

STUDI EKSPERIMENTAL EFEKTIVITAS ALAT PENUKAR KALOR PIPA KONSENTRIK SALURAN ANNULAR DENGAN *TWISTED TAPE INSERT* PADA FLUIDA NANO TiO_2 DENGAN FLUIDA DASAR OLI TERMO XT32

Budi Santoso Wibowo¹, 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 :

Fluida Nano

Twisted Tape Insert

Twist Ratio

Abstract :

This research examines the effectiveness of the heat exchanger pipe concentric circles a pass, with pipe in and out pipes made of Stainless Steel. Heat exchanger length 1000 mm. Flow in pipe and annulus is the opposite direction. The working fluid used was titanium dioxide TiO_2 nano-fluid in the pipes. Temperature input 100 °C and cold water in the annulus with temperature input on $\pm 27^\circ C$. Twisted tape insert made of aluminium with a thick strip of 0.76 mm, width 6.25 mm. Twisted tape insert divariasi with a twist ratio 4 and 8, where the length of the pitch in a row of 30 mm, 60 mm and 90 mm. Twisted tape insert installed in a heat exchanger of pipe in pipe concentric circles. The purpose of this research aims to know the influence of the twist ratio of twisted tape insert against the effectiveness of heat transfer and heat transfer enhancement technology examines passively on a heat exchanger by adding additive in the form of nano particles of titanium dioxide TiO_2 on Thermo oil base fluid XT32 for increased effectiveness. Research on the method of this research uses experimental study on the heat exchanger pipe concentric circles with twisted tape insert by varying the velocity of flow in the pipe the inside of the pipe concentric circles and the influence of the twist ratio against the effectiveness of heat transfer with the NTU method and LMTD. The hypothesis of this research is the use of twisted tape insert can enhanced the effectiveness of heat exchanger and with the addition of fluid nano TiO_2 is expected to enhanced the effectiveness of the heat exchange.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan nano teknologi telah mengarah pada kelas fluida baru dan khusus atau disebut nanofluida, yang memiliki potensi besar untuk aplikasi pada perpindahan kalor. Istilah nanofluida berarti dua campuran fase dimana fase yang kontinu biasanya cairan dan fase yang terdispersi terdiri dari nano partikel padat yang sangat halus, berukuran kecil daripada 100 nm.

Choi (1995), orang pertama yang menggunakan istilah nanofluida yang menggunakan fluida cair dengan nano partikel tersuspensi didalamnya. Partikel CuO dan Al_2O_3 berukuran nanometer dicampur dengan fluida cair diantaranya air dan *ethyleneglycol*. Dari hasil penelitiannya diperoleh peningkatan termal konduktivitas sebesar 20%. Peningkatan konduktivitas termal sekitar 60% dapat dicapai untuk nanofluida terdiri dari air dan volume 5% nanopartikel (CuO).

Eastmann et.al, (1997).dalam penelitiannya mengatakan Peningkatan termal konduktivitas sebesar 40% untuk penambahan 0.3% partikel Cu dalam *ethyleneglycol*. Sedangkan Xuan dan Li (2000), menjelaskan suatu prosedur untuk mempersiapkan nanofluidadengan menggunakan peralatan hot wire untuk mengukur konduktivitas termal nanofluida dengan nanopartikel bubuk tembaga yang tersuspensi.

Publikasi penelitian di atas telah banyak menginspirasi penelitian lebih lanjut terhadap sifat-sifat termal nanofluida serta untuk meyakinkan bahwa nanofluida sebagai media perpindahan kalor perlu diperhitungkan prospeknya.

Perkembangan teknologi dibidang *heat exchanger* yang sangat signifikan menuntut performa fluida kerja yang optimum, salah satu fluida kerja yang sering digunakan pada *heat exchanger* adalah oli. Dengan klasifikasi

Heat Exchanger yang berbeda-beda tentunya dibutuhkan oli mesin dengan tingkat kekentalan yang berbeda-beda pula. Faktor viskositas oli merupakan factor penting dalam menunjang performa *heat exchanger*, selain itu oli harus mampu menyerap dan melepaskan kalor dengan optimum.

Penukar kalor (*heat exchanger*) adalah sebuah alat yang digunakan untuk memindahkan kalor antara dua fluida atau lebih. Penukar kalor dapat diklasifikasikan menurut arah aliran fluida atau konstruksinya. Penukar kalor secara luas digunakan dalam aplikasi keteknikan. Alat penukar kalor sudah lama dikenal oleh industri-industri yang berhubungan dengan fenomena perpindahan kalor.

