

STUDI ANALISA KEHANDALAN DAN JADWAL PERAWATAN SISTEM BAHAN BAKAR DI KAPAL DENGAN PEMODELAN DINAMIKA SISTEM

I Putu Andhi Indira Kusuma
Jurusan Teknik Perkapalan
Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
Email : indira7030@gmail.com

ABSTRAK

Sistem bahan bakar di kapal memiliki peran untuk mentransfer bahan bakar dari tangki penyimpanan menuju ke mesin induk. Sistem ini merupakan salah satu bagian dari sistem penunjang mesin induk di kapal yang memiliki peran sangat penting demi kelangsungan beroperasinya motor induk sebagai sumber penggerak kapal. Mengingat begitu pentingnya peran dari sistem ini maka apabila terjadi kegagalan pada salah satu komponen atau sub komponen dari sistem bahan bakar, maka akan berdampak langsung terhadap performa mesin induk serta mempengaruhi operasional kapal. Untuk mencegah terjadinya bahaya yang ditimbulkan oleh kegagalan sistem bahan bakar tersebut maka di perlukan suatu analisa kegagalan serta jadwal perawatan yang baik. Pada studi ini akan menganalisa kegagalan serta penjadwalan perawatan sistem bahan bakar yang terdapat pada kapal KM Karisma milik PT. Pelayaran Nusa Tenggara dengan menggunakan pemodelan dinamika sistem. Pada analisa kegagalan, *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)* digunakan untuk menentukan komponen kritis pada sistem bahan bakar. Sedangkan dalam analisa jadwal perawatan, jadwal operasional kapal dipertimbangkan dalam pengambilan keputusan sehingga semua kegiatan perawatan akan dilakukan saat kapal sedang tidak melakukan pelayaran. Hasil dari studi menunjukkan bahwa analisa kehandalan serta jadwal perawatan kapal dapat dimodelkan dengan baik oleh metode dinamika sistem. Selain itu, jadwal perawatan yang ditentukan bertujuan untuk menghindari terjadinya kegagalan sistem dan semua perawatan dapat di lakukan pada saat kapal tidak berlayar.

Kata kunci: Sistem bahan bakar, Kegagalan, Jadwal Perawatan, FMEA, Dinamika Sistem

PENDAHULUAN

Sistem penunjang motor induk di kapal berfungsi untuk membantu mesin induk agar beroperasi sesuai dengan fungsinya yaitu memberikan tenaga kepada propeller untuk mendorong kapal. Salah satu bagian dari sistem penunjang motor induk yaitu sistem bahan bakar. Sistem ini bertugas untuk menyalurkan bahan bakar dari tangki penyimpanan menuju mesin. Sistem penunjang termasuk di dalamnya adalah sistem bahan bakar yang memiliki peran dan fungsi yang sangat penting bagi kelangsungan operasional motor induk. Hal ini dikarenakan, apabila terjadi kerusakan pada salah satu komponennya, motor induk pasti akan mengalami masalah dan motor induk tidak dapat beroperasi dengan baik.

Seperti misalnya kerusakan pada *starting air system* serta *fuel oil system* pada kapal Caraka jaya Niaga yang mengakibatkan kegagalan pada saat manuver, sehingga mengakibatkan kapal sulit untuk melakukan manuver dipelabuhan [1]. Hal ini juga dapat membahayakan kapal serta lingkungan pelabuhan yang mana kita ketahui arus pelayaran pada pelabuhan sangat ramai sehingga dapat membahayakan kapal yang lain. Selain itu secara tidak langsung hal ini akan mengakibatkan proses bongkar muat kapal akan sedikit terhambat dikarenakan waktu untuk bersandar ataupun meninggalkan pelabuhan sedikit lebih lama dari biasanya dikarenakan proses manuvering kapal yang bermasalah.

