

Bidang Penelitian: Simulasi dan optimalisasi Proses

LAPORAN AKHIR

**Optimalisasi Kinerja Perpindahan Panas Alat Plate Heat Exchanger
Pada Proses Pemurnian Glycerin Water**



PENELITI / TIM PENELITI:

Hendri Rantau, M.Eng

Ir. Fathur Rahman Rifai, S.T, M.Eng., IPM.

Rifa'I Rahman Saputro, S.S.I, MSc

NIDN. 0503018402

NIDN. 0514088001

NIDN. 0504128304

POLITEKNIK LPP

FEBRUARI 2023

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Penelitian : Optimalisasi Kinerja Perpindahan Panas Alat Plate Heat Exchanger Pada Proses Pemurnian Glycerin Water

Bidang Penelitian : Simulasi dan optimalisasi Proses

Ketua Peneliti

a. Nama Lengkap : Hendri Rantau, M.Eng

b. NIDN : 0503018402

c. Jabatan Fungsional : -

d. Program Studi : Teknologi Kimia

e. Nomor HP : 081326575768

f. Alamat surel (email) : rnt@polteklpp.ac.id

Anggota Peneliti (1)

a. Nama Lengkap : Ir. Fathur Rahman Rifai, S.T, M.Eng., IPM.

b. NIDN : 0514088001

c. Perguruan Tinggi : Politeknik LPP

Anggota Peneliti (2)

d. Nama Lengkap : Rifa'I Rahman Saputro, S.S.I, MSc.

e. NIDN : 0504128304

f. Perguruan Tinggi : Politeknik LPP

Biaya Penelitian : Rp. -

Yogyakarta, 24 Februari 2023

Mengetahui,
Direktur



(KAWASANGI, S.T., M.Eng., IPM)
NIDN 0522117601

Ketua Peneliti,

(Hendri Rantau, M.Eng)
NIDN 0503018402

Menyetujui,
Ketua UPPM



(Lestari Hetalesi Saputri, ST., M.Eng)
NIDN 0525108401

DAFTAR ISI

Halaman Pengesahan	ii
Daftar Isi	iii
Daftar Tabel	Iv
Daftar Gambar	v
Laporan Akhir Penelitian Tahun 2023	1
1. Identitas Penelitian	1
A. Judul Penelitian	1
B. Bidang, Tema, Topik, dan Rumpun Bidang Ilmu	1
C. Kategori, Skema, SBK, Target TKT, dan Lama penelitian	1
2. Identitas Pengusul	1
A. Ringkasan	2
B. Latar Belakang	2
C. Tinjauan Pustaka	3
D. Methodologi Penelitian	5
E. Hasil	6
F. Simpulan	9
G. Kendala Pelaksanaan Penelitian	10
H. Daftar Pustaka	10

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Data rata-rata glycerin water dan <i>crude glycerin</i>	6
Tabel 2. Perbandingan data desain dengan aktual	8
Tabel 3. Hasil simulasi optimalisasi kinerja alat plate <i>Heat Exchanger</i>	9

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Jenis-jenis konfigurasi jalur aliran melalui penukar panas	4
Gambar 2. Grafik <i>flowrate glycerin water</i> dan <i>crude glycerin</i>	6

LAPORAN AKHIR PENELITIAN TAHUN 2023

1. IDENTITAS PENELITIAN

A. JUDUL PENELITIAN

Optimalisasi Kinerja Perpindahan Panas Alat Plate Heat Exchanger Pada Proses Pemurnian Glycerin Water

B. BIDANG, TEMA, TOPIK, DAN RUMPUN BIDANG ILMU

Bidang Fokus / Bidang Unggulan	Tema	Topik (jika ada)	Rumpun Bidang Ilmu
Simulasi dan optimalisasi Proses			