Perbaikan peningkatan kuantitas perpindahan kalor dari semua tipe penukar kalor telah digunakan secara luas dalam industri, diantaranya dalam proses pengambilan kalor kembali (*heat recovery processes*), pendingin udara sistem refrigerasi, dan reaktor kimia. Di samping menyimpan energi utama juga dapat dijadikan pilihan untuk mengurangi ukuran dan berat penukar kalor. Pada saat sekarang ini beberapa teknik peningkatan perpindahan kalor pada penukar kalor telah banyak dikembangkan. Peningkatan kuantitas perpindahan kalor pada dasarnya dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu : memperluas permukaan perpindahan kalor, merusak lapis batas (*boundary layer*) sehingga derajat turbulensi aliran fluida bertambah, dan dengan memutar aliran fluida (*swirl flow*). Salah satu teknik yang digunakan untuk meningkatkan besarnya koefisien perpindahan kalor konveksi adalah dengan memberikan sisipan material. Sisipan material atau yang sering disebut dengan insert berfungsi untuk meningkatkan turbulensi aliran fluida. Turbulensi aliran fluida memiliki efek positif pada koefisien perpindahan kalor konveksi dari alat penukar kalor. Jenis aliran fluida yang turbulen diketahui memiliki nilai perpindahan kalor yang lebih baik dibandingkan dengan jenis aliran laminar.

1.1 Fluida Nano

Penelitian tentang fluida pendingin yang dicampur dengan partikel logam telah dilakukan oleh Maxwell sekitar 100 tahun yang lalu. Tetapi, semua penelitian tersebut menggunakan partikel logam yang berukuran millimeter atau mikrometer. Masalah utama yang dihadapi dengan larutan yang mengandung partikel berukuran milimeter atau mikrometer adalah partikel tersebut cepat mengendap.

Salah satu cara yang dikembangkan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan menggunakan partikel logam berukuran nanometer, atau biasa disebut dengan partikel nano. Fluida dasar yang dicampur dengan partikel nano agar dapat mengubah karakteristik dari fluida dasar disebut dengan fluida nano. Fluida nano merupakan sistem dua fase dengan satu fase (fase padat) dalam fase lainnya (fase cair). Fluida nano dibuat dengan menambahkan partikel nano dengan ukuran rata-rata dibawah 100 nm dalam fluida dasar, misalnya air, oli, *ethylene glycol*. Partikel nano yang biasanya digunakan dalam fluida nano yaitu, partikel logam (Cu, Al, Fe, Au, Ag, dan lain-lain) dan partikel non-logam (Al₂O₃, CuO, Fe₃O₄, TiO₂, SiC, *carbon nanotube*, dan lain-lain). Tujuan dari fluida nano sendiri adalah untuk mendapatkan karakteristik termal setinggi-tingginya dengan kemungkinan konsentrasi sekecil-kecilnya.

Tabel 1.1. Data Konduktivitas Thermal Nano Fluida TiO₂/Oli Termo XT32

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

1.2 Panas Spesifik Fluida Nano

Ada dua persamaan yang berbeda untuk menghitung panas spesifik dari fluida nano, yaitu: Persamaan yang dirumuskan oleh Pak dan Cho's:

$$C_{pnf} = \phi C_{pnp} + (1 - \phi) C_{pb} \tag{1}$$

1.3 Penentuan Fraksi Volume

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

$$= \frac{V_{partikel}}{V_{larutan}} \tag{2}$$

$$V_{partikel} = \frac{w_{partikel}}{larutan} \tag{3}$$

$$W_{partikel} = V_{partikel} \times \dots \times partikel \tag{4}$$

1.4 Parameter-Parameter Pada Twisted Tape Insert

1. *Twist pitch*

Twist pitch didefinisikan sebagai jarak antara 2 titik pada bidang yang sama, diukur sejajar terhadap sumbu *twisted tape*.

