contoh kapal dengan berbagai data teknis dan ekonomisnya. Pada dasarnya pola perhitungan dan analisa ini dapat digunakan untuk menentukan pola inspeksi pada kapal-kapal lain dengan jenis dan ukuran serta data-data teknis yang berbeda-beda. Sedikit perubahan pola perhitungan mungkin dapat dilakukan sesuai karakteristik kapal dan jenis muatan beserta kondisi operasi dari kapal tersebut.

4.1 PERHITUNGAN JUMLAH INSPEKSI OPTIMUM DALAM SATU SATUAN WAKTU DENGAN METODE MEMAKSIMALKAN PROFIT

Dalam melakukan perhitungan ,maka diperlukan data-data sebagai berikut :

- Nama Kapal
- Jenis Kapal
- Jumlah Mesin Induk
- Daya Mesin Induk
- Kecepatan dinas
- Radius Pelayaran
- Tarif angkutan
- Jumlah Muatan
- Waktu yang dibutuhkan untuk inspeksi
- Waktu yang dibutuhkan untuk repair
- Jumlah Downtime
- Time to Failure dari tiap-tiap komponen sistem poros baling-baling
- Biaya Repair
- Biaya Inspeksi Sistem Poros
- Pola Operasi Kapal

4.1.1. Data Kapal

Dimisalkan sebuah kapal dengan data-data sebagai berikut :

1. Nama Kapal : Caraka Jaya Niaga III-23
2. Jenis Kapal : Container
3. Rute Pelayaran : Surabaya-Balikpapan
4. Jumlah Mesin Induk : 1
5. Daya Mesin Induk : 4500 HP
6. Kecepatan dinas : 12 Knots
7. Radius Pelayaran : 570 mil
8. Tarif angkutan : Rp. 7.500.000 / TEU
9. Jumlah Muatan : 100 TEUS
10. Waktu yang dibutuhkan : 48 Jam
untuk inspeksi
11. Waktu yang dibutuhkan : 72 Jam
untuk repair
12. Jumlah Downtime : 2
13. Failure rate dari tiap-tiap komponen sistem poros baling-baling
 - a. Bearing : 1,2059
 - b. Bush Bearing : 1,2060
 - c. Seal : 1,4859
 - d. Tubing Metal : 1,6452

(*Nonelectronic Parts Reliability Data 1991, Reliability Analysis Centre, Rome, NY*)

4.1.2 Menghitung nilai penerimaan dari operasional kapal

Didalam melakukan perhitungan penerimaan dari operasional kapal, maka terlebih dahulu dianalisa pola operasional kapal yang diterapkan oleh pihak Ship Owner.

Salah satu model pola operasional kapal yang diterapkan adalah sebagai berikut :

1. Availability time : 365 Days
2. Breakdown time : 65 Days
3. Operating time : 300 Days
- Waktu berlayar / trip : 3 Days
- Waktu berlayar : 2 Days
- Waktu bongkar muat : 1 Day

- Total Trip : 100 Trips

$V = \text{Tarif angkutan} \times \text{jumlah muatan}$

Jumlah muatan dalam satu trip tidak selalu penuh, oleh karena itu perlu dilakukan koreksi tingkat pemenuhan muatan dalam satu trip pelayaran kapal. Diasumsikan bahwa tingkat pemenuhan muatan pada kapal sebesar 70 % dari total jumlah muatan yang dapat dimuat. Sehingga jumlah penerimaan yang diperoleh oleh pihak pemilik setiap satu trip adalah :

$$\begin{aligned} V &= \text{Rp. } 7.500.000 \times (70 \% \times 100) \\ &= \text{Rp. } 525.000.000 \end{aligned}$$

Biaya Operasional

Biaya operasional ialah biaya-biaya yang harus dikeluarkan oleh pihak pemilik kapal didalam mengoperasikan kapalnya. Biaya-biaya operasional tersebut biasa disebut running cost, yang terdiri dari beberapa item antara lain :

- Insurance
- Teknikal
- Supply and Purchase

- Marine Personel
- Port Cost

Total biaya dari operasional per trip kurang lebih sebesar 85 % dari penerimaan per trip.

Operational Cost : 85 % x V
 : 0,85 x Rp. 525.000.000
 : Rp. 446.250.000

Keuntungan dari operasional kapal (Output value)

Dari penerimaan dan biaya operasional diatas, dapat dihitung total keuntungan bersih yang diperoleh dari operasional kapal setiap tripnya (output value)

Output Value : Penerimaan - Biaya operasional
 : Rp. 525.000.000 - Rp. 446.250.000
 : Rp. 78.750.000

Jika dibagi rata-rata total waktu tempuh dalam satu trip perjalanan kapal maka keuntungan perjam ketika kapal beroperasi adalah :

Output Value / jam : Rp. 78.750.000 / 48 jam berlayar
 : Rp. 1.640.625

4.1.3 Analisa Tingkat Keandalan Komponen Poros Baling-Baling

Inspeksi pada sistem poros baling-baling dilakukan pada komponen –komponen yang terdapat didalamnya. Tingkat keausan, dan kekedapan komponen akan mempengaruhi kinerja secara keseluruhan dari sistem. Oleh karena itu, tingkat kerusakan dari komponen-komponen tersebut harus dianalisa agar dapat ditentukan penjadwalan inspeksi dan perawatannya. Salah satu pendekatan yang akan digunakan ialah dengan menganalisa tingkat keandalan dari komponen tersebut. Cara menganalisa tingkat keandalan komponen dapat dilakukan dengan merecord data kerusakan yang dialami komponen pada suatu periode waktu tertentu. Data-data tersebut kemudian diolah dan dianalisa dengan teori keandalan.

Namun karena kondisi lapangan dimana kerusakan pada komponen-komponen tersebut terjadi pada selang waktu yang cukup lama, mengakibatkan data record sulit dianalisa, maka pada penelitian ini digunakan data sekunder berupa angka failure rate (λ) dari tiap-tiap komponen.

Adapun komponen-komponen yang ditinjau adalah :

Tabel 2. Failure rate komponen sistem poros baling-baling

No	Komponen	Failure rate per 10^6 Hour
1	Bearing	1,2059
2	Bush Bearing	1,2060
3	Seal	1,4859
4	Tubing Metal	1,6452

Diasumsikan laju kerusakan masing-masing komponen adalah konstan, sehingga untuk melakukan perhitungan Time to Failure digunakan distribusi eksponensial yang menggambarkan hubungan laju kegagalan sebagai fungsi dari waktu operasional komponen. Analisa Time to Failure dilakukan dengan menggunakan metode Monte-Carlo Simulation untuk mengenerate data sejumlah yang diinginkan. Pada proses ini dapat digunakan bantuan software weibull++ dimana Monte Carlo Simulation merupakan salah satu fasilitas perhitungan yang ada pada software ini. Failure rate λ dari masing-masing komponen dijadikan input pada monte carlo simulation program dan program secara otomatis akan menampilkan data Time to Failure secara acak sejumlah yang diinginkan.