C. KATEGORI, SKEMA, SBK, TARGET TKT DAN LAMA PENELITIAN

Kategori (Kompetitif Nasional/ Desentralisasi / Penugasan)	Skema Penelitian	Strata (Dasar/ Terapan/ Pengembangan)	SBK (Dasar/ Terapan/ Pengembangan)	Target Akhir TKT	Lama Penelitian (Tahun)
		SBK Riset Pembinaan/Kapasitas	SBK Riset Pembinaan / Kapasitas		Juni 2022 - Januari 2023

2. IDENTITAS PENGUSUL

Nama, Peran	Perguruan Tinggi/ Institusi	Program Studi/ Bagian	Bidang Tugas	ID Sinta	H-Index
Hendri Rantau, M.Eng	Politeknik LPP	Teknologi Kimia			
Ir. Fathur Rahman Rifai, S.T, M.Eng., IPM.	Politeknik LPP	Teknologi Kimia			
Rifa'I Rahman Saputro, S.S.I, MSc.	Politeknik LPP	Teknologi Kimia			

Tuliskan secara ringkas latar belakang penelitian, tujuan dan tahapan metode penelitian, luaran yang ditargetkan, serta uraian TKT penelitian.

A. RINGKASAN

Pemanfaatan energi panas untuk proses produksi merupakan salah satu bentuk efisiensi energi. Dan salah satu alat yang memanfaatkan energi panas dalam proses pertukaran panas adalah *Plate Heat Exchanger*. *Plate Heat Exchanger* digunakan dalam berbagai industri salah satunya dapat digunakan untuk pemurnian *glycerin water* pada industri hilir sawit. Dalam operasional *plate heat exchanger* perlu dilakukan optimalisasi pada alat agar operasional alat dalam keadaan optimal dan efisiensi terjaga. Dari analisa yang dilakukan bahwa efisiensi aktual dari *plate heat exchanger* adalah 91,74% dibanding desain sebesar 99,8% dan *fouling factor* sebesar $7,93 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Dari data efisiensi dan *fouling factor* ini, faktor pengotor (*fouling factor*) yang lebih besar menyebabkan peningkatan resistensi terhadap perpindahan panas dan aliran fluida dan penurunan efisiensi yang disebabkan oleh endapan pada permukaan perpindahan panas. Optimalisasi pada *plate heat exchanger* dengan menggunakan simulasi pemrograman menggunakan bahasa pemrograman Python-Anaconda. Dalam simulasi optimasi yang dilakukan menggunakan pemrograman python-anaconda, didapat bahwa peningkatan laju aliran fluida panas hingga mencapai 95% dari desain, dapat meningkatkan efisiensi mencapai 94,13%.

Keywords: Plate Heat Exchanger, Optimalisasi, Python-Anaconda, Glycerin Water

Latar belakang penelitian tidak lebih dari 500 kata yang berisi latar belakang dan permasalahan yang akan diteliti, tujuan khusus, dan urgensi penelitian. Pada bagian ini perlu dijelaskan uraian tentang spesifikasi khusus terkait dengan skema.

B. LATAR BELAKANG

Salah satu bentuk energi yang paling sering digunakan adalah panas. Pemanfaatan energi panas memegang peranan penting dalam dunia industri, khususnya dalam industri hilir kelapa sawit [8][9]. Suhu suatu bahan dinaikkan/diturunkan melalui pertukaran panas, yang melibatkan penyerapan atau pelepasan panas [1][2]. Alat penukar panas dapat digunakan dalam industri hilir kelapa sawit yang sering digunakan adalah Alat Penukar Panas (*Heat Exchanger*)[8][9].

