

**ANALISIS KINERJA ALAT PENUKAR KALOR TIPE *SHELL* DAN *TUBE*  
MESIN DIESEL GENSET CATERPILLAR 3500 SERIES**



UNIVERSITAS  
**MERCU BUANA**  
UNIVERSITAS  
**MERCU BUANA**

MUHAMAD ARIE NURKHOLIM

NIM: 41315110054

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MERCU BUANA  
JAKARTA 2017

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

**ANALISIS KINERJA ALAT PENUKAR KALOR TIPE *SHELL* DAN *TUBE*  
MESIN DIESEL GENSET CATERPILLAR 3500 SERIES**



UNIVERSITAS  
**MERCU BUANA**  
MERCU BUANA

Disusun Oleh:

Nama : Muhamad Arie Nurkholim  
NIM : 41315110054  
Program Studi : Teknik Mesin

DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH  
TUGAS AKHIR PADA PROGRAM SARJANA STRATA SATU (S1)

MARET 2017

## LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Muhamad Arie Nurkholim

N.I.M : 41315110054

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Judul Skripsi : Analisis Kinerja Alat Penukar Kalor Tipe *Shell* dan *Tube* Mesin Diesel Genset Caterpillar 3500 Series.

Dengan ini menyatakan bahwa hasil penulisan Laporan Tugas Akhir yang telah saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian hari penulisan Laporan Tugas Akhir ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak ada paksaan.

Jakarta, Juni 2017

  
M. Arie Nurkholim

**LEMBAR PENGESAHAN**

**Analisis Kinerja Alat Penukar Kalor Tipe *Shell* dan *Tube* Mesin Diesel Genset  
Caterpillar 3500 Series**



UNIVERSITAS  
**MERCU BUANA**

Disusun Oleh:

Nama : Muhamad Arie Nurkholim

NIM : 41315110054

Program Studi : Teknik Mesin

Mengetahui,

Dosen Pembimbing

( Prof. DR. Ir. Chandrasa Soekardi )

Koordinator Tugas Akhir

( Haris Wahyudi, ST. M.Sc )

## PENGHARGAAN

Dengan menyebut nama Allah SWT yang maha pengasih lagi maha penyayang, puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT sehingga penulis dapat menyelesaikan pembuatan laporan tugas akhir ini.

Penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. DR. Ir. Chandrasa Soekardi selaku pembimbing tugas akhir yang dengan kesebaran memberikan petunjuk, bimbingan serta arahan.
2. Bapak Sagir Alva, S.Si., M.Sc., Ph.D selaku Kaprodi Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.
3. Bapak Ir. Haris Wahyudi, M.Sc. selaku Sekprodi Teknik Mesin Universitas Mercu Buana dan Koordinator tugas akhir Teknik Mesin Universitas Mercu Buana yang selalu memberikan dukungan dan informasi terkait tugas akhir.
4. Ibu, Bapak, Istri dan keluarga besar yang selalu memberikan motivasi dan do'a untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Bapak Sujatmiko dan Bapak Handoko Aji, selaku atasan di perusahaan yang telah memberikan izin meninggalkan pekerjaan sementara dan semangat didalam menyelesaikan tugas akhir ini dan rekan-rekan kerja di PT Sumberdaya Sewatama yang telah mambantu didalam memperoleh data yang dibutuhkan untuk penelitian tugas akhir ini.
6. Semua rekan-rekan Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Mercu Buana yang selalu memberikan semangat.

Semoga Allah SWT memberikan balasan atas jasa-jasa beliau yang telah membantu dan membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, maka kritik dan saran yang membangun sangat kami harapkan. Akhir kata penulis berharap semiga tugas akhir ini membawa manfaat bagi pembaca.

