Hubungan Laju Alir terhadap Kecepatan Perpindahan Panas dan *Overall Heat Transfer Coefficient*

Safira Luthfia Romadhona[1], Luqmannol Hakim[2], Mery Anasyah[3], Pandu Putra Pratama Kalbu Adi[4], dan Erlinda Ningsih[5]
Teknik Kimia, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[1,2,3,4,5]
e-mail: safira.luthfia.sl@gmail.com[1], luqmanfirza251@gmail.com[2], meryskandry@gmail.com[3], panduputra051@gmail.com[4], dan erlindaningsih84@itats.ac.id[5]

ABSTRACT

A heat exchanger is classify as an equipment that has a function to change the temperature and phase of a fluid. One of the type of heat exchanger that is widely used in industry is the shell and tube. By the time of using a heat exchanger, it is necessary to analyze the performance of the equipmentl to determine its effectiveness. The performance of heat exchangers can decrease due to various factors, such as fouling factor or fouling resistance (Rf). The fouling factor can be determined by calculating the overall heat transfer coefficient (U) value. In this research, the results showed that increasing the flow rate will cause an increase in the Uc value and Ud value. Heat can be transferred using heat exchanger, in the sense of between two fluids that have a temperature gap. Heat will be transferred from a fluid with a high temperature to the lower one. Heat transfer between fluids can occur through a heat transfer plane or surface that separates the two fluids (the two fluids are in direct contact) or indirectly (bounded by a wall/partition).

Keywords: *Exchanger, flow, heat, rate.*

ABSTRAK

Alat penukar panas diklasifikasikan sebagai alat yang mempunyai fungsi untuk mengubah temperatur dan fasa suatu fluida. Salah satu jenis alat yang banyak dipergunakan di industri adalah tipe *shell and tube*. Dalam penggunaan alat penukar panas, perlu dilakukan analisa kinerja alat untuk mengetahui nilai efektivitasnya. Kinerja alat penukar panas dapat mengalami penurunan akibat berbagai faktor, seperti faktor pengotoran *(fouling factor),* atau tahanan pengotoran (Rf). Faktor pengotoran dapat ditentukan dengan melakukan perhitungan nilai *overall heat transfer coefficient* (U). Dalam penelitian ini didapatkan hasil bahwa peningkatan laju alir akan menyebabkan peningkatan nilai Uc dan nilai Ud. Alat penukar panas diaplikasikan sebagai peralatan untuk memindahkan kalor dari satu fluida ke fluida yang lain dengan adanya beda temperatur. Perpindahan panas antar fluida dapat terjadi melalui bidang atau permukaan perpindahan kalor yang memisahkan kedua fluida (kedua fluida kontak secara langsung) maupun secara tidak langsung (dibatasi oleh suatu dinding/sekat).

Kata kunci: Alir, laju, panas, penukar.

PENDAHULUAN

Menurut [1], kemajuan teknologi dan perkembangan ilmu pengetahuan yang terus meningkat cepat memberikan dampak pada penggunaan sediaan energi yang semakin terbatas. Keterbatasan ini erat kaitannya dengan krisis energi yang harus segera ditemukan solusinya. Solusi yang dapat dilakukan adalah penggunaan energi alternatif untuk menggantikan energi yang sudah ada serta melakukan penghematan energi. Salah satu upaya untuk menghemat energi adalah dengan memanfaatkan kembali energi panas yang seharusnya dibuang atau yang biasanya terbuang begitu saja. Transfer panas dapat dijalankan menggunakan suatu perangkat bernama penukar panas atau *heat exchanger* (HE).

Menurut [2], HE merupakan alat yang memiliki fungsi sebagai penukar atau pengubah suhu suatu fluida. HE diaplikasikan sebagai alat pemindah panas di antara dua fluida memiliki suhu berbeda. Panas akan dialirkan dari fluida yang suhunya tinggi menuju fluida dengan suhu yang lebih rendah. Terjadinya perpindahan panas antar fluida dapat terjadi melalui bagian maupun permukaan yang digunakan untuk memindahkan kalor. Bagian ini merupakan bagian yang memisahkan kedua fluida (secara langsung) dan dapat terjadi pula secara tidak langsung dengan pembatas sekat maupun dinding [1], [3].

