

PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP EFEKTIVITAS PERPINDAHAN PANAS MENGGUNAKAN NANOFLUIDA CuO – AIR PADA SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER

Fathur Rozi

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
E-mail: Fathurrozi1@mhs.unesa.ac.id

Dr. I Made Arsana, S.T., M.T.

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
E-mail: madearsana@unesa.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap efektivitas perpindahan panas menggunakan nanofluida CuO-Air, khususnya pada *heat exchanger* tipe *shell and tube* karena semakin meningkat kebutuhannya terutama di bidang industri dan teknologi. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode penelitian eksperimental dengan obyek penelitian adalah fluida panas sebesar 70°C, 80°C, dan 90°C dengan campuran nanofluida CuO sebesar 1% pada *heat exchanger* tipe *shell and tube*. Fluida dingin di kontrol sebesar 30°C sesuai suhu ruangan. Pengambilan data menggunakan *thermocouple* untuk mengukur temperatur fluida masuk dan keluar yang dipasang diberbagai titik saluran masuk dan keluar fluida pada *heat exchanger* tipe *shell and tube*. Hasil penelitian diperoleh efektivitas tertinggi pada keadaan temperatur 90°C dengan campuran nanofluida sebesar 1%, yaitu sebesar 36% dengan laju perpindahan panas yang terjadi sebesar 8166,7989 Watt. Sedangkan untuk efektivitas terendah didapatkan pada keadaan temperatur 70°C dengan campuran nanofluida sebesar 1%, yaitu sebesar 32,5% dengan laju perpindahan panas sebesar 5044,5790Watt.

Kata Kunci: *heat exchanger* tipe *shell and tube*, nanofluida, CuO.

Abstract

This study aims to determine the effect of temperature on the effectiveness of heat transfer using CuO-Air nanofluids, especially in shell and tube type heat exchangers due to increasing demand, especially in the fields of industry and technology. This research was conducted using experimental research methods with the object of research is hot fluid 70°C, 80°C, and 90°C with a mixture of 1% CuO nanofluid in a shell and tube type heat exchanger. The cold fluid is controlled at 30°C according to room temperature. Data retrieval uses a thermocouple to measure the temperature of the inlet and outlet fluids that are installed at various points of fluid inlet and outlet in the shell and tube type heat exchanger. The results obtained the highest effectiveness at a temperature of 90°C with a mixture of 1% nanofluid is 36% with a heat rate of 8166.7989 Watt. While the lowest effectiveness was obtained at a temperature of 70°C with a mixture of 1% nanofluid which is 32.5% with a heat transfer rate of 5044.5790Watt.

Keywords: *heat exchanger* type *shell and tube*, nanofluids, CuO.

PENDAHULUAN

Heat exchanger adalah alat penukar kalor yang berfungsi untuk merubah temperatur fluida baik untuk mendinginkan atau memanaskan, untuk memperoleh hasil kinerja yang maksimal membutuhkan perancangan *heat exchanger* yang sangat baik sehingga dapat memberikan efektifitas perpindahan panas yang tinggi. Fase fluida yang saling bertukar energi menggunakan dua fase yang sama yaitu (gas ke gas atau cair ke cair) atau dua fase yang berbeda (cair dan gas). Saat ini, beberapa fluida konvensional yang digunakan pada industri-industri, seperti air, oli dan *ethylene glycol*.

Fluida tersebut disebut fluida konvensional yang memiliki sifat perpindahan kalor yang sangat rendah dibandingkan dengan benda padat. Sifat termal dari fluida kerja berpengaruh dalam upaya peningkatan efisiensi energi pada alat perpindahan kalor atau *heat exchanger*.

Penelitian sebelumnya yang terkait dibahas oleh Nandy Putra (2005) menerangkan bahwa faktor konsentrasi nanopartikel pada nanofluida mempengaruhi besarnya peningkatan rasio koefisien perpindahan kalor konveksi paksa pada *fin tube heat exchanger*. Pada percobaan yang dilakukan dengan nanofluida 1% menunjukkan peningkatan koefisien

konveksi sebesar 31% - 48%. Pada nanofluida 4% menunjukkan peningkatan koefisien konveksi sebesar 52% - 79%.

Penelitian Bekti Suroso (2015) mengenai “*Pengaruh Temperatur dan Fraksi Volume Terhadap Nilai Perpindahan Kalor Konveksi Fluida Nano TiO₂/Oli Termo XT32 pada Penukar Kalor Pipa Konsentrik*” menjelaskan bahwa dengan adanya penambahan nanopartikel pada fluida dasar alat penukar kalor pipa konsentrik, maka nilai perpindahan kalor juga meningkat seiring dengan penambahan variasi temperatur dan variasi fraksi volume pada nanofluida. Dijelaskan bahwa *overall heat transfer coefficient* memperlihatkan bahwa pada fraksi volume 0.5% adalah nilai perpindahan kalor konveksi yang tertinggi.

Abazar Vahdat Azad (2016) pada jurnalnya yang berjudul *Application of Nanofluids for the Optimal Design of Shell and Tube Heat Exchangers Using Genetic Algorithm* ditemukan bahwa penggunaan nanofluida pada *shell and tube heat exchanger* meminimalkan biaya pengoptimalan *heat exchanger* sebesar 55,19%. Selain itu, penggunaan nanofluida pada penelitian ini meningkatkan koefisien perpindahan panas, serta mengurangi investasi biaya operasional yang ada.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang sudah dilakukan, nanofluida dapat meningkatkan konduktivitas termal dan membuat perpindahan kalor semakin tinggi pada *shell and tube heat exchanger*. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian terhadap perbedaan variasi temperatur dan fraksi volume pada nanofluida CuO sehingga didapatkan performa yang optimal.

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental, yaitu cara untuk mencari suatu hubungan sebab akibat antara beberapa faktor yang saling berpengaruh. Eksperimental dalam penelitian ini akan dilaksanakan di laboratorium perpindahan panas dalam kondisi dan peralatan yang disesuaikan guna memperoleh data tentang pengaruh temperature dengan campuran nanofluida terhadap laju konveksi panas pada *shell and tube heat exchanger*.

Tempat dan Waktu Penelitian

• Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Perpindahan Panas A8.02.01 Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya.

• Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 1 bulan pada Bulan April.

• Objek Penelitian

Obyek penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah nanofluida dan *heat exchanger* tipe *shell and tube*.

Rancangan Penelitian

• Heat Exchanger tipe Shell and Tube

Heat Exchanger tipe *Shell and Tube* adalah trainer untuk menguji perpindahan panas

• Nanofluida

Nanofluida yang digunakan Tembaga Oksida (CuO) adalah senyawa kimia tembaga dan oksigen. Tembaga oksida memiliki sifat penghantar panas yang baik.

Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian eksperimen ini terdiri dari tiga macam yaitu: variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol.

• Variabel Bebas

Variabel bebasnya yaitu fluida panas adalah (*Thin*) yaitu 70°C, 80°C, 90°C. Hal ini berdasarkan fluida panas yang terjadi pada lapangan sebagai fluida panas yang akan didinginkan.

• Variabel Terikat

Dalam penelitian ini variabel terikatnya yaitu efektivitas perpindahan konveksi pada *shell and tube heat exchanger*.

• Variabel Terkontrol

- Temperatur yang ditentukan pada temperatur fluida dingin adalah (*T_{cin}*) yaitu sebesar 30°C sesuai dengan suhu ruangan.
- Nanofluida yang yang ditentukan adalah nanofluida CuO-Air sebesar 1%. Penentuan ini berdasarkan pertimbangan kandungan CuO serta sifat – sifatnya yang dapat berpengaruh pada *shell and tube heat exchanger*.
- Mengatur regulator *flowmeter* dengan debit aliran fluida dingin 6 lpm.
- Mengatur regulator *flowmeter* dengan debit aliran fluida panas 4 lpm.

Spesifikasi Nanofluid

Nanofluida yang digunakan ada 2 yaitu:

• Nanopartikel

Nanopartikel yang digunakan dalam penelitian ini termasuk dalam jenis oksida dan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 1. Spesifikasi Nanopartikel

Nanopartikel	Tambaga Oksida
Merk	MERCK
Rumus kimia	CuO
Massa molar	79,545 g/mol
Densitas	6,31 g/cm ³
Titik didih	2000°C
Titik leleh	1326°C
Kelarutan	Tidak larut dengan air
Bau	Tidak berbau

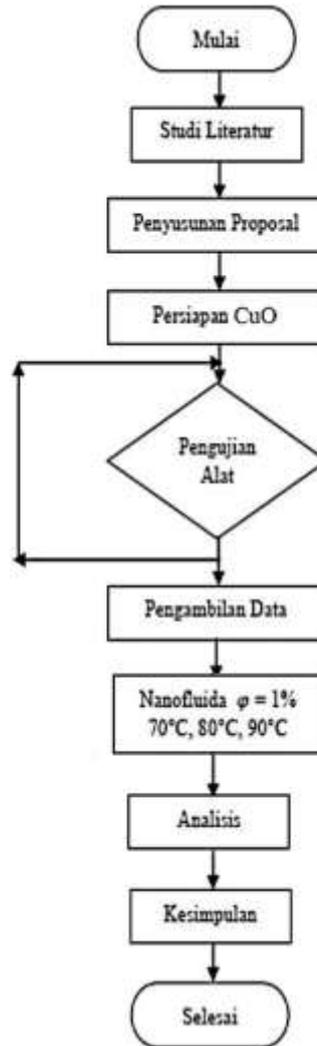
• Fluida Dasar

Fluida dasar yang digunakan dalam penelitian ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 2. Spesifikasi Fluida Dasar

Fluida dasar	Air
Rumus kimia	H ₂ O
Densitas (ρ)	$9,97 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$
Specific heat (C_p)	4,179 kJ/kg.K
Viskositas (μ)	$855 \cdot 10^6 \text{ N.s/m}^2$
Prandtl	5,83
Konduktivitas panas (K)	$613 \cdot 10^3 \text{ W/m.K}$

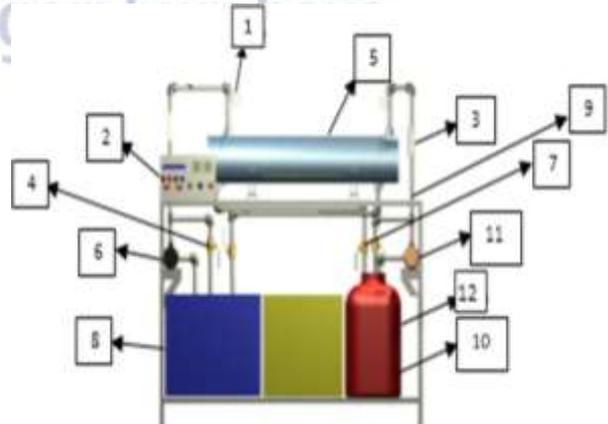
Flowchart Penelitian



Gambar 1. Flowchart Proses Penelitian

Alat dan Bahan Penelitian

Untuk mengetahui pengaruh temperatur dengan campuran nanofluida terhadap laju perpindahan panas konveksi pada *shell and tube heat exchanger*, maka didesain peralatan pengujian sebagai berikut:



Gambar 2. Skema Alat Uji

Keterangan:

1. Pressure gauge
2. Kotak instrumen
3. Flowmeter
4. Pipa saluran fluida dingin
5. Shell
6. Pompa fluida dingin
7. Valve
8. Tandon fluida dingin masuk
9. Pipa saluran fluida panas
10. Tandon fluida panas
11. Pompa fluida panas
12. Heater

Teknik Analisis Data

Analisis pada penelitian ini dilakukan dengan pengambilan data dari instrument yang terdapat pada objek penelitian, dihitung secara teoritis dan disajikan dalam bentuk tabel serta grafik sehingga hasil dari penelitian mudah dipahami. Eksperimen ini dilakukan untuk memberikan informasi serta mengilmiahkan berbagai fenomena yang terjadi pada objek eksperimen ketika dilakukan penelitian tentang pengaruh temperatur serta campuran nanofluida CuO-air terhadap laju perpindahan panas konveksi serta keefektivitasan pada shell and tube heat exchanger.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian pengaruh temperatur terhadap laju perpindahan panas dan efektivitas shell and tube heat exchanger dengan memvariasi temperatur masuk fluida panas (T_{in}) yaitu 70°C, 80°C, dan 90°C dengan campuran nanofluida Tembaga Oksida (CuO) yaitu 1%. Didapatkan data hasil pengukuran pada berbagai variasi temperatur sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil Pengambilan Data Dengan Campuran Nanofluida 1%

TEMPERATUR T ₁	PERCOBAAN KE-	Q _h	Q _c	T _{in}	T _{out}	T _{in}	T _{out}	Pin	P _{out}	η _{shell}	η _{tube}
70	1	662000	0,0001	70	30	37	46	1	7	0,8	6,5
	2	662000	0,0001	70	30	38	38	1	7	0,8	6,5
	3	662000	0,0001	70	30	35	46	1	7	0,8	6,5
RAKA-RAKA		662000	0,0001	70	30	37	39,67	1	7	0,8	6,5
80	1	662000	0,0001	80	30	60	43	1	7	0,8	6,5
	2	662000	0,0001	80	30	61	46	1	7	0,8	6,5
	3	662000	0,0001	80	30	61	43	1	7	0,8	6,5
RAKA-RAKA		662000	0,0001	80	30	60,67	43,67	1	7	0,8	6,5
90	1	662000	0,0001	90	30	73	43	1	7	0,8	6,5
	2	662000	0,0001	90	30	73	46	1	7	0,8	6,5
	3	662000	0,0001	90	30	72	43	1	7	0,8	6,5
RAKA-RAKA		662000	0,0001	90	30	72,67	44,67	1	7	0,8	6,5

Dari data di atas merupakan hasil pengambilan data dengan campuran nanofluida 1%. Setiap percobaan dengan satu variabel temperatur dilakukan selama 15 menit dengan setiap 5 menit pengambilan data dan

diambil rata - ratanya. Pada temperatur 70°C, T_{hout} yang didapatkan adalah 57°C dan T_{cout} adalah 39,67°C. Pada temperatur 80°C, T_{hout} menunjukkan angka 60,67°C dan T_{cout} 41,67°C. Sedangkan pada temperatur 90°C T_{hout} menunjukkan 72,67°C dan T_{cout} adalah 44,67°C.

Berdasarkan table diatas didapatkan nilai temperatur fluida panas keluar (T_{hout}) tertinggi yaitu 72,67°C dari pengambilan data menggunakan campuran nanofluida 1% dengan variasi temperatur 90°C, sedangkan nilai temperatur fluida panas keluar (T_{hout}) terendah yaitu 57°C dengan campuran nanofluida 1% dengan temperatur 70°C. Pengambilan data tersebut sama - sama menggunakan debit fluida panas masuk (di sisi tube) sebesar $6,6 \times 10^5$ m³/s.

Nilai temperatur fluida dingin keluar (T_{cout}) tertinggi yaitu 44,67°C dari pengambilan data campuran nanofluida 1% dengan temperatur 90°C, sedangkan nilai temperatur fluida dingin keluar (T_{cout}) terendah yaitu 39,67°C dari pengambilan data campuran nanofluida 1% dengan temperatur 70°C. Pengambilan data tersebut sama - sama menggunakan debit fluida dingin masuk (di sisi shell) sebesar 0,0001 m³/s dan temperatur fluida dingin masuk (T_{cin}) sebesar 30°C.

• Pengaruh Variasi Temperatur Dengan Campuran Nanofluida terhadap Selisih Temperatur Fluida Masuk dan Fluida Keluar (ΔT)



Gambar 3. Grafik Pengaruh Variasi Temperatur Dengan Campuran Nanofluida Terhadap Selisih Temperatur Fluida Masuk dan Fluida Keluar (ΔT)

Pada gambar diatas terlihat bahwa grafik pengaruh variasi temperatur 70°C, 80°C, dan 90°C dengan campuran nanofluida 1% terhadap ΔT mengalami kenaikan pada fluida panas yang mengalir di tube maupun fluida dingin yang mengalir di shell.

Pada grafik tersebut, selisih temperatur fluida panas masuk dan keluar (ΔT_h) yang terbesar terjadi pada temperatur 90°C dengan campuran nanofluida sebesar 1%, sedangkan (ΔT_h) terkecil terjadi pada temperatur

70°C dengan campuran nanofluida sebesar 1%. Pada saat temperatur 70°C dengan campuran nanofluida 1%, (ΔT_h) yaitu 13°C. Saat temperatur mencapai 80°C, (ΔT_h) adalah 18°C. Pada keadaan temperatur 90°C, (ΔT_h) di *tube* mengalami kenaikan yaitu 20,7°C.

Pada grafik terlihat bahwa selisih temperatur fluida dingin masuk dan fluida dingin keluar (ΔT_c) paling besar pada keadaan temperatur 90°C dengan campuran nanofluida 1%. Sedangkan, selisih temperatur fluida dingin masuk dan fluida dingin keluar (ΔT_c) paling kecil pada keadaan temperatur 70°C dengan campuran nanofluida 1%.

Pada keadaan campuran nanofluida 1%, dengan temperature 70°C, (ΔT_c) menunjukkan angka 9,7°C. Temperatur pun mengalami kenaikan menjadi 80°C, hasilnya (ΔT_c) mengalami kenaikan sebesar 11,7°C. Pada temperatur 90°C, (ΔT_c) makin mengalami kenaikan dan menunjukkan angka sebesar 14,7°C.

Dari grafik dapat disimpulkan hubungan antara temperatur dengan (ΔT_h) dan (ΔT_c) bahwa semakin besar temperatur akan memperbesar (ΔT_h) maupun (ΔT_c) hal ini karena nanofluida akan semakin banyak menyerap panas yang melewati *tube* dikarenakan partikel yang ada pada CuO dapat menyerap panas dengan baik, apalagi jika dibantu dengan temperatur yang makin besar maka pergerakan partikelnya akan lebih cepat untuk menyerap panas. Dengan semakin banyak partikel CuO yang ada, dan semakin tingginya temperatur, maka akan cepat menyerap panas sehingga perpindahan panas dari fluida panas yang memiliki temperatur lebih tinggi, ke fluida dingin yang memiliki temperatur lebih rendah, menjadi lebih besar.

• **Pengaruh Variasi Temperatur Dengan Campuran Nanofluida Terhadap Nilai Laju Perpindahan Panas Menyeluruh (U)**



Gambar 4. Grafik Pengaruh Temperatur Dengan Campuran Nanofluida Nilai Laju Perpindahan Panas Menyeluruh (U)

Pada gambar diatas terlihat bahwa grafik menunjukkan pengaruh temperature terhadap nilai laju perpindahan panas menyeluruh (U). Pada grafik di atas terlihat bahwa laju perpindahan panas menyeluruh (U) naik seiring dengan kenaikan temperatur. saat campuran nanofluida 1%, pada keadaan temperatur 70°C, laju perpindahan panas menyeluruh memiliki nilai sebesar 382,3257533 W/m²K. Laju perpindahan panas menyeluruh pun akan meningkat seiring meningkatnya temperatur pada 80°C, yaitu sebesar 395,1332405 W/m²K. Pada temperatur 90°C, laju perpindahan panas menyeluruh semakin meningkat sebesar 414,6472317 W/m²K.

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa laju perpindahan panas menyeluruh (U) akan meningkat seiring meningkatnya temperatur. Hal ini dikarenakan laju perpindahan panas dipengaruhi oleh nilai koefisien perpindahan panas konveksi dan konduksi pada *shell* maupun *tube*. Koefisien panas konveksi yang terjadi pada *shell* lebih kecil dari pada *tube*, hal ini yang menjadikan bahwa nilai perpindahan panas yang diserap oleh fluida dingin besar, sehingga mengakibatkan U juga besar sehingga setiap peningkatan temperatur, otomatis U juga semakin besar.

• **Pengaruh Variasi Temperatur dengan Campuran Nanofluida Terhadap Laju Perpindahan Panas (q) Dengan Metode LMTD (Log Mean Temperature Diffrencece)**



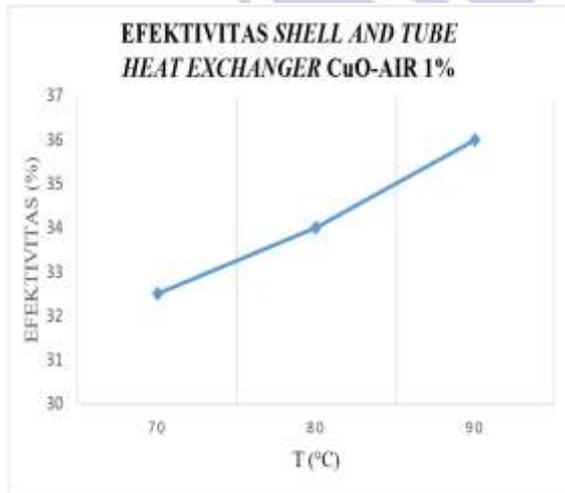
Gambar 5. Grafik Pengaruh Temperatur Dengan Campuran Nanofluida Terhadap Laju Perpindahan Panas (q)

Pada gambar diatas terlihat bahwa grafik pengaruh temperatur terhadap laju perpindahan panas (q). Terlihat pada grafik, bahwa laju perpindahan panas akan meningkat seiring meningkatnya temperatur. Pada saat fluida diberi nanofluida 1%, laju perpindahan panas meningkat menjadi 5044,5790 Watt pada saat temperatur

70°C. Saat temperatur mengalami peningkatan menjadi 80°C, laju perpindahan panas akan menjadi meningkat menjadi 6348,8487 Watt. Laju perpindahan panas makin meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur menjadi 90°C. Pada saat temperatur 90°C, maka laju perpindahan panasnya menjadi 8166,7989 Watt.

Berdasarkan hal ini, dapat disimpulkan bahwa laju perpindahan panas meningkat seiring dengan kenaikan temperatur. Hal ini dikarenakan laju perpindahan panas menyeluruh (U) juga ikut naik sehingga menyebabkan laju perpindahan panas (q) serta merta naik. Saat temperatur naik, maka partikel nanofluida akan memecah, dimana setiap partikel nanofluida dapat menyerap panas dari fluida panas yang mengalir pada *tube*. Semakin tinggi temperatur maka penyerapan panas akan makin cepat diserap oleh nanofluida yang berada di *shell*, sehingga laju perpindahan panas juga akan semakin besar.

• **Pengaruh Variasi Temperatur dengan Campuran Nanofluida Terhadap Efektivitas Shell and Tube Heat Exchanger Dengan Metode Effectiveness-NTU**



Gambar 6. Grafik Pengaruh Variasi Temperatur Dengan Campuran Nanofluida Terhadap Efektivitas Shell and Tube Heat Exchanger Dengan Metode Effectiveness-NTU

Pada gambar diatas terlihat bahwa grafik pengaruh variasi temperatur menggunakan nanofluida terhadap efektivitas *shell and tube heat exchanger* dengan metode *effectiveness-NTU* yang menggambarkan kenaikan efektivitas seiring dengan naiknya temperatur yang dicampurkan nanofluida. Nanofluida dicampurkan dalam fluida sebesar 1%. Pada temperatur 70°C, efektivitasnya menjadi 32,5%. Temperatur pun dinaikkan menjadi 80°C, efektivitas *shell and tube heat exchanger* meningkat menjadi 34,0%. Efektivitas *shell and tube*

heat exchanger pun meningkat menjadi 36,0% saat temperatur ditingkatkan menjadi 90%.