Dari data Time to failure, dapat dihitung Mean Time to Failure (MTTF) atau rata-rata laju kerusakan dari tiap-tiap komponen.

Laju kerusakan dari komponen sebagai fungsi waktu pada distribusi eksponensial dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$F(t) = \lambda \exp(-\lambda t) \dots\dots\dots (I)$$

Sedangkan probabilitas tidak terjadinya kegagalan pada selang waktu t dapat diperoleh dengan mengintegrasikan persamaan (I) antara 0 dan t

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt = \exp(-\lambda t)$$

$R(t)$ adalah survival probability atau probabilitas dimana komponen dapat bekerja dengan baik atau disebut juga dengan Indeks Keandalan Komponen. Indeks keandalan komponen ini menunjukkan tingkat keandalan dari suatu komponen pada waktu tertentu dalam interval Mean Time Between Failure (MTBF). Indeks keandalan dapat dijadikan patokan untuk memperkirakan kondisi dari suatu komponen, semakin besar indeks keandalannya maka semakin baik pula kondisi komponen tersebut. Indeks keandalan dinotasikan dalam interval 0-1.

Standart indeks keandalan komponen menjadi pertimbangan utama didalam menentukan jumlah dan interval waktu antar inspeksi, dimana pihak owner yang menentukan standart ini sesuai dengan kondisi performa operasional dari kapal yang diinginkan oleh pihak pemilik.

4.1.4 Penentuan jumlah interval inspeksi optimum

Untuk menentukan jumlah inspeksi optimum dengan pertimbangan ekonomis, maka digunakan persamaan :

$$n = \sqrt{\left(\frac{ik}{\mu}\right) \left(\frac{V+R}{V+I}\right)}$$

Dimana

$1/\mu$: Mean time to perform a repair = 72 jam

k : Jumlah breakdown time dalam satu interval kelas (5 tahun = 24.000 jam)
= 2

$1/I$: Mean time to perform inspection = 48 jam

V : Value of output per uninterrupted time = Rp. 78.750.000 x 100 trips
= Rp. 7.875.000.000

R : Cost of repair = Rp. 150.000.000

I : Cost of inspection = Rp. 10.000.000

Sehingga

$$n = \sqrt{\left(\frac{2 \times 72}{48}\right) \left(\frac{7.850.000.000 + 150.000.000}{7.850.000.000 + 10.000.000}\right)}$$

$n = 1$

Sehingga dari analisa ekonomis, jumlah inspeksi optimum adalah 1 kali dalam interval 24.000 jam (5 tahun periode operasional).

Keuntungan yang hilang selama repair per unit waktu ($V\lambda(n)/\mu$)

Selama dilakukan proses repair pada sistem poros baling baling, maka operasi kapal terhenti. Akibat penghentian operasi tersebut, maka terdapat nilai keuntungan yang hilang (output value lost due to repairs per unit time).

Output value lost due per to repair = Value of output per uninterrupted unit of time x Number of repair per unit time x mean time to perform repair.

1. Value of output per uninterrupted unit of time
= Keuntungan kapal ketika beroperasi per jam
= Rp. 1.640.625

2. Number of repair

Jumlah repair dalam satu satuan waktu. Dilakukan estimasi pada satu periode kelas yaitu selama 5 tahun . ditentukan akan dilakukan 2 kali repair.

3. Mean time to perform repair

Adalah lama waktu yang dibutuhkan untuk melaksanakan proses repair. Ditentukan selama 3 hari = 72 jam

Maka, output value lost due to repair

$$\begin{aligned} &= \text{Rp. } 1.640.625 \times 2 \times 72 \\ &= \text{Rp. } 236.250.000 \end{aligned}$$

Keuntungan yang hilang selama inspeksi per unit waktu

Output Value lost due to inspection = Value of output per uninterrupted unit of time x Number of inspection per unit time x Mean time to perform inspection.

4. Value of output per uninterrupted unit of time
= Keuntungan kapal ketika beroperasi per jam
= Rp. 1.640.625

Jumlah inspeksi dalam satu satuan waktu. Dilakukan estimasi pada satu periode kelas yaitu selama 5 tahun. Ditentukan akan dilakukan 2 kali inspeksi.

5. Mean time to perform inspection

Adalah lama waktu yang dibutuhkan untuk melaksanakan proses inspeksi.

Ditentukan selama 48 jam

$$\begin{aligned} \text{Output value lost due to repair} &= \text{Rp. } 1.640.625 \times 2 \times 48 \\ &= \text{Rp. } 157.500.000 \end{aligned}$$

Biaya repair per unit waktu

Adalah perkiraan jumlah biaya yang dikeluarkan untuk melakukan repair per unit waktu. (*Cost of repairs per unit time*).

Cost of repairs per unit time = Cost of repair x Number of repairs

1. Cost of repair

Biaya repair adalah biaya yang dibutuhkan untuk melakukan repair pada sistem poros baling-baling. Besarnya biaya repair tergantung pada jenis poros, ukuran dan diameter poros, serta jumlah SDM yang dibutuhkan untuk melaksanakan repair.

Biaya-biaya yang digunakan antara lain untuk:

1. Tarif Docking
2. Biaya sand blasting
3. Biaya cabut poros
4. Biaya NDT
5. Penggantian komponen dan perawatan komponen.

Di dalam perhitungan kali ini diasumsikan biaya repair berdasarkan kisaran standart tarif pemeliharaan dan perbaikan kapal yang dikeluarkan oleh PT X.

Diasumsikan besarnya biaya repair sebesar Rp. 150.000.000

2. Number of repair

Jumlah dalam satu satuan waktu. Ditetukan akan dilakukan 2 kali repair.

Maka,

$$\begin{aligned} \text{Cost of repairs per unit time} &= \text{Cost of repair} \times \text{Number of repairs} \\ &= \text{Rp. 150.000.000} \\ &= \text{Rp. 300.000.000} \end{aligned}$$

Biaya inspeksi per unit waktu ($I(n/i)$)

Adalah total biaya yang harus dikeluarkan untuk melaksanakan proses inpeksi (*cost of inspection per unit time*). Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Cost of inspection per unit time} = \text{Cost of inspection} \times \text{Number of inspection}$$

3. Cost of inspection

Biaya inspeksi tergantung pada jenis dari sistem poros baling-baling yang dimiliki oleh kapal, SDM pelaksana, dan lamanya proses inspeksi berlangsung. Biaya-biaya tersebut antara lain :

1. Biaya Surveyor Klas.
2. Biaya penyiapan komponen-komponen untuk diperiksa.
3. SDM pelaksana.

Diasumsikan total biaya inspeksi yang diperlukan sebesar Rp. 10.000.000 berdasarkan kisaran tarif survey pencabutan poros yang diterapkan oleh BKI.

4. Number of inspection

Jumlah inspeksi dalam satu satuan waktu. Dilakukan estimasi pada satu periode klas yaitu selama 5 tahun. Ditetukan akan dilakukan 1 kali inspeksi.

