

Analisa Perawatan Berbasis Keandalan Sistem Bahan Bakar pada Main Engine di Kapal KM. Kelimutu

Catur Fatwa Prasetyo¹, Hartono Yudo^{1*}, Ahmad Fauzan Zakki¹, Andi Haris Muhammad²

¹Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jalan Prof Sudarto SH, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275

²Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Jl. Poros Malino km. 6, Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92171

*Email: hartono.yudo@yahoo.com

DOI: 10.25042/jpe.112021.08

Abstrak

Kapal merupakan salah satu alat transportasi sangat penting. Ketersediaan kapal diperlukan untuk menunjang kebutuhannya. Salah satu metode metode pencegahannya dengan analisa keandalan. Keandalan merupakan suatu probabilitas dari sebuah item untuk melakukan sebuah kerja yang ditentukan, pada keadaan pengoperasian serta lingkungan tertentu untuk periode waktu yang sudah ditentukan. Salah satu sistem yang kritis dan diperlukan peninjauan adalah sistem bahan bakar. Jika terjadi kegagalan pada sistem bahan bakar, akan berdampak secara langsung ke mesin utama, oleh karena itu penelitian ini ditujukan untuk menganalisa sistem bahan bakar menggunakan metode keandalan. Penelitian kali ini menggunakan kapal KM. Kelimutu milik PT. PELNI Indonesia sebagai objeknya. Penelitian ini juga menggunakan metode keandalan untuk menganalisa sistem bahan bakar menggunakan analisa kualitatif serta kuantitatif. Analisa kualitatif dengan menggunakan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA). Sedangkan untuk analisa kuantitatif, dilakukan dengan menjalankan simulasi monte carlo dan juga mencari reability block diagram (RBD). Penelitian ini menunjukkan, komponen yang pada sistem bahan bakar KM. Kelimutu yang paling kritis adalah filter dengan nilai Risk Priority Number initial (RPNi) sebesar 320. Sedangkan, untuk sistem yang memiliki 2 komponen akan cenderung mengalami kegagalan dalam hasil simulasinya. Hasil dari simulasi menunjukkan angka Availability sebesar 0.993 dan MTTF (Mean Time to Failure) adalah 317.99 jam.

Abstract

Maintenance Analysis based on Fuel System Reliability of Main Engine on the Ship KM. Kelimutu. Ships are one of the most important means of transportation. The availability of ships is needed to support their needs. One of the methods of prevention is reliability analysis. Reliability is the probability of an item to perform a specified job, under certain operating conditions and environments for a specified period of time. One of the critical systems that requires review is the fuel system. If there is a failure in the fuel system, it will have a direct impact on the main engine, therefore this study is aimed at analyzing the fuel system using the reliability method. This research uses the KM ship. Kelimutu owned by PT. PELNI Indonesia as the object. This study also uses the reliability method to analyze the fuel system using qualitative and quantitative analysis. Qualitative analysis using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and Fault Tree Analysis (FTA). As for quantitative analysis, it is done by running a Montecarlo simulation and also looking for reliability block diagrams (RBD). This study shows, the components in the KM fuel system. The most critical problem is a filter with an initial Risk Priority Number (RPNi) of 340. Meanwhile, a system that has 2 components tends to fail in the simulation results. The results of the simulation show the Availability number is 0.993 and the MTTF (Mean Time to Failure) is 317.99 hours.

Kata Kunci: FMEA, FTA, keandalan, sistem bahan bakar

1. Pendahuluan

Kapal merupakan salah satu alat transportasi sangat penting khususnya di negara kepulauan seperti Indonesia. Penggunaannya tidak hanya di bidang transportasi, namun juga di bidang pariwisata, militer, perdagangan dan bahkan pendidikan serta penelitian [1].

Pencegahan kerusakan pada kapal diperlukan agar kapal dapat tetap beroperasi

dengan baik melalui cara perawatan dan juga pemeliharaan secara rutin. Hal ini wajib dilaksanakan agar peralatan tetap dalam kondisi baik dan layak untuk digunakan dalam kegiatan operasional nantinya. Seiring bertambahnya jumlah kapal yang berlayar pada saat ini, membuat pihak pemilik kapal menuntut untuk menambah kesediaan kapalnya [2].



Salah satu bagian sistem yang kritis pada kapal adalah sistem bahan bakar yang secara langsung akan mempengaruhi kerja ke *main engine*. *Main engine* bekerja secara 24 jam dalam pengoperasian kapal sehingga perlu metode khusus untuk pencegahan kerusakan pada *main engine*, khususnya pada bagian sistem bahan bakar [3].

Keandalan merupakan salah satu metode pencegahan yang biasa digunakan. Keandalan sendiri merupakan suatu probabilitas dari sebuah item untuk dapat melakukan sebuah kerja yang telah ditentukan, pada keadaan pengoperasian serta lingkungan tertentu untuk periode waktu yang sudah ditentukan [4].

