

## Analisis Pengaruh Konsentrasi Partikel $TiO_2$ Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Konveksi pada Penukar Kalor Pipa Ganda

Astuti<sup>1</sup>, Sri Poernomo Sari<sup>2\*</sup>

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Palembang  
Program Studi Teknik Mesin, Universitas Gunadarma, Jakarta  
Jl. PHH. Mustafa No.23 Bandung 40124  
e-mail : sri\_ps@staff.gunadarma.ac.id

### Abstrak

Alat untuk memindahkan panas dari fluida dengan temperatur lebih tinggi menuju temperatur lebih rendah digunakan penukar kalor pipa ganda. Alat ini dapat mengubah fase fluida dan temperatur dinaikan maupun diturunkan. Dimensi dan kondisi aliran mempengaruhi nilai koefisien perpindahan panas konveksi. Penambahan partikel  $TiO_2$  pada fluida memiliki potensi yang besar untuk aplikasi pendinginan. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh konsentrasi partikel  $TiO_2$  (titanium dioksida) terhadap nilai koefisien perpindahan panas konveksi pada penukar kalor pipa ganda. Fluida pendingin yang digunakan adalah air dan fluida dengan penambahan partikel  $TiO_2$  konsentrasi 0.5 % dan 1 %. Penukar kalor pipa ganda yang digunakan adalah aliran tipe counterflow. Pipa lurus dari kuningan (brass) panjang 1200 mm, tebal 1 mm, diameter luar 31.7 mm dan diameter dalam 29.7 mm untuk fluida panas. Pipa lurus dari stainless steel panjang 1000 mm, tebal 2 mm, diameter luar 101.7 mm dan diameter dalam 97.7 mm untuk fluida pendingin. Temperatur dikontrol  $95^\circ C$  untuk fluida panas,  $28^\circ C$  untuk fluida pendingin. Debit aliran dijaga konstan. Hasil menunjukkan bahwa nilai koefisien perpindahan panas konveksi dipengaruhi oleh konsentrasi partikel  $TiO_2$ , bentuk dan dimensi pipa, kondisi aliran dengan variasi temperature dan debit aliran.

Kata kunci: koefisien konveksi, penukar kalor, konsentrasi, temperature,  $TiO_2$ .

### 1. Pendahuluan

Perpindahan panas adalah suatu proses menghasilkan panas, menggunakan panas, mengubah panas dan memindahkan panas karena perbedaan suhu. Kecepatan pindah panas ini akan bergantung pada perbedaan suhu antar kedua kondisi. Semakin besar perbedaan, maka semakin besar kecepatan pindah panasnya.

Fenomena perpindahan panas dimanfaatkan dalam dunia industri untuk keperluan proses perpindahan panas antara dua atau lebih fluida dalam melakukan suatu keperluan tertentu dengan menggunakan alat penukar panas atau *heat exchanger*. Banyak jenis penukar kalor dibuat dan digunakan dalam pusat pembangkit tenaga, unit pendingin, unit pengkondisi udara, proses di industri, sistem turbin gas, dan lain-lain. Aplikasi dari alat ini digunakan untuk menaikkan maupun menurunkan temperatur dan mengubah fase fluida. Alat uap panas, temperatur yang tinggi, seragam dinding tidak diperoleh disebabkan oleh distribusi kondensat uap atas permukaan coil [1]. Pada aliran sepenuhnya dikembangkan dalam *curved* pipa dengan fluks panas yang seragam untuk jumlah temperatur besar [2]. Perpindahan panas yang dihitung dalam tabung melingkar dipelajari oleh regers dan mayhew [3]. Penukar panas di mana energi ditransfer dari satu cairan lain dengan permukaan penampang berbeda untuk penukar panas tradisional shell dan tube [4],[5].

Sifat-sifat termal dari fluida memegang peran yang penting di dalam perkembangan efisiensi energi peralatan perpindahan kalor. Perkembangan teknologi nano telah menciptakan nanofluida sebagai fluida yang memiliki potensi besar untuk aplikasi pendinginan. Nanofluida berarti dua campuran fase dimana fase yang biasanya cairan dan fase yang terdispersi terdiri dari nanopartikel padat yang sangat halus, berukuran lebih kecil daripada 100 nm [6]. Choi [7] yang mencampurkan partikel CuO dan

$\text{Al}_2\text{O}_3$  dalam ukuran nanometer dengan fluida cair diantaranya air dan *ethylene*. Hasil penelitian diperoleh peningkatan perpindahan kalor konduksinya sebesar 20%. Eastman, et.al [8] menyatakan dari hasil penelitiannya diperoleh peningkatan sebesar 40% pada konduktivitas termal hanya dengan menambahkan 0.3% partikel Cu pada *ethylene glycol*.