Maka dapat dihitung biaya inspeksi per satuan waktu adalah :

Cost of inspection per unit time = Cost of inspection x Number of inspection

$$= \text{Rp.}10.000.000$$

$$= \text{Rp.} 20.000.000$$

Model persamaan yang menggambarkan hubungan antara frekuensi inspeksi (n) dan keuntungan yang diperoleh dari operasional kapal dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$P(n) = V - \frac{V\lambda(n)}{\mu} - \frac{V}{i} - R \frac{\lambda'(n)}{\mu} - \frac{I}{i}$$

Dimana P(n) adalah Output value (keuntungan) yang diperoleh setelah dikurangi biaya-biaya maintenance. Dengan menggunakan persamaan tersebut, maka dapat dihitung keuntungan yang diperoleh sebesar :

$$P(n) = 38.953.758.923$$

Objek utama perhitungan pada program Visual Basic ini adalah untuk memaksimalkan keuntungan yang akan diperoleh dengan batasan-batasan indeks keandalan komponen yang berubah-ubah sesuai dengan jumlah jam operasional kapal. Dari hasil perhitungan dan dilakukan beberapa variasi data maka dapat dianalisa pengaruh antara input data yang satu dengan yang lainnya.

4.2 FAKTOR KOREKSI

Seperti yang telah diketahui, bahwa keandalan sebuah komponen atau mesin dipengaruhi oleh beberapa hal, salah satunya adalah lingkungan dimana komponen atau sistem itu beroperasi. Data Failure Rate yang diperoleh dari Reability Analysis Center di New York USA tentunya berupa hasil penelitian yang dilakukan di Amerika dengan berbagai kondisi alam dan cuacanya.

Komponen sistem poros yang dianalisa adalah komponen pada kapal-kapal yang dikelaskan oleh BKI, yaitu kapal-kapal yang beroperasi di lingkungan Indonesia dan sekitarnya. Kondisi iklim, cuaca dan lingkungan di Indonesia memiliki perbedaan dengan kondisi di Amerika, Oleh karena itu didalam

melakukan analisa tingkat keandalan komponen perlu disertakan factor koreksi pada angka Failure Rate yang diperoleh dari data Reliability Centre di Amerika.

Untuk melakukan perhitungan *Mean Time To Failure* dengan menggunakan faktor koreksi maka dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Failure rate } (\lambda) &= 1.2059 \times 10^{-6} \\
 \text{Faktor koreksi (k) 30 \%} &= 0,3 \\
 \text{Failure rate hasil koreksi} &= \lambda + (0.3 \times \lambda) \\
 &= 1.2059 \times 10^{-6} + (0.3 \times 1.2059 \times 10^{-6}) \\
 &= 1.5676 \times 10^{-6} \\
 \text{MTTF} &= 1 / \lambda \\
 &= 6,38 \times 10^4
 \end{aligned}$$

Berikut ini akan dilakukan beberapa contoh hasil perhitungan dengan menggunakan beberapa factor koreksi pada software yang telah dibuat.

❖ **Faktor koreksi**

Komponen	Failure rate (E+6 Jam)	Faktor koreksi	Failur rate dengan koreksi	MTTF (1/λ)
Bearing	1.2059	0.25	1.507375	6.63E+04
Bush Bearing	1.206	0.25	1.5075	6.63E+04
Seal	1.4182	0.25	1.77275	5.64E+04
Tubing metal	1.645	0.25	2.05625	4.86E+04

Jumlah dan interval inspeksi optimum :

Jumlah inspeksi optimum	1	
Interval Inspeksi optimum (t)	17,346	Jam
Output value	38,973,527,408	Rp

Dengan factor koreksi failure rate sebesar 25%, maka dapat dilihat adanya perubahan pada interval waktu dilakukannya inspeksi. Dari 18282 Jam, menjadi 17346, dengan demikian berarti inspeksi harus dilakukan 936 jam lebih dini dari kondisi tanpa koreksi.

❖ **Faktor koreksi 50%**

Komponen	Failure rate (E+6 Jam)	Faktor koreksi	Failur rate dengan koreksi	MTTF (1/λ)	
Bearing	1.2059	0.5	1.80885	5.53E+04	Jam
Bush Bearing	1.206	0.5	1.809	5.53E+04	Jam
Seal	1.4182	0.5	2.1273	4.70E+04	Jam
Tubing metal	1.645	0.5	2.4675	4.05E+04	Jam

Jumlah dan interval inspeksi optimum :

Jumlah inspeksi optimum	2	
Interval Inspeksi optimum (t)	14,455	Jam
Output value	38,886,828,012	Rp

Ketika diberikan koreksi sebesar 50%, maka interval antar inspeksi lebih cepat sebesar 2891 jam, jumlah inspeksi meningkat menjadi dua kali inspeksi dalam satu interval periode kelas.

❖ **Faktor koreksi**

Komponen	Failure rate (E+6 Jam)	Faktor koreksi	Failure rate dengan koreksi	MTTF (1/λ)	
Bearing	1.2059	0.75	2.110325	4.74E+04	Jam

Bush Bearing	1.206	0.75	2.1105	4.74E+04	Jam
Seal	1.4182	0.75	2.48185	4.03E+04	Jam
Tubing metal	1.645	0.75	2.87875	3.47E+04	Jam

Jumlah dan interval inspeksi optimum :

Jumlah inspeksi optimum	2	
Interval Inspeksi optimum (t)	12,390	Jam
Output value	38,784,865,300	Rp

Pada saat digunakan factor koreksi 75%, maka interval inspeksi menjadi setiap 12390 jam, atau lebih pendek 2065 jam dari waktu antara inspeksi ketika digunakan koreksi 50%.

❖ **Faktor koreksi 100%**

Komponen	Failure rate (E+6 Jam)	Faktor koreksi	Failur rate dengan koreksi	MTTF (1/λ)	
Bearing	1.2059	1	2.4118	4.15E+04	Jam
Bush Bearing	1.206	1	2.412	4.15E+04	Jam
Seal	1.4182	1	2.8364	3.53E+04	Jam
Tubing metal	1.645	1	3.29	3.04E+04	Jam

Jumlah dan interval inspeksi optimum :

Jumlah inspeksi optimum	2	
Interval Inspeksi optimum (t)	10,841	Jam
Output value	38,667,639,012	Rp

Jika faktor koreksi 100%, dapat dilihat bahwa waktu interval inspeksi menjadi 10841 jam, atau berkurang 1549 jam. Dengan dua kali inspeksi dalam satu periode kelas.

