

ANALISA KEGAGALAN SISTEM BAHAN BAKAR KAPAL DENGAN MENGGUNAKAN METODE *PRELIMINARY HAZARD ANALYSIS (PHA)* DAN *FAULT TREE ANALYSIS (FTA)*

Dwisetiono¹, Rega Gagana Erwin Asmara^{2*}

^{1),2)} Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Universitas Hang Tuah Surabaya

¹ dwisetiono@hangtuah.ac.id, ^{2*} regagaganaerwinasmara@email.com

ABSTRACT

The main component of the main engine on the ship is the fuel system. Failure of the fuel system can be fatal to the main engine. Therefore, the analysis of the failure of the ship's fuel system aims to prevent failures in the fuel system by using the Methods of Preliminary Hazard Analysis (PHA) and Fault Tree Analysis (FTA). The PHA method identifies all hazards and accident events that can cause accidents or failures, while the FTA method is a method that detects the causes and consequences of the system experiencing failure caused by one or more supporting components and making it in the benruk diagram. The use of PHA and FTA methods resulted in several components such as transfer pump, separator, filter, and booster pump failed. The results of the analysis showed MTTF values of 319.7 hours, 504.9 hours, 150.73 hours, and 322.38 hours, from the data it can be known that the filter component quickly failed because it has a low MTTF value, so maintenance and replacement must be more considered so as not to affect the performance of the fuel system.

Key Word: Failure, Fuel Oil System, PHA, FTA

ABSTRAK

Komponen utama mesin induk kapal salah satunya yaitu sistem bahan bakar. Kegagalan pada sistem bahan bakar dapat berakibat fatal pada mesin induk kapal. Oleh karena itu pembuatan analisa kegagalan sistem bahan bakar kapal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya kegagalan pada sistem bahan bakar dengan menggunakan metode *Preliminary Hazard Analysis (PHA)* dan *Fault Tree Analysis (FTA)*. Metode PHA dapat mengidentifikasi semua bahaya dan kejadian kecelakaan yang dapat menyebabkan terjadinya *accident* ataupun kegagalan, sedangkan metode FTA merupakan metode yang mendeteksi penyebab dan akibat sistem mengalami kegagalan yang disebabkan satu atau lebih komponen pendukungnya dan menjadikannya dalam benruk diagram. Penggunaan metode PHA dan FTA menghasilkan beberapa komponen seperti *transfer pump*, *separator*, *filter*, dan *booster pump* mengalami kegagalan. Hasil dari analisa menunjukkan nilai MTTF sebesar 319,7 jam, 504,9 jam, 150,73 jam, dan 322,38 jam, dari data tersebut dapat diketahui bahwa komponen filter cepat mengalami kegagalan karena memiliki nilai MTTF yang rendah, sehingga perawatan dan penggantianannya harus lebih diperhatikan agar tidak mempengaruhi kinerja dari sistem bahan bakar.

Kata Kunci: Kegagalan, Sistem Bahan Bakar, PHA, FTA

PENDAHULUAN

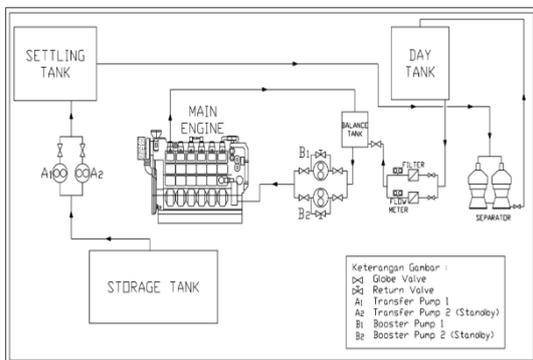
Marine Diesel Engine (mesin induk) di kapal dapat berfungsidengan baik apabila ditunjang oleh system-system pendukung yang baik pula. Sistem penunjang yang ada diatas kapal meliputi sistem bahan bakar (*fuel oil system*), sistem pelumasan (*lubricating oil system*), sistem pendingin (*cooling system*), dan sistem udara start (*starting system*). Semua sistem teresbut memiliki fungsi penting bagi operasional mesin induk, hal ini dikarenakan apabila terjadi kerusakan pada salah satu sisem penunjangnya maka akan mempengaruhi seluruh kinerja mesin induk.

Kegagalan yang terjadi pada salah satu komponen dapat menyebabkan suatu kegagalan yang sifatnya merusak keseluruhan fungsi kapal dan pada akhirnya mengakibatkan kerugian besar dan resiko dari sebuah system[1]. Karena permasalahan tersebut perlu dilakukan analisa kegagalan yang bisa dialami sebuah komponen, dalam hal ini komponen yang akan dibahas adalah komponen dari sistem bahan bakar.