Hal di atas menunjukkan, bahwa efektivitas *shell and tube heat exchanger* akan meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur yang dicampurkan nanofluida. Hal ini dikarenakan semakin tinggi temperatur yang bekerja pada fluida, maka perpindahan panas akan lebih tinggi, dan ditambah dengan nanofluida yang berfungsi penyerap panas, maka panas akan semakin diserap karena partikel nanofluida yang terpecah karena tingginya temperatur juga semakin banyak. Hal inilah yang menyebabkan efektivitas *shell and tube heat exchanger* semakin besar.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian pada *shell and tube heat exchanger* mengenai pengaruh temperatur yang dicampurkan nanofluida CuO – air terhadap laju perpindahan panas dan efektivitas serta pengolahan data, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Seiring dengan meningkatnya temperatur yang dicampurkan nanofluida CuO laju perpindahan kalor konveksi semakin meningkat yang disebabkan temperatur yang tinggi akan membuat gerakan nanofluida semakin cepat dan menyerap kalor fluida panas yang mengalir di sisi *tube*, laju perpindahan yang paling optimal pada temperatur 90°C yang dicampurkan nanofluida 1% sebesar 8166,7989 Watt..
- Efektivitas yang paling optimal pada *shell and tube heat exchanger* terjadi pada temperatur 90°C dengan campuran nanofluida 1% sebesar 36%.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian maka diberikan saran sebagai berikut:

- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai proses perpindahan panas pemodelan visualisasi yang terjadi pada nanofluida akibat pengaruh temperatur.
- Diharapkan ada penelitian lebih lanjut yang membahas nanofluida lainnya yang didasarkan sifat kimia selain CuO dikarenakan banyak faktor yang mempengaruhi efektivitas, sehingga mendapatkan nilai efektivitas paling optimal dari *shell and tube heat exchanger*.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, Nurlan, Arsana, I Made, 2018. Performance Simulation of Shell and Tube Heat Exchanger with Helical and Disc-Doughnut Baffles. (Simulasi Performansi Heat Exchanger tipe Shell and Tube dengan Helical Baffle dan Disk and Doughnut Baffle). JTM. Vol.06, no. 01, pp.61-68.
- Agista, Diaz Rizky, 2018 Uji Eksperimental Pengaruh Temperatur dan Fraksi Volume Terhadap Perpindahan Kalor Konveksi Nanofluida Air – Al₂O₃ pada Shell And Tube Heat Exchanger. JTM. Vol.06, No. 02, pp.1-5.
- Azad, Abazar Vahdat. 2016. *Application of Nanofluids for the Optimal Design of Shell and Tube Heat Exchanger Using Genetic Algorithm*. Journal of Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Iran
- Cengel Y.A. 2003, *Heat Transfer: A Practical Approach*, Second Edition, McGraw- Hill.
- Ghane, M., et al. 2010. *Synthesis and Characterization of a Bi-Oxide nanoparticle ZnO/CuO by Thermal Decomposition of Oxalate Precursor Method*. *International Journal of Nano Dimension*. ISSN : 2008-8868.
- I. M. Arsana, K. Budhikarjo, A. Susianto, and A. Altway, Modelling of the single staggered wire and tube heat exchanger, *Int. J Appl. Eng. Res.*, 11, No. 8,5591-5599(2016)
- I. M. Arsana. 2020. The Effect of Nanofluid Volume Fraction to The Rate of Heat Transfer Convection Nanofluid Water-Al₂O₃ on Shell and Tube Heat Exchanger. *Journal of Physics: Conference Series*. Conf. Ser. 1569 032048
- I. M. Arsana. 2020. The Influence of Baffle Gap to The Effectiveness of Shell and Tube Heat Exchanger with Helical Baffle. *Journal of Physics: Conference Series*. Conf. Ser. 1569 042091
- I. M. Arsana, L. C. Muhimmah, G. Nugroho and R. A. Wahyuono. 2021. Enhanced Heat Transfer Effectiveness Using Low Concentration SiO₂-TiO₂ Core-Shell Nanofluid In A Water/Ethylene Glycol Mixture. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. Vol. 94, No. 2 DOI 10.1007/s10891-021-02312-x
- Incropera, Frank. 2002. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 7th Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc
- Johan, M. R., et al. 2011. *Annealing Effect on the Properties of Copper Oxide Thin Films Prepared by Chemical Deposition*. *Int. J. Electrochem.*, 6(2011): 6094-6104.
- M. F. Nabil, W. H. Azmi, K. A. Hamid and R. Mamat, Experimental investigation of heat transfer and friction factor of TiO₂-SiO₂ nanofluid in water:ethylene glycol mixture, *Int. J. Heat Mass Transf.*,124, 1361-1369 (2018)
- Nazar, Reinaldy. 2016. Kajian Numerik Korelasi Perpindahan Panas Konveksi Alamiah Aliran Nanofluida ZrO₂ – Air pada Anulus Vertikal. Bandung: Jurnal Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan.
- Pantzalia MN, Kanarisa AG, Antoniadisb KD, Mouza AA, Paras SV. *Effect of nanofluids on the performance of a miniature plate heat exchanger with modulated surface*. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 2009;30:691–9
- Putra, Nandy dkk. 2005. Pengukuran Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi Fluida Air Bersuspensi Nano Partikel (Al₂O₃) pada *Fintube Heat Exchanger*. *Jurnal Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia*.
- Putra, Alfian Rizqi Laksana. 2017. Perencanaan Sistem Instrumentasi pada Rancang Bangun *Heat Exchanger Type Shell and Tube*. Skripsi. Teknik Mesin Konversi Energi Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya.
- S. T. Pramesti, I Made Arsana. 2020. Experimental Study of Baffle Angle Effect On Heat Transfer Effectiveness Of The Shell And Tube Heat Exchanger Using Helical Baffle. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*. Vol. 43, No. 3. Pp. 332-338.
- Shedid, Mohammed A. 2014. Computational Heat Transfer for Nanofluids through an Annular Tube. *Journal Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering Helwan University*. Cairo, Egypt.
- Setyoko, Bambang. 2008. Evaluasi Kinerja *Heat Exchanger* Dengan Metode *Fouling Factor*. Vol 29. Fakultas Teknik: Universitas Negeri Surabaya.
- Sitompul, Tunggal M. 1993 “Alat Penukar Kalor (*Heat Exchanger*)” Jakarta, Rajawali Pres.
- Suroso, Bekti dkk. 2015. Pengaruh Temperatur dan Fraksi Volume Terhadap Nilai Perpindahan Kalor Konveksi Fluida Nano TiO₂ / Oli Termo XT32.
- T. Srinivas, A. Venu Vinod 2015. *Heat Transfer Enhancement Using CuO / Water Nanofluid in a Shell and Helical Coil Heat Exchanger*.
- Theodore H.Okiishii Bruce R. Munson. *Fundamentals of fluids mechanics 4th Edition*. US : John Wiley & Son, Inc, 2002.
- Thulukkanam, Kuppan. 2013. *Heat Exchanger Design Handbook Second Edition*. Taylor & Francis Group. CRC Press.
- Wardhani, Indriati Sri. 2014. Fluida Nano ZrO₂ sebagai Fluida Pendingin pada Permukaan Pemanas Pelat Vertikal: Studi Eksperimental. Bandung: Jurnal Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan.

Wang, L. 2006. *Preparation and Characterization of Properties of Electrodeposited Copper Oxide Films. Disertation. Texas: The University of Texas at Arlington.*