Penelitian [4] menyatakan bahwa energi yang ditukar dapat menimbulkan perubahan suhu fluida (panas *sensible*) atau terkadang digunakan untuk mengubah fase fluida (panas laten). Besarnya laju transfer energi

ISSN 2775-5630

dalam penukar kalor dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti viskositas, kecepatan aliran fluida, kapasitas panas spesifik, konduktivitas termal, karakteristik permukaan yang memisahkan dua fluida dan perbedaan suhu antara dua fluida.

Peralatan yang digunakan dalam proses industri tentunya memerlukan analisa kinerja alat untuk mengetahui nilai efektivitas suatu alat, dalam hal ini adalah *heat exchanger*. Kinerja *heat exchanger* dapat mengalami penurunan akibat berbagai faktor seperti faktor pengotoran (*fouling factor*) atau tahanan pengotoran (Rf). Faktor pengotoran dapat diketahui dengan cara melakukan percobaan dan melakukan perhitungan nilai *overall coefficient heat transfer* (U) pada saat kondisi bersih serta kondisi kotor pada rangkaian alat tersebut. *Heat exchanger* yang secara berkala digunakan akan mengalami penurunan kinerja. Hal ini dapat dipengaruhi karena material penyusun *heat exchanger* mengalami korosi. Adanya karat yang menyelimuti *heater* akan mempengaruhi nilai Q dan U. Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan hasil dari penelitian [5] yang telah lama dilakukan, sehingga perlu dilakukan penelitian ulang. Maka dari itu perlu dilakukan analisa kinerja alat dengan melakukan percobaan untuk mengetahui nilai *overall coefficient heat transfer clean* (Uc), *overall coefficient heat transfer dirty* (Ud), nilai kecepatan perpindahan panas (Q), hubungan laju alir terhadap nilai Uc dan Ud serta hubungan antara nilai Q dan laju alir fluida.

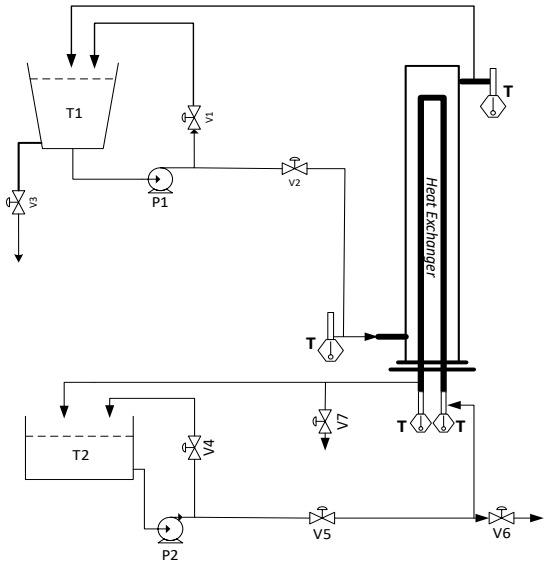
TINJAUAN PUSTAKA

Heat Exchanger

Menurut [6], *heat exchanger* didefinisikan sebagai perangkat yang bertugas menukar suhu dan keadaan fase dari suatu fluida. Suhu fluida diatur dengan cara melakukan pemberian atau penghilangan energi panas dari fluida sat uke fluida yang lain [7]. Pertukaran panas ini menggunakan mekanisme perpindahan panas dari fluida yang memiliki suhu tinggi ke fluida yang memiliki suhu lebih rendah. [4]. *Heat exchanger* bekerja dengan prinsip perpindahan panas secara konveksi. Berdasarkan karakteristik konstruksi permukaannya, penukar kalor yang umum digunakan dalam industri melibatkan tabung dan pipa (*shell and tube*), pipa dengan sirip tambahan (*tube with extended surface/fins and tube*), dan penukar kalor pelat (*plate heat exchanger*).

