

Peningkatan Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi dari Nanofluida Al_2O_3 - Air

Nandy Putra, Riki Ferky, Raldi Artono Koestoer

Lab. Perpindahan Kalor
Departemen Teknik Mesin FTUI
Kampus Baru UI Depok Jakarta
Email: nandyputra@eng.ui.ac.id

Abstrak

Penelitian-penelitian terhadap nanofluida yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu, menunjukkan bahwa fluida ini memiliki potensi untuk memenuhi kebutuhan yang meningkat dalam kemampuan pemindahan kalor. Nanofluida adalah jenis fluida baru, yaitu pencampuran partikel nano dalam fluida dasar dimana partikel nano ini tetap tersuspensi secara permanen dalam fluida dasarnya akibat adanya gerakan Brownian dari partikel nano tersebut. Agar fluida baru ini dapat di aplikasikan dan dikomersialkan, penelitian lebih lanjut dalam hal mekanisme konveksi paksa harus dilakukan. Pengukuran koefisien perpindahan kalor pada nanofluida dilakukan dengan menggunakan alat penukar kalor double pipe dalam arah aliran berlawanan (counter flow). Sebelum digunakan untuk menghitung koefisien perpindahan kalor konveksi pada nanofluida, alat pemukar kalor tersebut dikarakterisasi dengan menggunakan air yang juga merupakan fluida dasar dari nanofluida yang akan diteliti. Penelitian dilakukan pada nanofluida Al_2O_3 -Air 1% dan 4%. Hasil yang diperoleh menunjukkan peningkatan dalam koefisien perpindahan kalor konveksi dibandingkan dengan fluida dasarnya : 6-10% untuk konsentrasi partikel nano 1% dan 7-17% untuk konsentrasi partikel nano 4%. Rasio peningkatan koefisien perpindahan kalor konveksi dari nanofluida juga meningkat seiring dengan peningkatan temperatur (40-60°).

Kata Kunci: Perpindahan Kalor, Nanofluida, Konveksi Paksa

Abstract

Previous experiments and researches on nanofluids have shown that this new fluids has a great potential to meet the increased demand of heat removal in heat transfer technology. Nanofluids are a new kind of fluids; they are dispersions of nanoparticles in liquids that are permanently suspended by Brownian motion. In order to use nanofluids as applicative and commercial fluids, further advanced research in forced convection mechanism of these fluids must be conducted. This paper presents measurement of forced convective coefficient on nanofluids is carried out by using double pipe heat exchanger in counter flow arrangement. Water as the base fluid of nanofluids has been used to characterize the heat exchanger. Water-based nanofluids containing Al_2O_3 nano particles 1% and 4% have been investigated. The result shows the enhancement of heat transfer convective coefficient compared to the base fluids: 6-10% for 1% particles concentration and 7-17% for 4% particles concentration. The rate of increase of enhancement shows a dramatic increase with elevated temperature (40-60°C).

Keywords : Heat Transfer, Nanofluid, Forced Convection.

1. Pendahuluan

Teknologi perpindahan kalor sekarang menuju ke arah kebutuhan akan penghematan ruang, tetapi diikuti pula dengan kebutuhan akan peningkatan dalam kemampuan pertukaran kalornya. Aplikasi

LASER, Super Konduktor atau Chip Komputer yang semakin hari semakin kecil adalah peralatan-peralatan yang sudah semakin biasa kita gunakan. Peralatan ini tidak hanya beroperasi dengan ketelitian tinggi akan tetapi juga memiliki dimensi yang kecil pula. Tantangan yang ada tidak

