

LAJU PERPINDAHAN KALOR KONVEKSI DI *INNER TUBE* PADA PIPA KONSENTRIK SALURAN ANNULAR DENGAN *TWISTED TAPE INSERT* PADA NANOFLUIDA TITANIUM OXIDE (TiO₂) DENGAN FLUIDA DASAR OLI TERMO XT32

Budi Santoso Wibowo¹, Yudi Setiawan², M. Yonggi Puriza³, Fikri Radiyan⁴, Dessy Yofianti⁵

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, ³Jurusan Teknik Elektro, ^{4,5}Jurusan Teknik Sipil Universitas Bangka Belitung
Balunijk, Kabupaten Merawang, Bangka Belitung

^{a)}budi_santoso_46@yahoo.com, ^{b)}yudiubb@yahoo.co.id

ABSTRAK

Penukar kalor (*heat exchanger*) adalah sebuah alat yang digunakan untuk memindahkan panas antara dua fluida atau lebih. Perbaikan peningkatan kuantitas perpindahan kalor dari semua tipe penukar kalor telah digunakan secara luas dalam industri. Salah satu teknik yang digunakan untuk meningkatkan besarnya koefisien perpindahan kalor konveksi adalah dengan memberikan sisipan material atau yang sering disebut dengan *insert* yang berfungsi untuk meningkatkan turbulensi aliran fluida, dengan meningkatnya koefisien perpindahan kalor konveksi ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas perpindahan kalor pada sebuah alat penukar kalor. Pada penelitian ini tiga buah *twisted tape insert* dengan *twist ratio* yang berbeda. *Twisted tape insert* terbuat dari bahan aluminium strip dengan tebal: 1 mm dan lebar: 10,9 mm yang dipuntir sedemikian rupa sehingga berbentuk sebuah pilinan. *Twisted tape insert* pertama mempunyai *twist ratio* 3, *twisted tape insert* kedua dengan *twist ratio* 6, dan *twisted tape insert* ketiga dengan *twist ratio* 9. Penelitian ini akan menguji pengaruh variasi *twist ratio* dari *twisted tape insert* di pipa dalam dari penukar kalor pipa konsentrik saluran annular terhadap laju perpindahan panas konveksi pada alat penukar kalor. Dari penelitian ini dapat diketahui semakin kecil *twist ratio* dari *twisted tape insert* maka akan semakin besar laju perpindahan kalornya. Laju perpindahan kalor terbesar terjadi pada temperatur fluida nano TiO₂ masuk (T_{h,i}) 120°C dan pada penggunaan *twisted tape insert* dengan *twist ratio* 3 yaitu 1731,2 W, sedangkan laju perpindahan kalor terendah dengan temperatur fluida nano TiO₂ masuk (T_{h,i}) yang sama yaitu 120°C dan tanpa penggunaan *twisted tape insert* pada fraksi volume nano fluida 0,3 %Vol diperoleh sebesar 1057,4 W.

Kata kunci: perpindahan kalor konveksi, nano fluida, twisted tape insert

LATAR BELAKANG

Murshed, dkk (2008) juga melakukan penelitian mengenai konduktivitas termal fluida nano dengan range temperatur 20°C-60°C dengan metode *transient hot wire*, dalam penelitiannya menggunakan model *effective thermal conductivity* berkesimpulan bahwa

temperatur mempengaruhi peningkatan konduktivitas termal fluida nano.

Mintsa, dkk (2009) mengukur konduktivitas termal efektif fluida nano alumina/air dan *copper oxide*/air pada range temperatur 21°C sampai 23°C dengan konsentrasi volume antara 0% sampai 18%, hasilnya menunjukkan peningkatan konduktivitas termal efektif yang dipengaruhi oleh peningkatan fraksi volume. Wildan, dkk mengukur massa jenis, viskositas, dan konduktivitas termal pada Al₂O₃/air dengan massa partikel nano 0,25%, 0,5%, 0,75%, dan 1% dengan variasi temperatur 40°C, 50°C, dan 60°C, berkesimpulan bahwa pada temperatur yang sama, penambahan prosentasi massa partikel nano meningkatkan massa

jenis, viskositas, dan konduktivitas termal fluida nano. Sementara pada prosentasi massa yang sama, peningkatan temperatur fluida nano membuat massa jenis dan viskositas dari fluida nano menurun, sedangkan konduktivitas termal fluida nano naik.