Penelitian tentang nanofluida jet impingement cooling dengan menggunakan nanofluida dan menghasilkan kesimpulan bahwa penggunaan nanofluida dapat meningkatkan performa perpindahan panas sekitar 18.5 % dibandingkan dengan fluida dasar air dengan volume fraction sekitar 1.5% hingga 3.0% dan nanopartikel yang digunakan Cu oleh Yimin Xuan et al [9].

Penggunaan nanofluida dapat menggantikan fluida dasar seperti air dalam penggunaannya untuk *single phase* pada konveksi paksa oleh Minea et al [10] pada aliran laminar dan turbulen dengan menggunakan tiga jenis nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , CuO, dan  $\text{TiO}_2$ .

Pengaruh twisted-tape turbulation terhadap perpindahan panas menggunakan nanofluida  $\text{TiO}_2$ , menghasilkan kesimpulan peningkatan koefisien perpindahan panas seiring meningkatnya temperatur dan mass flow. Percobaan pada persentase 0.1%  $\text{TiO}_2$  dengan menggunakan *twisted tape* menghasilkan friction factor dan pressure drop lebih tinggi dibandingkan tanpa menggunakan *twisted tape* oleh Heydar Maddah et al, [11].

Penggunaan nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pada *heat exchanger* dengan fluida dasar air di aliran turbulen menghasilkan penelitian berupa nilai perpindahan panas yang lebih tinggi dari 12% oleh Reza Aghayari et al [12]. Penelitian dilanjutkan dan menghasilkan peningkatan koefisien perpindahan panas dan nusselt number hingga 19% - 24% [13].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh konsentrasi partikel  $\text{TiO}_2$  terhadap bilangan *Nusselt* dan nilai koefisien konveksi yang terjadi pada penukar kalor pipa ganda dengan jenis pipa lurus, menggunakan fluida pendingin air murni dan nanofluida  $\text{TiO}_2$  konsentrasi 0.5 % dan 1 %. Temperatur fluida pendingin air dan nanofluida  $\text{TiO}_2$  28 °C, temperatur fluida panas air 95 °C, sehingga dapat dianalisis perbandingan nilai temperatur perpindahan panas dan nilai koefisien perpindahan panas konveksi.

## 2. Metodologi

Penelitian ini menggunakan penukar kalor pipa ganda dengan jenis pipa lurus. Alat penukar kalor jenis ini dapat digunakan pada laju alir fluida yang rendah dan tekanan operasi yang tinggi. Tipe aliran yang digunakan adalah aliran *counter flow* yang memiliki efisiensi perpindahan panas yang paling baik dibandingkan aliran *paralel flow*.

Pembuatan nanofluida pada penelitian ini menggunakan metode *two-step process* dengan cara mencampurkan nanopartikel  $\text{TiO}_2$  kedalam fluida dasarnya air menggunakan konsentrasi fraksi volume 0.5% dan 1 %. Dimana pada proses ini nanopartikel yang telah menjadi serbuk kering (*dry powder*) didispersikan ke dalam fluida dasar (air). *Magnetic stirrer* digunakan untuk mencampurkan fluida dasar dan juga nanopartikel dengan prinsip pengadukan secara magnetik. *Magnetic stirrer* terdiri dari dua komponen yaitu *magnetic stirrer* sendiri dan juga *stirring bar*. Pada penelitian ini *stirring bar* yang digunakan berukuran 15x40 mm. Selanjutnya proses sonikasi menggunakan *ultrasonic processor* selama 15 menit untuk memecah agregasi dan mengintensifkan pendispersian nanopartikel di dalam fluida dasar (air).