Secara garis besar proses yang dilakukan pada analisa keandalan ini adalah identifikasi penyebab kegagalan dari *fuel oil system*, lalu dampak yang dihasilkan dari kegagalan tersebut. Analisa keandalan ini juga akan menambah pengetahuan tentang pengoperasian dan perilaku sistem (*system behavior*) dari sistem yang dianalisa [5].

Analisa keandalan kali ini juga akan dilaksanakan melalui analisa kualitatif (*experience*) menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dan *Failure mode and effect* (FMEA). Serta kuantitatif (perhitungan) dengan simulasi *monte carlo* dan pembentukan *reliability block diagram* (RBD) [6].

Kapal yang akan difokuskan pada penelitian ini sendiri adalah kapal penumpang KM. Kelimutu milik PT. PELNI Indonesia yang menyediakan jasa penyebrangan untuk Semarang – Karimun Jawa. Alasan pengambilan objek kali karena belum diadakan penelitian terkait permesinan KM. kelimutu sedangkan KM. kelimutu sendiri sudah beroperasi 30 tahun lebih [7].

2. Metode Penelitian

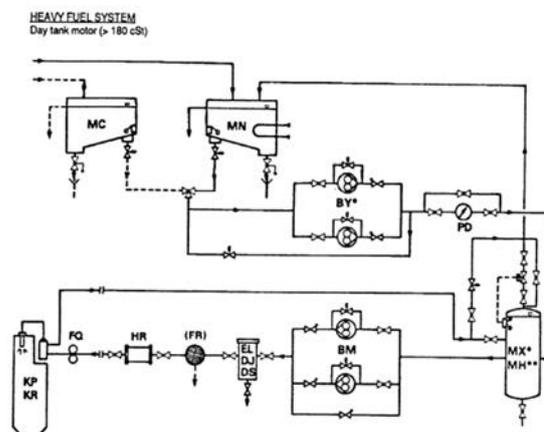
2.1. Objek Penelitian

Proses awal pengerjaan pemeriksaan sistem keandalan ini memerlukan desain dari sebuah sistem. Desain sistem yang akan dianalisa pada penelitian ini adalah desain sistem bahan bakar pada kapal. Dengan mengetahui desain sistem bahan bakar kapal, dapat mengetahui komponen-komponen yang berada pada sistem tersebut.

Penelitian ini akan dilaksanakan pada objek kapal penumpang KM. Kelimutu milik PT. PELNI (persero).

Data selanjutnya yang diperlukan dalam penelitian kali ini adalah data jam operasional, pengambilan data dilakukan dengan pembatasan waktu yaitu dari bulan Mei 2017 sampai bulan Mei 2020. Pengambilan waktu 3 tahun ini berdasarkan penelitian – penelitian yang telah ada sebelumnya kebanyakan mengambil waktu dan data 1 tahun operasi, sehingga diperlukan melihat peningkatan nilai keandalan sering dengan bertambahnya waktu serta data kegiatan operasi.

Desain sistem fuel oil system pada main engine kapal KM. Kelimutu dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain sistem *fuel oil system* pada main engine kapal KM. Kelimutu [8]

2.2. Analisa Kualitatif

Analisa kualitatif adalah suatu analisa yang digunakan dengan tujuan mengevaluasi keandalan dari suatu sistem dengan dasar analisa kegagalan, lalu selanjutnya dapat dilakukan penilaian keandalan berdasarkan data kualitatif dan pengalaman yang sudah dimiliki. Analisa kualitatif adalah analisa yang dikerjakan dengan cara kualitas dari mode dan dampak dari kegagalan. Analisa Yang umum digunakan sendiri adalah analisa *Failure mode and effect analysis* (FMEA) dan juga *Fault Tree Analysis* (FTA) [9].

- *Failure mode and effect* (FMEA)

FMEA adalah sebuah metode evaluasi kemungkinan terjadinya sebuah kegagalan dari sebuah sistem, desain, proses atau servis untuk dibuat langkah penanganannya. Dalam *Failure*

mode and effect (FMEA), setiap kemungkinan kegagalan yang terjadi dikuantifikasi untuk dibuat prioritas penanganan.

Pengolahan data dengan menggunakan metode *Failure mode and effect* (FMEA) dilakukan dengan melalui beberapa tahap, yaitu:

- 1) Identifikasi moda kegagalan potensial dan efeknya sehingga didapatkan tingkat keparahan (*Severity*). Nilai S (*Severity*) adalah sebuah penilaian pada tingkat keseriusan suatu akibat dari potensi kegagalan pada proses yang dianalisis. Skala 1 hingga 10 digunakan untuk menentukan nilai *severity*.
- 2) Identifikasi penyebab kegagalan potensial untuk melihat tingkat kejadian (*Occurence*) kegagalan pada *assembly-line*.
- 3) Identifikasi pengendalian yang telah dilakukan oleh perusahaan guna mengetahui tingkat deteksi (*Detection*) yang ada [10].