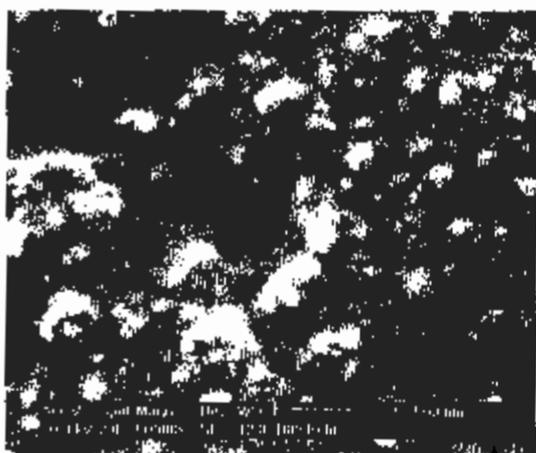
hanya pada desain peralatan tersebut tapi juga mengenai manajemen termalnya. Media udara banyak digunakan untuk pendinginan komponen karena tersedia dengan mudah dan mampu melakukan pendinginan yang cukup baik, akan tetapi udara tidak mampu mendinginkan komponen yang memiliki fluks kalor yang tinggi. Biasanya pendinginan dengan fluida cair digunakan untuk komponen-komponen yang memiliki fluks kalor tinggi. Pendinginan fluida cair yang biasa digunakan adalah air atau air dingin, berbagai macam refrigerant dan nitrogen cair atau cryogenic. Air memang fluida kerja yang aman tapi memiliki karakteristik termal yang kurang baik, refrigerant tidak ramah lingkungan sementara cryogenic sangatlah mahal. Salah satu cara yang mendapat perhatian khusus oleh para peneliti adalah dengan cara mencampur partikel padat di dalam fluida. Campuran fluida cair dan partikel padat secara konvensional adalah campuran dimana partikel padat yang berukuran millimeter atau micrometer di dalam zat cair yang biasa disebut dengan *slurry* [1]. Campuran ini memang memiliki konduktivitas termal yang lebih baik dibanding dengan fluida dasarnya akan tetapi *slurry* memiliki permasalahan antara lain sedimentasi, clogging, pengotoran sampai kepada penurunan tekanan yang cukup tinggi [2]. Perkembangan teknologi material telah dapat memproduksi partikel dengan ukuran nanometer. Apabila partikel ini dilarutkan ke dalam fluida cair akan membentuk suspensi yang disebut dengan nanofluida. Choi 1995 dari Argonne National Laboratory USA adalah orang pertama yang menyebut campuran ini sebagai nanofluida [3]. Dengan ukuran partikel padat dalam nanometer ($\phi < 100$ nm), maka masalah-masalah yang terdapat pada *slurry* dapat diatasi. Kemudian Lee (1999) [4] dari lembaga yang sama melakukan pengukuran termal Konduktivitas dari nanofluid dengan menggunakan metode Hot wire. Nanofluida yang digunakan adalah campuran antara Al_2O_3 dan CuO dengan Air dan Glikol. Dari pengukuran thermal konduktivitas pada temperatur ruang diperoleh bahwa thermal konduktivitas nanofluid meningkat

antara 1-10 % dari fluida dasarnya dengan hanya menambahkan nanopartikel sebesar 1-4 % dari volume. Lebih lanjut Das et al. 2003 [5] juga telah melakukan pengukuran thermal difusivitas dan konduktivitas dari nanofluida, dalam hal ini campuran air sebagai fluida dasar dan Al_2O_3 dan CuO sebagai nano partikel. Pada penelitian tersebut efek dari temperatur dan konsentrasi volume dari nano partikel diteliti. Pada pengukuran termal konduktivitas Al_2O_3 -air dan CuO-air dengan perbedaan volume konsentrasi pada temperatur 21°C menunjukkan peningkatan seperti halnya pada termal difusivitas, terjadi pula peningkatan termal konduktivitas pada Al_2O_3 -air dan CuO-air. Peningkatan termal konduktivitas Al_2O_3 -air sebesar 2% untuk vol. konsentrasi 1% dan 9.4% untuk volume konsentrasi 4%. Sedangkan pengukuran pada CuO-Air menunjukkan peningkatan rasio termal konduktivitas sebesar 6.5% dan 14% untuk masing-masing volume konsentrasi 1% dan 4%. Sedangkan pada temperatur 51°C menunjukkan peningkatan sekitar 11% sampai 25 % untuk Al_2O_3 dengan 1%-4% volume konsentrasi, sementara peningkatan terjadi sekitar 29% sampai 36 % untuk CuO nanofluid.

Dari hasil penelitian tersebut menunjukkan, bahwa nanofluida ini memiliki potensi untuk digunakan sebagai fluida pemindah kalor yang lebih efisien. Akan tetapi sebelum nanofluida ini dapat digunakan pada aplikasi lebih lanjut perlu dilakukan eksperimen pengukuran nilai koefisien perpindahan kalor konveksinya, karena kebanyakan aplikasi termal menggunakan mekanisme perpindahan kalor secara konveksi.

2. Karakterisasi Nanofluida

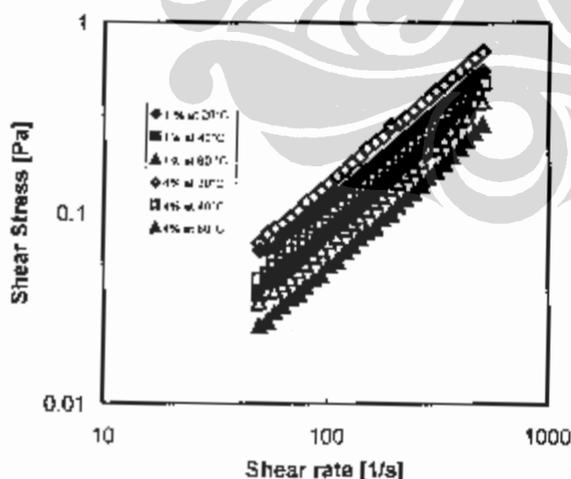
Pada penelitian ini akan digunakan suspensi air dengan nano partikel Al_2O_3 yang memiliki ukuran 32 nm. Pada gambar 1 dapat dilihat foto transmission elektron mikroskopi dari nanofluida, bahwa partikel yang tersuspensi di dalam fluida dasar adalah dalam ukuran nanometer.



Gambar 1.

Foto *transmission electric microscope* nanofluida Al_2O_3 -air [ref. 5]

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya terhadap nanofluida ini menunjukkan bahwa fluida tersebut merupakan fluida Newtonian [5,6], hal ini ditunjukkan dengan gambar 2, yang mana terdapat hubungan yang linear antara *shear stress* dan *shear rate*. Sementara gambar 3 menunjukkan bahwa nanofluida memiliki viskositas yang meningkat dibandingkan dengan fluida dasarnya dan semakin meningkat dengan pertambahan volume konsentrasinya.

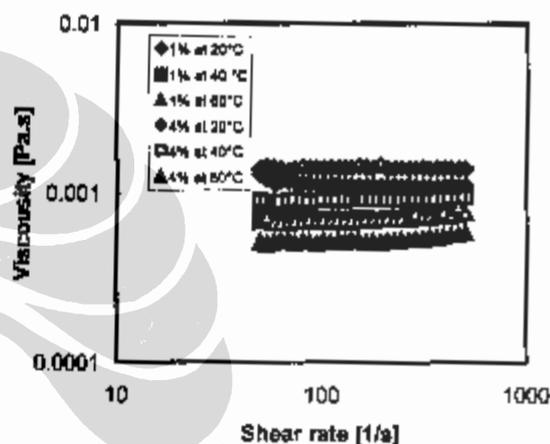


Gambar 2

Nanofluida sebagai fluida Newtonian pada Al_2O_3 -Air [ref. 7]

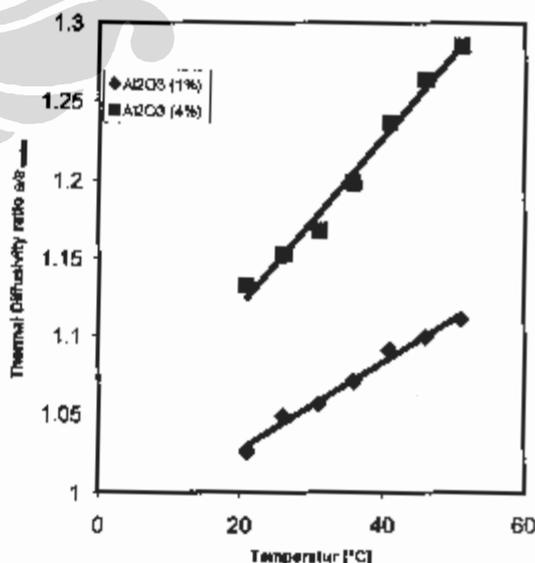
Karakteristik termal dari nanofluida dapat dilihat dari grafik berikutnya yakni perbandingan termal difusivitas nanofluida

dibandingkan dengan termal difusivitas dari fluida dasarnya yakni air [4,5]. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa nanofluida dengan konsentrasi 1% dan 4% memiliki termal difusivitas yang meningkat begitupula apabila dilihat dari rasio termal konduktivitasnya. Terlihat bahwa termal konduktivitas nanofluida semakin meningkat dengan meningkatnya temperatur nanofluida jika dibandingkan dengan fluida dasarnya [7].



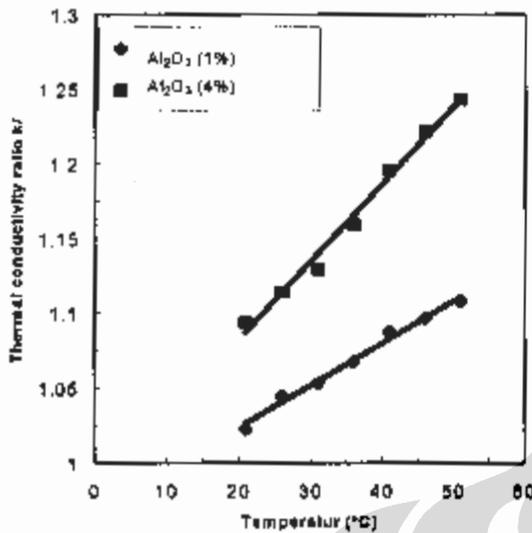
Gambar 3.

Nilai viskositas nanofluida Al_2O_3 -Air [ref. 7]



Gambar 4.

Peningkatan Difusivitas termal [ref. 5]



Gambar 5.

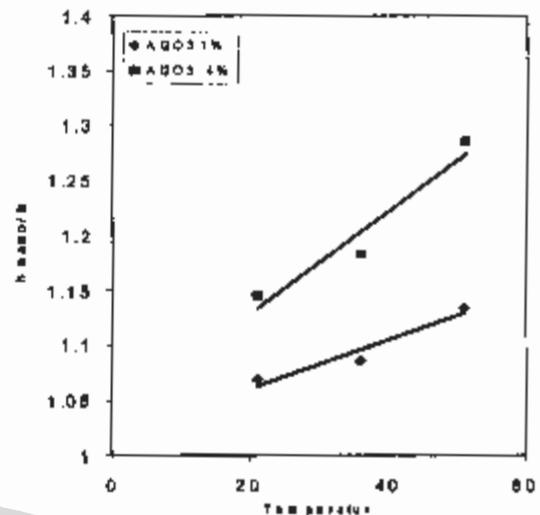
Rasio konduktivitas vs temperatur [ref. 5]

Sebelum eksperimen, telah dilakukan prediksi terhadap nilai koefisien perpindahan kalor konveksi nanofluida (1% dan 4% Volume). Dengan memanfaatkan data karakteristik transport dan termal dari nanofluida yang telah didapatkan dari penelitian yang terdahulu dan dengan menggunakan persamaan *Dittus Boelter* maka prediksi koefisien perpindahan kalor konveksi dari nanofluida dapat dilakukan. Persama Ditus Boitler adalah sebagai berikut [8]:

$$Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^n$$

$n = 0.3$ untuk pendinginan dan $n = 0.4$ untuk pemanasan.

Dengan syarat batas $0.7 < Pr < 160$; $Re > 10000$; dan $L/D > 60$ (pipa licin). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa koefisien perpindahan kalor konveksi nanofluida meningkat dengan adanya peningkatan konsentrasi partikel nano dan juga meningkat seiring dengan peningkatan temperatur kerja [9]. Rasio koefisien perpindahan kalor konveksi nanofluida terhadap air vs temperatur dapat dilihat pada gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6.

Rasio perpindahan kalor koveksi nanofluida Vs air [ref. 9]

Untuk mengetahui kebenaran dari hasil prediksi yang dilakukan maka dilakukan penelitian secara eksperimental. Paper ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan nilai koefisien konveksi dari nanofluida secara experimental dengan menggunakan *double pipe heat exchanger*. Pada penelitian ini digunakan nanofluida berbasis air dengan partikel nano Al_2O_3 dengan diameter ± 32 nm dengan konsentrasi partikel 1% dan 4% (volume)

3. Teori Perhitungan Koefisien Perpindahan kalor konveksi

Perhitungan koefisien perpindahan kalor nanofluida yang diuji dapat dilakukan dengan memperhitungkan terlebih dahulu koefisien perpindahan keseluruhan.[8] Persamaan dasarnya adalah sebagai berikut,

$$Q = UA\Delta T_m \quad (1)$$

dimana Q adalah kalor yang dipindahkan, U koefisien perpindahan kalor keseluruhan A luar permukaan perpindahan kalor dan ΔT_m adalah perbedaan temperatur logaritmik. Untuk menghitung koefisien perpindahan kalor menyeluruh dapat mempergunakan umum yakni :

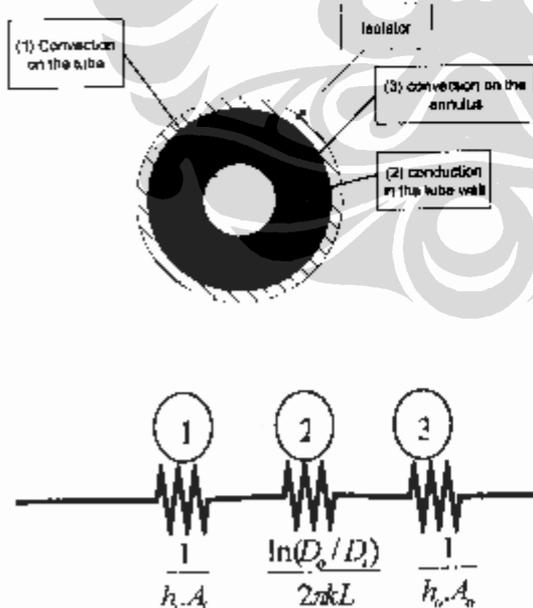
$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{U_c A_c} = \frac{1}{U_h A_h}$$

$$= \frac{1}{(\eta_o h_o A)_c} + \frac{Rf'_c}{(\eta_o A)_c} + R_w + \frac{Rf'_h}{(\eta_o A)_h} + \frac{1}{(\eta_o h_o A)_h}$$

.....(2)

Khusus pada alat penukar kalor double pipe yang digunakan pada penelitian ini, persamaan 2 dapat disederhanakan dimana pada penelitian ini pipa yang digunakan tidak menggunakan sirip dan faktor pengotoran diasumsikan nol karena double pipe yang digunakan relatif masih baru dengan memperhatikan skema perhitungan pada gambar 7 maka koefisien perpindahan kalor nanofluida dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$\frac{1}{h_i A_i} = \frac{1}{UA} - \left(\frac{1}{h_o A_o} + \frac{\ln(D_o / D_i)}{2\pi k L} \right) \quad (3)$$

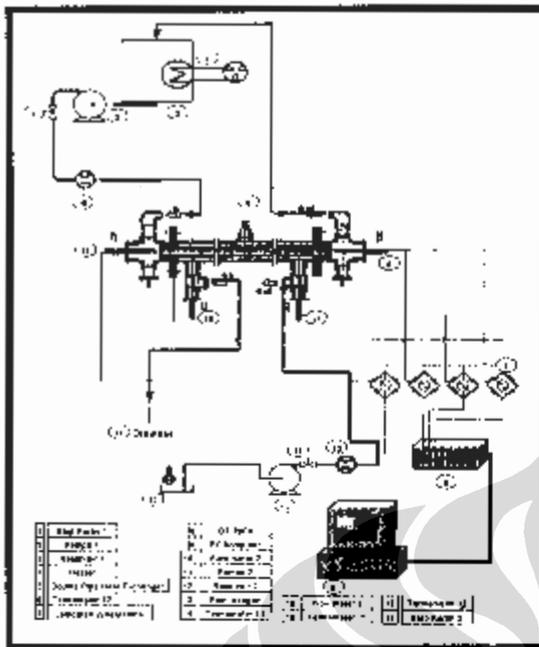


Gambar 7.
Skematik Hambatan Termal pada double pipe heat exchanger.

4. Alat Eksperimen

Pada umumnya besarnya koefisien perpindahan kalor suatu fluida kerja ditentukan melalui percobaan yang kemudian dari data percobaan dicari korelasi antara properti dari fluida dengan koefisien perpindahan kalornya.

