

ANALISA KEANDALAN SISTEM BAHAN BAKAR MOTOR INDUK PADA KM. LEUSER

*Eko Sasmito H, Untung B.
Program Studi Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro*

ABSTRACT

Fuel oil system is one of the vital main engine supporting systems of MV. Leuser because this system is directly influence the main engine performance. The failure of fuel system should be the main engine shut down. The bigger affect was the ship could not be operated so the financial lost would be occurred. The aim of the research is an analysis the fuel system by approximation on reliability based.

An analysis of the system was using qualitative and quantitative approximation. Qualitative analysis could be achieved by the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and the Fault Tree Analysis (FTA). The quantitative analysis could be achieved by the Monte Carlo simulation.

The resulted of the research, severity components such as filter, separator, transfer pump and booster pump was obtained by the severity classification and failure probability. The simulation would be achieved the value availability at 0.97 and the value of MTTFF (Mean Time to First Failure) is 2423.8363 hours. The simulation used some scenarios, the system availability would be more decrease if there were more stand by components occur the failure in the one of the components at 0,893.

Keywords : Reliability, FMEA, FTA, Monte Carlo Simulation, Availability.

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Penggunaan analisa keandalan dalam industri perkapalan semakin meningkat sehubungan dengan kebutuhan akan keamanan dan keselamatan kapal yang handal.

Beberapa bagian pada design kapal yang dapat dianalisa keandalannya adalah :

- Konstruksi kapal
- Sistem permesinan, dan
- Peralatan dikapal (*equipment*)

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

Dengan melihat kenyataan bahwa banyaknya sistem yang ada diatas kapal, maka dalam penilitian ini akan ditekankan pada salah satu sistem yaitu sistem bahan bakar motor induk dengan jenis bahan bakar *Marine Diesel Fuel*. Objek dari penelitian ini

dilaksanakan di kapal penumpang KM. Leuser milik PT. PELNI (Persero) yang dibuat oleh galangan Meyer Werft, Jerman dan telah beroperasi sejak tahun 1993 hingga sekarang.

KM. Leuser memiliki sistem-sistem sebagai penunjang fungsi operasional dan pelayanan kapal. Salah satunya adalah sistem yang menunjang kelancaran operasional motor induk sebagai sistem penggerak kapal. Salah satu sistem penunjang motor induk adalah sistem bahan bakar. Instalasi sistem bahan bakar didefinisikan sebagai peralatan untuk mensuplai bahan bakar ke mesin utama dari tangki penyimpanan (*storage tank*) menuju mesin utama (*main engine*) untuk pembakaran di ruang bakar *main engine* sehingga dapat dihasilkan tenaga sebagai penggerak utama kapal.

Pengantisipasi kegagalan komponen didalam sistem ini dapat dilakukan dengan cara analisa keandalan atau evaluasi keandalan. Pelaksanaannya dengan cara mengidentifikasi bagaimana sistem dapat terjadi kegagalan dan konsekuensi kejadian tersebut. Analisa yang dilakukan juga dapat meningkatkan pengetahuan tentang pengoperasian dan perilaku sistem (*system behavior*) bahan bakar tersebut. Hasil analisa yang dilakukan dapat digunakan sebagai panduan dalam perawatan sistem baik berupa pencegahan (*preventive maintenance*) dan perbaikan (*corrective maintenance*). Evaluasi keandalan ini,

akan dilaksanakan dengan cara analisa secara kualitatif (*experience*) dan kuantitatif (perhitungan) dari sistem tersebut.

2. Batasan Masalah

Didalam pengerjaan penelitian ini diberikan beberapa batasan masalah dan asumsi-temsil guna memperjelas permasalahan dan ruang lingkupnya, yaitu :

1. Fokus objek studi yang diteliti adalah sistem bahan bakar KM. Leuser milik PT. Pelni (Persero).
2. Evaluasi keandalan tidak memasukkan pengaruh kesalahan operator atau pengguna (*human error*) dan pengaruh alam yang tidak diinginkan.
3. Dalam penelitian ini tidak melakukan tinjauan ekonomi.
4. Sistem yang ada dikapal sebagai penunjang motor induk selain sistem bahan bakar dianggap normal.

3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan penelitian adalah untuk menganalisa keandalan sistem bahan bakar pada kapal penumpang KM. Leuser dengan menggunakan analisa kualitatif dan kuantitatif, sebagai berikut :

- Mengetahui komponen kritis pada sistem bahan bakar dan penyebab kegagalan sistem.
- Menghitung MTTFF (*mean time to first failure*) sistem bahan bakar pada KM. Leuser pada periode waktu tertentu.
- Menghitung indeks ketersediaan (*availability*) sistem bahan bakar pada periode waktu tertentu.

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

- Memberikan informasi tingkat keandalan dan ketersediaan sistem bahan bakar pada kapal KM. Leuser pada periode waktu tertentu.
- Mengetahui komponen – komponen yang paling kritis dan perlu mendapat perhatian lebih.
- Mengetahui mode, penyebab dan dampak terjadinya kegagalan komponen serta pengaruhnya terhadap kondisi operasi sistem bahan bakar.
- Memberikan masukan mengenai penanganan perawatan sistem.

TINJAUAN PUSTAKA

Definisi *Reliability* adalah probabilitas dari suatu item untuk dapat melaksanakan fungsi yang telah ditetapkan, pada kondisi pengoperasian dan lingkungan tertentu untuk periode waktu yang ditentukan. [Høyland and Rausand, 1994]. Dalam menganalisa keandalan sebuah komponen atau sistem baik yang telah ada maupun yang akan mulai dirancang ada dua teknik penilaian yang dapat dipakai. Kedua penilaian itu adalah penilaian secara kualitatif dan penilaian secara kuantitatif. Dalam penelitian ini ada beberapa metode evaluasi keandalan baik secara kualitatif maupun kuantitatif

yang digunakan untuk mengetahui keandalan suatu sistem.

1. Analisa Kualitatif

Failure Mode and Effect Metode Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan suatu metode yang bertujuan untuk mengevaluasi desain sistem dengan mempertimbangkan bermacam-macam mode kegagalan dari sistem yang terdiri dari komponen-komponen dan menganalisa pengaruh-pengaruhnya terhadap keandalan sistem tersebut. Dengan penelusuran pengaruh-pengaruh kegagalan komponen sesuai dengan level sistem, item-item khusus yang kritis dapat dinilai dan tindakan-tindakan perbaikan diperlukan untuk memperbaiki desain dan mengeliminasi atau mereduksi probabilitas dari mode-mode kegagalan yang kritis. [Davidson,J, 1988].

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

Berikut ini penjelasan masing-masing kolom yang ada di FMEA worksheet :

- Kolom 1 (*Identification Number*)
Menunjukkan *part number* atau ID komponen
- Kolom2 (*Item/Functional Identification*)
Menunjukkan nama item atau komponen yang dimaksud.
- Kolom 3 (*Function*)
Menjelaskan fungsi komponen didalam sistem yang sedang dianalisa.
- Kolom 4 (*Failure mode and Cause*)
Mode – mode kegagalan dan penyebabnya pada tiap komponen diidentifikasi dan dicatat pada kolom ini.
- Kolom 5 (*Severity classification*)
Penggolongan ranking terjadinya kegagalan pada komponen yang diidentifikasi yang menggambarkan seberapa besar dampak yang dapat di timbulkan terhadap sistem. Tabel diatas menunjukkan tingkat kerusakan yang dipakai.
- Kolom 6 (*Failure Probability*)
Probabilitas kegagalan dari masing – masing mode kegagalan di catat pada kolom ini. Untuk kasus yang tidak memiliki data kuantitatif, maka klasifikasi pada table dibawah dapat digunakan untuk mengisi kolom ini.

Kombinasi antara severity dan frekuensi mode kegagalan dari tiap-tiap komponen yang ada didalam sistem dapat dipresentasikan kedalam sebuah *Failure Mode Classification Matrix*.