Pengisian data urutan dari *Failure mode and effect* (FMEA) selanjutnya adalah dengan memasukan data yang terdiri dari pemberian ranking *Severity* (S), *Occurance* (O), dan *Detection* (D) digunakan perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) dengan rumus berikut [11]:

$$RPN = Severity(S) \times Occurance(O) \times Detection(D)$$

- *Fault Tree Analysis* (FTA)

FTA merupakan suatu metode yang digunakan untuk mencari kegagalan (*failure*) dari suatu sistem, baik yang disebabkan dari kegagalan komponen, maupun kejadian kegagalan lainnya secara individu maupun secara bersama – sama [12].

2.3. Analisa Kuantitatif

Analisa kuantitatif dapat dibedakan menjadi dua bagian secara umum, yaitu analisa keandalan secara analisis dan analisa keandalan dengan menggunakan simulasi.

- *Variable Random*

Pengerjaan analisa keandalan dari sebuah sistem tidak dapat terlepas dari tersedianya data yang akan diolah. Nilai keandalan sebuah komponen bergantung dengan waktu yang digunakan. Maka dari itu analisa keandalan

berhubungan dengan distribusi probabilitas dimana waktu yang digunakan sebagai *variable random*. Parameter kejadian yang akan dihitung contohnya adalah lama waktu untuk mereparasi, laju kegagalan komponen, kekuatan mekanis komponen, merupakan variabel yang berbeda secara random terhadap waktu dan ruang. *Variable random* ini dapat diartikan secara diskrit maupun secara keberlanjutan [13].

- *Goddest of Fittest*

Identifikasi awal untuk periode waktu antar kerusakan dan periode waktu antar perbaikan dijalankan dengan cara metode *Least-Square Curve Fitting*. Dalam menilai distribusi suatu Komponen melalui metode ini, perlu dipilih distribusi nilai yang memiliki *nilai index of fit* terbesar [14].

- *Reliability Block Diagram* (RBD)

RBD adalah sebuah analisa pada sistem yang kompleks dengan cara pengolahan blok diagram yang bertujuan untuk mempertunjukkan hubungan dari tiap komponen atau sistem. Struktur yang terdapat di *reliability block diagram* memperlihatkan bentuk interaksi dari kegagalan antara suatu komponen atau sistem yang saling membutuhkan. *Reliability Block Diagram* (RBD) terdiri dari sitem paralel dan seri. Hal yang perlu dilakukan pertama kali dalam melakukan evaluasi keandalan secara kuantitatif adalah memodelkan sistem tersebut dalam blok keandalan [15].

- Simulasi *Montecarlo*

Simulasi *Montecarlo* adalah sebuah simulasi untuk menentukan suatu angka random dari data sampel dengan berdistribusi tertentu. Tujuan dari simulasi *Montecarlo* adalah menemukan nilai yang mendekati nilai sesungguhnya, atau nilai yang akan terjadi berdasarkan distribusi dari data sampel.

Prosedur yang perlu dilakukan dalam menjalankan *Montecarlo* :

- 1) tentukan angka yang akan disimulasikan
- 2) temukan distribusi dari data sampling
- 3) simulasi berdasarkan distribusi di atas

Pada dasarnya simulasi *Montecarlo* dilakukan berdasarkan distribusi sampling tertentu. Kuncinya adalah mengidentifikasi distribusi dari data sampel yang ada. Secara



acak, dilakukan simulasi terhadap angka-angka sehingga dihasilkan kombinasi yang mendekati distribusi yang paling sesuai [15].

3. Hasil dan Pembahasan

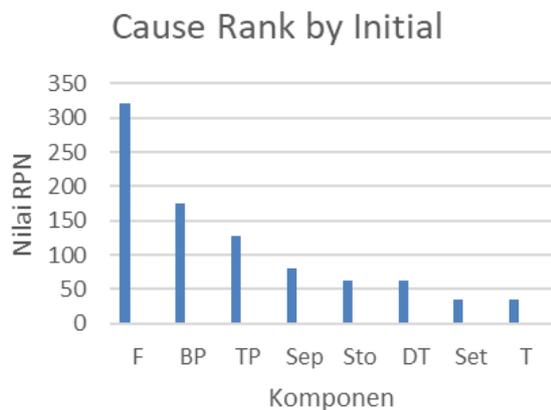
3.1. Analisa Kualitatif

Analisa Kualitatif keandalan dari sistem bahan bakar KM. Kelimutu menggunakan metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) dan Metode *Fault Tree Analysis* (FTA).

- *Failure Mode and Effect* (FMEA)

FMEA merupakan cara yang sistematis dalam menganalisa suatu kegagalan dan penekanannya pada *bottom-up approach*. Tujuan dari *Failure mode and effect* (FMEA) adalah mendapatkan komponen yang paling kritis terhadap kegagalan sistem bahan bakar.

Setelah didapat penentuan komponen kritis pada *Failure mode and effect* (FMEA) maka dapat ditentukan nilai *Risk Priority Number* (RPN) yang dimana hasilnya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Nilai *failure mode and effect analysis* dari tiap komponen

- 1) *Filter* mempunyai nilai RPNi sebesar 340.
- 2) *Booster Pump* mempunyai nilai RPNi sebesar 180.