Alat Penukar panas (*Heat Exchanger*) adalah perangkat yang digunakan untuk perpindahan panas dari satu sistem ke sistem lainnya tanpa perpindahan massa yang juga

berfungsi sebagai pemanas sekaligus pendingin[5][6]. Perpindahan panas terjadi ketika ada perbedaan suhu antara dua zat, baik padat, cair, atau gas [2]. Alat penukar panas secara luas dibagi sesuai dengan arah aliran fluida, yaitu aliran paralel, counterflow, dan aliran silang [6]. Alat penukar panas dirancang dengan tujuan agar perpindahan panas antar cairan bekerja secara efisien [12][13]. Agar alat tersebut dapat bekerja secara efisien, kinerja dari alat agar terus dijaga [7]. Efisiensi energi dalam sebuah industri, terutama industri proses seperti industri hilir kelapa sawit (Industri minyak goreng sebagai contoh), secara signifikan menjadi suatu kebutuhan. Dan alat penukar panas (*Heat Exchanger*) merupakan salah satu alat yang berpengaruh terhadap efisiensi energi [11]. Desain *Heat Exchanger* memungkinkannya berfungsi sesuai kebutuhan [10]. Penyesuaian ini memastikan bahwa fluida mengalir dengan benar dalam kaitannya dengan kinerja alat untuk mencegah kerusakan alat [4]. Fluida yang tidak memenuhi persyaratan alat akan menghasilkan pengotoran, yang pada akhirnya akan berubah menjadi kerak atau scale yang mengurangi efektivitas alat [3]

Plate Heat Exchanger di plant biodiesel PT. Sari Dumai Sejati untuk proses *Glycerin Purification* sangat berperan penting sebagai alat pertukaran panas yang berfungsi untuk memudahkan dalam proses pemurnian *glycerin water* dari moisture dan kadar methanol yang tersisa dengan menggunakan fluida pemanas *crude glycerin*.

Dalam penelitian ini bertujuan untuk optimalisasi kinerja perpindahan panas alat *Plate Heat Exchanger* dengan kode alat 166E3 di PT. Sari Dumai Sejati menggunakan simulasi pemrograman Python-Anaconda.

Tinjauan pustaka tidak lebih dari 1000 kata dengan mengemukakan *state of the art* dalam bidang yang diteliti. Bagan dapat dibuat dalam bentuk JPG/PNG yang kemudian disisipkan dalam isian ini. Sumber pustaka/referensi primer yang relevan dan dengan mengutamakan hasil penelitian pada jurnal ilmiah dan/atau paten yang terkini. Disarankan penggunaan sumber pustaka 10 tahun terakhir.

