

PENGARUH LAJU ALIR GLISERIN TERHADAP EFISIENSI PERTUKARAN PANAS DALAM *SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER*

Muhammad Assabil Zidan dan Abdul Chalim

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

assabil.zidan@gmail.com ; [abdul_chalim@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Saat ini energi merupakan kebutuhan pokok yang berpengaruh penting dalam kehidupan manusia. Seiring meningkatnya kebutuhan energi terutama di dunia industri kimia, diperlukan suatu usaha untuk melakukan efisiensi pada penggunaan energi tersebut. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu alat untuk menyerap sumber panas menggunakan HE (*Heat Exchanger*) tipe *shell and tube*. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data konsentrasi fluida gliserin – etanol serta suhu *inlet* fluida panas dan dingin sehingga didapatkan nilai NTU (*Number Transfer Unit*) yang optimal. Nilai NTU merupakan tolak ukur perpindahan panas serta menjadi parameter perpindahan panas suatu penukar panas yang tidak berdimensi. Jenis aliran yang digunakan pada penelitian ini adalah *counter-current* dengan fluida panas pada tube dan fluida dingin pada shell. Variabel yang digunakan adalah suhu fluida panas 30, 35, 40°C, dan suhu fluida dingin 25°C. Penelitian ini akan dilakukan secara kuantitatif dengan menggunakan *Shell and tube Heat exchanger* 1-1. Untuk menentukan efektifitas dilakukan perhitungan ΔT_{LMTD} (*Log Mean Temperature Difference*), U (koefisien perpindahan panas), NTU (*Number Transfer Unit*), dan efektifitas. Nilai efektifitas dan efisiensi alat semakin besar seiring dengan bertambahnya laju alir fluda dingin. Efektivitas dan efisiensi terbesar diperoleh pada laju alir fluida dingin sebesar 1 L/menit yaitu 0,89 dan 86%.

Kata kunci: efisiensi, etanol, gliserin, heat exchanger, konsentrasi

ABSTRACT

Currently, energy is a basic need that has an important influence on human life. As energy needs increase, especially in the chemical industry, efforts are needed to make efficient use of this energy. Therefore, a device is needed to absorb the heat source using a shell and tube-type HE (heat exchanger). This research aims to obtain data on the concentration of glycerin-ethanol fluids as well as the inlet temperatures of hot and cold fluids so that optimal NTU (*Number Transfer Unit*) values can be obtained. The NTU value is a benchmark for heat transfer and is a dimensionless heat transfer parameter of a heat exchanger. The type of flow used in this research is counter-current, with hot fluid in the tube and cold fluid in the shell. The variables used are hot fluid temperatures of 30, 35, and 40 °C and cold fluid temperatures of 25 °C. This research will be carried out quantitatively using a shell and tube heat exchanger 1-1. To determine effectiveness, ΔT_{LMTD} (*Log Mean Temperature Difference*), U (*Heat Transfer Coefficient*), NTU (*Number Transfer Unit*), and effectiveness are calculated. The effectiveness and efficiency values of the tool increase as the cold fluid flow rate increases. The greatest effectiveness and efficiency were obtained at a cold fluid flow rate of 1 L/minute, namely 0.89 and 86%.

Keywords: efficiency, etanol, glycerin, heat exchanger, concentration

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

Kemajuan teknologi yang berkembang di dunia industri saat ini sangatlah banyak dan berkembang dengan cepat. Dengan kemajuan zaman, semua bidang harus berkembang, salah satu cara untuk meningkatkan taraf hidup nasional melalui pembangunan industri. Industri kimia adalah industri esensial dan strategis karena hampir setiap negara di dunia memilikinya. Indonesia sangat mementingkan pengembangan industri kimia yang bergantung pada banyaknya bahan baku yang diimpor. Hal tersebut membuat industri dalam negeri rentan terhadap gejolak tingkat perubahan. Hampir seluruh proses produksi dan aktifitas manusia berhubungan dengan energi sehingga kebutuhan energi semakin lama semakin meningkat.