Begitu pentingnya peran dari sistem penunjang motor induk tersebut, maka untuk dapat mendeteksi penyebab kegagalan komponen/sistem perlu dilakukan suatu studi yang mempelajari mengenai karakteristik pola kegagalan, pola perawatan serta kondisi operasional dari masing-masing komponen sistem bahan bakar. Dengan mempelajari mengenai dinamika sistem diharapkan

dapat membantu menganalisa serta memahami suatu sistem yang kompleks berubah terhadap fungsi waktu [2]. Hal ini dikarenakan suatu sistem yang dalam kondisi awalnya memiliki performa yang baik jika beroperasi secara terus menerus berdasarkan fungsi waktu, setelah sekian lama kondisinya mungkin tidak sebaik seperti kondisi awalnya. Hal seperti ini terkadang tidak dipahami oleh operator kapal, yang mengakibatkan terjadinya kerusakan komponen/sistem penunjang motor induk. Kondisi ini akan sangat berbahaya bagi kelangsungan operasional motor induk sebagai motor penggerak kapal. Pada studi ini akan di analisa mengenai karakteristik keandalan sistem serta perawatan dari komponen sistem bahan bakar berdasarkan jadwal operasional kapal dengan pemodelan dinamika sistem. Serta menentukan jadwal perawatan yang optimum dari masing-masing komponen yang mengalami kegagalan operasi, agar dapat dilakukan pencegahan sehingga dapat meminimalisir kerusakan sistem.

DASAR TEORI

Teori Keandalan Sistem

Sistem merupakan kumpulan suatu sub sistem atau komponen yang berhubungan satu sama lainnya guna menjalankan suatu fungsi tertentu. Dari definisi ini keandalan sistem dapat didefinisikan sebagai kemampuan suatu komponen atau sistem untuk dapat beroperasi sesuai dengan fungsinya dalam rentang waktu serta kondisi operasi tertentu. Untuk dapat menilai keandalan suatu sistem aspek yang paling penting adalah pengertian yang baik serta menyeluruh terhadap implikasi rekayasa dari sistem yang akan dianalisa[2]. Fungsi keandalan $R(t)$ didefinisikan sebagai peluang suatu komponen tidak gagal berdasarkan interval waktu $(0,t)$ serta dapat diekspresikan sebagai berikut:

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

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2)$$

Untuk membuat suatu model simulasi keandalan diperlukan beberapa fungsi seperti *failure rate*, *MTTF (mean time to failure)* dan *MTTR (mean time to repair)*. Setiap komponen juga diwakili sekurangnya satu jenis distribusi kegagalan yang terbaik. Distribusi tersebut dapat berupa *weibull*, *normal*, *eksponensial* dll. Untuk mendapatkan distribusi tersebut biasanya didapatkan dari pengolahan data kegagalan dari suatu komponen sehingga didapatkan suatu jenis distribusi terbaik yang mewakili komponen tersebut. Disamping diatas biasanya sistem terdiri dari beberapa konfigurasi sistem yaitu dapat berupa seri, paralel, seri-paralel, paralel-seri, *redundant* ataupun konfigurasi yang kompleks. Berikut ini akan dipaparkan secara singkat mengenai konfigurasi sistem seri dan paralel.

a. Konfigurasi Seri

Pada konfigurasi ini semua komponen harus beroperasi untuk menjamin operasional sistem. Hal ini berarti apabila satu dari komponen sistem gagal maka sistem dikatakan gagal. Sistem dengan konfigurasi seri dapat ditunjukkan sebagai berikut:

$$R_s = \prod_{i=1}^n R_i \quad (3)$$

b. Konfigurasi Paralel

Pada konfigurasi ini apabila terjadi kegagalan pada satu komponen maka sistem masih dapat beroperasi. Atau dengan kata lain sistem dikatakan gagal apabila semua komponen dalam sistem gagal. Sistem dengan konfigurasi paralel dapat ditunjukkan sebagai berikut :

