

ANALISA PERAWATAN BERBASIS KEANDALAN PADA FUEL OIL SYSTEM KM. BUKIT SIGUNTANG DENGAN METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM)

Martinus Arfendo Waroy. , Untung Budiarto , Kiryanto
Progam Studi S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Indonesia
Email : martinus.arfendo@yahoo.com

Abstrak

Meningkatnya jumlah kapal yang beroperasi menuntut pemilik untuk meningkatkan ketersediaan kapal. Salah satu cara untuk meningkatkan ketersediaan kapal adalah meningkatkan keandalan melalui upaya perawatan. Jika perawatan tidak dilakukan secara berkelanjutan, akan ada penurunan kinerja pada salah satu sistem kapal dan dapat berdampak ke sistem lainnya. Salah satu sistem yang kritis dari sistem pendukung motor induk kapal adalah fuel oil system. Oleh karena itu untuk mengantisipasi kegagalan pada *fuel oil system* ini dapat dilakukan dengan cara analisa keandalan. Pelaksanaannya dengan cara mengidentifikasi bagaimana *fuel oil system* tersebut dapat mengalami kegagalan dan konsekuensi dari kejadian tersebut. Analisis sistem menggunakan metode analisa kualitatif dan kuantitatif. Analisa kualitatif dilakukan dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* dan *Fault Tree Analysis (FTA)*. Analisis kuantitatif dilakukan dengan simulasi Monte Carlo. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat kekritisan dan probabilitas kegagalan pada sistem bahan bakar yaitu filter. Pada Simulasi diperoleh nilai ketersediaan sebesar 0,91 dan nilai *MTTFF (Mean Time to First Failure)* sebesar 4570,9555 jam. Dengan melakukan simulasi sistem dalam beberapa skenario, dapat dilihat ketersediaan sistem akan mengalami penurunan jika semakin banyak komponen *standby* mengalami kegagalan.

Kata kunci: Ketersediaan, Keandalan, RCM, FMEA, FTA.

1. PENDAHULUAN

Sebuah kapal yang dibangun oleh para insinyur profesional harus bisa dipertanggungjawabkan mulai dari proses perencanaan, desain, pembuatan dan pengoperasiaanya. Sehingga apabila terjadi kerusakan pada salah satu sistem dari kapal tersebut maka dampak yang muncul mulai dari hal yang mengganggu bahkan sampai membahayakan telah dianalisa atau diperhitungkan dari segi keamanan atau keandalan pada sistem dari kapal tersebut.

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

Perawatan sebuah kapal merupakan hal yang tidak bisa diabaikan karena apabila hal tersebut tidak dilakukan secara berkelanjutan maka akan terjadi penurunan kinerja pada salah satu sistem dari kapal tersebut dan dapat berdampak ke sistem yang lainnya. Salah satu sistem yang kritis dari sistem pendukung motor induk kapal adalah *fuel oil system*. Dalam Tugas Akhir ini penelitian difokuskan pada *fuel oil system*. Obyek penelitian ini adalah kapal penumpang KM. Bukit Siguntang. Kapal tersebut adalah milik PT. PELNI dan sudah beroperasi sejak tahun 1995 hingga sekarang. Instalasi *fuel oil system* pada kapal KM. Bukit Siguntang dapat diartikan 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.

Oleh karena itu untuk mengantisipasi kegagalan pada *fuel oil system* ini dapat dilakukan dengan cara analisa keandalan. Pelaksanaannya dengan cara mengidentifikasi bagaimana *fuel oil system* tersebut dapat mengalami kegagalan dan konsekuensi dari kejadian tersebut. Evaluasi keandalan ini akan dilaksanakan dengan cara analisa secara kualitatif dan kuantitatif dari sistem tersebut dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)*.

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Obyek Penelitian adalah *fuel oil system* pada KM. Bukit Siguntang.
2. Pada penelitian ini tidak dilakukan perhitungan biaya hasil perhitungan analisa keandalan *fuel oil system* KM. Bukit Siguntang.
3. Data kegagalan komponen diambil pada kapal penumpang KM Bukit Siguntang pada bulan Mei 2014 - Mei 2015
4. Analisa keandalan *fuel oil system* tidak memperhitungkan pengaruh kesalahan pengguna dan pengaruh alam yang tidak diinginkan.

Selain itu penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui komponen apa saja yang menyebabkan kegagalan dari *fuel oil system* KM. Bukit Siguntang.
2. Mengetahui komponen yang paling kritis yang mempengaruhi kegagalan *fuel oil system* KM. Bukit Siguntang.
3. Menghitung MTTF (*mean time to first failure*) *fuel oil system* pada KM. Bukit Siguntang periode waktu tertentu.
4. Menghitung indeks ketersediaan (*availability*) *fuel oil system* pada periode waktu tertentu.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu diantaranya :

- Memberikan informasi tingkat keandalan dan ketersediaan *fuel oil system* pada KM. Bukit Siguntang pada periode waktu tertentu.

- Memberikan informasi tentang penyebab dan dampak terjadinya kegagalan komponen serta pengaruhnya terhadap kondisi operasi *fuel oil system*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Menurut Charles E. Ebeling (1997) *Reliability* didefinisikan sebagai probabilitas bahwa sistem (komponen) akan berfungsi selama beberapa periode waktu t . Untuk menggambarkan hubungan ini secara matematis kita mendefinisikan variable acak T menjadi waktu untuk kegagalan sistem (komponen) ;

$T \geq 0$. Kemudian keandalan dapat dinyatakan sebagai berikut (Ebeling, 1997) :

$$R(t) = \Pr\{T \geq t\}$$

Dimana :

$$R(t) \geq 0, R(0) = 1 \text{ dan } \lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$$

$R(t)$ = Probabilitas waktu kegagalan dimana nilainya lebih besar atau sama dengan t .

Aplikasi sistem *reliability* untuk bidang perkapalan lebih banyak dipakai untuk mengevaluasi desain yang sudah ada dan hasil evaluasi ini dipakai sebagai *input* untuk menerapkan strategi perawatan kapal. Schulkins [1995] secara formal telah mengajukan proposal untuk memakai teknik *reliability centered maintenance (RCM)* untuk diaplikasikan pada kapal-kapal komersial (*commercial shipping*). Konsep RCM telah memberikan suatu teknik perawatan yang *cost effective* dan memberikan jaminan standard kualitas pengoperasian kapal.