Untuk menghadapi kebutuhan energi yang semakin meningkat, diperlukan upaya untuk menggunakan energi secara efisien. Oleh karena itu dibutuhkan sebuah alat untuk mengambil sumber panas tersebut yaitu *heat exchanger*. *Heat exchanger* adalah alat yang digunakan dalam proses perpindahan panas antara satu fluida dengan fluida lainnya tanpa perpindahan massa dan dapat digunakan sebagai pemanas atau pendingin [1]. Chalim (2016), melakukan penelitian tentang nilai efektivitas dan efisiensi alat penukar panas *heat exchanger* jenis *Shell And Tube Heat Exchanger* (STHE) 1-1. Jenis fluida panas dan dingin yang digunakan yaitu air. Variabel yang digunakan yaitu suhu fluida panas masuk, konsentrasi *coolant* dan laju alir fluida panas serta dingin. Berdasarkan penelitian didapatkan harga efektivitas alat penukar panas STHE 1-1 kapasitas 20 liter sebesar 0,8116 serta harga efisiensi alat sebesar 76,6109% [2].

Penelitian Hakimul dan Darmawan (2017), mengenai efektivitas *heat exchanger* dengan tujuan mendapatkan nilai efektivitas yang maksimal pada alat *heat exchanger*. Tujuan tersebut dapat dicapai dengan membandingkan jenis fluida dingin yang digunakan. Berdasarkan penelitian, menunjukkan bahwa *blending* fluida *propylene glycol – ethylene glycol* dengan perbandingan volume 1:1 didapatkan nilai efektivitas yang lebih baik daripada nilai efektivitas *blending* fluida dietilene glicol - methanol. Nilai efektivitas yang didapatkan sebesar 0,95 dengan nilai NTU (*Number Transfer Unit*) sebesar 3,307 [3]. Chalim (2020) juga melakukan penelitian mengenai perpindahan panas dengan menggunakan alat *heat exchanger*. Penelitian tersebut untuk membandingkan konsentrasi fluida dingin yang digunakan sehingga dapat menghasilkan nilai transfer panas terbaik. Jenis fluida dingin yang digunakan yaitu *blending* gliserin-air. Dalam penelitian ini menggunakan variabel konsentrasi fluida dingin, suhu, dan laju alir fluida panas maupun fluida dingin. Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan nilai efektivitas terbaik untuk *blending* fluida gliserin-air dengan perbandingan volume 50% sebesar 0,9734 dengan nilai NTU sebesar 5,0175 [4].

Chalim & Indra (2021), juga melakukan penelitian mengenai evaluasi kinerja STHE dengan fluida yang digunakan berupa propilen glikol-etanol dan air. Variabel yang digunakan adalah suhu fluida panas masuk, suhu fluida pendingin masuk dan perbandingan konsentrasi propilen glikol-etanol. Dari variabel tersebut didapatkan pengaruh variabel terhadap nilai NTU dan efektivitas, untuk variabel suhu nanti akan mempengaruhi nilai ΔT_{LMTD} yang menyatakan besarnya panas yang di transfer 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 di transfer maka semakin besar efektivitas alat penukar panas, dengan semakin tinggi NTU nya maka akan semakin tinggi pula efektivitas dari alat. Pada penelitian ini akan dilakukan analisa variasi variabel laju alir, konsentrasi, dan suhu fluida yang

digunakan sehingga dapat diketahui pengaruh variasi variabel pemanas terhadap nilai NTU dan efektivitas [5].

Heat exchanger adalah suatu alat yang dimana terjadi aliran perpindahan panas diantara dua fluida atau lebih pada temperatur yang berbeda, dimana fluida tersebut keduanya mengalir dalam sistem. Di dalam *heat exchanger* tersebut, kedua fluida mengalir secara terpisah satu sama lain. Fluida dengan temperatur yang lebih tinggi akan mengalirkan panas ke fluida yang bertemperatur lebih rendah. *Shell and tube* merupakan jenis *heat exchanger* yang populer dan lebih banyak digunakan. *Shell and tube* terdiri dari sejumlah *tube* yang terpasang didalam *shell* yang berbentuk silindris. Terdapat dua fluida yang mengalir, dimana yang satu mengalir di dalam *tube*, dan yang lainnya mengalir diluar tube [6]. STHE banyak digunakan sebagai *heat exchanger* pada proses minyak dan gas, petrokimia dan industri kimia; sebagai pemanas air umpan boiler, alat *heat exchanger* perubahan fasa (reboiler dan kondensor), evaporator, generator uap dan pendingin oli di pembangkit listrik, dalam beberapa aplikasi pendingin dan pendingin udara [7].