$$R_p = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i \quad (4)$$

c. MTTF

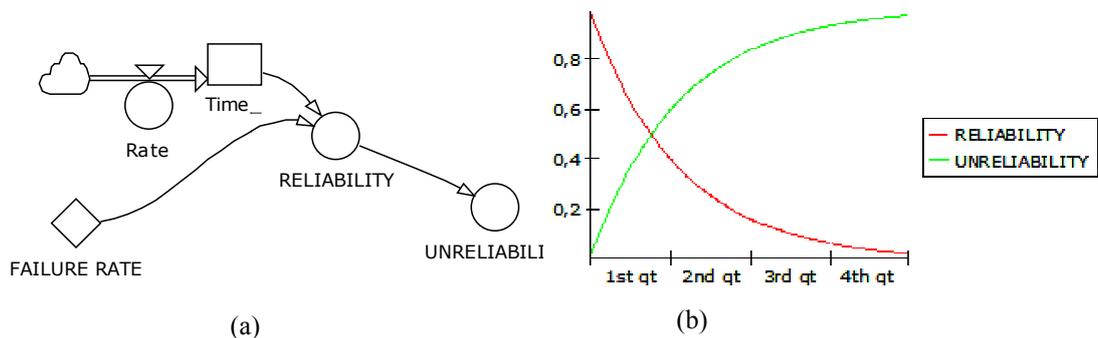
Merupakan waktu rata-rata terjadinya kegagalan dari unit-unit identik yang beroperasi pada kondisi normal.

$$m = \int_0^{\infty} R(t) \quad (5)$$

Dinamika Sistem

Metode Dinamika Sistem ditemukan oleh *Jay W Forrester* dari *MIT Sloan School of Management* pada tahun 1950 [3]. Permulaannya metode ini digunakan hanya untuk lingkup ilmu manajemen industri yang kemudian diaplikasikan untuk bidang ilmu yang lain seperti ekonomi, sosial, teknik transportasi dan mungkin dapat diaplikasikan dibidang lainnya. Dinamika sistem dibuat untuk menganalisa hubungan sebab akibat antara satu peralatan dengan peralatan yang lainnya berdasarkan karakteristik serta fungsinya dari suatu sistem yang kompleks. Dengan pengertian yang baik mengenai hubungan antara satu komponen dengan komponen yang lainnya dalam suatu sistem maka diharapkan dapat membantu pengambilan keputusan yang baik mengenai pengoperasian serta perawatan dari komponen/sistem untuk menghindari kegagalan serta mengurangi resiko yang mungkin terjadi [4]. Analisa ini sangat baik diterapkan kepada sistem penunjang motor induk yang memiliki karakteristik pengoperasian serta perawatan yang berbeda-beda antara salah satu komponen/sistem dengan komponen sistem penunjang yang lainnya.

Dinamika sistem tidak hanya dapat digunakan untuk menganalisa apa yang terjadi pada sistem namun juga dapat menganalisa kenapa hal itu bisa terjadi pada suatu sistem [5]. Hal ini dikarenakan dinamika sistem bekerja berdasarkan prinsip sebab akibat dengan memiliki ide bahwa antara aksi dan keputusan menghasilkan suatu konsekuensi dimana ketika aksi dan keputusan berubah maka konsekuensi pun akan berubah juga.



Gambar 1. (a-b). Pemodelan Dinamika Sistem Untuk Perhitungan Kehandalan

Pada gambar pemodelan diatas merupakan gambaran keandalan dari suatu komponen yang terdistribusi eksponensial dimana pada pemodelan tersebut memaparkan bagaimana keandalan dari suatu komponen berubah berdasarkan fungsi waktu atau dengan kata lain keandalan suatu komponen akan semakin menurun berdasarkan waktu operasional sistem.

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) merupakan suatu analisa yang dilakukan dengan memeriksa komponen-komponen dari tingkat rendah dan meneruskannya ke sistem yang merupakan tingkatan yang lebih tinggi serta mempertimbangkan kegagalan sistem sebagai hasil dari semua bentuk kegagalan. Disamping itu *FMEA* merupakan salah satu bentuk analisa kegagalan serta dampak kegagalan yang ditimbulkan oleh tiap-tiap komponen pada sistem. Hasil dari analisa *FMEA* dapat dibuat sedetail mungkin, hal ini bergantung dari informasi yang akan dibutuhkan serta informasi yang diperoleh untuk menganalisa.[6]. Penggunaan *FMEA* dapat digunakan dibedakan menjadi dua macam yaitu :

- a. Fungsional :
 - Type *FMEA* ini mengasumsikan kegagalan serta identitas tentang bagaimana kegagalan dapat terjadi.
- b. Hardware :
 - Type *FMEA* ini menginvestigasi porsi yang lebih kecil dari suatu sistem seperti sub *assembly* atau komponen individu.