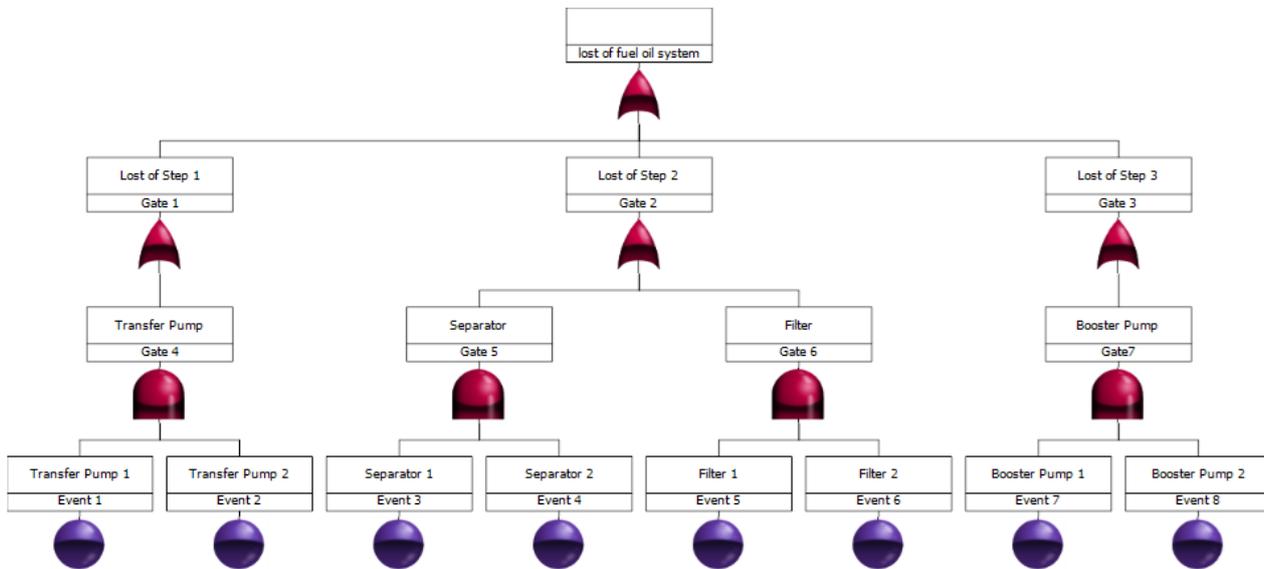
- 3) *Transfer Pump* mempunyai nilai RPNi sebesar 120.
- 4) *Separator FO* mempunyai nilai RPNi sebesar 90.
- 5) *Storage* mempunyai nilai RPNi sebesar 60.
- 6) *Daily Tank* mempunyai nilai RPNi sebesar 60.
- 7) *Settling Tank* mempunyai nilai RPNi sebesar 40.
- 8) *Balance Tank* mempunyai nilai RPNi sebesar 40.

Hasil dari analisa RPN pada Gambar 2. Digambarkan melalui aplikasi grafik pada Microsoft excel dan menunjukkan bahwa Filter menjadi bagian paling kritis dengan nilai RPN 340 dan Balance tank menjadi bagian paling tidak kritis dari sistem bahan bakar KM. Kelimutu dengan nilai 40.

- *Fault Tree Analysis* (FTA)

FTA merupakan metode penunjang untuk menentukan sebuah kegagalan dari sistem. Hubungan yang logis antar tiap mode kegagalan sistem disebut sebagai *top event* dan berbagai sebab *basic event* (kegagalan dasar) juga dikenal juga sebagai *Prima event*, digambarkan dalam sebuah grafis metode yaitu *Fault Tree Analysis* (FTA).

Dalam pembentukannya, analisis memiliki sifat *top-down approach* yang menandakan analisa diawali dari penilaian berbagai penyebab terjadinya *top event* mulai dari level tertinggi hingga terendah yang selanjutnya diidentifikasi dengan menggunakan simbol seperti AND dan OR. AND sendiri menandakan kejadian yang terjadi di bawah gerbang, harus terlaksana agar kejadian di atas gerbang dapat terjadi. Sedangkan untuk OR berarti salah satu kejadian di bawah gerbang, maka harus terjadi agar kejadian diatas gerbang bisa terjadi. Selanjutnya, merupakan hasil FTA adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Fault Tree Analysis (FTA) dari sistem bahan bakar KM. Kelimutu

Bedasarkan hasil penggambaran analisa *fault tree system* (FTA) sistem bahan bakar KM. Kelimutu yang telah diperoleh, dapat dinilai jika *Top Event* dari FTA tersebut adalah *Lost of Fuel Oil* yang berarti kegagalan sistem bahan bakar akan terjadi jika salah satu gerbang maupun kejadian di bawah gerbang G0 terjadi sebuah kegagalan. Sedangkan untuk kejadian sub-sistem di atas gerbang G1 yaitu *lost of step 1* akan terjadi kegagalan apabila satu komponen di G1 mengalami kegagalan yaitu *transfer pump*. Demikian juga untuk *lost of step 2*, akan terjadi kegagalan jika salah satu komponen di bawah G2 yaitu *separator*, dan *filter* mengalami kegagalan. Berlaku juga untuk *lost of step 3*, akan terjadi kegagalan apabila satu komponen di bawah G3 yaitu *booster pump* mengalami kegagalan.