Fault Tree Analysis (FTA)

Fault Tree Analysis (FTA) adalah sebuah metode untuk mengidentifikasi kegagalan (*failure*) dari suatu sistem, baik yang disebabkan oleh kegagalan komponen atau kejadian kegagalan lainnya secara bersama-sama atau secara individu.

Sebuah *fault tree* mengilustrasikan keadaan komponen – komponen sistem (*basic event*) dan hubungan antara *basic event* dan *top event*. Simbol grafis yang dipakai untuk menyatakan hubungan tersebut disebut gerbang logika.

Sebuah *top event* yang merupakan definisi kegagalan suatu sistem, harus ditentukan terlebih dahulu pengkonstruksian FTA. Sistem kemudian dianalisa untuk menemukan semua kemungkinan kegagalan yang didefinisikan pada *top event*. Setelah mengidentifikasi *top events*, even – even yang memberikan kontribusi secara langsung terjadinya *top events* dengan memakai hubungan logika dengan menggunakan gerbang AND (*AND – gate*) dan gerbang OR (*OR – gate*) sampai dicapai event besar.

Pengkontruksian fault tree dimulai dari *top event*. Sistem dianalisa untuk menentukan semua kemungkinan yang menyebabkan suatu sistem mengalami kegagalan seperti yang didefinisikan pada *top event*. Oleh karena itu, berbagai *fault event* yang secara langsung menjadi penyebab terjadinya *top event* harus secara teliti diidentifikasi. Berbagai penyebab ini dikoneksikan ke *top event* oleh sebuah gerbang logika. Tabel berikut merupakan simbol *fault tree*.

Diagram *fault tree* ini dapat disusun *cut set* dan *minimal cut set*. *Cut set* yaitu serangkaian komponen sistem, apabila terjadi kegagalan dapat berakibat kegagalan pada sistem. Sedangkan *minimal cut set* yaitu set minimal yang dapat menyebabkan kegagalan pada sistem. Untuk mencari *minimal cut sets* digunakan Mocus (*Method for obtaining cut sets*) yaitu sebuah algoritma yang dipakai untuk mendapatkan *minimal cut sets* dalam sebuah *fault tree*.

Kekritisannya dari sebuah *cut sets* tergantung pada jumlah *basic events* di dalam *cut sets* (*orde cut sets*). Sebuah *cut set* dengan orde satu umumnya lebih kritis daripada sebuah *cut sets* dengan orde dua atau lebih. Jika sebuah *fault tree* memiliki *cut set* dengan orde satu, maka *top events* akan terjadi sesaat setelah *basic events* yang bersangkutan terjadi. Jika *cut sets* memiliki dua *basic event*, kedua event ini harus terjadi secara serentak agar *top events* dapat terjadi.

2. Analisa Kuantitatif

Variabel Random

Dalam melakukan analisa keandalan suatu sistem tidak terlepas akan tersedianya data yang akan diolah. Nilai keandalan suatu komponen akan bergantung terhadap waktu. Untuk itu analisa

keandalan akan berhubungan dengan distribusi probabilitas dengan waktu sebagai *variable random*.

Variable random adalah suatu nilai atau parameter yang akan diukur di dalam pengolahan data. Agar teori probabilitas dapat diterapkan maka kejadian atau nilai – nilai tersebut haruslah *random* terhadap waktu. Parameter kejadian yang akan diukur yaitu misalnya laju kegagalan komponen, lama waktu untuk mereparasi, kekuatan mekanis komponen, adalah variabel yang bervariasi secara *random* terhadap waktu dan atau ruang. *Variable random* ini dapat didefinisikan secara diskrit maupun secara kontinu. [Billinton, 1992].

Goodness of Fit Test

Goodness – of – fit test digunakan untuk melakukan pengujian sekumpulan data waktu kegagalan dan waktu reparasi suatu komponen sehingga akan diketahui distribusi komponen tersebut. Metode yang digunakan untuk melakukan pengujian tersebut yaitu:

- *Maximum Likelihood Estimate (MLE)*.

Metode yang digunakan untuk mencari parameter dari distribusi tersebut. Jika ada sekumpulan data pengamatan yaitu misalnya t_1, t_2, \dots, t_n dan data tersebut merupakan *random sample* dari sebuah distribusi dengan Pdf

$f(t; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$ dimana parameter $(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$ tidak diketahui. (Ansell, 1994).

Kita dapat menuliskan $(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$ dengan θ , sehingga persamaan pdf nya menjadi $f(t; \theta)$.

Persamaan *Maximum Likelihood Estimate (MLE)* yaitu:

$$L(\theta) = \prod_{i=1}^n f(t_i; \theta) \quad (1)$$

Distribusi probabilitas dalam analisa keandalan

➤ Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial merupakan distribusi yang paling banyak dipakai di dalam mengenalisa keandalan sistem. Ciri utama distribusi ini adalah laju kegagalannya yang konstan. [Kececioglu, 1991].

- Persamaan fungsi densitas probabilitas:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2)$$

- Persamaan keandalan:

$$R(t) = \int_0^\infty f(t) dt = e^{-\lambda t} \quad (3)$$

- Persamaan fungsi *failure rate* eksponensial :

$$\lambda(t) = \lambda \quad (4)$$

➤ Distribusi Weibull.

Distribusi weibull banyak dipakai karena distribusi ini memiliki berbagai parameter sehingga

distribusi tersebut mampu memodelkan berbagai data (Kececioglu, 1991). Jika *time to failure* suatu komponen adalah t mengikuti distribusi weibull dengan tiga parameter β , η dan γ maka persamaan fungsi densitas probabilitas dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (5)$$

Jika nilai $\gamma = 0$, maka akan diperoleh persamaan distribusi weibull dengan dua parameter.

- Persamaan keandalan :

$$R(t) : \quad (6)$$

- Persamaan failure rate:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \quad (7)$$

Reliability Block Diagram

Untuk mengevaluasi keandalan secara kuantitatif suatu sistem yang pertama kali harus dilakukan adalah dengan memodelkan sistem tersebut ke dalam blok diagram keandalan. [Billinton, 1992].

Blok diagram keandalan merupakan gambaran secara grafis tentang hubungan komponen – komponen yang ada didalam sistem bahan bakar. Untuk membuat blok diagram keandalan suatu sistem, antara bentuk fisik sistem dan model blok diagram keandalan sistem tidak harus selalu sama. Susunan blok diagram keandalan ini pada dasarnya terdiri dari susunan seri dan parallel atau kombinasi susunan seri dan parallel.

- **Sistem dengan susunan seri**

Suatu sistem dapat dimodelkan dengan susunan seri jika komponen – komponen yang ada didalam sistem tersebut harus bekerja atau berfungsi seluruhnya agar sistem tersebut sukses dalam menjalankan misinya.

- **Sistem dengan susunan parallel.**

Suatu sistem dapat di modelkan dengan susunan parallel jika seluruh komponen yang ada di dalam sistem itu gagal menjalankan fungsinya.

- **Sistem dengan susunan standby.**

Pada konfigurasi *standby*, satu atau lebih komponen berada dalam keadaan *standby* dan siap akan mengambil alih ketika komponen utama mengalami kegagalan.

Simulasi Monte Carlo

Simulasi montecarlo bertujuan untuk mendapatkan gambaran tentang pengaruh waktu kegagalan dan perbaikan komponen untuk mendapatkan *Availability*. Simulasi yang dilakukan tidak hanya terhadap waktu kegagalan tetapi juga waktu perbaikan baik itu komponen hingga sistem.

Pada penyelesaian analisa kuantitatif ini penulis menggunakan **Program Aplikasi BlockSim 7.0.6** untuk mencari nilai ketersediaan (*Availability*) sistem. Pada Program BlockSim menggunakan teknik Simulasi Monte Carlo untuk memprediksi *performance* sistem dan komponen. Program BlockSim adalah *Simulator Availability, Reliability, Maintainability* yang mengijinkan pengguna untuk memprediksi dan mengoptimasi *performance* sistem dan komponen.

