

# Karakterisasi Konduktivitas Termal Nanofluida Oksida Berbasis Fluida Dasar H<sub>2</sub>O

Wayan Nata Septiadi<sup>1\*</sup>, Nandy Putra<sup>2</sup>, Rosari Saleh<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana  
Jl. Kampus Bukit Jimbaran, Badung-Bali

<sup>2</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia  
Kampus Baru UI-Depok

<sup>3</sup>Departemen Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Indonesia  
Kampus Baru UI-Depok

Email : [wayan.nata@gmail.com](mailto:wayan.nata@gmail.com)

## Abstrak

Sejak nanofluida mulai diperkenalkan untuk peningkatan konduktivitas termal, hal ini memberikan suatu harapan yang besar bagi bidang perpindahan kalor. Penelitian dan pengaplikasian nanofluida terus mengalami perkembangan dan peningkatan. Pendispersian partikel nano ke dalam fluida dasar sehingga membentuk suatu suspensi nanofluida tentunya memiliki karakteristik konduktivitas termal yang berbeda-beda antara penggunaan nano partikel satu dengan nano partikel lainnya. Penggunaan nano partikel oksida juga mulai banyak digunakan sebagai fluida kerja alternatif baik sebagai fluida kerja alat penukar kalor maupun sebagai fluida kerja pada pipa kalor dan teknologi pendingin lainnya. Hal ini menjadi sangat penting untuk mengetahui karakteristik konduktivitas termal nanofluida oksida pada fraksi volume rendah dan fraksi volume tinggi. Penelitian dilakukan dengan mendispersikan partikel nano CuO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan TiO<sub>2</sub> yang masing-masing berukuran 20 nm ke dalam fluida dasar air (H<sub>2</sub>O) dan dilakukan sonifikasi menggunakan ultrasonic prosesor selama 30 menit. Fraksi volume dibuat dalam fraksi volume rendah yakni 0.1% sampai dengan 0.9% dan fraksi volume tinggi 1% sampai dengan 10%. Pengujian konduktivitas termal nanofluida oksida pada fraksi volume rendah dan fraksi volume tinggi dilakukan dengan menggunakan metode KD2 yang diukur pada temperatur 25°C.

Hasil pengujian menunjukkan karakterisasi konduktivitas termal nanofluida oksida yang dalam hal ini adalah CuO-Air, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Air dan TiO<sub>2</sub>-Air masing-masing memberikan peningkatan konduktivitas termal yang signifikan pada fraksi volume rendah. Konduktivitas termal CuO-Air baik pada fraksi volume rendah maupun pada fraksi volume tinggi lebih tinggi dibandingkan dengan konduktivitas termal Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Air dan TiO<sub>2</sub>-Air.

**Kata kunci:** Konduktivitas termal, nanofluida, oksida, fraksi volume.

## Abstract

Since nanofluids was introduced to increase the thermal conductivity, it gives great hope for the field of heat transfer. Research and application of nanofluids continues to experience growth and improvement. Dispersing nanoparticles into the base fluid to form a suspension nanofluids certainly has the different characteristics of a thermal conductivity. The use of nano-oxide particles are also widely used as a good alternative working fluid as the working fluid heat exchanger as well as the working fluid in the heat pipes and other cooling technologies. It's very important to know the characteristics of the thermal conductivity of nanofluids oxide at low and high volume fraction. The study was conducted by dispersing nanoscale particles of CuO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and TiO<sub>2</sub> are each measuring 20 nm in a base fluid water (H<sub>2</sub>O) and doing sonification using ultrasonic processor for 30 minutes. Fraction volume created in volume fraction lower at 0.1% to 0.9% and a high volume fraction of 1% to 10%. Thermal conductivity of nanofluids testing oxides at low volume fraction and a high volume fraction KD2 done using a method that is measured at a temperature of 25°C.

The test results show the characterization of thermal conductivity of nanofluids oxide in this case is CuO-Water, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Water and TiO<sub>2</sub>-Water each provide a significant increase in thermal conductivity at low volume fraction. The thermal conductivity of CuO-water nanofluid higher at low and high volume fraction than the thermal conductivity of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Water and TiO<sub>2</sub>-Water.