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 diatas gerbang G5 akan terjadi apabila kedua komponen yang berada di bawah gerbang G5 yaitu *Separator 1* dan *Separator 2* mengalami kegagalan. Demikian juga 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. Lalu 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* mengalami kegagalan. Setelah mendapat grafik *Fault Tree Analysis* (FTA) maka langkah selanjutnya adalah menentukan *Cut Set* berdasarkan *Fault Tree Alaysis* (FTA) yang telah dibuat tersebut. Tabel cut set dari hasil analisa *Fault Tree Analysis* (FTA) yang ada dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Cut set dari fault tree sistem

| Mechanical Failure | | | |
|--------------------|---|----|-----|
| Step | 1 | 2 | 3 |
| G1 | | G4 | 1,2 |
| G2 | | G5 | 3,4 |
| | | G6 | 5,6 |
| G3 | | G7 | 7,8 |

Tabel 1 berisi minimal *Cut Set* dari *Fault Tree* sistem bahan bakar KM. Kelimutu dengan analisa dan disajikan melalui tabel pada Microsoft excel adalah : dengan {1,2}, {3,4}, {5,6}, {7,8} dan menyebabkan sistem memiliki *second order* pada {1,2}, {3,4}, {5,6}, {7,8}.

Keterangan :

- 1 = *Transfer Pump 1*
- 2 = *Transfer Pump 2 (standby)*
- 3 = *Separator 1*
- 4 = *Separator 2 (standby)*
- 5 = *Filter 1*
- 6 = *Filter 2 (standby)*
- 7 = *Booster Pump 1*
- 8 = *Booster Pump 2 (standby)*



Analisa sistem dengan menggunakan metode FTA dilanjutkan dengan penentuan minimal *cut set*, sehingga dapat menghasilkan minimal *cut set* untuk sistem bahan bakar seperti komponen {Transfer Pump 1, Transfer Pump 2}, {Separator 1, Separator 2}, {Filter 1, Filter 2}, serta {Booster Pump 1, Booster Pump 2}.

- Analisa Kuantitatif

Analisa kuantitatif dapat dibedakan menjadi dua bagian secara umum, yaitu analisa keandalan secara analisis dan analisa keandalan dengan menggunakan simulasi. Pada proses kali ini akan dilakukan proses kuantitatif pembentukan *Reality Block Diagram* (RBD) lalu dilanjutkan simulasi *montecarlo* untuk mendapatkan hasilnya. Langkah awal yang diperlukan adalah analisa data.

- Analisa Data

Hal pertama yang harus dilakukan dalam penganalisaan data sistem bahan bakar KM. Kelimutu adalah membagi sistem bahan bakar menjadi beberapa bagian komponen lalu dilanjutkan dengan penentuan nilai keandalan tiap bagian komponen yang telah dipecahkan sebelumnya. Nilai keandalan komponen sendiri bisa didapatkan berdasarkan pengalaman, pengambilan data keandalan yang sudah ada, ataupun pengumpulan kembali data operasional dari setiap komponen yang terkait lalu diolah menjadi data keandalan yang sudah siap digunakan.

Tujuan dari analisa data sendiri adalah untuk penentuan distribusi yang sesuai untuk setiap unit komponen pada sistem bahan bakar. Distribusi ini selanjutnya digunakan dalam penghitungan nilai *avaibility* dari sistem bahan bakar KM. Kelimutu yang diteliti pada penelitian kali ini. Untuk *software* yang dipilih pada penelitian kali ini adalah *softaware PTC Windchill*. Langkah selanjutnya yang harus dilakukan adalah pemasukan data untuk penentuan distribusi, dimana dilakukan dengan memasukan data *time to failure* dari setiap komponen. Setelah itu distribusi tiap komponen yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Dari Tabel 2 yang berasal dari aplikasi Microsoft excel bisa kita simpulkan jika tiap unit komponen pada sistem bahan bakar yaitu *storage tank*, *settling tank*, *daily tank* dan *balance tank* menggunakan distribusi Rayleigh. 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 $\beta > 1$, yang menandakan jika komponen memiliki rasio kegagalan semakin bertambah seiring pertambahan waktu. Data distribusi komponen ini, selanjutnya digunakan untuk melakukan analisa kuantitatif berikutnya yaitu *monte carlo* untuk mendapatkan *Reability Block Diagram* (RBD).