Shell and Tube Heat Exchanger

Menurut [8], *shell and tube heat exchanger* didefinisikan sebagai salah satu dari banyak jenis penukar panas yang paling sering dimanfaatkan di industri perminyakan. Dalam pengaplikasiannya, penukar panas *shell and tube* memerlukan komponen pendukung, yaitu *shell* dan *tube. Shell* dapat dikatakan sebagai salah satu dari 2 komponen utama dalam *heat exchanger* tipe *shell and tube. Shell* terdapat di bagian luar yang menutupi bagian *tube.* Selain *shell,* komponen utama lainnya dalam *heat exchanger* tipe ini adalah *tube. Tube* berada di dalam bagian *shell* dan berfungsi untuk mengalirkan fluida [4]. Rangkaian alat *heat exchanger* disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Alat *Heat Exchanger*

Keterangan:
T = Tangki
V = *Valve*
P = Pompa

Overall Heat Transfer Coefficient Clean

Overall heat transfer coefficient clean (Uc) merujuk pada nilai perpindahan panas ketika *heat exchanger* dalam kondisi bersih tanpa adanya endapan atau kotoran [9].

$$\mathrm{Uc} = \frac{\mathrm{hi\ x\ ho}}{\mathrm{hi+ho}} \quad \ldots(1)$$

dengan hi merupakan koefisien perpindahan panas konveksi *inside* $\left(\frac{Btu}{h.ft^{2}\mathrm{°F}}\right)$ dan ho merupakan koefisien perpindahan panas konveksi *outside* $\left(\frac{Btu}{h.ft^{2}\mathrm{°F}}\right)$

Overall Heat Transfer Coefficient Dirty

Overall Heat Transfer Coefficient Dirty (Ud) mengacu pada nilai perpindahan panas dari penukar panas setelah digunakan dan telah terakumulasi endapan atau kotoran [9].

$$\mathrm{A} = \mathrm{Nt\ x\ L\ x\ a"} \quad \ldots(2)$$

dengan A merupakan *heat transfer surface* (ft^2), a" merupakan luas permukaan luar *tube* (ft^2), L merupakan panjang *tube* (ft), dan Nt merepresentasikan jumlah *tube.*

Oleh karena itu, didapatkan:

$$\mathrm{Ud} = \frac{\mathrm{Q\ tube}}{\mathrm{A\ x\ \Delta t}} \quad \ldots(3)$$

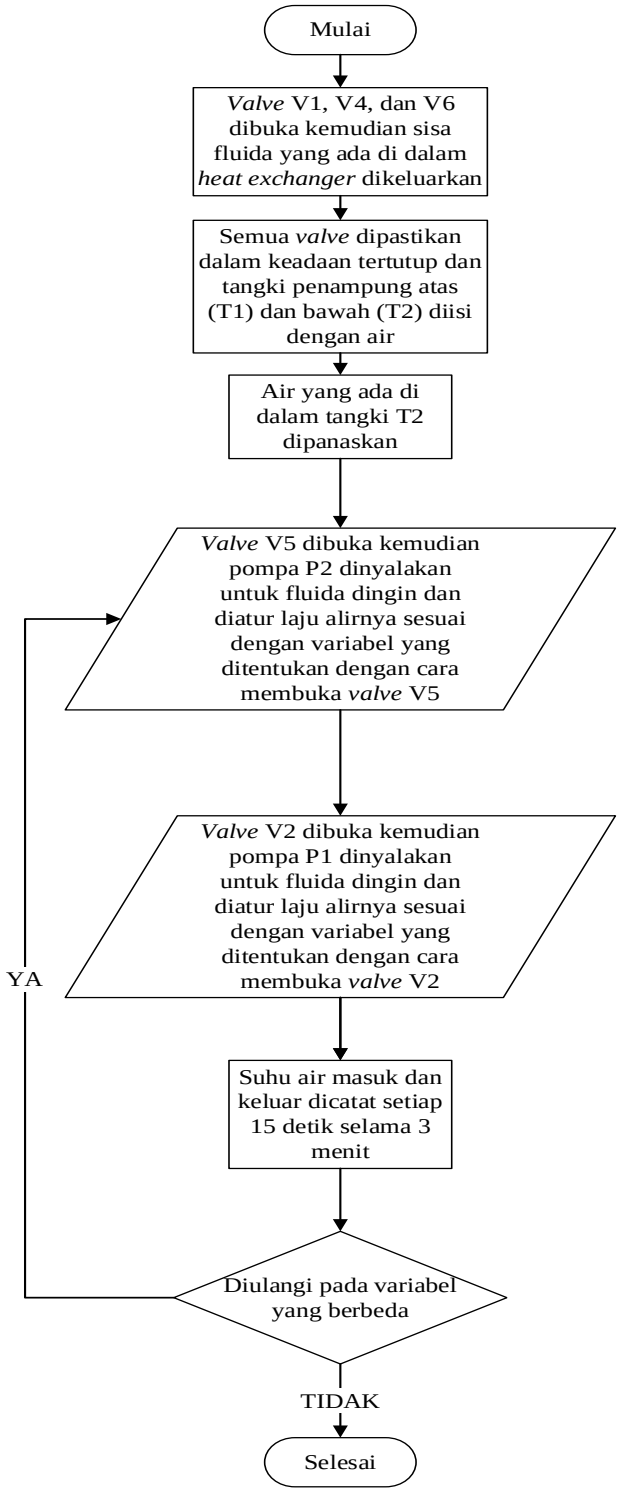
Keterangan:
A = luas permukaan perpindahan panas (ft^2)
Δt = LMTD terkoreksi (°F)