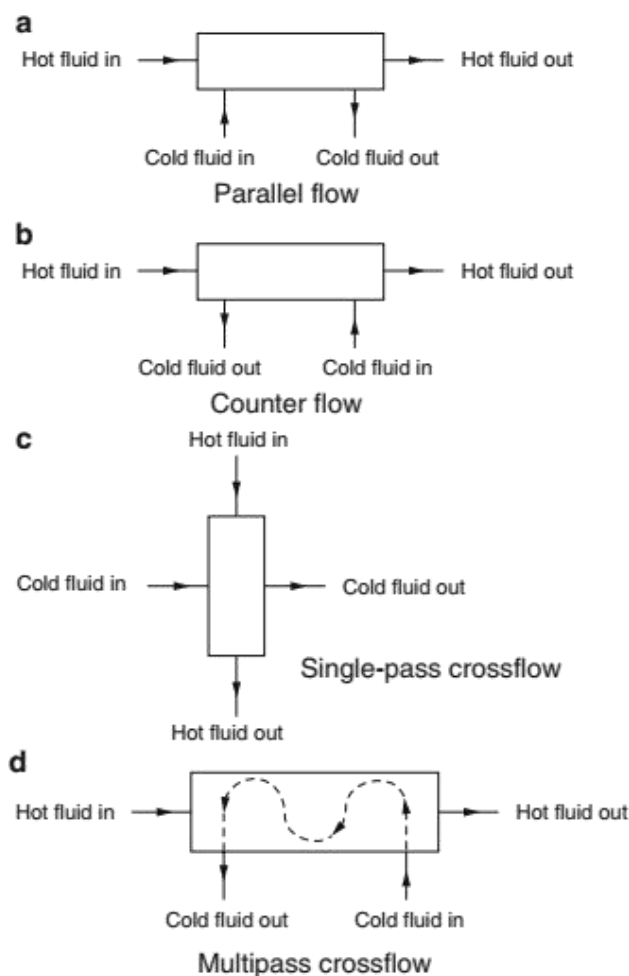
C. TINJAUAN PUSTAKA

Untuk mentransfer panas antara dua atau lebih cairan proses, penukar panas digunakan. Aplikasi industri dan rumah tangga untuk penukar panas sangat banyak. Untuk digunakan dalam unit pendingin, fasilitas pemrosesan kimia, sistem pemanas dan pendingin gedung, pembangkit listrik tenaga uap, dan sistem tenaga transportasi, berbagai jenis penukar panas telah dikembangkan [6].

Ini adalah masalah yang menantang untuk benar-benar merancang penukar panas.

Ini memerlukan lebih dari sekadar analisis perpindahan panas. Dari perspektif total biaya kepemilikan, ukuran, berat, dan biaya fabrikasi dan pemasangan semuanya secara signifikan mempengaruhi pilihan desain akhir. Ukuran dan tapak sering kali cenderung menjadi faktor penentu ketika memilih desain, meskipun biaya sering kali menjadi pertimbangan penting [5].

Salah satu dari beberapa tipe dasar dapat digunakan untuk mengklasifikasikan sebagian besar penukar panas. Gambar. 1 di bawah ini menggambarkan empat jenis yang paling umum menurut konfigurasi jalur aliran.



Gambar 1. Jenis-jenis konfigurasi jalur aliran melalui penukar panas [5]

Dalam aliran bersamaan, atau aliran paralel (a), unit dua aliran fluida masuk bersama pada satu ujung, mengalir ke arah yang sama, dan pergi bersama di ujung lainnya. Dalam arus berlawanan atau arus balik (b), unit dua aliran bergerak berlawanan arah. Dalam unit aliran silang lintasan tunggal (c), satu fluida bergerak melalui matriks

perpindahan panas pada sudut yang tepat ke jalur aliran fluida lainnya. Dalam unit aliran silang multipass (d), satu aliran fluida bolak-balik melintasi jalur aliran fluida lainnya, biasanya memberikan perkiraan aliran silang ke aliran balik. Perbedaan yang paling penting di antara keempat jenis dasar ini terletak pada jumlah relatif luas permukaan perpindahan panas yang diperlukan untuk mentransfer jumlah panas yang diinginkan di antara dua cairan [5].

Python adalah bahasa pemrograman berorientasi objek tingkat menengah bersifat sifat open-source. Python merupakan program yang gratis untuk digunakan, kompatibel lintas platform (Mac, Windows, Linux, Ubuntu), dan memiliki persyaratan sistem yang rendah, memungkinkan siapa saja untuk mengembangkan dalam bahasa tersebut. Python memiliki paket perangkat lunak gratis antara lain Anaconda dan Jupyter notebook. Anaconda adalah paket perangkat lunak gratis yang mencakup kotak peralatan yang dirancang khusus untuk penelitian dan sains. Jupyter Notebook adalah program pengembangan interaktif berbasis web yang berjalan di browser default . Setiap blok kode dapat dilakukan secara independen, membuatnya sangat fleksibel dan mudah dimainkan [14].

Metode atau cara untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan ditulis tidak melebihi 600 kata. Bagian ini dilengkapi dengan diagram alir penelitian yang menggambarkan apa yang sudah dilaksanakan dan yang akan dikerjakan selama waktu yang diusulkan. Format diagram alir dapat berupa file JPG/PNG. Bagan penelitian harus dibuat secara utuh dengan penahapan yang jelas, mulai dari awal bagaimana proses dan luarannya, dan indikator capaian yang ditargetkan. Di bagian ini harus juga mengisi tugas masing-masing anggota pengurus sesuai tahapan penelitian yang diusulkan.