Untuk menentukan komponen kritis dari sistem bahan bakar maka akan digunakan analisa *FMEA* dari *MIL-STD 1629A* [7] yang telah dimodifikasi, yang mana kegiatan dituliskan kedalam *worksheet* dimana masing-masing kolom *worksheet* berisikan item-item seperti gambar berikut :

FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS										
SYSTEM _____					DATE _____					
INDENTURE LEVEL _____					SHEET _____					
REFERENCE DRAWING _____					COMPILED BY _____					
MISSION _____					APPROVED BY _____					
IDENTIFICATION NUMBER	ITEM/FUNCTIONAL IDENTIFICATION (IN NOMENCLATURE)	FUNCTION	FAILURE MODES AND CAUSES	MISSION PHASE/ OPERATIONAL MODE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION METHOD	Effect for Main Engine	
					LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER LEVEL	END EFFECTS		Yes	No

Gambar 2. Worksheet *FMEA MIL-STD 1629A* yang telah di Modifikasi.

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Data Kapal

Berikut ini merupakan data kapal KM. Karisma milik Perusahaan Pelayaran Nusa Tenggara yang merupakan satu dari enam kapal yang dimiliki oleh perusahaan pelayaran tersebut dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 1. Data Spesifikasi Kapal KM. Karisma

Identifikasi	Keterangan
Gross Tonnage	2059 GT
LWT	1329 Ton
LOA / LPP	88,636 / 81,50
Lebar Kapal	13 Meter
Sarat Air	5,409
Kecepatan	10 Knot
Motor Induk	MAN B&W 6S26MC
HP / Kw / R.P.M	2382 PS / 1752 / 250
Jumlah Crews	21 Orang
Buatan Tahun	1990 - Korea Selatan

KM. Karisma merupakan kapal general cargo yang melayani rute pelayaran sebagai berikut:

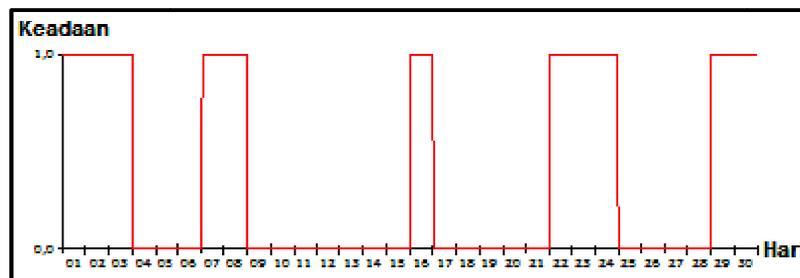
Tabel 2. Jadwal Pelayaran KM. Karisma

Pelabuhan Asal	Tiba		Berangkat	
	Tanggal	Jam	Tanggal	Jam
Balikpapan			12/09/2008	16.16
Gresik	15/09/2008	02.34	18/09/2008	14.40
Balikpapan	20/08/2008	23.52	27/09/2008	17.34
Tarjun	28/09/2008	09.51		

Berdasarkan rute pelayaran sebenarnya dilapangan KM. Karisma merupakan kapal yang melayani rute berdasarkan trayek atau order. Oleh karena itu dalam analisa data pada studi ini kapal KM. Karisma diasumsikan melayani rute seperti tabel diatas dengan sistem rute serta jadwal *liner*, Sehingga kapal akan berlayar dengan rute yang tetap dan berulang kali selama waktu yang ditentukan.

Model Jadwal Pelayaran Kapal

Tahapan yang pertama adalah pembuatan model pelayaran kapal KM Karisma menggunakan bantuan *Software Powersim 2005*. Pada pembuatan model ini tabel rute serta pelayaran kapal diatas dibuat suatu skenario agar mempermudah pembacaan pada pemodelan jadwal pelayaran tersebut. Skenario yang dipakai adalah menentukan kondisi dari kapal baik saat berlayar ataupun bersandar, dimana pada saat keadaan berlayar dianggap dalam keadaan nilai *1 (satu)* sedangkan pada saat keadaan bersandar dianggap dalam keadaan nilai *0 (nol)*. Sehingga dapat dibuat suatu diagram yang menunjukkan model jadwal pelayaran kapal KM. Karisma.