**Keywords:** Thermal conductivity, nanofluids, oxide, volume fraction.

## 1. PENDAHULUAN

Sejak Choi [1] pertama kali mengemukakan konsep penggunaan nanofluida untuk meningkatkan konduktivitas termal fluida kerja, hal ini menjanjikan suatu harapan yang besar bagi bidang perpindahan kalor. Dalam beberapa tahun terakhir nanofluida juga mulai mendapat perhatian dikalangan peneliti maupun industri dan menjadi suatu. Seperti yang telah diketahui bahwa nanofluida merupakan partikel dalam ukuran nano yang dicampurkan dalam fluida dasar baik dalam bentuk

---

\* Wayan Nata Septiadi, HP:081916356509

Email: [wayan.nata@gmail.com](mailto:wayan.nata@gmail.com)

partikel logam murni maupun dalam bentuk oksida logam sehingga membentuk suspensi yang memiliki kemampuan termal yang lebih baik, sehingga fluida nano ini bisa digunakan sebagai fluida kerja pada alat penukar kalor ataupun alat pendingin [2]. Penggunaan fluida kerja guna meningkatkan kinerja pipa kalor telah banyak dilakukan oleh Putra, dkk., [3], Septiadi, dkk., [4] serta beberapa peneliti lain seperti Teng, dkk., Noie, dkk., [5,6]. Penggunaan fluida nano untuk aplikasi alat penukar kalor juga telah banyak dilakukan oleh R. Saleh, dkk., [7], bahkan pada penelitian terdahulu penulis juga telah melakukan penelitian mengenai pengaruh penggunaan nanofluida  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -air pada pipa kalor dengan sumbu kapiler screen mesh.

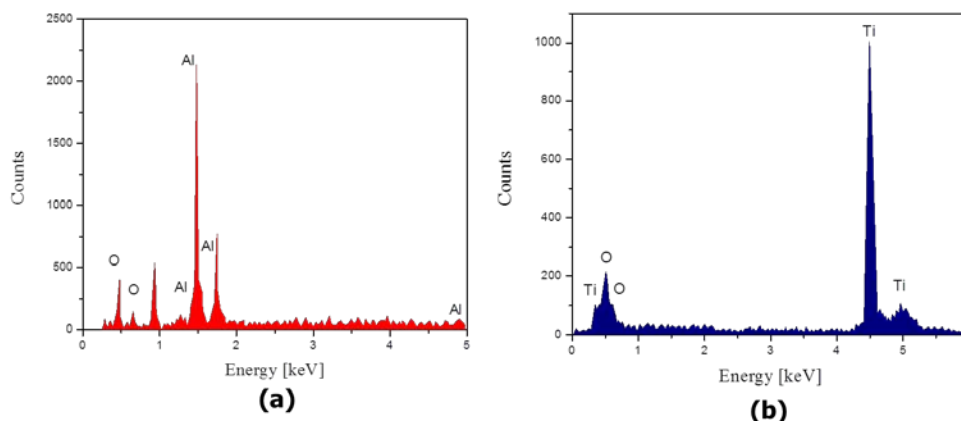
Konduktivitas termal yang lebih tinggi dari fluida dasar konvensional merupakan hal yang diharapkan pada nanofluida sehingga dapat meningkatkan laju perpindahan kalor di dalam suspensi ataupun fluida kerja itu sendiri [8-11]. Partikel dalam ukuran nano yang didispersikan dalam fluida dasar memberikan efek gerak Brown yang sangat baik sehingga mencegah terjadinya aglomerasi. Dalam pengaplikasiannya sebagai fluida kerja pada alat penukar kalor, baik pipa kalor, pendingin dan sebagainya tentunya nanofluida memiliki karakteristik yang berbeda beda antara nano fluida yang satu dengan nano fluida yang lainnya [12]. Beberapa penelitian tentang nanofluida terkadang ada yang membahas mengenai kinerja termal pada fraksi volume tinggi dan ada pula yang membahas kinerja termal pada fraksi volume rendah. Hal ini tentunya sangat terkait dengan konduktivitas termal dari suspensi nanofluida tersebut.

Konduktivitas termal nanofluida merupakan salah satu bagian yang sangat menentukan dalam peningkatan koefisien laju perpindahan kalor nanofluida tersebut dalam fungsinya sebagai fluida kerja alternatif pada alat penukar kalor [13], akan tetapi terkadang beberapa fraksi volume yang besar tidak memberikan dampak peningkatan konduktivitas termal yang signifikan begitu juga sebaliknya. Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan karakterisasi konduktivitas termal pada nanofluida oksida dengan fluida dasar air. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan karakterisasi konduktivitas termal nanofluida oksida pada fraksi volume rendah dan fraksi volume tinggi.