Log mean temperature difference (LMTD) didefinisikan sebagai nilai yang menunjukkan *temperature driving force* yang dibutuhkan untuk memindahkan kalor di dalam suatu aliran fluida.

METODE

Metode yang diterapkan dalam penelitian ini merujuk pada metode eksperimental menggunakan pendekatan secara kuantitatif. Dalam percobaan ini digunakan variabel independen yaitu laju alir dan variabel dependen kecepatan perpindahan panas (Q), Uc, dan Ud. Variabel laju alir fluida yang panas yang dapat digunakan, sebagai berikut, $0{,}000315\frac{ft^3}{s}$; $0{,}007481\frac{ft^3}{s}$ dan $0{,}011502\frac{ft^3}{s}$. Di sisi lain, variabel laju alir fluida dingin yang digunakan, yaitu $0{,}001215\frac{ft^3}{s}$; $0{,}011502\frac{ft^3}{s}$ dan $0{,}015487\frac{ft^3}{s}$. Metode analisis kuantitatif eksperimen digunakan untuk menganalisis data yang telah didapatkan dalam rangka mengetahui hubungan antara laju alir dengan kecepatan perpindahan panas (Q), Uc, dan Ud. Selain *heat exchanger*, alat lain yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *stopwatch*, *beaker glass* 1000 mL, termometer, dan jangka sorong. Sementara itu, bahan yang digunakan, yaitu air secukupnya dan es batu sebagai pendingin. Dalam melakukan percobaan, digunakan skema untuk mempermudah pengerjaan percobaan. Skema percobaan yang dilakukan disajikan pada Gambar 2.

ISSN 2775-5630



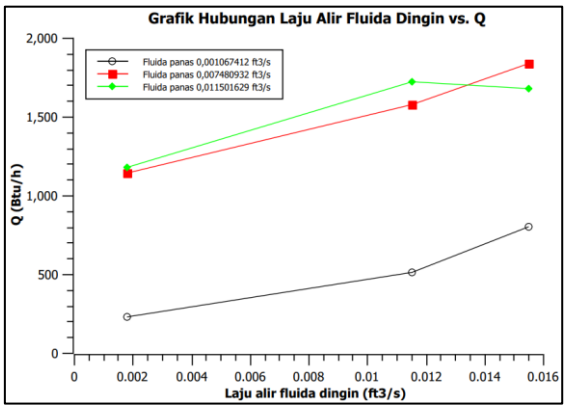
Gambar 2. Skema Percobaan *Heat Exchanger*

