

PENGARUH VARIASI SUHU DAN LAJU ALIR TERHADAP KINERJA PERTUKARAN KALOR SISTEM FLUIDA FORMALIN-GLISEROL MENGGUNAKAN *SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER* PADA ALIRAN LAMINER

Fakhryan Alidifan dan Abdul Chalim

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia
fakhryan.alidifan20@gmail.com ; [abdul_chalim@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Heat Exchanger adalah suatu peralatan yang menyebabkan terjadinya perpindahan panas dari suatu fluida dengan suhu lebih tinggi ke fluida lain yang suhunya lebih rendah. Alat penukar kalor yang selalu digunakan dalam proses produksi atau operasi mengakibatkan efektivitas dari alat ini mengalami penurunan kinerja maupun kerusakan alat. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pengaruh laju alir dan suhu pemanas terhadap NTU dan efektivitas, untuk mendapatkan nilai *overall heat transfer coefficient (U)* sehingga didapatkan nilai NTU dan efektivitas alat *heat exchanger* terbaik. Metodologi yang digunakan pada penelitian ini ialah melakukan eksperimen secara langsung menggunakan alat *shell and tube heat exchanger 1-1* dengan variabel tetap yang digunakan ialah formalin dengan suhu 25 °C, laju alir 1 L/min dan variabel bebas yang digunakan adalah gliserol sebagai fluida panas dengan laju alir 0,8; 1,2; 1,6; 2; 2,4 L/min, suhu 44, 48, 52, 56, 60 °C, dan konsentrasi 35%, 30%, 25%, 20%, 15%. Hasil analisa yang didapatkan dari penelitian ini adalah nilai NTU dan efektivitas terbaik pada konsentrasi 35% dengan suhu 44°C laju alir pemanas 2,4 L/menit sebesar NTU 0,76 efektivitas 0,97. Didapatkan nilai *Overall Heat Coefficient (U)* untuk sistem fluida formalin-gliserol sebesar 168,35 W/m².K. Penelitian ini menunjukkan bahwa pengaruh konsentrasi dan laju alir ialah semakin meningkat konsentrasi dan laju alirnya maka semakin meningkat pula nilai NTU dan efektivitas yang didapat, sebaliknya apabila suhu meningkat maka NTU dan efektivitas cenderung menurun.

Kata Kunci: Efektivitas, Formalin, Gliserol, Heat exchanger, Perpindahan panas

ABSTRACT

Heat exchanger is equipment that causes heat transfer from a fluid with a higher temperature to another fluid with a lower temperature, either directly or indirectly. With a heat exchanger that is always used in the production or operation process, the effectiveness of this tool experiences a decrease in performance or damage to the tool. This study aims to obtain the effect of the flow rate and heating temperature on NTU and effectiveness, then to obtain the overall heat transfer coefficient (U) value so that the best NTU value and effectiveness of the heat exchanger are obtained. The methodology used in this study was to conduct experiments directly using a shell and tube heat exchanger 1-1, with the fixed variable being formalin with a temperature of 25 °C and a flow rate of 1 L/min, and the independent variable being glycerol as the hot fluid. with a flow rate of 0.8; 1.2; 1.6; 2; 2.4 L/min, a temperature of 44, 48, 52, 56, 60 C, and a concentration of 35%, 30%, 25%, 20%, and 15%. The results of the analysis obtained from this study show the best NTU value and effectiveness at a concentration of 35% with a temperature of 44 °C, a heater flow rate of 2.4 L/minute, NTU 0.76, and effectiveness 0.97. The Overall Heat Coefficient (U) value for the formalin-glycerol fluid system was 168.35 W/m².K. This study shows that the effect of concentration and flow rate is that as concentration and flow rate increase, the NTU value and effectiveness obtained also increase; conversely, if the temperature increases, the NTU and effectiveness tend to decrease.