❖ **Faktor koreksi 125%**

Komponen	Failure rate (E+6 Jam)	Faktor koreksi	Failur rate dengan koreksi	MTTF (1/λ)	
Bearing	1.2059	1.25	2.713275	3.69E+04	Jam
Bush Bearing	1.206	1.25	2.7135	3.69E+04	Jam
Seal	1.4182	1.25	3.19095	3.13E+04	Jam
Tubing metal	1.645	1.25	3.70125	2.70E+04	Jam

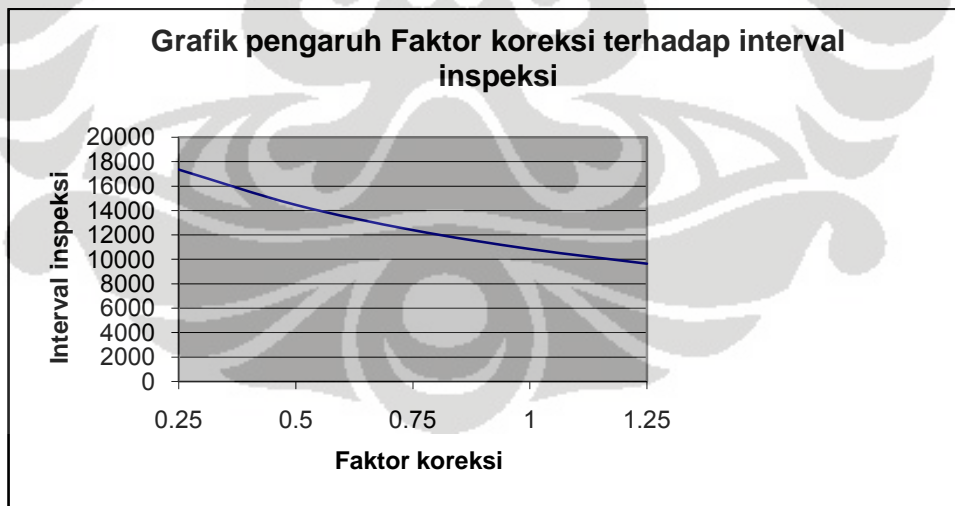
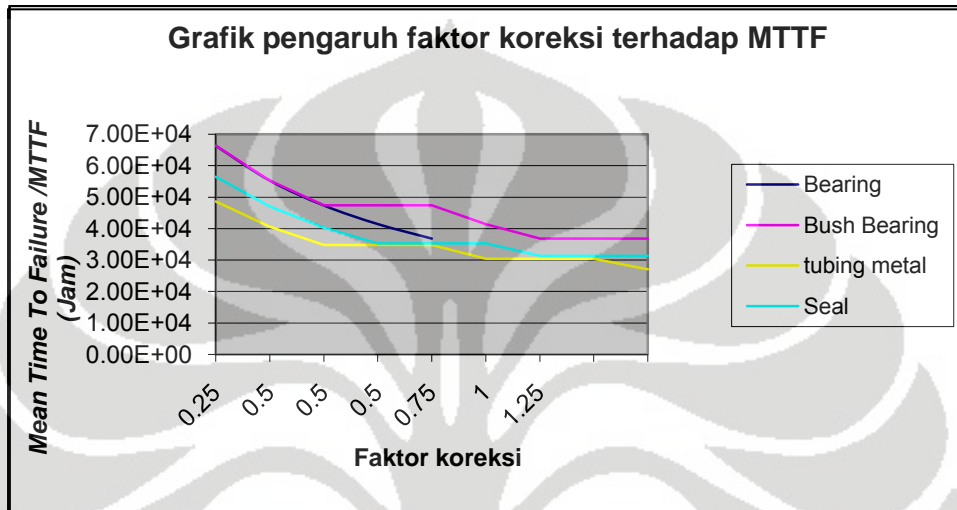
Jumlah dan interval inspeksi optimum :

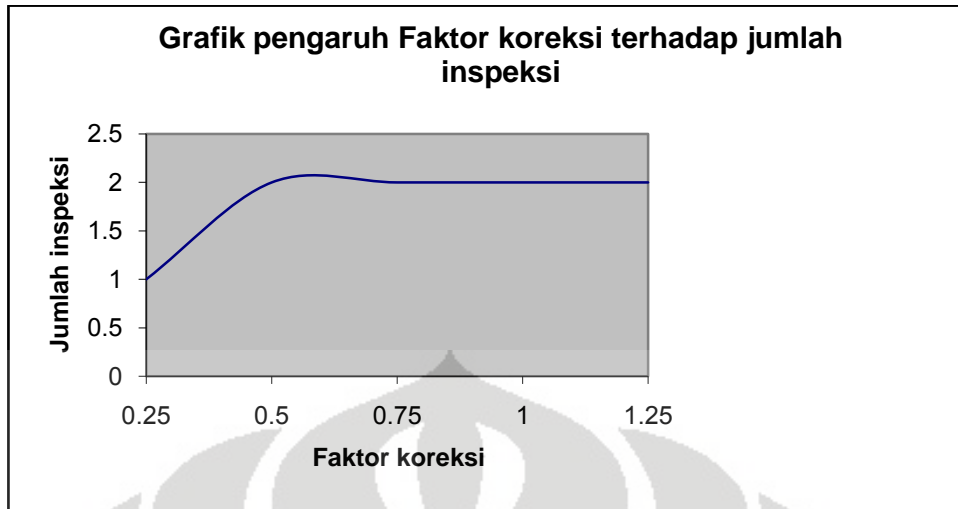
Jumlah inspeksi optimum	2	
Interval Inspeksi optimum (t)	9,637	Jam
Output value	38,535,152,659	Rp

Jika faktor koreksi 125%, maka dapat dilihat bahwa waktu interval inspeksi menjadi 9637 jam, atau berkurang 1204 jam. Dengan dua kali inspeksi dalam satu periode kelas.

Dengan demikian, dari hasil perhitungan diatas, maka dapat dilihat pengaruh nilai factor koreksi terhadap *Mean Time To Failure*, interval waktu antar inspeksi, dan jumlah inspeksi optimum dalam satu satuan waktu tertentu (dalam hal ini periode

kelas). Semakin besar koreksi yang diberikan, maka semakin besar pula nilai failure dari tiap-tiap komponen. Dengan nilai failure rate yang besar maka rata-rata waktu kerusakan komponen semakin cepat, sehingga interval pemeriksaan yang diperlukan pun semakin pendek. Pola hubungan tersebut dapat kita lihat pada grafik berikut ini.





Namun pada saat digunakan koreksi 50% sampai dengan 125%, jumlah inspeksi optimal dalam satu periode kelas adalah tetap, yaitu sejumlah 2 inspeksi.

4.3 SENSITIVITY ANALYSIS

Untuk menganalisa pengaruh perubahan data input pada hasil perhitungan yang dibuat, maka dilakukan uji coba sensitifitas perubahan data terhadap hasil perhitungan. Sensitivity analysis dikhususkan terhadap perubahan data maintenance cost dan keuntungan yang diperoleh kapal dari tarif muatan kapal. Berikut ini contoh beberapa perubahan dan pengaruhnya terhadap nilai hasil perhitungan dengan beberapa variasi biaya.

a. Perubahan data tarif muatan kapal

Tabel . Perubahan tarif (1)

Tarif angkutan	8,000,000	Rp/TEU
----------------	-----------	--------

Tabel . Perubahan tarif (1)

Jumlah inspeksi optimum	1
Interval Inspeksi optimum (t)	18,284
Output value	41,565,638,486

Perubahan input data tarif angkutan dari Rp. 7.500.000 Rp/TEU menjadi Rp. 8.000.000 Rp/TEU merubah interval waktu inspeksi dari 18282 menjadi 18284 jam, atau hanya selisih 2 jam.

