

**ANALISIS PERPINDAHAN PANAS ALAT PENUKAR KALOR *SHELL* DAN
TUBE DENGAN FLUIDA KERJA AIR DAN HIDROKARBON
MENGUNAKAN METODE EFEKTIVITAS-NTU**



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA 2022

LAPORAN TUGAS AKHIR

ANALISIS PERPINDAHAN PANAS ALAT PENUKAR KALOR *SHELL* DAN
TUBE DENGAN FLUIDA KERJA AIR DAN HIDROKARBON
MENGUNAKAN METODE EFEKTIVITAS-NTU



Nama : Anggi Lutfiansyah
NIM : 41318010015
Program studi : Teknik Mesin

DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH
TUGAS AKHIR PADA PROGRAM SARJANA STRATA SATU (S1)
JUNI 2022

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS PERPINDAHAN PANAS ALAT PENUKAR KALOR *SHELL* DAN
TUBE DENGAN FLUIDA KERJA AIR DAN HIDROKARBON
MENGUNAKAN METODE EFEKTIVITAS-NTU

Disusun oleh:

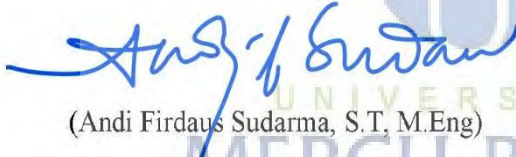
Nama : Anggi Lutfiansyah
NIM : 41318010015
Program Studi : Teknik Mesin

Telah diperiksa dan disetujui pada tanggal: 29 Juli 2022

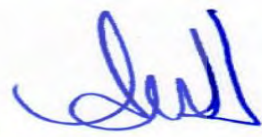
Telah dipertahankan di depan penguji,

Pembimbing TA

Penguji Sidang I



(Andi Firdaus Sudarma, S.T, M.Eng)




(Dafit Feriyanto, S.T., M.Eng., Ph.D)

NIP. 119810645

NIP. 118900633

Penguji Sidang II

Penguji Sidang III



(Agung Wahyudi B., S.T, M.T, M.M)



(Dedik Romahadi, S.T, M.Sc)

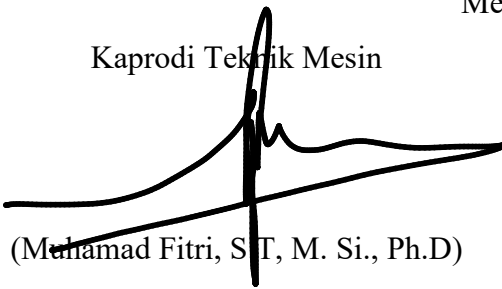
NIP. 609690021

NIP. 116910542


Mengetahui,

Kaprodi Teknik Mesin

Koordinator TA



(Muhammad Fitri, S.T, M. Si., Ph.D)



(Alief Avicenna Luthfie, S.T, M.Eng)

NIP. 118690617

NIP. 216910097

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Anggi Lutfiansyah

NIM : 41318010015

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Judul Tugas Akhir : Analisis Perpindahan Panas Alat Penukar Kalor *Shell*
dan *Tube* Dengan Fluida Kerja Air dan Hidrokarbon
Menggunakan Metode Efektivitas-NTU

Dengan ini menyatakan bahwa saya melakukan Tugas Akhir dengan sesungguhnya dan 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 tanpa paksaan.

Jakarta, 1 Agustus 2022



Anggi Lutfiansyah

PENGHARGAAN

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan karunia-Nya yang tidak pernah berhenti mengalir, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan tepat waktu dan dengan judul “**Analisis Perpindahan Panas Alat Penukar Kalor *Shell* dan *Tube* Dengan Fluida Kerja Air dan Hidrokarbon Menggunakan Metode Efektivitas-NTU**”.

Tugas akhir ini disusun guna untuk memenuhi salah satu syarat menempuh gelar sarjana teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana.

Selama proses penyusunan Tugas Akhir penulis sadar betul bahwa banyak hambatan dan kesulitan yang dialami. Bantuan semangat dan dorongan serta bantuan baik materiil maupun non materiil tidak lepas dari jasa berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Dr. Harwikarya, M.T selaku Rektor Universitas Mercu Buana.
2. Dr. Mawardi Amin, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
3. Muhamad Fitri, S.T, M.Si., Ph.D selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.
4. Alief Avicenna Luthfie, ST., M.Eng selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin dan Koordinator Tugas Akhir.
5. Andi Firdaus Sudarma, S.T, M.Eng selaku Dosen Pembimbing dalam memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis.
6. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Mesin Universitas Mercu Buana yang begitu banyak memberikan pengetahuan yang tiada ternilai.
7. Seluruh staf dan karyawan PT. Pertamina EP Zona 7 Tambun Field yang telah membantu dalam terwujudnya Laporan Tugas Akhir ini.
8. Orang tua penulis Bapak Satino, Ibu Nounik Wijiati, dan Kakak Fajar Nur Cholis yang selalu menjadi motivasi terbesar untuk selalu bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.