Keywords: Effectiveness, Formalin, Glycerol, Heat exchanger, Heat transfer

Corresponding author: Abdul Chalim

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

E-mail: abdul_chalim@polinema.ac.id



1. PENDAHULUAN

Perpindahan panas adalah ilmu yang digunakan untuk memperkirakan perpindahan energi yang mungkin terjadi antara bahan yang disebabkan karena adanya perbedaan suhu. Aliran energi panas akan selalu mengalir ke bagian yang memiliki suhu lebih rendah [1]. Alat penukar panas (*Heat Exchanger*) merupakan peralatan yang menyebabkan terjadinya perpindahan panas dari suatu fluida dengan suhu lebih tinggi ke fluida lain yang suhunya lebih rendah, baik secara langsung maupun tidak langsung. Banyak industri besar yang membutuhkan suatu proses tertentu selalu menggunakan alat ini, sehingga alat penukar panas mempunyai peran penting dalam suatu proses produksi atau operasi. Selain itu, penggunaan kebutuhan energi pada industri sangat besar, sehingga cara paling efektif adalah menggunakan alat penukar panas [9]. Perpindahan panas merupakan ilmu untuk menentukan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi tertentu dan dapat didefinisikan sebagai proses berpindahnya energi dari daerah ke daerah lain akibat perbedaan suhu pada daerah tersebut [15].

Salah satu tipe dari alat penukar panas yang banyak digunakan adalah *Shell and Tube Heat Exchanger*. Alat ini terdiri dari sebuah *shell* silindris di bagian luar dan sejumlah *tube* (*tube bundle*) pada bagian dalam, dengan suhu fluida di dalam *tube bundle* berbeda dengan di luar *tube* (di dalam *shell*) sehingga terjadi perpindahan panas antara aliran fluida didalam *tube* dan di luar *tube*. *Shell* merupakan bagian utama dari rangkaian alat ini, *tube* merupakan bidang pemisah antara dua jenis fluida, dan *baffle* merupakan sekat yang berfungsi untuk menaikkan kecepatan dan efisien aliran lebih besar pada bagian luar *tube* [8]. Koefisien pindah panas konveksi (U) merupakan energy yang dilepaskan tiap satuan waktu, tiap satuan luas, tiap perbedaan suhu. Makin besar nilai koefisien perpindahan panas, maka makin besar pula energi yang dilepaskan [13]. Penelitian ini dilakukan karena pada literasi yang ada untuk harga nilai (U) masih sangat sedikit dan hanya memakai beberapa bahan saja, sehingga dengan tujuan penelitian ini akan menambahkan nilai baru terkait bahan formalin-gliserol. .

Pada penelitian tentang nilai efektivitas dan efisiensi alat penukar panas *heat exchanger* jenis *shell and tube heat exchanger* 1-1. Jenis fluida panas dan dingin yang digunakan yaitu air. Didapatkan harga efektivitas alat penukar panas *shell and tube* tipe 1-1 kapasitas 20 liter sebesar 0,81 serta harga efisiensi alat sebesar 76,61% [8]. Penelitian lain mengenai perpindahan panas dengan menggunakan alat *heat exchanger*. Menggunakan jenis fluida dingin yang digunakan yaitu *blending* gliserin-air. Didapatkan nilai efektivitas terbaik untuk *blending* fluida gliserin-air dengan perbandingan volume 50% sebesar 0,97 dengan nilai NTU sebesar 5,0175 [16]. Ada juga penelitian mengenai penentuan NTU atau *Number Transfer Unit* dalam evaluasi efisiensi penukar panas *shell and tube heat exchanger* 1-1. Pada penelitian ini, Didapatkan hasil bahwa laju alir *blending* fluida propilen glikol dengan air mengakibatkan nilai NTU naik dengan bertambahnya laju alir. Efektivitas yang didapatkan sebesar 0,95 dengan nilai NTU sebesar 3,703 untuk *blending* fluida propilen glikol dengan air [5]. Penelitian lain mengenai kinerja *shell and tube heat exchanger* 1-1 dengan fluida yang digunakan berupa propilen glikol-Etanol dan air. Didapatkan pengaruh variabel terhadap nilai NTU dan efektivitas, untuk variabel suhu nanti akan mempengaruhi nilai Δ LMTD yang menyatakan besarnya panas yang ditransfer fluida panas ke fluida dingin, sedangkan untuk konsentrasi akan mempengaruhi nilai NTU yang menyatakan banyaknya panas yang di transfer oleh alat,

sehingga semakin banyak yang ditransfer maka semakin besar efektivitas alat penukar panas dengan semakin tinggi NTU, maka akan semakin tinggi pula efektivitas dari alat [4].

Pada penelitian ini akan dilakukan analisa variasi variabel laju alir dan suhu fluida yang digunakan sehingga dapat diketahui pengaruh variasi variabel pemanas terhadap nilai NTU dan efektivitas. Fluida yang digunakan adalah gliserol sebagai fluida panas dan formalin sebagai fluida dingin. Arah aliran yang digunakan dalam penelitian ini adalah *counter current flow*. Pada tipe aliran *counter current* ini, panas yang diberikan lebih baik dibandingkan dengan aliran yang searah atau paralel [8]. Sesuai dengan teori yang ada bahwa untuk kolom penukar panas jenis *shell and tube* aliran berlawanan mempunyai nilai transfer panas yang lebih baik dibanding aliran searah [11]. Alat penukar panas yang sering digunakan dalam proses mengakibatkan efektivitas dari alat mengalami penurunan kinerja maupun kerusakan alat. Oleh karenanya, perlu dilakukan perhitungan efektivitas menggunakan perhitungan NTU atau *Number Transfer Unit*, dan perhitungan efektivitas dengan menggunakan bahan yang berbeda dengan penelitian sebelumnya [3].

Didalam penelitian ini digunakan gliserol sebagai fluida panas dan formalin sebagai fluida dingin. Gliserol dengan rumus $C_3H_8O_3$ memiliki densitas sebesar 1,262 g/mL dan memiliki titik didih cukup tinggi sekitar 290 °C. Gliserol merupakan hasil produk samping biodiesel dengan jumlah sebanyak 12,5%. Formalin dengan rumus kimia CH_2O dan memiliki densitas sebesar 1,09 g/mL serta memiliki titik didih cukup rendah yaitu sekitar -19 °C. Pada penelitian ini digunakan variable tetap berupa laju alir pendingin masuk sebesar 4 L/menit dan suhu pendingin masuk sebesar 25 °C. Besar kecilnya kecepatan aliran akan menentukan tipe aliran apakah menjadi aliran laminar atau aliran turbulen. Aliran laminar yang disebabkan oleh ketetapan kecepatan aliran fluida pendingin akan berpengaruh terhadap nilai bilangan *Reynold* (Re) dan bilangan *Nusselt* (Nu) sehingga akan mempengaruhi perpindahan panas secara konveksi [2].

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan yaitu penelitian kuantitatif eksperimental karena melakukan eksperimen untuk mengetahui hubungan sebab dan akibat yang ditimbulkan dengan adanya pemberian pengaruh terhadap proses penelitian yang dilakukan.

2.1. Persiapan

Pada tahap ini diawali dengan menyiapkan *heat exchanger* dengan jenis *Shell and Tube* 1-1 yang akan digunakan serta memeriksa pipa agar tidak terjadi kebocoran. Semua valve dikondisikan dengan baik, pada tahap ini seluruh valve dipastikan pada kondisi tertutup. Larutan gliserol sebagai fluida panas dengan konsentrasi 35% disiapkan sebanyak 10 liter. Selain itu, larutan formalin sebagai fluida dingin dengan konsentrasi 40% juga disiapkan sebanyak 10 liter. Kabel peralatan sudah tersambung pada sumber listrik.

2.2. Eksperimen

Bahan atau fluida panas dan fluida dingin yang sudah disiapkan pada tahap sebelumnya, dimasukkan ke dalam tangki penampung fluida sesuai dengan peran fluida tersebut. Untuk tangki penampung fluida pemanas diisi dengan gliserol sebanyak 10 liter dan untuk tangki penampung fluida pendingin diisi dengan formalin sebanyak 10 liter. Membuka valve V1 (Valve pompa fluida dingin), V2 (Valve fluida panas masuk), V3 (Valve fluida dingin keluar), V4 (Valve fluida panas keluar), dan V8 (Valve pompa pemanas) secara

penuh. Menutup valve V5 (Valve drain pemanas), V6 (Valve drain pendingin), V7 (Valve drain pemanas), dan V9 (Valve drain pemanas tangki) secara penuh. Mengatur laju alir fluida pendingin dan fluida pemanas sesuai dengan variabel yang telah ditentukan. Menghidupkan pompa untuk fluida pemanas dan fluida pendingin.

Mengatur suhu fluida pendingin yang masuk (T_{ci}) ke dalam *heat exchanger* dengan variabel yang telah ditentukan, ditambahkan beberapa es batu agar suhu fluida pendingin yang ditentukan konstan beberapa saat. Menentukan kondisi suhu fluida pemanas yang masuk (T_{hi}) dengan menyalakan *heater* dan menunggu hingga suhu yang ditentukan tercapai, kemudian mematikan *heater* jika suhu yang telah dicapai konstan beberapa saat. Menunggu alat bekerja hingga aliran mengalir pada kondisi konstan lalu mencatat suhu fluida pendingin dan fluida pemanas yang keluar (T_{co} dan T_{ho}) menggunakan termometer secara manual pada fluida. Mengulangi langkah di atas dengan mengubah variabel laju alir dan suhu fluida pemanas.

2.3. Shut Down

Mematikan pompa fluida pemanas dan fluida pendingin. Menutup valve laju alir fluida pemanas dan fluida pendingin. Mendinginkan alat sejenak dan membiarkan fluida hingga mencapai suhu ruang dengan mengukur suhu menggunakan termometer secara manual. Menguras tangki fluida pemanas dan fluida pendingin menggunakan valve drain. Memastikan semua valve tertutup secara penuh dan mencabut kabel alat dari sumber arus listrik.

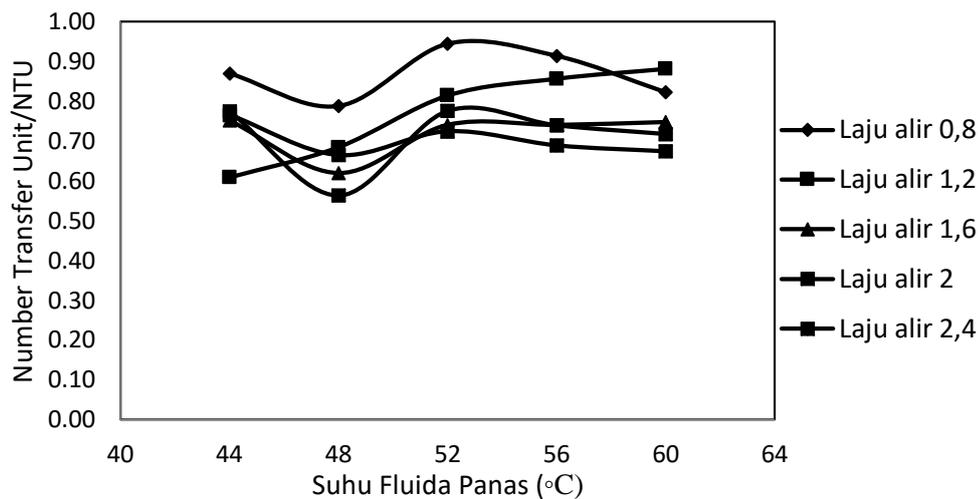
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah Formalin (shell) – Gliserol (tube). Untuk fluida panas menggunakan Gliserol dan untuk fluida dingin menggunakan formalin. Variabel fluida panas yang digunakan dengan konsentrasi 35%, suhu fluida panas masuk (T_{hi}) sebesar 44, 48, 52, 56, 60 dan laju alir yang digunakan 0,8; 1,2; 1,6; 2; 2,4 L/min.

Perpindahan panas berpengaruh oleh perbedaan suhu antara dua atau lebih fluida. Panas akan berpindah dari fluida atau benda yang mempunyai suhu lebih tinggi ke fluida atau benda yang mempunyai suhu lebih rendah. Panas yang bergerak akan mengalami proses pertukaran panas kemudian akan berhenti ketika kedua fluida sudah memiliki suhu yang sama [12]. Pada serangkaian alat penukar panas ini diperlukan sistem pendingin atau suatu rangkaian untuk mengatasi terjadinya panas yang berlebih pada alat atau kadar panas yang tidak diperlukan agar alat bisa bekerja secara maksimal sehingga banyak proses yang menggunakan sistem pendingin agar menjaga kestabilan selama proses berjalan [14].

3.1. Pengaruh Laju Fluida dan Suhu Pemanas terhadap NTU dan Efektivitas

Menurut (Shanahan dkk, 2020), Unjuk kerja suatu *heat exchanger* dapat ditinjau dari besarnya nilai *effectiveness*. Besarnya nilai efektivitas ini berkisar 0 sampai dengan 1. Semakin besar nilai efektivitas suatu *heat exchanger* maka kemampuan mentransfer panas dari *heat exchanger* tersebut akan semakin bagus karena nilai laju perpindahan panas aktualnya mendekati jumlah energi panas yang dapat dipindahkan [15]. Selain itu, kalor merupakan suatu bentuk energi yang berpindah karena perbedaan suhu akan bergerak dari suhu tinggi ke suhu lebih rendah. Ketika kalor bergerak akan terjadi pertukaran dan kemudian berhenti ketika kedua tempat tersebut memiliki suhu yang sama [16].



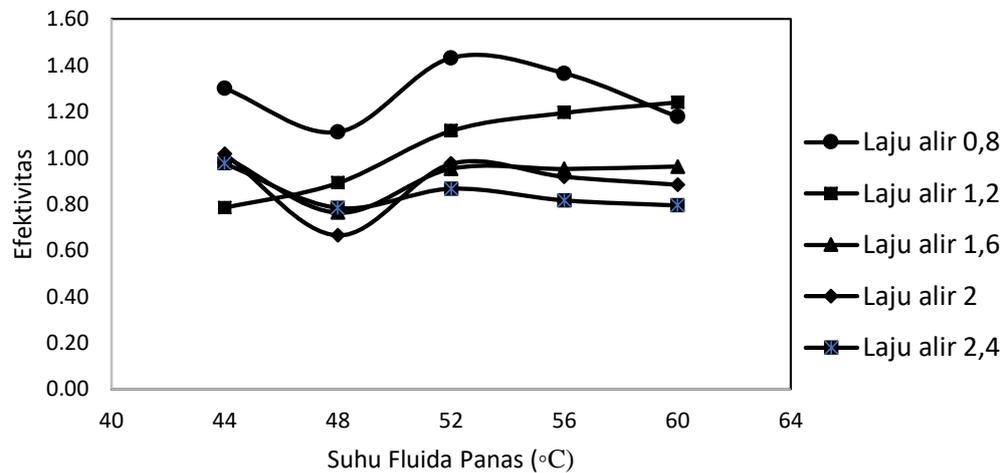
Gambar 1. Grafik pengaruh suhu fluida panas pada berbagai laju alir terhadap nilai number transfer unit

Pada Gambar 1 menunjukkan hubungan antara perubahan suhu pada setiap variabel laju alir terhadap NTU atau *Number Transfer Unit*. Grafik di atas dapat menunjukkan pengaruh suhu dan laju alir terhadap nilai NTU yang didapatkan berdasarkan hasil penelitian. suhu fluida panas yang semakin besar akan menurunkan nilai NTU karena besarnya suhu fluida panas akan meningkatkan nilai Δ LMTD [5]. Pada variasi suhu yang telah dilakukan dalam penelitian ini, didapatkan hasil yang fluktuatif dan cenderung menurun, kecuali pada variasi laju alir 1,2 L/h, nilai NTU yang didapatkan cenderung meningkat.

Pada Gambar 1 juga dapat disimpulkan dari hasil penelitian yang dilakukan. Semakin besar laju alir fluida panas yang mengalir di dalam *tube*, maka semakin kecil nilai NTU yang didapatkan. Namun, pada hasil penelitian dengan variasi laju alir fluida panas sebesar 1,2 L/h sedikit menyimpang dari data yang lainnya. Menurut (Chalim dkk, 2020), pada bagian *tube heat exchanger* nilai efektivitas yang berbanding lurus dengan nilai NTU akan semakin kecil seiring dengan besarnya laju alir fluida, hal ini terjadi karena waktu kontak fluida di dalam *tube* akan semakin singkat [5]. Hasil penelitian dengan variasi suhu dan laju alir terhadap NTU masih kurang sesuai jika dibandingkan dengan teori yang ada, hal tersebut terjadi bisa disebabkan karena sudah menurunnya kinerja dari alat yang digunakan.

Pada Gambar 2 menunjukkan hubungan antara perubahan suhu pada setiap variabel laju alir terhadap efektivitas. Menurut Chalim dkk (2020), suhu fluida panas yang semakin besar akan menurunkan nilai efektivitas karena besarnya suhu fluida panas akan meningkatkan nilai Δ LMTD secara perhitungan akan menurunkan nilai koefisien perpindahan panas total sehingga nilai efektivitas alat akan menurun [5]. Pada variasi suhu yang telah dilakukan dalam penelitian ini, didapatkan hasil yang fluktuatif dan cenderung menurun, kecuali pada variasi laju alir 1,2 L/h, nilai efektivitas yang didapatkan cenderung meningkat. Pada Gambar 2 juga dapat menunjukkan hubungan antara perubahan laju alir terhadap nilai efektivitas yang didapatkan berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan. Menurut (Chalim dkk, 2020), jika laju alir di *tube* semakin besar maka efektivitas alat akan cenderung kecil, ini disebabkan waktu tinggal fluida di dalam *tube* akan semakin pendek seiring dengan semakin cepatnya laju alir fluida [5]. Berdasarkan hasil yang ada, semakin

besar laju alir fluida panas di dalam *tube*, akan semakin kecil nilai efektivitas alatnya. Kecuali pada data yang didapatkan dengan laju alir fluida panas sebesar 1,2 L/h. Didapatkan hasil yang cukup fluktuatif, maka hasil penelitian ini masih kurang sesuai jika dibandingkan dengan teori yang ada serta hasil penelitian sebelumnya. Hal tersebut bisa disebabkan karena sudah menurunnya kinerja alat.



Gambar 2. Grafik pengaruh laju alir dan suhu fluida panas terhadap nilai efektivitas pada konsentrasi 35%

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam penelitian kali ini didapatkan kesimpulan yang menyatakan bahwa, suhu fluida panas yang semakin besar akan menurunkan nilai efektivitas karena besarnya suhu fluida panas akan meningkatkan nilai ΔT_{LMTD} secara perhitungan akan menurunkan nilai koefisien perpindahan panas total sehingga nilai efektivitas alat akan menurun. Jika laju alir semakin besar maka efektivitas alat akan meningkat, ini disebabkan waktu tinggal fluida di dalam *tube* akan semakin pendek seiring dengan semakin cepatnya laju alir fluida. Berdasarkan hasil yang ada, semakin besar laju alir fluida panas di dalam *tube*, akan semakin besar nilai efektivitas alatnya. Didapatkan nilai NTU dan efektivitas terbaik pada konsentrasi 35% dengan suhu 44°C laju alir pemanas 2,4 L/menit sebesar NTU 0,76 efektivitas 0,97. Didapatkan nilai *Overall Heat Coefficient* (U) untuk system fluida formalin-gliserosol sebesar 168,35 W/m².K.