## 2. METODE

### 2.1. Preparasi Nanofluida

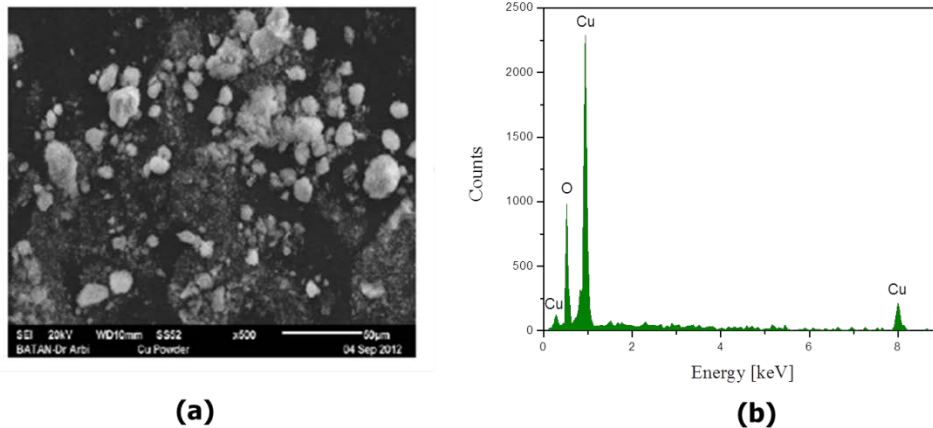
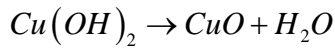
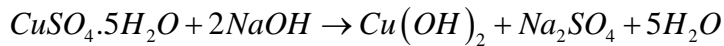
Nanofluida dibuat dari oksida partikel nano yakni Aluminium Oxide ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Titanium Dioxide ( $\text{TiO}_2$ ), Copper Oxide ( $\text{CuO}$ ) yang masing-masing berukuran 20 nm, dimana partikel ini nantinya di dispersikan pada fluida dasar air. Partikel Aluminium Oxide ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang digunakan disini adalah  $\text{Al}_2\text{O}_3$  komersial Degussa Alpha-Aluminium Oxide 20 nm berbentuk bola. Gambar 1(a) memperlihatkan hasil uji EDX dari  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dimana dari gambar terlihat bahwa jumlah energi dominan pada  $\pm 1,5$  keV dimana memang merupakan properties Aluminium (Al). Dari hasil EDX didapatkan jumlah unsur Al sebanyak 64,38% dan unsur O 35,62%. Partikel  $\text{TiO}_2$  yang digunakan disini juga merupakan partikel  $\text{TiO}_2$  komersial Degussa dengan diameter 20 nm. Hasil pengujian EDX, seperti terlihat pada Gambar 1 (b) menyatakan bahwa partikel tersebut memang Titanium Dioxide ( $\text{TiO}_2$ ) dilihat dari dominasi energi terdapat pada  $\pm 4,5$  keV yang merupakan properties dari Titanium (Ti), dimana dari pengujian didapatkan unsur Ti sebanyak 66,82% dan unsur O 33,18%.



Gambar 1. (a) EDX  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , (b) EDX  $\text{TiO}_2$

Partikel nano  $\text{CuO}$  dibuat melalui metode sol-gel, yakni dengan memperoleh  $\text{CuO}$  dari reaksi pelarutan sejumlah  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  dengan  $\text{NaOH}$  yang masing-masing dilarutkan pada 200 ml dan 300 ml air destilasi. Larutan  $\text{NaOH}$  di tambahkan perlahan ke dalam larutan  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  sampai pH mencapai 13. Pada saat yang bersamaan campuran tersebut diaduk dengan menggunakan magnetic

stirel selama 5 jam dengan temperatur 250°C agar terjadi endapan seperti yang terlihat pada Gambar 2. Endapat selanjutnya dicuci dengan menggunakan air destilasi dan etanol untuk menghindari terjadinya reaksi. Partikel serbuk CuO diperoleh setelah endapan yang sudah dibersihkan tersebut dipanaskan dalam tungku pada suhu 125°C selama 8 jam. Secara reaksi kimia dapat dituliskan :