Jakarta, Juni 2017

Penulis

## ABSTRAK

*Oil cooler* adalah sejenis *heat exchanger type shell & tube*. Alat ini berfungsi untuk melepaskan panas yang dibawa oleh oli pelumas dan didinginkan oleh air. Objek penelitian ini menggunakan dua pendingin oli mesin genset Caterpillar 3500 series dari masing-masing mesin dengan spesifikasi yang sama, yang akan diukur temperatur permukaan pipa pada aliran oli sebelum dan sesudah *oil cooler* dan air sebelum dan sesudah *oil cooler*. Sehingga dilakukan perbandingan dari hasil perhitungan laju perpindahan panas dan efektivitas laju perpindahan panas serta faktor pengotoran masing-masing objek penelitian. Pada *oil cooler* mesin genset Caterpillar 3500 series unit 1 memiliki efektivitas laju perpindahan panas rata-rata sebesar 42%. Pada *oil cooler* mesin genset Caterpillar 3500 series unit 2 memiliki efektivitas laju perpindahan panas rata-rata sebesar 47%. Pendingin oli mesin genset Caterpillar 3500 series unit 2 memiliki efektivitas yang lebih besar dari unit 1. Besarnya efektivitas laju perpindahan panas dipengaruhi oleh perpindahan panas aktual yang terjadi di *oil cooler* dan faktor pengotoran yang terjadi di *oil cooler* tersebut. Pada *oil cooler* mesin genset Caterpillar 3500 series unit 1 memiliki faktor pengotoran rata-rata sebesar  $0,000263 \text{ m}^2\text{K/W}$  ( $\epsilon = 42\%$ ), sedangkan pada unit 2 sebesar  $0,000168 \text{ m}^2\text{K/W}$  ( $\epsilon = 47\%$ ). Hal tersebut mengindikasikan bahwa besarnya besarnya faktor pengotoran menyebabkan menurunnya efektivitas laju perpindahan panas *oil cooler*. Akibat faktor pengotoran tersebut, pada *oil cooler* mesin genset unit 1 mengalami penurunan efektivitas sebesar 65% dari sebelumnya 80% menjadi 17%, sedangkan pada *oil cooler* mesin genset unit 2 terjadi penurunan efektivitas sebesar 36% dari sebelumnya 79% menjadi 44%. Faktor pengotoran mengakibatkan menurunnya efektivitas kinerja *oil cooler*, sehingga pendinginan oli menjadi kurang efektif dan oli yang masuk ke *engine* masih memiliki temperatur yang relative tinggi, mengakibatkan viskositas dan tekanan oli menurun, sehingga menjadi salah satu penyebab dari *major problem* karena kegagalan sistem pelumasan.

Kata kunci: **oil cooler, heat exchanger shell and tube, laju perpindahan panas, efektivitas laju perpindahan panas, faktor pengotoran.**

## DAFTAR ISI

		<b>Halaman</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b>		i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>		ii
<b>PENGHARGAAN</b>		iii
<b>ABSTRAK</b>		iv
<b>DAFTAR ISI</b>		v
<b>DAFTAR GAMBAR</b>		vii
<b>DAFTAR TABEL</b>		viii
<b>DAFTAR NOTASI</b>		ix
<b>BAB I</b>	<b>PENDAHULUAN</b>	
1.1	Latar Belakang	1
1.2	Rumusan Permasalahan	4
1.3	Tujuan Penelitian	4
1.4	Batasan Masalah	4
1.5	Sistematika Penulisan	5
<b>BAB II</b>	<b>TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1	Pendahuluan	6
2.2	Sistem Pelumasan Pada Mesin Diesel	7
2.3	Alat Penukar Kalor	9
	2.3.1 Klasifikasi <i>heat exchanger</i>	9
	2.3.2 Bagian-bagian <i>shell and tube heat exchanger</i>	12
2.4	Perpindahan Panas	15
	2.4.1 Pertukaran energi panas didalam Alat penukar kalor	17
	2.4.2 Tahanan termal didalam alat penukar kalor	18
	2.4.3 Beda temperatur rata-rata didalam alat penukar kalor	20
	2.4.4 Efektivitas perpindahan panas	22