2. *Twist ratio*

Twist ratio didefinisikan sebagai perbandingan *pitch* terhadap diameter dalam pipa.

$$y = \frac{H}{d_i} \tag{5}$$

Dimana

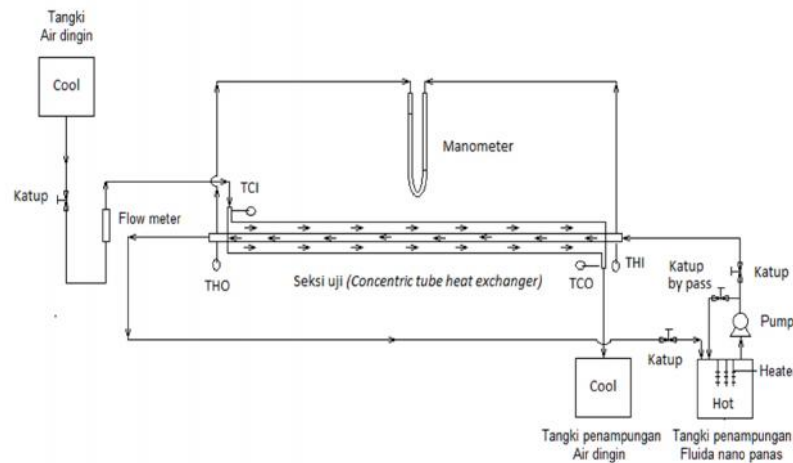
- y = *pitch ratio*,
- H = adalah panjang *pitch twisted tape* dan
- d_i = diameter dalam pipa.



Gambar 1.1. Geometri *Twisted Tape Insert*

2. METODOLOGI

Pada gambar 2.1 dibawah menunjukkan skema rangkain alat eksperimen yang digunakan. Alat percobaan terdiri dari :



Gambar 2.1. Skema instalasi eksperimen

2.1 Prosedur Pengujian

Prosedur yang dilakukan dalam pengambilan data penelitian berdasarkan variasi kecepatan aliran air di pipa dalam (*inner tube*) adalah sebagai berikut :

Prosedur pada penukar kalor tanpa *twisted tape insert* dan dengan *twisted tape insert*.

1. Menyalakan pemanas air elektrik yang berada di tangki oli panas dan menyetel *thermocontroller* pada temperatur 100°C.
2. Menyalakan pompa oli panas.
3. Membuka kran air dingin sehingga air mengalir dari tandon atas ke penampungan air bawah dan membaca *flowmeter*.
4. Mengatur debit aliran oli panas di *inner tube*, debit aliran air dingin di *outer tube* dan membaca *flowmeter*.
5. Membaca temperatur masuk dan keluar oli panas dan temperatur masuk dan keluar air dingin pada termo indikator.

2.2 Parameter Yang Diukur

Adapun parameter yang akan diukur meliputi :

1. Debit air dingin yang melalui *inlet*.
2. Debit oli panas yang melalui *inlet*.
3. Menghitung laju perpindahan panas (Q_h) dan (Q_c).
4. Menghitung presentase kehilangan panas dari penukar kalor (Q_{loss}).
5. Menghitung koefisien perpindahan panas *overall* berdasarkan permukaan dalam pipa dalam, U_i .
6. Menghitung koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata di pipa dalam, h_i .
7. Perbedaan tekanan oli panas pada *inlet* dan *outlet*.
8. Menghitung efektivitas penukar kalor ().
9. Menghitung unjuk kerja termal ().

Laju perpindahan kalor yang diserap oleh fluida dingin pada saluran *annular* dapat ditentukan dengan persamaan,

$$Q_c = \dot{m}_f \times c_{p_f} \times (T_{c2} - T_{c1}) \tag{6}$$

dengan Q_c adalah kalor yang diserap fluida dingin dalam hal ini adalah air, m_f adalah laju aliran massa air pendingin, c_{p_f} adalah kalor jenis air, T_{c1} dan T_{c2} adalah temperatur air masuk dan keluar *tube*.

Laju perpindahan kalor yang dilepaskan fluida panas oli termo XT32 dalam *inner tube* dapat ditentukan dengan persamaan,

$$Q_h = \dot{m}_E \times c_{p_E} \times (T_{h1} - T_{h2}) \tag{7}$$

Dengan Q_h adalah kalor yang diserap fluida panas oli termo XT32, m_f adalah laju aliran massa oli panas, c_{p_E} adalah kalor jenis oli, T_{h1} dan T_{h2} adalah temperatur oli termo XT32 masuk dan keluar *tube*.