Oleh karena itu untuk melakukan pengukuran koefisien perpindahan kalor konveksi nanofluida perlu dibangun suatu alat penukar kalor yang sesuai untuk mengukur nilai koefisien konveksi nanofluida. Pada gambar 8 dapat dilihat gambar skematik dari alat pengujian yang dibangun. Pada alat pengujian tersebut dilengkapi suatu alat penukar kalor (5) yakni double pipe. Dimana untuk pipa dalam dipergunakan untuk aliran nanofluida dan bagian luar atau anulus untuk fluida air. Pada pengujian ini, sebagai fluida panas digunakan Nanofluida. Fluida ditampung dalam reservoir (3) yang dilengkapi dengan pemanas yang berkapasitas 3 kW (4), pada resevoir ini diletakan termometer yang dihubungkan ke termokontroler yang digunakan untuk menjaga temperatur set yang ditentukan pada nanofluida. Setelah itu nanofluida tersebut dialiran oleh pompa (2). Laju aliran diatur oleh katup (1) yang dipasang pada pipa aliran nanofluida dan laju aliran tersebut diukur oleh turbine flow meter (15) yang memiliki bacaan digital. Nanofluida kemudian mengalir memasuki alat penukar kalor *double pipe* (5). Temperatur nanofluida pada saat masuk dan keluar dari double pipe heat exchanger diukur dengan menggunakan termometer Pt 100 (14, 6). setelah aliran nanofluida keluar dari alat penukar kalor, fluida tersebut kembali lagi ke resevoir. Sementara itu untuk fluida dinginnya digunakan air ledeng (12).



Gambar 8

Skema instalasi alat pengujian

Seperti halnya dengan nanofluida laju aliran air diatur dengan katup (18) dan diukur dengan menggunakan turbine flow meter (10). Fluida dingin ini memasuki anulus dari double pipe heat exchanger, temperatur masuk dan keluar diukur oleh termometer Pt 100 (17, 16). Keempat termometer yang digunakan dihubungkan dengan jembatan Wheatstone (7) yang kemudian disambung ke Data akuisisi (8) yang telah tersambung dengan Komputer (9). Di layar komputer pengukuran dapat dikontrol dengan menggunakan Software yang diprogram sebelumnya.

5. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini pengambilan data didasarkan atas berbagai variasi pengukuran yakni variasi debit pada fluida dingin dan fluida panas dan juga temperatur set pada nanofluida, keseluruhan variasi ditunjukkan pada tabel 1.

Hasil pengukuran koefisien perpindahan kalor konveksi paksa dari nanofluida 1% dan 4% pada temperatur 40°C, 50 °C, dan 60 °C ditunjukkan pada gambar 9. Grafik tersebut menunjukkan hubungan koefisien perpindahan kalor konveksi nanofluida,

baik 1%, 4% dan air terhadap bilangan Reynolds, dari ketiga grafik yang ditampilkan (temperatur 40°C, 50 °C, dan 60 °C), menunjukkan trend yang sama yaitu nilai koefisien perpindahan kalor konveksi nanofluida selalu diatas air dan peningkatan ini juga menuruti konsentrasi partikel nano yang terlarut, semakin besar konsentrasi volume partikel nano yang digunakan maka akan semakin besar pula peningkatan koefisien perpindahan kalor konveksinya