METODOLOGI PENELITIAN

1. Pengumpulan Data

Untuk mengevaluasi keandalan suatu sistem diperlukan design sistem atau design awal. Design awal yang dimaksud dalam penelitian ini adalah design sistem bahan bakar motor induk kapal KM. Leuser. Dengan adanya design awal sistem bahan bakar maka dapat diketahui komponen yang digunakan pada sistem bahan bakar.

Mengingat kapal tersebut telah beroperasi lama, maka perlu adanya pengambilan data sistem bahan bakar yang sekiranya bisa mewakili data jam operasional sistem pada saat sistem mengalami waktu kegagalan dan reparasi atau perawatan selama periode waktu tertentu guna pengevaluasian keandalan sistem bahan bakar. Dalam hal ini pengambilan data berupa jam operasi dan waktu reparasi tiap komponen sistem bahan bakar dibatasi dari bulan Januari 2007 sampai Juni 2008. Data tersebut diambil dari buku Laporan Perawatan Harian KM. Leuser sedangkan untuk data spesifikasi kapal dan komponen sistem diambil dari buku *Instruction and Maintenance Manual* dan *TSAR Maintenance System* KM. Leuser.

2. Analisa Kualitatif

Analisa sistem sistem bahan bakar KM. Leuser secara kualitatif dilakukan dengan metode *Fault Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA).

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan salah satu metode yang dipergunakan dalam analisa kualitatif. Metode FMEA lebih menekankan pada *hardware oriented approach* atau *bottom – up approach*, karena analisa FMEA ini menguji level komponen atau kelompok komponen-komponen fungsional yang memiliki level lebih rendah dan memikirkan kegagalan sebagai hasil dari modus kegagalan (*Failure Modes*) yang berbeda-beda, mengevaluasi sistem dengan mempertimbangkan macam mode kegagalan komponen sistem serta menganalisa dampak atau pengaruh-pengaruhnya terhadap keandalan sistem.

Analisa kualitatif dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dapat dilakukan dengan pembuatan lembar kerja FMEA (*FMEA Worksheet*). FMEA akan menyajikan bentuk tabel seperti yang

telah dijelaskan pada bab sebelumnya untuk setiap modus kegagalan (*Failure Modes*) dari semua komponen. Penyusunan FMEA dilakukan dengan mereview berbagai komponen, subsistem dan juga mengidentifikasi mode-mode kegagalan, penyebab kegagalan serta dampak atau efek kegagalan yang ditimbulkan untuk selanjutnya digunakan sebagai input dalam lembar kerja FMEA.

Dalam penelitian ini, proses penggerjaan FMEA dilakukan dengan menginput data-data kegagalan komponen serta informasi lainnya seperti yang telah dijelaskan diatas kedalam suatu program komputer (*software*) yang outputnya menentukan tingkat kekritisan dari komponen sistem. Adapun software yang digunakan adalah software XFMEA 4 dengan langkah sebagai berikut :

1. Membuat hirarki sistem yaitu mengidentifikasi sistem dengan mereview tiap komponen.
2. Menjelaskan diskripsi tiap komponen meliputi fungsi (*function*), mode kegagalan (*failure*), dampak atau efek (*effect*), dan sebab kegagalan (*cause*) komponen.
3. Mengidentifikasi kegagalan sesuai dengan klasifikasi kerusakan (*severity classification*) dan laju kegagalan (*failure rate*) komponen.
4. Melakukan *criticality analysis*.

Penyusunan *Criticality Matrix* guna mengetahui mode kegagalan paling tidak kritis sampai paling kritis. Sehingga kita dapat menentukan komponen yang perlu diperhatikan.

Fault Tree Analysis (FTA)

Fault Tree Analysis digunakan untuk mengidentifikasikan kegagalan (*failure*) suatu sistem. Tahapan menyusun FTA :

- a. Mendefinisikan problem dan kondisi batas dari sistem.
- b. Pengkonstruksian *Fault Tree*
- c. Menentukan *minimal Cut Set*

3. Analisa Kuantitatif

Evaluasi sistem sistem bahan bakar KM. Leuser secara kuantitatif dilakukan dengan simulasi montecarlo dengan sebelumnya dilakukan analisa data dan pembuatan *Reliability Block Diagram* (RBD).

Analisa Data

Nilai keandalan suatu komponen atau sistem merupakan nilai kemungkinan/ probabilitas dari suatu komponen atau sistem untuk dapat memenuhi fungsinya dalam kurun waktu dan kondisi tertentu yang sudah ditetapkan. Pengambilan data yang telah dilaksanakan berupa sekumpulan data waktu kegagalan (TTF atau *time to failure*) dan waktu reparasi (TTR atau *time to repair*) dari masing-masing komponen suatu sistem akan digunakan

dalam menentukan distribusi probabilitas yang sesuai untuk memodelkan komponen yang ada. Dalam melakukan uji kesesuaian (*goodness of fit test*) untuk penentuan distribusi probabilitas pada tiap-tiap komponen tersebut digunakan bantuan software weibull ++ 4.0.

Simulasi Montecarlo

Simulasi montecarlo bertujuan untuk mendapatkan gambaran tentang pengaruh waktu kegagalan dan perbaikan komponen untuk mendapatkan ketersediaan komponen atau sistem. Simulasi yang dilakukan tidak hanya terhadap waktu kegagalan (TTF) tetapi juga waktu perbaikan (TTR), suatu komponen atau sistem. Pada penyelesaian analisa kuantitatif ini menggunakan program aplikasi (*software*) **BlockSim Ver 7.0.6** yang bertujuan untuk memprediksi nilai *Reliability* dan *Availability* Sistem. Program BlockSim menggunakan teknik Simulasi Montecarlo ini juga bertujuan untuk memprediksi *performance* sistem dan komponen.

PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

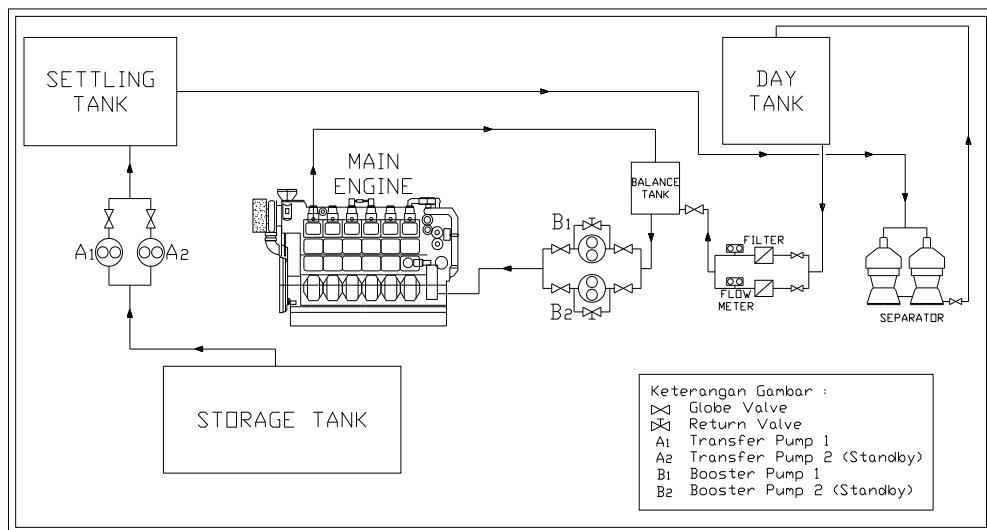
Sistem Bahan Bakar

Sistem bahan bakar merupakan salah satu sistem penunjang dari sistem penggerak utama pada sebuah kapal. Dimana fungsi dari sistem bahan bakar ini tidak lain untuk mensuplai bahan bakar dari *storage tank* atau tanki penyimpanan menuju *main engine*. Atau dapat juga didefinisikan bahwa instalasi bahan bakar merupakan peralatan yang diperlukan untuk menangani bahan bakar dari titik diserahkannya ke instalasi sampai mencapai *main engine*. Susunan komponen tersebut dapat dilihat pada gambar 1.