Analisa Kualitatif

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

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

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

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

Dengan menggunakan metode FMEA, dapat dilakukan pencegahan terjadinya kegagalan dalam produk atau proses, sejak dari tahap awal. FMEA merupakan salah satu langkah *quality management* sekaligus *risk management*. Hasilnya tidak hanya menurunkan risiko kegagalan, melainkan juga meningkatkan kualitas dari produk/proses.

Fault Tree Analysis (FTA).

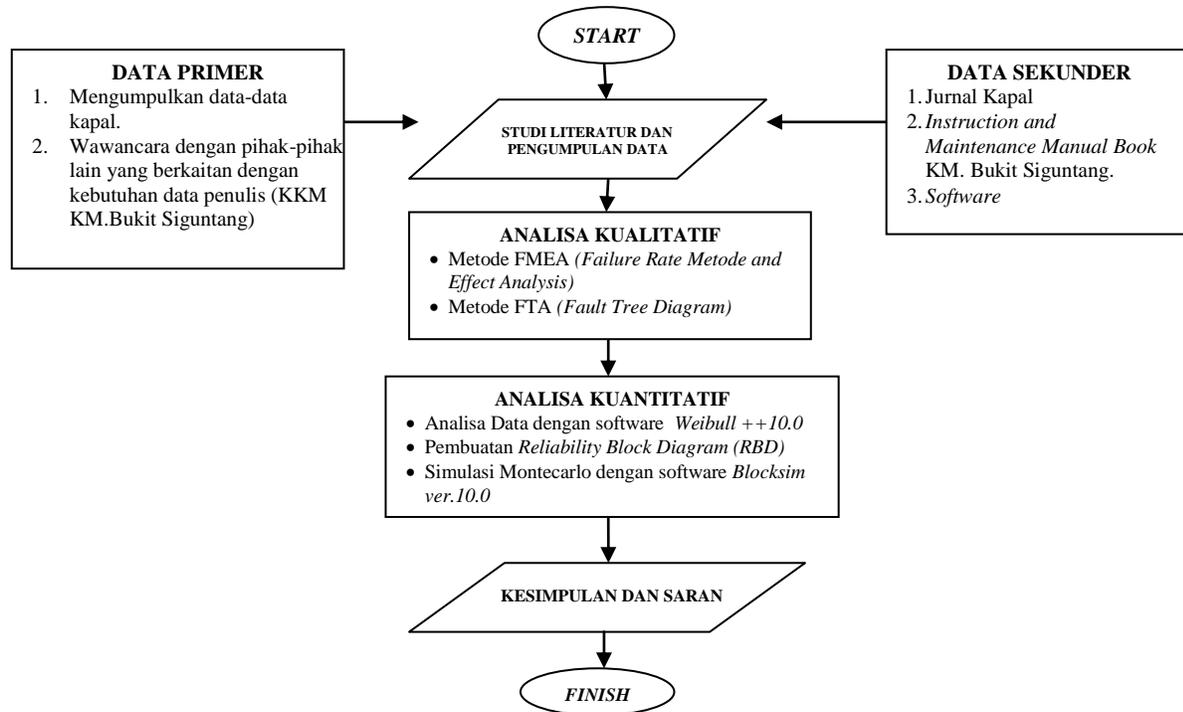
Fault Tree Analysis (FTA) adalah sebuah metode untuk mengidentifikasi kegagalan

(*failure*) dari suatu sistem, baik yang disebabkan oleh kegagalan komponen atau kejadian kegagalan lainnya secara bersama-sama atau secara individu. Setiap sistem rekayasa biasanya memiliki beberapa moda kegagalan (*failure mode*). Hubungan logis antara sebuah moda kegagalan sistem yang dikenal sebagai *Top event* dan sebab-sebab kegagalan dasar (*Basic event*) yang juga dikenal sebagai *Prima event*, digambarkan secara grafis dalam metode *Fault Tree Analysis* (FTA).

Beberapa tahapan yang harus dilakukan untuk sebuah FTA yaitu :

- Mendefinisikan problem dan *boundary condition* dari sistem.
- Pengkonstruksian *Fault tree*.
- Mengidentifikasi minimal *cut set* atau minimal *path set*.
- Analisa kualitatif dan kuantitatif dari *Fault tree*

III. METODOLOGI PENELITIAN



3.1. Pengumpulan Data

Untuk mengevaluasi keandalan suatu sistem diperlukan design sistem atau design awal. Design awal yang dimaksud dalam penelitian ini adalah design *fuel oil system* motor induk kapal KM. Bukit Siguntang. Dengan adanya design awal *fuel oil system* maka dapat diketahui komponen yang digunakan pada *fuel oil system*. Selain itu data jam operasional sistem pada saat sistem mengalami waktu kegagalan dan reparasi atau perawatan selama periode waktu tertentu guna pengevaluasian keandalan *fuel oil system*. Dalam hal ini pengambilan data berupa jam operasi dan waktu reparasi tiap komponen *fuel oil system* dibatasi dari bulan Mei 2014 sampai Mei 2015. Data tersebut diambil dari buku *Maintenance Report* KM. Bukit Siguntang sedangkan untuk data spesifikasi kapal dan komponen sistem diambil dari buku *Instruction and Maintenance Manual* dan *TSAR Maintenance System* KM. Bukit Siguntang

3.2. Analisa Kualitatif

Analisa sistem sistem bahan bakar KM. Bukit Siguntang 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*).

Dalam penelitian ini, proses pengerjaan FMEA dilakukan dengan menginput data-data ke dalam software XFMEA 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. .

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*

3.3. Analisa Kuantitatif

Evaluasi sistem sistem bahan bakar KM. Bukit Siguntang 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*) 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 ++ 10.0*.

Simulasi Montecarlo

Simulasi montecarlo bertujuan untuk mendapatkan gambaran tentang pengaruh waktu kegagalan dan perbaikan komponen untuk mendapatkan ketersediaan komponen atau sistem. Simulasi yang dilakukan terhadap waktu kegagalan (*TTF*) suatu komponen atau sistem. Pada penyelesaian analisa kuantitatif ini menggunakan program aplikasi (*software*) *BlockSim Ver 10.0* yang bertujuan untuk memprediksi nilai *Reliability* dan *Availability* Sistem. Program *BlockSim* menggunakan teknik Simulasi Montecarlo ini juga bertujuan untuk memprediksi performance sistem dan komponen

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pengoperasian kapal secara optimal sesuai dengan fungsinya sangat didukung oleh kinerja seluruh sistem yang ada pada kapal tersebut. Salah satu sistem penunjang yang penting dalam kapal adalah sistem bahan bakar. Sistem ini merupakan sistem penunjang *main engine* yang berfungsi sebagai penggerak utama kapal. Agar sistem bahan bakar pada kapal dapat bekerja secara optimal maka diperlukan pemeliharaan secara optimal pula pada setiap komponen yang ada di dalam sistem tersebut agar dapat mengurangi terjadinya kegagalan.