Proses pencampuran antara nanopartikel dengan fluida dasar air perlu diperhatikan agar menghasilkan pencampuran yang baik sehingga akan didapatkan karakteristik fluida baru. Metode persentase fraksi volume sebagai konsentrasi nanofluida dipilih untuk penelitian ini karena banyak digunakan pada berbagai model perhitungan matematis.

Temperatur fluida pendingin air dan nanofluida  $\text{TiO}_2$  adalah 28 °C, temperatur fluida panas air 95 °C. Percobaan pertama menggunakan fluida panas air dan fluida pendingin air murni sebagai fluida

konvensional. Percobaan kedua dalam penelitian ini menggunakan fluida panas air yang akan didinginkan dengan fluida pendingin nanofluida  $\text{TiO}_2$  dengan konsentrasi 0.5 % dan 1 %.

Proses pengambilan data diambil berdasarkan temperatur input dan output dari masing – masing fluida, debit aliran fluida yang dihasilkan dalam waktu yang telah ditentukan selama  $\pm 5$  detik setelah aliran yang terjadi mengalir secara konstan. Setelah pengambilan data maka dilanjutkan dengan proses perhitungan dan analisa hasil perhitungan.

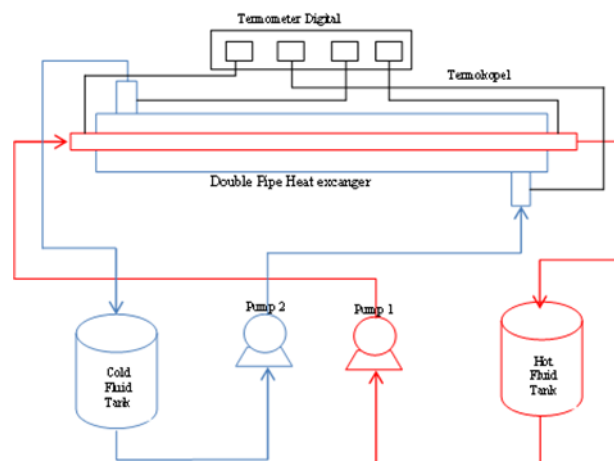
## 2.1 Skema Alat Uji

Penukar kalor pipa ganda tipe counterflow dimana fluida masuk di ujung-ujung yang berlawanan dan berakhir pada ujung-ujung yang berlawanan arah juga. Skema alat uji dengan tipe aliran counterflow dan perbedaan temperatur yang terjadi pada pipa heat exchanger ditunjukkan pada gambar 1.

Proses sirkulasi aliran menggunakan pompa sentrifugal dimana aliran fluida dari tangki penampungan (heater) menuju heat exchanger kemudian aliran tersebut kembali menuju ke tangki penampungan (heater) untuk dipanaskan kembali. Fluida pendingin dialirkan dari tangki penampungan menuju heat exchanger. Setelah melewati heat exchanger aliran fluida pendingin (air dan nanofluida) melalui cooling fan untuk mengembalikan temperatur fluida pendingin menjadi temperatur air normal, selanjutnya menuju tangki penampungan yang akan disirkulasikan kembali.

Pengujian menggunakan empat buah thermocouple yang berfungsi untuk mendeteksi nilai temperatur masing – masing fluida, pemasangan thermocouple ada pada sisi input dan output dari fluida panas dan fluida pendingin (air dan nanofluida). Display termometer digital digunakan untuk menampilkan nilai dari masing – masing temperatur fluida.

Penukar kalor arah aliran berlawanan merupakan pola aliran yang paling efisien. Jenis ini akan memberikan koefisien perpindahan panas tertinggi keseluruhan untuk mendesain penukar panas pipa ganda juga dapat menangani tekanan tinggi dan temperatur tinggi.



Gambar 1 Skema Alat Uji

## 2.2 Set-up Alat Pengujian

Pada penelitian ini, digunakan alat pengujian yang terdiri dari *double pipe heat exchanger* tipe *counter flow* yang memiliki pipa lurus terbuat dari kuningan (*brass*) dengan panjang 1200 mm, tebal 1 mm, diameter luar 31.7 mm, diameter dalam 29.7 mm untuk fluida panas. Pipa lurus terbuat dari *stainless steel* dengan panjang 1000 mm, tebal 2 mm, diameter luar 101.6 mm, diameter dalam 97.7 mm untuk fluida pendingin. Pada alat pengujian terdapat 2 pipa penyalur untuk fluida panas dan fluida pendingin nanofluida  $\text{TiO}_2$  secara terpisah. Terdapat juga 2 pompa sentrifugal untuk memompa fluida panas dan