STHE adalah jenis alat penukar kalor yang banyak digunakan di pembangkit listrik, teknik kimia, teknik lingkungan, dan pengolahan limbah karena memiliki bentuk konstruksi yang kuat, operasi yang andal dan perawatan yang mudah. Bagian *heat exchanger* jenis ini, terdiri dari sebuah shell berbentuk silindris dan sejumlah tube yang terpasang di bagian dalamnya. STHE memiliki bentuk yang kokoh sehingga sangat cocok untuk digunakan pada operasi tekanan tinggi [8]. Perpindahan panas merupakan bagian dari ilmu termodinamika yang mempelajari tentang proses perpindahan energi panas diantara suatu benda karena adanya perbedaan suhu antara fluida panas dan fluida dingin. Energi akan berpindah dari suhu lebih tinggi ke suhu lebih rendah. Perbedaan suhu menjadi daya penggerak terjadinya perpindahan energi. Perpindahan panas akan terus berlangsung sampai kesetimbangan suhu terjadi pada kedua media tersebut. Proses terjadinya perpindahan panas dapat terjadi secara konduksi, konveksi, dan radiasi [9].

Perpindahan panas berkaitan dengan objek yang melepaskan panas dan menerima panas. Perhitungan mengenai besarnya panas yang dilepaskan dan diterima adalah sama, disebut dengan neraca panas atau *heat balance* [10]. LMTD (*Log Mean Temperature Difference*) adalah nilai rata rata perbedaan suhu antara fluida panas dan dingin di setiap akhir *heat exchanger*. ΔT_{LMTD} menyatakan besarnya panas yang ditransfer fluida panas ke fluida dingin. Semakin besar nilai ΔT_{LMTD} semakin besar panas yang ditransfer. Apabila perbedaan suhu antara fluida panas dan fluida dingin yang masuk dan keluar *heat exchanger* dengan *co-current*, maka perlu nilai rata-rata untuk menentukan jumlah kalor yang dipindahkan dari fluida pada alat penukar panas. Koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) menyatakan besarnya kemampuan perpindahan panas dari fluida yang mempunyai suhu lebih tinggi ke fluida yang mempunyai suhu lebih rendah serta merupakan aliran panas menyeluruh sebagai gabungan dari proses konveksi dan konduksi. Koefisien perpindahan panas menyeluruh dapat dinyatakan dalam persamaan [11].

Kegunaan pada *heat exchanger* bisa berupa fase tunggal seperti (pendinginan atau pemanasan cairan maupun gas), bisa juga dua fase seperti (kondensasi atau penguapan). Karena ada dua sisi dari *heat exchanger*, ini dapat menyebabkan terjadinya kombinasi fungsi. Kegunaan *heat exchanger* dapat diklasifikasikan sebagai fase tunggal, kondensasi, dan penguapan. Penukar kalor tipe aliran sejajar yaitu ketika arah aliran dari kedua fluida di dalam

penukar kalor sejajar. Hal tersebut menunjukkan bahwa kedua fluida masuk pada satu sisi dan keluar pada sisi lainnya. Pada tipe ini, temperatur fluida penyuplai energi akan selalu lebih tinggi dari temperatur penerima energi sejak masuk ke *heat exchanger* hingga keluar. Dengan demikian, temperatur fluida yang menerima kalor tidak akan pernah mencapai temperatur fluida yang memberikan kalor saat keluar dari penukar kalor [12]. Dengan kata lain, temperatur fluida dingin yang keluar tidak dapat melebihi temperatur fluida panas yang keluar, sehingga diperlukan media pemanas atau media pendingin yang banyak. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu alat untuk menyerap sumber panas menggunakan *heat exchanger* tipe *shell and tube*. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data konsentrasi fluida gliserin – etanol serta suhu *inlet* fluida panas dan dingin sehingga didapatkan nilai NTU (*Number Transfer Unit*) yang optimal.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental untuk mendapatkan nilai koefisien panas menyeluruh (U) agar dapat ditentukan nilai efisiensi *heat exchanger* jenis *shell and tube* 1-1 menggunakan fluida akrolein dan air, penelitian ini menggunakan variabel berubah yaitu laju alir fluida panas, suhu fluida panas, dan konsentrasi fluida panas (%volume). Metode dimulai dengan mempersiapkan fluida panas berupa gliserin dan fluida dingin berupa etanol dengan konsentrasi sesuai variabel. Selanjutnya kedua fluida ditempatkan di dalam tangki fluida panas dan dingin. Gliserin akan mengalir di bagian *shell*, sedangkan etanol akan mengalir di bagian *tube*. Suhu fluida yang akan dimasukkan ke dalam alat diatur sesuai variabel. Kemudian laju alir fluida panas dan dingin diatur serta proses dijalankan. Berdasarkan percobaan, data diperoleh dari suhu masuk dan keluar masing-masing fluida panas (gliserin) dan dingin (etanol). Data tersebut akan digunakan untuk mendapatkan nilai ΔT_{LMTD} , kemudian hasil ΔT_{LMTD} digunakan untuk menghitung koefisien panas menyeluruh serta *Number Transfer Unit* (NTU) sehingga dapat dihitung nilai efisiensi melalui rumus.