Apabila terjadi kegagalan pada salah satu komponen sistem bahan bakar akan menghambat kinerja dari main engine dan dapat berdampak pada semua sistem yang ada didalam kapal tersebut. Bahkan bisa berdampak pada keselamatan penumpang dan muatan yang ada didalam kapal tersebut. Oleh karena itu faktor keandalan dari setiap komponen atau sistem harus diperhatikan dengan baik.

Analisa keandalan setiap komponen pada sistem bahan bakar merupakan hal yang perlu dilakukan guna mengidentifikasi bagaimana sistem tersebut mengalami kegagalan dengan memperhatikan berbagai mode dan pengaruh kegagalan komponen terhadap sistem bahan bakar. Analisa keandalan sistem bahan bakar sendiri dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Analisa keandalan secara kualitatif

dilakukan dengan metode *FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)* dan *FTA (Fault Tree Analysis)*. Sedangkan analisa sistem secara kuantitatif dilakukan dengan cara memodelkan sistem ke dalam bentuk *RBD (Reability Block Diagram)* dan dilanjutkan dengan Simulasi Montecarlo.

4.1. Komponen Sistem Bahan Bakar

Definisi dari sistem bahan bakar adalah sistem yang berfungsi untuk mensuplai bahan bakar yang berasal dari storage tank menuju *main engine*. Berikut merupakan komponen yang ada pada sistem bahan bakar antara lain *storage tank, transfer pump, settling tank, separator, dailiy tank, filter, balance tank, booster pump*, kemudian menuju *main engine*. KM. Bukit Siguntang merupakan kapal penumpang yang menggunakan mesin diesel 4 tak dengan bahan bakar Marine Diesel Fuel. Berikut merupakan fungsi masing masing komponen pada sistem bahan bakar :

1. *Tanki Penyimpanan (Storage Tank)*
Merupakan tempat penyimpanan bahan bakar awal sebelum di suplai ke settling tank.
2. *Transfer Pump*
Merupakan pompa yang berfungsi untuk memindahkan bahan bakar dari storage tank menuju settling tank. pada kapal ini terdapat dua buah transfer pump yang disusun secara *standby*.
3. *Settling Tank*
Tanki yang digunakan sebagai tempat pengendapan kandungan air dan kotoran yang terdapat pada bahan bakar.
4. *Separator*
Separator merupakan komponen yang berfungsi untuk membersihkan dan memurnikan bahan bakar dari pengaruh kandungan air dan kontaminasi partikel padat. Terdapat dua buah separator yang dipasang secara *standby*.
5. *Daily Tank*
Merupakan tanki yang berfungsi untuk tempat penyimpanan bahan bakar yang siap disuplai ke *main engine*.

6. Filter

Komponen yang berfungsi untuk menyaring bahan bakar dari *daily tank* agar bahan bakar yang disuplai ke *main engine* benar benar bersih. Terdapat dua buah filter yang dipasang secara *standby*.

7. Balance Tank

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

8. Booster Pump

Merupakan pompa yang berfungsi untuk meompa bahan bakar yang berasal dari *balance tank* menuju *main engine*. Terdapat dua buah *Booster pump* yang dipasang secara *standby*.

4.2. Prinsip Kerja Sistem Bahan Bakar

Prinsip kerja Sistem bahan bakar pada KM. Bukit Siguntang adalah sebagai berikut : bahan bakar dari *storage tank* dipindahkan ke *settling tank* dengan bantuan *transfer pump*. Di dalam *settling tank* bahan bakar diendapkan dari air dan kotoran padat. Setelah diendapkan bahan bakar dialirkan menuju *daily tank* dengan menggunakan *separator*. Melalui *separator* bahan bakar dimurnikan dan dibersihkan terlebih dahulu dari kandungan air dan kontaminasi kandungan partikel padat. Selanjutnya setelah

berada di dalam *daily tank* bahan bakar dipindahkan menuju *balance tank*. Sebelum menuju *balance tank* bahan bakar disaring dan dibersihkan menggunakan *filter* yang disusun secara *standby*. Selanjutnya bahan bakar yang berada didalam *balance tank* akan dipompa menggunakan *booster pump* untuk disuplai ke *main engine*. Demikian prinsip kerja sistem bahan bakar KM. Bukit Siguntang.

4.3. Analisa Kualitatif

Analisa kuantitatif keandalan sistem bahan bakar KM Bukit Siguntang dilakukan dengan metode *FMEA* (*Failure Mode and Effect Analysis*) dan metode *FTA* (*Fault Tree Analysis*)

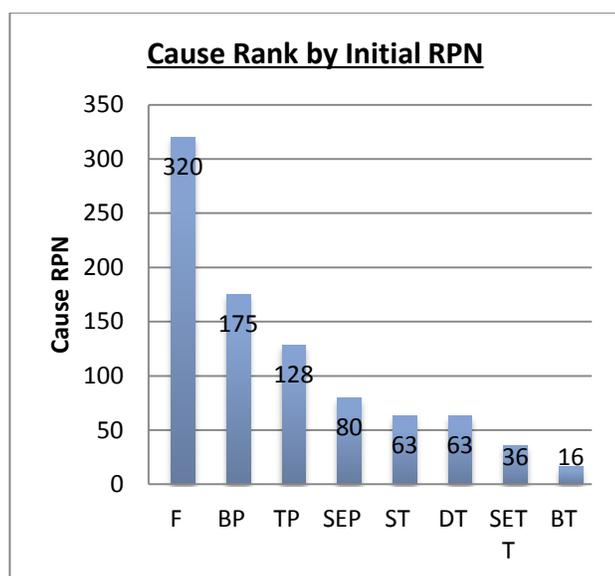
Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Tujuan dari *FMEA* adalah mendapatkan komponen yang paling kritis terhadap kegagalan sistem bahan bakar. Didalam metode *FMEA* ini hal-hal yang harus dilakukan adalah mereview berbagai komponen, subsistem dan juga mengidentifikasi mode-mode kegagalan, penyebab kegagalan serta efek dan dampak dari kegagalan yang ditimbulkan. Berbagai mode kegagalan beserta dampaknya dapat dituliskan dalam sebuah *worksheet FMEA* untuk masing masing komponen. Melalui kegagalan ini kita dapat mengetahui nilai *RPN* dan dapat menentukan komponen kritis dalam sistem bahan bakar. Untuk analisa kuantitatif dengan metode *FMEA* dilakukan dengan menggunakan software *XFMEA*.