Gambar 3. Grafik Jadwal Pelayaran KM Karisma

Model Kegagalan Komponen Pada Sistem Bahan Bakar

Untuk membuat model kegagalan komponen atau sistem data yang diperlukan adalah waktu kegagalan komponen/ sistem. Waktu kegagalan atau *failure rate* diperoleh dari buku *secondary data* yaitu *OREDA 2002* [8] serta *NPRD-91* [9]. Dimana sebelum melakukan analisa kegagalan sistem untuk menentukan komponen kritis yang akan digunakan untuk mewakili sistem, maka digunakan *FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)*. Dimana setelah didapatkan komponen kritis pada masing-masing sistem maka akan dibuatkan suatu blok diagram yang menunjukkan hubungan komponen didalam sistem tersebut, kemudian digunakan untuk melakukan analisa kegagalan sistem. Namun terdapat beberapa batasan dalam pengerjaan analisa ini yaitu :

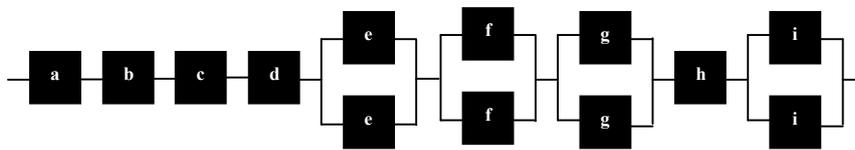
1. Katup tidak dianalisa, hal ini dikarenakan informasi perusahaan mengatakan bahwa katup jarang mengalami kerusakan serta dilakukan perawatan hanya pada saat kapal *docking*.
2. Tanki yang dianalisa hanya *de-aerating* tank. Sedangkan tanki yang lain dilakukan perawatan hanya pada saat kapal *docking* berdasarkan informasi yang diperoleh dari perusahaan.

Penentuan komponen kritis beserta blok diagram dari sistem bahan bakar berdasarkan analisa FMEA dapat di jabarkan sebagai berikut :

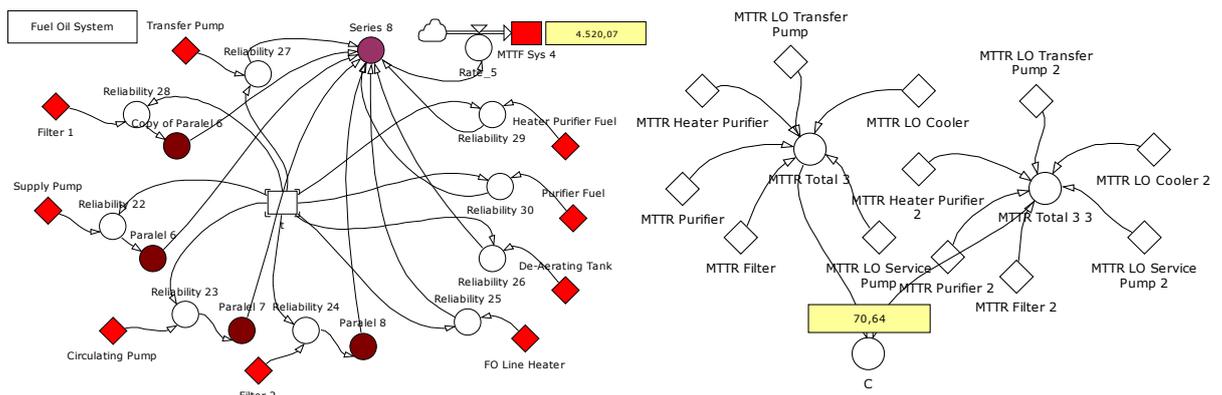
Berdasarkan analisa FMEA didapatkan komponen kritis sebagai berikut yaitu:

- a. Transfer Pump
- b. FO Purifier Heater
- c. Purifier
- d. De-Aerating Tank
- e. Filter 1
- f. Supply Pump
- g. Circulating Pump
- h. FO Line Heater
- i. Filter 2

Sehingga setelah didapatkan komponen kritis maka akan dibuat blok diagram yang mengacu pada diagram sistem yang terdapat di kapal sehingga didapat sebagai berikut :



Gambar 4. Diagram Blok Komponen Kritis Fuel Oil System.

