

**ANALISIS NILAI EFEKTIVITAS PERPINDAHAN PANAS ALAT
PENUKAR KALOR *SHELL AND TUBE* DENGAN FLUIDA KERJA AIR
DAN *ETHYLENE DICHLORIDE***



**GALANG DIENUL LISTANTO
NIM: 41321110043**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA 2023**

LAPORAN TUGAS AKHIR

ANALISIS NILAI EFEKTIVITAS PERPINDAHAN PANAS ALAT PENUKAR KALOR
SHELL AND TUBE DENGAN FLUIDA KERJA AIR DAN *ETHYLENE DICHLORIDE*



Disusun oleh:

Nama : Galang Dienul Listanto
NIM : 41321110043
Program Studi : Teknik Mesin

DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH TUGAS
AKHIR PADA PROGRAM SARJANA STRATA SATU (S1)
(JUNI) 2023

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS NILAI EFEKTIVITAS PERPINDAHAN PANAS ALAT PENUKAR KALOR *SHELL AND TUBE* DENGAN FLUIDA KERJA AIR DAN *ETHYLENE DICHLORIDE*

Disusun oleh:


Nama : Galang Dienul Listanto
NIM : 41321110043
Program Studi : Teknik Mesin


Telah diperiksa dan disetujui pada tanggal 08 Juni 2023

Telah dipertahankan di depan penguji,

Pembimbing TA

Penguji Sidang I


(Andi Firdaus Sudarma, ST., M.Eng)
NIK/NIP. 217810112


(Dafit Feriyanto, ST., M.Eng., Ph.D)
NIK/NIP. 118900633

Penguji Sidang II

Penguji Sidang III



(Dr. Nanang Ruhyat, ST., MT)
NIK/NIP: 101730256



(Dr. Ir. Haftirman, M.Eng)
NIK/NIP: 216890125

Mengetahui,

Kaprodi Teknik Mesin

Koordinator TA


(Dr. Eng. Imam Hidayat, ST., MT)
NIK/NIP. 112750348


(Gilang Awan Yudhistira, ST., MT)
NIK/NIP. 221900211

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Galang Dienul Listanto

NIM : 41321110043

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Judul Kerja Praktik : Analisis Nilai Efektivitas Perpindahan Panas Alat Penukar Kalor *Shell and Tube* Dengan Fluida Kerja Air dan *Ethylene Dichloride*

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.

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Jakarta, 08 Juni 2023



(Galang Dienul Listanto)

PENGHARGAAN

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayahnya sehingga laporan Tugas Akhir ini bisa terselesaikan dengan baik. Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak. Penulis secara khusus mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu, baik bantuan secara moral maupun material. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Andi Adriansyah, M.Eng selaku rektor Universitas Mercu Buana.
2. Ibu Dr. Zulfa Fitri Ilkatrinasari, MT selaku Dekan Fakultas Teknik.
3. Bapak Dr. Eng. Imam Hidayat, ST., MT selaku ketua Program Studi Teknik Mesin.
4. Bapak Gilang Awan Yudhistira, ST., M.T selaku Koordinator Tugas Akhir.
5. Bapak Andi Firdaus Sudarma, ST., M.Eng selaku pembimbing tugas akhir yang telah banyak mengarahkan dalam penyusunan tugas akhir ini.
6. Seluruh Bapak dan Ibu dosen program studi Teknik Mesin atas bekal ilmu, wawasan dan pengalaman yang telah diajarkan selama ini.
7. Ibu Sulistyasih, Bapak Eddy Suprpto, dan Farihin selaku orang tua dan saudara penulis yang selalu memberikan dukungan, dan doa yang tiada hentinya.

Penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam penulisan laporan ini. Oleh karena itu kritik dan saran masih penulis harapkan demi kesempurnaan laporan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk berbagai pihak.

Jakarta, 8 Juni 2023



Galang Dienul Listanto
41321110043

ABSTRAK

Salah satu unit terpenting dalam produksi VCM adalah alat penukar kalor. Salah satu alat penukar kalor yang sering digunakan adalah *shell and tube*, dengan fluida kerja *ethylene dichloride* sebagai bahan baku VCM. *Shell and tube* berfungsi sebagai kondensor untuk menurunkan temperatur *ethylene dichloride*. Permasalahan yang sering terjadi pada *shell and tube* yaitu penumpukan *ethylene dichloride* pada *tube* alat penukar kalor tersebut. *Fouling* sudah menjadi masalah sejak alat penukar kalor ditemukan. *Fouling* dapat didefinisikan sebagai pembentukan lapisan deposit pada permukaan perpindahan panas dari suatu bahan atau senyawa yang tidak diinginkan. Pembentukan lapisan deposit ini akan terus berkembang selama alat penukar kalor dioperasikan. Akumulasi deposit pada permukaan alat penukar kalor menimbulkan penurunan *pressure* dan menurunkan efisiensi perpindahan panas. Kegagalan yang terjadi pada alat penukar kalor *shell and tube ethylene dichloride* akan menyebabkan kegagalan produksi, kerusakan pada sistem, dampak lingkungan karena *ethylene dichloride* merupakan bahan kimia yang berbahaya, dan juga meningkatnya *cost maintenance* untuk melakukan perbaikan alat penukar kalor tersebut. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, penulis melakukan analisis terhadap besarnya nilai efektivitas alat penukar kalor *shell and tube* VH132 dengan metode *Log Mean Temperature Difference*. Menurut *design*, temperatur masuk *tube* dengan fluida EDC memiliki temperatur 90°C dan temperatur keluar *tube* dengan fluida EDC memiliki temperatur 55°C , dan efektivitas 60%. Namun, saat peneliti melakukan pengambilan dan analisis data yang dimulai 10 Februari 2023-12 Mei 2023, ditemukan nilai tertinggi temperatur keluar *tube* yaitu $62,51224^{\circ}\text{C}$ dengan efektivitas 43,58979%. Dengan T_{co} $62,51224^{\circ}\text{C}$, berarti sudah melebihi batasan alarm 1 VB132 (VB132 adalah penerima EDC dari T_{co} VH132, alarm 1 yaitu 62°C). Sehingga peneliti juga melakukan regresi untuk mengetahui kapan kondisi VH132 mencapai batasan alarm 3 (alarm 3 yaitu 68°C / 35%). Ditemukan bahwa 31 Mei 2024 efektivitas VH132 adalah 35,0459287%, sehingga sebelum itu VH132 harus off dan perlu *cleaning*.

Kata kunci: VCM, *ethylene dichloride*, *shell and tube*, VH132, *fouling*

ANALYSIS OF THE EFFECTIVE VALUE OF HEAT TRANSFER OF SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGE WITH WATER AND ETHYLENE DICHLORIDE WORKING FLUID

ABSTRACT

One of the most important units in VCM production is the heat exchanger. One of the most frequently used heat exchangers is the shell and tube, with ethylene dichloride as a raw material for VCM. The shell and tube functions as a condenser to lower the temperature of the ethylene dichloride. The problem that often occurs in shell and tube is the accumulation of ethylene dichloride on the tube of the heat exchanger. Fouling has been a problem since heat exchangers were invented. Fouling can be defined as the formation of a deposit layer on the heat transfer surface of an unwanted material or compound. The formation of this deposit layer will continue to grow as long as the heat exchanger is operated. Accumulation of deposits on the surface of the heat exchanger causes a decrease in pressure and reduces the efficiency of heat transfer. Failures that occur in shell and tube ethylene dichloride heat exchangers will cause production failures, damage to the system, environmental impacts because ethylene dichloride is a hazardous chemical, as well as increased maintenance costs to repair the heat exchanger. Therefore, in this study, the authors analyzed the effectiveness of the VH132 shell and tube heat exchanger using the Log Mean Temperature Difference method. According to the design, the inlet temperature of the tube with EDC fluid has a temperature of 90°C and the exit temperature of the tube with EDC fluid has a temperature of 55°C, and the effectiveness is 60%. However, when the researchers collected and analyzed data starting from 10 February 2023 to 12 May 2023, they found the highest temperature at the exit of the tube, which was 62.51224°C with an effectiveness of 43.58979%. With a Tco of 62.51224°C, it means that it has exceeded the limit of alarm 1 VB132 (VB132 is an EDC receiver from Tco VH132, alarm 1 is 62°C). So the researchers also carried out a regression to find out when the condition of VH132 reached the limit of alarm 3 (alarm 3 which was 68°C / 35%). It was found that on May 31, 2024 the effectiveness of VH132 was 35.0459287%, so before that VH132 had to be turned off and needed cleaning.

Keywords: VCM, ethylene dichloride, shell and tube, VH132, fouling

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
PENGHARGAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR SIMBOL	xii
DAFTAR SINGKATAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. RUMUSAN MASALAH	2
1.3. TUJUAN	2
1.4. MANFAAT	3
1.5. RUANG LINGKUP DAN BATASAN MASALAH	3
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. PENELITIAN TERDAHULU	5
2.2. PERPINDAHAN PANAS	6
2.2.1. Konduksi	7
2.2.2. Konveksi	8
2.2.3. Radiasi	9
2.3. ALAT PENUKAR KALOR	10
2.4. KLASIFIKASI KEGUNAAN ALAT PENUKAR KALOR	10
2.5. ALAT PENUKAR KALOR BERDASARKAN ARAH ALIRAN FLUIDA	11
2.5.1. Alat Penukar Kalor dengan Aliran Searah (<i>Parallel Flow</i>)	11
2.5.2. Alat Penukar Kalor dengan Aliran Berlawanan Arah (<i>Counter Current Flow</i>)	12

2.6. ALAT PENUKAR KALOR <i>SHELL</i> DAN <i>TUBE</i>	13
2.6.1. Komponen pada Alat Penukar Kalor <i>Shell</i> dan <i>Tube</i>	14
2.6.2. Tipe <i>Shell and Tube Heat Exchanger</i>	15
2.6.3. Desain <i>Tube</i>	16
2.6.4. <i>Tube Pass</i>	18
2.6.5. Pola Letak <i>Tube</i>	18
2.6.6. <i>Baffle</i>	19
2.7. PERMASALAHAN PADA ALAT PENUKAR KALOR <i>SHELL AND TUBE</i>	20
2.7.1. <i>Fouling</i>	20
2.7.2. Proses Pembuatan <i>Fouling</i>	23
2.8. PERHITUNGAN KINERJA ALAT PENUKAR KALOR	24
2.8.1. Metode <i>Logaritmic Mean Temperature Difference</i> (LMTD)	24
2.8.2. Perhitungan Awal Perpindahan Panas	26
2.8.3. Laju Perpindahan Kalor	26
2.8.4. Koefisien Perpindahan Panas pada Bagian <i>Shell</i>	27
2.8.5. Koefisien Perpindahan Panas pada Bagian <i>Tube</i>	29
2.8.6. Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh	32
2.8.7. Faktor Pengotoran	32
2.8.8. Efektivitas pada Alat Penukar Kalor <i>Shell and Tube</i>	33
2.8.9. Penurunan Tekanan (<i>Pressure Drop</i>)	34
BAB III METODOLOGI	
3.1. DIAGRAM ALIR	37
3.2. ALAT DAN BAHAN	39
3.2.1. Alat	39
3.2.2. Bahan	41
3.3. PENGAMBILAN DATA	42
3.3.1. Tempat Pengambilan Data	42
3.3.2. Proses Pengumpulan Data	42
3.4. PROSES PENGOLAHAN DATA	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. TINJAUAN UMUM	46

4.2. HASIL EVALUASI PERHITUNGAN ALAT PENUKAR KALOR <i>SHELL AND TUBE</i>	47
4.3. REGRESI LINIER EFEKTIVITAS ALAT PENUKAR KALOR <i>SHELL AND TUBE</i> VH132	52
BAB V PENUTUP	
5.1. KESIMPULAN	57
5.2. SARAN	57
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	61



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Perpindahan Panas Secara Konduksi	7
Gambar 2.2. Perpindahan Panas Secara Konveksi	8
Gambar 2.3. Perpindahan Panas Secara Radiasi	9
Gambar 2.4. Diagram Alat Penukar Kalor dengan Aliran Searah	11
Gambar 2.5. Sketsa Alat Penukar Kalor dengan Aliran Searah	12
Gambar 2.6. Diagram Alat Penukar Kalor dengan Aliran Berlawanan Arah	12
Gambar 2.7. Sketsa Alat Penukar Kalor dengan Aliran Berlawanan Arah	13
Gambar 2.8. <i>Shell and Tube Heat Exchanger</i>	14
Gambar 2.9. Bagian dan Konstruksi <i>Shell and Tube</i>	14
Gambar 2.10. Jenis Standar <i>Header</i> Depan, Badan <i>Shell</i> dan <i>Header</i> belakang	16
Gambar 2.11. Desain <i>U-tube</i>	17
Gambar 2.12. Desain <i>Fixed Tube Sheet</i>	17
Gambar 2.13. Desain <i>Floating Head</i>	17
Gambar 2.14. Pola Letak <i>Tube</i> , (a) <i>Triangular</i> , (b) <i>Rotated Triangular</i> , (c) <i>Square</i> , (d) <i>Rotated Square</i>	18
Gambar 2.15. <i>Horizontal Cut Single Segmental Baffle</i>	19
Gambar 2.16. <i>Vertical Cut Single Segmental Baffle</i>	19
Gambar 2.17. <i>Helical Baffle</i>	20
Gambar 2.18. <i>Particulate/Sedimentation Fouling</i>	21
Gambar 2.19. <i>Corrosion Fouling</i>	22
Gambar 2.20. <i>Chemical Fouling</i>	22
Gambar 2.21. <i>Freezing Fouling</i>	23
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	37
Gambar 3.2. Alat Penukar Kalor <i>Shell and Tube</i> VH132	39
Gambar 3.3. <i>Tube</i> VH132	39
Gambar 3.4. <i>Baffle</i> VH132	40
Gambar 3.5. Dokumentasi <i>Monitor Distributed Control System</i>	43
Gambar 3.6. Bagian Fluida Masuk Alat Penukar Kalor	44
Gambar 3.7. Bagian Fluida Keluar Alat Penukar Kalor	44
Gambar 3.8. Diagram Alir Proses Pengolahan Data	45

Gambar 4.1. Grafik Tho (temperatur EDC out)	47
Gambar 4.2. Grafik <i>Logarithmic Mean Temperature Difference</i> (LMTD)	48
Gambar 4.3. Grafik Ud Berdasarkan LMTD	49
Gambar 4.4 Grafik Rf Berdasarkan Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh Bersih	49
Gambar 4.5. Grafik <i>Pressure Drop Tube</i>	50
Gambar 4.6. Grafik Faktor Gesekan <i>Tube</i>	51
Gambar 4.7. Grafik Efektivitas VH132	51
Gambar 4.8. Grafik Efektivitas Berdasarkan Regresi Linier	55
Gambar 4.9. Grafik Faktor Gesekan <i>Tube</i> Untuk <i>Past, Now, and Future</i>	55
Gambar 4.10. Grafik <i>Pressure Drop</i> Untuk <i>Past, Now, and Future</i>	56



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu	5
Tabel 2.2. Keterangan pada Gambar 2.9	15
Tabel 2.3. Keterangan Untuk Penyelesaian Persamaan 2.16	29
Tabel 2.4. <i>Heat Exchanger and Condenser Tube Data</i>	30
Tabel 3.1. Spesifikasi Bagian <i>Tube</i> VH132	40
Tabel 3.2. Spesifikasi Bagian <i>Shell</i> VH132	40
Tabel 3.3. Parameter Desain Alat Penukar Kalor VH132	41
Tabel 3.4. Sifat Fisik <i>Ethylene Dichloride</i> (EDC)	41
Tabel 3.5. Sifat Fisik Air	42
Tabel 4.1. Data VH132 pada 10 Februari 2023	46
Tabel 4.2. Hasil Pengolahan Data	47
Tabel 4.3. Parameter Temperatur VB132	52
Tabel 4.4. Tho VH132 pada 2021	52
Tabel 4.5. Regresi Linier Efektivitas Alat Penukar Kalor <i>Shell and tube</i> VH132	53

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan
$\Delta LMTD$	Selisih temperatur rata-rata
T_{hi}	Temperatur fluida panas masuk ke dalam <i>tube</i>
T_{ho}	Temperatur fluida panas keluar <i>tube</i>
T_{ci}	Temperatur fluida dingin masuk ke dalam <i>shell</i>
T_{co}	Temperatur fluida dingin keluar <i>shell</i>
Q_c	Kalor yang diterima/dilepaskan sisi fluida dingin
Q_h	Kalor yang diterima/dilepaskan sisi fluida panas
\dot{m}_c	Laju aliran massa fluida dingin/ <i>shell</i>
\dot{m}_h	Laju aliran massa fluida panas/ <i>tube</i>
C_{pc}	Panas spesifik fluida dingin
C_{ph}	Panas spesifik fluida panas
N_t	Jumlah <i>tube</i>
L	Panjang <i>tube</i>
D_{ot}	Diameter luar <i>tube</i>
U_d	Koefisien perpindahan kalor menyeluruh desain
A_s	Luas daerah aliran pada sisi <i>shell</i>
d_{is}	Diameter dalam <i>shell</i>
C'	Jarak antar <i>tube</i>
B	Jarak antara <i>baffle plate</i>
P_t	Jarak antara titik pusat <i>tube</i>
G_s	Kecepatan aliran massa pada <i>shell</i>
D_e	Diameter ekuivalen pada <i>shell/Tube</i>
Re	Bilangan <i>Reynolds</i>
μ	Viskositas fluida <i>shell</i>
Nu	<i>Nusselt Number</i>
Pr	Bilangan <i>Prandtl</i>
Ho	Koefisien perpindahan panas pada <i>shell</i>
A_t	Luas daerah aliran <i>tube</i>
a'_t	<i>Flow area per tube</i>
N_p	Jumlah <i>pass</i>
G_t	Kecepatan aliran massa pada bagian <i>tube</i>
μ	Viskositas fluida
Hi	Koefisien perpindahan panas pada <i>tube</i>
Uc	Koefisien perpindahan kalor bersih
R_f	<i>Fouling Factor</i>
C_c	Kapasitas fluida dingin
C_h	Kapasitas fluida panas
ε	Efektivitas
U	Koefisien perpindahan kalor menyeluruh
NTU	<i>Number Transfer Unit</i>
f_t	Faktor gesekan pada <i>tube</i>
ΔP_t	<i>Pressure drop</i> pada <i>tube</i>
f_s	Faktor gesekan pada <i>shell</i>
ΔP_s	<i>Pressure drop</i> pada <i>shell</i>

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Keterangan
VCM	<i>Vynil Chloride Monomer</i>
PVC	<i>Polyvinyl Chloride</i>
EDC	<i>Ethylene Dichloride</i>
LMTD	<i>Logaritmic Mean Temperature Difference</i>
NTU	<i>Number of Transfer Unit</i>
TEMA	<i>Tubular Exchanger Manufacturers Association</i>