Tabel 2 *FMEA Sistem Bahan Bakar KM. Bukit Siguntang*

Item	Function	Failure	Effect	Cause
STORAGE TANK	tangi induk dari keseluruhan bahan bakar yang dibutuhkan motor induk selama berlayar	sering terjadinya kebocoran atau rembesan pada dinding tanki	bahan bakar tumpah dan menyebabkan mesin bekerja tidak optimal	korosi yang tidak segera di tangani sehingga dapat menyebabkan kebocoran pada tanki
		sering terjadi pengendapan kotoran	terjadinya penyumbatan pada saluran pipa sehingga meyebabkan bahan bakar tidak dapat disalurkan secara optimal	pengendapan partikel partikel dari bahan bakar yang sudah lama tidak dibersihkan
TRANSFER PUMP	pompa yang berfungsi untuk mengalirkan bahan bakar yang berasal dari storage tank ke settling tank	penyumbatan pada transfer pump	bahan bakar tidak dapat dialirkan secara optimal	kotoran dari storage tank
		misalignment coupling pada transfer pump	terjadi kelonggaran pada sambungan coupling	getaran dari mesin kapal yang terlalu kuat
		kebocoran pada mechanical seal	pompa tidak dapat bekerja secara maksimal	kontak panas dan korosi

		keausan pada greas bearing	pompa tidak dapat berjalan secara optimal	pelumasan yang kurang
SETTLING TANK	tanki yang berfungsi sebagai tempat untuk mengendapkan kotoran dan air yang ikut terbawa oleh bahan bakar	pengendapan kotoran yang berlebihan	pengendapan yang berlebihan dapat menyumbat saluran bahan bakar	partikel / kotoran yang mengendap terus menerus pada tanki
		kebocoran pada tanki	bahan bakar tumpah dan menyebabkan tanki tidak berfungsi secara optimal	korosi yang tidak segera di tangani
SEPARATOR	memisahkan bahan bakar dengan air dan bahan bakar yang bersih dialirkan ke service tank sedangkan kotoran dan air disalurkan ke sludge tank.	terjadi penyumbatan	bahan bakar tidak dapat di distribusikan secara maksimal	kotoran tidak berhasi di saring
		kebocoran yang terjadi pada tanki	bahan bakar tumpah dan mesin tidak dapat bekerja secara optimal	korosi yang tidak segera di tanggulangi
DAILY TANK	tanki yang berfungsi untuk menampung bahan bakar yang telah siap untuk di suplai ke main engine	pengendapan kotoran pada tanki	kapasitas tanki menjadi tidak optimal karena terdapat kotoran di dalam tanki tersebut	pengendapan sisa sisa partikel / kotoran dari bahan bakar
		Penyumbatan filter	bahan bakar tidak dapat dialirkan ke main engine	penyumbatan oleh kotoran / partikel dari bahan bakar
FILTER	berfungsi untuk menyaring bahan bakar dari kotoran dan selanjutnya di salurkan ke Main Engine	kebocoran pada filter	bahan bakar tumpah dan tidak dapat disalurkan secara optimal ke main engine	usia komponen yang sudah lama
BALANCE TANK	Pembuangan bahan bakar akhir dan sebagai over flow bahan bakar dari main engine	pengendapan kotoran / partikel balance tank	bahan bakar tidak dapat tersalurkan secara optimal	partikel partikel dari bahan bakar
		penyumbatan pada booster pump	bahan bakar tidak dapat dialirkan secara optimal	partikel / kotoran yang terdapat pada bahan bakar
BOOSTER PUMP	pompa yang berfungsi untuk mengalirkan bahan bakar yang berasal dari Daily Tank ke Main Engine	missalignment coupling bosster pump	terjadi kelonggaran pada sambungan coupling	getaran dari mesin kapal
		kebocoran pada mechanical seal	bahan bakar tidak dapat disalurkan	korosi dan suhu
		penyetelan / penggantian seal Booster Pump	untuk merawat pompa	komponen dari pompa yang harus di ganti karena sudah rusak



Gambar 1 Grafik Cause Ranked by Initial RPN Sistem Bahan Bakar KM. Bukit Siguntang

Pada grafik Cause Ranked by Initial RPN dapat ditentukan komponen yang paling kritis. Berikut urutan tingkatan komponen dari yang paling kritis dilihat dari nilai RPN berdasarkan penyebab kerusakan komponen:

ID	KOMPONEN	RPNi
F	Filter	320
BP	Booster Pump	175
TP	Transfer Pump	128
SEP	Separator	80
ST	Storage Tank	63
DT	Daily Tank	63
SET T	Settling Tank	36
BT	Balance Tank	16

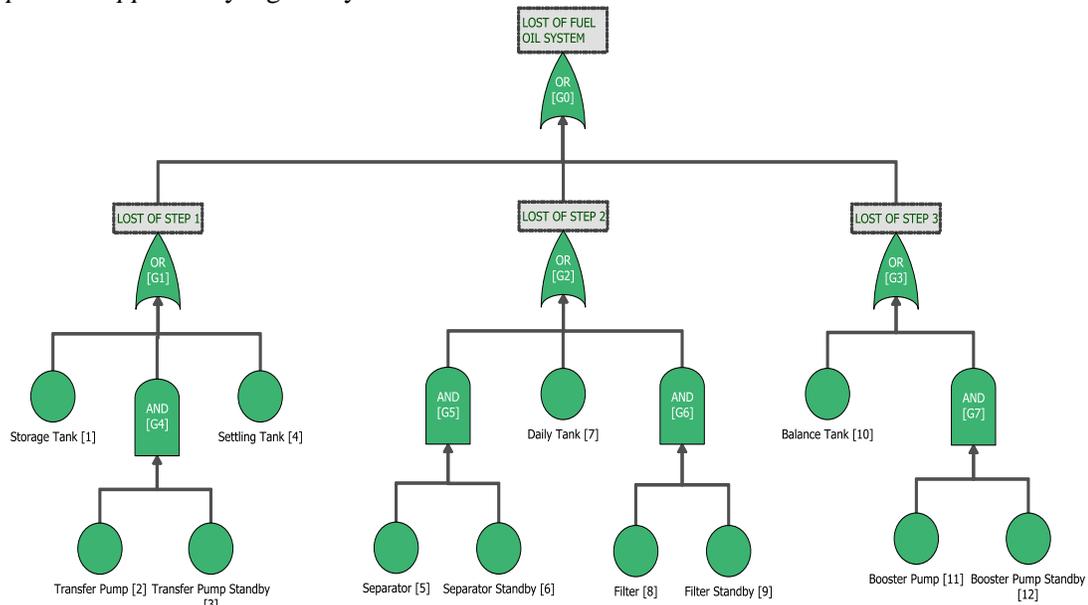
Berdasarkan hasil RPN di atas dapat diambil kesimpulan Filter merupakan komponen yang paling kritis karena memiliki nilai RPN yang paling tinggi.