Tabel 2. Distribusi tiap komponen

| Komponen | Distribusi | B | H η | Γ | M | K |
|-----------------------|------------|------|----------|----------|-------|-------|
| Transfer Pump 1 dan 2 | Weibull 3 | 2.33 | 110 | 407.779 | - | - |
| Separator 1 dan 2 | Weibull 3 | 2.33 | 127.91 | 389.236 | - | - |
| Filter 1 dan 2 | Weibull 3 | 1.54 | 54.05 | 113.128 | - | - |
| Booster Pump 1 dan 2 | Lognormal | - | - | - | 6.181 | 0.093 |
| Tank | Rayleigh | 2 | 2226.006 | 0.9907 | - | - |

- Simulasi *Montecarlo*

Dalam perhitungan keandalan secara kuantitatif, metode simulasi *montecarlo* adalah cara yang umum dipakai. Tahap awal dalam pengerjaan simulasi *montecarlo* adalah dengan memodelkan design sistem bahan bakar ke dalam bentuk *block diagram*, hal ini bisa disebut sebagai *Reliability Block Diagram* (RBD). Desain sistem ini nantinya akan menunjukkan

korealis dari kegagalan sebuah sistem maupun dari subsistem yang saling berkaitan.

- Pengkontruksian *Reability Block Diagram* (RBD)

Sistem bahan bakar KM. Kelimutu memindahkan bahan bakar berasal dari *storage tank* menuju ke *main engine*, *Storage tank*, *settling tank*, *daily tank* serta *balance tank*.



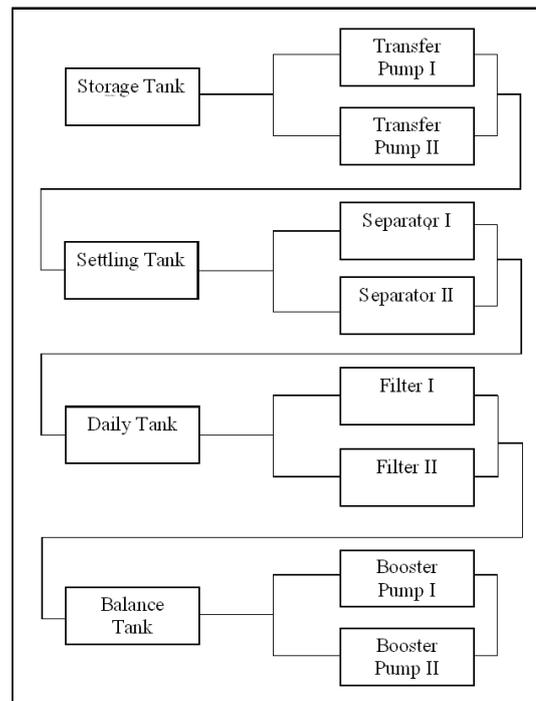
Dikarenakan semua komponen tersebut harus berkerja keseluruhan supaya sistem dapat menjalankan fungsinya dengan baik. Jika salah satu komponen terjadi kegagalan maka dapat menyebabkan kegagalan pada sistem secara keseluruhan. Bentuk dari komponen *main engine*, *Storage tank*, *settling tank*, *daily tank* serta *balance tank* bisa disusun secara susunan seri di dalam *block diagram* karena bekerja secara keseluruhan. Sedangkan untuk komponen *transfer pump*, *separator*, *filter* dan *booster pump* bisa diubah ke dalam sebuah *block diagram* keandalan dengan yang tersusun secara *standby*. Karena pada komponen tersebut, dari tiap – tiap komponen dapat tergantikan fungsinya apabila terjadi kegagalan pada komponen tersebut. Pada pembentukan *Reliability Block Diagram* (RBD) sistem bahan bakar, untuk *heater*, katup, pipa, dan aliran fluida dianggap berjalan normal. Sedangkan komponen yang tersusun secara *standby* dianggap berlangsung sempurna (*perfect switching*).

Gambar 4 menunjukkan hasil konstruksi Reability Block Diagram (RBD) dari sistem bahan bakar pada *main engine* KM. Kelimutu.

- Proses Simulasi dan Hasil Simulasi

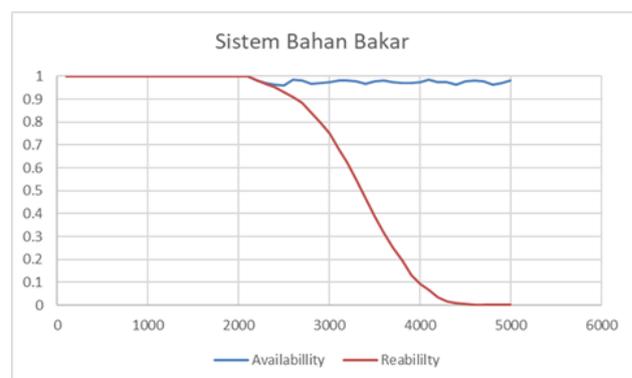
Sebelum memulai pelaksanaan simulasi sistem, parameter harus terisi terlebih dahulu. Setelah semua parameter sudah terisi, proses simulasi ini dapat dilanjutkan dan dapat dilihat hasil pada Tabel 3.

Tabel 3 menunjukkan ringkasan hasil simulasi yang telah terjadi pada Gambar 4. yang merupakan hasil nilai grafik dari tiap – tiap komponen yang berada pada sistem bahan bakar (*Fuel Oil System*) *main engine* dan komponen yang paling kritis dilihat dari nilai ketersediaan (*Availabillity*) dan nilai keandalan terhadap waktu. Di awali di storage tank lalu diteruskan hingga booster pump dalam proses nya di *main engine* ini.



Gambar 4. RBD sistem bahan bakar KM. Kelimutu

Setelah didapatkan hasil *availability* dari tiap komponen maka bisa kita lihat Gambar 5. hasil perbandingan dari semua komponen pada sistem bahan bakar secara keseluruhan, dibandingkan dengan reabilitas dari sistem secara keseluruhan juga dimana pada waktu lebih dari 2100 jam, nilai reabilitas dari sistem bahan bakar mengalami penurunan dan mencapai nilai 0 pada waktu 4600 jam. Sedangkan untuk *availability* nya cenderung stabil hingga 5000 jam.

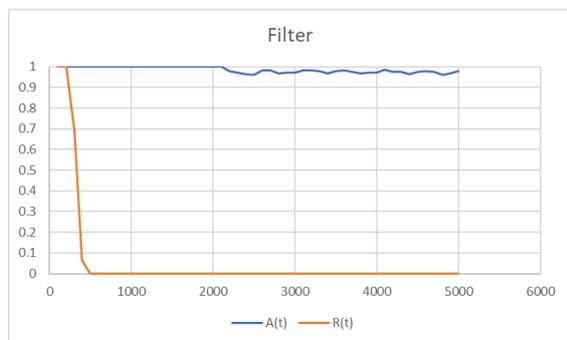


Gambar 5. Hasil perbandingan *Availability vs time* pada sistem bahan bakar

Tabel 3. Ringkasan hasil tiap komponen

| Simulation Summary | | | | |
|---|-------------------|----------------------------|----------------|---------|
| Number of Simulation | 1000 | | | |
| End Time | 5000 | | | |
| General Summary | | | | |
| Mean Availability | 0.985 | | | |
| Point Availability (All Events) at 5000 | 0.993 | | | |
| Reliability (5000) | 0 | | | |
| MTTF | 317.998 | | | |
| System Summary | | | | |
| Uptime | 4948.674 | | | |
| Total Downtime | 51.326 | | | |
| Block Summary | | | | |
| Block Name | Mean Availability | Expected number of failure | Block Downtime | MTBF |
| Storage Tank | 0.929 | 0.244 | 104.718 | 4895.28 |
| Settling Tank | 0.928 | 0.249 | 108.358 | 4891.64 |
| Daily Tank | 0.926 | 0.264 | 118.817 | 4881.18 |
| Balance Tank | 0.929 | 0.241 | 106.293 | 4893.71 |
| Transfer Pump | 0,912 | 5.214 | 122.657 | 5000 |
| Transfer Pump Standby | 0,914 | 5.119 | 122.647 | 5000 |
| Separator | 0.976 | 2.144 | 119.99 | 4999.98 |
| Separator Standby | 0.976 | 2.14 | 119.99 | 5000 |
| Filter | 0,903 | 14.325 | 149.707 | 5000 |
| Filter Standby | 0,903 | 13.432 | 149.612 | 5000 |
| Booster Pump | 0.911 | 9.872 | 125.677 | 4999.97 |
| Booster Pump Standby | 0.911 | 9.87 | 125.606 | 5000 |

Sedangkan untuk komponen yang paling kritis berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya adalah *filter*, maka bisa kita lihat pada Gambar 6. Perbandingan dari *reability Filter* dengan *Availability* sistem bahan bakar secara keseluruhan, pada angka 200 jam telah mengalami penurunan nilai *reability* dan mencapai angka 0 pada angka 500 jam dengan menggunakan percobaan waktu selama 5000 jam. Sedangkan untuk nilai *availability* sekali lagi, cenderung stabil hingga mencapai angka 5000 jam.



Gambar 6. Hasil perbandingan Availability vs time pada komponen filter

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan pembahasan sistem bahan bakar KM. Kelimutu maka dapat diambil kesimpulan sebagai jika komponen dari sistem bahan bakar yang memiliki nilai paling kritis adalah filter dengan nilai RPNi sebesar 340. Level dari kekritisan komponen ini ditinjau melalui *severity* kegagalan komponen, lalu *occurrence* dan juga *detection* kegagalan pada tiap komponen. Hasil evaluasi tersebut dapat dilakukan melalui metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Hasil analisa *Fault Tree Analysis* (FTA) dari sistem bahan bakar di *main engine* tidak akan bekerja kembali, jika salah satu dari subsistem atau komponen gagal bersamaan, seperti contohnya adalah komponen yang berada dalam *second order* meliputi dua komponen *separator*, dua *transfer pump*, dua *fo pump*, dan juga dua *filter*. Pada hasil simulasi pengoperasian sistem bahan bakar selama waktu 5000 jam dan dilakukan dengan cara kontinu didapatkan nilai rata-rata ketersediaan 0.996 yang berarti 99,6% sistem bahan bakar bisa



melakukan sebagaimana fungsinya selama 5000 jam. Nilai MTTF (*Mean Time to Failure*) pada *end time* 5000 jam adalah 317.99826 dengan demikian dapat disimpulkan bahwa sistem bahan bakar akan mengalami kegagalan pada saat sistem telah beroperasi selama 317.998 jam pada *end time* 5000 jam. Oleh karena itu untuk menjaga keandalan sistem maka sebelum memasuki waktu operasional pada 317.99826 jam harus dilakukan perawatan *preventif* (pencegahan) terhadap sistem.