2.1. Tahap Persiapan

Metode dimulai dengan mempersiapkan *shell and tube heat exchanger* tipe 1-1 dan memastikan semua pipa sambungan tidak mengalami kebocoran serta memastikan semua *valve* dalam kondisi tertutup. Selanjutnya menyiapkan fluida panas berupa gliserin dan fluida dingin berupa etanol dengan konsentrasi sesuai variabel. Selanjutnya memastikan kabel alat tersambung pada sumber listrik.

2.2. Tahap Percobaan

Mengisi tangki fluida masing-masing dengan gliserin sebagai fluida panas dan etanol sebagai fluida dingin. Gliserin akan mengalir di bagian *shell*, sedangkan etanol akan mengalir di bagian *tube*. Selanjutnya suhu fluida yang akan dimasukkan ke dalam alat diatur sesuai variabel yang ditentukan. Setelah itu menentukan kondisi suhu T_{hi} (suhu tangki panas) yang diinginkan dengan memutar tombol pada control panel. Kemudian membuka *valve* V3 dan V6 untuk fluida panas serta membuka *valve* V4 dan V7 untuk fluida dingin. Selanjutnya menghidupkan pompa fluida panas dan dingin dengan cara mengarahkan tombol pompa di control panel pada posisi *on*. Buka pompa diatur sesuai dengan variabel yang diinginkan. Setelah itu menunggu alat bekerja hingga aliran mengalir pada posisi konstan dan catat suhu keluaran (T_{ho} dan T_{co}) pada *control panel* setelah suhu fluida *steady state*. Kemudian mengulangi langkah yang sama dengan konsentrasi fluida yang berbeda.

2.3. Tahap Shutdown

Mematikan pompa fluida panas dan fluida dingin dan membiarkan fluida yang ada pada alat mencapai suhu ruang dan fluida pada *shell and tube* kosong. Selanjutnya menguras tangki fluida panas dan dingin menggunakan air. Kemudian mematikan alat dan menutup semua *valve* serta merapikan alat.

2.4 Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Berdasarkan percobaan, data diperoleh dari suhu masuk dan keluar masing-masing fluida panas (gliserin) dan dingin (etanol). Data tersebut akan digunakan untuk mendapatkan nilai ΔT_{LMTD} dengan rumus sebagai berikut:

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln\left(\frac{T_{hi} - T_{co}}{T_{ho} - T_{ci}}\right)} \quad (1)$$

Data suhu tersebut juga digunakan untuk menghitung besarnya panas yang dilepaskan menggunakan persamaan:

$$Q = q = W_h \times C_{p_h} \times (T_{hi} - T_{ho}) = W_c \times C_{p_c} \times (T_{ci} - T_{co}) \quad (2)$$

Keterangan:

Q = Panas yang dilepaskan oleh fluida panas, W

q = Panas yang diterima oleh fluida dingin, W

W_h = Laju alir massa fluida panas, kg/J

W_c = Laju alir massa fluida dingin, kg/J

C_{p_h} = Panas spesifik fluida panas, kJ/kg.K

C_{p_c} = Panas spesifik fluida dingin, kJ/kg.K

T_{hi} = Suhu masuk fluida panas, °C

T_{ci} = Suhu masuk fluida dingin, °C

T_{ho} = Suhu keluar fluida panas, °C

T_{co} = Suhu keluar fluida dingin, °C

Kemudian nilai ΔT_{LMTD} dari nilai Q tersebut digunakan untuk menentukan nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) dengan persamaan sebagai berikut:

$$U = \frac{Q}{A \times \Delta T_{LMTD}} \quad (3)$$

Keterangan:

U = Koefisien perpindahan panas menyeluruh, W/m².K

Q = Panas yang dibutuhkan fluida, W

A = Luas perpindahan panas, m².

ΔT_{LMTD} = Logaritmik perbedaan suhu fluida, °C

$$NTU = \frac{U \times A}{C_{min}} \quad (4)$$

Keterangan:

NTU = Number Transfer Unit, tanpa satuan

U = Koefisien perpindahan panas menyeluruh, W/m².K

- A = Luas perpindahan panas, m²
 C_{min} = Kapasitas panas minimum, kJ/kg.K

Selanjutnya dihitung nilai efisiensi menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{U_d}{U_c} \times 100\% \quad (5)$$

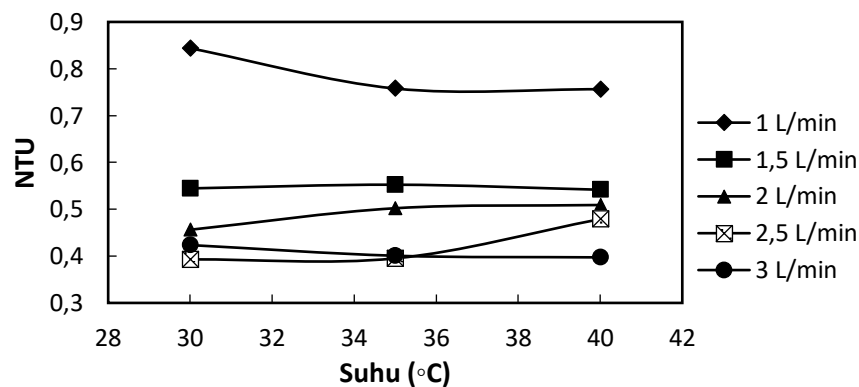
Keterangan:

- η = Efisiensi alat penukar panas *shell and tube heat exchanger*, %
 U_d = *Coefficient Dirt Overall*, Btu/h.ft² °F
 U_c = *Coefficient Clean Overall*, Btu/h.ft² °F

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengaruh Suhu dan Laju Alir Pemanas terhadap NTU dan Efisiensi

Kinerja *heat exchanger* dapat dilihat dari besar kecilnya nilai efisiensinya. Nilai efisiensinya bervariasi antara 0 sampai 1 [12]. Hasil dari pengaruh perbedaan suhu dan laju alir pemanas terhadap nilai NTU dan efisiensinya terdapat pada Gambar 1.



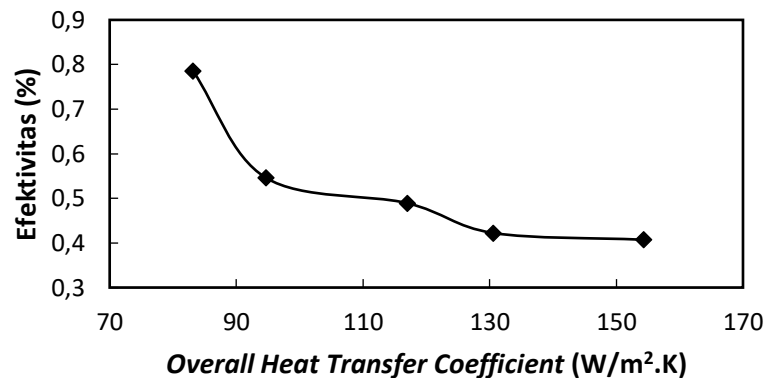
Gambar 1. Grafik hubungan antara suhu vs NTU pada berbagai laju alir fluida panas

Berdasarkan Gambar 1, diperoleh nilai efektivitas dan efisiensi terbesar pada laju alir pemanas 1 L/menit dan suhu 30°C yaitu 0,89. Dari grafik menunjukkan bahwa semakin besar suhu pemanas, nilai NTU cenderung mengalami penurunan. Hal ini selaras dengan penelitian Chalim dkk. (2020), bahwa suhu fluida panas yang semakin besar akan menurunkan nilai NTU karena besarnya suhu fluida panas akan meningkatkan nilai ΔT_{LMTD} [2]. Semakin besar laju alir pemanas, nilai NTU yang dihasilkan juga cenderung semakin kecil. 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 [2].

Semakin tinggi nilai efisiensi alat penukar panas, maka kapasitas perpindahan panas alat penukar panas tersebut semakin baik, karena perpindahan panas aktual mendekati jumlah energi panas yang dipindahkan. Selain itu, panas adalah suatu bentuk energi yang berpindah dari suhu yang lebih tinggi ke suhu yang lebih rendah karena adanya perbedaan suhu. Saat panas berpindah, terjadi pertukaran dan berhenti ketika kedua tempat berada pada suhu yang sama [13].