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. Setiap sistem rekayasa biasanya memiliki beberapa mode kegagalan (*failure mode*). Hubungan logis antara sebuah mode kegagalan sistem yang dikenal sebagai *top event* dan sebab-sebab kegagalan dasar (*basic event*) yang juga dikenal sebagai *prima event*, digambarkan secara grafis dalam metode *Fault Tree Analysis (FTA)*.

Proses pengkonstruksian fault tree ini bersifat *top-down approach* yang artinya analisa

diawali dengan mengidentifikasi sebab-sebab terjadinya *top event* dari level tertinggi sampai pada urutan level terendah yang bisa diidentifikasi dengan menggunakan simbol seperti AND dan OR. Gerbang AND menyatakan bahwa semua kejadian di bawah gerbang tersebut harus terjadi agar kejadian di atas gerbang tersebut terjadi. Sedangkan gerbang OR menyatakan bahwa salah satu saja kejadian di bawah gerbang tersebut harus terjadi agar kejadian di atas gerbang dapat terjadi. Berikut merupakan gambar hasil analisa FTA dari sistem bahan bakar KM. Bukit Siguntang



Gambar 2 Fault Tree Analysis Sistem Bahan Bakar KM. Bukit Siguntang

Dari gambar analisa FTA sistem bahan bakar KM. Bukit Siguntang dapat dilihat *Top Event*-nya adalah *Lost of Fuel Oil System* atau kegagalan sistem bahan bakar dapat terjadi apabila salah satu kejadian di bawah gerbang G0 yaitu *Lost Of Step 1*, *Lost of Step 2* atau *Lost of Step 3* mengalami kegagalan. Untuk kejadian sub sistem di atas gerbang G1 yaitu Step 1 akan gagal apabila salah satu komponen dari ketiga komponen di bawah gerbang G1 mengalami kegagalan yaitu *storage tank*, *transfer pump*, dan *settling tank*. Demikian pula pada Step 2, akan terjadi kegagalan apabila salah satu dari

komponen di bawah G2 yaitu *separator*, *daily tank* dan *filter* mengalami kegagalan. Hal serupa juga berlaku untuk Step 3, akan gagal apabila salah satu komponen di bawah G3 yaitu *balance tank* dan *booster pump* gagal.

Sedangkan untuk sub sistem di atas G4 akan mengalami kegagalan apabila komponen di bawah gerbang G4 yaitu *Transfer Pump 1* dan *Transfer Pump 2* mengalami kegagalan. Begitu juga kegagalan di atas gerbang G5 akan terjadi apabila kedua komponen yang berada di bawah gerbang G5 yaitu *Separator 1* dan *Separator 2* gagal berfungsi. Hal serupa juga berlaku untuk

komponen yang berada di atas gerbang G6 akan mengalami kegagalan apabila kedua komponen di bawah gerbang G6 yaitu *Filter 1* dan *Filter 2* mengalami kegagalan. Demikian juga untuk komponen yang berada di atas gerbang G7 akan mengalami kegagalan apabila komponen di bawah gerbang G7 yaitu *Booster Pump 1* dan *Booster Pump 2* gagal beroperasi.

Langkah selanjutnya setelah menentukan *Fault Tree* adalah menentukan *Cut Set* berdasarkan *Fault Tree* tersebut. Sebuah *cut set* dapat didefinisikan sebagai *basic event* yang bila terjadi akan mengakibatkan *top event*. Minimal *cut set* dapat ditentukan dengan metode *MOCUS* dan ditabelkan seperti berikut :

Tabel 2 Cut Set Sistem Bahan Bakar KM. Bukit Siguntang

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

Tabel 3 menunjukkan bahwa *minimal Cut Set* dari *Fault Tree* sistem bahan bakar KM. Bukit Siguntang 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}

Keterangan :

1 = *Storage Tank*

2 = *Transfer Pump 1*

3 = *Transfer Pump 2 (standby)*

4 = *Settling Tank*

5 = *Separator 1*

6 = *Separator 2 (standby)*

7 = *Daily Tank*

8 = *Filter 1*

9 = *Filter 2 (standby)*

10 = *Balance Tank*

11 = *Booster Pump 1*

12 = *Booster Pump 2 (standby)*

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*}, {*Daily 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. Bukit Siguntang, 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 perawatan 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.

4.5. Analisa Kuantitatif

Analisa keandalan sistem bahan bakar KM. Bukit Siguntang secara kuantitatif dilakukan dengan analisa data dan pembuatan *Reliability Block Diagram (RBD)* dilanjutkan dengan simulasi Montecarlo

Analisa Data

Sistem bahan bakar KM. Bukit Siguntang adalah sistem yang telah ada dan telah beroperasi maka keandalan dari suatu sistem atau komponennya tergantung terhadap waktu. Keandalan dari tiap komponen, sub-sistem dan sistem akan diwakili oleh suatu fungsi densitas probabilitas tertentu yang merupakan fungsi dari waktu.

