

## Aplikasi *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) untuk Mempermudah Perawatan dan Perbaikan Sitem Pendingin *Main Engine* Di Kapal

Gerada M<sup>1</sup>, Ratna Dwi Kurniawan<sup>✉</sup>, Rudi S<sup>3</sup>

Teknik Permesinan Kapal<sup>1</sup> Teknik Bangunan Kapal<sup>2</sup> Teknik Kelistrikan Kapal<sup>3</sup> Universitas Ivet

DOI: <https://doi.org/10.31331/maristec.v3i1>

### Info Articles

*Sejarah Artikel:*

Disubmit Mei 2022

Direvisi Juni 2022

Disetujui Juli 2022

*Keywords:*

*FMEA, Cooling sistem,  
Pendingin mesin, Perawatan*

### Abstrak

Kapal sebagai alat transportasi di laut harus memenuhi persyaratan keselamatan yang dikeluarkan lembaga yang berwenang. Lingkungan yang ekstrim, dan operasional permesinan yang running selama 24 jam *non stop* harus memiliki tingkat kehandalan yang tinggi. Perawatan yang baik dan tepat akan membuat umur kapal yang panjang dan memberikan nilai ekonomis. Beberapa alat untuk melakukan analisa resiko adalah FMEA, sebagai tool untuk analisa secara kualitatif dapat dijadikan acuan dalam melakukan perawatan dan sebagai alat yang mempermudah *crew* dalam melakukan analisa dan perawatan untuk mencegah terjadinya kegagalan. Pada studi kasus ini dapat disimpulkan bahwa kegiatan yang dilakukan *crew* sudah sesuai dengan apa yang tabel FMEA susun, dan terbukti bahwa meski umur kapal lebih dari 30 tahun masih normal beroperasi. Hal ini dapat diketahui dari *logbook* KM Mitra Papua.

### Abstract

*The ship as a transportation at sea must have the safety requirements issued by the competent authority. Extreme environments, and machine operations that run 24 hours non-stop must have a high level of reliability. Good and proper maintenance will make the ship's life long and provide economic value. Several tools to perform risk analysis are FMEA, as a tool for qualitative analysis can be used as a reference in carrying out maintenance and as a tool that makes it easier for crews to carry out analysis and maintenance to prevent failure. In this case study, it can be concluded that the activities carried out by the crew are in accordance with what the FMEA table has compiled, and it is proven that even though the ship is more than 30 years old, it is still operating normally. This can be seen from the KM Mitra Papua logbook.*

✉ Alamat Korespondensi: E-mail:  
[rtnkurniawan@gmail.com](mailto:rtnkurniawan@gmail.com)

## PENDAHULUAN

Kapal KM. Mitra Papua merupakan sebuah kapal kargo (*cargo ship*) yang merupakan kapal buatan Jepang dengan ukuran panjang 42 meter dan lebar 9,20 meter, mempunyai berat mati 500 T. Kapal KM. Mitra Papua merupakan kapal buatan Jepang yang merupakan ex KM Maju 9 yang dibuat pada tahun 1991 dan mulai di daftarkan ulang dan beroperasi di Indonesia pada tahun 2004. Kapal ini menggunakan mesin merek Matsui tipe M1 624 menggunakan sistem *start* udara atau minimal 20 kg/m<sup>3</sup>, Mesin induk ini memiliki tenaga 650 HP, memiliki rpm maksimal 420 rpm dan rpm yang digunakan 320-340 rpm untuk efisiensi bahan bakar, serta memiliki kecepatan dinas sebesar 8 knot.

Dari deskripsi diatas dapat diketahui KM Mitra Papua bukanlah kapal baru lagi, dan sudah berusia 31 tahun bahkan bisa lebih, karena biasanya dan kebanyakan kapal bekas dari Jepang sudah pernah dipakai sebelum di pindah tangankan ke pemilik kapal di Indonesia. Pembelian kapal bekas jika dinilai dari sisi praktis dan ekonomis lebih menguntungkan menurut para pemilik kapal, karena harga relatif tidak mahal dan tidak menunggu lama dalam proses pembangunan yang berarti juga uang yang berhenti/ tidak ada perputaran uang bagi pemilik kapal. Tapi disini lain tentu membutuhkan perawatan yang lebih, karena menurut ilmu kehandalan, *reliability* suatu permesinan atau sistem akan menurun sejalan dengan waktu, misalkan dengan adanya keausan komponen, korosi, kelelahan material dan sebab lainnya.