Referensi

- [1] C. Amin, H. Mulyati, E. Anggraini, and T. Kusumastanto, "Impact of maritime logistics on archipelagic economic development in eastern Indonesia," *Asian J. Shipp. Logist.*, vol. 37, no. 2, pp. 157–164, 2021.
- [2] M. R. Alwi, "Reliability Centered Maintenance Dalam Perawatan F.O. Service Pump Sistem Bahan Bakar Kapal Ikan," *J. Ris. dan Teknol. Kelaut.*, vol. 14, no. 1, pp. 77–86, 2016.
- [3] R. I. Yaqin, Z. Z. Zamri, J. P. Siahaan, Y. E. Priharanto, M. S. Alirejo, and M. L. Umar, "Pendekatan FMEA dalam Analisa Risiko Perawatan Sistem Bahan Bakar Mesin Induk: Studi Kasus di KM. Sidomulyo," *J. Rekayasa Sist. Ind.*, vol. 9, no. 3, pp. 189–200, 2020.
- [4] L. Noviansyah, E. Purnamawati, and D. Ernawati, "Analisis Performance Mesin Residual Oil Main Burner Pada Unit Pltu 3/4 Dengan Metode Reliability Availability Maintainability (Ram) Di Pt Pembangkit Jawa Bali Unit Pembangkit Gresik," *Juminten*, vol. 1, no. 2, pp. 12–23, 2020.
- [5] R. B. Manalu, U. Budiarto, H. Yudo, F. Teknik, U. Diponegoro, and M. C. Simulation, "Analisa Perawatan Sistem Distribusi Minyak Lumas Berbasis Keandalan Pada Kapal Km.Bukit Siguntang Dengan Pendekatan Rcm (Reliability Centered Maintenance)," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 4, no. 1, 2016.
- [6] I. Zein, D. Mulyati, and I. Saputra, "Perencanaan Perawatan Mesin Kompresor Pada PT. Es Muda Perkasa Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM)," *J. Serambi Eng.*, vol. 4, no. 1, p. 383, 2019.
- [7] Riyanto, M. Syam, Mirdin, M. Rifani, and R. D. Jayanti, "Analisis umur ekonomis dan umur teknis kapal penumpang milik PT. Pelayaran Nasional Indonesia (Persero)," *J. VENUS*, vol. 07, no. 14, pp. 66–96, 2019.
- [8] G. E. Data, C. Cover, and R. Gear, *I -t*. 1988.
- [9] A. Surya, S. Agung, and P. Charles, "Penerapan Metode FMEA (Failure Mode And Effect Analysis) Untuk Kualifikasi Dan Pencegahan Resiko Akibat Terjadinya Lean Waste," *J. Online Poros Tek. Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 45–57, 2017.
- [10] N. Budi Puspitasari, G. Padma Arianie, and P. Adi Wicaksono, "Analisis Identifikasi Masalah Dengan Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analys (FMEA) dan Risk Priority Number (RPN) pada Sub Assembly Line (Studi Kasus : PT. Toyota Motor Manufacturing Indonesia)," *J@ti Undip J. Tek. Ind.*, vol. 12, no. 2, p. 77, 2017.
- [11] N. Sellappan and K. Palanikumar, "Modified Prioritization Methodology for Risk Priority Number in Failure Mode and Effects Analysis," *Int. J. Appl. Sci. Technol.*, vol. 03, no. 04, pp. 27–36, 2013.
- [12] A. Nugraha, "Kapal dengan Menggunakan Metode Fault Tree Analisis (FTA) pada Sistem Lalu Lintas Pelabuhan," *J. FT Umr.*, 2019.
- [13] L. G. Otaya, "Distribusi Probabilitas Weibull Dan Aplikasinya (Pada Persoalan Keandalan (Reliability) Dan Analisis Rawatan (Mantainability)," *Tadbir J. Manaj. Pendidik. Islam*, vol. 4, no. 2, pp. 44–66, 2016.
- [14] J. Cristian Napitupulu and P. S. M L Tobing, "Analisis Keandalan Transformator Daya Menggunakan Metode Distribusi Weibull (Studi Kasus Transformator Daya Gi. Titi Kuning Pt. Pln Persero)," vol. 3, no. 3, pp. 112–117, 2013.
- [15] M. Čepin, *Assessment of Power System Reliability*. 2011.