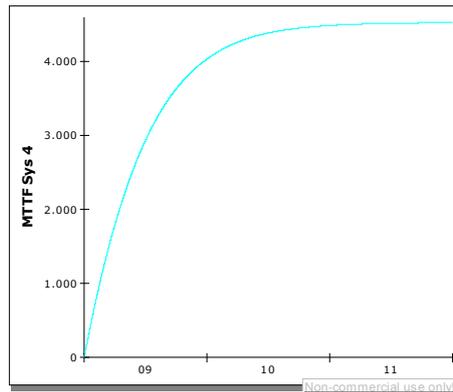


Gambar 5. Diagram Blok Komponen Kritis Fuel Oil System.

Nilai laju kegagalan pada masing-masing komponen kritis adalah sebagai berikut :

1. FO Transfer Pump : 2/0,0262/1000000
2. Filter 1 : 0,0438/1000000
3. Supply Pump : 2/0,0262/1000000
4. Circulating Pump : 2/0,0262/1000000
5. Filter 2 : 0,0438/1000000
6. FO Line Heater : 16,81/1000000
7. De-Aerating Tank : 6/0,4445/1000000
8. Purifier Fuel : 0,2/0,0046/1000000
9. Heater Purifier Fuel : 16,81/1000000

Nilai laju kegagalan digunakan sebagai input pada pemodelan diatas sehingga berdasarkan pemodelan diatas didapatkan nilai *MTTF system* sebesar 4.520,07 jam. Hal ini berarti sistem bahan bakar mengalami kegagalan yang diwakili oleh komponen kritisnya terjadi pada hari ke 188. Pada grafik dibawah ini merupakan grafik yang menunjukkan nilai dari *MTTF System*.



Gambar 6. Bentuk Grafik untuk Menunjukkan Nilai *MTTF* pada *Fuel Oil System*.

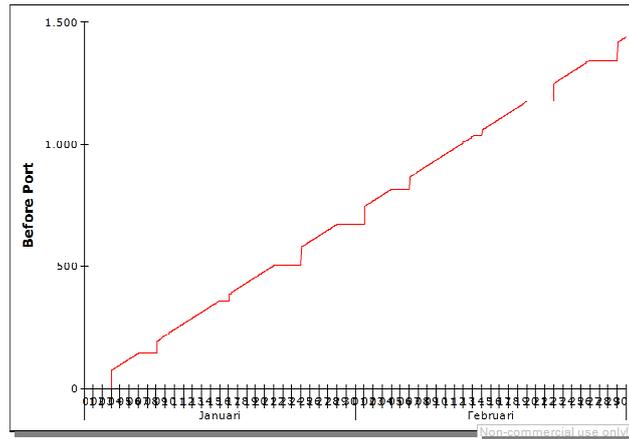
Dimana dengan data ini maka kita dapat mengetahui kegagalan suatu komponen/sistem berada dalam keadaan berlayar atau bersandar, sehingga kedepannya dapat diambil suatu keputusan kapan jadwal perbaikan terbaik yang akan dilakukan agar komponen tersebut tidak gagal pada saat berlayar. Apabila komponen/sistem tersebut rusak pada saat berlayar maka dapat mengakibatkan terhentinya kerja dari sistem serta secara tidak langsung akan mengakibatkan kerja dari motor induk terhenti. Dimana apabila kerja dari motor induk terhenti maka kapal juga tidak dapat bergerak dan jadwal pelayaran akan terganggu. Dengan terganggunya jadwal pelayaran maka secara otomatis transfer barang juga mengalami keterlambatan dan kerugian perusahaan juga tidak dapat dihindari. Dengan begitu pentingnya peran dari penjadwalan perawatan maka akan dicari suatu jadwal perawatan yang optimal untuk mencegah permasalahan tersebut.

Nilai *mean to repairs* dari masing-masing komponen kritisnya adalah sebagai berikut :

- a. FO Transfer Pump : max 63 manhours, min 4 manhours
- b. Filter 1 : max 12 manhours, min 2 manhours
- c. Supply Pump : max 63 manhours, min 4 manhours
- d. Circulating Pump : max 63 manhours, min 4 manhours
- e. Filter 2 : max 12 manhours, min 2 manhours
- f. FO Line Heater : max 27 manhours, min 19 manhours
- g. De-Aerating Tank : max 10 manhours, min 1 manhours
- h. Purifier Fuel : max 4 manhours, min 2 manhours
- i. Heater Purifier Fuel: max 27 manhours, min 19 manhours