Tabel . Perubahan tarif (2)

Tarif angkutan	9,000,000	Rp/TEU
----------------	-----------	--------

Tabel . Perubahan tarif (2)

Jumlah inspeksi optimum	1	
Interval Inspeksi optimum (t)	18,286	Jam
Output value	46,789,396,092	Rp

Perubahan input data tarif angkutan dari Rp. 8.000.000 Rp/TEU menjadi Rp. 9.000.000 Rp/TEU merubah interval waktu inspeksi dari 18284 menjadi 18286 jam, atau hanya selisih 2 jam.

Tabel . Perubahan tarif (3)

Tarif angkutan	10,000,000	Rp/TEU
----------------	------------	--------

Tabel . Perubahan tarif (3)

Jumlah inspeksi optimum	1	
Interval Inspeksi optimum (t)	18,288	Jam
Output value	52,013,152,180	Rp

Perubahan input data tarif angkutan dari Rp. 9.000.000 Rp/TEU menjadi Rp. 10.000.000 Rp/TEU merubah interval waktu inspeksi dari 18286 menjadi 18288 jam, atau hanya selisih 2 jam.

b. Perubahan data Repair Cost

Tabel . Perubahan cost (4)

Biaya setiap repair Sistem poros	200,000,000	Rp
----------------------------------	-------------	----

Hasil perhitungan:

Tabel . Hasil perhitungan dengan perubahan cost (4)

Jumlah inspeksi optimum	1	
Interval Inspeksi optimum (t)	18,270	Jam
Output value	38,896,440,556	Rp

Perubahan input data *repair cost* dari Rp. 150.000.000 menjadi Rp. 200.000.000 merubah interval waktu inspeksi dari 18282 menjadi 18270 jam, atau hanya selisih 12 jam.

Tabel . Perubahan cost (5)

Biaya setiap repair Sistem poros	300,000,000	Rp
----------------------------------	-------------	----

Hasil perhitungan:

Tabel . Hasil perhitungan dengan perubahan cost (4)

Jumlah inspeksi optimum	1	
Interval Inspeksi optimum (t)	18,247	Jam
Output value	38,781,803,886	Rp

Perubahan input data *repair cost* dari Rp. 200.000.000 menjadi Rp. 300.000.000 merubah interval waktu inspeksi dari 18270 menjadi 18247 jam, atau hanya selisih 23 jam.

Dari data-data tersebut maka dapat ditarik kesimpulan bahwa perubahan biaya dan tarif angkutan tidak berpengaruh terhadap jumlah inspeksi optimal dalam satu periode kelas. Perubahan data biaya hanya sedikit berpengaruh terhadap interval waktu antar inspeksi.

Perubahan data biaya dan tarif tentunya merubah hasil perhitungan keuntungan (Output value) karena perhitungan keuntungan adalah akumulasi dari keuntungan kapal yang diperoleh dari tarif muatan, dan pengurangan biaya repair serta biaya inspeksi.

Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa perubahan data biaya dan tarif tidak sensitif terhadap jumlah inspeksi optimal yang dilakukan.

4.4. PEMBAHASAN

Dari perhitungan tersebut dapat kita ketahui bahwa tujuan utama dari dilakukan inspeksi adalah untuk mengetahui tingkat keandalan dari komponen pada sistem dan mencegah terjadinya kerusakan besar pada sistem. Didalam melakukan penentuan jumlah inspeksi dan interval waktu antara satu inspeksi dengan inspeksi yang lainnya membutuhkan pertimbangan-pertimbangan teknis serta ekonomis sehingga inspeksi yang dilaksanakan menjadi optimal bagi pihak pemilik kapal. Salah satu constrain utama dari penentuan waktu inspeksi ialah kondisi teknis dari komponen-komponen yang ada pada sistem poros baling-baling.

Dari model perhitungan tersebut, dapat dilakukan beberapa analisa mendalam mengenai pengaruh salah satu faktor teknis atau ekonomis terhadap faktor-faktor teknis atau ekonomis lainnya . Dengan memperhatikan pola hubungan ini, maka akan dapat kita tentukan berbagai kebijakan perawatan sesuai dengan kebutuhan.

4.4.1 Pengaruh perubahan penentuan standart indeks keandalan (R) pada jumlah inspeksi (n).

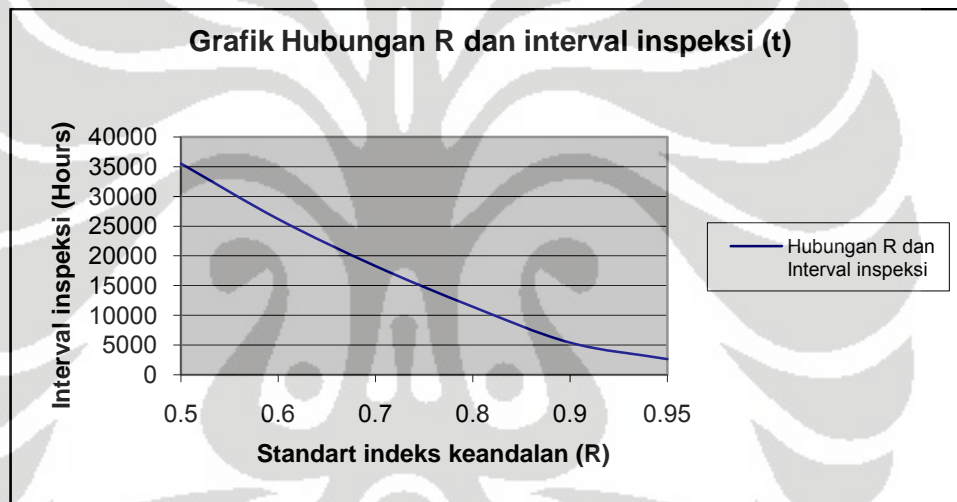
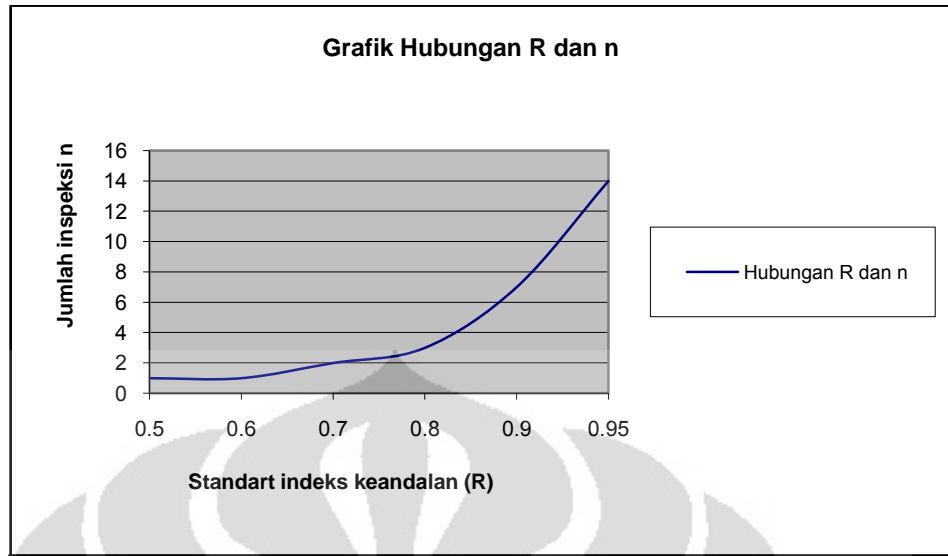
Fungsi Keandalan atau biasa disebut *survival function* merupakan fungsi yang menandakan probabilitas peralatan akan bertahan (beroperasi) dalam suatu jangka waktu tertentu. Fungsi reliability dilambangkan sebagai $R(t)$.