Tujuan dari analisa data ini adalah untuk menentukan distribusi yang tepat untuk tiap-tiap komponen pada sistem bahan bakar. Distribusi itulah yang nantinya digunakan dalam menghitung nilai *availability* sistem bahan bakar. Input data yang diperlukan adalah variable random t yang mewakili *time to failure* tiap komponen pada sistem bahan bakar Langkah awal dalam menganalisa data sistem bahan bakar KM. Bukit Siguntang adalah memecah

sistem bahan bakar menjadi beberapa komponen. Langkah selanjutnya adalah memperkirakan keandalan dari masing masing komponen. Nilai keandalan dari setiap komponen dapat diperoleh dari database keandalan yang sudah ada. Setelah masing masing angka keandalan dari setiap komponen diketahui maka keandalan dari sistem tersebut bisa diperoleh.

Penentuan distribusi tiap komponen pada sistem bahan bakar KM. Bukit Siguntang dilakukan dengan bantuan *software Weibull ++ version 10.0*. Input data untuk menentukan distribusi yaitu dengan memasukan data *time to failure* tiap komponen. Setelah itu didapatkan distribusi tiap komponen. Distribusi tersebut di tunjukan pada Tabel 3 dibawah ini

:

Tabel 3 Distribusi komponen sistem bahan bakar KM. Bukit Siguntang

Komponen	Distribusi	B	H η	Γ	μ	κ
Transfer Pump 1 dan 2	Weibull 3	2.64	110.84	4952.7394	-	-
Separator 1 dan 2	Weibull 3	2.67	120.73	4948.027	-	-
Filter 1 dan 2	Weibull 3	2.61	55.55	4976.5452	-	-
Booster Pump 1 dan 2	Weibull 3	2.11	101.6	4965.029	-	-
Tank	Gamma	-	-	-	2.7373	347.379

Tabel 3 di atas menunjukkan bahwa komponen-komponen sistem bahan bakar yaitu *storage tank, settling tank, daily tank* dan *balance tank* menggunakan *distribusi gamma*. Hal ini menunjukkan bahwa laju kegagalan komponen adalah konstan. *Transfer pump, separator, filter* dan *booster pump* menggunakan *distribusi Weibull 3* dengan semua komponen memiliki nilai $\beta > 1$, hal ini menunjukkan jika komponen memiliki laju kegagalan akan semakin bertambah seiring bertambahnya waktu (Billinton,1992). Data distribusi komponen tersebut digunakan untuk melakukan analisa kuantitatif.

Simulasi Montecarlo

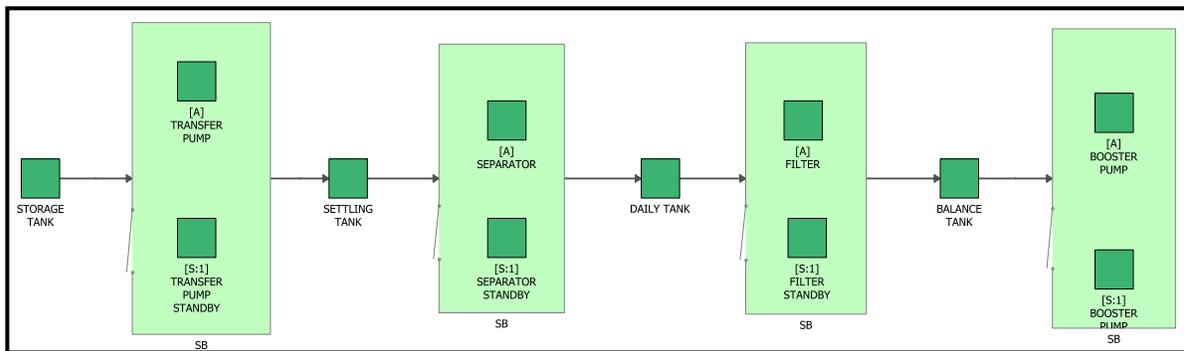
Simulasi montecarlo bertujuan untuk mendapatkan gambaran tentang pengaruh waktu kegagalan dan perbaikan komponen untuk mendapatkan ketersediaan komponen atau sistem. Pada penyelesaian analisa kuantitatif ini menggunakan program aplikasi (*software*) *BlockSim Ver 10.0* yang bertujuan untuk memprediksi nilai *Reliability* dan *Availability* Sistem. Program *BlockSim* menggunakan teknik Simulasi Montecarlo ini juga bertujuan untuk memprediksi *performance* sistem dan komponen.

Pengkonstruksian *Reliability Block Diagram (RBD)*

Sistem bahan bakar KM. Bukit Siguntang adalah sistem yang berfungsi nuntut memindahkan bahan bakar dari *storage tank*

menuju ke main engine seperti yang telah diuraikan di atas maka storage tank, settling tank, daily tank dan balance tank dapat dimodelkan ke dalam block diagram keandalan dengan susunan seri. Karena komponen-komponen tersebut harus berkerja seluruhnya agar sistem dapat menjalankan fungsinya dengan baik. Dan jika salah satu komponen tersebut mengalami kegagalan maka akan mengakibatkan kegagalan pada sistem bahan bakar.

Sedangkan untuk komponen *transfer pump*, *separator*, *filter* dan *booster pump* dapat dimodelkan ke dalam blok diagram keandalan



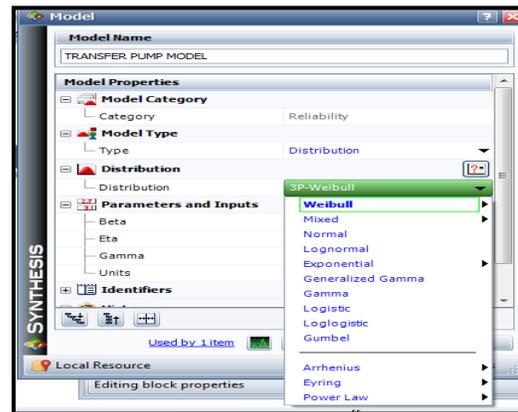
Gambar 3 Reliability Block Diagram Sistem Bahan Bakar KM. Bukit Siguntang

Pengisian Parameter Simulasi Untuk Tiap Komponen

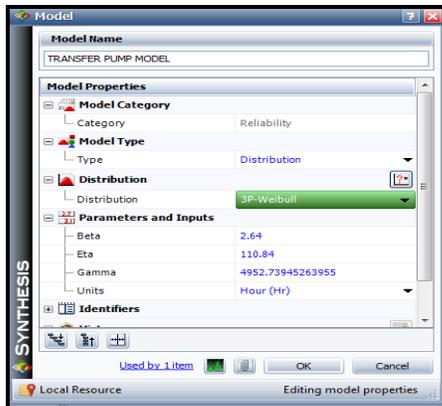
Setelah blok-blok tiap komponen terbentuk langkah selanjutnya adalah pengisian parameter simulasi untuk tiap komponen. Masing-masing komponen memiliki karakteristik kegagalan yang berbeda. Berikut merupakan contoh isian parameter simulasi blok untuk *Transfer Pump*. Parameter yang diisi adalah jenis distribusi dan parameternya.

dengan susunan *standby*. Karena pada komponen tersebut masing-masing dapat menggantikan fungsinya apabila salah satu dari komponen tersebut mengalami kegagalan.