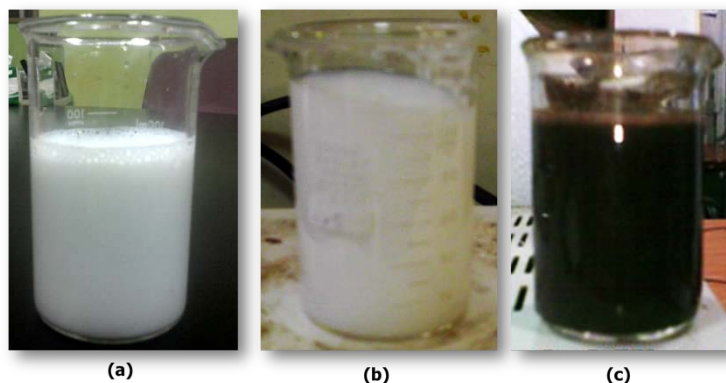
Gambar 2. (a) Photo SEM, (b) EDX partikel nano CuO

Gambar 3 merupakan photo SEM dan EDX nano partikel CuO yang diperoleh dari hasil sintesa  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  dengan NaOH, dimana dari gambar terlihat bahwa partikel tersebut berukuran nano dengan unsur-unsur dari partikel tersebut adalah Cu 67,73%, dan O 32,27%.

Nano fluida dibuat dengan mencampurkan masing-masing partikel nano tersebut dalam air. Dalam hal ini masing masing nano fluida dibuat mulai dari fraksi volume rendah sampai fraksi volume tinggi. Fraksi volume rendah memiliki rentang  $0 < \text{fraksi volume} \leq 1\% \text{ vol.}$ , sedangkan fraksi volume tinggi mulai dari  $1\% \text{ vol.} < \text{fraksi volume} \leq 10\% \text{ vol.}$  Pembuatan nanofluida dilakukan dengan metode dua langkah yakni dengan mendispersikan partikel nano ke dalam fluida dasar (air), dimana perhitungan jumlah massa masing-masing partikel nano ditentukan melalui persamaan 1.

$$\% \text{ vraksi volume} = \frac{\left( \frac{W_{fn}}{\rho_{fn}} \right)}{\left( \frac{W_{fn}}{\rho_{fn}} \right) + \left( \frac{W_{fd}}{\rho_{fd}} \right)} \quad (1)$$

Fluida nano di buat dengan menggunakan ultrasonic processor, dimana campuran partikel nano dalam berbagai konsentrasi tersebut di sonifikasi pada frekuensi 60 Hz selama 30 menit. Untuk menghindari penguapan fluida dasar pada proses sonifikasi temperatur selama proses sonifikasi dijaga pada temperatur 25°C.



Gambar 3 Nanofluida (a) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-air, (b) TiO<sub>2</sub>-air, (c) CuO-air

## 2.2 Pengukuran Konduktivitas Termal Nanofluid

Pengukuran konduktivitas termal nanofluida dilakukan dengan menggunakan KD2 Pro thermal properties analyzer Decagon, dengan panjang sensor 60 mm dan dengan diameter 1,28 mm. Metode ini merupakan pengukuran konduktivitas termal nanofluida dengan prinsip disipasi panas. Dimana pengukuran berlangsung selama 90 detik yang terdiri dari proses awal dengan pemanasan dan pendinginan sensor masing-masing 30 detik yang kemudian sensor akan menghitung keseimbangan kalor antara proses pemanasan dan pendinginan. Pada akhir pembacaan sensor akan menghitung konduktivitas termal dengan menggunakan beda suhu ( $\Delta T$ ) melalui persamaan 2 [8]

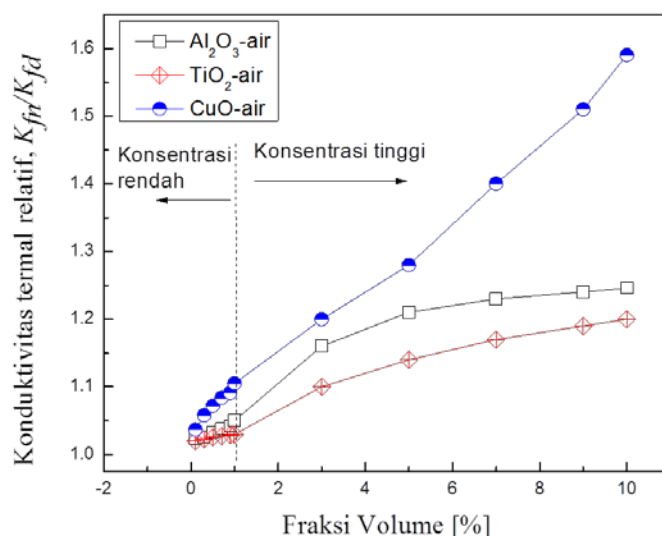
$$k = \frac{q(\ln t_2 - \ln t_1)}{4\pi(\Delta T_2 - \Delta T_1)} \quad (2)$$

Pengukuran dilakukan pada tabung reaksi dengan jumlah fluida  $\pm 20$  ml, dimana pengkondisian suhu pengukuran dilakukan dengan menggunakan Circulating Thermostatic Bath (CTB).

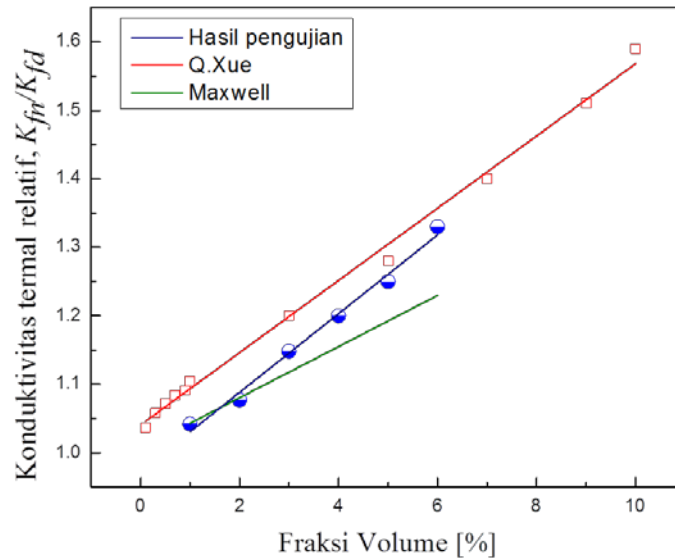
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4 menunjuk konduktivitas termal relatif nanofluida  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -air,  $\text{TiO}_2$ -air dan  $\text{CuO}$ -air pada beberapa fraksi volume. Dari gambar terlihat bahwa penambahan sejumlah partikel nano pada air dapat meningkatkan konduktivitas termal dari fluida kerja. Penambahan partikel nano  $\text{CuO}$ -air memberikan peningkatan konduktivitas termal paling besar dibandingkan dengan nanofluida  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -air dan  $\text{TiO}_2$ -air. Hal ini wajar karena konduktivitas termal partikel  $\text{CuO}$  memang lebih tinggi dibandingkan dengan konduktivitas termal  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{TiO}_2$ . Pengamatan juga dilakukan pada peningkatan konduktivitas termal nanofluida pada peningkatan fraksi volume. Pada fraksi volume rendah ataupun pada fraksi volume tinggi nanofluida  $\text{CuO}$ -Air tetap memberikan trend konduktivitas termal yang paling tinggi dibandingkan dengan  $\text{TiO}_2$ -Air dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Air. Pada fraksi volume rendah konduktivitas termal relatif paling maksimal memberikan perbedaan masing-masing  $\text{CuO}$ -Air 7,8% lebih tinggi dari pada konduktivitas termal relatif  $\text{TiO}_2$  dan 5,8% lebih tinggi dari konduktivitas termal relatif  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Air. Sedangkan untuk fraksi volume tinggi konduktivitas termal relatif maksimal memberikan perbedaan masing-masing  $\text{CuO}$ -Air 3,9% lebih tinggi dari pada konduktivitas termal relatif  $\text{TiO}_2$  dan 3,3% lebih tinggi dari konduktivitas termal relatif  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Air. Hal ini terlihat bahwa peningkatan konduktivitas termal pada fraksi volume rendah lebih signifikan dibandingkan dengan peningkatan konduktivitas termal pada fraksi volume tinggi.

Peningkatan konduktivitas dengan peningkatan fraksi volume pada penelitian ini terlihat berbeda dengan peningkatan konduktivitas antara model Maxwell, Hamilton dan juga Q. Xue. Dari Gambar 5 terlihat bahwa konduktivitas termal  $\text{CuO}$ -Air dari hasil pengukuran yang dilakukan rendah dari pada model Q.Xue dan Maxwell, akan tetapi pada fraksi volume tinggi hasil pengujian memberikan model konduktivitas termal yang lebih tinggi dibandingkan dengan model Maxwell akan tetapi masih lebih rendah dibandingkan dengan model Q.Xue.

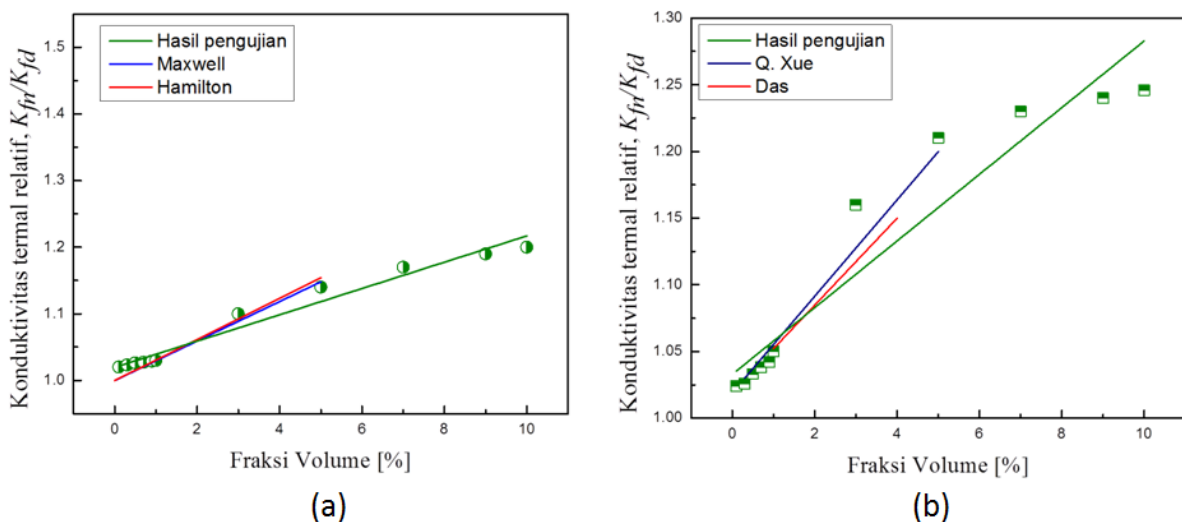


Gambar 4. Konduktivitas termal relatif nanofluida  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -air,  $\text{TiO}_2$ -air dan  $\text{CuO}$ -air



Gambar 5. Konduktivitas termal relatif nanofluida CuO-air

Untuk  $\text{TiO}_2$ -air dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -air seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4 konduktivitas termal pengukuran juga berbeda dengan model dari Maxwell, Hamilton dan Das. Seperti yang disampaikan oleh Rosari et al. [2] bahwa perbedaan konduktivitas termal ini dikarenakan pada pemodelan nilai konduktivitas termal yang telah dilakukan hanya berdasarkan pada variabel tertentu seperti fraksi volume dan bentuk atau hanya berdasarkan fraksi volume dan bentuk saja, sedangkan pada kasus nanofluida masih terdapat variabel gerak Brown, fluida dasar, dan kelompok nano. Lapisan cair-padat antar muka partikel nano juga memberikan pengaruh terhadap konduktivitas termal dari nanofluida [14] sedangkan itu belum menjadi suatu variabel yang disamakan dalam penentuan model konduktivitas termal dalam hal ini. Struktur molekul cair yang lebih teratur pada antar muka zat padat partikel nano mengakibatkan perpindahan kalor antar zat padat nano partikel dapat berlangsung lebih baik [15] hal ini akan memberikan dampak pada peningkatan konduktivitas termal pada nanofluida tersebut.



Gambar 6. (a) Konduktivitas termal relatif nanofluida  $\text{TiO}_2$ -Air, (b) Konduktivitas termal relatif nanofluida  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Air

Terlihat dari Gambar 6. a bahwasanya pada fraksi volume rendah model konduktivitas termal  $\text{TiO}_2$ -Air dari hasil pengukuran lebih tinggi dibandingkan dengan model yang di nyatakan oleh Maxwell dan Hamilton sedangkan pada fraksi volume tinggi keadaannya menjadi berbeda dimana model dari hasil pengujian berada pada kondisi lebih rendah dibandingkan dengan model dari Maxwell dan Hamilton. Kecenderungan yang sama juga terjadi pada model konduktivitas termal nanofluida  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Air, dimana model yang diberikan oleh hasil pengujian menunjukkan kondisi lebih tinggi pada fraksi volume rendah dibandingkan dengan model Q.Xue dan Das sedangkan pada fraksi volume tinggi

kondisinya menunjukkan nilai yang lebih rendah dari model Q.Xue dan Das seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6.b.

