

**ANALISIS KEGAGALAN RADIATOR SISTEM PENDINGIN
PADA MESIN DIESEL MENGGUNAKAN METODE *FAULT
TREE ANALYSIS*(FTA)**

SKRIPSI

**AHMAD YUSUF ALI
20190110080**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Dalam Menempuh

Gelar Sarjana Teknik Mesin



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

UNIVERSITAS NUSA PUTRA

SUKABUMI

2022

PERNYATAAN PENULIS

JUDUL : ANALISIS KEGAGALAN RADIATOR SISTEM
PENDINGIN PADA MESIN DIESEL MENGGUNAKAN
METODE *FAULT TREE ANALYSIS* (FTA)

NAMA : AHMAD YUSUF ALI

NIM : 20190110080

“Saya menyatakan dan bertanggung jawab dengan sebenarnya bahwa Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali cuplikan dan ringkasan yang masing-masing telah saya jelaskan sumbernya. Jika pada waktu selanjutnya ada pihak lain yang mengklaim bahwa skripsi ini sebagai karyanya, yang disertai dengan bukti- bukti yang cukup, maka saya bersedia untuk dibatalkan gelar Sarjana Teknik saya beserta segala hak dan kewajiban yang melekat pada gelar tersebut”.

Sukabumi, Mei 2022

Penulis

Materai
10.000

AHMAD YUSUF ALI

Penulis

LEMBAR PERSETUJUAN

JUDUL : ANALISIS KEGAGALAN RADIATOR SISTEM
PENDINGIN PADA MESIN DIESEL MENGGUNAKAN
METODE *FAULT TREE ANALYSIS* (*FTA*)

NAMA : AHMAD YUSUF ALI

NIM : 20190110080

Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui

Sukabumi, Mei 2022



Pembimbing 1,

Ketua Program Studi,

Dwi M. Lestari S.T., M.Sc.
NIDN: 0424089501

Lazuardi Akmal Islami, S.Si, M. Si.
NIDN: 0415039402



Library Innovation Unit
LIU

LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL : ANALISIS KEGAGALAN RADIATOR SISTEM
PENDINGIN PADA MESIN DIESEL MENGGUNAKAN
METODE *FAULT TREE ANALYSIS* (FTA)

NAMA : Ahmad Yusuf Ali

NIM : 20190110080

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Mesin, Universitas Nusa Putra.

Pembimbing I

Ketua Dewan Penguji



Dwi M. Lestari S.T., M.Sc.
NIDN. 0424089501

Oscar Haris, S.T., M.T.
NIDN. 0426047805

Wakil Rektor I Bidang ARCI

Ketua Program Studi

Anggy Pradiftha Junfithrana, S.Pd., MT
NIDN. 0425068502

Lazuardi Akmal Islami, S.Si.M.Si.
NIDN. 0415039402

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK**

Sebagai civitas akademik Universitas Nusa Putra, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ahmad Yusuf Ali

NIM : 20190110080

Program Studi : Teknik Mesin

Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Nusa Putra *Hak Bebas Royalti Noneklusif (Non Exclusive Royalti-Free Right)* atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“Analisis Kegagalan Radiator Sistem Pendingin Pada Mesin Diesel Menggunakan Metode *Fault Tree Analysis (Fta)*”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti Non Eksklusif ini Universitas Nusa Putra berhak menyimpan, mengalih media/format, mengolah dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Sukabumi

Pada Tanggal : Mei 2022

Yang Menyatakan

Materai

Ahmad Yusuf Ali

ABSTRACT

The cooling system is an important part of diesel power generation (PLTD). If the performance of the cooling system is not optimal, it will affect engine performance and electricity production. One of the problems with the cooling system is radiator damage which results in the non-optimal heat dissipation process in the system. In conducting this research, the method used to obtain the root cause of the problem is to use the fault tree analysis (FTA) method. From the results of research based on existing documents the cause of radiator damage is due to corrosion. Based on this research, it can be concluded that the damage to the PLTD radiator fin is caused by the corrosion factor due to the poor quality of the water used for cleaning.