Mesin induk adalah tenaga penggerak utama yang berfungsi untuk perubahan tenaga mekanik menjadi tenaga pendorong bagi propeler kapal dapat bergerak, dalam pengoprasian mesin induk yang selalu dalam kondisi hidup secara terus menerus dan menimbulkan panas hasil pembakaran sehingga terjadi kenaikan temperatur, terutama pada bagian bagian yang sering bersentuhan langsung, karena adanya pembakaran dalam silinder dan menghasilkan panas yang cukup tinggi, jika tidak di dinginkan akan terjadi *overheating* (mesin terlalu panas) maka dari hal tersebut terjadilah keausan dan untuk mencegah hal tersebut dilengkapi dengan sistem pendingin yang mana sistem pendingin ini berfungsi untuk mencegah terjadinya panas yang berlebihan.

Sistem pendingin ini terdiri dari beberapa komponen penyusun yang utamanya untuk mendinginkan blok mesin, sistem pendingin juga mendinginkan pelumas, scavenge air dan *water jacket*. Jika pendinginan tidak dapat dilakukan dengan sebaik-baiknya, maka temperatur dari setiap bagian silinder akan naik. Keadaan tersebut akan mengakibatkan kerusakan dinding silinder karena terjadinya tegangan normal atau kerusakan katup-katup, puncak torak dan kemacetan cincin torak, di samping itu minyak pelumas akan menguap dan terbakar sehingga terjadi kerusakan cepat pada torak dinding silinder, tetapi juga mengakibatkan gangguan kerja mesin, oleh karena itu mesin harus didinginkan dengan baik. Berdasarkan pemikiran di atas, terlihat bahwa peranan sistem pendingin bagi mesin induk sangat penting. Dengan adanya sistem pendingin ini maka umur mesin induk dapat diperpanjang

Kehandalan permesinan dapat dikembalikan ke kondisi awal apabila dilakukan perawatan yang baik dan benar. Oleh karena itu perlu trobosan baru dalam melakukan perencanaan perawatan yang optimal, metode perawatan yang benar, analisa resiko dan dampak jika terjadi kerudakan dan cara untuk mengatasi jika terjadi, dan tindakan preventif yang dapat dilkukan untuk mencegahnya.

Ada beberapa metode perawatan dan analisa resiko yang dapat dilakukan, baik metode kuantitatif maupun kualitatif. Metode kualitatif salah satunya adalah dengan membuat tabel FMEA (*Failure Mode Effec Analysis*). Metode ini dapat dilakukan melalui tahapan membuat diagram alir, fungsi blok diagram dan menyusun tabel FMEA. Karena tahapan tersebut maka diharapkan *crew* yang bertugas atau karyawan yang bertugas dapat dengan mudah memahami dan mencari penyebab kerusakan bahkan cara mengantisipasi jangan sampai kerusakan tersebut terjadi, bahkan seorang pemula pun dapat dengan mudah memahami dan menemukan penyebab kerusakan dan cara mengatasinya.

## METODE

Metode yang digunakan dalam penulisan jurnal berikut adalah dengan melakukan pengamatan di lapangan, mengamati dan mengambil data/catatan harian di kamar mesin/ *log book*. *Log book* memuat seluruh kegiatan apasaja yang dilakukan dan dicatat oleh petugas jaga, selama 24 jam dan dibagi beberapa *shift*. Selain melakukan pengamatan juga melakukan interview terhadap *crew* dan staf galangan/*dock yard* yang biasa melakukan kegiatan perawatan dan reparasi permesinan di kapal. Metode pustaka juga digunakan untuk mencari memperkuat metode *interview* dari para ahlinya perawatan. Metode pustaka juga untuk mencari metode analisa yang dapat digunakan dalam