## 5. KESIMPULAN

Hasil karakterisasi konduktivitas termal nanofluida oksida yang dalam hal ini adalah CuO-Air, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Air dan TiO<sub>2</sub>-Air masing-masing memberikan peningkatan konduktivitas termal yang signifikan pada fraksi volume rendah. Konduktivitas termal CuO-Air baik pada fraksi volume rendah maupun pada fraksi volume tinggi lebih tinggi dibandingkan dengan konduktivitas termal Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Air dan TiO<sub>2</sub>-Air.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Laboratorium Applied Heat Transfer Research Group (AHTRG) atas bantuan peralatan dan fasilitas selama dalam penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. U. Choi and J. Eastman, "Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles," Argonne National Lab., IL (United States)1995.
- [2] R. Saleh, N. Putra, R. E. Wibowo, W. N. Septiadi, and S. P. Prakoso, "Titanium dioxide nanofluids for heat transfer applications," *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 52, pp. 19-29, 2014
- [3] N. Putra, W. N. Septiadi, and R. Irwansyah, "Effect of Concentration and Loading Fluid of Nanofluids on the Thermal Resistance of Sintered Powder Wick Heat Pipe," *Advanced Materials Research*, vol. 651, pp. 728-735, 2013.
- [4] W. Septiadi, N. Putra, M. Juarsa, I. Putra, and R. Sahnura, "Characteristics of Screen Mesh Wick Heat Pipe with Nano-fluid as Passive Cooling System," *Atom Indonesia*, vol. 39, 2013.
- [5] T.-P. Teng, H.-G. Hsu, H.-E. Mo, and C.-C. Chen, "Thermal efficiency of heat pipe with alumina nanofluid," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 504, pp. S380-S384, 2010.
- [6] S. Noie, S. Z. Heris, M. Kahani, and S. Nowee, "Heat transfer enhancement using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-water nanofluid in a two-phase closed thermosyphon," *International Journal of Heat and Fluid Flow*, vol. 30, pp. 700-705, 2009.
- [7] Saleh, R., Putra, N., Prakoso, S.P. and Septiadi, W.N., 2013. Experimental investigation of thermal conductivity and heat pipe thermal performance of ZnO nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences*, 63, pp.125-132.
- [8] H. Maddah, M. Rezazadeh, M. Maghsoudi, and S. NasiriKokhdan, "The effect of silver and aluminum oxide nanoparticles on thermophysical properties of nanofluids," *Journal of Nanostructure in Chemistry*, vol. 3, pp. 1-6, 2013.
- [9] C. Li and G. Peterson, "The effective thermal conductivity of wire screen," *International journal of heat and mass transfer*, vol. 49, pp. 4095-4105, 2006.
- [10] X. F. Yang, Z.-H. Liu, and J. Zhao, "Heat transfer performance of a horizontal micro-grooved heat pipe using CuO nanofluid," *Journal of Micromechanics and Microengineering*, vol. 18, p. 035038, 2008.
- [11] G. Kumaresan, S. Venkatachalapathy, and L. G. Asirvatham, "Experimental investigation on enhancement in thermal characteristics of sintered wick heat pipe using CuO nanofluids," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 72, pp. 507-516, 2014.
- [12] Z. H. Liu, X. F. Yang, and G. L. Guo, "Effect of nanoparticles in nanofluid on thermal performance in a miniature thermosyphon," *Journal of applied physics*, vol. 102, p. 013526, 2007
- [13] P. Gunnasegaran, M. Abdullah, and N. Shuaib, "Influence of nanofluid on heat transfer in a loop heat pipe," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 47, pp. 82-91, 2013.
- [14] P. Keblinski, R. Prasher, and J. Eapen, "Thermal conductance of nanofluids: is the controversy over," *Journal of Nanoparticle research*, vol. 10, pp. 1089-1097, 2008.
- [15] C.-J. Yu, A. Richter, J. Kmetko, S. Dugan, A. Datta, and P. Dutta, "Structure of interfacial liquids: X-ray scattering studies," *Physical Review E*, vol. 63, p. 021205, 2001.