D. METHODOLOGI PENELITIAN

Penelitian untuk optimalisasi kinerja perpindahan panas alat *Plate Heat Exchanger* dengan kode alat 166E3 dilakukan dari bulan Juni 2022 sampai dengan Januari 2023 dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Studi literatur
2. Pengumpulan data harian berupa *flowrate*, suhu masukan dan keluaran untuk fluida dingin dan panas di PT. Sari Dumai Sejati.
3. Verifikasi dan validasi data harian yang terkumpul.
4. Pembuatan kode program menggunakan bahasa pemrograman Python-Anaconda.

5. Analisa menggunakan program Python - Anaconda yang telah dibuat dan dengan Microsoft Excel berupa perhitungan efisiensi, *fouling factor*.
6. Optimalisasi hasil

Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian dapat berupa data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

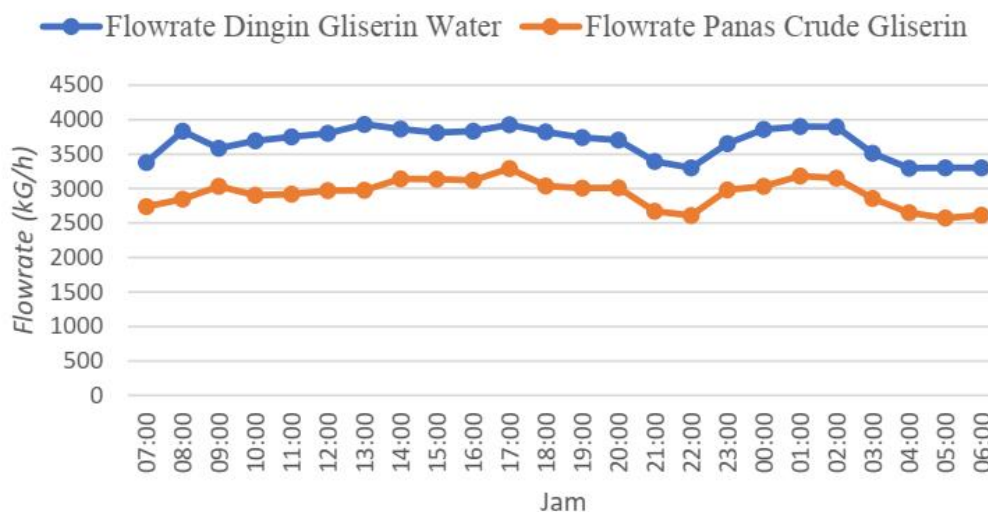
E. HASIL PENELITIAN

Tabel 1. Data rata-rata glycerin water dan *crude glycerin*

	<i>Crude glycerin</i>	<i>Glycerin water</i>
<i>Flowrate</i>	2936,1 kg/jam	3670,4 kg/jam
Suhu masukan	423,35 K	342,45 K
Suhu keluaran	377,65 K	378,55 K
Kalor Jenis	3,24 kJ/kg.K	3,01 kJ/kg.K

Data pada tabel 1 di atas merupakan data *flowrate*, suhu inlet, dan suhu outlet rata-rata dari data yang dikumpulkan setiap jam pada tanggal 25 - 26 Juni 2022. Sedangkan untuk data kalor jenis merupakan data dari manual book. Dari buku manual didapat juga luas permukaan plate *Heat Exchanger* sebesar 26,7 m².

Grafik Flowrate



Gambar 2. Grafik *flowrate glycerin water* dan *crude glycerin*

Dari gambar 2 tersebut di atas dapat diketahui bahwa fluida dingin (*glycerin water*) mempunyai laju aliran (*flowrate*) yang lebih tinggi daripada laju aliran fluida panas (*crude glycerin*). Laju aliran *glycerin water* terendah yaitu 3297 kg/jam, sedangkan laju aliran *glycerin water* tertinggi berada pada 3933,3 kg/jam. Laju aliran *crude glycerin* terendah yaitu 2571,3 kg/jam, sedangkan laju aliran *crude glycerin* tertinggi berada pada 3292,8 kg/jam.