Komponen Sistem Bahan Bakar

KM. Leuser adalah kapal penumpang yang menggunakan mesin diesel 4 tak dengan bahan bakar *Marine Diesel Fuel*. Adapun fungsi komponen sistem bahan bakar yang digunakan dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. Tangki Penyimpanan (*Storage Tank*)
Merupakan tempat penyimpanan awal bahan bakar sebelum disuplai ke settling tank.
- b. Pompa Transfer (*Transfer Pump*)
Pompa yang berfungsi untuk memindahkan bahan bakar dari storage tank ke settling tank.
- c. Tangki Pengendapan (*Settling Tank*)
Settling tank digunakan sebagai tempat untuk mengendapkan kandungan air dan kotoran padat pada bahan bakar.
- d. Separator
Ada dua buah separator yang dipasang secara *standby*. Komponen separator ini berfungsi untuk membersihkan dan memurnikan bahan bakar dari pengaruh kandungan air dan kontaminasi partikel padat.



Gambar 1. Sistem bahan bakar KM. Leuser

e. Tangki Harian (*Day Tank*)

Day tank atau tangki harian adalah tempat penyimpanan bahan bakar yang siap disuplai ke *main engine*.

f. Tangki Imbang (*Balance Tank*)

Merupakan tempat penampungan akhir bahan bakar untuk disuplai ke *main engine*, dimana memiliki fungsi sebagai pemisah bahan bakar dari kandungan udara. Tangki imbang juga digunakan sebagai tempat penampungan *overflow* bahan bakar yang disuplai ke *main engine*.

g. Saringan (*Filter*)

Berfungsi sebagai penyaring bahan bakar dari *daily tank* agar bahan bakar benar-benar bersih untuk disuplai ke *main engine* setelah sebelumnya bahan bakar telah dibersihkan oleh separator sebelum ke *day tank*.

h. *Booster Pump*

Terdapat dua buah booster pump yang dipasang secara *standby redundant*, yang salah satunya digunakan sebagai komponen *standby*. *Booster pump* berfungsi untuk menarik atau memindahkan bahan bakar dari *balance tank* menuju *main engine*.

Prinsip Kerja Sistem Bahan Bakar

Sistem bahan bakar pada KM. Leuser dapat dijelaskan sebagai berikut : Bahan bakar dari *Storage Tank* yaitu tanki penyimpanan awal dipindahkan oleh pompa transfer ke *Settling Tank* guna dilakukan pengendapan dari air dan kotoran padat, selanjutnya bahan bakar tersebut dipindahkan ke *day tank* untuk memenuhi kebutuhan *main engine*. Dalam proses pemindahan ke *Day Tank* bahan bakar akan dibersihkan dan dimurnikan terlebih dahulu dari pengaruh kandungan air dan kontaminasi partikel padat, proses ini dilaksanakan oleh *Separator* yang disusun secara *standby redundant*. Selanjutnya bahan bakar dipindahkan oleh motor pada *separator* ke *day tank*.

Didalam *day tank* ini bahan bakar ditampung sebagai operasional harian *main engine*, selanjutnya bahan bakar dari *daily tank* dipindahkan ke *balance tank* sebagai tangki penampungan akhir dengan sistem gravitasi dengan posisi *day tank* lebih tinggi (berada dideck 1) dari *balance tank* (berada di kamar mesin), akan tetapi sebelumnya telah melewati *filter* yang berfungsi sebagai penyaring bahan bakar. *Booster pump* yang disusun secara *standby redundant* akan menarik/mengalirkan bahan bakar dari *balance tank* ke *main engine*. Apabila bahan bakar yang telah disuplai ke *main engine* terjadi kelebihan aliran (*overflow*) maka kelebihan aliran bahan bakar tersebut akan dialirkan ke *balance tank* untuk ditampung kembali. Demikianlah prinsip kerja sistem bahan bakar KM. Leuser.

1. Analisa Kualitatif

Evaluasi sistem sistem bahan bakar KM. Leuser secara kualitatif dilakukan dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA).

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan salah satu teknik yang sistematis dalam menganalisa suatu bentuk kegagalan dan penekannya pada *bottom-up approach*. Maksud dari *bottom-up approach* disini adalah merupakan teknik analisa yang dilakukan mulai dari peralatan atau komponen dan kemudian meneruskannya ke sistem yang merupakan tingkat atau level yang lebih tinggi. Kegiatan FMEA ini bertujuan untuk mendapatkan komponen yang paling kritis atau komponen yang *significant* terhadap kegagalan sistem bahan bakar.

Dalam analisa FMEA melibatkan banyak hal yang diantaranya adalah mereview berbagai komponen, subsistem dan juga mengidentifikasi mode-mode kegagalan, penyebab kegagalan serta dampak atau efek kegagalan yang ditimbulkan.

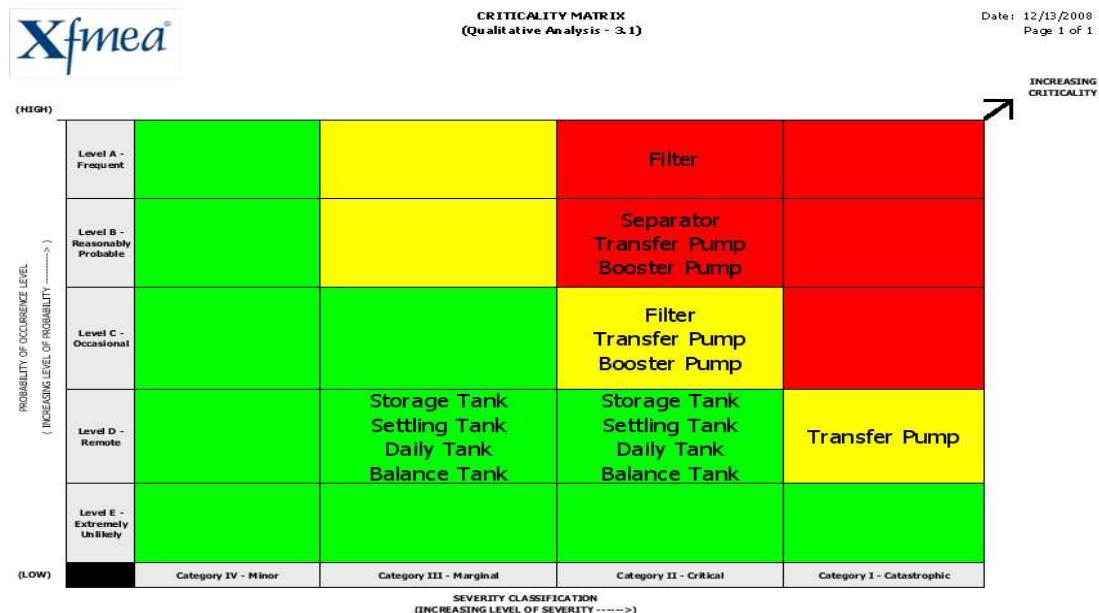
Untuk Kerusakan saluran pipa (*pipeline*) dan kebocoran pipa diasumsikan sangat kecil dapat terjadi. Berbagai Mode kegagalan beserta dampaknya pada sistem dicantumkan dalam sebuah *worksheet* (lembar kerja FMEA) untuk masing-masing komponen. Namun dalam penelitian ini, analisa kualitatif dengan metode *failure mode and effect analysis* (FMEA) dilakukan menggunakan *Software XFMEA 4*. Hasil analisa dengan metode FMEA dapat dilihat pada gambar 2.