Salah satu sistem layanan permesinan yang dipandang perlu dilakukan analisa adalah sistem bahan bakar mesin induk. Sistem bahan bakar memegang peran penting untuk menyuplai bahan

bakar ke dalam ruang bakar mesin diesel sebagai penggerak utama di kapal. Kegagalan pada sistem bahan bakar diakibatkan karena gagalnya salah satu komponen yang ada pada sistem bahan bakar tersebut[2]. Sehingga analisa dari komponen sistem bahan bakar dilakukan dengan menggunakan metode *Preliminary Hazard Analysis* (PHA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA).

Preliminary Hazard Analysis (PHA) merupakan metode analisis resiko yang bersifat semi kuantitatif yang berguna untuk mengidentifikasi semua bahaya dan kejadian kecelakaan potensial yang dapat menyebabkan terjadinya *accident*[3]. *Fault Tree Analysis* (FTA) merupakan suatu perangkat yang efektif untuk menemukan inti permasalahan secara sistematis yang berorientasi deduktif[4]. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui kegagalan setiap komponen dari sistem bahan bakar mesin induk kapal yang memberikan keuntungan kepada pihak kapal dalam hal *maintenance*.



Gambar 1. Sistem bahan bakar kapal[5].

TINJAUAN PUSTAKA

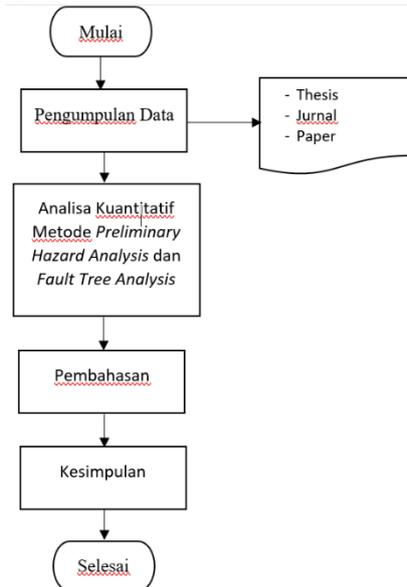
Salah satu komponen penting penggerak kapal adalah bahan bakar minyak (BBM). Bahan bakar minyak digunakan untuk menggerakkan mesin diesel sehingga menghasilkan daya dorong penggerak kapal. Sistem bahan bakar merupakan suatu sistem pelayanan untuk motor induk yang sangat vital. Sistem bahan bakar secara umum terdiri dari *transfer pump*, *settlink tank*, *booster pump*, *separator*, *storage tank*, *day tank*, dan *filter*. Sistem bahan bakar merupakan sistem yang menyuplai bahan bakar dari *bunker* ke *settlink tank* dan juga *daily tank* yang kemudian terhubung ke mesin induk atau mesin bantu. Adapun jenis BBM yang digunakan di atas kapal bisa berupa *heavy fuel oil* (HFO), *marine diesel oil* (MDO), ataupun solar, biasanya tergantung jenis mesin dan ukuran mesin [2].

Mengetahui kegagalan komponen pada suatu sistem berfungsi agar perawatan dapat dilakukan. Data kegagalan atau data perawatan yang telah dilakukan diolah untuk mendapatkan nilai *Mean Time To Failure* (MTTF) dari suatu komponen

yang nantinya bermanfaat untuk melakukan penentuan kegiatan perawatan sistem [6].

METODE PENELITIAN

Terjadinya kegagalan sistem pada suatu kapal merupakan hal tersebut dapat berdampak pada pengoprasian maka dilakukanlah identifikasi masalah dengan mengumpulkan sumber melalui jurnal, thesis, artikel ilmiah, atau penelitian lainnya tentang kegagalan sistem bahan bakar di kapal. Pada artikel ilmiah ini kejadian kegagalan sistem bahan bakar menggunakan metode *preliminary hazard analysis* dan *fault tree analysis* dengan tahapan seperti ditampilkan pada diagram alir berikut.



Gambar 2. Diagram alir metode penelitian

Metode yang digunakan dalam analisa ini adalah *Preliminary Hazard Analisis* dilakukan untuk :

- Mengidentifikasi semua bahaya dan kejadian kecelakaan potensial yang dapat menyebabkan terjadinya *accident*.
- Mengurutkan kejadian kecelakaan yang telah teridentifikasi berdasarkan tingkat keparahannya.
- Mengidentifikasi pengendalian bahaya yang dibutuhkan dan melakukan *flow up*.