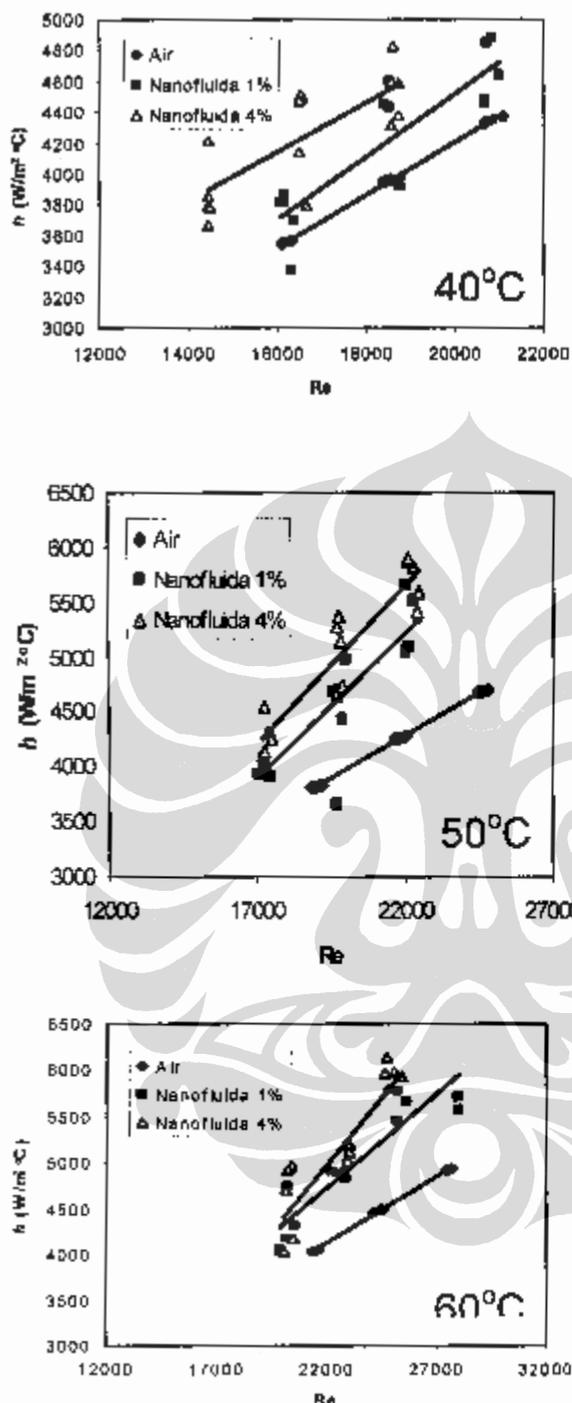
Dari data pengukuran yang ditampilkan di grafik 9 terlihat pada pengukuran koefisien perpindahan kalor pada air, sebaran datanya cukup baik, sementara pada nanofluida dengan konsentrasi 4 % datanya cukup tersebar, hal ini dimungkinkan karena proses produksi nanofluida khususnya 4 % kurang begitu sempurna sehingga tingkat homogenitas campurannya kurang baik.

Tabel 1.

Variasi debit dan temperatur data yang diambil

Temperatur	Debit (lit/det)					
	Variasi 1		Variasi 2		Variasi 3	
	Q hot	Q cold	Q hot	Q cold	Q hot	Q cold
40°C	0.14	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
		0.20		0.20		
		0.24		0.24		
		0.30		0.30		
		0.34		0.34		
50°C	0.14	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
		0.20		0.20		
		0.24		0.24		
		0.30		0.30		
		0.34		0.34		
60°C	0.14	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
		0.20		0.20		
		0.24		0.24		
		0.30		0.30		
		0.34		0.34		

Untuk melihat pengaruh temperatur terhadap peningkatan nilai koefisien perpindahan kalor konveksi dari nanofluida maka ditampilkan gambar 10, Grafik tersebut menunjukkan rasio koefisien perpindahan kalor konveksi nanofluida 1 % (volume) dan nanofluida 4% (volume) terhadap air vs temperatur nanofluida., peningkatan rasio koefisien perpindahan kalor konveksi nanofluida terhadap air menunjukkan peningkatan yang jelas dengan adanya peningkatan temperatur.

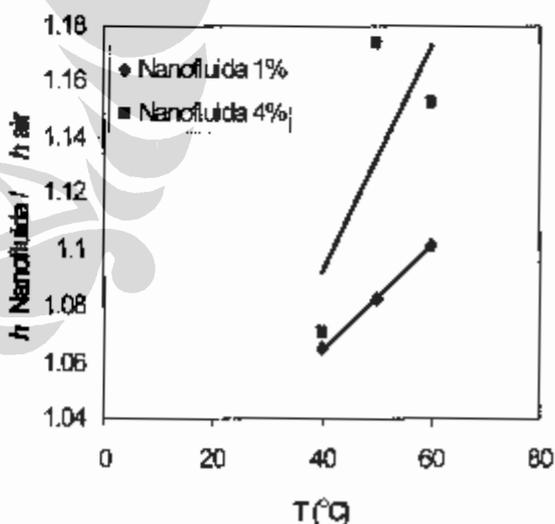


Gambar 9. Grafik h Vs Re temperatur

Kenaikan koefisien konveksi paksa nano terhadap air berkisar 6% pada temperatur 40°C, ± 8% pada temperatur 50°C dan 10% untuk temperatur 60°C pada konsentrasi partikel nano 1% dan mengalami kenaikan ±7% pada temperatur