Pada pengkontruksian *Reliability Block Diagram (RBD)* sistem bahan bakar, untuk komponen heater, katup, pipa, dan aliran fluida dianggap normal. Pada komponen yang tersusun secara *standby* diasumsikan *switching* berlangsung sempurna (*perfect switching*). Adapun kontruksi *Reliability Block Diagram (RBD)* sistem bahan bakar seperti berikut :



Gambar 4 Isian Parameter Transfer Pump pada Software Blocksim

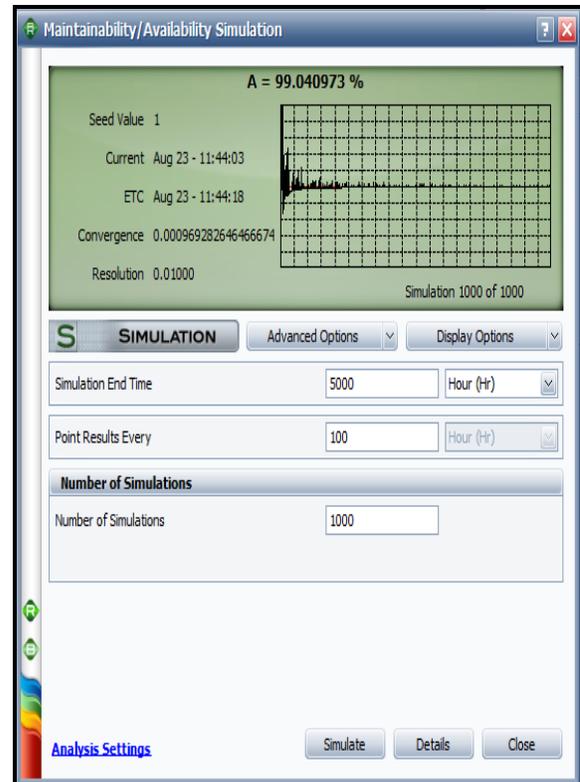


Gambar 5 Isian Parameter Transfer Pump pada Software Blocksim

Proses pengisian parameter ini dilanjutkan sampai semua parameter untuk masing-masing block yang dibutuhkan terisi semua. Setelah itu baru dilanjutkan dengan pengisian parameter simulasi untuk sistem.

Pengisian Parameter Simulasi Untuk Sistem

Setelah pengisian parameter setiap blok selesai, untuk mendapatkan hasil simulasi yang diinginkan maka pengisian parameter simulasi untuk sistem harus dilakukan terlebih dahulu. Adapun parameter yang diisikan adalah *simulation end time*, *number of simulation*



Gambar 6 Isian Parameter untuk Sistem pada Software Blocksim

Tujuan dari simulasi ini adalah untuk mendapatkan *limiting state availability system*. Untuk itu interval waktu misi sistem dibuat sangat lama. Dengan mengisi *Simulation End Time* dengan nilai 5000 jam sudah dipertimbangkan cukup untuk mendapatkan nilai *limiting state availability* dari sistem. Agar simulasi mendapatkan hasil yang akurat maka, 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.

Setelah dilakukan simulasi pengoperasian sistem bahan bakar selama 5000 jam secara kontinyu didapatkan hasil sebagai berikut :

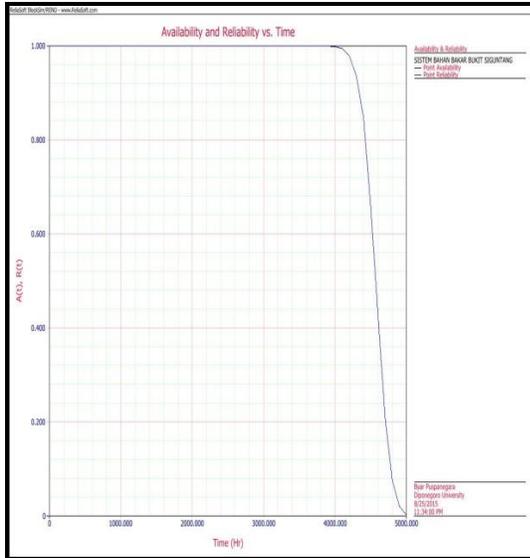
1. Berdasarkan hasil simulasi bahwa dengan pengoperasian sistem bahan bakar selama 5000 jam secara kontinyu didapatkan nilai rata-rata ketersediaan 0.91 yang berarti bahwa 91 % sistem bahan bakar dapat beroperasi dengan baik selama 5000 jam operasi. Nilai keandalan (*reliability*) sistem pada *end time* 5000 jam adalah 0.002 hal ini berarti bahwa seiring bertambahnya waktu dalam pengoperasian sistem bahan bakar maka nilai keandalannya akan semakin berkurang.
2. Nilai *MTTF* (*mean time to first failure*) pada *end time* 5000 jam adalah 4570.9555 dengan demikian dapat diartikan bahwa sistem bahan bakar akan mengalami kegagalan pertama kali pada saat sistem telah beroperasi selama 4570.9555 jam pada *end time* 5000 jam. Oleh karena itu untuk menjaga keandalan sistem maka sebelum memasuki waktu operasional pada 4570.9555 jam harus dilakukan perawatan *preventif* (pencegahan) terhadap sistem.
3. Pada kolom *Block summary* menunjukkan bahwa nilai rata-rata ketersediaan komponen paling sedikit yaitu *Filter* dengan ketersediaan 0.902611 dari pengoperasian

sistem selama 5000 jam. Jumlah kegagalan komponen terjadi paling besar yaitu 14.325 kali kegagalan pada operasi 5000 jam dan mengalami waktu down time terlama yaitu 149.7071 jam.