HASIL DAN PEMBAHASAN

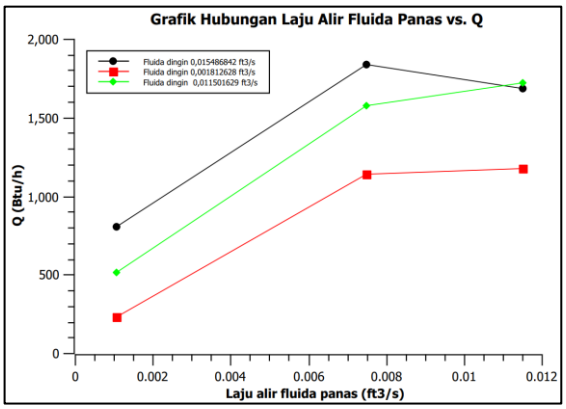
Hubungan Laju Alir dengan Kecepatan Perpindahan Panas

Pada alat *heat exchanger*, kecepatan perpindahan panas dapat mengalami perubahan akibat beberapa faktor, salah satunya adalah kecepatan alir fluida. Menurut [8], kenaikan kecepatan fluida akan menyebabkan kenaikan perpindahan panas (Q), namun perpindahan panas juga dapat mengalami perubahan dikarenakan beda suhu kedua fluida, yaitu fluida yang memasuki alat dan fluida yang ada di dalam keluaran. Dalam hal ini semakin besar perbedaan suhu antara kedua fluida maka semakin tinggi pula perpindahan panasnya.

Gambar 3. menunjukkan hubungan antara laju alir fluida dingin terhadap kecepatan perpindahan panas (Q). Sementara itu, Gambar 4. Menunjukkan hubungan antara laju alir fluida panas terhadap Q.



Gambar 3. Grafik Hubungan Laju Alir Fluida Dingin terhadap Q

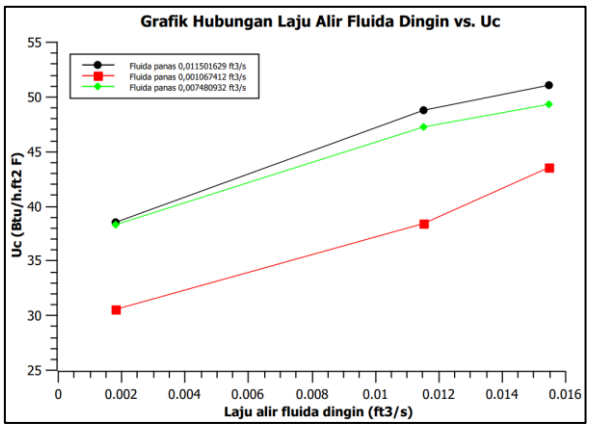


Gambar 4. Grafik Hubungan Laju Alir Fluida Panas terhadap Q

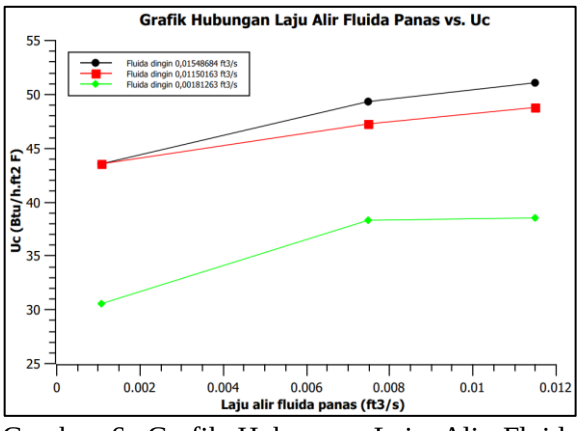
Hasil pembacaan Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan nilai Q paling kecil terdapat pada laju alir fluida paling tinggi (titik maksimum kurva) yaitu fluida panas 0,011501629 ft^3/s dan fluida dingin 0,015486842 ft^3/s. Hal ini dipengaruhi oleh waktu kontak antar kedua fluida. Laju alir yang tinggi menyebabkan waktu kontak antar kedua fluida menjadi singkat. Oleh karena itu, perpindahan panas tidak terjadi secara optimal yang akan menyebabkan penurunan *effectiveness* dari rangkaian alat *heat exchanger*[9]. Nilai *effectiveness* dari suatu alat akan menurun bersamaan dengan naiknya laju alir dari fluida di dalam *tube* [10].