Preliminary Hazard Analisis (PHA) dapat berguna sebagai studi khusus risiko tahap awal sebuah proyek. PHA mengidentifikasi dimana energi terlepas dan apa kejadian kecelakaan yang mungkin terjadi serta memberikan estimasi tingkat keparahan pada setiap sistem atau sistem yang telah ada. Sehingga nantinya akan ditentukan 1. Bahaya yang terjadi, 2. Penyebab bahaya tersebut, 4. Efek lokal yang terjadi, 5. Efek lanjutan yang terjadi, dan 6. Dampak dari kejadian tersebut. Setelah mendapatkan semua



data tersebut selanjutnya data akan dimasukkan ke dalam *Fault Tree Analysis*.

Sedangkan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) merupakan metode yang mendeteksi penyebab dan akibat sistem mengalami kegagalan yang disebabkan satu atau lebih komponen pendukungnya. Konsep dasar FTA adalah menterjemahkan sistem yang ada menjadi struktur yang berbentuk diagram, dimana urutannya dari peristiwa dasar (penyebab)[7].

HASIL DAN PEMAHASAN

Sistem bahan bakar kapal merupakan salah satu sistem pelayanan untuk motor induk yang sangat vital. Sistem bahan bakar secara umum terdiri dari *fuel oil supply*, *fuel oil purifying*, *fuel oil transfer*, dan *fuel oil drain piping system*. Sistem bahan bakar adalah suatu sistem yang digunakan untuk mensuplai bahan bakar dari bunker ke *settlink tank* dan juga *daily tank* lalu kemudian ke mesin induk atau mesin bantu. Adapun jenis bahan bakar yang digunakan di kapal bisa berupa *heavy fuel oil* (HFO), *marine diesel oil* (MDO), HSD, ataupun solar tergantung jenis mesin dan ukuran mesin. Untuk sistem yang menggunakan bahan bakar HFO untuk operasionalnya, sebelum masuk ke mesin induk atau mesin bantu HFO harus melalui *treatment* dahulu untuk penyesuaian viskositas, suhu, dan tekanan[2].

3.1. Preliminary Hazard Analysis (PHA)

Untuk mendapatkan kejadian kegagalan sistem pelumas tiap komponen digunakanlah table PHA untuk menentukan bahaya yang dapat mengakibatkan kegagalan, kejadian penyebab yang menimbulkan bahaya terjadi, efek yang diakibatkan hingga implikasi konsekuensi yang diterima apabila suatu bahaya tidak Tindakan lanjut atau pencegahan. Berikut merupakan beberapa kegagalan sistem bahan bakar pada Table 1.

Table 1. Preliminary Hazard Analysis

Bahaya	Penyebab	Efek Lokal	Dampak
Kegagalan pompa bahan bakar	Hilangnya aliran minimum karena kebocoran tangki	Korosi	Ledakan pada tangki dan pencemaran laut
	Tekanan aliran dari pompa	Seal pada pompa bocor	Pembakaran tidak sempurna

	kurang	atau rusak	
	Tekanan injeksi rendah	Injektor main engine rusak	Kelelahan komponen pompa bahan bakar
Kegagalan penyaringan bahan bakar	Separat or tidak mampu menyaring dengan baik	Kotor dan ada sendimen air	Bahan bakar kotor
	Filter tersumbat	Kerusakan packing pada filter	Kotor dan terjadi endapan
	Viskositas bahan bakar kurang cair	Faktor usia preheater	Bahan bakar menggumpal

Dari data yang didapatkan pada Table 1. dapat dilihat bahwa penyebab kegagalan sistem bahan bakar terjadi karena dua faktor kritis yaitu kegagalan pompa bahan bakar dan kegagalan penyaringan bahan bakarhal tersebut menyebabkan banyak dampak yang sangat merugikan pada alam dan ekonomis.