Tabel 4 menunjukkan ringkasan dari hasil simulasi yang telah dilakukan dan gambar 7 menunjukkan grafik *Availability dan Reliability* terhadap waktu pada sistem bahan bakar

Tabel 4 Individual Block Summary

Individual Block Summary				
Block Name	Mean Av. (All Events)	Expected # of Failures	Block Downtime (Hr)	Block Uptime (Hr)
Storage Tank	0.929056	0.244	104.718	4895.282
Settling Tank	0.928328	0.249	108.358	4891.642
Daily Tank	0.926237	0.264	118.817	4881.183
Balance Tank	0.928741	0.241	106.293	4893.707
Transfer Pump	0.913611	5.214	122.657	5000.000
Transfer Pump Standby	0.913615	5.119	122.647	5000.000
Separator	0.975996	2.144	119.990	4999.978
Separator Standby	0.975998	2.14	119.990	5000.000
Filter	0.902611	14.325	149.707	5000.000
Filter Standby	0.902609	13.432	149.612	5000.000
Booster Pump	0.9109994	9.872	125.677	4999.972
Booster Pump Standby	0.910951	9.87	125.606	5000.000



Gambar 7 Grafik Availability and Reliability terhadap Waktu

Simulasi Dengan Berbagai Scenario Sebagai Alternatif

Proses simulasi sebelumnya merupakan hasil simulasi sistem bahan bakar dengan semua komponen berada pada kondisi yang normal atau active tanpa ada komponen yang mengalami *down*, baik komponen yang tersusun secara seri ataupun *standby*.

Pada simulasi kali ini kita akan membuat skenario apabila salah satu komponen yang berada pada kondisi *standby* mengalami

Tabel 6 Hasil Simulasi Alternatif

SKENARIO	MEAN AVAILABILITY	RELIABILITY (5000)	MTTF
1	0.9123	0.002	4570.9554
2	0.9025	0	3571.6752
3	0.8999	0	3089.7474
4	0.8901	0	3287.0967
5	0.9112	0	3246.7698
6	0.8988	0	3098.2358
7	0.8898	0	2967.5621
8	0.8901	0	2952.9854
9	0.8876	0	2888.8976
10	0.8979	0	2746.9999
11	0.8887	0	2890.0912

down setelah kegagalan yang pertama. Skenario alternatif dapat ditunjukkan pada Tabel 5

Tabel 5 Skenario Alternatif

ID	SKENARIO															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
TP	√	x	√	√	√	x	x	x	√	√	√	x	x	x	√	x
S	√	√	x	√	√	x	√	√	x	X	√	x	x	√	x	x
F	√	√	√	x	√	√	x	√	x	√	x	x	√	x	x	x
BP	√	√	√	√	x	√	√	x	√	X	x	√	x	x	x	x

Keterangan :

x = komponen *down*

√ = komponen *active*

TP = Transfer Pump *standby*

S = Separator *standby*

F = Filter *standby*

BP = Booster Pump *standby*

Skenario yang dilakukan pada tabel 6 dilakukan dengan simulasi sistem dengan isian parameter seperti perhitungan sebelumnya yaitu end time 5000 jam dan 1000 kali simulasi. Maka hasil simulasi dapat di tulis pada Tabel 6

12	0.8677	0	2290.0981
13	0.8609	0	2190.999
14	0.8614	0	2121.9762
15	0.8689	0	2100.9836
16	0.8342	0	2098.0981

Pada hasil simulasi dengan berbagai skenario sebagai alternatif maka dapat dilihat sistem memiliki ketersediaan terendah 0.8342 pada operasional sistem selama 5000 jam, hal ini terjadi pada skenario ke 16 dengan kondisi seluruh komponen *standby down*. Semakin banyak komponen *down* pada salah satu komponen yang tersusun secara *standby* pada sistem maka ketersediaan sistem akan semakin berkurang.

V. KESIMPULAN

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

1. Sistem bahan bakar memiliki komponen paling kritis yaitu *filter*, karena memiliki nilai RPN yang paling tinggi yaitu 320.
2. Sistem akan berhenti atau gagal jika terjadi kegagalan pada salah satu komponen *storage tank*, *settling tank*, *day tank*, *balance tank* atau dua komponen *transfer pump*, *dua komponen separator*, dua komponen *filter*, dua komponen *booster pump* gagal bersamaan. Komponen-komponen tersebut berada dalam *first order* dan *second order* dari evaluasi *Fault Tree Analysis* (FTA).
3. Pada simulasi sistem selama 5000 jam secara kontinyu dan dilakukan sebanyak 1000 kali :
 - a. Sistem bahan bakar KM. Bukit Siguntang memiliki *availability* (ketersediaan) 0.91. Hal ini berarti bahwa 91 % sistem tersebut dalam kondisi baik selama 5000 jam.
 - b. Indeks MTTFF (*mean time to first failure*) menunjukkan perkiraan kegagalan sistem bahan bakar pertama kali yaitu pada operasi 4570 jam . Hal ini berarti sebelum jam

kegagalan harus diadakan kegiatan perawatan dan memastikan komponen dalam keadaan baik sebelum *start*.

- c. Dengan simulasi dari skenario komponen *standby* maka nilai ketersediaan sistem terendah dihasilkan jika seluruh komponen *standby* mengalami kegagalan. Hal ini berarti bahwa ketersediaan sistem akan semakin berkurang jika semakin banyak komponen *standby* mengalami kegagalan pada salah satu komponennya.

SARAN

1. Pada komponen yang paling kritis sistem bahan bakar yaitu *Filter* 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 4570.9555 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.
- Dhillon, B. S. 2004, *Reliability, Quality, and Safety for Engineers*. CRC Press, Washington DC, USA
- Ebeling.E. Charles. 1997, *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*, The Mc Graw-Hill Companies, Inc
- 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.
- Høyland,Arnjlot and Marvin Rausan.1994, *system reliability / Theory Models and Statistical Methods*,John Willey & son,inc.
- Mobley, E. Keith. 2008, *Maintenance Engineering Handbook*, 7th edition, Mc Graw Hill, USA.
- Mourbay, John. 1997, *Reliability Centered Maintanenced (RCM) II*, Biddles Ltd, Great Britain.
- O'Connor, Patrick D.T. 1991, *Practical Reliability Engineering*, Jjohn Wiley & Sons, England.
- Pham, Hoang. [2003]. *Handbook of Reliability Engineering*. Rutgers University Piscataway, New Jersey, USA.
- Reliasoft's XFMEA version 4*. Reliasoft Plaza, Tucson, AZ, USA. Reliasoft Corporation. 2007.
- Reliasoft's Blocksim 7*. Reliasoft Plaza, Tucson, AZ, USA.