KeyWords : Fault Tree Analysis (FTA) Method



ABSTRAK

Sistem pendingin adalah salah satu bagian penting dalam pembangkitan listrik tenaga diesel (PLTD). Apabila performa dari sistem pendingin tidak optimal, maka akan berpengaruh terhadap kinerja *engine* dan produksi listrik yang dihasilkan. Salah satu permasalahan pada sistem pendingin adalah kerusakan radiator yang mengakibatkan tidak optimalnya proses pembuangan panas pada sistem. Dalam melakukan penelitian ini, metode yang digunakan untuk mendapatkan akar penyebab masalah adalah dengan menggunakan metode *fault tree analysis* (FTA). Dari hasil penelitian berdasarkan dokumen yang ada penyebab dari kerusakan radiator adalah karena korosi. Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa kerusakan fin radiator PLTD ini disebabkan karena faktor korosi akibat kurang baiknya kualitas air yang digunakan untuk cleaning.

Kata Kunci : Metode *Fault Tree Analysis* (FTA)



KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, kami dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana pada program studi Teknik Mesin UNIVERSITAS NUSA PUTRA. Kami menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi kami untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, kami mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Kurniawan, ST., M.Si., MM selaku Rektor Universitas Nusa Putra Sukabumi.
2. Bapak Anggy Pradiftha J., S.Pd., M.T. selaku Wakil Rektor I Bidang Akademik Universitas Nusa Putra Sukabumi.
3. Bapak Lazuardi Akmal Islami, S.Si, M.Si. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Nusa Putra Sukabumi.
4. Ibu Dwi Mardika Lestari S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan kami dalam penyusunan skripsi ini.
5. Orang tua dan keluarga kami yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral.
6. Sahabat yang telah banyak membantu kami dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, kami berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Sukabumi, Maret 2022

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN PENULIS.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	v
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRACT.....	vii
ABSTRAK	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SIMBOL	xiv
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Proses perpindahan panas pada silinder ruang bakar	5
2.2. Radiator	7
2.3. Pembuangan panas pada radiator	8
2.4. Scanning electron microscope (SEM)	10
2.5. Prinsip kerja SEM.....	12
2.6. Analisis Akar Masalah (<i>Fault Tree Analysis</i>)	12
BAB III	15
METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1. Diagram Alir.....	15

3.2. Studi Literatur	16
3.3. Objek Penelitian	17
3.4. Permasalahan.....	17
3.5. Data operasi	18
3.6. Inspeksi Visual.....	19
3.7. Identifikasi Masalah	21
3.8. <i>Scanning electron microscope (SEM)</i>	22
3.8.1 Bagian-bagian penting SEM beserta fungsinya	23
3.8.2 Prinsip kerja SEM.....	24
3.9. Pengujian Kualitas Air.....	25
3.9.1 Spektrofotometri	26
3.9.2 pH meter	28
BAB IV	30
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	30
4.1. Hasil pengujian material dengan SEM	30
4.2. Hasil pengujian kualitas air	32
4.3. Analisis Penyebab	33
4.4. <i>Fault Tree Analysis (FTA) Fin Radiator</i>	36
4.5. <i>Preventive Maintenance</i>	36
BAB V	38
KESIMPULAN DAN SARAN	38
5.1. Kesimpulan	38
5.2 Saran	38