Dari tabel 1 di atas, delta suhu masukan dan keluaran dari *glycerin water* adalah 36,1 K dan untuk *crude glycerin* adalah 45,7 K. Dengan data-data di atas, dapat dilakukan perhitungan efisiensi kalor. Efisiensi kalor ($\eta = Q_{\text{fluida dingin}}/Q_{\text{fluida panas}}$).

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Keterangan:

Q = Neraca panas (kW)

\dot{m} = Laju alir massa fluida (kg/jam)

C_p = Kalor jenis fluida (kJ/kg.K)

ΔT = Beda temperatur (K)

$Q_{\text{glycerin_water}} = (3670,4 \text{ kg/jam} \times 3,01 \text{ kJ/kg.K} \times 36,1 \text{ K} \times 0.0002777778) \text{ kW} = 110,79 \text{ kW}$. $Q_{\text{crude_glycerin}} = (2936,1 \text{ kg/jam} \times 3,24 \text{ kJ/kg.K} \times 45,7 \text{ K} \times 0.0002777778) \text{ kW} = 120,76 \text{ kW}$. $\eta = (110,79 \text{ kW} / 120,76 \text{ kW}) \times 100\% = 91,74\%$. Untuk perhitungan *Log Mean Temperature Difference* (LMTD) atau Beda Temperatur Efektif dilakukan dengan $LMTD = \Delta T_1 - \Delta T_2 / \ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)$, dimana:

$$\Delta T_1 = T_{hi} - T_{co}$$

$$\Delta T_2 = T_{ho} - T_{ci}$$

T_{hi} = Suhu masukan *crude glycerin*

T_{ho} = Suhu keluaran *crude glycerin*

T_{co} = Suhu keluaran *glycerin water*

T_{ci} = Suhu masukan *glycerin water*

$$\Delta T_1 = (423,35 - 378,55) \text{ K} = 44,8 \text{ K}$$

$$\Delta T_2 = (377,65 - 342,45) \text{ K} = 35,2 \text{ K}$$

$$LMTD = (44,8 - 35,2) \text{ K} / \ln(44,8 \text{ K} / 35,2 \text{ K})$$

$$LMTD = 39,81 \text{ K}$$

Untuk nilai koefisien perpindahan kalor pada *glycerin water* dan *crude glycerin* adalah U_c

= 113,61 W/(m².K) dan U_d = 104,23 W/(m².K). Sehingga didapat nilai *Fouling Factor* (R_f) sebesar 0.000793 m².K/W = 7,93 x 10⁻⁴ m².K/W.

Tabel 2. Perbandingan data desain dengan aktual

No	Deskripsi	Desain	Aktual	Satuan
1	Laju aliran fluida panas	3150	2936,1	kg/jam
2	Laju aliran fluida dingin	3450	3670,4	kg/jam
3	Kalor fluida panas	129,5	120,76	kW
4	Kalor fluida dingin	104,13	110,79	kW
5	<i>Fouling Factor</i>	3x10 ⁻⁴	7,93x10 ⁻⁴	m ² .K/W
6	Efisiensi	99,8	91,74	%

Dari tabel 2, kondisi operasional aktual dari plate *Heat Exchanger* mengalami penurunan yang dapat dilihat dari nilai efisiensi aktual sebesar 91,74% lebih kecil dari efisiensi desain sebesar 99,8%.

Nilai *fouling factor* aktual sebesar 7,93x10⁻⁴ m².K/W lebih besar dari desain. Dengan kondisi aktual dari faktor pengotor (*fouling factor*) yang lebih besar menyebabkan peningkatan resistensi terhadap perpindahan panas dan aliran fluida yang disebabkan oleh endapan pada permukaan perpindahan panas. Pengotor bekerja sebagai lapisan isolasi pada proses perpindahan panas, mengurangi efisiensi perpindahan panas dan atau mengurangi luas area aliran yang tersedia. Dengan berkurangnya luas area aliran yang tersedia mengakibatkan laju aliran terhambat. Sehingga untuk meningkatkan kinerja dari *Heat Exchanger*, dilakukan pembersihan secara berkala dari pengotor dan dari karat [8].