	2.4.5	Faktor pengotoran permukaan	24
<b>BAB III</b>		<b>METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1		Pendahuluan	26
3.2		Tahapan-tahapan Penelitian	26
	3.2.1	Mulai	28
	3.2.2	Identifikasi masalah	28
	3.2.3	Teknik pengumpulan data	28
	3.2.4	Pengolahan data	37
<b>BAB IV</b>		<b>HASIL YANG DICAPAI DAN POTENSI KHUSUS</b>	
4.1		Pendahuluan	69
4.2		Hasil Analisis Data & Pembahasan	69
	4.2.1	Analisis perpindahan panas aktual <i>oil cooler</i> unit 1 dan unit 2	70
	4.2.2	Analisis efektivitas perpindahan panas <i>oil cooler</i> Unit 1 dan unit 2	71
	4.2.3	Analisis faktor pengotoran <i>oil cooler</i> unit 1 dan unit 2	73
<b>BAB V</b>		<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1		Kesimpulan	77
5.2		Saran	77
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>			79



## DAFTAR GAMBAR

<b>No Gambar</b>	<b>Halaman</b>
1.1 Kerusakan komponen mesin diesel akibat kegagalan sistem pelumasan	2
2.1 Sistem pelumasan <i>engine Caterpillar 3500 series</i>	9
2.2 Tipe aliran sejajar dan berlawanan	11
2.3 <i>Oil Cooler</i> pada mesin diesel	12
2.4 Kontruksi <i>heat exchanger shell and tube</i>	12
2.5 Bagian <i>shell and tube heat exchanger</i>	13
2.6 Bentuk susunan tube	14
2.7 Jenis kontruksi <i>baffle</i>	15
2.8 Grafik faktor koreksi jenis aliran <i>counter flow</i>	12
3.1 <i>Flow chart</i> penelitian	27
3.2 Pengukuran temperatur permukaan luar pipa oli keluar dari <i>oil cooler</i>	29
3.3 Titik pengukuran temperatur air dan oli	30
3.4 Mekanisme perpindahan panas pada pipa	35
3.5 Skema laju perpindahan panas pada <i>oil cooler</i>	44
3.6 Grafik faktor koreksi LMTD <i>oil cooler</i> unit 1	55
3.7 Grafik faktor koreksi LMTD <i>oil cooler</i> unit 2	58
4.1 Grafik laju perpindahan panas aktual unit 1	70
4.2 Grafik laju perpindahan panas aktual unit 2	71
4.3 Grafik efektivitas laju perpindahan panas <i>oil cooler</i> unit 1	72
4.4 Grafik efektivitas laju perpindahan panas <i>oil cooler</i> unit 2	72
4.5 Grafik Q aktual dan Q max pada <i>oil cooler</i> unit 1 dan 2 terhadap efektivitas <i>oil cooler</i> unit 1 & 2	73
4.6 Grafik efektivitas terhadap faktor pengotoran pada <i>oil cooler</i> unit 1	74
4.7 Grafik efektivitas terhadap faktor pengotoran pada <i>oil cooler</i> unit 2	75

## DAFTAR TABEL

<b>No Tabel</b>	<b>Halaman</b>
3.1 Hasil pengukuran temperatur permukaan luar masing-masing pipa unit 1	30
3.2 Hasil pengukuran temperatur permukaan luar masing-masing pipa unit 2	33
3.3 Hasil perhitungan temperatur aktual fluida unit 1	39
3.4 Hasil perhitungan temperatur aktual fluida unit 2	41
3.5 Hasil perhitungan $Q_{\text{aktual}}$ , $Q_{\text{maksimum}}$ , efektivitas <i>oil cooler</i> unit 1	46
3.6 Hasil perhitungan $Q_{\text{aktual}}$ , $Q_{\text{maksimum}}$ , efektivitas <i>oil cooler</i> unit 2	51
3.7 Hasil perhitungan LMTD <i>oil cooler</i> $\Delta T_{m, \text{st}}$ pada unit 1	56
3.8 Hasil perhitungan LMTD <i>oil cooler</i> $\Delta T_{m, \text{st}}$ pada unit 2	59
3.9 Hasil perhitungan koefisien perpindahan panas global <i>Oil cooler</i> unit 1	61
3.10 Hasil perhitungan koefisien perpindahan panas global <i>Oil cooler</i> unit 2	64
3.11 Hasil perhitungan faktor pengotoran pada <i>Oil cooler</i> unit 1	66
3.12 Hasil perhitungan faktor pengotoran pada <i>Oil cooler</i> unit 2	67