3.2. Fault Tree Analysis (FTA)

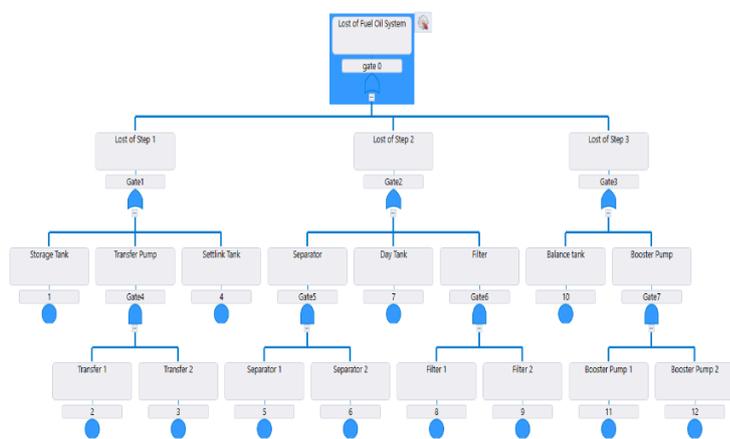
Setelah mendapat beberapa data dari table PHA diatas, Langkah selanjutnya yaitu membuat FTA dimana setiap sistem rekayasa memiliki beberapa moda kegagalan (*failure mode*). Hubungan logis antara sebuah moda kegagalan sistem disebut dengan *top event* dan sebab-sebab kegagalan dasar (*basic event*) yang juga dikenal sebagai *prime event*, digambarkan secara grafis dalam bentuk *Fault Tree Analysis* (FTA)[8]. 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 biasa diidentifikasi dengan menggunakan simbol seperti *And* atau *Or Gate*. Berikut ini merupakan pengertian dari beberapa simbol yang akan digunakan :

Table 2. Pengertian simbol pada FTA



Simbol	Kode	Keterangan	Defisini
	G	Top Event	Kejadian kegagalan yang tidak diharapkan
	Gate	OR Gate	Kejadian kegagalan sistem terjadi apabila satu atau komponen lainnya mengalami kegagalan
	Gate	And Gate	Kejadian kegagalan sistem terjadi apabila satu dan komponen lainnya mengalami kegagalan
	E	Basic Event	Penyebab mula kegagalan sistem

Berikut merupakan gambar hasil analisa FTA dari sistem bahan bakar kapal :



Gambar 3. FTA sistem bahan bakar pada kapal.

Dari Gambar 3 didapatkan *Cut set* dari FTA sebagai berikut :

Table 3. *Cut set* dari FTA Mechanical Failure

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

Dimana :

- 1 = Storage Tank
- 2 = Transfer Pump 1
- 3 = Transfer Pump 2 (Standby)
- 4 = Settlink 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)

3.3. Analisa Kuantitatif

Tujuan analisa data yaitu untuk mencari distribusi yang tepat untuk tiap-tiap komponen sistem bahan bakar. Penentuan distribusi tersebut merupakan tahap menentukan kecenderungan distribusi sistem dengan adanya fungsi waktu yang berubah-ubah. Penentuan distribusi komponen bahan bakar tersebut dilakukan dengan Distribusi *Weibull*. Distribusi menggunakan *Weibull* menghasilkan parameter bentuk (β), Parameter Skala (η), dan parameter lokasi (γ). Ketiga nilai tersebut digunakan untuk mendapatkan nilai indeks *mean time to failure* (MTTF) untuk setiap komponen. berikut hasil dari Distribusi Weibull :

3.3.1. Transfer Pump 1 & 2

Berdasarkan data operasi komponen *transfer pump*, maka didapatkan nilai :

- β = Parameter bentuk dari distribusi *Weibull* = 2,0906
- η = Parameter bentuk dari distribusi *Weibull* = 58,3514

- γ = Parameter bentuk dari distribusi *Weibull* = 261,35000

Nilai *MTTF* untuk komponen *transfer pump* berdasarkan persamaan dari distribusi *Weibull* adalah sebagai berikut :

$$t = m = MTTF = \eta + \gamma \quad (1)$$

$$MTTF = 58,3514 + 261,350 = 319,7 \text{ Jam}$$

3.3.2. Separator 1 & 2

Berdasarkan data operasi komponen *transfer pump*, maka didapatkan nilai :

- β = Parameter bentuk dari distribusi *Weibull* = 2,7534
- η = Parameter bentuk dari distribusi *Weibull* = 120,2467
- γ = Parameter bentuk dari distribusi *Weibull* = 384,6600

Nilai *MTTF* untuk komponen *transfer pump* berdasarkan persamaan dari distribusi *Weibull* adalah sebagai berikut :

$$t = m = MTTF = \eta + \gamma \quad (2)$$

$$MTTF = 120,2467 + 384,66 = 504,9 \text{ Jam}$$

3.3.3. Filter 1 & 2

Berdasarkan data operasi komponen *transfer pump*, maka didapatkan nilai :

- β = Parameter bentuk dari distribusi *Weibull* = 2,6911
- η = Parameter bentuk dari distribusi *Weibull* = 58,2296
- γ = Parameter bentuk dari distribusi *Weibull* = 92,5000