Pada kondisi aktual, laju aliran fluida panas lebih kecil dari data desain dengan selisih rata-rata 213,9 kg/jam. Sedangkan untuk laju fluida dingin secara aktual lebih besar dari desain selisih sebesar 220.4 kg/jam.

Dalam melakukan optimalisasi kinerja dari *plate Heat Exchanger* dapat dilakukan dengan cara meningkatkan dan atau mengurangi laju aliran fluida. Namun dalam di industri, mengurangi laju aliran fluida berarti mengurangi produk yang berdampak pada berkurangnya potensi pendapatan. Dalam penelitian ini, untuk mengoptimaliasi kinerja dari plate *Heat Exchanger* dilakukan dengan melakukan kajian meningkatkan laju aliran fluida panas hingga 95% dari laju aliran fluida panas desain dan meningkatkan suhu keluaran fluida panas sebesar 2 °C, sebagaimana simulasi yang dilakukan sebagaimana

yang terdapat pada tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Hasil simulasi optimalisasi kinerja alat plate *Heat Exchanger*

No	Deskripsi	Desain	Aktual	Usulan	Satuan
1	Laju aliran fluida panas	3150	2936.1	2992.5	kg/jam
2	Laju aliran fluida dingin	3450	3670.4	3670.4	kg/jam
3	Kalor fluida panas	129.5	120.76	117.70	kW
4	Kalor fluida dingin	104.13	110.79	110.79	kW
5	<i>Fouling Factor</i>	3×10^{-4}	$7,93 \times 10^{-4}$	$5,86 \times 10^{-4}$	$m^2.K/W$
6	Efisiensi	99.8	91.74%	94.13%	%

Dari tabel 3 di atas, dengan meningkatkan laju aliran fluida panas hingga mencapai 95% dari desain atau sebesar 2992,5 kg/jam dan meningkatkan suhu keluaran fluida panas menjadi 379,65 K sehingga selisih suhu fluida panas menjadi 43,7 K (dari aktual semula 45,7 K), didapat peningkatan efisiensi alat plate *Heat Exchanger* menjadi 94,13% dengan seluruh variabel fluida dingin tetap.

F. SIMPULAN

Nilai R_f (*Fouling Factor*) perhitungan *Plate Heat Exchanger 166 E3* secara aktual yang lebih besar yaitu $7,93 \times 10^{-4} W/m.^0 K$ daripada desain-nya menyebabkan efisiensi dari alat berkurang yaitu rata-rata 91,74 %. Efisiensi ini tidak mencapai efisiensi alat yang seharusnya (desain) yaitu 99,8 %.

Semakin kecil *fouling factor* maka proses perpindahan panas dapat dicapai secara maksimal. Efisiensi *Heat Exchanger* salah satunya dipengaruhi oleh adanya pengotor yang terdapat dalam fluida yang dilewatkan seperti garam penyebab korosi, MONG (Material Organik Non Glycerin), dan impurities lainnya.

Dari hasil simulasi yang dilakukan menggunakan pemrograman Python-Anaconda, didapat bahwa peningkatan laju aliran fluida panas hingga mencapai 95% dari desain, dapat meningkatkan efisiensi mencapai 94,13%.

G. KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan kesulitan atau hambatan yang dihadapi selama melakukan penelitian dan mencapai luaran yang dijanjikan, termasuk penjelasan jika pelaksanaan penelitian dan luaran penelitian tidak sesuai dengan yang direncanakan atau dijanjikan.

G. KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN

Tidak terdapat kendala dalam pelaksanaan penelitian ini.