Beda temperatur rata-rata logaritmik ditentukan menggunakan persamaan,

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \tag{8}$$

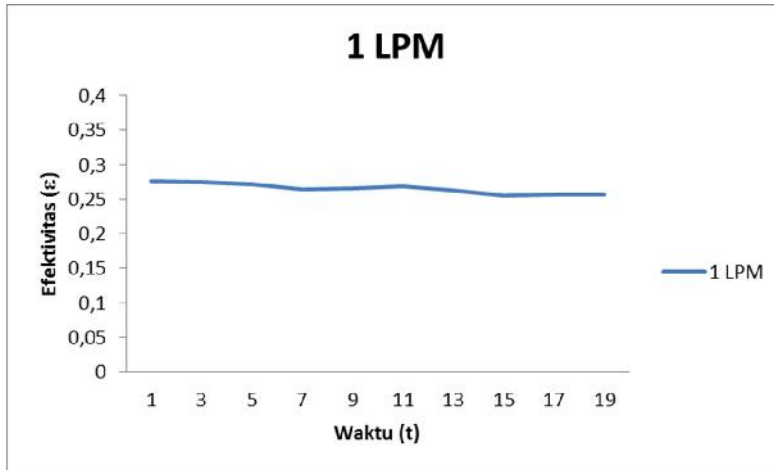
Efektivitas penukar kalor (*heat exchanger effectiveness*) didefinisikan sebagai berikut :

$$\epsilon = \frac{Q_{avg}}{Q_{max}} \tag{9}$$

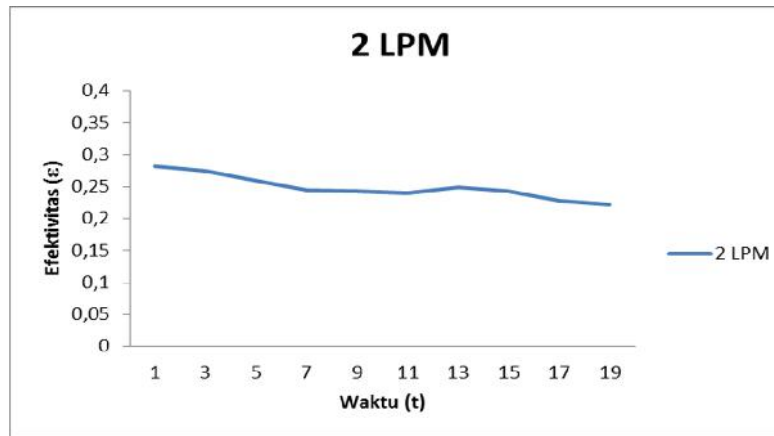
Dengan ϵ adalah efektivitas alat penukar kalor, Q_{avg} adalah perpindahan kalor rata-rata alat penukar kalor, Q_{max} adalah perpindahan kalor maksimum alat penukar kalor .

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

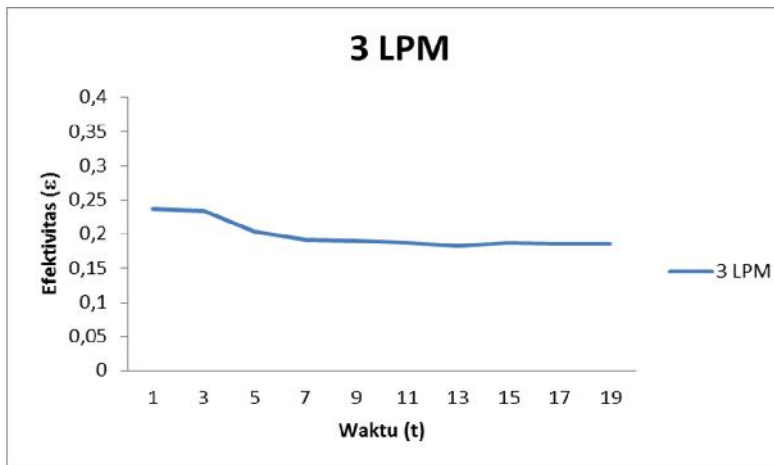
Pada gambar 3.1, 3.2, 3.3, dan 3.4 menunjukkan hubungan efektivitas () dan waktu (t) pada alat penukar kalor pipa konsentrik saluran anular tanpa menggunakan *twist tape insert* memperlihatkan bahwa kenaikan Efektivitas () berbanding terbalik dengan bertambahnya debit aliran pada fluida panas. Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya debit aliran fluida panas yaitu oli termo XT32 maka panas yang diserap oleh fluida dingin yaitu air akan semakin sedikit. Hal ini dapat dijelaskan pada Grafik berikut :