40°C, 17% pada temperatur 50°C dan 15% pada temperatur 60°C untuk nanofluida dengan konsentrasi partikel nano 4%

Peningkatan terjadi dimungkinkan karena efek gerak Brown pada partikel padat yang berukuran nanometer. Apalagi pada peningkatan bilangan Reynolds, koefisien perpindahan kalor konveksi semakin meningkat karena dengan kondisi turbulen atau kecepatan aliran yang tinggi menyebabkan frekwensi tumbukan antar partikel semakin tinggi pula sehingga transfer energi semakin meningkat pula. Kemudian pengaruh temperatur dapat dijelaskan dengan analogi dari teori kinetik gas, dimana tumbukan antar partikel akan meningkat pula apabila adanya kenaikan temperatur, karena ukuran partikel yang tersuspensi di dalam air adalah 32 nm dimana ukurannya mendekati ukuran molekul maka kemungkinan besar teori kinetik gas juga dapat berlaku di dalam nanofluida ini.



Gambar 10. Grafik rasio koefisien perpindahan kalor konveksi nanofluida terhadap air vs temperatur nanofluida

6. Kesimpulan

Pengukuran nilai koefisien perpindahan kalor konveksi nanofluida telah dilakukan telah dibahas pada paper ini. Koefisien

perpindahan kalor konveksi nanofluida Al_2O_3 - Air lebih besar dari koefisien perpindahan kalor air pada temperatur yang sama. Temperatur dan konsentrasi partikel nano mempengaruhi peningkatan nilai koefisien perpindahan kalor konveksinya. Hasil ini sesuai dengan prediksi yang dilakukan sehingga potensi nanofluida sebagai fluida kerja dalam alat penukar kalor semakin tinggi. Penelitian lanjutan perlu dilakukan antara proses produksi nanofluida untuk memperoleh tingkat homogenitas dari nanofluida yang lebih baik selain daripada itu penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk mendapatkan efek-efek lain yang dapat mempengaruhi nanofluida ini.

Notasi

Nu	Bilangan Nusselt
Re	Bilangan Reynold
Pr	Bilangan Prandtl
h	koefisien perpindahan kalor konveksi [$W/m^2 \text{ } ^\circ C$]
k	termal konduktivitas [$W/m \text{ } ^\circ C$]
A	Luas penampang [m^2]
R_k	hambatan termal konduksi [K/W]
Subskrip	
h	tinjauan pada fluida panas
c	tinjauan pada fluida dingin

Daftar Acuan

1. Ahuja, A.S., Augmentation of Heat Transport in Laminar flow of Polystyrene Suspension. Experiments and results, J.Appl. Phys., Vol. 46, No. 8, 1975, pp.3408-3416.
2. Liu, K.V., Choi, U.S., Kasza, K.E., Measurement of pressure drop and heat transfer in turbulent pipe flows of particulate slurries," Argonne National Laboratory Report, 1988, ANL-88-15.
3. Choi, U.S., Enhancing Thermal Conductivity of Fluids with Nanoparticles," Developments and Applications of Non-Newtonian Flows, D.A. Siginer and H.P. Wang, eds., FED-vol. 231/MD-

- Vol. 66, ASME, New York, 1995, pp. 99-105.
4. Lee, S., Choi, U.S., Li, S., Eastman, J.A., Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles, ASME Journal of Heat Transfer, Vol. 121, 1999, pp. 280-289.
5. Sarit K. Das, Nandy Putra, Peter Thiesen, W.Roetzel, Temperature Dependence of Thermal Conductivity Enhancement for Nanofluids, ASME, Journal Heat Transfer Vol. 125, 2003, pp. 567-574.
6. Putra N., *Heat Transfer in dispersed Media*, Shaker Verlag, Aachen, 2002.
7. Sarit K. Das, Nandy Putra, Wilfried Roetzel, Pool Boiling Characteristic of Nanofluids, Int. Journal of Heat and Mass Transfer 46, 2003, pp. 851-862
8. Incropera F.P, DeWitt., *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 4 Ed. John Willey and Sons, Singapore, 1996
9. Nandy Putra, Menentukan Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi dari Nanofluida dengan korelasi Dittus Boelter, Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri Universitas Gajah Mada Yogyakarta, 13 Mei 2003.

PERPUSTAKAAN PUSAT
UNIVERSITAS INDONESIA