Penyusunan Daftar Pustaka berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada laporan akhir yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

H. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.-A. Neagu and C. I. Koncsag, "Model Validation for the Heat Transfer in Gasket Plate Heat Exchangers Working with Vegetable Oils," *Processes*, vol. 10, no. 1, p. 102, Jan. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/pr10010102>.
- [2] A. T. Wahyudi, F. Leestiana, and R. widodo, "Evaluasi kinerja Heat Exchanger pada Fasilitas Kilang PPSDM Migas dengan Metode Perhitungan Fouling Factor," *Majalah Ilmiah Swara Patra*, vol. 12, no. 1, Apr. 2022, doi: <https://doi.org/10.37525/sp/2022-1/322>.
- [3] Andriawan, H. Tanujaya, and A. Riza, "Simulation and Study of Shell and Tube Type Heat Exchangers," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1007, no. 1, p. 012179, Dec. 2020, doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1007/1/012179>.
- [4] B. Sahin, K. Yakut, I. Kotcioglu, and C. Celik, "Optimum design parameters of a heat exchanger," *Applied Energy*, vol. 82, no. 1, pp. 90–106, Sep. 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2004.10.002>.
- [5] B. Zohuri, "Heat Exchanger Types and Classifications," *Compact Heat Exchangers*, pp. 19–56, Sep. 2016, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-29835-1_2.
- [6] E. Edreis and A. Petrov, "Types of heat exchangers in industry, their advantages and disadvantages, and the study of their parameters," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 963, no. 963, p. 012027, Nov. 2020, doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/963/1/012027>.
- [7] E.N.N.A. Ansar, A. Maylia, A. Chumaidi, A. Kresmagus, "Evaluasi Efisiensi Heat Exchanger (E-3101) Pada Pabrik ALF3 Departemen Produksi III B PT Petrokimia Gresik," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 7, no. 2, Aug. 2021, doi: <https://doi.org/10.33795/distilat.v7i2.221>.
- [8] J. R. H. Panjaitan, N. Nurhasanah, L. F. Atikasari, and P. Ponilawati, "Efisiensi dan Fouling Factor Seal tube Heat Exchanger Pada Proses Pendinginan Refined Bleached Deodorized Palm Oil," *Rekayasa*, vol. 15, no. 1, pp. 29–35, Apr. 2022, doi: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v15i1.13247>.
- [9] P. Coniwanti, F. Zamali, and V. L. Rance, "EVALUASI EFISIENSI HEAT EXCHANGER E703C DI REFINERY PLANT UNIT I INDUSTRI MINYAK

- GORENG,” www.semanticscholar.org, 2019.
<https://www.semanticscholar.org/paper/EVALUASI-EFISIENSI-HEAT-EXCHANGER-E703C-DI-REFINERY-Coniwanti-Zamali/8cb1f5c49190018aa3fae4d3d1bf77fa888dda54>.
- [10] R. Singla, “Improving the Performance of Heat Exchanger System,” *International Journal of Soft Computing*, vol. 14, no. 4, pp. 77–85, May 2020, doi: <https://doi.org/10.36478/ijscmp.2019.77.85>.
- [11] S. Ramachandran, P. Kalaichelvi, and S. Sundaram, “Heat transfer studies in a spiral plate heat exchanger for water: palm oil two phase system,” *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, vol. 25, no. 3, pp. 483–490, Sep. 2008, doi: <https://doi.org/10.1590/s0104-66322008000300006>.
- [12] T. Sianturi, “Analisa pipa heat exchanger (cooling tube) Bervariasi Pada turbine guide bearing PEMBANGKIT Listrik Tenaga Air Siguragura,” *SPROCKET JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING*, vol. 2, no. 2, pp. 49–62, 2021.
- [13] Z. Yuqing, S. Jianfeng, D. Yun, Y. xin, and D. jiayu, “Simulation study on performance of plate heat exchanger for heat pump,” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 608, no. 1, p. 012004, Dec. 2020, doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/608/1/012004>.
- [14] J. J. Helmus and S. M. Collis, “The Python ARM Radar Toolkit (Py-ART), a Library for Working with Weather Radar Data in the Python Programming Language,” *Journal of Open Research Software*, vol. 4, Jul. 2016, doi: <https://doi.org/10.5334/jors.119>.