Fungsi keandalan pada umumnya dinyatakan dalam indeks keandalan antara 0-1. Indeks keandalan merupakan konstanta yang menandakan kemampuan suatu sistem atau komponen bekerja sesuai dengan fungsi yang telah ditentukan. Indeks keandalan dapat dijadikan patokan untuk menentukan apakah mesin atau komponen tersebut dalam keadaan baik atau sudah mengalami penurunan performa.

Didalam mengevaluasi komponen yang ada dalam sistem poros baling-baling, maka indeks keandalan digunakan untuk menentukan kapan komponen harus diinspeksi atau direpair. Besarnya nilai standart indeks keandalan harus dipenuhi oleh seluruh komponen sistem ditentukan oleh pihak owner atau pihak klasifikasi sebagai acuan melakukan perawatan pada komponen. Semakin besar standart indeks keandalan yang ditentukan, maka inspeksi dilakukan pada saat kondisi komponen hanya sedikit mengalami penurunan performa. Sebaliknya jika semakin kecil standart indeks keandalan ditentukan, maka inspeksi dilakukan pada saat komponen mengalami penurunan performa cukup jauh dari yang diharapkan.

Penentuan standart indeks keandalan ini tentunya berkaitan dengan kualitas performa sistem dan tingkat keamanan operasional yang diinginkan oleh pihak pemilik atau pihak klasifikasi. Semakin tinggi standart indeks keandalan yang ditentukan, maka semakin baik pula performa operasi dan keandalan sistem.

Namun seperti yang diketahui, bahwa tingkat keandalan sistem atau komponen akan menurun seiring dengan lamanya operasional dari sistem atau komponen tersebut, sehingga hal ini akan berpengaruh pada interval inspeksi dan jumlah inspeksi yang harus dilakukan pada sistem poros baling-baling dalam satu jangka waktu tertentu. Berikut ini grafik yang menunjukkan pengaruh standart indeks keandalan yang ditentukan terhadap jumlah inspeksi yang dilakukan serta interval waktu antar inspeksi dalam satu satuan waktu tertentu.



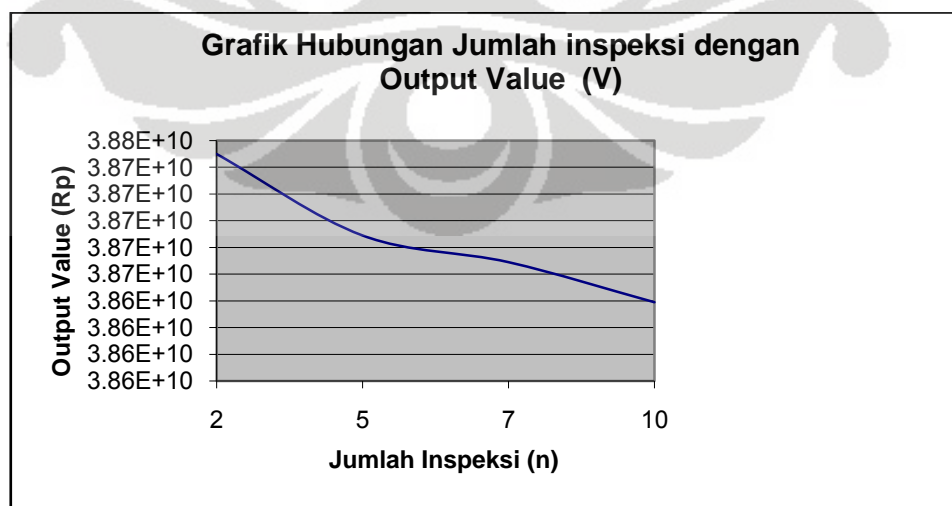
Dari kedua grafik diatas, maka dapat dianalisa pengaruh standart indeks keandalan yang ditentukan terhadap jumlah inspeksi dan interval waktu antar inspeksi pada sistem poros baling-baling. Semakin tinggi standart indeks keandalan yang ditentukan, maka semakin banyak pula jumlah inspeksi yang harus dilakukan pada satu satuan waktu tertentu. Hal ini disebabkan oleh semakin kecilnya interval inspeksi waktu antar inspeksi yang dilakukan, sebab inspeksi dilakukan pada saat kondisi performa operasional komponen hanya sedikit mengalami penurunan.

4.4.2. Pengaruh jumlah inspeksi yang dilakukan (n) terhadap terhadap Output value (V) atau keuntungan yang diperoleh pihak pemilik kapal.

Semakin banyak inspeksi sistem poros yang dilakukan pada satu jangka waktu tertentu akan menjadikan performa dan kondisi sistem dapat dijaga dalam kondisi baik. Hal ini sesuai dengan yang telah digambarkan pada grafik hubungan Indeks keandalan dan jumlah inspeksi diatas. Namun disatu sisi banyaknya jumlah inspeksi dalam satu satuan waktu tertentu akan mengakibatkan peningkatan biaya inspeksi yang harus dikeluarkan oleh pihak pemilik kapal, dan pada akhirnya akan mengurangi total keuntungan (Output value) yang diterima oleh pihak pemilik kapal. Gambaran ini ditampilkan dalam grafik sebagai berikut:

Tabel. .Pola operasi dan jumlah inspeksi

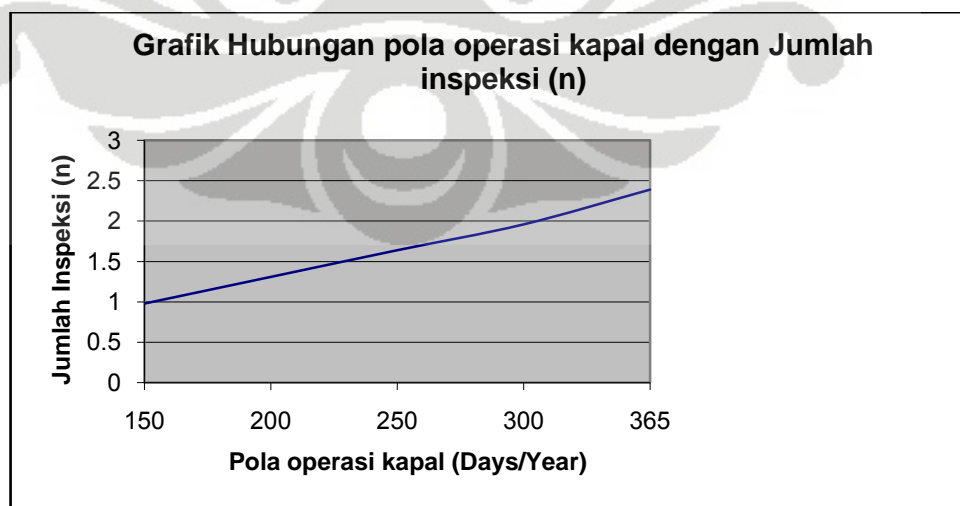
Operating time	Jumlah inspeksi
150	0.98
200	1.31
250	1.64
300	1.96
365	2.39



Pada dasarnya, semakin sedikit jumlah inspeksi yang dilakukan, maka semakin sedikit pula biaya inspeksi yang harus dikeluarkan oleh pihak pemilik, namun hal ini akan berpengaruh pada menurunnya tingkat keandalan daripada komponen-komponen yang ada dalam sistem dan menyebabkan komponen rawan dan probabilitas kegagalan sistem semakin besar. Oleh sebab itu jumlah inspeksi harus ditentukan seminimal mungkin tetapi interval antar inspeksi dilakukan ketika tingkat keandalan komponen masih cukup baik.

4.4.3. Pengaruh pola operasi kapal (lama kapal beroperasi) terhadap jumlah inspeksi (n) yang harus dilakukan

Pada pembahasan diatas telah diketahui bahwa penurunan tingkat keandalan komponen merupakan fungsi eksponensial dari waktu operasional kapal, sehingga semakin sering kapal tersebut beroperasi, maka semakin cepat pula penurunan tingkat keandalan komponen sistem poros dari kapal tersebut. Oleh sebab itu, maka juga perlu dilakukan inspeksi yang lebih banyak. Dari hasil perhitungan interval inspeksi optimum dapat dilakukan percobaan dengan merubah input data pola operasi kapal dan dianalisa pengaruhnya terhadap jumlah inspeksi yang harus dilakukan. Berikut dicoba bervariasi pola operasional kapala dalam 4 pola yang berbeda, diperoleh hasil seperti pada grafik dibawah ini:



Dari grafik diatas, dapat diketahui bahwa semakin banyak jumlah jam operasional kapal dalam satu tahun, maka jumlah inspeksi yang harus dilakukan dalam satu periode kelas (5 tahun) juga semakin banyak. Hal ini dapat terjadi karena semakin banyaknya jumlah jam operasi kapal per tahun akan menyebabkan tingkat keandalan komponen sistem poros semakin cepat menurun, dengan demikian jumlah inspeksi harus lebih diperbanyak agar kondisi komponen tetap memenuhi standart tingkat keandalan yang telah ditentukan.

4.5. INSPEKSI OPTIMAL

Dari pola-pola hubungan kerusakan dan inspeksi diatas, maka dapat dianalisa model perawatan dan inspeksi yang tepat pada sebuah sistem. Kerusakan komponen yang terjadi seiring dengan waktu operasional memerlukan tindakan perawatan dan perbaikan untuk tetap menjaga kondisi komponen dalam keadaan baik. Jika kerusakan komponen cukup parah, maka komponen tersebut harus direpair (diganti) dengan komponen yang baru. Serangkaian kegiatan perawatan ini menyebabkan timbulnya biaya yang cukup besar jika tidak dilakukan dengan tepat. Selain itu, selama breakdown time berjalan, kapal tidak dapat beroperasi dan tentunya mengakibatkan kehilangan keuntungan yang mungkin dapat diperoleh jika kapal beroperasi.

Untuk mengurangi jumlah breakdown time, maka perlu dilakukan inspeksi secara berkala terhadap berbagai elemen yang ada didalam sistem. Dengan melakukan inspeksi, maka kita dapat mengetahui sejak dini kondisi dari komponen yang ada dan dapat segera melakukan perawatan terhadap kerusakan-kerusakan kecil sehingga tidak menyebabkan timbulnya kerusakan yang lebih besar yang membutuhkan waktu panjang dalam perbaikannya.

Maka semakin banyak jumlah inspeksi yang dilakukan, maka biaya untuk melakukan inspeksi akan naik, begitu juga keuntungan yang hilang selama melaksanakan inspeksi, maka biaya repair semakin berkurang, dan keuntungan yang hilang akibat repair juga akan turun. Nilai keuntungan pada awalnya akan naik seiring dengan beroperasinya kapal kemudian akan mengalami penurunan

diakibatkan oleh biaya inspeksi dan keuntungan yang hilang selama melaksanakan inspeksi.

Maka inspeksi akan menjadi optimum jika dilakukan pada saat grafik profit mencapai puncaknya, tentunya dengan tetap memperhatikan tingkat keandalan dari masing-masing komponen pada sistem poros baling-baling.

4.6. TINJAUAN PADA ATURAN BIRO KLASIFIKASI INDONESIA

Biro Klasifikasi Indonesia mensyaratkan seluruh kapal yang dikelaskan harus memenuhi seluruh peraturan yang ditentukan oleh BKI. Mengenai pemeriksaan sistem poros baling-baling. Pihak kelas mensyaratkan bahwa setiap kapal yang dikelaskan harus melaksanakan survey pencabutan poros pada setiap tiga tahun untuk kapal dengan sistem poros tunggal, dan setiap empat tahun untuk kapal dengan sistem poros jamak.

Adapun pelaksanaan survey pencabutan poros meliputi :

- a. Pemeriksaan poros secara keseluruhan, khususnya pada bagian tirus rumah pasak, dan ulir atau sudut flens.
- b. Pemeriksaan tak merusak (NDT) bagian belakang poros dengan metoda deteksi retak yang disetujui.
- c. Pemeriksaan kekedapan perapat minyak (seal)
- d. Pemeriksaan selubung baja
- e. Pemeriksaan permukaan singgung dan selubung baja poros
- f. Pemeriksaan bantalan tabung poros
- g. Pemeriksaan pemasangan baling-baling
- h. Pemeriksaan ruang bantalan sebelum dan sesudah survey.

Survey modifikasi (SWM)

Meliputi :

1. Semua bagian yang terjangkau dari poros, termasuk hubungan baling-baling ke poros.
2. Pemeriksaan propeller
3. Pengecekan perapat minyak, yaitu penggantian atau pemeriksaan dari komponen tergantung pada periode pemakaian

4. Pemeriksaan analisa minyak pelumas, pemakaian minyak lumas dan temperatur bantalan sesuai dengan catatan pada buku harian kapal.
5. Pengukuran clearance bantalan.
6. Uji keretakan dengan NDT pada sudut flens kopleng.