9. Seluruh rekan-rekan Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Mercu Buana angkatan 2018 yang telah berjasa besar dalam proses penelitian dan penulisan Laporan Tugas Akhir.
10. *Last but not least, I wanna thank me, I wanna thank me for believing in me, I wanna thank me for doing all this hard work, I wanna thank me for having no days off, I wanna thank me for never quitting, I wanna thank me for always being a giver and tryna give more than I receive, I wanna thank me for tryna do more right than wrong, I wanna thank me for just being me at all time.*

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata kesempurnaan yang disebabkan dari keterbatasan penulis. Dengan lapang hati penulis menerima masukan demi perkembangan dan kemajuan pengetahuan di masa yang akan mendatang sekaligus demi kesempurnaannya Tugas Akhir ini.

Akhir kata penulis berharap semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya.



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Penulis
Jakarta, 12 Januari 2021



Anggi Lutfiansyah

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
PENGHARGAAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR SIMBOL	xv
DAFTAR SINGKATAN	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	3
1.3 TUJUAN	3
1.4 MANFAAT	3
1.5 RUANG LINGKUP DAN BATASAN MASALAH	4
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 KAJIAN TERDAHULU	6
2.2 PERPINDAHAN PANAS	9
2.3 MEKANISME PERPINDAHAN PANAS	10
2.3.1 Konduksi	10
2.3.2 Konveksi	11
2.3.3 Radiasi	12
2.4 PERPINDAHAN PANAS SECARA MENYELURUH	13
2.5 ALAT PENUKAR KALOR	16
2.6 ALAT PENUKAR KALOR PADA UNIT PENGHASIL KONDENSAT	17
2.7 KLASIFIKASI KEGUNAAN ALAT PENUKAR KALOR	18

2.8	ALAT PENUKAR KALOR BERDASARKAN ARAH ALIRAN FLUIDA	19
2.8.1	Alat Penukar Kalor dengan Aliran Searah (<i>Parallel Flow</i>)	19
2.8.2	Alat Penukar Kalor dengan Aliran Berlawanan Arah (<i>Counter Current Flow</i>)	20
2.8.3	Alat Penukar Kalor dengan Arah Aliran Silang (<i>Cross Flow</i>)	21
2.9	JENIS-JENIS ALAT PENUKAR KALOR	21
2.9.1	Alat Penukar Kalor Pipa Rangkap (<i>Double Pipe Heat Exchanger</i>)	21
2.9.2	Alat Penukar Kalor Pelat dan Bingkai (<i>Plate and Frame Heat Exchanger</i>)	22
2.9.3	Alat Penukar Kalor Cangkang dan Tabung (<i>Shell and Tube Heat Exchanger</i>)	23
2.10	ALAT PENUKAR KALOR JENIS <i>SHELL</i> DAN <i>TUBE</i> BERDASARKAN TEMA	24
2.11	ALAT PENUKAR KALOR <i>SHELL</i> DAN <i>TUBE</i>	26
2.11.1	Komponen pada Alat Penukar Kalor <i>Shell</i> dan <i>Tube</i>	26
2.11.2	Keuntungan dari Alat Penukar Kalor <i>Shell</i> dan <i>Tube</i>	30
2.12	FAKTOR PENGOTORAN (<i>FOULING</i>)	30
2.13	SIFAT-SIFAT TERMODINAMIKA AIR	32
2.14	SIFAT-SIFAT TERMODINAMIKA HIDROKARBON	32
2.15	PERHITUNGAN KINERJA ALAT PENUKAR KALOR	33
2.15.1	Metode <i>Logaritmik Mean Temperature Difference</i> (LMTD)	33
2.15.2	Perhitungan Awal Perpindahan Panas	35
2.15.3	Koefisien Perpindahan Panas pada Bagian <i>Shell</i>	36
2.15.4	Koefisien Perpindahan Panas pada Bagian <i>Tube</i>	39
2.15.5	Penurunan Tekanan (<i>Pressure Drop</i>)	41
2.15.6	Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh	43
2.15.7	Faktor Pengotoran (Rf)	44
2.15.8	Efektivitas pada Alat Penukar Kalor <i>Shell</i> dan <i>Tube</i>	45
BAB III METODOLOGI		48
3.1	DIAGRAM ALIR	48
3.2	ALAT DAN BAHAN	51
3.2.1	Alat	51