nanofluida TiO<sub>2</sub>. Tangki penampungan fluida berjumlah 2 buah yaitu untuk fluida panas dan fluida pendingin nanofluida TiO<sub>2</sub>. Pipa penyalur fluida pendingin menuju *heat exchanger* berdiameter 12.7 mm, dan selang anti panas untuk menyalurkan fluida panas dari tangki yang telah dipanaskan berdiameter 12.7 mm. Fluida panas di dalam tangki kemudian akan dihisap dan dialirkan melewati pipa sepanjang 1200 mm oleh pompa fluida panas menuju saluran masuk *heat exchanger*. Sedangkan nanofluida TiO<sub>2</sub> di dalam tangki akan dihisap dan dialirkan melalui pipa penyalur oleh pompa air pendingin menuju saluran masuk pendingin *heat exchanger* sepanjang 1000 mm. Penukar kalor pipa ganda yang digunakan ditunjukkan pada gambar 2 berikut ini.



**Gambar 2** Gambar Alat Penukar Kalor Pipa Ganda

### 2.3 Persamaan

Perpindahan kalor konveksi menggunakan persamaan hukum Newton untuk pendinginan dimana jika beda temperatur antara benda dan sekitarnya adalah kecil, maka laju pendinginan sebuah benda hampir sebanding dengan beda temperatur, yang dituliskan sebagai berikut:

$$h = Nu \frac{k}{D} \quad (1)$$

dengan :

$h$  = Koefisien konveksi (W/m<sup>2</sup>.K)

$Nu$  = Bilangan Nusselt

$k$  = Konduktivitas thermal bahan (W/m.K)

$D$  = Diameter pipa (m)

Bilangan Nusselt ( $Nu$ ) merupakan rasio perpindahan kalor konveksi fluida dengan perpindahan kalor konduksi fluida dalam kondisi yang sama yang terjadi di permukaan, juga menyatakan gradient suhu non dimensional dipermukaan .

$$Nu = \frac{q''(\text{konveksi})}{q''(\text{Konduksi})} = \frac{h\Delta T}{k\Delta/L} = \frac{hL}{k}$$

$$Nu = \frac{Q_{conv}}{Q_{cond}} = \frac{h\Delta T}{k\Delta T/\delta} = \frac{h\delta}{k} \quad (2)$$

dengan:

$Nu$  = Nusselt Number

$k$  = Konduktivitas thermal (W/m. K )

$h$  = Koefisien perpindahan kalor konveksi ( W/m<sup>2</sup> °C )

$\delta$  = Geometri profil penampang fluida ( m )

Konduktivitas termal adalah suatu besaran intensif bahan yang menunjukkan kemampuannya untuk menghantarkan panas. Aliran yang terjadi di dalam pipa adalah sebagai berikut :

Aliran laminar

$$Nu = 1,86 \left( \frac{Re Pr D}{L} \right)^{1/3} \left( \frac{\mu_s}{\mu_b} \right)^{0,14} \quad (3)$$

dengan :

$Nu$  = Nusselt Number

$L$  = Panjang pipa ( m)

$\mu_b$  = viskositas dinamik temperatur *bulk* ( kg.m/s )

$\mu_s$  = viskositas dinamik temperatur permukaan ( kg.m/s )

Aliran turbulen

$$Nu = 0.023 Re^{4/5} Pr^n \quad (4)$$

$n = 0,4$  untuk pemanasan dan  $n = 0,3$  untuk pendinginan.