Selain ketentuan tersebut, Biro Klasifikasi juga mengharuskan kapal yang dikelaskan untuk melakukan Intermediet survey, dan special survey untuk pembaharuan kelas dalam satu periode kelas (5 tahun). Kedua survey ini mengharuskan kapal untuk docking dan dilakukan pemeriksaan secara keseluruhan baik pada bagian diatas garis air, maupun bagian bawah air. Intermediet survey jatuh pada pertengahan periode kelas yaitu 2,5 tahun sedangkan special survey pembaharuan kelas dilakukan pada akhir periode kelas atau pada tahun ke 5 berlakunya kelas. Selain ketiga survey diatas, juga terdapat Survey annual yang dilakukan setiap tahun, namun untuk annual survey dapat dilakukan dalam kondisi kapal terapung karena hanya dilakukan pemeriksaan pada bagian-bagian kapal diatas air.

Para pemilik kapal pada umumnya menggabungkan survey pencabutan poros dengan survey intermediet dan survey pembaharuan kelas untuk meminimalisir biaya docking dan jumlah docking yang dilakukan. Dengan kata lain, pada satu periode kelas dilakukan *dua kali pencabutan poros* dan *dua kali breakdown* (docking) untuk melakukan seluruh proses repair pada sistem-sistem dan konstruksi yang ada didalam kapal.

Jika dilakukan analisa penentuan pemeriksaan sistem poros dengan berdasarkan jumlah jam operasional kapal serta analisa tingkat keandalan komponen system poros baling-baling, maka diperoleh perbedaan interval waktu pemeriksaan dengan ketentuan yang diberlakukan oleh Badan Klasifikasi.

Dari hasil analisa dengan pendekatan tingkat keandalan komponen pada kapal yang sama dengan menetapkan standart indeks keandalan minimum ketika dilakukan pemeriksaan adalah sebesar 0,7 ($R=0,7$), maka dari hasil perhitungan pada program , hanya diperlukan *satu kali breakdown* dan *satu kali pemeriksaan* sistem poros baling-baling dalam satu periode kelas. Dimana interval waktu

dilakukan pemeriksaan sitem poros adalah ketika jam operasional kapal telah mencapai 18.275 jam.

Dengan pola operasional kapal yang sama (300 hari/tahun) maka dapat dilakukan pemeriksaan system poros baling-baling pada pertengahan periode kelas atau pada tahun ketiga periode kelas. Dengan demikian, maka proses pencabutan poros dapat digabungkan pada saat intermediet survey yang ditentukan oleh kelas, tanpa harus melaksanakan lagi pemeriksaan poros pada akhir periode kelas.

Perbandingan keuntungan yang diperoleh

Berikut akan dibandingkan keuntungan yang dapat diperoleh selama satu periode kelas jika kapal melakukan pemeriksaan system poros baling-baling berdasarkan ketentuan kelas dan jika kapal melaksanakan pemeriksaan system poros berdasarkan analisa tingkat keandalan komponen.

1. Dengan aturan kelas keuntungan per 5 tahun = Rp. 38.860.773.735
2. Dengan analisa keandalan komponen, keuntungan per 5 tahun = Rp.38.993.136.881

Dengan demikian jika menggunakan analisa keandalan komponen akan terdapat surplus sebesar Rp. 132.363.146, atau lebih hemat sekitar 0,3 % jika dibandingkan dengan aturan yang ditentukan oleh biro klasifikasi.

Interval waktu pemeriksaan akan semakin panjang, jika jumlah jam operasional kapal sedikit. Namun tentunya juga masih tergantung pada jenis komponen dan kualitas masing-masing komponen yang terdapat didalamnya.

4.7. ANNUAL SURVEY

Annual survey merupakan survey berkala yang dilakukan oleh pihak Biro Klasifikasi Indonesia kepada seluruh kapal yang dikelaskan dan termasuk dalam jenis survey mempertahankan kelas. Annual survey dilakukan setiap satu tahun dan dapat dilaksanakan pada saat kapal terapung, berupa pemeriksaan visual secara umum terhadap kondisi kapal dan percobaan operasi peralatan penting pada kapal guna memastikan kapal dan seluruh system didalamnya masih dalam kondisi baik dan dapat beroperasi secara aman.

Adapun item-item yang dilakukan pada pemeriksaan annual survey adalah :
Dari hasil perhitungan penentuan jumlah inspeksi optimum diketahui bahwa pemeriksaan pada system poros baling-baling dapat dilakukan hanya satu kali dalam satu periode kelas. Sedangkan pada annual survey yang dilakukan setiap satu tahun (4 kali dalam satu periode kelas) juga dapat dilakukan pemeriksaan pada kondisi sistem poros baling-baling.

4.8. POTENTIAL FAILURE

Yang menjadi acuan utama didalam melakukan analisa interval waktu inspeksi pada penelitian ini adalah *Time To Failure* dari masing-masing komponen. Pada dasarnya analisa akan menjadi lebih spesifik jika acuan yang digunakan adalah *Potential Failure* komponen sehingga dapat lebih mendetail pendugaan waktu kerusakan yang akan terjadi.

Potential Failure adalah fenomena atau gejala-gejala awal yang terdeteksi yang menandakan bahwa mulai terjadinya proses rusak komponen, atau mendekati masa rusaknya komponen. Sedangkan disatu sisi *Mean Time To failure* adalah ukuran interval keandalan suatu komponen. Atau ukuran interval waktu antara dua kerusakan komponen.

Dalam satu rentang umur pakai dari sebuah komponen terdapat sebuah titik dimana terjadi peningkatan secara signifikan kemungkinan terjadinya kerusakan. Interval waktu dari titik ketika komponen diinstal sampai dengan titik terjadinya peningkatan kemungkinan kerusakan disebut sebagai *usefull life of Component*. Sangatlah penting untuk dapat mengetahui kondisi dan interval waktu sebelum terjadinya kerusakan, atau dengan kata lain harus dapat diketahui seberapa cepat komponen berfungsi dari level OK menjadi NOT OK. Kondisi ini terkadang didefinisikan sebagai periode berkembangnya kerusakan atau kondisi dari *potential failure* hingga *functional failure* atau lebih dikenalnya dengan (P_F) interval.

DAFTAR PUSTAKA

Biro Klasifikasi Indonesia, *Rules for the classification and construction of sea going steel ship Volume I*, PT. Biro Klasifikasi Indonesia, Jakarta, 2003.

William Denson, Greg Chandler, William Crowell & Rick Wanner, *Nonelectronic Parts Reliability Data 1991*, Reliability Analysis Center Rome New York USA, 1991.

Ronald T. Anderson and Lewis Neri, *Reliability Centered Maintenance*, Elsevier Applied Science, New York, 1990.

Stefenson, J, *Design Prosedure for Reliability of Integrated Marine System*, ICMES, 1990.

Patrick. D.T.O'Connor, *Practical Reliability Enginerring*, British Aerospace plc, UK, 1995.

www.klasifikasiindonesia.com