3.2. Pengaruh Nilai *Overall Heat Transfer Coefficient* (U) terhadap Efektivitas

Koefisien perpindahan panas keseluruhan dipengaruhi oleh ketebalan dan konduktivitas termal pembawa panas. Hasil pengaruh nilai U terhadap efektivitas STHE dapat dilihat pada Gambar 2.

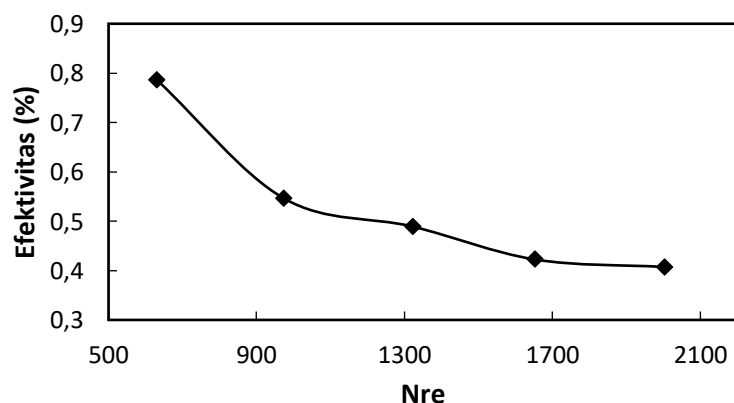


Gambar 2. Grafik hubungan antara koefisien perpindahan panas vs efektivitas

Berdasarkan grafik pada Gambar 2, nilai efisiensi terbesar terjadi pada saat nilai perpindahan panas total sebesar 86% yakni 0,79. Koefisien perpindahan panas (U) berbanding lurus dengan laju perpindahan panas Q. Jika permukaan perpindahan panas dan perbedaan suhu tetap tidak berubah, semakin tinggi nilai U, semakin tinggi pula perpindahan panasnya. Dengan kata lain, ini berarti bahwa untuk penukar panas dan produk tertentu, nilai U yang lebih tinggi dapat menghasilkan *batch* yang lebih pendek dan produksi/pendapatan yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena bertambahnya kecepatan fluida, maka temperatur fluida panas dan dingin rata-rata menjadi meningkat sehingga mengakibatkan harga koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) meningkat pula [14].

3.3. Pengaruh NRe (Bilangan *Reynolds*) Terhadap Efektivitas

Bilangan *Reynolds* adalah rasio dari gaya inersia terhadap viskositas fluida. Bilangan *Reynolds* didasarkan pada diameter pipa dan kecepatan rata-rata di dalam pipa. Bilangan *Reynolds* menunjukkan apakah aliran fluida itu laminar atau turbulen, yang dipengaruhi oleh laju aliran fluida, densitas fluida, dan viskositas fluida [15].



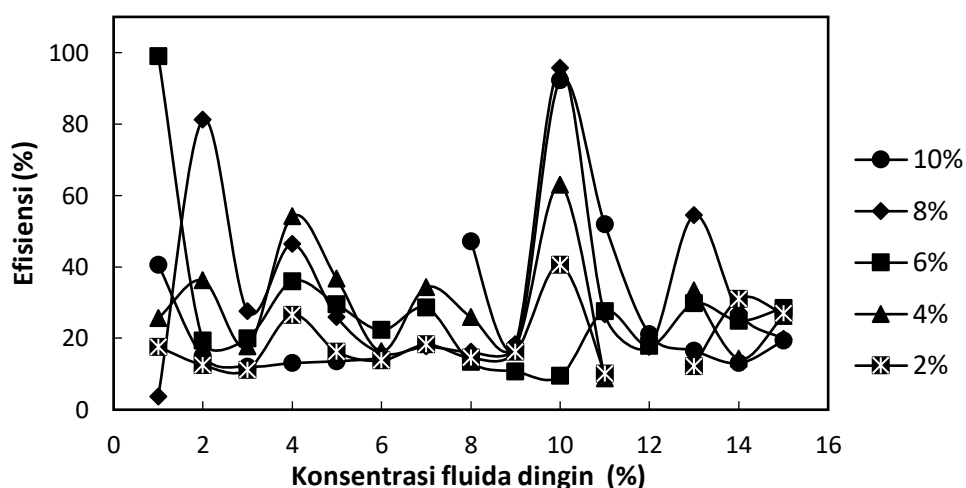
Gambar 3. Grafik hubungan antara NRe (Bilangan *Reynolds*) terhadap efektivitas