Fault Tree Analysis (FTA)

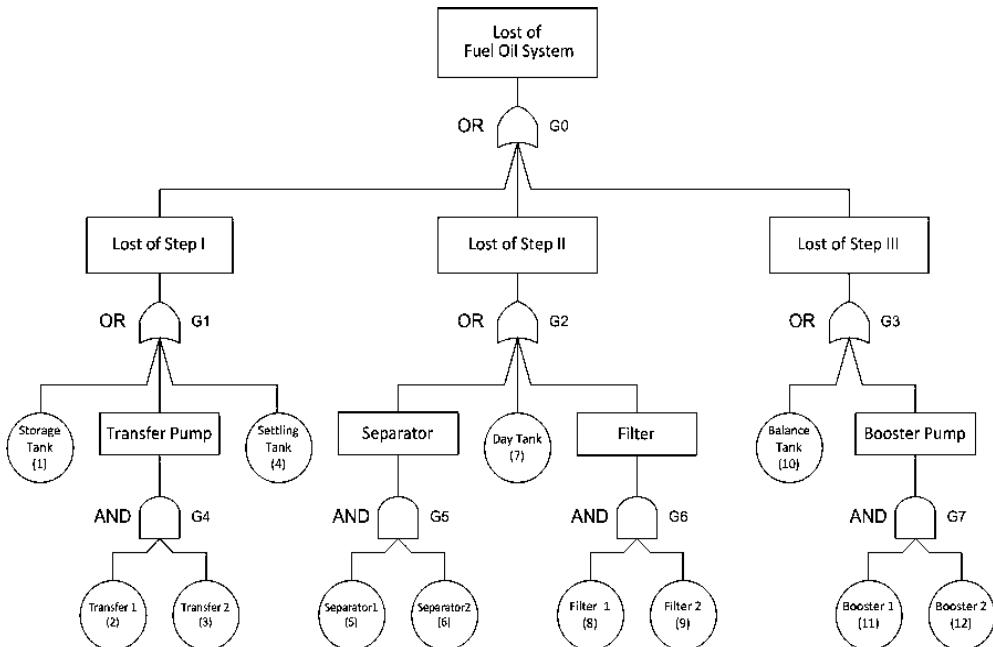
Fault Tree Analysis (FTA) untuk sistem bahan bakar pada kapal KM. Leuser dari diagram *Fault Tree* ditunjukkan pada gambar 3. Setelah selesai menentukan *Fault tree* tersebut, maka kita dapat menentukan minimal *Cut Set*. Sebuah Cut Set didefinisikan sebagai *basic event* yang bila terjadi akan mengakibatkan *Top event*. Minimal *cut set* dapat ditentukan dengan metode MOCUS dan ditabelkan seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Minimal cut set dari *fault tree* sistem bahan bakar Km. Leuser

Step	Mechanical Failure		
	1	2	3
G1	1	1	
	G4	2,3	
	4	4	
G2	G5	5,6	
	7	7	
	G6	8,9	
G3	10	10	
	G7	11,12	



Gambar 2. Criticality Matrix Sistem bahan bakar KM. Leuser



Gambar 3. Fault tree diagram sistem bahan bakar KM. Leuser

Tabel 1 diatas menunjukkan bahwa *minimal Cut Set* dari Fault Tree adalah :
 $\{1\}, \{2,3\}, \{4\}, \{5,6\}, \{7\}, \{8,9\}, \{10\}, \{11,12\}$.

Sehingga sistem memiliki *minimum first order* $\{1\}, \{4\}, \{7\}, \{10\}$ dan *second order* $\{2,3\}, \{5,6\}, \{8,9\}, \{11,12\}$.

Dimana :

- 1 = Storage Tank
- 2 = Transfer Pump 1
- 3 = Transfer Pump 2 (Standby)
- 4 = Settling Tank
- 5 = Separator 1
- 6 = Separator 2 (Standby)
- 7 = Day Tank
- 8 = Filter 1
- 9 = Filter 2 (Standby)
- 10 = Balance tank
- 11 = Booster Pump 1
- 12 = Booster Pump 2 (Standby)

2. Analisa Kuantitatif

Tujuan analisa data yaitu untuk mencari distribusi yang tepat untuk tiap-tiap komponen sistem bahan bakar. Penentuan distribusi tersebut untuk merupakan tahap menentukan kecenderungan distribusi sistem dengan adanya fungsi waktu yang berubah-ubah. Input data yang diperlukan adalah *variable random t* yang mewakili *time to failure* tiap-tiap komponen sistem bahan bakar. Penentuan distribusi komponen sistem bahan bakar tersebut dilakukan dengan bantuan *software Weibull ++ 4.0* dengan menggunakan metode MLE. Input data untuk menentukan distribusi yaitu dengan memasukan data *time to failure* tiap-tiap komponen. Untuk menentukan distribusi yang sesuai untuk tiap komponen maka dari hasil diambil distribusi yang

mempunyai rangking pertama. Karena pada pengujian distribusi, rangking pertama merupakan distribusi yang sesuai dengan komponen tersebut. Distribusi tersebut ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Distribusi komponen sistem bahan bakar dengan *input time to failure*

Komponen	Distribusi	λ	β	η	γ	Mean	Std
Tank	Eksponensial 2	0.0228	-	1917.8110	-	-	-
Transfer Pump1 dan 2	Weibull 3	-	2.0906	58.3514	261.3500	-	-
Separator 1 dan 2	Weibull 3	-	2.7534	120.2467	384.6600	-	-
Filter 1 dan 2	Weibull 3	-	2.6911	58.2296	92.5000	-	-
Booster Pump 1 dan 2	Weibull 3	-	2.4452	71.3433	251.0375	-	-

Selain menentukan distribusi komponen dari *time to failure* perlu juga dilakukan penentuan distribusi untuk *time to repair*. Hal ini dikarenakan pada evaluasi sistem secara kuantitatif juga mencantumkan pengaruh dari perbaikan komponen atau sistem. Dengan metode dan langkah yang sama pada penentuan distribusi komponen dengan *input time to failure*, maka didapatkan distribusi komponen sistem bahan bakar dengan *input time to repair* sebagai berikut :

Tabel 3. Distribusi komponen sistem bahan bakar dengan *input time to repair*

Komponen	Distribusi	λ	β	η	γ	Mean	Std
Tank	Eksponensial 2	0.1115	-	7.0327	-	-	-
Transfer Pump1 dan 2	Weibull 3	-	0.7108	0.5127	3.88	-	-
Separator 1 dan 2	Eksponensial 2	0.8592	-	-	2.4195	-	-
Filter 1 dan 2	Weibull 3	-	5.0019	3.2142	0.1	-	-
Booster Pump 1 dan 2	Weibull 3	-	0.7108	0.5127	3.88	-	-

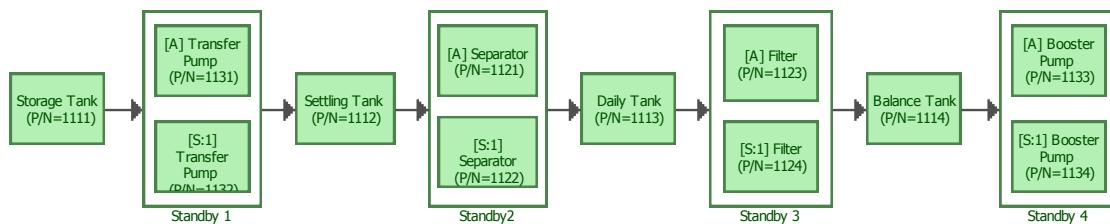
Simulasi Monte Carlo

Simualsi monte carlo merupakan salah satu metode evaluasi sistem secara kuantitatif. Evaluasi sistem secara kuantitatif terlebih dahulu dilakukan dengan memodelkan sistem bahan bakar kedalam blok diagram. *Reliability Block Diagram* (RBD)

merupakan gambaran secara grafis tentang hubungan komponen yang ada didalam sistem. Rangkaian dasar yang sering dilakukan dalam rangkaian blok diagram keandalan adalah susunan seri, parallel, dan *stand by*. Adapun rangkaian yang ada didalam sistem merupakan gabungan dari berbagai rangkaian dasar. Untuk mengevaluasi *reliability* suatu sistem secara kuantitatif, terlebih dahulu sistem tersebut dimodelkan kedalam blok diagram keandalan. Blok diagram keandalan tersebut digunakan untuk membuat *simulation montecarlo*.