Hubungan Laju Alir dengan *Overall Heat Transfer Coefficient Clean*

Nilai *overall heat transfer coefficient* dipengaruhi oleh besarnya panas yang berpindah pada *heat exchanger* dan nilai LMTD. Naiknya nilai perpindahan panas akan menyebabkan terjadinya peningkatan nilai *overall heat transfer coefficient*. Nilai Uc dinyatakan sebagai nilai kebersihan pada *heat exchanger* pada kondisi 100%. Gambar 5 menunjukkan hubunngan antara laju alir fluida dingin terhadap nilai Uc. Sementara itu, Gambar 6 menunjukkan hubungan antara laju alir fluida panas terhadap nilai Uc.



Gambar 5. Grafik Hubungan Laju Alir Fluida Dingin terhadap Uc



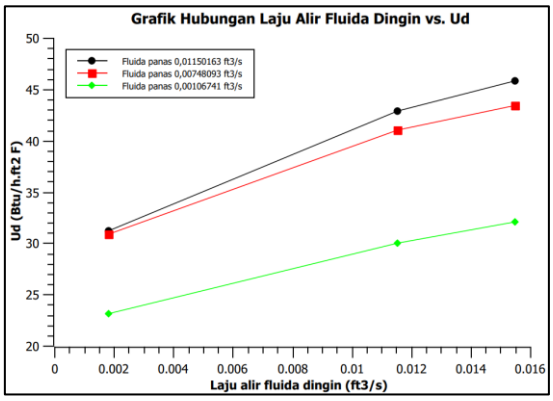
Gambar 6. Grafik Hubungan Laju Alir Fluida Panas terhadap Uc

Kedua grafik tersebut menunjukkan *trend* yang hampir sama yaitu memiliki peningkatan yang hampir membentuk garis lurus sejajar dengan sumbu x pada kedua fluida (fluida panas dan dingin). Hal yang mempengaruhi nilai Uc disebut sebagai parameter yang menunjukkan besar atau kecilnya suatu fluida dingin memasuki area *tube.* Semakin cepat laju alirnya, maka semakin besar pula nilai Uc-nya. Hal ini sesuai dengan hasil percobaan yang visualisasikan pada Gambar 5 dan Gambar 6 di mana nilai Uc tertinggi didapatkan dari laju alir tertinggi.

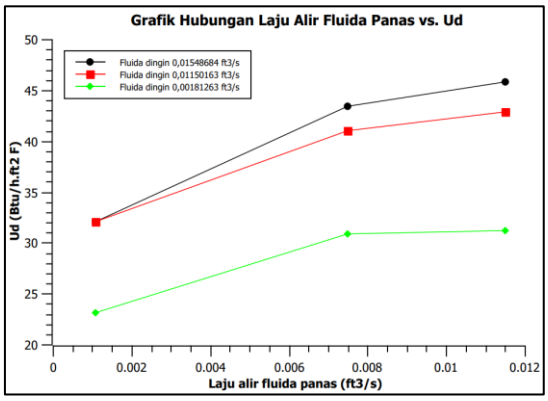
ISSN 2775-5630

Hubungan Laju Alir dengan *Overall Heat Transfer Coefficient Dirty*

Hubungan laju alir dengan Ud disajikan pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7. Grafik Hubungan Laju Alir Fluida Dingin terhadap Ud



Gambar 8. Grafik Hubungan Laju Alir Fluida Panas terhadap Ud

Berdasarkan teori Kern, nilai Uc harus lebih besar dari Ud. Berdasarkan hal tersebut, maka percobaan ini telah selaras dengan teori yang telah ada. Rata-rata nilai Uc yang didapatkan sebesar 43,42213 $\frac{Btu}{h.ft^{2}\text{°F}}$ sedangkan rata-rata nilai Ud sebesar 35,860182 $\frac{Btu}{h.ft^{2}\text{°F}}$.