melakukan perawatan. Dari metode kajian pustaka, pengamatan secara langsung dan *interview* dibuatlah diagram alur kinerja sistem pendingin, dilanjutkan dengan menyusun Blok diagram sistem kerja dan terakhir dibuatlah tabel FMEA. FMEA ini berfungsi untuk membantu *crew* atau siapapun yang membutuhkan data dan melakukan perawatan maupun perbaikan. Metode FMEA ini disusun untuk memudahkan siapapun untuk memahami sistem, komponen, fungsi komponen, mode kerusakan, pengaruh kerusakan sampai dengan tindakan preventif yang dapat dilakukan dan lain-lain dengan harapan *crew* baru pun dapat dengan mudah memahami dan menemukan jika ada kerusakan dalam sistem tersebut. Dengan kata lain pada analisa FMEA ini analisa berupa kualitatif, atau tidak sampai dengan menghitung jumlah kerusakan, *time to failure* maupun kehandalan sistem.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Jenis mesin pendingin mesin induk sendiri memiliki 2 jenis yaitu :

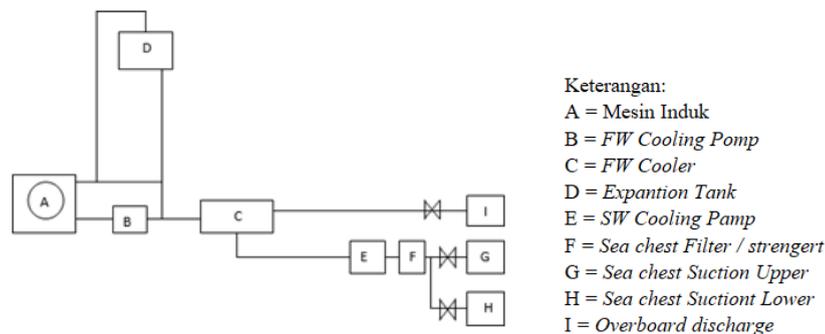
1. Sistem pendingin terbuka ( *Open circle cooling sistem* )

Sistem pendingin motor bakar pada kapal dimana air laut dipakai langsung untuk mendinginkan *silinder* motor bakar dan komponen lainnya setelah itu dibuang kembali ke laut. Hal ini cocok untuk motor-motor kapal kecil, dimana pompa pendingin mengisap air laut dari luar kapal dan memompakan air laut tersebut keluar kapal setelah pendinginan terbuka karena selalu air laut yang beredar. Keuntungan pendinginan terbuka: sistem cukup sederhana tidak memerlukan tangki *expansi*, *cooler* sehingga biaya berkurang media pendingin atau air laut selalu tersedia. Sedangkan kerugiannya pada suhu lebih dari 50°C akan terjadi kerak garam yang akan mempersempit pipa, resiko terhadap proses korosi sangat besar sehingga motor akan cepat rusak. Resiko berlayar pada daerah dingin maka pengaturan suhu air masuk motor sulit diatur karena suhu air laut terlalu rendah sehingga *cylinder liner* dan suhu air laut di luar *cylinder liner*.

2. Sistem pendingin tertutup ( *close circle cooling sistem* )

Sistem pendingin tertutup adalah sistem pendingin yang menggunakan sirkulasi air tawar untuk dimasukkan ke ruang pendingin mesin kemudian air tawar didinginkan oleh air laut di *fresh water cooler*. Keuntungan pendinginan tertutup: dengan media air tawar maka resiko terhadap korosi dapat dicegah atau dihindari. Pengaturan suhu masuk dan suhu keluar dari air tawar pendingin lebih mudah diatur melalui *cooler*. Kerugian pendinginan tertutup: ketergantungan terhadap persediaan air tawar ( *fresh water generator* ), konstruksi rumit karena memerlukan perlengkapan *expansi tank* maupun *cooler* sehingga biaya perawatan lebih mahal.

Dari hasil pengamatan, Pendingin mesin induk kapal KM. Mitra Papua ini menggunakan sistem pendingin tertutup, karena terdapat komponen tanki *expansi*, pompa air laut dan air tawar serta ada *central cooler*. Pertimbangan yang disampaikan pemilik kapal dengan sisten ini lebih efisien dan air laut tidak masuk ke ruang pendingin mesin sehingga komponen di mesin induk lebih aman dan awet. Adapun siklus / diagram alur kerja dari sistem pendingin secara keseluruhan seperti pada gambar yang tertera di bawah ini :