Murshed, dkk (2008) melakukan penelitian kembali mengenai karakteristik perpindahan kalor konveksi pada kondisi fluks 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) melakukan penelitian mengenai performa perpindahan kalor dan penurunan tekanan dari fluida nano TiO₂ pada kondisi aliran turbulen. Hasil dari penelitian menunjukkan nilai perpindahan kalor konveksi meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi volume dari partikel nano, nilai koefisien perpindahan kalor fluida nano lebih tinggi dibanding dengan fluida dasarnya, serta nilai perpindahan kalor meningkat

seiring dengan meningkatnya bilangan reynolds dan konsentrasi partikel yang digunakan berkisar 26% lebih tinggi dari fluida dasarnya.

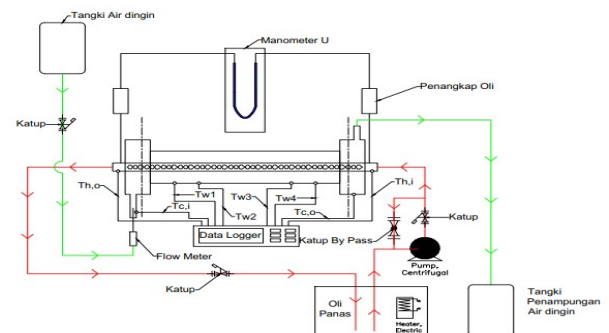
Pada penelitian mengenai alat penukar kalor menggunakan *twisted tape insert*, peneliti mengacu pada penelitian terdahulu mengenai peningkatan perpindahan kalor konveksi menggunakan *twisted tape insert*. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa *twisted tape insert* memiliki keunggulan dalam aplikasi transfer kalor, antara lain:

Naphon (2006) melakukan penelitian untuk menyelidiki karakteristik perpindahan kalor dan penurunan tekanan pada penukar kalor pipa ganda (*double pipes heat exchanger*) tanpa *twisted tape insert*, dan membandingkannya dengan menggunakan *twisted tape insert* dengan berbagai nilai *twist pitch*. Seksi uji yang digunakan adalah pipa tembaga lurus dengan panjang 2.000 mm dan ukuran diameter pipa dalam (*inner Tube*) dan pipa luar (*outer Tube*) berturut-turut adalah 8,10 mm dan 9,54 mm. *Twisted tape insert* berupa aluminium strip dengan tebal 1 mm dan panjang 2.000 mm. Dalam pengujian tersebut fluida yang digunakan adalah air panas pada suhu 40°C dan 45°C dan air dingin pada suhu 15°C dan 20°C, dan *twisted tape insert* dibuat 2 variasi *twist pitch* yaitu 2,5 mm dan 3,0 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *twisted tape insert* mempunyai pengaruh yang besar terhadap peningkatan laju perpindahan kalor, akan tetapi penurunan tekanan yang terjadi juga bertambah besar. Semakin besar bilangan reynolds maka laju perpindahan kalor semakin tinggi, dimana *twisted tape insert* dengan *twist pitch* 2,5 cm mempunyai laju perpindahan kalor yang paling tinggi. Hal ini juga terjadi pada koefisien perpindahan kalor, semakin tinggi bilangan reynolds maka koefisien perpindahan kalor semakin tinggi pula, dimana *twisted tape insert* dengan *twist pitch* 2,5 cm mempunyai koefisien perpindahan kalor yang paling tinggi. Sedangkan semakin tinggi bilangan reynolds maka *friction factor* juga akan semakin tinggi. Pada penelitian ini terlihat jelas pengaruh ada tidaknya *twisted tape insert* terhadap faktor gesekan, akan tetapi perbedaan *twist pitch* tidak mempunyai pengaruh yang berarti pada faktor gesekan.

Noothong dkk (2006) melakukan penelitian untuk menyelidiki pengaruh *twisted tape insert* pada penukar kalor pipa konsentrik. Pipa terbuat dari bahan plexiglas yang dihubungkan dengan flange pada interval 1 m. Diameter dalam pipa luar (*outer tube*) 50 mm dan lintasan aliran di *annulus* 20 mm dalam arah radial dari pusat pipa dalam. Air sebagai fluida dingin dipompa dari mesin pendingin dengan kapasitas 0,3 mm³, sedangkan pemanas elektrik dikontrol sesuai tegangan listrik masukannya. Udara panas mengalir di pipa dalam (*inner tube*) dari sebuah blower kapasitas 7,5 kW dengan variasi bilangan Reynolds 2.000-12.000. *Twisted tape* terbuat dari stainless steel strip dengan tebal 1 mm dan lebar 19,5 mm dengan *twist ratio* (y); sebesar 0,6 dan 0,8. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan laju perpindahan kalor karena *twisted tape insert* dipengaruhi secara kuat