Berdasarkan grafik pada Gambar 3, didapatkan nilai efektivitas tertinggi sebesar 0,79 saat menggunakan bilangan *Reynolds* terkecil yakni 631, nilai bilangan *Reynolds* berbanding terbalik dengan efektivitas yang dihasilkan. Besarnya NRe sebanding dengan naiknya suhu fluida panas masuk yang membuat nilai NTU dan efektivitasnya menurun. Hal tersebut dapat terjadi karena semakin besarnya nilai ΔT_{LMTD} maka semakin kecil nilai U , NTU , dan efektivitasnya [16]. Hasil bilangan *Reynolds* menunjukkan bahwa fluida dingin semakin besar maka kapasitas aliran fluida panas akan semakin besar. Peningkatan kapasitas aliran fluida panas disebabkan karena semakin besar bilangan *Reynolds* maka koefisien perpindahan panas menyeluruh juga akan semakin besar, sehingga menyebabkan proses perpindahan kalor dari fluida. Panas ke fluida dingin berlangsung dengan cepat [17].

3.4. Pengaruh Efisiensi Gliserin

Efisiensi merupakan perbandingan antara performa aktual dan performa teoritis dari semua alat. Konsep efisiensi ini digunakan di bidang *engineering* untuk menilai performa dari komponen dan sistem. Efisiensi *heat exchanger* didefinisikan sebagai perbandingan antara koefisien perpindahan panas aktual terhadap koefisien perpindahan panas teoritis.

Gambar 4. Grafik pengaruh konsentrasi gliserin dan konsentrasi fluida dingin vs efisiensi



Berdasarkan grafik pada Gambar 4, nilai efektivitas dan efisiensi alat cenderung naik seiring bertambahnya konsentrasi fluida panas. Efisiensi terbaik didapatkan sebesar 98,96% dan efektivitas terbesarnya 0,55. Hal tersebut terjadi pada saat konsentrasi fluida panas berupa gliserin sebesar 6% v/v dan fluida dingin berupa etanol sebesar 1%. Selain itu, nilai efisiensi cenderung tertinggi pada saat pemberian konsentrasi fluida panas sebesar 10%. Pengaruh efisiensi *heat exchanger* dipengaruhi oleh viskositas dua jenis fluida yang berbeda. Semakin besar konsentrasi yang ditambahkan, maka akan semakin tinggi nilai NTU dan juga efektivitasnya.

Hal tersebut sudah sesuai dengan teori yang ada yaitu pada buku Geankoplis [18]. Akan tetapi, penambahan gliserin yang semakin tinggi mengakibatkan turunnya nilai NTU dan efektivitas. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya perpindahan panas maksimum pada konsentrasi tertentu serta fluida pendingin memiliki viskositas yang lebih tinggi dibandingkan fluida panas. Hal ini mengakibatkan masa tinggal fluida pendingin lebih lama sehingga nilai perpindahan panas semakin kecil dan efisiensinya menurun [16].

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai efektivitas dan efisiensi alat semakin besar seiring dengan bertambahnya laju alir fluida dingin. Efektivitas dan efisiensi terbesar diperoleh pada laju alir fluida dingin sebesar 1 L/menit yaitu 0,89 dan 86%. Semakin tinggi suhu fluida panas masuk pada berbagai kondisi, nilai efektivitas dan efisiensi semakin menurun. Nilai efisiensi terbesar pada suhu 40°C. Nilai efektivitas dan efisiensi alat cenderung naik seiring bertambahnya konsentrasi fluida panas. Konsentrasi fluida panas terbaik sebesar 6% v/v dengan nilai efektivitas sebesar 0,55 dan efisiensi 98,96%.

Beberapa saran untuk perbaikan alat *shell and tube heat exchanger* yaitu melakukan pembersihan alat agar tetap dapat beroperasi secara maksimal, melengkapi alat dengan thermostat agar kontrol suhu fluida dingin tidak dilakukan secara manual, suhu fluida dingin tidak jauh dari suhu ruang agar pengondisian suhu lebih mudah dan suhu fluida panas tidak terlalu tinggi agar alat tidak mudah *trouble*.