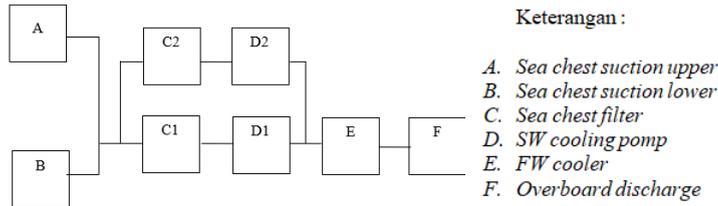
Gambar 1. FBD sistem pendingin KM Mitra Papua

Dari diagram diatas dapat di lihat bahwa siklus *Sea Water* (SW) di mulai dari sea chest upper maupun lower kemudian masuk ke seachest filter untuk penyaringan, air dipompa oleh *SW pump* berikutnya ke *FW cooler* dan terakhir ke *discharge overboard*. Siklus *Fresh Water* (FW), dari *expantion tank* menuju ke *FW cooler* melewati *valve* kemudian ke *FW cooling pamp* masuk ke mesin induk dan kembali lagi ke *expantion tank* atau tangki penampung.

**Functional Block Diagram (FBD)**

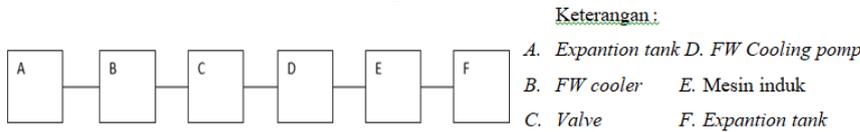
Dari diagram siklus kerja tersebut di atas selanjutnya dibuat FBD yaitu diagram yang berupa balok-balok yang mewakili komponen yang ada di sistem. FBD dibuat untuk lebih mudah memahami komponen dari sistem, dan untuk mengetahui apakah seri atau paralel, apakah redundancy atau tidak yang nantinya dapat digunakan untuk analisa lebih lanjut, khususnya jika ingin melakukan analisa kehandalan/ analisa secara kuantitatif. dari hasil pengamatan dan diagram siklus kerja diatas dapat dibedakan menjadi dua untuk siklus air laut dan air tawar.

FBD *Sea Water* (SW) KM Mitra Papua



Gambar 2. FBD siklus *Sea Water* (SW)

FBD *Fresh Water* (FW) KM Mitra Papua



Gambar 3. FBD siklus *Fresh Water* (FW)

**Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)**

Ada beberapa model tabel FMEA, namun pada intinya berisi beberapa hal tentang nama komponen, fungsi komponen, mode atau bentuk kegagalan yang dapat terjadi, penyebab kegagalan, pengaruh kegagalan deteksi kegagalan dan tindakan preventive. Nama-nama tersebut berfungsi untuk menerangkan :

1. No: menjelaskan urutan dari komponen yang sedang di analisa
2. Komponen: berisi bagian-bagian komponen atau peralatan dalam sistem
3. Fungsi: menjelaskan tentang kegunaan dari komponen yang dianalisa tersebut.
4. Mode kegagalan: berisikan tentang bentuk dari rusaknya komponen
5. Mekanisme kegagalan: merupakan penyebab yang disebabkan dari mode kegagalan
6. Pengaruh kegagalan: yaitu pengaruh yang ditimbulkan dari kegagalan sistem yang diakibatkan oleh mode kegagalan.
7. Deteksi kegagalan: dilakukan dengan cara melakukan pengamatan dan pengecekan.
8. *Risk reducing measure* (pengurangan resiko): merupakan cara mengatasi atau tindakan lebih lanjut dalam mengatasi kerusakan dan kegagalan dengan melakukan pembenahan ataupun pembongkaran untuk mendapatkan hasil yang maksimal pada sistem.

Tabel 1. FMEA sistem pendingin

No	Komponen	Fungsi	Mode kegagalan	Mekanisme kegagalan	Pengaruh kegagalan	Deteksi kegagalan	<i>Risk reducing measure</i>
1	Saluran Pendingin pada Main Induk	Menyalurkan Energi mekanik ke bagian propeller kapal untuk menggerakkan propeler	Panas yang berlebih (overheat)	Tersumbatnya pipa, kebocoran pipa air tawar	Penurunan kinerja mesin induk	Mesin mati	Pembersihan dan pembongkaran
2	Pompa Air Tawar / FW	Menyalurkan / memindahkan	Pompa tidak bekerja dengan maksimal	Paking seal aus, tersumbat, kebocoran	Pompa tidak dapat menghisap	Debit aliran tidak lancar	Perawatan berkala (flushing, packling)