karena *twisted tape* menimbulkan gerakan berputar (*swirl motion*) atau gerakan vortek (*vortex motion*). Bilangan nusselt maksimum dengan *twist ratio* (y) = 5 adalah 188% dan untuk $y = 7$ adalah 159% lebih tinggi dibandingkan dengan pipa tanpa *twisted tape insert* (*plain Tube*). Faktor gesekan (*friction factor*) turun seiring dengan penambahan kecepatan aliran atau bilangan reynolds, tetapi peningkatan efisiensinya akan menjadi lebih tinggi. Penukar kalor dengan *twisted tape insert* dengan *twist ratio* (y) = 5 mempunyai peningkatan efisiensi paling tinggi dibandingkan penukar kalor dengan *twisted tape insert* dengan *twist ratio* (y) = 7 dan *plain tube*.

METODE PENELITIAN



Gambar 1. Skematik alat pipa konsentrik dengan *twisted tape insert*

Peralatan penelitian terdiri dari 3 sistem, yakni sistem pengukuran, sistem lintasan pipa dalam (*inner tube*), dan sistem lintasan aliran pada annulus. Lintasan pipa dalam adalah sebuah lintasan tertutup. Fluida nano TiO₂/Oli Termo XT32 yang berada di dalam tangki yang dipanaskan dengan heater disirkulasikan oleh pompa, mengalir melewati seksi uji dan kembali ke tangki fluida nano TiO₂/Oli termo XT32. Pemanas elektrik dikontrol dengan *thermocontroller* untuk mempertahankan temperatur fluida nano TiO₂/Oli termo XT32 di dalam tangki konstan. Lintasan aliran pada annulus adalah lintasan terbuka, aliran air dingin berasal dari tandon air yang dipasang di atas yang mengalir karena adanya gravitasi (metode gravitasi), air dingin yang keluar dari seksi uji langsung dibuang ke saluran pembuangan air.

Tahap pengujian ini dilakukan dengan menggunakan fluida dasar oli Termo XT32 ditambahkan nano partikel TiO₂ (fraksi volume 0,3 %Vol) dan pengujian ini dilakukan. Pompa untuk mensirkulasikan oli pada seksi uji dan mengatur debit aliran fluida oli termo XT32 (2 LPM). Air mengalir melalui *annulus* dan mengatur debit aliran air dingin (2 LPM), Temperatur fluida panas yang digunakan yaitu 80 °C, seksi uji ini menggunakan *twisted tape insert*, *twisted tape insert* pertama mempunyai *twist ratio* 3, *twisted tape insert* kedua dengan *twist ratio* 6, dan *twisted tape insert* ketiga dengan *twist ratio* 9, pengambilan data menggunakan *data logger* dan menyimpan data kedalam komputer. Penelitian ini

akan menguji pengaruh variasi *twist ratio* dari *twisted tape insert* di pipa dalam dari penukar kalor pipa konsentrik saluran annular terhadap laju perpindahan panas konveksi pada alat penukar kalor.

HASIL PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan dengan variasi temperatur fluida nano TiO₂/Heat transfer oil termo XT32 di *inner tube* dengan variasi pada temperatur 60°C, 80°C, 100°C, dan 120°C. Sedangkan air dingin yang masuk ke *annulus* dijaga konstan pada temperatur ± 29°C, dengan laju aliran fluida nano TiO₂/Heat transfer oil termo XT32 di *inner tube* dijaga konstan yaitu: 2 LPM dan laju aliran fluida air di *annulus* dijaga konstan yaitu: 2 LPM. Data yang akan diperoleh pada pengujian ini adalah temperatur fluida nano TiO₂ masuk (T_{h,i}) dan temperatur fluida nano TiO₂ keluar (T_{h,o}) di *inner tube*, temperatur air masuk (T_{c,i}) dan temperatur air keluar (T_{c,o}) di *annulus*, temperatur rata-rata dinding luar (T_w) di *inner tube*, dan penurunan tekanan (ΔP) di *inner tube*. Setiap pengujian data diambil pada kondisi tunak (*steady state*) pengujian ini dilakkukan dengan memvariasikan fraksi volume fluida nano TiO₂ sebesar 0 %Vol dan 0,3 %Vol dan memvariasikan *twisted tape insert* dengan *twist ratio* 3, 6, dan 9.