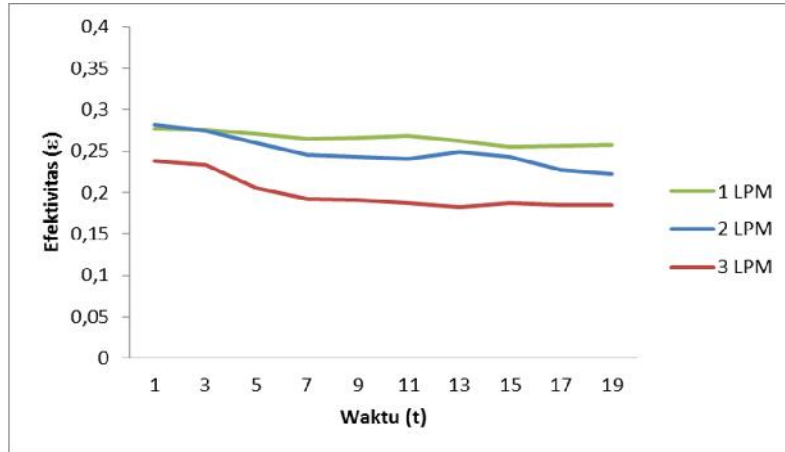
Gambar 3.1. Grafik Efektivitas Tanpa *Twist Tape* Pada Debit 1 LPM