	<i>Cooling Pump</i>	suatu media cair yaitu air tawar dari tangki air tawar ke sistem pendingin		pipa	air, mesin panas		
			Pompa tidak mau menyala,	Ketika mesin induk mati otomatis pompa ikut mati	Turunnya fungsi	Tidak ada putaran pada motor	Pengedokan
			Pompa mengalami bising berlebih tetapi tidak ada tekanan	Selain fluida kemungkinan udara juga ikut masuk,	Aliran air tidak normal lebih sedikit dari biasanya	Suara terdengar bising	Mengganti blok cylinder, bantalan penopang, pelat tekanan.
			Air tidak mengalir padahal pompa menyala	Pipa bocor akibat dari adanya sumbatan yang menghambat air naik	Kerusakan pada klep pompa air	Air tidak keluar	Pengecekan pada seal jika sudah keras maka tidak berfungsi dan harus berganti
			Pompa tidak otomatis mati saat keran ditutup	Kebocoran pada pipa	Tidak bekerja dengan maksimal, dapat menyebabkan panas	Pompa masih menyala	Perawatan secara berkala
			Kesalahan pada putaran pompa	Kesalahan pada pemasangan pipa	Pompa tidak bisa mengalirkan air dengan maksimal	Air tidak dapat mengalir	Perbaiki arah putaran dengan cara membongkar pada pipa
3	<i>FW Cooler</i>	Mendinginkan bagian-bagian pada mesin induk menggunakan air tawar	Kebocoran, tersumbat, berkerak	Korosi (jangka waktu lama)	Mesin akan panas	Mesin panas atau overheat	Melakukan docking
4	<i>Expansion Tank</i>	Menampung air tawar sebagai pendingin	Kebocoran, kotor	Korosi	Kinerja mesin berkurang	Air kotor	Pembersihan dan pembongkaran
5	<i>Sw Cooling Pump</i>	Mengalirkan Fluida untuk Mendinginkan mesin dengan	Kebocoran pipa	Korosi	Mesin akan panas	Debit air tidak maksimal	Perawatan berkala

		air laut					
			Sering terjadinya penyumbatan pada saringan	korosi	Mesin tidak berfungsi maksimal	Air tidak mengalir	Perawatan berkala
			Pompa tidak otomatis mati saat keran ditutup	Kebocoran pada pipa	Tekanan katup pada pendingin berkurang	Mesin masih menyala, air masih mengalir	Perawatan secara berkala
			Pompa tidak mau menyala,	Arus listrik mati	Pompa tidak bisa mengalirkan air	Mesin mati	Pengecekan berkala pada bagian kelistrikan
6	<i>Seachest Filter</i>	Penyaringan air laut terhadap kotoran, lumpur, hewan kecil dari seachest sebelum masuk katup utama / sistem	Saringan tersumbat / kotor	Korosi	Tekanan air laut berkurang	Debit air tidak lancar	Perawatan berkala
7	<i>Seachest Upper</i>	Pintu masuknya memenuhi kebutuhan air laut yang di kapal	Tersumbat, kotor	Korosi	Tekanan air laut berkurang	Debit air kecil	Perawatan berkala
8	<i>Seachest Lower</i>	Pintu masuknya air laut (posisi lebih bawah)	Tersumbat, kotor	Korosi	Tekanan air laut berkurang	Debit air kecil	Perawatan secara berkala
9	<i>Valve</i>	Perangkat mekanik yang mengatur aliran fluida dalam tekanan	Kerusakan pada keran putar / mengalami kemacetan	Korosi	Tersumbat, terhambat atau aliran tidak lancar	Aliran air tidak lancar atau kecil	Penyekuran
		atau sistem, proses membuka dan menutup arus	Penutup valve mengalami kerusakan	Tutupnya aus	Jika sudah terbuka tidak bisa tertutup begitu juga sebaliknya	Tidak bisa di tutup dan di buka	Penyekuran

10	<i>Discharge Overboard</i>	Mengeluarkan atau membuang air yang berasal dari proses pendinginan	Kebocoran, berkerak	Kebocoran pipa	Menurunnya kinerja	Aliran air kecil	Perawatan berkala
----	----------------------------	---	---------------------	----------------	--------------------	------------------	-------------------