Nilai *MTTF* untuk komponen *transfer pump* berdasarkan persamaan dari distribusi *Weibull* adalah sebagai berikut :

$$t = m = MTTF = \eta + \gamma \quad (3)$$

$$MTTF = 58,2296 + 92,5000 = 150,73 \text{ Jam}$$

3.3.4. Booster Pump 1 & 2

Berdasarkan data operasi komponen *transfer pump*, maka didapatkan nilai :

- β = Parameter bentuk dari distribusi *Weibull* = 2,4452
- η = Parameter bentuk dari distribusi *Weibull* = 71,3433
- γ = Parameter bentuk dari distribusi *Weibull* = 251,0375

Nilai *MTTF* untuk komponen *transfer pump* berdasarkan persamaan dari distribusi *Weibull* adalah sebagai berikut :

$$t = m = MTTF = \eta + \gamma \quad (4)$$

$$MTTF = 71,3433 + 251,037 = 322,38 \text{ Jam}$$

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pembahasan diatas perawatan yang harus diprioritaskan yaitu pada komponen filter bahan bakar. Filter bahan bakar memiliki tingkat risiko kegagalan yang tinggi karena nilai *MTTF* yang rendah yaitu hanya 150,73 jam dimana komponen tersebut cepat mengalami kegagalan yang membuat sistem tidak bekerja dengan semestinya, sehingga perawatan serta penggantian harus lebih diperhatikan. Sedangkan untuk *booster pump*, *separator*, dan *transfer pump* memiliki nilai *MTTF* yang lebih tinggi yaitu 322,38 jam, 504,9 jam, dan 319,7 jam. Hasil kegagalan tersebut sangat bermanfaat dalam membuat strategi perawatan setiap komponen untuk menghindari terjadinya kegagalan sistem bahan bakar.

Saran yang dapat diberikan yaitu agar penelitian selanjutnya dilakukan pada setiap sistem yang ada di kapal seperti sistem pendingin, sistem pelumas, sistem start, dan banyak lagi, karena jika salah satu sistem tidak bekerja maka kapal tidak dapat mengeluarkan performa yang maksimal

REFERENSI

- [1] M. Danil Arifin, F. Octaviani, and T. D. Novita, "Analisa Kegagalan Sistem Pelumasan dan Pemilihan Metode Perawatan M/E di Kapal Menggunakan Metode FMEA Dalam Rangka Menunjang Operasi Transportasi Laut di Indonesia," *J. Penelit. Transp. Laut*, vol. 17, no. 1, pp. 1–6, 2020, doi: 10.25104/transla.v17i1.1416.
- [2] M. Lutfi, "Analisa Perawatan Berbasis Keandalan pada Sistem Bahan Bakar

- Mesin Utama kapal Motor Penyebrangan Bontoharu,” vol. 5, no. 1, 2019.
- [3] W. G. Prabowo, W. Arninputranto, and A. Setiawan, “Identifikasi Bahaya Dengan Metode Preliminary Hazard Analysis (PHA) Pada Bengkel / Lab Serta Pembuatan Sistem Informasi UPI K3 dan Pelaporan Kecelakaan (Studi Kasus di PPNS),” no. 2581, pp. 141–146.
- [4] M. Z. Latif A, Y. E. Priharanto, D. Prasetyo, and M. Muhfizar, “Preliminary Hazard Analysis dan Fault Tree Analysis untuk Identifikasi Penyebab Kegagalan Sistem Pelumas Mesin Induk Kapal Penangkap Ikan,” *J. Airaha*, vol. 7, no. 02, pp. 77–87, 2018, doi: 10.15578/ja.v7i02.94.
- [5] E. S. H, B. Untung, P. Studi, T. Perkapalan, F. Teknik, and U. Diponegoro, “Analisa Keandalan Sistem Bahan Bakar Motor Induk Pada Km. Leuser,” *Kapal*, vol. 5, no. 2, pp. 123–135, 2012, doi: 10.12777/kpl.5.2.123-135.
- [6] M. R. Alwi, “RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE DALAM PERAWATAN,” vol. 14, pp. 77–86, 2016.
- [7] Y. A. Mahmood, A. Ahmadi, A. K. Verma, A. Srividya, and U. Kumar, “Fuzzy fault tree analysis: A review of concept and application,” *Int. J. Syst. Assur. Eng. Manag.*, vol. 4, no. 1, pp. 19–32, 2013, doi: 10.1007/s13198-013-0145-x.
- [8] 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.