Gambar 3.2. Grafik Efektivitas Tanpa *Twist Tape* Pada Debit 2 LPM

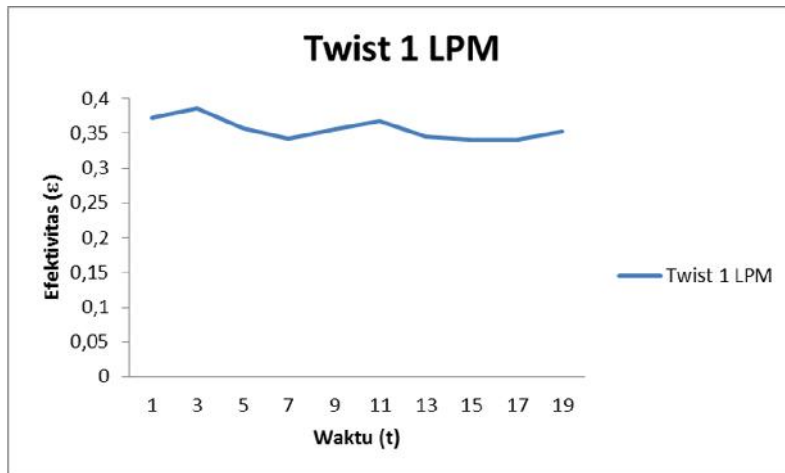


Gambar 3.3. Grafik Efektivitas Tanpa *Twist Tape* Pada Debit 3 LPM

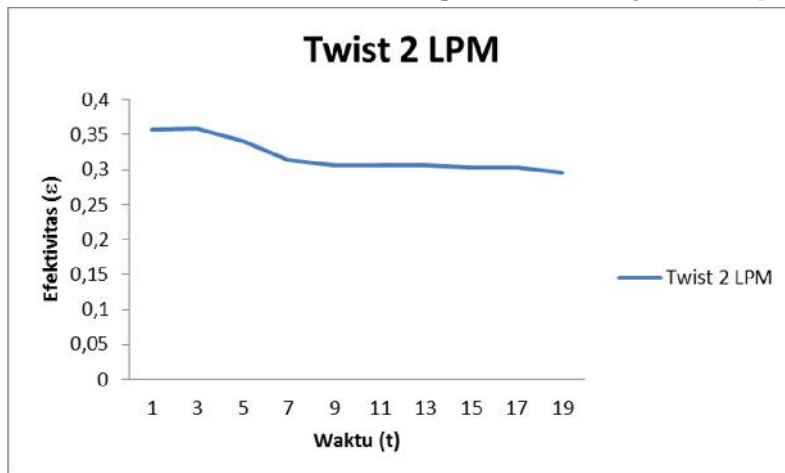


Gambar 3.4. Grafik Perbandingan Efektivitas Terhadap Debit Aliran Fluida Panas

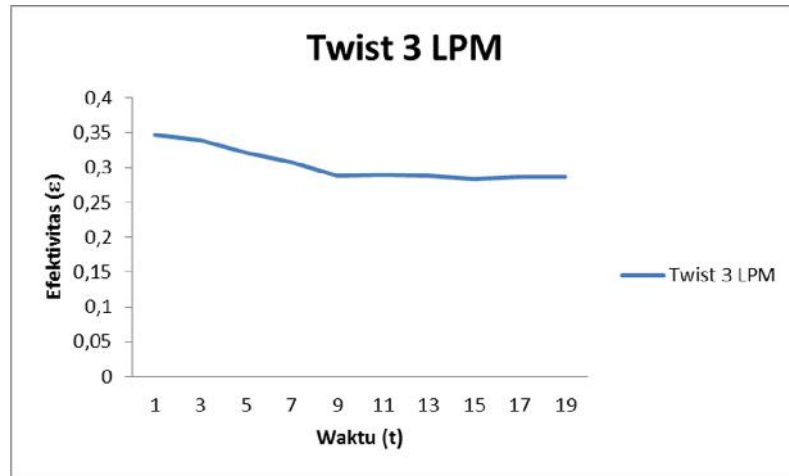
Pada gambar 3.5, 3.6, 3.7, dan 3.8 menunjukkan nilai keefektivasan alat penukar kalor pipa konsentrik dengan menambahkan *twist tape insert*. Pada gambar, memperlihatkan unjuk kerja (*performance*) dari alat penukar kalor pipa konsentrik dengan menambahkan *Twist tape insert*. Terlihat bahwa unjuk kerja (*performance*) pada 1 LPM relatif lebih baik jika dibandingkan dengan debit 2 LPM dan 3 LPM. Tetapi dalam terjadi kenaikan performa yang sangat signifikan jika dibandingkan dengan alat penukar kalor pipa konsentrik tanpa menggunakan *twist tape insert*. Hal ini dapat dijelaskan pada gambar berikut:



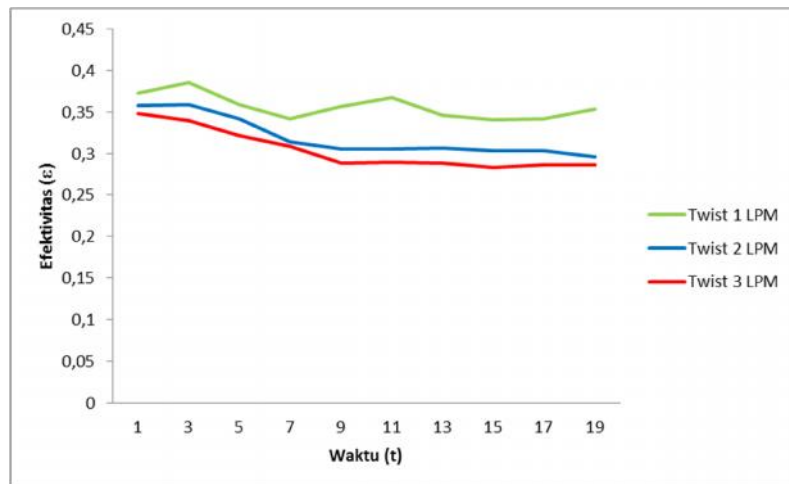
Gambar 3.5. Grafik Efektivitas Alat Penukar Kalor Pipa Konsentrik Dengan *Twist Tape Insert*



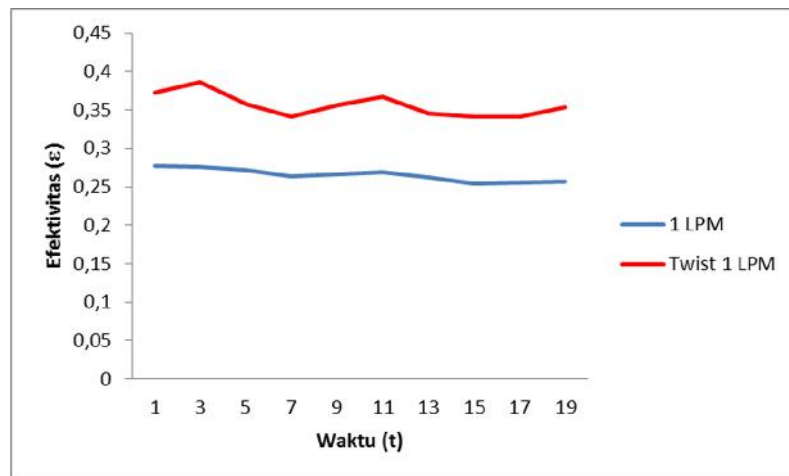
Gambar 3.6. Grafik Efektivitas Alat Penukar Kalor Pipa Konsentrik Dengan *Twist Tape Insert*



