

PENGARUH TEMPERATUR DAN FRAKSI VOLUME TERHADAP NILAI PERPINDAHAN KALOR KONVEKSI FLUIDA NANO TiO₂/OLI TERMO XT32 PADA PENUKAR KALOR PIPA KONSENTRIK

Bekti Suroso¹, Samsul Kamal², Budi Kristiawan³

¹ Mahasiswa Pascasarjana – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Gadjah Mada

² Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Gadjah Mada

³ Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

Keywords :

*Nanofluids
Concentric Tube Heat
Exchanger
TiO₂ Nanoparticle
Heat Transfer Coefficient*

Abstract :

This research was conducted to examine the heat transfer characteristic of TiO₂/oil termo XT 32 nanofluid on a concentric tube heat exchanger. TiO₂ nanoparticles with nominal diameter of 21 nm were dispersed in oil termo XT 32 as base fluid at three different particles concentration of 0.1%, 0.3%, and 0.3% respectively. A straight horizontal stainless-steel tube of 1.2 m length, 0.012 m inner diameter and 0.022 m outer diameter was used as a test section. Collecting data by varying the temperature of the heat transfer fluid nano and nano particle volume fraction. Nano fluid prepared using the method of two steps without the addition of a surfactant by using a magnetic stirrer for 1 hour then ultrasonic cleaner for 3 hours. The results showed that the convective heat transfer coefficient of nanofluids has been increased with the addition of liquid volume fractions on the basis of the heat exchanger.

1. PENDAHULUAN

Perpindahan kalor memiliki peranan penting dalam banyak aplikasi. Seperti *Heat exchanger* merupakan peralatan yang menggunakan prinsip perpindahan kalor. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin pesat, ditandai dengan kecenderungan dimensi produk yang semakin kecil sekaligus peningkatan kemampuan perpindahan kalor. Salah satu cara untuk meningkatkan perpindahan kalor adalah memperbaiki properti dari fluida yang digunakan. Umumnya fluida yang digunakan memiliki konduktivitas termal yang rendah. Dengan menambahkan partikel padat berukuran nanometer diharapkan mampu memperbaiki properti fluida.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui peningkatan perpindahan kalor konveksi yang dipengaruhi oleh variasi temperatur dan variasi fraksi volume fluida nano TiO₂/oli termo XT32 pada penukar kalor pipa konsentrik. Manfaat yang diharapkan pada penelitian ini adalah Memberikan pengetahuan baru yang berhubungan dengan perpindahan kalor konveksi fluida nano menggunakan Alat penukar kalor pipa konsentrik. Memberikan informasi bagi peneliti selanjutnya yang akan melakukan penelitian berkaitan dengan fluida nano TiO₂ / Oli Termo XT 32 pada alat penukar kalor pipa konsentrik. Beberapa artikel penelitian yang berhubungan dengan fluida nano adalah sebagai berikut.

Torii (2007) melakukan penelitian mengenai perpindahan kalor konveksi dari suspensi partikel nano berlian dengan air sebagai fluida dasarnya. Hasilnya menunjukkan bahwa viskositas fluida nano meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi partikel nano. Nilai bilangan reynolds dan besar konsentrasi partikel nano sangat mempengaruhi besarnya nilai koefisien perpindahan kalor, koefisien perpindahan kalor meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi partikel, dan nilai konduktivitas termal fluida kerja.

Murshed, dkk (2008) melakukan penelitian mengenai karakteristik perpindahan kalor konveksi fluida nano TiO₂/air dibawah kondisi fluks kalor konstan. Hasil yang didapat bahwa fluida nano menunjukkan adanya peningkatan koefisien perpindahan kalor konveksi seiring dengan meningkatnya jumlah volume dari partikel nano pada larutan.

Duangthongsuk dan Wongwises (2010) meneliti performa perpindahan kalor dan penurunan tekanan dari fluida nano TiO₂/air dibawah kondisi aliran turbulen. Hasilnya nilai konduktivitas termal dari fluida nano meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi volume dari partikel nano. Nilai konduktivitas termal lebih tinggi dibanding dengan persamaan validasi, namun masih dalam trend yang sama. Nilai koefisien perpindahan kalor fluida nano lebih tinggi dibandingkan dengan fluida dasarnya. Serta meningkat seiring dengan meningkatnya bilangan reynolds dan konsentrasi dari partikel yang digunakan dan berkisar 26% lebih tinggi dari fluida dasarnya.