Nilai  $\Delta T_1$  dan  $\Delta T_2$  diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta T_1 = Th_{in} - Tc_{out} \quad (5)$$

$$\Delta T_2 = Th_{out} - Tc_{in} \quad (6)$$

dengan

$\Delta T_1$  = Selisih dari nilai temperatur air panas masuk dan temperatur air dingin keluar

$\Delta T_2$  = Selisih dari nilai temperatur air panas keluar dan temperatur air dingin masuk

$Th_{in}$  = Temperatur air panas yang masuk

$Th_{out}$  = Temperatur air panas yang keluar

$Tc_{in}$  = Temperatur air dingin yang masuk

$Tc_{out}$  = Temperatur air dingin yang keluar

Bilangan Reynold merupakan besaran fisis yang tidak berdimensi. Bilangan ini digunakan untuk menentukan aliran fluida apakah laminar, turbulen, dan transisi. Terdapat empat besaran yang menentukan apakah aliran tersebut digolongkan aliran laminier ataukah aliran turbulen yaitu kerapatan air, kecepatan aliran, kekentalan, dan diameter pipa. Kombinasi dari keempatnya akan menentukan besarnya bilangan Reynold. Penentuan nilai dari bilangan Reynolds ( $Re$ ) untuk aliran dalam pipa digunakan :

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (7)$$

dengan :

$Re$  = Bilangan Reynolds

$\rho$  = Kerapatan ( $kg/m^3$ )

$v$  = Kecepatan Aliran (m/s)

$D$  = Diameter pipa (m)

$\mu$  = Viskositas dinamik fluida ( $Ns/m^2$ )

Bilangan Prandtl merupakan rasio kinematik viskositas ( $\nu$ ) fluida dengan difusivitas kalor ( $\alpha$ ), dimana bilangan Prandtl merupakan properties termodinamika dari fluida:

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu c_p}{k} \quad (8)$$

dengan :

$Pr$  = Bilangan Prandtl

$\nu$  = Viskositas kinematik fluida ( $m^2/s$ )

$\alpha$  = Thermal diffusivity ( $m^2/s$ )

$c_p$  = Kalor spesifik ( $J/kg^\circ K$ )

$\mu$  = Viskositas dinamik fluida ( $N.s/m^2$ )

$k$  = Konduktifitas kalor fluida ( $W/m.K$ )

Panas spesifik merupakan kapasitas panas per satuan massa dan memiliki berbagai satuan ( $J/Kg-K$ ,  $kal/g-K$ ,  $Btu/lb_m-^\circ F$ ). Densitas merupakan jumlah suatu zat yang terkandung pada suatu unit volume. Densitas pada nanofluida secara langsung terkait dengan fraksi volume partikel. Suatu densitas akan menurun nilainya dengan meningkatnya suhu cairan dengan cara non-linier. Hal ini terjadi sebab non-linier adalah perbedaan koefisien ekspansi termal dalam cairan dasar dan nano partikelnya.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}} \quad (9)$$

dengan:

$U$  : Total koefisien konveksi ( $W/m^2.K$ )

$h_i$  : Koefisien konveksi dalam ( $W/m^2.K$ )

$h_o$  : Koefisien konveksi luar ( $W/m^2.K$ )

Kapasitas panas didefinisikan sebagai jumlah panas yang diperlukan untuk mengubah temperatur suatu benda sebesar  $1^{\circ}C$ . Kapasitas panas tergantung dari jumlah material yang bertukar panas dan properti bahan tersebut.

$$q = \dot{m}.cp.\Delta t \quad (10)$$

dengan :

$q$  = Energi (Watt)

$\dot{m}$  = laju aliran massa (kg/s)

$\Delta t$  = perubahan suhu  $t_{akhir} - t_{awal}$  ( $^{\circ}C$ )

$cp$  = kalor spesifik (J/kg.K)

Laju aliran volume disebut juga debit aliran ( $Q$ ) yaitu jumlah volume aliran per satuan waktu. Debit aliran dapat dituliskan pada

$$Q = \frac{V}{t} \quad (11)$$

dengan :

$V$  = Volume aliran ( $m^3$ )

$Q$  = Debit aliran ( $m^3/s$ )

$t$  = Waktu aliran (s)

Kecepatan fluida ( $u$ ), didefinisikan besarnya debit aliran yang mengalir persatuan luas.

$$u = \frac{Q}{A} \quad (12)$$

dengan :

$u$  = Kecepatan atau laju aliran (m/s)