Dari hasil pengamatan laju aliran massa air di *annulus* dan penurunan tekanan di *inner tube*, temperatur fluida nano TiO₂ panas masuk dan keluar di *inner tube*, dan temperatur air dingin masuk dan keluar di *annulus*, serta temperatur rata-rata dinding luar pada *inner tube* diperoleh data penelitian sebagai berikut:

Laju Perpindahan Kalor Fluida Di Inner Tube

Hasil perhitungan laju perpindahan kalor fluida nano TiO₂ di *inner tube* pada alat penukar kalor pipa konsentrik dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q_h = \dot{m}_h \cdot C_{p_h} \cdot (T_{h,i} - T_{h,o}) \tag{1}$$

$$Q_c = \dot{m}_c \cdot C_{p_c} \cdot (T_{c,o} - T_{c,i}) \tag{2}$$

dengan:

- Q_c= Laju perpindahan kalor di *annulus* (W)
- Q_h= Laju perpindahan kalor di *inner tube* (W)
- \dot{m}_c = Laju aliran massa fluida dingin di *annulus*
- \dot{m}_h = Laju aliran massa fluida panas di *inner tube*
- C_{p_c}= Kalor jenis fluida dingin di *annulus*
- C_{p_h}= Kalor jenis fluida panas di *inner tube*
- T_{c,i}= Temperatur fluida dingin masuk di *annulus*
- T_{c,o}= Temperatur fluida dingin keluar di *annulus*
- T_{h,i}= Temperatur fluida panas masuk di *inner*
- T_{h,o}= Temperatur fluida panas keluar di *inner*

Persentase kehilangan panas dari penukar kalor, Q_{loss}:

$$Q_{loss} = |Q_h - Q_c| \tag{3}$$

$$\% Q_{loss} = \left| \frac{Q_{loss}}{Q_h} \times 100\% \right| \tag{4}$$

Dari persamaan diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut:

Tabel 1. Laju perpindahan kalor di *inner tube*

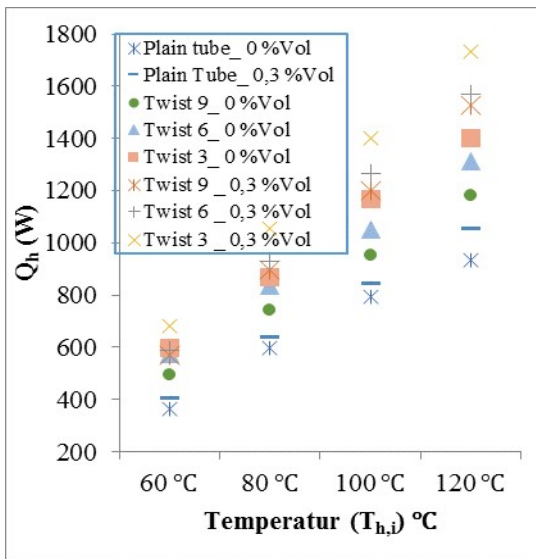
Fraksi volume	Temperatur (°C)	Laju perpindahan kalor Q _h (W)			
		Plain tube	Twist ratio 3	Twist ratio 6	Twist ratio 9
0 % Vol	60	365,35	599,28	572,88	493,56
	80	597,57	869,28	837,69	742,78
	100	791,83	1168,9	1049,9	953,73
	120	936,05	1400,8	1313,0	1182,9
0,3 % Vol	60	405,26	680,72	586,23	568,61
	80	641,29	1055,6	927,81	895,57
	100	844,45	1400,4	1263,9	1197,9
	120	1057,4	1731,2	1567,7	1525,5

Tabel 2. Laju perpindahan kalor di *annulus*

Fraksi volume	Temperatur (°C)	Laju perpindahan kalor Q _c (W)			
		Plain tube	Twist ratio 3	Twist ratio 6	Twist ratio 9
0 % Vol	60	346,77	527,15	541,14	457,99
	80	526,91	818,21	804,58	721,47
	100	762,26	1108,9	1012,2	929,28
	120	928,01	1468,4	1260,9	1150,6
0,3 % Vol	60	387,94	624,37	554,64	499,19
	80	609,46	943,09	886,81	831,34
	100	803,30	1316,6	1190,9	1107,7
	120	1010,9	1634,0	1480,6	1481,2

Dari Tabel dapat dilihat bahwa perbandingan antara laju perpindahan kalor di *inner tube* dan laju perpindahan kalor di *annulus* memiliki presentasi kehilangan kalor (Q_{loss}) sangat rendah. Hal ini dapat disimpulkan bahwa panas yang dilepaskan oleh fluida panas nano fluida TiO₂ di *inner tube* dapat diserap secara baik oleh fluida dingin yaitu air di bagian *annulus*. Hal ini dapat disimpulkan penggunaan peredam panas menggunakan *glasswool isolator* sebanyak 7 lapisan berfungsi dengan baik untuk

meminimalisir kehilangan kalor pada alat penukar kalor. Persentasi kehilangan kalor Q_{loss} rata-rata untuk alat penukar kalor pada *plain tube* dan pada penambahan *twisted tape insert* dengan *twist ratio* 3, 6, dan 9 berturut - turut yaitu sebesar 5%, 5%, 5%, dan 7%.