REFERENSI

- [1] F. Kreith dan A. Prijono, "Prinsip-prinsip Perpindahan Panas", Erlangga, 1997.
- [2] Z. N. Damarani, "Pengaruh Kecepatan Fluida Panas terhadap Bilangan Nusselt dan Reynold pada Heat Exchanger Tipe Shell and Tube," *Undergraduate thesis UNDIP*, 2016.
- [3] M. Bakrie, "Optimalisasi Rancangan Shell and Tube Heat Exchanger," *Jurnal Teknik Kimia*, Vol. 5, No. 2, 2020.
- [4] A. Chalim, Ariani, dan M. A. Indra, "Evaluasi Kinerja Heat Exchanger Shell and Tube 1–1 Untuk Sistem Fluida Blending Propilen Glikol–Etanol dan Air," *Seminar Nasional Rekayasa Proses Industri Kimia*, 2021.

- [5] A. Chalim dan M. A. I. Iswara, "Penentuan Number transfer unit sistem fluida dietilen glikol-metanol, dalam evaluasi efisiensi penukar panas shell and tube 1-1," *Jurnal Teknik: Ilmu Dan Aplikasi*, vol. 1, no.1, 2020.
- [6] C. J. Geankoplis, "Transport Processes and Separation Process Principles," edisi 6, vol. 11, 2003.
- [7] D. Q. Kern, "Process Heat Transfer," *Tokyo Japan: Mc.Graw-Hill*, 1982.
- [8] A. F. Sari, "Shell and Tube Heat Exchanger Design pada Heater dengan Pemanas Steam pada Ethanoamine Plant," *Universitas Negeri Semarang*, 2019.
- [9] I. A Prabowo, dan A. Chalim, "Studi Literatur Koefisien Perpindahan Panas Total Sistem Fluida Polyethylene glycol & Ethylene glycol Secara Co-Current Menggunakan Heat Exchanger Shell and Tube Type 1-1," 2020.
- [10] R. Shanahan, A. Chalim, "Studi Literatur Tentang Efektivitas Penukar Panas *Shell and Tube* 1-1 Sistem Fluida Gliserin - Metanol Aliran Counter Current," *Jurnal Distilat*, hal 164–170, 2020.
- [11] R. A. Koestoer, "Perpindahan Kalor (Heat Transfer)," *Salemba Teknika Jakarta*, 2002.
- [12] Zuriani, "Penentuan Koefisien Pindah Panas Konveksi pada Rumah Budidaya Jamur Tiram," *Fakultas Teknologi Pangan Dan Argoindustri Universitas Mataram*, 2015.
- [13] N. R. Vishal dan V. K. Matawala, "Experimental investigation of single phase chevron type gasket plate heat exchanger," 2013.
- [14] D. Gahana, "Analisis Kinerja High Pressure Heater (Hph) Tipe Shell and Tube Heat Exchanger," *Journal of Science and Applicative Technology*, vol 2. no. 2, 2018.
- [15] A. Chalim, "Koefisien Perpindahan Kalor Total (U) Sistem Air-Etilen Glikol Menggunakan Alat Penukar Kalor Shell and Tube 1-1," *Seminar Nasional Rekayasa Proses Industri Kimia*, vol. 1, 2017.
- [16] A. Chalim, Ariani, dan M. A. I. Iswara, "Efektivitas Heat Exchanger Shell and Tube 1-1 Sistem Fluida Gliserin-Air," *Seminar Nasional Rekayasa Proses Industri Kimia*, vol.4, no.1, 2020.