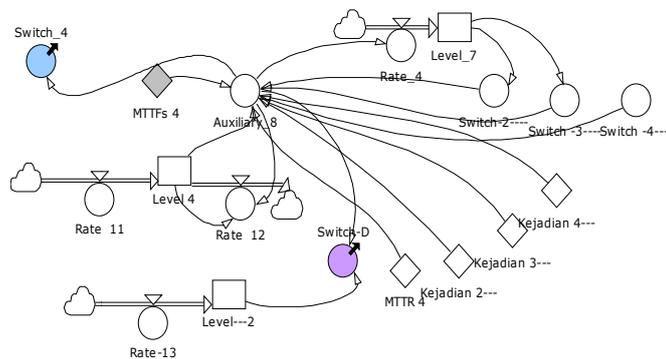
Hubungan Jadwal Pelayaran Dengan Jadwal Kegagalan Komponen Sistem Bahan Bakar

Setelah mengetahui jadwal kegagalan dari komponen kritis pada masing-masing komponen maka akan dihubungkan dengan jadwal pelayaran kapal yang telah dibuat dengan waktu pelayaran selama 2,5 tahun. Sehingga akan diketahui apakah terdapat kegagalan dari sistem penunjang motor induk pada saat kapal berlayar. Langkah awal yang dilakukan adalah membuat suatu skenario pemodelan yang dapat menunjukkan hubungan keduanya, dimana skenario yang dilakukan adalah membuat suatu grafik yang berdasarkan dengan waktu. Dimana pada *axis x* menunjukkan hari dan *axis y* menunjukkan jam operasional. Seperti pemaparan diatas bahwa apabila terjadi kegagalan pada saat kapal berlayar akan mengakibatkan dampak yang sangat serius baik dari segi biaya, keselamatan maupun lingkungan. Oleh karena itu pada analisa ini akan dijelaskan hubungan antara keduanya sehingga dapat memberikan informasi yang tepat sehingga dapat mencegah terjadinya kegagalan tersebut. Langkah awal yang dilakukan adalah membuat suatu skenario pemodelan yang dapat menunjukkan hubungan keduanya, dimana skenario yang dilakukan adalah membuat suatu grafik yang berdasarkan dengan waktu.

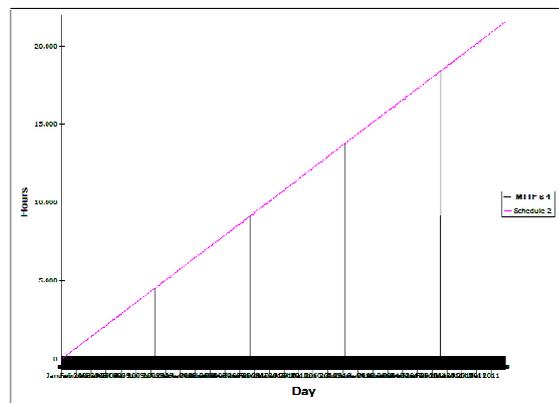


Gambar 7. Grafik Baru Jadwal Pelayaran KM Karisma.

Gambar diatas menunjukkan bahwa grafik jadwal pelayaran awal diubah sebagai *timestep* sehingga jangka waktu dapat dihitung dan diketahui. Namun pada grafik yang baru *trend* mendatar merupakan model kapal berlayar sedangkan *trend* miring meninggi merupakan kapal bersandar dipelabuhan. Setelah itu langkah yang selanjutnya adalah memasukkan nilai *MTTF system* di grafik jadwal pelayaran sehingga dapat diketahui apakah *MTTF system* jatuh pada saat berlayar atau pada saat kapal berada di pelabuhan. Setelah tahap ini akan dibuat suatu model hubungan antara jadwal pelayaran yang baru dengan jadwal kegagalan yang di wakili oleh *MTTF system*. Berikut ini adalah langkah-langkah pemodelan dari hubungan yang akan dibuat yaitu :



Gambar 8. Pemodelan untuk Mengetahui Jumlah Kegagalan pada *Fuel Oil System* Selama 2,5 Tahun



Gambar 9. Grafik Jumlah Kegagalan pada *Fuel Oil System* Selama 2,5 Tahun. Axis x dan y menunjukkan waktu, garis warna magenta menunjukkan jadwal pelayaran dan garis warna coklat menunjukkan jadwal kegagalan sistem bahan bakar.