Reliability Block Diagram (RBD)

Sistem bahan bakar KM. Leuser adalah sistem untuk memindahkan bahan bakar dari *storage tank* ke *main engine* seperti yang telah diuraikan diatas maka *storage tank*, *settling tank*, *day tank* dan *balance tank* dapat dimodelkan kedalam blok diagram keandalan dengan susunan seri. Karena komponen-komponen ini harus bekerja atau berfungsi seluruhnya agar sistem dapat menjalankan fungsinya. Dan jika salah satu dari komponen tersebut mengalami kegagalan maka akan mengakibatkan kegagalan pada sistem bahan bakar. Sedangkan pada komponen *tranfer pump*, *booster pump*, *separator* dan *filter* dapat dimodelkan kedalam blok diagram keandalan dengan susunan *standby*. Karena pada komponen tersebut masing-masing dapat mengantikan fungsinya apabila salah satu dari komponen itu mengalami kegagalan operasi.



Gambar 4. Reliability Block Diagram sistem bahan bakar KM. Leuser

Tabel 4. Nama Komponen pada RBD (*Reliability Block Diagram*) sistem bahan bakar

Part Number	Nama Komponen	Part Number	Nama Komponen
1111	Storage Tank	1123	Filter I (Active)
1112	Settling Tank	1124	Filter II (Standby)
1113	Daily Tank	1131	Transfer Pump I (Active)
1114	Balance Tank	1132	Transfer Pump II (Standby)
1121	Separator I (Active)	1133	Booster Pump I (Active)
1122	Separator II (Standby)	1134	Booster Pump II (Standby)

Pengisian Parameter Simulasi Untuk Tiap Komponen

Parameter yang diisi adalah jenis dari model kegagalan/*failure* model, parameter dari *failure distribution* serta *repair distribution*. Proses pengisian parameter ini dilanjutkan sampai semua parameter untuk masing – masing blok yang dibutuhkan untuk simulasi terisi seluruhnya.

Pengisian Parameter Simulasi Untuk Sistem

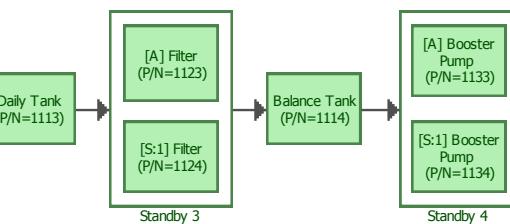
Simulasi Monte Carlo

Simulasi montecarlo bertujuan untuk mendapatkan gambaran tentang pengaruh waktu kegagalan dan perbaikan komponen untuk mendapatkan ketersediaan (*Availability*). Simulasi yang dilakukan tidak hanya terhadap waktu kegagalan tetapi juga waktu perbaikan, baik itu komponen maupun sistem. Pada penyelesaian analisa kuantitatif ini menggunakan **Program Aplikasi BlockSim Ver 7.0.6** yang bertujuan untuk memprediksi nilai *Reliability* dan *Availability* Sistem. Program BlockSim menggunakan teknik Simulasi Montecarlo ini, dengan kata lain juga bertujuan untuk memprediksi *performance* sistem dan komponen.

Adapun langkah – langkah penyimulasiannya *availability* sistem minyak bahan bakar dapat dijelaskan sebagai berikut :

Pengkonstruksian Reliability Block Diagram (RBD)

Pada Pengkonstruksian *Reliability Block Diagram* (RBD) sistem bahan bakar, untuk komponen-komponen yang dianggap normal adalah katup-katup, pipa dan aliran fluida. Pada komponen yang tersusun *standby* diasumsikan proses *switching* berlangsung sempurna (*perfect switching*). Adapun konstruksi RBD dapat dilihat pada gambar 4. [Irwanda, 2008].



Gambar 4. Reliability Block Diagram sistem bahan bakar KM. Leuser

Untuk mendapatkan hasil simulasi yang diinginkan, maka parameter simulasi untuk sistem harus diisi terlebih dahulu. Adapun parameter simulasi yang diisi adalah *simulation end time*, *compute point availability*, dan *number of simulation*. Tujuan simulasi ini adalah untuk mendapatkan *limiting state availability system*. Untuk itu interval waktu misi sistem dibuat sangat lama. Dengan mengisi parameter sistem *end time* dengan nilai 5000 jam sudah dipertimbangkan cukup untuk mendapatkan nilai *limiting state availability* dari sistem.

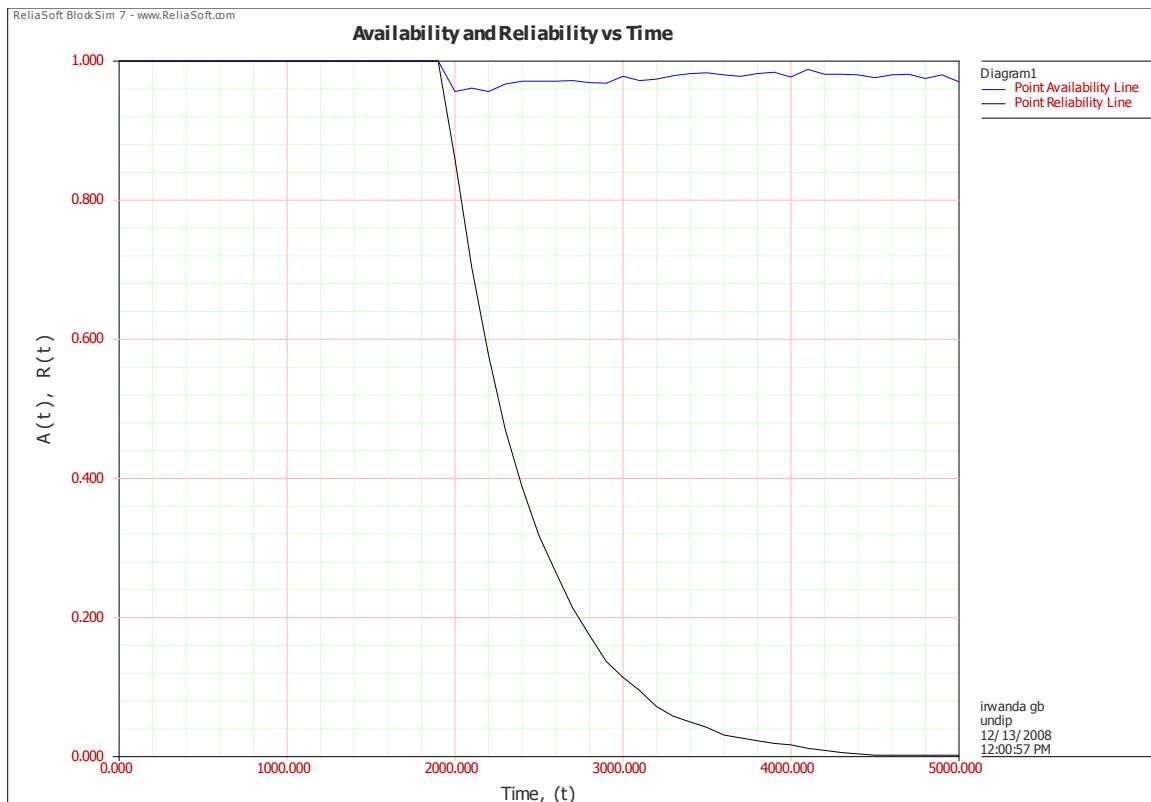
Agar simulasi yang dilakukan menghasilkan hasil yang akurat, maka simulasi untuk mendapatkan indeks *Availability* perlu dilakukan berulang – ulang dan hasil indeks *Availability* yang diharapkan merupakan rata – rata dari seluruh hasil simulasi yang dilakukan. Seribu kali simulasi untuk mendapatkan satu nilai indeks *Availability* untuk masing – masing interval waktu misi

dipertimbangkan sudah cukup untuk mendapatkan hasil yang valid.