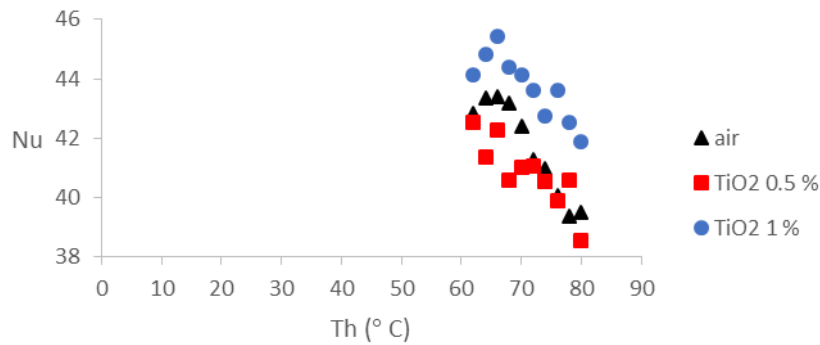
$Q$  = Debit aliran ( $m^3/s$ )

$A$  = Luas penampang ( $m^2$ )

Proses konduksi terjadi pada dinding pipa, proses perpindahan kalor yang terjadi pada kedua fluida tersebut adalah proses konveksi. Kalor mengalir dari fluida yang bertemperatur tinggi ke fluida yang bertemperatur rendah. Pengujian dilakukan dengan menggunakan fluida panas pada temperatur mulai dari  $40^{\circ}C$  sampai  $95^{\circ}C$ .

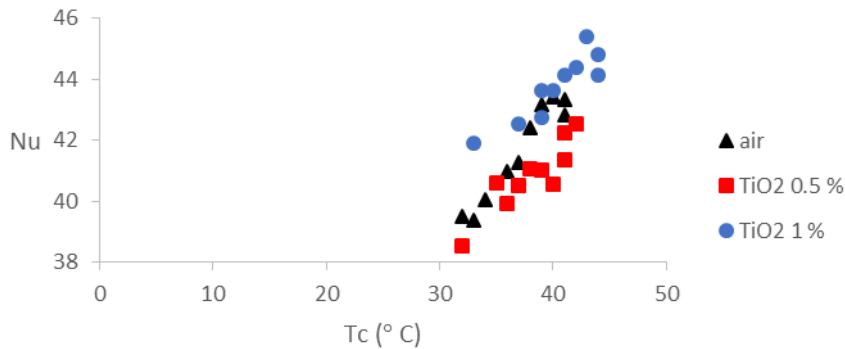
### 3. Hasil dan Pembahasan

Kenaikan temperatur pada fluida panas air akan mengakibatkan kenaikan bilangan nusselt seperti ditunjukkan pada gambar 3 grafik hubungan bilangan Nusselt dan temperatur fluida panas.



**Gambar 3** Grafik hubungan Nu -Th untuk fluida panas dengan fluida pendingin air dan nanofluida TiO<sub>2</sub>

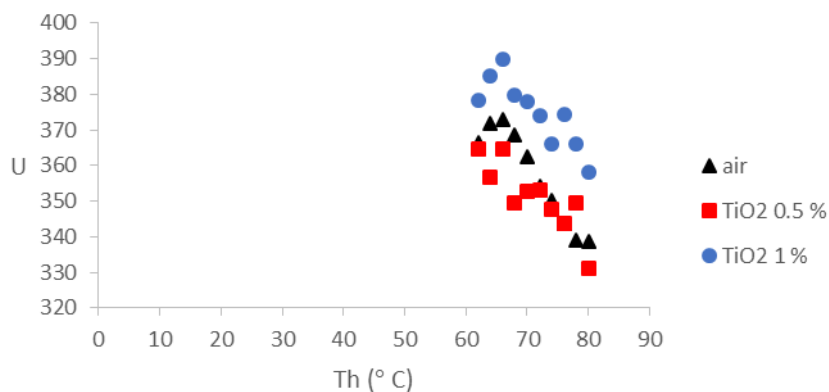
Gambar 3 menunjukkan fluida panas dengan fluida pendingin nanofluida TiO<sub>2</sub> konsentrasi 1 % dihasilkan nilai bilangan nusselt rata-rata paling tinggi. Fluida pendingin dengan penambahan partikel TiO<sub>2</sub> menghasilkan nilai bilangan Nusselt rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan dengan fluida pendingin air.



**Gambar 4** Grafik hubungan Nu-Tc untuk fluida pendingin air dan nanofluida TiO<sub>2</sub>

Gambar 4 menunjukkan grafik hubungan Nu -Tc antara bilangan nusslet dengan temperatur fluida pendingin untuk fluida pendingin air dan nanofluida TiO<sub>2</sub>. Perbandingan nilai bilangan nusselt dengan konsentrasi 1% lebih tinggi daripada konsentrasi 0.5%.