Gambar 3.7 Grafik Efektivitas Alat Penukar Kalor Pipa Konsentrik Dengan *Twist Tape Insert*



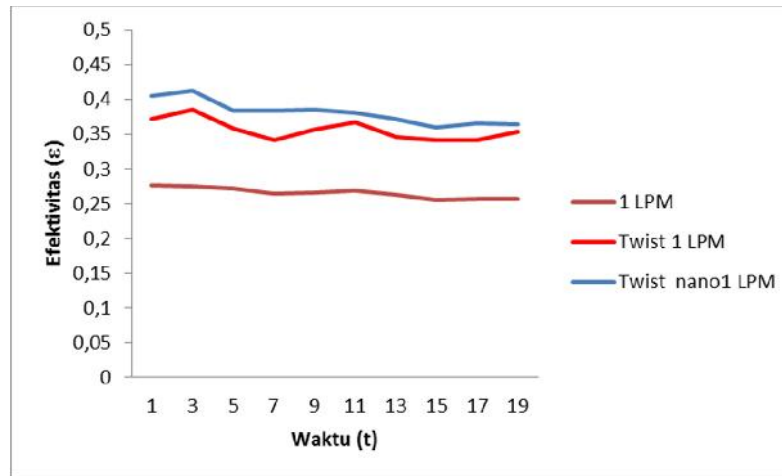
Gambar 3.8 Grafik Efektivitas Dengan *Twist Tape Insert* Terhadap Debit Aliran Fluida Panas



Gambar 3.9 Grafik Efektivitas Alat Penukar Kalor Pipa Konsentrik Dengan *Twist Tape Insert*

Pada gambar 3.10 menunjukkan nilai keefektifitasan alat penukar kalor pipa konsentrik dengan menambahkan *twist tape insert* dan menambahkan nano partikel TiO_2 . Terlihat bahwa pemasangan *twist tape insert* dan penambahan nano partikel TiO_2 dapat meningkatkan Efektivitas (ϵ) alat penukar kalor pipa konsentrik

saluran anular dalam meningkatkan perpindahan panas secara konveksi pada alat penukar kalor. Hal ini dapat dijelaskan pada gambar berikut:



Gambar 3.10. Grafik perbandingan Efektivitas Alat Penukar Kalor Pipa Konsentrik tanpa *Twist tape insert*, Dengan *Twist Tape Insert*, dan penambahan nano partikel TiO_2

4. KESIMPULAN

Studi eksperimental efektivitas alat penukar kalor pipa konsentrik saluran annular dengan *twisted tape insert* pada fluida nano TiO_2 dengan fluida dasar oli termo XT32 telah dilakukan. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa,

1. Dengan naiknya debit aliran (Q) akan berbanding terbalik dengan kenaikan efektivitas (ϵ) alat penukar kalor pipa konsentrik saluran annular dengan *twisted tape insert* pada fluida nano TiO_2 dengan fluida dasar oli termo XT32. Hal ini disebabkan dengan kenaikan debit aliran (Q) maka akan menyebabkan naiknya kecepatan aliran fluida.
2. Penambahan *Twist Tape Insert* dapat meningkatkan efektivitas (ϵ) dari alat penukar kalor pipa konsentrik saluran annular dengan *twisted tape insert* pada fluida nano TiO_2 dengan fluida dasar oli termo XT32.
3. Penambahan nano partikel dengan fraksi volume 0.1% dapat meningkatkan Efektivitas alat penukar kalor pipa konsentrik saluran annular dengan *twisted tape insert* pada fluida nano TiO_2 dengan fluida dasar oli termo XT32.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Azzopardi B.J, Whalley P.B, 1982. *The effect of flow patterns two phase flow in a T-junction*. International Journal of Multiphase Flow. Vol. 8 pp. 491-507
- Azzopardi B.J, Smith P.A, 1992. *Two-phase flow split at T-junction : effect of side arm orientation and downstream geometry*. International Journal of Multiphase Flow. Vol. 18, pp. 861-875
- Azzopardi B.J, Colman D.A, Nicholson D, 2002. *Plant application of a T-junction as a partial phase separator*. Trans I Chem E. Vol. 80, part A, pp 87-96.
- Chandrasekar, M., Suresh, S., Bose, A., 2010, *Experimental Investigations and Theoretical Determination of Thermal Conductivity and Viscosity of Al_2O_3 /Water Nanofluid*, *Experimental Thermal and Fluid Science.*, 34, 210–216.
- Colla, L., Fedele, L., Scattolini, M., & Bobbo, S., 2012, *Water-Based Fe_2O_3 Nanofluid Characterization: Thermal Conductivity and Viscosity Measurements and Correlation*. *Advances in Mechanical Engineering Volume.*, 8, 1-8.
- Duan, F., & Stephen, C. (2009). *Nanofluid Property*. USA: Willey.
- 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., dan Amina Mataoui., 2014, *A Review on How the Researchers Prepare Their Nanofluids.* *International Journal of Thermal Sciences.*, 76, 168-189.
- Han, Zenghu. "Nanofluids With Enhanced Thermal Transport Properties." Dalam *Nanofluids With Enhanced Thermal Transport Properties*, oleh Zenghu Han, 124.
- Jang, S.P., S.U.S Choi., 2007, *Effects of Various Parameters on Nanofluid Thermal.* *Heat Transfer.*, 129, 617-623.