KESIMPULAN

Laju alir mempengaruhi nilai kecepatan perpindahan panas, Uc, dan Ud. Semakin cepat laju alirnya, maka semakin besar pula nilai Uc dan Ud-nya. Dalam hal ini, nilai Uc lebih besar daripada Ud. Sementara itu, hubungan laju alir terhadap kecepatan perpindahan panas (Q) dipengaruhi oleh variabel yang digunakan dalam percobaan ini, yaitu laju alir fluida. Nilai Q paling kecil terdapat pada laju alir fluida paling tinggi yaitu fluida panas 0,011501629 ft^3/s dan fluida dingin 0,015486842 ft^3/s.

DAFTAR PUSTAKA

[1] C. Heri, A. Zayadi, and A. Basori, "Studi Perbandingan Alat Penukar Kalor Tipe Shell and Tube Tembaga-Aluminium Untuk Pitch Segiempat," *Jurnal Ilmiah GIGA*, vol. 17, no. 2, pp. 79–93, 2014.

[2] N. Annisa Dewi, T. Prasetyo, Dan Anis Roihatin, J. Teknik Mesin, And P. S. Negeri Semarang Jl Soedarto, "Analisis Perpindahan Panas Heat Exchanger 05 Di PPSDM Migas Cepu," 2022.

[3] K. Putri *et al.*, "Pengaruh Laju Alir Fluida Panas dan Fluida Dingin terhadap besarnya Transfer Panas pada Alat Heat Exchanger," 2022.

[4] B. Septian *et al.*, "Design of Heat Exchanger Shell and Tube," *Jurnal Baut dan Manufaktur*, vol. 03, no. 1, 2021.

[5] Y. Amani and M. Ilham Maulana, "Darussalam-Banda Aceh 23111, INDONESIA 2,3) Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala Jl," *Tgk. Syech Abdurrauf*, vol. 4, no. 1, 2016.

[6] M. P. Aprilia, A. Bayu, D. Nandiyanto, T. Kurniawan, M. Fiandini, And R. Ragadhita, "Rancangan Heat Exchanger Jenis Shell And Tube Untuk Produksi Nanopartikel Fe3o4 Skala Industri Menggunakan Pemodelan Matematis Design Of Shell And Tube Type Heat Exchanger For Industrial Scale Fe3o4 Nanoparticle Production Using Mathematic Modeling," *Jurnal Fraction*, Vol. 2, No. 2, Pp. 46–52, 2022.

[7] E. Ningsih, A. H. Fahmi, M. Riyanando, M. Rizal Faiz, C. Muliawati, and R. Izroiel, "Desain Shell and Tube Heat Exchanger (STHE) Tipe Counter Current dengan Material Stainless Steel," 2022.

[8] A. Husen, T. M. Ichwan Akbar, And N. Cholis, "Analisis Pengaruh Kecepatan Aliran Fluida Dingin Terhadap Efektivitas Shell And Tube Heat Exchanger," 2020.

[9] O. A. Shahab And A. Wahyuningsi, "Evaluasi Kinerja Heat Exchanger-003 Di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak Dan Gas Bumi (Ppsdm Migas Cepu)," *Cetak) Journal Of Innovation Research And Knowledge*, Vol. 2, No. 8, 2023.

[10] E. Ningsih, I. Albanna, A. P. Witari, And G. L. Anggraini, "Performance Simulation On The Shell And Tube Of Heat Exchanger By Aspen Hysys V.10," *Jurnal Rekayasa Mesin*, Vol. 13, No. 3, Pp. 701–706, Dec. 2022, Doi: 10.21776/Jrm.V13i3.1078.

[11] A. S. B. Wardhani, A. T. Labumay, and E. Ningsih, "Influence of Fluid Inflow Rate on Performance Effectiveness of Shell and Tube Type Heat Exchanger," *Journal of Mechanical Engineering, Science, and Innovation*, vol. 2, no. 1, pp. 9–15, May 2022, doi: 10.31284/j.jmesi.2022.v2i1.2993.