Proses Simulasi dan hasil simulasi

Setelah semua parameter simulasi diisi, proses simulasi dapat dimulai. Tabel 5 menunjukkan

ringkasan dari hasil simulasi yang telah dilakukan dan grafik 5 dibawah menunjukkan grafik *Availability* dan *Reliability* terhadap waktu pada sistem bahan bakar.



Gambar 5. Grafik *Availability* dan *Reliability* sistem bahan bakar KM. Leuser terhadap waktu

Tabel 5. Hasil simulasi sistem bahan bakar

Simulation Summary				
Number of simulation				1000
End Time				5000
General Summary				
Mean Availability		0.9839		
Point Availability (All Events) at 5000		0.97		
Reliability(5000)		0.002		
MTTF		2423.8363		
System Summary				
Uptime		4919.7083		
Total Downtime		82.2917		
Blok Summary				
Block Name	Block Part Number	Mean Availability	Expected number of failure	Block Downtime
Storage Tank	1111	0.9960	0.872	19.7563
Transfer Pump I	1131	0.9928	7.997	36.199
Transfer Pump II	1132	0.9932	7.512	33.986
Settling Tank	1112	0.9959	0.906	20.6205
Separator I	1121	0.994	5.002	29.9524
Separator II	1122	0.9944	4.743	28.113
Daily Tank	1113	0.9959	0.891	20.5207
Filter I	1123	0.9894	17.341	52.8656
Filter II	1124	0.9897	16.846	51.4873
Balance Tank	1114	0.9961	0.848	19.3943
Booster Pump I	1133	0.9928	7.995	36.2102
Booster Pump II	1134	0.9933	7.392	33.4999

Simulasi dengan berbagai skenario sebagai alternatif

Proses simulasi sebelumnya merupakan hasil simulasi sistem bahan bakar dengan seluruh komponen berada pada kondisi normal atau *active* tanpa ada komponen yang mengalami *down* baik komponen tersusun secara seri ataupun tersusun secara *standby*. Pada komponen tersusun secara *standby*, komponen yang berada dalam keadaan *standby* dan siap akan mengambil alih ketika komponen normal atau komponen utama mengalami kegagalan. Dari keterangan diatas dapat diambil kesimpulan bahwa komponen tersusun secara *standby* memiliki tiga kondisi dalam operasionalnya yaitu kondisi kedua komponen *standby* tidak ada yang gagal, salah satu komponen gagal dan kedua komponennya gagal. Dari penjelasan diatas maka perlu adanya skenario sebagai alternatif apabila salah satu komponen yang berada pada kondisi *standby* ini mengalami *down* setelah kegagalan yang pertama.

Skenario alternatif yang dapat dilakukan ditunjukkan pada tabel 6 dibawah ini :

Tabel 6. Skenario alternatif per kondisi komponen standby sistem bahan bakar KM. Leuser

ID	SKENARIO															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1132	o	x	o	o	x	x	x	o	o	x	x	x	x	o	x	
1122	o	o	x	o	o	x	o	o	x	x	o	x	x	o	x	x
1124	o	o	o	x	o	o	x	o	x	o	x	x	o	x	x	x
1134	o	o	o	o	x	o	o	x	o	x	x	o	x	x	x	x

Keterangan :

o = komponen active

x = komponen down

1132 = Transfer pump II (standby)

1122 = Separator II (standby)

1124 = Filter II (standby)

1134 = Booster pump II (standby)

Skenario 1 (satu) telah dilakukan pada simulasi sebelumnya. Berbagai skenario pada skenario dilakukan simulasi sistem dengan isian parameter seperti pada perhitungan sebelumnya yaitu *end time* 5000 jam dan 1000 kali simulasi. Maka hasil simulasi dapat dirangkum pada tabel 7 dibawah ini :

Tabel 7. Hasil simulasi skenario alternatif sistem bahan bakar KM. Leuser

Skenario	Point Availability	Reliability (5000)	MTTFF	Uptime	Total Downtime
1	0.970	0.002	2423.8363	4919.7083	82.2917
2	0.969	0	937.2400	4858.5837	141.4163
3	0.955	0	1477.8066	4872.2772	127.7228
4	0.946	0	432.3496	4826.9291	173.0709
5	0.961	0	944.1871	4861.4164	138.5836
6	0.954	0	938.8693	4817.3034	182.6966
7	0.944	0	434.5519	4770.6337	229.3663
8	0.953	0	915.1162	4804.2114	195.7886
9	0.944	0	433.0546	4784.3975	215.6025
10	0.954	0	940.9232	4818.7222	181.2778
11	0.951	0	433.4038	4768.9172	231.0828
12	0.935	0	433.0610	4727.7772	272.2228
13	0.937	0	914.6668	4761.7584	238.2416
14	0.932	0	432.5871	4714.8760	285.124
15	0.934	0	432.8514	4728.6576	271.3424
16	0.893	0	434.3587	4674.5281	325.4719

3. Pembahasan

Analisa kualitatif dengan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Setelah dilakukan analisa dengan metode FMEA seperti yang dijelaskan diatas maka hasil analisa dapat dibahas sebagai berikut :

- Pada tabel Criticality matrix (Gambar 2) menjelaskan bahwa dengan mengombinasi *severity classification* dan *failure probability* maka dapat ditentukan kekritisan komponen dari sistem. Pembacaan matrik dimulai dari sudut kiri bawah (*low*) dan berakhir pada sudut kanan atas (*increasing criticality*) yang menunjukan bahwa semakin kekanan atas kekritisan komponen semakin meningkat. Sehingga dapat disimpulkan bahwa komponen paling kritis adalah komponen *Filter, Separator, Transfer Pump* dan *Booster Pump*.

Analisa kualitatif dengan metode Fault Tree Analysis (FTA)

Dengan menganalisa sistem menggunakan metode FTA dan dilanjutkan dengan penentuan *minimal cut set* dengan metode Mocus, dihasilkan *minimal cut set* sistem bahan bakar yaitu komponen {Storage Tank}, {Transfer Pump 1, Transfer Pump 2}, {Settling Tank}, {Separator 1, Separator 2}, {Day Tank}, {Filter 1, Filter 2}, {Balance Tank}, dan {Booster Pump 1, Booster Pump 2}.

Berdasarkan analisa *minimal cut set* diatas dapat dinyatakan sebagai berikut :

1. Bila melihat dari skema aliran bahan bakar KM. Leuser, maka komponen-komponen *first order* mempunyai susunan secara seri didalam sistem, sehingga hanya diperlukan satu komponen gagal agar sistem tersebut mengalami kegagalan. Untuk itu perlu dilakukan dengan baik dan teratur terhadap komponen yang termasuk pada *first order* yaitu *storage tank, settling tank, day tank* dan *balance tank*. Karena jika komponen tersebut gagal maka sistem akan gagal menjalankan fungsinya.
2. Komponen yang termasuk *second order* yaitu komponen *transfer pump, separator, filter* dan *booster pump* merupakan komponen-komponen yang tersusun secara *standby*. Komponen yang tersusun secara *standby* diperlukan dua komponen gagal untuk menyebabkan sistem mengalami kegagalan.