3.2.2	Bahan	53
3.3	PENGAMBILAN DATA	55
3.3.1	Tempat Pengambilan Data	55
3.3.2	Proses Pengumpulan Data	56
3.4	PROSES PENGOLAHAN DATA	58
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		60
4.1.	TINJAUAN UMUM	60
4.2.	HASIL EVALUASI PERHITUNGAN ALAT PENUKAR KALOR <i>SHELL</i> DAN <i>TUBE</i> HE-101	61
 BAB V PENUTUP		66
5.1	KESIMPULAN	66
5.2	SARAN	67
 DAFTAR PUSTAKA		68
LAMPIRAN		70



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Perpindahan Panas Konduksi	10
Gambar 2.2. Perpindahan Panas Konveksi	11
Gambar 2.3. Perpindahan Panas Radiasi	12
Gambar 2.4. Perpindahan Panas Secara Menyeluruh pada Dinding Datar	13
Gambar 2.5. Jaringan Tahanan Panas pada Alat Penukar Kalor	14
Gambar 2.6. Diagram Alat Penukar Kalor dengan Aliran Searah	19
Gambar 2.7. Sketsa Alat Penukar Kalor dengan Aliran Searah	19
Gambar 2.8. Diagram Alat Penukar Kalor dengan Aliran Berlawanan Arah	20
Gambar 2.9. Sketsa Alat Penukar Kalor dengan Aliran Berlawanan Arah	20
Gambar 2.10. Alat Penukar Kalor dengan Arah Aliran Silang	21
Gambar 2.11. Alat Penukar Kalor Pipa Rangkap	22
Gambar 2.12. Alat Penukar Kalor Pelat dan Bingkai	23
Gambar 2.13. Alat Penukar Kalor <i>Shell</i> dan <i>Tube</i>	23
Gambar 2.14. Alat Penukar Kalor Berdasarkan TEMA (<i>Tubular Exchanger Manufacturing Association</i>)	26
Gambar 2.15. Konstruksi Alat Penukar Kalor <i>Shell</i> dan <i>Tube</i> Berdasarkan TEMA	27
Gambar 2.16. Jenis-Jenis <i>Tube Pitch</i>	28
Gambar 2.17. Jenis-Jenis <i>Baffles</i>	29
Gambar 2.18. Fouling yang Terjadi pada Bagian <i>Tube Bundle</i>	31
Gambar 2.19. Profil Temperatur (a) Aliran Berlawanan Arah (b) Aliran Searah	34
Gambar 3.1. Diagram Alir	49
Gambar 3.2. Alat Penukar Kalor <i>Shell</i> dan <i>Tube</i> (HE-101)	51
Gambar 3.3. Fluida pada Alat Penukar Kalor <i>Shell</i> dan <i>Tube</i>	54
Gambar 3.4. Lokasi PT. Pertamina EP Zona 7 Tambun Field	56
Gambar 3.5. Monitor Kontrol	56
Gambar 3.6. Bagian Fluida Panas Keluar (T_{ho}) dan Fluida Dingin Masuk (T_{ci})	57
Gambar 3.7. Bagian Fluida Panas Masuk (T_{hi}) dan Fluida Dingin Keluar (T_{co})	57
Gambar 3.8. Diagram Alir Proses Pengolahan Data Teoritis	58
Gambar 4.1. Grafik Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh Dengan Diketahui Faktor Pengotoran	62
Gambar 4.2. Grafik Penurunan Tekanan (ΔP)	63

Gambar 4.3. Grafik NTU Berdasarkan Nilai Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh	64
Gambar 4. 4. Grafik Efektivitas Berdasarkan NTU	65



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kajian Terdahulu	6
Tabel 2.2. <i>Fouling</i> Untuk Berbagai Fluida	31
Tabel 2.3. Sifat-Sifat Termodinamika Air	32
Tabel 2.4. Sifat-Sifat Termodinamika Hidrokarbon	32
Tabel 3.1. Spesifikasi Alat Penukar Kalor Bagian <i>Shell</i>	52
Tabel 3.2. Spesifikasi Alat Penukar Kalor Bagian <i>Tube</i>	52
Tabel 3.3. Spesifikasi Alat Penukar Kalor <i>Shell</i> dan <i>Tube</i> (HE-101)	53
Tabel 3.4. Spesifikasi Gas Alam (Hidrokarbon)	54
Tabel 3.5. Sifat Fisik Air	55
Tabel 4.1. Data Parameter HE-101	60
Tabel 4.2. Hasil Evaluasi Perhitungan Data	61



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan
q	Laju perpindahan panas [kJ/s]
k	Konduktivitas termal [W/m.°C]
h	Koefisien perpindahan panas konveksi [W/m ² .°C]
A	Luas penampang [m ²]
dT	Perbedaan temperatur [°C]
dX	Perbedaan jarak [m/s]
δ	Emisifitas
τ	Konstanta Stefan Boltzman [5.57 x 10 ⁸ W/m ² .°C]
ΔT	Perbedaan suhu [°C]
R	Tahanan panas [k/W]
D	Diameter pipa [m]
Q	Besar panas yang dilepas [W]
U	Koefisien perpindahan panas menyeluruh [W/m ² .°C]
ΔT_{LMTD}	Selisih temperatur rata-rata [°C]
h_o	Koefisien perpindahan panas luar <i>tube</i> [W/m ² .°C]
h_i	Koefisien perpindahan panas di dalam <i>tube</i> [W/m ² .°C]
d_o	Diameter luar <i>tube</i> [m]
d_i	Diameter dalam <i>tube</i> [m]
L	Panjang <i>tube</i> [m]
N_t	Jumlah <i>tube</i>
N_p	Jumlah <i>pass</i>
T_h	Temperatur gas rata-rata [°C]
T_{hi}	Temperatur gas masuk [°C]
T_{ho}	Temperatur gas keluar [°C]
T_c	Temperatur air rata-rata [°C]
T_{ci}	Temperatur air masuk [°C]
T_{co}	Temperatur air keluar [°C]
A_s	Luas daerah aliran pada sisi <i>shell</i> [m ²]
A_t	Luas daerah aliran pada sisi <i>tube</i> [m ²]
A_i	Luas perpindahan panas bagian dalam [m ²]

A_o	Luas perpindahan panas bagian luar [m^2]
D_i	Diameter dalam <i>shell</i> [m]
D_o	Diameter luar <i>shell</i> [m]
C'	Jarak antara <i>tube</i> [m]
B	Jarak antara <i>baffle plate</i> [m]
P_t	Jarak antara titik pusat <i>tube</i> [m]
G_s	Kecepatan aliran massa pada <i>shell</i> [$kg/m^2.s$]
G_t	Kecepatan aliran massa pada <i>tube</i> [$kg/m^2.s$]
\dot{m}_s	Laju aliran massa pada gas [kg/s]
\dot{m}_t	Laju aliran massa pada air [kg/s]
Re	Bilangan Reynold
Rf	Faktor pengotoran [$W/m.^{\circ}C$]
Q_{act}	Perpindahan panas aktual [W]
Q_{max}	Perpindahan panas maksimal [W]
C_{min}	Kapasitas fluida minimum [$W/^{\circ}C$]
C_{max}	Kapasitas fluida maksimum [$W/^{\circ}C$]
C_h	Kapasitas fluida panas [$W/^{\circ}C$]
C_c	Kapasitas fluida dingin [$W/^{\circ}C$]
D_e	Diameter ekuivalen pada <i>shell</i> [m]
μ	Viskositas gas [kg/m.s]
JH	Faktor perpindahan panas
Pr_s	Bilangan Prandtl pada <i>shell</i>
Pr_t	Bilangan Prandtl pada <i>tube</i>
f	Faktor gesekan
Nu_d	Bilangan Nusselt [m]
ρ	Massa jenis fluida [kg/m^3]
C_{pc}	Panas spesifik air [$J/kg^{\circ}C$]
C_{ph}	Panas spesifik gas [$J/kg^{\circ}C$]
ΔP	<i>Pressure drop</i> [Pa]
SG_s	<i>Specific gravity</i> gas
SG_t	<i>Specific gravity</i> air
Φ	Rasio viskositas gas dan air [μ/μ_w] ^{0.14}

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Keterangan
NTU	<i>Number of Transfer Units</i>
LMTD	<i>Log Mean Temperature Difference</i>
TEMA	<i>Tubular Exchanger Manufacturing Association</i>



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A. KARTU ASISTENSI TUGAS AKHIR	70
LAMPIRAN B. DATA TEMPERATUR ALAT PENUKAR KALOR <i>SHELL</i> DAN <i>TUBE</i> (HE-101) PADA 3 JUNI 2022	71
LAMPIRAN C. SPESIFIKASI ALAT PENUKAR KALOR <i>SHELL</i> DAN <i>TUBE</i> (HE-101)	72
LAMPIRAN D. DESAIN ALAT PENUKAR KALOR <i>SHELL</i> DAN <i>TUBE</i> (HE- 101)	73
LAMPIRAN E. SIFAT-SIFAT TERMODINAMIKA HIDROKARBON	74
LAMPIRAN F. SIFAT-SIFAT TERMODINAMIKA AIR	75
LAMPIRAN G. TEMPLATE SPESIFIKASI ALAT PENUKAR KALOR <i>SHELL</i> DAN <i>TUBE</i> (HE-101)	76
LAMPIRAN H. PERHITUNGAN PENGOLAHAN DATA AKTUAL	77
LAMPIRAN I. PENELITIAN KETIKA BERADA DI LAPANGAN UNIT PENGHASIL KONDENSAT	92