REFERENSI

- [1] V. K. Patel dan R. V. Rao, "Design Optimization of Shell and Tube Heat Exchanger Using Particle Swarm Optimization Technique," *Jurnal Applied Thermal Engineering*, vol. 30, no. 11–12, hal. 1417–1425, 2010.
- [2] A. Chalim, Ariani, dan Much. Agung Indra Iswara, "Penentuan Number Transfer Unit Sistem Fluida Dietilen Glikol – Metanol, dalam Evaluasi Efisiensi Penukar Panas Shell and Tube 1-1," *Jurnal Teknologi Ilmu dan Aplikasi*, vol. 9, no. 1, hal. 73–86, 2021.
- [3] A. Hakimul dan A. Darmawan, M, "Uji Efektivitas Perpindahan Panas Radiator Coolant Menggunakan Double Pipe Heat Exchanger," Politeknik Negeri Malang, 2017.
- [4] A. Chalim, Ariani, dan A. Indra, "Efektivitas Heat Transfer Shell and Tube 1-1 Sistem Fluida Gliserin – Air," *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Proses Industri Kimia*, vol. 3, hal. 14–17, 2020.
- [5] A. Chalim, Ariani, dan A. Indra, "Evaluasi Kinerja Heat Exchanger Shell and Tube 1–1 untuk Sistem Fluida Blending Propilen Glikol–Etanol dan Air," *Seminar Nasional Rekayasa Poroses Industri Kimia*, 2021.
- [6] J. Sudrajat, "Analisis Kinerja Heat Exchanger Shell dan Tube pada Sistem Cog Booster di Integrated Steel Mill Krakatau," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 6, no. 3, hal. 174–181, 2017.
- [7] A. Barun dan E. Rukmana, "Analisis Performansi pada Heat Exchanger Jenis Shell and Tube Tipe BEM dengan Menggunakan Perubahan Laju Aliran Massa Fluida Panas (Mh)," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 1, no. 2, hal. 1–7, 2015.
- [8] J. L. Breese, "Shell and Tube Heat Exchangers.," *Jurnal ASHRAE*, vol. 26, no. 5, hal. 24–27, 2011.
- [9] W. R. Paterson, *Petroleum Refining: Technology and Economics*, edisi ke 3, vol. 56, no. 2. 2007.
- [10] Donald Q. Kern, *Process Heat Transfer*, International New York: McGraw-Hill Book Company, 1950.
- [11] C. J. Geankoplis, A. A. Hersel, dan D. Lepek, *Instructor Manual for Transport Processes and Separation Process Principles*, edisi ke 5. Boston, Collumbs, Tokyo: Pearson Education, 2019.
- [12] R. Shanahan, "Studi Literatur tentang Efektivitas Alat Penukar Panas Shell and Tube 1-

- 1 Sistem Fluida Gliserin - Metanol dengan Aliran Counter Current,” *Jurnal Distilat*, vol. 6, no. 9, hal. 164–170, 2020.
- [13] L. E. Richter, A. Carlos, dan D. M. Beber, *Perry’s Chemical Engineers*, edisi ke 9. New York, Chicago, Toronto: Mc Graw Hill Education.
- [14] A. F. Sari, “Shell and Tube Heat Exchanger Design pada Heater dengan Pemanas Steam pada Ethanolamine Plant,” Universitas Negeri Semarang, 2019.
- [15] F. Achmad, “Efek Laju Alir dan Arah Aliran terhadap Analisis Performa Alat Penukar Panas Tipe Shell and Tube Heat Exchanger Menggunakan SCADA,” *Jurnal Rekayasa Proses*, vol. 17, no. 2, hal. 148–157, 2023.
- [16] R. Shanahan dan A. Chalim, “Studi Literatur tentang Efektivitas Alat Penukar Panas Shell and Tube 1-1 Sistem Fluida Gliserin,” vol. 6, no. 2, hal. 164–170, 2020.
- [17] S. Ihsan dan H. Irawan, “Analisis dan Perhitungan Pengaruh Bilangan Reynolds terhadap Kinerja Kondensor Tipe Concentric Tube sebagai Alat Pengujian dan Pembelajaran,” *Jurnal Teknologi Proses dan Inovasi*, vol. 3, no. 2, 2018.
- [18] C. J. Geankoplis, *Transport Processes and Unit Operations*, edisi ke 3. New Jersey: Hall International, 1993.