Analisa kuantitatif dengan Simulasi Monte Carlo menggunakan program aplikasi Blocksim 7.0.6

Evaluasi sistem bahan bakar dengan Simulasi Monte Carlo menggunakan program aplikasi Blocksim 7.0.6 diperoleh hasil seperti pada lampiran D (Hasil Simulasi Monte Carlo) dan telah dirangkum pada table diatas dari hasil tersebut maka dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Berdasarkan hasil simulasi bahwa dengan pengoperasian sistem bahan bakar selama 5000 jam secara kontinyu didapatkan nilai rata-rata ketersediaan 0.97 yang berarti bahwa 97 % sistem bahan bakar dapat beroperasi dengan baik selama 5000 jam operasi. Nilai keandalan (*reliability*) sistem pada *end time* 5000 jam adalah 0.002 hal ini berarti bahwa seiring bertambahnya waktu dalam pengoperasian sistem bahan bakar maka nilai keandalannya akan semakin berkurang. [Irwanda, 2008]
- Nilai MTTFF (*mean time to first failure*) pada *end time* 5000 jam adalah 2423.8363 dengan demikian dapat diartikan bahwa sistem bahan bakar akan mengalami kegagalan pertama kali pada saat sistem telah beroperasi selama 2423.8363 jam pada *end time* 5000 jam. Oleh karena itu untuk menjaga keandalan sistem maka sebelum memasuki waktu operasional pada 2423.8363 jam harus dilakukan perawatan

- preventif (pencegahan) terhadap sistem. [Irwanda, 2008].
- Pada kolom *Block summary* pada tabel 4.6 menunjukkan bahwa nilai rata-rata ketersediaan komponen paling sedikit yaitu filter I dengan ketersediaan 0.9894 dari pengoperasian sistem selama 5000 jam. Jumlah kegagalan komponen terjadi paling besar yaitu 17.341 kali kegagalan pada operasi 5000 jam dan mengalami waktu *down time* terlama yaitu 52.8656 jam. [Irwanda, 2008].
 - Pada grafik *Availability* dan *Reliability* terhadap waktu menunjukkan bahwa nilai keandalan sistem akan semakin berkurang mendekati nilai nol seiring bertambahnya waktu pengoperasian. Sedangkan nilai *availability* terhadap waktu tertentu akan berkurang oleh karena itu untuk menjaga nilai ketersediaan sistem maka dilakukan perawatan pada komponen sistem dengan memasukkan parameter distribusi *time to repair*. Dengan adanya perawatan pada komponen sistem bahan bakar maka walaupun nilai keandalan sistem berkurang tetapi sistem masih memiliki ketersediaan untuk tetap beroperasi. [Irwanda, 2008].
 - Pada hasil simulasi dengan berbagai skenario sebagai alternatif maka sistem memiliki ketersediaan terendah 0.893 pada operasional sistem selama 5000 jam, hal ini terjadi pada skenario ke 16 dengan kondisi seluruh komponen *standby down* pada salah satu komponennya. Semakin banyak komponen down pada salah satu komponen yang tersusun secara *standby* pada sistem maka ketersediaan sistem akan semakin berkurang. [Irwanda, 2008].

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan pembahasan sistem bahan bakar motor induk KM. Leuser baik dengan analisa kualitatif maupun kuantitatif dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem bahan bakar memiliki komponen kritis yaitu *filter*, *separator*, *transfer pump*, dan *booster pump*. Level kekritisan komponen ini ditinjau dari peningkatan *probability* dan *severity* kegagalan komponen pada sistem hasil evaluasi dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA).
2. Sistem akan berhenti atau gagal menjalankan fungsi jika terjadi kegagalan pada salah satu komponen *storage tank*, *settling tank*, *day tank*, *balance tank* atau kedua komponen *transfer pump*, *separator*, *filter*, *booster pump* gagal bersamaan. Komponen-komponen tersebut berada dalam *first order* dan *second order* dari evaluasi *Fault Tree Analysis* (FTA).
3. Dengan melakukan simulasi pada sistem selama 5000 jam secara kontinyu dan dilakukan sebanyak 1000 kali :

- a. Sistem bahan bakar KM. Leuser memiliki availability (ketersediaan) 0.97. Hal ini berarti bahwa 97 % sistem tersebut dalam kondisi baik dan 3 % berada dalam kondisi reparasi pada operasional sistem selama 5000 jam.
- b. Indeks MTTFF (*mean time to first failure*) menunjukkan perkiraan kegagalan sistem bahan bakar pertama kali yaitu pada jam operasi 2423.8363 jam sistem akan mengalami kegagalan. Hal ini berarti sebelum jam kegagalan harus diadakan kegiatan perawatan dan memastikan komponen dalam keadaan baik sebelum start.
- c. Dengan melakukan simulasi dari skenario kejadian kegagalan pada tiap komponen *standby* maka nilai ketersediaan sistem terendah dihasilkan jika seluruh komponen *standby* mengalami kegagalan pada salah satu komponennya. Hal ini berarti bahwa ketersediaan sistem akan semakin berkurang jika semakin banyak komponen *standby* mengalami kegagalan pada salah satu komponennya.

SARAN

1. Pada komponen kritis sistem bahan bakar yaitu *Transfer pump*, *Separator*, *Filter*, *Booster pump* perlu diberikan perhatian lebih pada penjadwalan perawatan terhadap komponen sistem dengan memberikan prioritas tertinggi pada komponen yang kritis.
2. Untuk menjaga ketersediaan sistem maka perlu dilakukan perawatan preventif (pencegahan) dan perawatan korektif (perbaikan) sebelum sistem mencapai nilai MTTFF (*mean time to first failure*) yaitu pada saat sistem beroperasi selama 2423.8363 jam.
3. Disarankan kepada perusahaan pemilik kapal untuk dapat mendata dengan baik waktu dan jumlah perbaikan maupun kerusakan setiap komponen dalam suatu sistem dalam periode tertentu, sehingga perilaku sistem yang ada diatas kapal dapat diprediksi serta selalu memperhatikan segi perawatan atau pemeliharaan komponen pada setiap sistem yang ada diatas kapal, karena hal tersebut sangat menentukan keandalan dari suatu kapal.

DAFTAR PUSTAKA

- Billinton. R. and Ronald N. Allan [1992], *Reliability Evaluation of Engineering System Concepts and Technique*. 2nd edition. Plenum Press, New York and London.
 Ebeling.E. Charles. [1997], *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*, The Mc Graw-Hill Companies, Inc.

- Dhillon, B. S. [2004]. *Reliability, Quality, and Safety for Engineers*. CRC Press, Washington DC, USA.
- Griya Bhakti, Irwanda. [2008]. *Analisa Keandalan Sistem Bahan Bakar Motor Induk Pada KM*. Leuser. Skripsi. Teknik Perkapalan FT-UNDIP. Semarang
- Hecht, Herbert. [2004]. *System Reliability and Failure Prevention*. Artech House, Boston, London.
- Mobley, E. Keith. [2008]. *Maintenance Engineering Handbook*, 7th edition, Mc Graw Hill, USA.
- Pham, Hoang. [2003]. *Handbook of Reliability Engineering*. Rutgers University Piscataway, New Jersey, USA.
- Priyanta, Dwi . [2000], *Keandalan dan Perawatan*, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Noverember, Surabaya.
- Reliasoft Corporation. [2006]. *Reliasoft's XFMEA version 4*. Reliasoft Plaza, Tucson, AZ, USA.
- Reliasoft Corporation. [2007]. Reliasoft's Blocksim 7. Reliasoft Plaza, Tucson, AZ, USA.
- www.migas-indonesia.com. Rangkuman Diskusi KBK Reliability. Diakses pada tanggal 11 Oktober 2008 pukul 00.30 wib
- Yang, Guangbin. [2007]. *Life Cycle Reliability Engineering*, Jhon Willy & Son, inc, Hoboken, New Jersey.