Pada pemodelan diatas terdapat dua *switch* yang berfungsi untuk mengetahui nilai dari posisi jatuhnya kegalan sistem bahan bakar yang dihubungkan dengan jadal pelayaran. Setelah itu untuk mengetahui hasilnya *switch* tersebut dikurangkan sehingga akan diketahui waktu kegalan dari sistem bahan bakar selama 2,5 tahun yang ditunjukkan pada gambar 9 serta tabel 3.

Tabel 3. Jadwal Kegagalan Sistem Bahan Bakar KM. Karisma

Waktu	Switch-D	Switch_4	Tempat (jam)
9/7/2009 22:56	4528	4528	0 (bersandar)
23/1/2010 03:08	9154	9154	0 (bersandar)
05/8/2010 07:20	13780	13780	0 (bersandar)
06/02/2011 18:56	18406	18406	0 (bersandar)

Berdasarkan tabel diatas didapatkan bahwa keseluruhan kegagalan system terjadi pada saat kondisi kapal bersandar sehingga pada saat perbaikan kapal sudah bisa diperbaiki pada saat kapal bersandar namun harus memperhatikan waktu lama kapal untuk bersandar. Dimana apabila jadwal perbaikan lebih panjang dari waktu bersandar maka kapal akan dikenai denda. Analisa ini didapat diakarenakan apabila *Switch-D* sama dengan nilai dari *Switch 4* maka kejadian kegagalan terjadi pada saat kondisi bersandar.

KESIMPULAN

Dari hasil studi menunjukkan bahwa analisa kehandalan serta jadwal perawatan kapal dapat dimodelkan dengan baik oleh metode dinamika sistem dengan bantuan software powersim 2015. Dinamika sistem dibuat untuk menganalisa hubungan sebab akibat antara satu peralatan dengan peralatan yang lainnya berdasarkan karakteristik serta fungsinya dari suatu sistem yang komplek. Kemudian, jadwal kegagalan komponen dari sistem bahan bakar semua terjadi pada saat kapal bersandar sehingga dapat langsung diperbaiki dengan mempertimbangkan lama waktu bersandar untuk menghindari denda keterlambatan. Dalam analisa ini masih terdapat beberapa asumsi yang dapat di hilangkan pada analisa selanjutnya sehingga karakteristik kegagalan dari suatu sistem dapat dipelajari dengan lebih detail dan tepat sehingga mampu meramalkan dan menghindari terjadinya kegagalan komponen/sistem pada saat kapal berlayar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Supardi, *Analisa Kegagalan Sistem Start Mundur (Astern) Pada Reversible Diesel Engine di KM Caraka Jaya Niaga III-31 Dengan Metode Fault Tree Analysis (FTA)*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, FTK, ITS,2009.
- [2] Artana, Ketut Buda. *Pendahuluan Kuliah Kehandalan Sistem*, Handout Kuliah Kehandalan Sistem, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, ITS, 2005.
- [3] Hanne-Lovise Skartveit, Katherine Goodnow and Magnhild Viste, *Visualized System Dynamics Models as Information and Planning Tools*, University of Bergen, (www. Informing science.com dikutip pada 31 Agustus 2009 jam 18.00 WIB).
- [4] Baliwangi, Lahar. Arima, H. Artana, KB. Ishida, Kenji, *Simulation on System Operation and Maintenance Using System Dynamics*, Journal of the JIME. Vol. 00. No.00, 2007
- [5] Baliwangi, Lahar. Arima, H. Artana, KB. Ishida, Kenji, *System Dynamic Simulation for Assisting System Operation and Maintenance Management*, Autumn Meeting Paper JIME. 2007.
- [6] Failure Mode and Effect Analysis Packet, dikutip pada 32 Agustus 2009 jam 20.00 WIB.

- [7] US Dept of Defence, *Procedures For Performing A Failure Mode Effect And Criticality Analysis, MIL-STD-1629A*. 1980.
- [8] NPRD Section 3, *Part Details*. 1995
- [9] OREDA, *Offshore Reliability Data Handbook*. 2002