Gambar 5 menunjukkan grafik hubungan antara koefisien konveksi menyeluruh dengan temperatur fluida panas U -Th untuk fluida pendingin air dan nanofluida TiO<sub>2</sub>. Semakin tinggi konsentrasi nanofluida maka semakin tinggi nilai koefisien konveksinya.



**Gambar 5** Grafik hubungan U - Th untuk fluida panas

dengan fluida pendingin air dan nanofluida TiO<sub>2</sub>

#### 4. Kesimpulan

1. Pengaruh konsentrasi partikel TiO<sub>2</sub> dalam nanofluida sangat mempengaruhi besarnya peningkatan nilai koefisien perpindahan panas konveksi nanofluida terhadap fluida dasarnya.
2. Semakin besar konsentrasi partikel TiO<sub>2</sub> maka akan mengakibatkan nilai peningkatan koefisien perpindahan kalor konveksi yang semakin besar.

#### Daftar Pustaka

- [1] R.A. Seban, E. F. McLaughlin, *Heat transfer in tube coils with laminar and turbulent flow*, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 6, 1963,387-395
- [2] Y.Mori, W. Nakayama, *Study on forced convective heat transfer in curved pipe*, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 8, 1965, 67-82
- [3] G.F.C. Rogers, Y.R. Mayhew, *Heat transfer and pressure loss in helically coiled tubes with turbulent flow*, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 7, 1964, 1207-1216.
- [4] Holman, J. P., *Heat Transfer Sixth Edition*, McGraw-Hill, Inc. New York, 1986.
- [5] Cengel, Yunus. A., *Heat And Mass Transfer: A Practical Approach Third Edition (Si Unit)*, McGraw-Hill, Inc. New York, 2006.
- [6] Choi, U. S., *Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles in Developments Applications of Non-Newtonian Flows*, D. A. Siginer and H. P. Wang, Eds., FEDvol. 231/MD-vol. 66, pp. 99–105, ASME, New York, NY, USA, 1995.
- [7] Lee S, Choi U.-S. 1996. *Application of Metallic Nanoparticle Suspensions in advanced Cooling Systems*, ASME Publications PVP-Vol. 342/MD Vol.72, pp. 227-234.
- [8] Eastman JA, Choi US, Li S, Thompson LJ, Lee S. 1997. *Enhanced thermal conductivity through the development of nanofluids*. In: Komarneni, S., Parker, J.C., Wollenberger, H.J. (Eds.), *Nanophase and nanocomposite Materials II*. MRS, Pittsburg, PA, pp. 3-11.
- [9] Zhang, Yuwen, Editor, 2013, *Nanofluids Research, Development and Application*, Nova Publishers, New York.
- [10] Minea Alina Adrian, Oronzi Manca, Madalina Georgiana Moldoveanu, 2015, *Fom Comparison on Al2O3, CuO and TiO2 Water Based Nanofluids in Laminar and Turbulent Flow*, ASME-ATI-UIT.
- [11] Maddah, Hydar., Reza Aghayari., Shabnam Jahanizadeh and Khatere Ashtary, 2014, *Effect of Twisted-Tape Turbulators and Nanofluids on Heat Transfer in a Double Pipe Heat Exchanger*, Hindawi Publishing Corporation Journal of Engineering.
- [12] Aghayari, Reza., Heydar Maddah., Fatemeh Ashori., Afshin Hakiminejad and Mehdi Aghili, 2014, *Effect of Nanoparticle on heat transfer in mini double-pipe heat exchanger in turbulent flow*, Springer, Berlin.
- [13] Aghayari, Reza., Heydar Maddah., Malihe Zarei., Mehdi Dehgani and Sahar Ghanbari Kaskari Mahalle, 2014, *Heat Transfer of Nanofluids in a Double Pipe Heat Exchanger*, Hindawi Publishing Corporation Journal of Engineering.
- [14] Kreith, Frank., Manglik, R. M., Bohn, M. S., 2011, *Principles of Heat Transfer*, Seventh Edition, Cengage Learning, United States of America