- Juneja, Mahesh, dan D. Gangacharyulu., 2013, *Experimental Analysis on Influence of Temperature and Volume Fraction of Nanofluids on Thermophysical Properties.*” *International Journal of Emerging Technologies in Computational and Applied Sciences (IJETCAS)*, pp. 233-238.
- Kleinsteuer., Clement., dan Yu Feng.,2011, *Experimental and Theoretical Studies of Nanofluid Thermalconductivity Enhancement: a review.*” *Nanoscale Research Letters*,vol. 6, no. 229.
- Mintsa, Honorine Angue , Gilles Roy, dan Cong Tam Nguyen.,2009, *New Temperature Dependent Thermal Conductivity Data for Water-Based Nanofluids.*” *International Journal of Thermal Sciences*.48, 363-371.
- Murshed, S,M,S., K.C. Leong., dan C. Yang. 2005, *Enhanced Thermal Conductivity of TiO₂-Water Based Nanofluids.*” *International Journal of Thermal Sciences.*, 44,367–373.
- Paul, G., M. Chopkar, I. Manna, dan P.K Das.2010, *Techniques for Measuring The Thermal Conductivity of Nanofluids: A Review. Renewable and Sustainable Energy Reviews.*, 14, 1913–1924.
- Suganthi, K. S., V.Leela Vinodhan., dan K. S. Rajan.,2014, *Heat Transfer Performance and Transport Properties of ZnO-Ethylene Glycol and ZnO-Ethylene glycol-Water Nanofluid Coolant.*Elsevier-*Applied Energy*, pp. 548-559.
- Tso, C. Y., S. C. Fu, dan Christopher Y.H. Chao. 2014, *A Semi-Analytical Model for the Thermal Conductivity of Nanofluids.*” *International Journal of Heat and Mass Transfer.*,70, 202–214.
- Vajjha, Ravikanth S., dan Debendra K. Das. 2009, *Experimental Determination of Thermal Conductivity of Three Nanofluids.**International Journal of Heat and Mass Transfer.*, 52, 4675–4682.
- Wildan, Moch., Nurkholis Hamidi, Lilis Yuliati, dan Sudarmadji. Pengaruh Variasi Prosentasi Massa Nanopartikel, Temperatur, dan Nanofluida terhadap Fluida Properties Nanofluida H₂O-Al₂O₃. Malang: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
- Yiamsawasd, Thakleaw., Ahmet Selim Dalkili., dan Somchai Wongwises.,2012,“*Measurement of the Thermal Conductivity of Titania and Alumina Nanofluids.*” *Thermochimica Acta.*, 545, 48– 56.
- Rodriguez, O.M.H., Oliemans, R.V.A., 2006. *Experimental Study on Oil-Water Flow in Horizontal and Slightly Inclined Pipes.*International Journal of Multiphase Flow. Vol. 32, pp. 323-343.
- Shoham O, Brill J.P, Taitel Y, 1987. *Two-phase Flow Splitting in a T-junction Experiment and Modeling.* Pergamon Journal. Vol. 42, no.11, pp. 2667-2676
- Wang Li-yang, Wu Ying-xiang, ZhengZhi-chu, Guo Jun, Zhang Jun, Tang Chi, 2007. *Oil-water two-phase flow inside T-junction.*Journal of Hydrodynamic.Vol. 20(2), pp.147-153.
- Wren E, Azzopardi B.J, 2004. *Affecting the phase split at a large diameter T- junction by using baffles.*International Journal of Multiphase Flow. Vol. 28, pp. 835-841.