



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



ANALISIS DESAIN HEAT EXCHANGER TIPE SHELL AND TUBE DALAM UNIT STEAM RECOVERY

SKRIPSI

Oleh:

Arif Fathan

NIM. 2102321050

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
JULI, 2025**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



ANALISIS DESAIN HEAT EXCHANGER TIPE SHELL AND TUBE DALAM UNIT STEAM RECOVERY

SKRIPSI

Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Pendidikan
Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin

Oleh:
Arif Fathan
NIM. 2102321050

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

JULI, 2025



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



*“Skripsi ini kupersembahkan untuk Papah, Mamah, Saudaraku, dan Guru-guruku
tercinta”*

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



© Hak Cipta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI

ANALISIS DESAIN HEAT EXCHANGER TIPE SHELL AND TUBE DALAM UNIT STEAM RECOVERY.

Oleh:

Arif Fathan

NIM: 2102321050

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Skripsi telah di setujui oleh pembimbing

Kepala Program Studi

Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Yuli Mafendro Dedet Eka Saputra, S.Pd., M.T.

NIP. 199403092019031013

Pembimbing

Haolia Rahman, Ph.D

NIP. 196108011989031001

HALAMAN PENGESAHAN**SKRIPSI****ANALISIS DESAIN HEAT EXCHANGER TIPE SHELL AND TUBE
DALAM UNIT STEAM RECOVERY**

Oleh:

Arif Fathan

NIM: 2102321050

Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan (atau Skripsi) di hadapan Dewan Penguji pada tanggal 21 Juli 2025 dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana terapan (Diploma IV) pada Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

No.	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Dr. Candra Damis Widiawaty, S.T.P., M.T.	Penguji 1		1/8/25
2.	Arifia Ekayuliana, S.T., M.T.	Penguji 2		1/8/25
3.	Haolia Rahman, Ph.D	Moderator		1/8/25

Depok, 21 Juli 2025

Disahkan Oleh

Ketua Jurusan Teknik Mesin


POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

Dr. Eng. Ir. Muslimin, S.T., M.T. IWE.

NIP. 197707142008121005

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Arif Fatahan

NIM : 2102321050

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Menyatakan bahwa yang di tuliskan dalam Laporan Tugas Akhir (atau Skripsi) ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan , atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Laporan Tugas Akhir (atau Skripsi) telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya

Depok, 21 Juli 2025



Arif Fathan

NIM. 2102321050



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ANALISIS DESAIN HEAT EXCHANGER TIPE SHELL AND TUBE DALAM UNIT STEAM RECOVERY

Arif Fathan¹⁾, Haolia Rahman¹⁾

¹⁾Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI Depok 16424

Email: arffathan@gmail.com

ABSTRAK

Heat exchanger merupakan perangkat krusial dalam berbagai aplikasi industri, termasuk unit *steam recovery* di industri *Waste-to-Chemical*, yang berfungsi untuk mentransfer energi panas antara dua fluida tanpa mencampurkannya. Penelitian ini berfokus pada analisis kinerja *Heat Exchanger* tipe *shell and tube* dengan desain TEMA BEM yang digunakan sebagai alat penukar panas di unit *Steam Recovery*. Dengan menggunakan simulasi *UniSim*, variasi parameter operasional suhu *inlet cooling water* (25°C, 28°C, dan 30°C), Suhu *outlet condensate* menurun dari 101.72°C (pada 30°C *cooling water in*) menjadi 84.64°C (pada 25°C *cooling water in*). *Duty* (laju perpindahan panas) meningkat dari 5.035 kJ/h menjadi 6.712 kJ/h, dan *Overall UA* meningkat dari 58.09 kJ/C-h menjadi 85.98 kJ/C-h seiring penurunan suhu *inlet cooling water*. Untuk *pressure drop*, *tube pressure drop* tetap nol, namun *shell pressure drop* meningkat (menjadi lebih negatif) dari -5.32 kPa menjadi -6.38 kPa seiring penurunan suhu *inlet cooling water*, kemungkinan karena peningkatan viskositas. Validasi hasil simulasi dengan perhitungan manual menunjukkan kesesuaian yang sangat baik untuk *duty* (persentase error 0.03% hingga 0.06%) dan kesesuaian yang baik untuk LMTD dan *Overall UA* (persentase error 1.62% hingga 3.75%), menegaskan keandalan model simulasi *UniSim*.

Kata Kunci: Simulasi, Perpindahan Panas, *Heat Exchanger*, *Steam Recovery*, *UniSim*.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

ANALYSIS OF SHELL AND TUBE TYPE HEAT EXCHANGER DESIGN IN A STEAM RECOVERY UNIT

Arif Fathan¹⁾, Haolia Rahman¹⁾

¹⁾Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI Depok 16424

Email: arffathan@gmail.com

ABSTRACT

Heat exchangers are crucial devices in various industrial applications, including steam recovery units in the Waste-to-Chemical industry, functioning to transfer heat energy between two fluids without mixing them. This research focuses on the performance analysis of a shell and tube type Heat Exchanger with TEMA BEM design, used as a heat exchanger in the Steam Recovery unit. By using UniSim simulation, operational parameter variations of inlet cooling water temperature (25°C, 28°C, and 30°C) were studied. The condensate outlet temperature decreased from 101.72°C (at 30°C cooling water in) to 84.64°C (at 25°C cooling water in). Duty (heat transfer rate) increased from 5.035 kJ/h to 6.712 kJ/h, and Overall UA increased from 58.09 kJ/C-h to 85.98 kJ/C-h with decreasing inlet cooling water temperature. For pressure drop, tube pressure drop remained zero, but shell pressure drop increased (became more negative) from -5.32 kPa to -6.38 kPa with decreasing inlet cooling water temperature, likely due to increased viscosity. Validation of simulation results with manual calculations showed excellent agreement for duty (0.03% to 0.06% error) and good agreement for LMTD and Overall UA (1.62% to 3.75% error), confirming the reliability of the UniSim simulation model.

Keywords: Simulation, Heat Transfer, Heat Exchanger, Steam Recovery, UniSim.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala limpahan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “Analisis Desain Heat Exchanger Tipe Shell And Tube Dalam Unit Steam Recovery.” Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.

Tak lupa, penulis ingin mengucapkan rasa cinta dan terima kasih yang tulus kepada kedua orang tua tercinta, Ayah Marmo dan Ibu Baitiningsih, atas segala doa, dukungan, dan cinta kasih yang tiada henti. Terima kasih telah menjadi tempat berpulang di setiap kegagalan, dan menjadi semangat dalam setiap langkah. Dalam setiap proses yang penuh jatuh bangun ini, kalian adalah fondasi yang paling kokoh dalam hidupku.

Selama proses penyusunan skripsi ini, penulis menghadapi berbagai tantangan dan hambatan. Namun berkat bantuan, arahan, serta dukungan dari banyak pihak, semua itu dapat penulis lalui dengan baik. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT. yang memberikan kesempatan, kesehatan, dan keselamatan serta rahmat dan karunia-Nya kepada penulis.
2. Orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral
3. Bapak Dr. Eng. Muslimin, S.T., M.T., IWE. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.
4. Bapak Yuli Mafendro Dedet E.S., S.Pd., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Politeknik Negeri Jakarta.
5. Haolia Rahman, Ph.D. selaku dosen pembimbing saya yang telah memberikan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini.



Hak Cipta:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

6. Para Staff divisi Engineer Process yang telah memberikan banyak ilmu serta kesempatan untuk belajar, dan juga para karyawan di PT. X yang telah menerima penulis dengan baik selama penulisan skripsi.
7. Serta rekan – rekan kelas A Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak terutama bidang konversi energi

Depok, 21 Juli 2025

Arif Fathan
NIM. 2102321050

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Penelitian	1
1.2 Rumusan Masalah Penelitian	2
1.3 Pertanyaan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Tujuan Penelitian	4
1.6 Manfaat Penelitian	4
1.7 Sistematika Penulisan Skripsi	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 <i>Heat Exchanger</i>	6
2.2 Klasifikasi <i>Heat Exchanger</i>	7
2.2.1 <i>Condensate Tank</i>	11
2.2.2 <i>Cooling Tower</i>	12
2.3 <i>Heat Transfer</i>	12
2.4 <i>Steam Recovery</i>	14
2.5 <i>UniSim Design</i>	15
2.6 Parameter Kinerja <i>Heat Exchanger</i>	16
2.6.1 <i>Duty (Q) Laju Perpindahan Panas</i>	16
2.6.2 <i>Log Mean Temperature Difference (LMTD)</i>	17
2.6.3 <i>Overall Heat Transfer Coefficient (U_{overall})</i>	18
2.7 Kajian Literatur	18
2.8 Kerangka Pemikiran	21
BAB III METODE PENELITIAN	22
3.1 Jenis Penelitian	22
3.2 Objek Penelitian	22
3.3 Jenis dan Sumber Data Penelitian	22
3.4 Metode Pengumpulan Data	23
3.5 Metode Analisa Data	24



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Data Input Dan Model <i>Heat Exchanger</i>	25
4.2 Simulasi Dengan Variasi Parameter Suhu Pada Kondisi Operasional	25
4.2.1 Simulasi Dengan Variasi Parameter Suhu <i>Inlet Cooling Water</i> 30°C ..	26
4.2.2 Simulasi Dengan Variasi Parameter Suhu <i>Inlet Cooling Water</i> 28°C ..	30
4.2.3 Simulasi Dengan Variasi Parameter Suhu <i>Inlet Cooling Water</i> 25°C ..	34
4.3 Evaluasi Kinerja Termal <i>Heat Exchanger</i>	38
4.3.1 Analisis Suhu <i>Outlet Condensate</i>	38
4.3.2 Analisis <i>Duty</i> (Laju Perpindahan Panas).....	39
4.3.3 Analisis <i>Overall UA</i>	40
4.3.4 Analisis LMTD (<i>Log Mean Temperature Difference</i>).....	41
4.3.5 Analisis <i>Minimum Approach Temperature</i>	41
4.3.6 Analisis <i>Ft Factor (Temperature Correction Factor)</i>	42
4.4 Kurva Suhu vs <i>Heat Flow</i>	43
4.4.1 Kurva Suhu vs <i>Heat Flow</i> untuk <i>Cooling Water Inlet</i> 30°C.....	44
4.4.2 Kurva Suhu vs <i>Heat Flow</i> untuk <i>Cooling Water Inlet</i> 28°C.....	46
4.4.3 Kurva Suhu vs <i>Heat Flow</i> untuk <i>Cooling Water Inlet</i> 25°C.....	49
4.5 Validasi Hasil Simulasi <i>UniSim</i> dengan Perhitungan Manual.....	51
4.5.1 Perhitungan <i>Duty (Qmanual)</i>	51
4.5.2 Perhitungan LMTD (<i>LMTDmanual</i>)	55
4.5.3 Perhitungan <i>Overall UA (UAoverall, manual)</i>	57
4.5.4 Diskusi Validasi	59
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	62
5.1 Kesimpulan	62
5.2 Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA	64



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Table 2.1 Model Desain Tetap (<i>Fixed Design</i>) Heat Exchanger	11
Tabel 4.1 Kondisi Operasional Refrensi	25
Table 4.2 Suhu <i>Outlet Condensate</i> Berdasarkan Variasi Suhu <i>Inlet Cooling Water</i>	38
Table 4.3 <i>Duty Heat Exchanger</i> Berdasarkan Variasi Suhu <i>Inlet Cooling Water</i>	39
Table 4.4 <i>Overall UA</i> Berdasarkan Variasi Suhu <i>Inlet Cooling Water</i>	40
Table 4.5 <i>LMTD</i> Berdasarkan Variasi Suhu <i>Inlet Cooling Water</i>	41
Table 4.6 <i>Minimum Approach Temperature</i> Berdasarkan Variasi Suhu <i>Inlet Cooling Water</i>	42
Table 4.7 <i>Ft Factor</i> Berdasarkan Variasi Suhu <i>Inlet Cooling Water</i>	43
Table 4.8 Perbandingan Hasil Simulasi <i>UniSim</i> dan Perhitungan Manual	60

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Heat Exchanger UniSim Design</i>	6
Gambar 2.2 <i>Heat Exchanger</i>	6
Gambar 2.3 <i>Heat Exchanger Jenis TEMA</i>	9
Gambar 2.4 <i>Condensate Tank</i>	11
Gambar 2.5 <i>Cooling Tower</i>	12
Gambar 2.6 <i>UniSim Design</i>	16
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	24
Gambar 4.1 Kondisi Operasional Simulasi Dengan Variasi Parameter Suhu <i>Inlet Cooling Water</i> 30°C	26
Gambar 4.2 Hasil Simulasi <i>UniSim</i> Dengan Variasi Parameter Suhu <i>Inlet Cooling Water</i> 30°C	28
Gambar 4.3 Parameter Desain Simulasi Dengan Variasi Parameter Suhu <i>Inlet Cooling Water</i> 30°C	29
Gambar 4.4 Kondisi Operasional Simulasi Dengan Variasi Parameter Suhu <i>Inlet Cooling Water</i> 28°C	30
Gambar 4.5 Hasil Simulasi <i>UniSim</i> Dengan Variasi Parameter Suhu <i>Inlet Cooling Water</i> 28°C	32
Gambar 4.6 Parameter Desain Simulasi Dengan Variasi Parameter Suhu <i>Inlet Cooling Water</i> 28°C	33
Gambar 4.7 Kondisi Operasional Simulasi Dengan Variasi Parameter Suhu <i>Inlet Cooling Water</i> 25°C	34
Gambar 4.8 Hasil Simulasi <i>UniSim</i> Dengan Variasi Parameter Suhu <i>Inlet Cooling Water</i> 25°C	36
Gambar 4.9 Parameter Desain Simulasi Dengan Variasi Parameter Suhu <i>Inlet Cooling Water</i> 25°C	37
Gambar 5.1 Grafik Suhu vs <i>Heat Flow</i> untuk <i>Cooling Water Inlet</i> 30°C	44
Gambar 5.2 Grafik Suhu vs <i>Heat Flow</i> untuk <i>Cooling Water Inlet</i> 28°C	46
Gambar 5.3 Grafik Suhu vs <i>Heat Flow</i> untuk <i>Cooling Water Inlet</i> 25°C	49



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Heat Exchanger merupakan perangkat krusial yang berfungsi untuk mentransfer energi panas antara dua fluida dengan perbedaan suhu tanpa mencampurkannya, melalui mekanisme konduksi dan konveksi. Aplikasi perangkat ini sangat luas, meliputi industri pembangkit listrik, proses kimia, hingga sistem pendinginan dalam fasilitas industri dan bangunan komersial. Dalam konteks *Heat Exchanger* tipe *shell and tube* yang dianalisis dalam penelitian ini, perpindahan panas dominan terjadi melalui kombinasi konduksi melalui dinding tabung dan konveksi antara fluida. Radiasi, meskipun merupakan salah satu mekanisme perpindahan panas, umumnya memiliki kontribusi yang tidak signifikan pada suhu operasional fluida cair dan gas dalam *Heat Exchanger* tipe ini, sehingga tidak menjadi fokus utama dalam analisis ini.

Dalam industri *Waste-to-Chemical*, unit *steam recovery* sangat penting untuk memanfaatkan kembali energi panas dari uap bekas proses turbin uap, serta menurunkan suhu fluida kerja sebelum dialirkan ke *cooling tower*. Industri *Waste-to-Chemical* sendiri berfokus pada konversi limbah menjadi produk kimia bernilai tinggi, dan pemanfaatan kembali energi panas dari uap bekas adalah langkah krusial untuk meningkatkan efisiensi proses dan keberlanjutan operasionalnya. Proses ini memastikan sistem beroperasi dalam kondisi optimal, mengurangi risiko *overheat*, dan meningkatkan efisiensi energi secara keseluruhan..

Efisiensi operasional *Heat Exchanger* sangat bergantung pada berbagai faktor, seperti perbedaan suhu antara fluida panas dan dingin, laju aliran fluida, kapasitas panas jenis fluida, serta desain material dan geometri perangkat. Salah satu metode evaluasi yang umum digunakan adalah menghitung *Log Mean Temperature Difference (LMTD)*, yang memberikan gambaran tentang



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

efektivitas perpindahan panas. Selain itu, perhitungan neraca panas pada sisi *shell* dan *tube* memungkinkan analisis mendalam tentang energi yang dilepaskan dan diserap oleh fluida.

Dalam analisa kinerja *Heat Exchanger*, perangkat lunak seperti *Unisim* memainkan peran penting dengan menyediakan simulasi yang mendekati kondisi operasional aktual. Melalui *Unisim*, berbagai parameter seperti suhu fluida masuk dan keluar, laju aliran massa, serta nilai efisiensi perpindahan panas dapat dihitung secara akurat. Hasil simulasi ini tidak hanya memvalidasi data lapangan tetapi juga membantu mengidentifikasi potensi peningkatan efisiensi operasional.

Penelitian ini berfokus pada analisis kinerja *Heat Exchanger* tipe *shell and tube* dengan desain TEMA BEM yang digunakan sebagai alat penukar panas di unit *Steam Recovery*. Dengan menggunakan simulasi *UniSim*, variasi parameter operasional, khususnya suhu *inlet cooling water* (25°C, 28°C, dan 30°C), akan diuji untuk memahami pengaruhnya terhadap kinerja *heat exchanger*, termasuk *duty* (laju perpindahan panas) dan *pressure drop*. Validasi hasil simulasi dengan perhitungan manual juga akan dilakukan untuk memastikan keandalan model.

1.2 Rumusan Masalah Penelitian

Heat exchanger sangat penting dalam berbagai industri, termasuk unit *steam recovery* di industri *Waste-to-Chemical*, untuk mentransfer energi panas antar fluida tanpa mencampurkannya. Efisiensi *heat exchanger* bergantung pada berbagai faktor operasional, termasuk perbedaan suhu, laju aliran, dan desain. Penelitian ini menganalisis secara komprehensif pengaruh variasi suhu *inlet cooling water* (25°C, 28°C, dan 30°C) terhadap kinerja termal dan *pressure drop* pada *heat exchanger* tipe *shell and tube* E-100, serta memvalidasi hasil simulasi *UniSim* dengan perhitungan manual untuk mengoptimalkan kinerja *heat exchanger* dalam unit *steam recovery*.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.3 Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, pertanyaan penelitian yang akan dijawab dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja termal *heat exchanger* tipe *shell and tube* pada desain *existing* dengan variasi suhu *inlet cooling water* (25°C, 28°C, dan 30°C)?
2. Bagaimana dampak penurunan suhu *inlet cooling water* terhadap *duty* dan *pressure drop* pada *heat exchanger*?
3. Bagaimana validasi hasil simulasi *UniSim* dibandingkan dengan perhitungan manual untuk parameter kinerja *heat exchanger*?

1.4 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah yang diterapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Objek penelitian terbatas pada *heat exchanger* tipe *shell and tube* dengan desain tetap (*Fixed Design*) seperti pada Tabel 2.1.
2. Variasi parameter operasional hanya pada suhu *inlet cooling water* (25°C, 28°C, dan 30°C).
3. Parameter tetap meliputi suhu *inlet condensate* (151.85°C), suhu *outlet cooling water* (45°C), laju alir massa *condensate* (22416.00 kg/jam), dan laju alir massa *cooling water* (77751.61 kg/jam).
4. Simulasi numerik menggunakan *UniSim Design*.
5. Evaluasi kinerja termal fokus pada *duty*, *pressure drop*, *Log Mean Temperature Difference (LMTD)*, *Overall Heat Transfer Coefficient (UA)*, *Minimum Approach Temperature*, dan *Ft Factor*.
6. Validasi hasil simulasi dilakukan dengan perhitungan manual untuk *duty*, *LMTD*, dan *Overall UA*.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini yaitu:

1. Mengevaluasi kinerja termal *heat exchanger* tipe *shell and tube* pada desain *existing* dengan variasi suhu *inlet cooling water* (25°C, 28°C, dan 30°C).
2. Menganalisis dampak penurunan suhu terhadap *duty*.
3. Memvalidasi hasil simulasi *Unisim* dengan perhitungan manual.

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini yaitu:

1. Memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang kinerja *heat exchanger* tipe *shell and tube* melalui simulasi *Unisim*.
2. Sebagai referensi untuk optimasi desain *heat exchanger* dalam aplikasi *steam recovery*.
3. Meminimalkan *trial-and-error* dalam desain *heat exchanger* melalui pendekatan simulasi.

1.7 Sistematika Penulisan Skripsi

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini merupakan bagian pembuka dari penelitian yang menjelaskan latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas kajian pustaka sebagai penunjang penelitian / penyusunan yang meliputi pembahasan topik yang akan dikaji lebih lanjut dalam penulisan ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai metode yang digunakan untuk pemecahan masalah dalam penelitian yang meliputi prosedur, pengumpulan data, teknis pengolahan data, dan analisis data.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil simulasi dan analisis kinerja heat exchanger

BAB V PENUTUP

Bab ini merupakan bagian penutup dari penelitian yang berisi kesimpulan dan saran tentang penelitian yang dilakukan.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi *UniSim* dan analisis yang telah dilakukan, beberapa kesimpulan penting dapat ditarik:

1. Evaluasi kinerja termal *heat exchanger* tipe *shell and tube* menunjukkan kinerja perpindahan panas yang baik dalam mendinginkan *Condensate*. Semakin rendah suhu *inlet cooling water*, semakin efektif pendinginan *Condensate* yang dihasilkan. Suhu *outlet condensate* menurun dari 101.72°C (pada suhu *cooling water inlet* 30°C) menjadi 84.64°C (pada suhu *cooling water inlet* 25°C).
2. Penurunan suhu *inlet cooling water* secara signifikan meningkatkan *duty* (laju perpindahan panas) *heat exchanger*. Ketika suhu *inlet cooling water* turun dari 30°C menjadi 25°C, *duty* meningkat dari 5.035 kJ/h menjadi 6.712 kJ/h. Peningkatan ini disebabkan oleh perbedaan suhu rata-rata yang lebih besar, yang menjadi gaya pendorong perpindahan panas yang lebih kuat.
3. Hasil simulasi *UniSim* menunjukkan kesesuaian yang sangat baik dengan perhitungan manual untuk *duty*, dengan persentase *error* yang sangat kecil (berkisar antara 0.03% hingga 0.06%) di semua skenario. Untuk *LMTD* dan *Overall UA*, persentase *error* berada dalam batas toleransi yang dapat diterima (1.62% hingga 3.75%), yang menegaskan keandalan model simulasi *UniSim* dalam memprediksi kinerja termal *heat exchanger* ini.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, beberapa saran dapat diajukan untuk penelitian di masa mendatang dan optimasi *heat exchanger* E-100:

Penelitian selanjutnya dapat mengeksplorasi dampak variasi laju alir *cooling water* dan/atau *condensate* terhadap kinerja *heat exchanger*. Perubahan laju alir akan memengaruhi kecepatan fluida, turbulensi, koefisien perpindahan panas konveksi, dan *pressure drop*, yang semuanya merupakan faktor krusial dalam desain dan operasi *heat exchanger*.





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J.P. Holman, "*Perpindahan Kalor*" Edisi Keenam, alih bahasa: Ir. E. Jasjfi M.Sc. Jakarta: Erlangga, 1991.
- [2] F.P. Incropera and D.P. DeWitt, "*Fundamentals of Heat and Mass Transfer*" 6th edition, New York: John Wiley & Sons, 2007.
- [3] Kota, M. (2013). "*Energy Management and Conservation Handbook*." Boca Raton, FL: CRC Press, 2013.
- [4] Kern, D.Q., "*Process Heat Transfer*" New York: McGraw-Hill, 1950.
- [5] Moran, M.J., Shapiro, H.N., "*Fundamentals of Engineering Thermodynamics*" New York: John Wiley & Sons, 2018.
- [6] Welty, J.R., Wicks, C.E., Wilson, R.E., and Rorrer, G.L., "*Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer*" New York: John Wiley & Sons, 2008.
- [7] Honeywell, *Unisim Design Suite R460.1 User Manual*. Houston, TX : Honeywell International Inc., 2021.
- [8] J. Sun, B. Chen, and M. Li, "Numerical Simulation and Optimization of a Shell-and-Tube Heat Exchanger Performance under Varying Operating Conditions," *Applied Thermal Engineering*, vol. 200, p. 117621, 2024.
- [9] L. Zhang et al., "Recent Advances in Thermochemical Conversion of Waste Biomass to Value-Added Chemicals," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 187, p. 113702, 2023.
- [10] TEMA, *Standards of the Tubular Exchanger Manufacturers Association*, 10th ed. New York, NY: Tubular Exchanger Manufacturers Association, 2019.
- [11] Y. Cengel and M. Boles, "*Thermodynamics: An Engineering Approach*", 8th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2015.
- [12] S. Kakac and H. Liu, "*Heat Exchangers: Selection, Rating, and Thermal Design*", 3rd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2012.
- [13] A. D. Kraus, A. Aziz, and J. Welty, "*Extended Surface Heat Transfer*". New York: John Wiley & Sons, 2001.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [14] R. K. Shah and D. P. Sekulic, "*Fundamentals of Heat Exchanger Design*". Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2003.
- [15] A. C. S. Putra and I. S. A. Gani, "Analisis Kinerja Penukar Kalor Tipe Shell and Tube Dengan Variasi Debit Fluida," *Jurnal Energi dan Lingkungan*, vol. 10, no. 1, pp. 45-50, 2021.

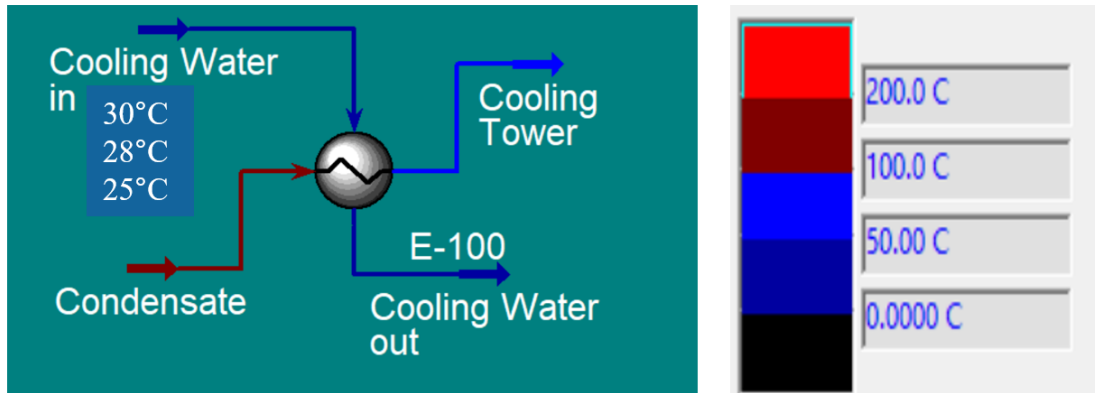
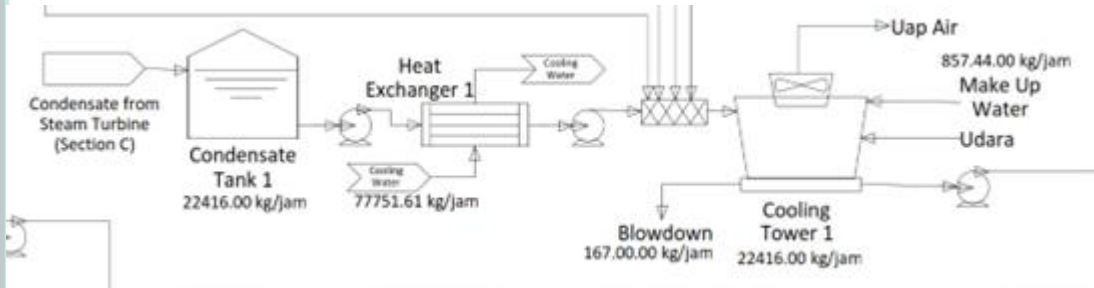




Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Perhitungan *Duty* (Laju Perpindahan Panas) dari sisi *tube* ($Q_{\text{manual, tube}}$):

Cooling Water Inlet 25 oC				
Dik:	Thin (oC)	151.85		
	Thout(oC)	84.64		
	dT	67.21		
	mh(kg/h)	22.416	0.00623	(kg/s)
	Cp (J/kg-oC)	4470		
Dit:	Q (laju perpindahan panas)			
Jawab:	$Q_h = m \cdot C_p \cdot (dT)$	1,870.67	J/s	W
		1.87	kW	

Cooling Water Inlet 28 oC				
Dik:	Thin (oC)	151.85		
	Thout(oC)	94.91		
	dT	56.94		
	mh(kg/h)	22.416	0.00623	(kg/s)
	Cp (J/kg-oC)	4480		
Dit:	Q (laju perpindahan panas)			
Jawab:	$Q_h = m \cdot C_p \cdot (dT)$	1,588.37	J/s	W
		1.59	kW	

Cooling Water Inlet 30 oC				
Dik:	Thin (oC)	151.85		
	Thout(oC)	101.72		
	dT	50.13		
	mh(kg/h)	22.416	0.00623	(kg/s)
	Cp (J/kg-oC)	4490		
Dit:	Q (laju perpindahan panas)			
Jawab:	$Q_h = m \cdot C_p \cdot (dT)$	1,401.52	J/s	W
		1.40	kW	



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Perhitungan *Duty* (Laju Perpindahan Panas) dari sisi *shell* ($Q_{\text{manual, shell}}$):

Cooling Water Inlet 25 oC				
Dik:	T _{cin} (oC)	25		
	T _{cout} (oC)	45		
	dT	20		
	mh(kg/h)	77.775	0.0216	(kg/s)
	C _p (J/kg-oC)	4310		
Dit:	Q (laju perpindahan panas)			
Jawab:	Q _c =m*C _p *(dT)	1,862.28	J/s	W
		1.86	kW	

Cooling Water Inlet 28 oC				
Dik:	T _{cin} (oC)	28		
	T _{cout} (oC)	45		
	dT	17		
	mh(kg/h)	77.775	0.0216	(kg/s)
	C _p (J/kg-oC)	4310		
Dit:	Q (laju perpindahan panas)			
Jawab:	Q _c =m*C _p *(dT)	1,582.94	J/s	W
		1.58	kW	

Cooling Water Inlet 30 oC				
Dik:	T _{cin} (oC)	30		
	T _{cout} (oC)	45		
	dT	15		
	mh(kg/h)	77.775	0.0216	(kg/s)
	C _p (J/kg-oC)	4310		
Dit:	Q (laju perpindahan panas)			
Jawab:	Q _c =m*C _p *(dT)	1,396.71	J/s	W
		1.40	kW	



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Perhitungan LMTD(Log Mean Temperature Difference) ($LMTD_{manual}$)

Cooling Water Inlet 25 oC				
Dik:	dT1 (oC)	151.85	45	106.85
	dT2 (oC)	84.64	25	59.64
Dit:	LMTD (laju perpindahan panas)			
Jawab:	$LMTD=(dT1-dT2)/\ln(dT1/dT2)$	47.21	ln	1.79
				0.58
		80.96388	oC	

Cooling Water Inlet 28 oC				
Dik:	dT1 (oC)	151.85	45	106.85
	dT2 (oC)	94.91	28	66.91
Dit:	LMTD (laju perpindahan panas)			
Jawab:	$LMTD=(dT1-dT2)/\ln(dT1/dT2)$	39.94	ln	1.60
				0.47
		85.32774	oC	

Cooling Water Inlet 30 oC				
Dik:	dT1 (oC)	151.85	45	106.85
	dT2 (oC)	101.72	30	71.72
Dit:	LMTD (laju perpindahan panas)			
Jawab:	$LMTD=(dT1-dT2)/\ln(dT1/dT2)$	35.13	ln	1.49
				0.40
		88.12101	oC	