Gambar 2. Hubungan laju perpindahan kalor dengan variasi temperature laju perpindahan kalor dengan variasi temperature

Berdasarkan Gambar 2 laju perpindahan kalor yang terjadi di *inner tube* mengalami peningkatan seiring dengan penambahan *twisted tape insert*, hal ini disebabkan dengan penambahan *twisted tape insert* pada *inner tube* dari alat penukar kalor pipa konsentrik maka komponen kecepatan tangensial dan luas penampang aliran menjadi lebih kecil, pencampuran antara fluida pada daerah dinding di *inner tube* dan fluida pada daerah inti aliran yang ditimbulkan oleh gaya sentrifugal mempunyai kemampuan yang signifikan untuk menaikkan laju perpindahan kalor.

Dari Gambar juga terlihat bahwa dengan semakin kecil *twist ratio* dari *twisted tape insert* maka akan semakin besar laju perpindahan kalornya. Hal ini disebabkan dengan semakin kecil *twist ratio* dari *twisted tape insert* maka akan menghasilkan intensitas aliran fluida yang berputar (*swirl flow*) yang semakin kuat. Semakin berputar aliran fluida di *inner tube*, mengakibatkan lapis batas (*boundary layer*) sepanjang dinding di *inner tube* akan semakin tipis sehingga lebih banyak kalor yang dipindahkan ke fluida air dingin di *annulus*. Selain itu *twisted tape insert* dengan *twist ratio* yang semakin kecil maka panjang aliran (*flow length*) semakin panjang, dimana hal ini akan memperbesar proses perpindahan kalor yang terjadi.

Berdasarkan Tabel 1 laju perpindahan kalor terbesar terjadi pada fraksi volume fluida nano 0,3 %Vol pada temperatur fluida nano TiO_2 masuk ($T_{h,i}$) $120^{\circ}C$ dan pada penggunaan *twisted tape insert* dengan *twist ratio* 3 yaitu 1731,24 W dan laju perpindahan kalor terendah terjadi pada alat penukar kalor pada fraksi volume fluida nano 0 %Vol pada temperatur fluida nano TiO_2 masuk ($T_{h,i}$) $60^{\circ}C$ dan tanpa

penambahan *twisted tape insert* pada *inner tube* dari alat penukar kalor pipa konsentrik (*plain tube*) yaitu 365,35 W.

Penambahan partikel nano TiO_2 pada fluida dasar oli termo XT 32 dengan fraksi volume sebesar 0,3 %Vol terbukti dapat meningkatnya laju perpindahan kalor. Hal ini disebabkan dengan penambahan partiker nano TiO_2 pada oli termo XT32 akan meningkatkan *heat capacity* fluida kerja sehingga laju perpindahan kalor akan meningkat.

KESIMPULAN

Semakin kecil *twist ratio* dari *twisted tape insert* maka akan semakin besar laju perpindahan kalornya. Laju perpindahan kalor terbesar terjadi pada fraksi volume fluida nano 0,3 %Vol pada temperatur fluida nano TiO_2 masuk ($T_{h,i}$) $120^{\circ}C$ dan pada penggunaan *twisted tape insert* dengan *twist ratio* 3 yaitu 1731,24 W.

REFERENSI

- 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.
- Duan, F., & Stephen, C. (2009). *Nanofluid Property*. USA: Willey
- 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).
- Murshed, S,M,S., K.C. Leong., dan C. Yang. 2005, *Enhanced Thermal Conductivity of TiO_2 -Water Based Nanofluids* International Journal of Thermal Sciences.
- Murshed, S.M.S., K.C Leong., dan C. Yang., 2008, *Investigation of Thermal Conductivity and Viscosity of Nanofluids* International Journal of Thermal science.
- Minsta, Honorine Angue, Gilles Roy, dan Cong Tam Nguyen, 2009, *New Temperature Dependent Thermal Conductivity Data For Water Base Nanofluids*, International Journal of Thermal Sciences..
- Yiamsawasd, Thakleaw., Ahmet Selim Dalkili., dan Somchai Wongwises, 2012, *Measurement of The Thermal Conductivity of Titania and Alumina Nanofluids* Thermochemica Acta.