## DAFTAR NOTASI

APK	: Alat penukar kalor
SAE	: <i>Society of Automotif Engineer</i>
TEMA	: <i>Tubular Exchanger Manufactures Association</i>
$Q_w$	: Laju perpindahan panas konduksi (W)
$T_{wi}$	: Temperatur permukaan dalam pipa (K)
$T_{wo}$	: Temperatur permukaan luar pipa (K)
$D_o$	: Diameter luar pipa (m)
$D_i$	: Diameter dalam pipa (m)
$k$	: Konduktivitas termal bahan (W/mK)
$L$	: Panjang penampang (m)
$Q_h$	: Laju perpindahan panas konveksi (W)
$h_c$	: Koefisien perpindahan panas konveksi fluida (W/m <sup>2</sup> K)
$A$	: Luas permukaan penampang (m <sup>2</sup> )
$T_{h1}$	: Temperatur fluida dalam pipa (K)
$T_{h2}$	: Temperatur fluida luar pipa (K)
$m$	: Laju aliran massa fluida panas (kg/s)
$p$	: Panas jenis fluida panas pada tekanan konstan (J/kg.K)
$T_i$	: Temperatur aliran fluida panas masuk APK (K)
$T_o$	: Temperatur lairan fluida panas keluar APK (K)
$m_c$	: Laju aliran massa fluida pendingin (kg/s)
$p_c$	: Panas jenis fluida pendingin pada tekanan konstan (J/kg.K)
$T_{ci}$	: Temperatur aliran fluida pendingin masuk APK (K)
$T_{co}$	: Temperatur lairan fluida pendingin keluar APK (K)
$h_i$	: Koefisien perpindahan panas konveksi aliran di dalam pipa (W/m <sup>2</sup> K)
$A_i$	: Luas permukaan perpindahan panas di bagian dalam pipa (m <sup>2</sup> )
$T_h$	: Temperatur rata-rata aliran fluida di dalam pipa (K)
$T_{w,i}$	: Temperature permukaan bagian dalam pipa (K)
$h_o$	: Koefisien perpindahan panas konveksi aliran fluida di luar pipa (W/m <sup>2</sup> K)
$A_o$	: Luas permukaan perpindahan panas di luar pipa (m <sup>2</sup> )
$T_c$	: Temperature rata-rata aliran fluida di luar pipa (K)

- $1/UA$  : Tahanan termal perpindahan panas di dalam APK (K/W)  
 $U$  : Koefisien global perpindahan panas di dalam APK ( $W/m^2K$ )  
 $N_t$  : Jumlah tube yang diperlukan  
 $\Delta T_m$  : Beda temperatur rata-rata logaritmik (K)  
 $\Delta T_{m,st}$  : Beda temperatur rata-rata logaritmik *shell and tube* (K)  
 $\Delta T_{m,cf}$  : Beda temperatur rata-rata logaritmik *counter flow* (K)  
 $T$  : Selisih temperatur panas masuk dengan temperatur pendingin keluar (K)  
 $T$  : Selisih temperatur panas keluar dengan temperatur pendingin masuk (K)  
 $F$  : Faktor koreksi  
 $P$  : Efektivitas temperatur sisi pendingin *oil cooler*  
 $R$  : *Heat capacity rate ratio*  
 $act$  : Perpindahan panas aktual (W)  
 $ma$  : Perpindahan panas maksimum (W)  
 $act/ma$  : Efektivitas laju perpindahan panas  
 $min$  : Laju kapasitas panas yang lebih rendah di antara  $C_c$  dan  $C_h$  (W/K)  
 $c$  : Laju kapasitas panas fluida pendingin (W/K)  
 $h$  : Laju kapasitas panas fluida panas (W/K)  
 $R_f$  : *Fouling factor* ( $m^2K/W$ )