Murshed dan Castro (2011) melakukan penelitian mengenai perpindahan kalor konveksi dari fluida nano pada saluran mini. Hasil dari penelitiannya menunjukkan bahwa koefisien perpindahan kalor fluida nano lebih

tinggi dari fluida dasarnya dan meningkat seiring dengan meningkatnya bilangan reynolds dan laju aliran. Penggunaan fluida nano sebagai fluida untuk mentransfer kalor dapat dikatakan sangat menjanjikan karena hasil keseluruhan dari performa perpindahan kalor menunjukkan peningkatan yang tinggi.

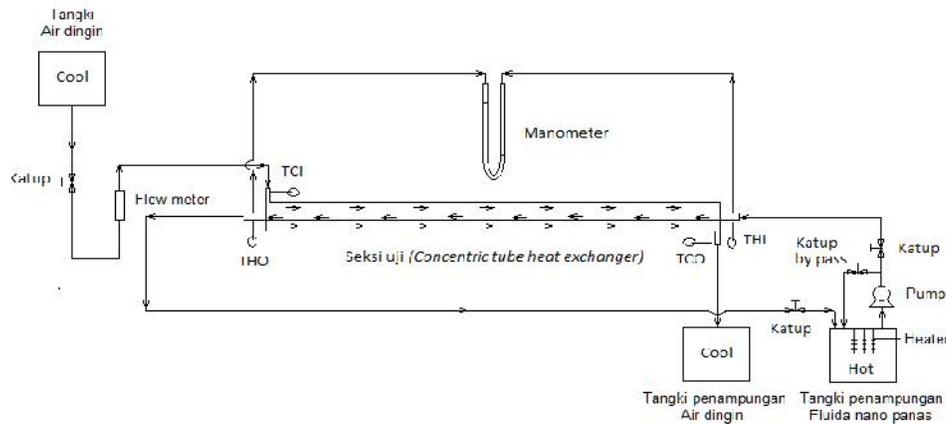
Ivan kusuma putra, dkk (2012) melakukan penelitian mengenai perpindahan kalor konveksi fluida nano $TiO_2/ethylene glycol$ pada *circular tube* dibawah kondisi fluks kalor konstan. Hasilnya nilai konduktivitas termal fluida kerja mengalami peningkatan dari fluida dasar dengan peningkatan tertinggi pada variasi 1% (w/v) sebesar 8,62%. Nilai perpindahan kalor dari fluida nano TiO_2/EG sebagai fluida kerja pada alat penukar kalor dapat dilihat dari besarnya nilai bilangan nusselt yang didapat dari perhitungan. Nilai bilangan reynolds dari 400 ke 700 terjadi peningkatan perpindahan kalor. Peningkatan tertinggi dicapai pada konsentrasi 1% (w/v) sebesar 30,55% dari fluida dasarnya.

2. METODOLOGI PENELITIAN

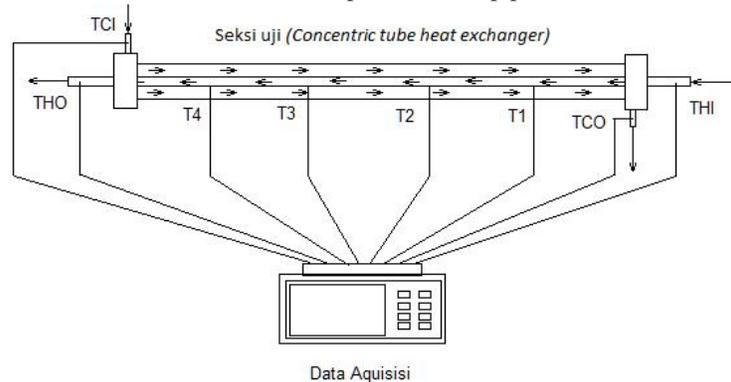
Pada penelitian ini, alat yang digunakan terdiri dari saluran uji, pemanas fluida nano, pengontrol temperatur, dan alat ukur temperatur serta manometer. Saluran uji terdiri dari pompa fluida nano, saluran uji, serta tangki penampungan. Untuk alat pengukur temperatur menggunakan *portable data logger omron 20 chanel* yang terintegrasi pada saluran masuk dan keluar fluida kerja, serta dinding luar seksi uji, sensor temperatur menggunakan *thermocouple type K*, seksi uji menggunakan bahan *stainless-steel* sepanjang 1,2 m, dengan diameter pipa dalam 0,0012 m dan diameter pipa luar 0,0022 m. Untuk mengalirkan fluida nano panas menggunakan pompa oli mobil. Arah aliran kedua fluida kerja berlawanan arah (*counter flow*), dan pengujian dilakukan pada posisi alat penukar kalor mendatar, fluida kerja dipipa dalam adalah fluida nano panas yang temperatur masuknya dijaga konstan pada temperatur 80°C, 100°C dan 120°C, sedangkan fluida kerja diannulus adalah air dingin dengan temperatur masukkan ± 32°C.

pada penelitian ini, jumlah *thermocouple* yang digunakan sebanyak 8 buah, 4 *thermocouple* untuk mengetahui temperatur dinding luar seksi uji yang dipasang pada posisi 0,2 m (T_{w1}), 0,4 m (T_{w2}), 0,6 m (T_{w3}), dan 0,8 m (T_{w4}) dan 4 *thermocouple* untuk mengetahui temperatur saluran masuk dan keluar 2 fluida kerja.

Partikel nano yang digunakan pada penelitian ini adalah TiO_2 dengan diameter partikel 21 nm. dan fluida dasar yang digunakan adalah Oli termo XT 32 serta fluida kerja dingin adalah air. Variasi fraksi volume antara 0,1%, 0,3% dan 0,5%.



Gambar 2.1. Skema alat penukar kalor pipa konsentrik



Gambar 2.2. Skema letak *thermocouple* pada alat penukar kalor pipa konsentrik

Data yang didapatkan pada penelitian ini adalah debit fluida kerja dipipa dalam dan debit fluida kerja diannulus, temperatur masuk dan keluar kedua fluida kerja dan temperatur dinding luar seksi uji. dari data tersebut maka akan didapatkan nilai perpindahan kalor konveksi pada alat penukar kalor pipa konsentrik.

2.1 Karakteristik Sifat-Sifat Fluida Nano

2.1.1 Densitas

Densitas merupakan salah satu parameter keberhasilan pencampuran fluida nano. Semakin tinggi densitas maka kerapatan partikel nano dalam fluida dasarnya semakin besar. sehingga akan meningkatkan konduktivitas termal. Densitas dari fluida nano dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan dari korelasi Pak dan Cho (1998) :

$$\rho_{nf} = \rho_p + (1 - \phi) \rho_{bf} \quad (1)$$

dengan, ϕ adalah fraksi volume partikel nano, ρ_p adalah densitas partikel nano (kg/m^3), ρ_{bf} adalah densitas fluida dasar (kg/m^3), ρ_{nf} adalah densitas fluida nano (kg/m^3).

2.1.2 Viskositas

Karakteristik viskositas fluida nano yang tinggi akan memiliki tahanan perpindahan kalor yang tinggi. Untuk mengukur viskositas fluida nano dapat menggunakan viskosimeter Ostwald, dapat juga menggunakan persamaan dari Einstein (1956) :

$$\mu_{nf} = (1 + 2,5 \phi) \mu_{bf} \quad (2)$$

dengan, ϕ adalah fraksi volume partikel nano, μ_{nf} adalah viskositas efektif fluida nano, μ_{bf} adalah viskositas dinamik fluida dasar.

2.1.3 Panas Spesifik (Heat Capacity)

Untuk menghitung panas spesifik fluida nano pada tekanan konstan $C_{p,nf}$ dapat diestimasi berdasarkan korelasi dari Xuan dan Roetzel :

$$(C_p)_{nf} = (C_p)_p + (1 - \phi) (C_p)_{bf} \quad (3)$$

dengan, ϕ adalah fraksi volume partikel nano, $C_{p,nf}$ adalah panas spesifik fluida nano, $C_{p,p}$ adalah panas spesifik partikel nano, $C_{p,bf}$ adalah panas spesifik fluida dasar.

2.1.4 Konduktivitas termal

Konduktivitas termal digunakan untuk mengukur tingkat kemampuan penukaran kalor dari suatu material baik *solid* maupun *liquid*. Pada umumnya alat yang digunakan untuk mengukur konduktivitas termal adalah *Transient hot wire*. dapat juga menggunakan persamaan dari Maxwell :

$$k_{nf} = \frac{k_p + 2k_{bf} + 2(k_p - k_{bf})\phi}{k_p + 2k_{bf} - (k_p - k_{bf})\phi} k_{bf} \quad (4)$$

dengan, ϕ adalah fraksi volume partikel nano, k_{nf} adalah konduktivitas termal fluida nano, k_p adalah konduktivitas termal partikel nano, k_{bf} adalah konduktivitas termal fluida dasar.

2.2 Penentuan Fraksi Volume

Pada penelitian ini, cara menentukan fraksi volume fluida nano dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\phi = \frac{V_p}{V_l} \quad (5)$$

$$V_p = \frac{W_p}{\rho_p} \quad (6)$$

$$W_p = V_p \times \rho_p \quad (7)$$

dengan, ϕ adalah fraksi volume, V_p adalah volume partikel (cm^3), V_l adalah volume larutan fluida dasar, W_p adalah berat partikel (kg), ρ_l adalah massa jenis larutan fluida dasar (kg/m^3), ρ_p adalah massa jenis partikel nano (kg/m^3).

2.3 Perpindahan Kalor Konveksi

Pada sebuah penukar kalor yang diisolasi dengan baik, laju perpindahan kalor dari fluida panas sama dengan laju perpindahan kalor ke fluida dingin. Sehingga,

$$Q_c = \dot{m}_c \cdot C_{p,c} \cdot (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (8)$$

$$Q_h = h \cdot C_{p,h} \cdot (T_{h,o} - T_{h,i}) \quad (9)$$

dengan, Q_h adalah laju perpindahan kalor di pipa dalam (W), Q_c adalah laju perpindahan kalor di annulus (W), c adalah laju aliran massa fluida dingin di annulus (kg/s), h adalah laju aliran massa fluida panas dipipa dalam (kg/s), $C_{p,c}$ adalah panas jenis fluida dingin di annulus (kJ/kg.°C), $C_{p,h}$ adalah panas jenis fluida panas dipipa dalam (kJ/kg. °C), $T_{c,o}$ adalah temperatur fluida dingin keluar annulus (°C), $T_{c,i}$ adalah temperatur fluida dingin masuk annulus (°C), $T_{h,o}$ adalah temperatur fluida panas keluar pipa dalam (°C), $T_{h,i}$ adalah temperatur fluida panas masuk pipa dalam (°C).

$$Q = U \cdot A_s \cdot T_{LMTD} \quad (10)$$

$$T_{LMTD} = \frac{\Delta T_1 + \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (11)$$

$$T_1 = T_{h,i} - T_{c,o} \quad (12)$$

$$T_2 = T_{h,o} - T_{c,i} \quad (13)$$

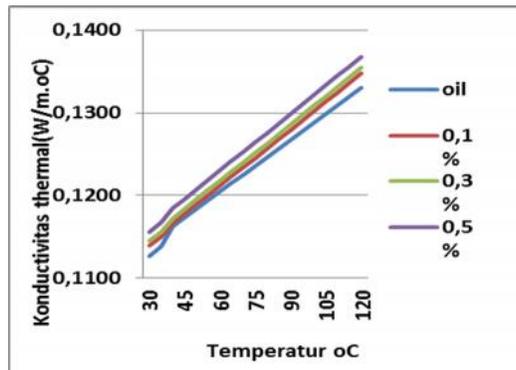
dengan, Q adalah laju perpindahan kalor (W), U adalah koefisien perpindahan kalor *overall* (W/m², °C), A_s adalah luas perpindahan kalor (m²), T_{LMTD} adalah beda temperatur rata-rata logaritmik (°C), T_1 , T_2 adalah perbedaan temperatur antara dua fluida pada sisi *inlet* dan *outlet* (°C).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian Herry Irawansyah (2015) dengan judul Pengaruh temperatur dan fraksi volume terhadap karakteristik sifat-sifat termofisik fluida nano TiO₂/Oli termo XT32 didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 3.1. Konduktivitas termal fluida dasar dan fluida nano (W/m.°C)

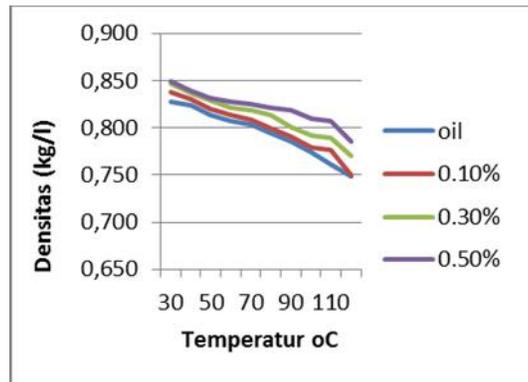
No	Temperatur	oli	Fraksi volume		
			0,1%	0,3%	0,5%
1	30	0,1126	0,1139	0,1144	0,1156
2	35	0,1138	0,1149	0,1155	0,1167
3	40	0,1162	0,1166	0,1172	0,1184
4	45	0,117	0,1178	0,1184	0,1196
5	50	0,118	0,1189	0,1195	0,1207
6	55	0,119	0,1200	0,1206	0,1219
7	60	0,120	0,1212	0,1218	0,1230
8	65	0,121	0,1223	0,1229	0,1242
9	70	0,123	0,1234	0,1240	0,1253
10	75	0,124	0,1246	0,1252	0,1265
11	80	0,125	0,1257	0,1263	0,1276
12	85	0,126	0,1268	0,1275	0,1288
13	90	0,127	0,1280	0,1286	0,1299
14	95	0,128	0,1291	0,1297	0,1311
15	100	0,129	0,1302	0,1309	0,1322
16	105	0,130	0,1314	0,1320	0,1334
17	110	0,131	0,1325	0,1332	0,1345
18	115	0,132	0,1336	0,1343	0,1357
19	120	0,133	0,1348	0,1354	0,1368



Gambar 3.1 Grafik Konduktivitas termal fluida nano TiO₂ dengan variasi temperatur dan fraksi volume.

Tabel 3.2. Densitas fluida dasar dan fluida nano (kg/l)

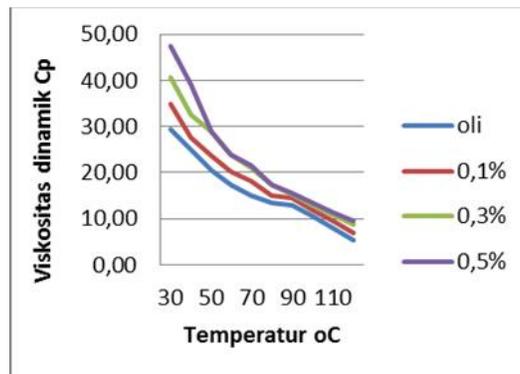
No	Temperatur	oli	Fraksi volume		
			0,1%	0,3%	0,5%
1	30	0,827	0,838	0,846	0,849
2	40	0,824	0,830	0,836	0,839
3	50	0,813	0,820	0,828	0,831
4	60	0,807	0,813	0,821	0,828
5	70	0,803	0,808	0,819	0,825
6	80	0,795	0,799	0,813	0,822
7	90	0,786	0,791	0,800	0,819
8	100	0,774	0,779	0,791	0,809
9	110	0,761	0,776	0,789	0,807
10	120	0,749	0,750	0,770	0,786



Gambar 3.2. Grafik Densitas fluida nano TiO₂ dengan variasi temperatur dan fraksi volume.

Tabel 3.3. Viskositas fluida dasar dan fluida nano.

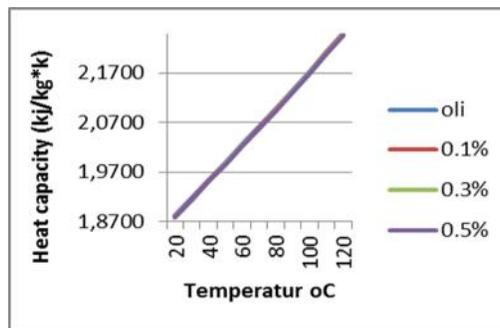
No	Temperatur	oli	Fraksi volume		
			0.1%	0.3%	0.5%
1	30	29,50	34,81	40,71	47,50
2	40	25,00	27,50	32,50	39,00
3	50	20,50	23,58	28,91	29,00
4	60	17,50	20,30	23,80	24,00
5	70	15,00	18,15	21,00	21,50
6	80	13,50	15,12	17,28	17,50
7	90	13,00	14,43	15,21	15,50
8	100	10,50	11,97	13,02	13,50
9	110	8,00	9,51	10,83	11,50
10	120	5,50	7,05	8,64	9,50



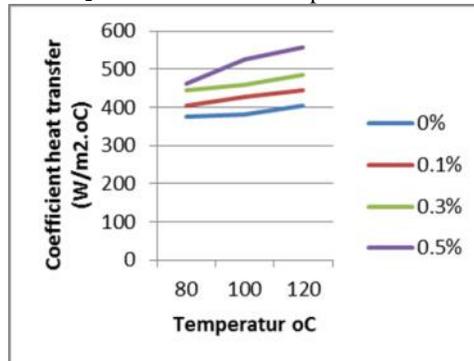
Gambar 3.3 Grafik Viskositas fluida nano TiO₂ dengan variasi temperatur dan fraksi volume

Tabel 3.4. *Heat Capacity* fluida dasar dan fluida nano (kj/kg.K)

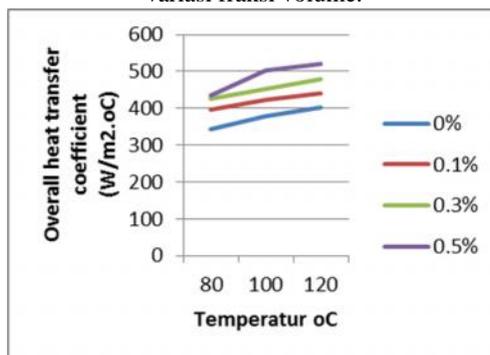
No	Temperatur	Cp oli	Cp fluida nano		
			0,10%	0,30%	0,50%
1	20	1,8820	1,8808	1,8796	1,8784
2	30	1,9180	1,9168	1,9155	1,9143
3	40	1,9540	1,9527	1,9515	1,9502
4	50	1,9900	1,9887	1,9874	1,9861
5	60	2,0260	2,0247	2,0233	2,0220
6	70	2,0620	2,0606	2,0592	2,0579
7	80	2,0980	2,0966	2,0952	2,0938
8	90	2,1340	2,1326	2,1311	2,1297
9	100	2,1730	2,1715	2,1700	2,1685
10	110	2,2120	2,2105	2,2089	2,2074
10	120	2,2510	2,2494	2,2479	2,2463



Gambar 3.4. Grafik *Heat Capacity* fluida nano TiO₂ dengan variasi temperatur dan fraksi volume. Hasil penelitian perpindahan kalor konveksi, berdasarkan eksperimen yang dilakukan pada alat penukar kalor pipa konsentrik dengan fluida nano TiO₂/Oli termo XT32 didapatkan data sebagai berikut:



Gambar 3.5 Grafik *coefficient heat transfer* fluida nano TiO₂ /Oli termo XT32 dengan variasi temperatur dan variasi fraksi volume.



Gambar 3.6 Grafik *overall heat transfer coefficient* fluida nano TiO₂ /Oli termo XT32 dengan variasi temperatur dan variasi fraksi volume.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data dan pembahasan mengenai penelitian pengaruh temperatur dan fraksi volume terhadap perpindahan kalor konveksi fluida nano TiO_2 /Oli termo XT32 pada penukar kalor pipa konsentrik, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan adanya penambahan partikel nano pada fluida dasar alat penukar kalor pipa konsentrik, maka nilai perpindahan kalor juga meningkat seiring dengan penambahan variasi temperatur dan variasi fraksi volume pada fluida nano, hal ini dikarenakan adanya peningkatan pada konduktivitas fluida nano. dapat dilihat pada gambar 3.1 Grafik konduktivitas termal, dan gambar 3.5. Grafik *coefficient heat transfer*.
2. Pada gambar 3.5. grafik *coefficient heat transfer* dan gambar 3.6.grafik *overall heat transfer coefficient* memperlihatkan bahwa pada fraksi volume 0.5% adalah nilai perpindahan kalor konveksi tertinggi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Daunghongsuk, W. & Wongwises, S., 2010, *an experimental study on the heat transfer performance and pressure drop of TiO_2 -water nanofluids flowing under a turbulent flow regime*, *international journal of heat and mass transfer*, vol.53, pp. 334-334.
- Duangthongsuk, W., & Wongwises, S., 2009, *measurement of temperature dependent thermal conductivity and viscosity of TiO_2 water nanofluids*. *experimental thermal and fluid science.*, 33, 706-714.
- Haddad, Zoubida., Chérifa Abid., Hakan F. Oztop., & Amina Mataoui., 2014, *a review on how the Researchers Prepare Their Nanofluids.*” *International Journal of Thermal Sciences.*, 76, 168-189.
- Istanto, T., dan Yaningsih, I., 2013, Studi Eksperimental Karakteristik Perpindahan Panas dan Faktor Gesekan Pada Penukar Kalor Pipa Konsentrik dengan *Peripherally-Cut Twisted Tape Insert With Alternate-Axis*, jurnal nasional, vol. ISSN 1412-9612.
- Juneja, Mahesh, dan D. Gangacharluy., 2013, *Experimental Analysis on Influence of Temperatur and Volume Fraction of Nanofluids on Thermophysical Properties.*” *International Journal of Emerging Technologies in Computational and Applied Science (IJETCAS)*, pp. 233-238.
- Khedkar, R., Sonawane, S., dan Wasewar, K., 2013, *Water to Nanofluids heat transfer in concentric tube heat exchanger: Experimental study*, *journal international Chemical, Civil and Mechanical Engineering Tracks of 3rd Nirma University International Conference on Engineering*, Vol. 51, pp. 318-323.
- Kusuma, I., Kristiawan, B., dan Prasetyo, E., 2012, Studi Eksperimental Perpindahan Kalor Konveksi Fluida Nano TiO_2 -Ethylene Glycol pada *Circular Tube* di bawah Kondisi Fluks Kalor Konstan, jurnal nasional, Vol. 10, pp. 117-124.
- Mintsu, Honorine Angue, Gilles Roy, dan Cong Tam Nguyen., 2009, *New Temperature Dependent Thermal Conductivity Data for Water-Base Nanofluids.* “ *International Journal of Thermal Sciences*”. 48, 363-371.
- Murshed, S. M. S., Leong, K. C., Yang, C. & Nguyen N. T., 2008, *Convective Heat Transfer Characteristics of Aqueous TiO_2 Nanofluids Under Laminar Flow Condition*, *International Journal of Nanoscience*, Vol, 7, No. 6, pp.325-331.
- Murshed. S. M. S. & Nieto De Castro. C. A., 2011. *Forced Convective Heat Transfer of Nanofluids In Minichannel. In Two Phase Flow. Phase Change and Numerical Modeling.* Ed., A. Ahsan. Chapter 18. pp. 419-434. INTECH. Vienna.
- Ravnik, J., Skerget, L., dan Hribersek, M., 2010, *Analysis of three-dimensional natural convection of nanofluids by BEM*, *International Journal Engineering Analysis with Boundary Elements*, vol.34
- Sun, B., Yang, D., dan Lei, W., 2015, *Flow and convective heat transfer characteristics of Fe_2O_3 - water nanofluids inside copper tube*, *International journal Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 64, pp.21-28.
- Torii, S., 2007, *Experimental Study on Convective Heat Transfer of Aqueous Suspension of Nano-Diamond Particles*, *Proceedings of International Symposium on Ecotopia Science 2007*, ISETS07.
- Usman, L., 2011, Pengujian Karakteristik Perpindahan Panas dan Faktor Gesekan Pada Penukar Kalor Pipa Konsentrik Saluran Annular dengan *Half Length* dan *Full Length Twisted Tape Insert*, tugas akhir, vol. 28-39.
- Wildan, Moch., Nurkholis Hamidi, Lilis Yulianti, dan Sudarmadji. Pengaruh Variasi Prosentasi Massa Nanopartikel, Temperatur, dan Fluida Nano Terhadap Fluida Properties Fluida Nano $\text{H}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3$. Malang : Jurusan Teknik Mesin *Fakultas Teknik Universitas Brawijaya*.
- Yang, C., Lie, W., dan Nakayama, A., 2013, *Convective heat transfer of nanofluids in a concentric annulus*, *International Journal of Thermal Sciences*, Vol.71 pp. 249-257.
- Yiamsawasd, Thakleaw., Ahmet Selim Dalkili., dan Somchai Wongwises., 2012, “ *Measurement of The Thermal Conductivity of Titania and Alumina Nanofluids.*” *Thermicimica Acta.*, 545, 48-56.