DAFTAR PUSTAKA 39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Aliran panas dari gas panas ke fluida pendinginan [2]	6
Gambar 2. 2. Siklus sistem pendingin mesin [4]	6
Gambar 2. 3. Contoh gambar <i>fin & tube</i> radiator	7
Gambar 2. 4. Proses konduksi dan konveksi pada sistem pendingin	10
Gambar 2. 5. Deteksi sinyal yang dihasilkan SEM akibat dari pemantulan electron [9]	12
Gambar 3. 1. Diagram alir penelitian	15
Gambar 3. 2. <i>Alarm derating on</i> pada WOIS mesin pembangkit	17
Gambar 3. 3. Penurunan temperatur <i>after</i> radiator	19
Gambar 3. 4. Kerusakan sirip/ <i>fin</i> radiator bawah	19
Gambar 3. 5. Kondisi sirip/ <i>fin</i> radiator bagian atas masih bagus	20
Gambar 3. 6. Bagian-bagian mesin SEM	24
Gambar 3. 7. Skema pengujian SEM	25
Gambar 3. 8. Prinsip Kerja Spektrofotometer	28
Gambar 3. 9. Prinsip Kerja pH meter	29
Gambar 4. 1. Mikrograf <i>fin</i> radiator bagian atas (kondisi bagus)	30
Gambar 4. 2. <i>Line analysis fin</i> radiator bagian atas (kondisi bagus)	30
Gambar 4. 3. Hasil pengujian <i>fin</i> radiator bagian bawah (kondisi rusak)	31
Gambar 4. 4. Hasil pengujian <i>fin</i> radiator bagian bawah (kondisi rusak)	31
Gambar 4. 5. <i>Standard raw water quality after WTP</i>	33
Gambar 4. 6. Hubungan <i>conductivity</i> terhadap korosi [11]	34
Gambar 4. 7. <i>Nitrite oxidation curve</i> [4]	35
Gambar 4. 8. <i>Fault Tree analysis</i> kegagalan <i>fin</i> radiator	36

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Simbol-Simbol <i>Fault Tree Analysis</i>	13
Tabel 3. 1. Perbandingan data <i>cooling sistem engine</i> 3 saat <i>commisioning</i> dan <i>after</i> PM 72K	18
Tabel 4. 1. Hasil ANALISIS <i>maintenance water</i>	32
Tabel 4. 2. Hasil ANALISIS <i>cooling water system</i>	32



DAFTAR SIMBOL

$$q = m \cdot C_p(T_{h,in} - T_{h,out})$$

Simbol Rumus	Keterangan	Satuan
q	laju perpindahan panas	(W)
m	laju aliran massa	(kg/s)
C_p	kalor spesifik fluida air	(Kj/Kg °C)
$T_{h,in}$	temperature air saat masuk radiator	(K)
$T_{h,out}$	temperature air saat keluar radiator	(K)

$$q_{kond} = -K \cdot A \frac{dT}{dX}$$

Simbol Rumus	Keterangan	Satuan
q_{kond}	besar laju perpindahan panas konduksi	(W)
K	konduktivitas termal bahan	(W/m. k)
$\frac{dT}{dX}$	temperature gradient	
A	luas permukaan perpindahan panas	(m ²)
–	perpindahan panas dari temperature tinggi ke rendah	

$$q_{konv} = hA(T_s - T_\infty)$$

Simbol Rumus	Keterangan	Satuan
q_{konv}	besar laju perpindahan panas konveksi	(W)
h	koefisien konveksi	(W/m ² K)
A	luasan permukaan panas	(m ²)
$T_s - T_\infty$	perbedaan temperature	(K)



Library Innovation Unit
LIU

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sejumlah satuan pembangkit diesel yang tersebar diseluruh wilayah nusantara telah mengalami derating, sehingga mengakibatkan daya yang tersedia tidak mencukupi untuk melayani kebutuhan penyediaan tenaga listrik. Pengelolaan PLTD dengan seksama, mutlak diperlukan agar *performance*, keandalan (*reliability*) dan ketersediaan (*availability*) selalu dapat dipertahankan pada kondisi optimum sehingga biaya operasional tidak semakin tinggi.[1]

Mesin yang beroperasi secara terus menerus akan menghasilkan panas sehingga dibutuhkan sistem pendingin. Fungsi utama dari sistem pendingin ialah untuk mentransfer panas dari dalam mesin ke luar udara luar. Sistem ini dirancang untuk memindahkan panas dari mesin dan mempertahankan mesin pada temperatur operasinya yang paling efisien atau mencegah terjadinya *overheating*. Oleh karena itu dirancanglah sistem pendinginan yang sesuai dengan kapasitas mesin.

Salah satu komponen utama pada sistem pendingin adalah radiator. Radiator adalah alat penukar panas yang digunakan untuk memindahkan energi panas dari satu media ke media lainnya yang tujuannya untuk mendinginkan mesin. Permasalahan yang sering terjadi pada radiator adalah terjadinya korosi pada *fin* dan *tube*. Pada sistem pendingin logam bersinggungan langsung dengan cairan yang bersifat korosif, sehingga logam akan mudah terserang korosi. Apalagi jika mesin tersebut berhubungan terus dengan air secara terus menerus. Korosi pada sistem pendingin sangat merugikan, karena korosi ini akan mengurangi performa sistem pendingin saat mendinginkan mesin. Sehingga mesin tidak pada temperatur normal.

Kinerja radiator dalam sistem pendingin sangat berpengaruh terhadap keberhasilan keseluruhan rangkaian proses sistem pendinginan mesin. Apabila terjadi kerusakan atau kegagalan pada radiator, maka dapat menyebabkan berhentinya operasi mesin pembangkit. Mengingat sangat pentingnya fungsi radiator tersebut, maka radiator dituntut untuk memiliki kinerja yang baik agar

dapat diperoleh hasil yang maksimal serta dapat menunjang penuh terhadap operasional mesin pembangkit. Salah satu peralatan utama pada sistem pendingin mesin adalah *fin* radiator. Dimana performa dari radiator dan sistem pendingin secara keseluruhan sangat dipengaruhi oleh kondisi *fin* radiator tersebut. Apabila kondisi dari *fin* radiator tidak baik, maka performa dari sistem pendingin juga akan mengalami penurunan.

Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian dengan ANALISIS mendalam terhadap kegagalan seperti ini, agar tidak terulang kembali kegagalan yang sama pada sistem pendingin mesin pembangkit yang dapat mengakibatkan berkurangnya pasokan listrik. Dalam penelitian ini penulis menggunakan metode *fault tree analysis* (FTA). Dengan menggunakan metode tersebut, diharapkan dapat mengarahkan dalam menemukan akar penyebab permasalahan dari radiator sistem pendingin mesin diesel.

Kondisi radiator yang tidak baik/rusak tentu menjadi sebab utama terhadap penurunan performa sistem pendingin. Hal tersebut dikarenakan fungsi radiator yang akan mendinginkan air pendingin/*coolant* setelah mendinginkan mesin atau *equipment* lain yang membutuhkan pendinginan. Dalam penelitian ini penulis akan menggunakan metode *fault tree analysis* (FTA). Dengan menggunakan metode tersebut diharapkan dapat mengarahkan dalam menemukan akar penyebab permasalahan dari radiator sistem pendingin mesin diesel ini.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Apa saja yang menyebabkan menurunnya kemampuan sistem air pendingin?
2. Apa penyebab kegagalan dari *fin* radiator?
3. Apa FDT (*failure defense task*) yang dapat dilakukan untuk mencegah kegagalan berulang?

1.3. Batasan Masalah

Mengingat banyaknya perkembangan yang bisa ditemukan dalam permasalahan ini, maka perlu adanya batasan-batasan masalah yang jelas mengenai apa yang dibuat dan diselesaikan dalam penelitian ini. Adapun batasan-batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

- a. Pembahasan permasalahan pada sistem pendingin mesin diesel hanya mencakup pada peralatan radiator saja.
- b. Tidak membahas permasalahan lain selain sistem pendingin yang dapat membuat mesin diesel menurun performanya (*derating*).
- c. Dapat merekomendasikan perawatan yang tepat untuk menjamin kinerja peralatan dapat maksimal dan mencapai life timenya

1.4. Tujuan Penelitian

- a. Dapat mengetahui sebab-sebab menurunnya performa sistem pendingin
- b. Dapat menentukan *failure mode* dan *failure cause* yang terjadi pada radiator.
- c. Dapat melakukan eksekusi perawatan yang tepat untuk menjamin kinerja peralatan dapat maksimal dan mencapai masa pakainya.

1.5. Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, adapun manfaat-manfaat yang bisa didapat antara lain:

- a. Mengetahui *mode-mode* kegagalan yang terjadi pada radiator untuk kemudian dilakukan langkah mitigasi sebagai pencegahannya.
- b. Untuk menambah pengetahuan mengenai penerapan dan ANALISIS materi *heat transfer*.
- c. Dapat menyusun program *preventive maintenance* yang tepat terhadap peralatan radiator.
- d. Menjadi acuan bagi peneliti berikutnya untuk menyempurnakan penelitian ini.

1.6. Sistematika Penulisan

Laporan SKRIPSI ini terdiri dari beberapa bab. Agar lebih mempermudah pemahaman dan pembacaan, maka laporan penelitian/riset ini disusun menjadi seperti di bawah ini:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi tentang penelitian terkait dan teori dasar ANALISIS pengaruh kegagalan radiator sistem pendingin mesin diesel serta cara menanggulangnya.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi tentang uraian pendekatan penelitian, objek penelitian, teknik pengumpulan data dan analisis data.

BAB IV PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dilakukan ANALISIS apa saja kemungkinan kegagalan yang dapat terjadi pada radiator dan akibat yang akan ditimbulkannya. Setelah didapatkan mode kegagalan apa saja yang dapat terjadi selanjutnya adalah membuat program kerja pencegahan kemungkinan kegagalan tersebut (*failure defense task*).

BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. S. Nurdin, "STUDI KASUS. Studi Analisa Penyebab Penurunan Daya Mampu (derating) pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel," pp. 1–26, 2013.
- [2] Wiranto Arismunandar, *Motor Bakar Torak*. Bandung, 2002.
- [3] G. Singh Missan and I. P. Keswani, "Analysis of Causes of Engine Overheating due to Cooling System Failure Using Pareto Principle," *Int. J. Eng. Trends Technol.*, vol. 36, no. 5, pp. 242–248, 2016, doi: 10.14445/22315381/ijett-v36p245.
- [4] Wartsila, *Instruction Manual Wartsila W20V32C*. Finlandia: Wartsila, 2009.
- [5] K. Bhattacharyya, G, *Statistical Concepts and Methods*. 1977.
- [6] J. Holman, *Perpindahan Kalor*, 5th ed. Erlangga, 1984.
- [7] D. . Incropera, Frank P. dan Dewitt, *Fundamental of Heat Transfer*. New York, 1990.
- [8] D. Articles, "Apa itu SEM (Scanning Electron Microscope)?," 2020. <https://www.dynatech-int.com/id/artikel/apa-itu-sem-dikenal-mikroskop-elektron>.
- [9] A. links open overlay Panel B.J. Inkson, "Scanning electron microscopy (SEM) and transmission electron microscopy (TEM) for materials characterization," *Sciencedirect*, pp. 17–43, 2016, [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978008100040300002X>.
- [10] K. Zakowski, M. Narozny, M. Szocinski, and K. Darowicki, "Influence of water salinity on corrosion risk - The case of the southern Baltic Sea coast," *Environ. Monit. Assess.*, 2014, doi: 10.1007/s10661-014-3744-3.
- [11] K. Hornbostel, C. K. Larsen, and M. R. Geiker, "Relationship between concrete resistivity and corrosion rate - A literature review," *Cem. Concr. Compos.*, 2013, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2013.03.019.