(sumber doc pribadi)

Dari hasil pengamatan pada *log book* dan *interview* dengan *crew* KM. Mitra Papua, dapat diketahui bahwa tindakan untuk mencegah kerusakan pada sistem pendingin *main engine* yang sering dilakukan *crew* sebagai berikut:

*Filter* terdapat beberapa *filter* dalam kamar mesin jangan sampai salah jenis *filter*, karena masing masing *filter* dibedakan dengan warna misalkan untuk minyak pelumas dengan warna kuning, untuk air tawar dengan warna biru. Biasanya kerusakan dibagian ini muncul dari beberapa bagian berikut :



Gambar 4. *Oil filter*

1. *Filter* air tawar

Untuk *filter* air tawar di tandai dengan menggunakan warna biru



Gambar 5. *Filter* air tawar

2. *Filter* air laut

Untuk *filter* air laut di tandai dengan menggunakan warna hijau.



Gambar 6. *Filter* air laut

3. Pompa.

Pompa tidak berfungsi dengan baik. Kerusakan ini muncul dari bagian pipa. Untuk mengetahui kerusakan pada bagian ini kita harus melakukan pengecekan terlebih dahulu

pada bagian pipanya, apakah terdapat kerusakan atau tidak. Berikut merupakan simbol-simbol warna untuk dapat mempermudah dalam membedakan jenis pipa.



Gambar 7. Pompa air laut

## KESIMPULAN

Dari hasil pengamatan langsung sistem pendingin pada KM Mitra Papua, setelah disusun diagram blok FBD dapat diketahui komponen yang disusun secara paralel dan bersifat *redundancy* pompa air laut dan *filter* untuk air laut. Komponen ini disusun paralel karena komponen ini riskan mengalami kerusakan bila hanya di pasang satu buah, dan secara perhitungan analisa kuantitatif nantinya akan menambah nilai kehandalan sistem karena salah satu pompa akan berfungsi sebagai *standby pump* dan digunakan secara bergantian. Berbeda dengan pompa air tawar yang hanya di pasang sebuah saja. pompa air tawar disini dipasang satu buah dengan pertimbangan sifat air tawar yang tidak korosif dan tidak kotor sehingga peralatan khususnya pompa akan awet.

Sesuai dengan FMEA yang sudah disusun, tindakan pencegahan yang sering dilakukan adalah perawatan untuk *filter* khususnya untuk air laut. Meskipun dilakukan perawatan fungsi sistem pendingin tetap berjalan alias tidak harus *shutdown*, hal ini dikarenakan sistem *filter* dan pompa air laut disusun paralel dan redundan.

Perhatian yang sering dilakukan pengecekan adalah di bagian pipa, karena semua komponen permesinan berjalan dengan baik namun ada kebocoran pada pipa akan berdampak tidak berjalanya sistem pendingin dengan optimal. Sehingga perlu juga diperhatikan adalah Kualitas air pendingin, minyak pelumas dan BBM yang dapat mempengaruhi sistem pendingin, pada kapal KM. Mitra Papua.

## DAFTAR PUSTAKA

Berman, E.T. 2013. *Teknik pendingin*. Jakarta: Konsorsium Sertifikasi Guru Dirja.

Departemen Pendidikan Nasional Direktorat Jendral Pendidikan Dasar dan Menengah Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan. 2004. *Dasar-dasar mesin pendingin*.

Frenki Niken. 2021. Sistem pendingin mesin diesel kapal.

Mamat Riyaci, Untung Budiarto, Ari Wibawa & Budi Santosa. 2016. Analisa teknis dan ekonomi penggunaan sistem pendingin refrigerated sea water pada kapal ikan tradisional. Teknik Perkapalan.

Markus Yando, Sari Kusumaningrum & Novrain Rizki Akbara. 2021. Analisis pengaruh tekanan pompa pendingin air laut terhadap fresh water cooler mesin induk mv. Ibrahim Zahier. Meteor STIP Marunda.

P.Van Maanen. 2002. *Motor diesel kapal*. Noutech. hal 8.1

Slamet Saputra Wahyu. 2015. Pentingnya mengaktifkan fungsi fresh water generator bagi kapal penumpang KM. Tidar. Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang.