

# KONDUKTIVITAS TERMAL EFEKTIF *HYBRID* NANOFLUIDA $Al_2O_3-TiO_2-AIR$ PADA KONSENTRASI RENDAH DAN TINGGI

Wayan Nata Septiadi<sup>1,2,3\*</sup>, Ida Ayu Nyoman Titin Trisnadewi<sup>3,4</sup>, Made Ricki Murti<sup>3</sup>, Nandy Putra<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Badung-Bali, Indonesia

<sup>2</sup> Laboratorium Perpindahan Panas<sup>1</sup> Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Badung-Bali

<sup>3</sup>Heat Transfer Research Group Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana

<sup>4</sup>Mahasiswa Program Sarjana (S1) Teknik Mesin Universitas Udayana Badung-Bali, Indonesia

<sup>5</sup>Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia, Kampus Baru UI-Depok

Keywords :

*Hybrid nanofluid, thermal conductivity, alternative working fluid*

Email penulis:

\*[Wayan.nata@gmail.com](mailto:Wayan.nata@gmail.com)  
[Titintrisna42@gmail.com](mailto:Titintrisna42@gmail.com)

**Abstract**

The development of science and technology on the improvement of performance, especially in working fluids on the heat pipe is now beginning to move very rapidly. This development has an impact on increasing the resulting thermal conductivity, so that the heat conducting system with the bottom water fluid is starting to be abandoned. Nowadays, a lot of research is now being developed that is related to nanofluid that mix water base fluid with a nanoparticle that can increase the value of thermal conductivity. Nanofluids are widely used as working fluids because they are capable of producing better thermal conductivity, but there are still disadvantages of using nanofluids at the level of agglomeration. Therefore, in this study a new innovation was conducted using two nanoparticles mixed into the base fluid which is often called hybrid nanofluid. The purpose of this research is to obtain the working fluid that is nanofluid with high thermal conductivity value and low agglomeration level.

The study was conducted by dispersing commercial nanotubes  $Al_2O_3$  and  $TiO_2$  diameter 20 nm in a water-based fluid with low volume fractions (0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7%) and high (1%, 3 %, 5%, 7%) on 3 ratio composition ie  $Al_2O_3 - TiO_2$  75%: 25%, 50%: 50%, 25%: 75%. The synthesis process is carried out with a magnetic stirrer for 30 minutes. Thermal conductivity is measured using a KD2 device, at a temperature of 25°C in a circulating thermostatic bath. Based on the research, it was found that the ratio composition resulted in the increase of optimum and significant thermal conductivity that is 75%  $Al_2O_3 - 25%$   $TiO_2$  ratio with 0.7% volume fraction using the composition increase of 6 times but can increase thermal conductivity by 20% and 32,5% to water.

## 1. Pendahuluan

Nanofluida (suspensi cairan nanopartikel) adalah istilah yang pertama kali dicetuskan oleh (Choi and Eastman, 1995) untuk menggambarkan suspensi koloid stabil partikel nano (1-100 nm) padat diameter dalam nanometer atau  $10^{-9}$  m ke dalam cairan dasar (Suresh et al., 2011). Nanofluida diusulkan sebagai fluida perpindahan panas generasi berikutnya karena nanofluida menawarkan kemungkinan baru yang menarik untuk meningkatkan kinerja perpindahan panas dibandingkan dengan cairan konvensional. Oleh karena itu, nanofluida telah menarik minat besar karena potensinya dengan memiliki sifat canggih yang membuat nanofluida ini berguna dalam banyak aplikasi perpindahan panas seperti elektronik, *ex-changer* panas, pipa panas, kolektor surya dan sebagainya. Salah satunya penelitian yang dilakukan oleh (Putra, 2010) yang melakukan penelitian tentang efek konsentrasi nanofluida terhadap kinerja heat pipe. Secara teoritis campuran nanofluida memiliki termal konduktivitas yang lebih baik daripada fluida dasar pencampurannya (Putra, 2003). Keunggulan yang dimiliki nanofluida ternyata masih memiliki beberapa permasalahan mengenai aglomerasi dimana saat konduktivitas tinggi tetapi aglomerasi terjadi sangat cepat atau sebaliknya (Ilyas et al., 2016).

Berdasarkan permasalahan tersebut saat ini para peneliti mulai mengembangkan dan melakukan pengamatan terhadap hybrid nanofluida. Hybrid merupakan suatu penggabungan dua atau lebih partikel nanofluida pada suatu fluida dasar. Nanofluida *hybrid* adalah cairan potensial yang menawarkan kinerja perpindahan panas yang lebih baik dan sifat fisik termal dari cairan perpindahan panas konveksi (minyak, air dan etilen glikol) dan nanofluida dengan nanopartikel tunggal. *Hybrid* nanofluida adalah cairan nanoteknologi baru yang disintesis dengan mendispersikan dua nanopartikel berbeda menjadi fluida perpindahan panas konvensional (Sidik et al., 2016). Tujuan penyertaan nanopartikel hibrida dalam fluida dasar adalah untuk meningkatkan karakteristik perpindahan panas fluida dasar melalui kombinasi sifat termal-fisik nanomaterial (Sarkar et al., 2015). (Devendiran and Amirtham, 2016) menyatakan

bahwa sintesis nanopartikel hibrida memberikan perbaikan pada sifat fisik-kimia yang tidak diperoleh pada nanofluida yang menggunakan nanomaterial tunggal. Beberapa penelitian mengenai penggunaan *hybrid* nanofluida dilakukan oleh Putra et al., 2012 tentang peningkatan konduktivitas termal nanofluida  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ , dan  $\text{CuO}$  serta penggunaan nanofluida sebagai fluida kerja heat pipe serta beberapa penelitian yang dilakukan oleh Sundar et al., 2017 terkait konduktivitas termal  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{CuO}$  dan penelitian yang dilakukan Madhesh et al., 2014 tentang potensi perpindahan panas dan karakteristik rheology dari *hybrid nanofluid* tembaga-titanium dengan menggunakan *tubular heat exchanger*.

Faktor penting dalam pembuatan *hybrid* nanofluida adalah fraksi volume yang sangat menentukan karakter konduktivitas dari nanofluida. (Yang et al., 2012) menyebutkan bahwa penggabungan dua atau lebih nanopartikel dalam kimia fluida dasar dan tipe nano sangat penting untuk menciptakan nanofluida yang stabil. Penelitian terkait fraksi volume juga dilakukan oleh Esfe et al., 2015 tentang konduktivitas termal dan viskositas dinamis dari *hybrid* nanofluida Ag-MgO-air untuk mengembangkan korelasi baru, serta penelitian yang dilakukan Nata Septiadi et al., 2015 dengan mendispersikan partikel nano  $\text{CuO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{TiO}_2$  dengan fraksi volume yang dibuat dalam fraksi volume rendah yakni 0.1% sampai dengan 0.9% dan fraksi volume tinggi 1% sampai dengan 10%. Berdasarkan hal tersebut maka peneliti mencoba menggabungkan antara fluida nano  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dengan  $\text{TiO}_2$  untuk mendapatkan karakterisasi konduktivitas termal *hybrid* nanofluida, baik dengan fraksi volume rendah dan fraksi volume tinggi. Oleh karena itu penulis bermaksud melakukan penelitian mengenai Karakterisasi Konduktivitas Termal *Hybrid* Nanofluida  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{TiO}_2$ -Air pada Konsentrasi Rendah dan Tinggi.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Pembuatan *Hybrid* Nanofluida

Proses pembuatan *hybrid* nanofluida dilakukan pada bulan November 2017 bertempat di Laboratorium Perpindahan Panas dan Laboratorium Metalurgi dan Material Teknik Mesin Universitas Udayana. Kemudian proses pengujian dilakukan pada bulan Januari 2018 bertempat di *Applied Heat Transfer Research Group University of Indonesia*.

*Hybrid* nanofluida dibuat dengan cara mencampurkan partikel nano ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan ( $\text{TiO}_2$ ) ke dalam fluida dasar berupa air. Dalam penelitian ini ukuran nanopartikel yang digunakan masing-masing berukuran 20 nm, dimana nanofluida disintesa menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit. Pada pembuatan *hybrid* nanofluida ini menggunakan dua jenis konsentrasi yang akan diteliti yang terdiri dari konsentrasi rendah (0,1%; 0,3%; 0,5%; dan 0,7%) dan konsentrasi tinggi (1%; 3%; 5%; dan 7%) fraksi volume dengan perbandingan fluida dasar dan campuran nanopartikel yang digunakan dengan tiga jenis perbandingan nanopartikel antara  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{TiO}_2$  yaitu (25%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  : 75%  $\text{TiO}_2$ ), (50%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  : 50%  $\text{TiO}_2$ ) dan (75%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  : 25%  $\text{TiO}_2$ ). Perhitungan massa nanopartikel dilakukan dengan perkalian antara massa jenis nanopartikel dengan volume nanopartikel. Maka akan didapat nilai massa nanopartikel untuk setiap fraksi volume yang berbeda, berikut rumus perhitungannya.

$$\text{Fraksi Volume} : \frac{\text{Volume Nanopartikel}}{\text{Volume Fluida Dasar}} = \frac{\text{Volume Al}_2\text{O}_3 + \text{Volume TiO}_2}{\text{Volume Fluida Dasar}}$$

dikarenakan partikel maka volume dikonversikan ke massa

$$m = \rho \times v$$

Dimana :

$m$  = massa nanopartikel (gram)

$\rho$  = densitas nanopartikel ( $\text{kg/m}^3$ )  $\approx$  (gram/ml)

$v$  = volume fraction nanopartikel (ml)

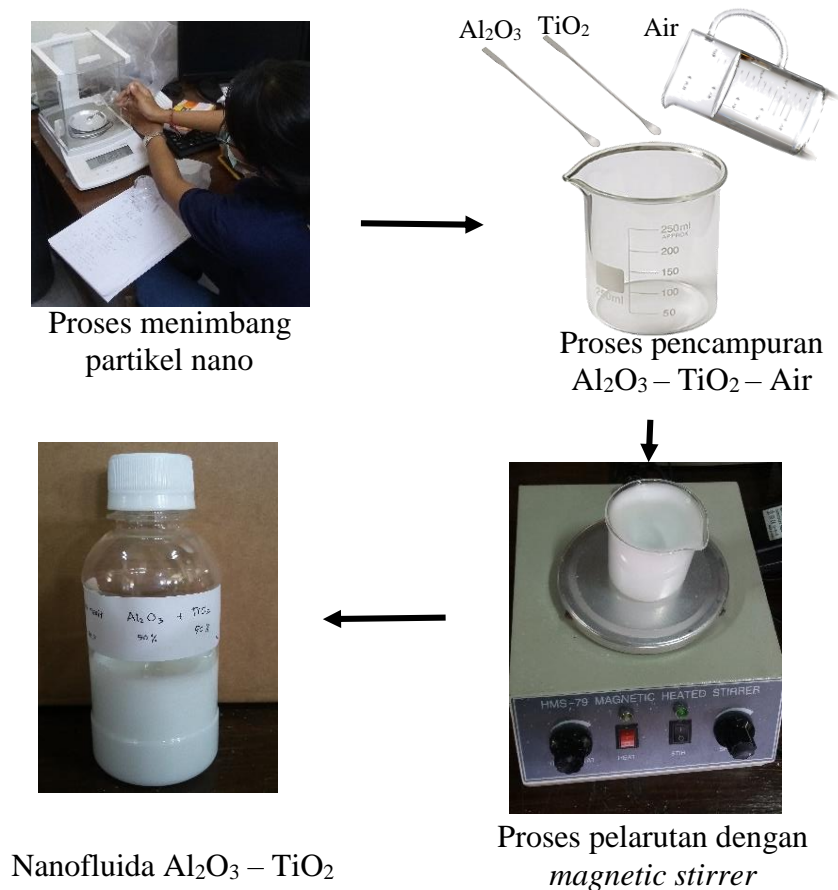
Berdasarkan perhitungan tersebut maka diperoleh komposisi nanopartikel yang akan digunakan dalam pembuatan *hybrid* nanofluida dengan berbagai konsentrasi. Berikut adalah perbandingan massa nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{TiO}_2$  dengan fluida dasarnya yaitu aquades.

**Tabel 3.1 Perbandingan massa nanopartikel dengan fluida dasar pada konsentrasi rendah**

Fraksi Volume	Volume Air (ml)	Massa Nanopartikel (gram)					
		75 % : 25 %		50 % : 50 %		25 % : 75 %	
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>
0,10%	99,9	0,0135	0,006	0,009	0,012	0,0045	0,018
0,30%	99,7	0,0405	0,018	0,027	0,036	0,0135	0,054
0,50%	99,5	0,0675	0,03	0,045	0,06	0,0225	0,09
0,70%	99,3	0,0945	0,042	0,063	0,084	0,0315	0,126

**Tabel 3.2 Perbandingan massa nanopartikel dengan fluida dasar pada konsentrasi tinggi**

Fraksi Volume	Volume Air (ml)	Massa Nanopartikel (gram)					
		75 % : 25 %		50 % : 50 %		25 % : 75 %	
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>
1 %	99	0,135	0,06	0,09	0,12	0,045	0,18
3 %	97	0,405	0,18	0,27	0,36	0,135	0,54
5 %	95	0,675	0,3	0,45	0,6	0,225	0,9
7 %	93	0,945	0,42	0,63	0,84	0,315	1,26



Gambar 2.1 Proses pembuatan *hybrid* nanofluida

## 2.2 Pengujian Konduktivitas Termal

Metode KD<sub>2</sub> 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 prinsip persamaan berikut :

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

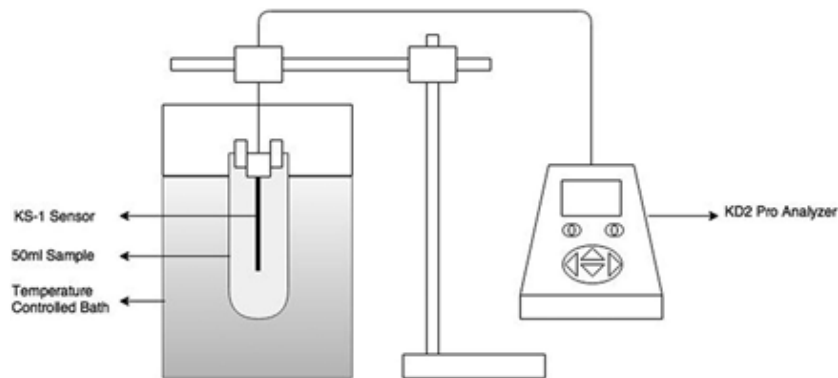
dimana :

$q$  = laju panas konstan yang diterapkan pada sumber "garis" tak terhingga panjang dan kecil  $W.m^{-1}.K^{-1}$ )

$T_1$  = perubahan suhu pada  $t_1$  (K)

$T_2$  = perubahan suhu pada  $t_2$  (K) (Suresh et al., 2011)

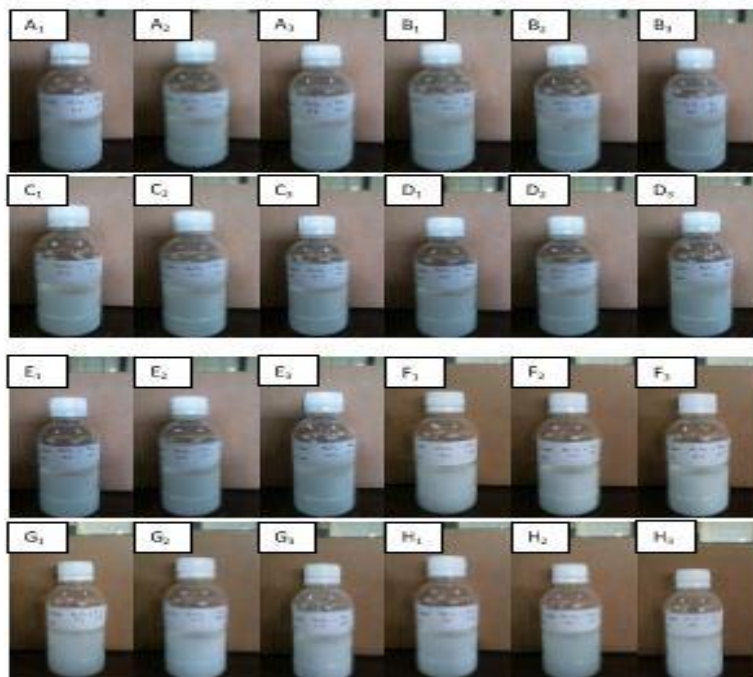
Pengukuran dilakukan pada tabung reaksi dengan jumlah fluida  $\pm 20$  ml, dimana pengkondisian suhu pengukuran dilakukan dengan menggunakan *Circulating Thermostatic Bath* (CTB). (Nata Septiadi et al., 2015).



Gambar 2.2 Alat pengujian konduktivitas termal (Akilu et al., 2017)

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Hasil Sintesa *Hybrid Nanofluida*



Gambar 3.1 Larutan sintesa *Hybrid Nanofluida* dengan konsentrasi rendah dan tinggi

### 3.2. Hasil Pengujian Konduktivitas Termal

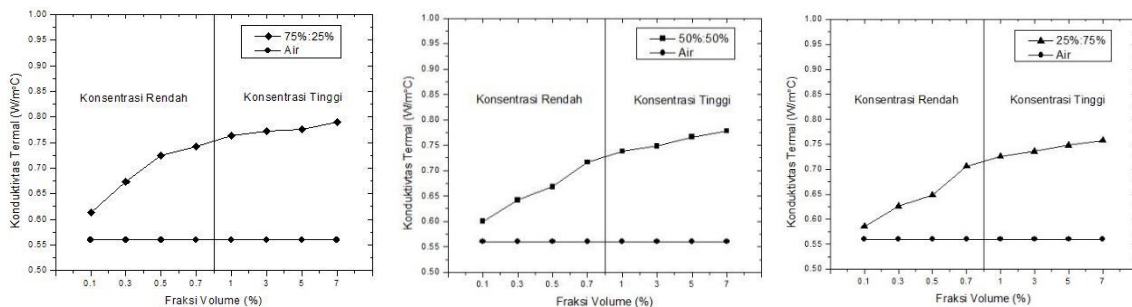
Pengukuran konduktivitas termal hybrid nanofluida dilakukan dengan menggunakan KD2 Pro thermal properties analyzer Decagon. Pengukuran berlangsung selama 90 detik yang terdiri dari proses awal dengan pemanasan dan pendinginan sensor masing-masing 30 detik yang kemudian sensor akan menghitung keseimbangan kalor antara proses pemanasan dan pendinginan. Pada akhir pembacaan sensor akan menunjukkan nilai konduktivitas termal dari hybrid nanofluida. Berikut adalah tabel hasil pengujian konduktivitas termal dari berbagai macam fraksi volume dan komposisinya.

**Tabel 3.1 Hasil pengujian konduktivitas termal *hybrid* nanofluida**

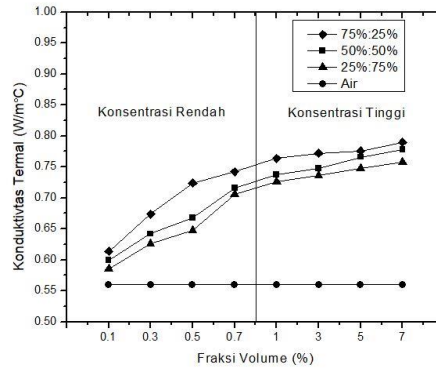
Rasio Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – TiO <sub>2</sub>	Fraksi Volume	Konduktivitas Termal					K <sub>rata-rata</sub>
		K1	K2	K3	K4	K5	
75%-25%	0,1	0,61	0,61	0,61	0,62	0,62	0,6140
	0,3	0,67	0,67	0,68	0,67	0,68	0,6740
	0,5	0,72	0,72	0,73	0,72	0,73	0,7240
	0,7	0,74	0,74	0,75	0,74	0,74	0,7420
	1	0,76	0,76	0,76	0,77	0,77	0,7640
	3	0,78	0,77	0,77	0,77	0,77	0,7720
	5	0,78	0,78	0,77	0,77	0,78	0,7760
	7	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,7900
50%-50%	0,1	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,6000
	0,3	0,64	0,64	0,65	0,64	0,64	0,6420
	0,5	0,67	0,67	0,67	0,66	0,67	0,6680
	0,7	0,72	0,72	0,71	0,72	0,71	0,7160
	1	0,73	0,74	0,74	0,74	0,74	0,7380
	3	0,75	0,74	0,75	0,75	0,75	0,7480
	5	0,77	0,76	0,77	0,76	0,77	0,7660
	7	0,78	0,78	0,78	0,78	0,77	0,7780
25%-75%	0,1	0,59	0,58	0,59	0,59	0,58	0,5860
	0,3	0,63	0,63	0,62	0,62	0,63	0,6260
	0,5	0,65	0,65	0,65	0,65	0,64	0,6480
	0,7	0,71	0,71	0,70	0,70	0,71	0,7060
	1	0,73	0,72	0,72	0,73	0,73	0,7260
	3	0,74	0,73	0,73	0,74	0,74	0,7360
	5	0,75	0,75	0,74	0,75	0,75	0,7480
	7	0,76	0,76	0,76	0,75	0,76	0,7580

### 3.3. Karakter Konduktivitas Termal Hybrid Nanofluida Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>-Air pada Konsentrasi Rendah dan Tinggi

Berdasarkan nilai konduktivitas termal hasil pengujian tersebut maka dapat dibuat grafik dari masing-masing rasio dan grafik perbandingan untuk ketiga rasio. Berikut grafik konduktivitas termal hybrid nanofluida dengan berbagai rasio yaitu 75% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 25% TiO<sub>2</sub>, 50% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 50% TiO<sub>2</sub>, 25% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 75% TiO<sub>2</sub> dan dengan varian konsentrasi rendah (0,1%, 0,3%, 0,5%, 0,7%) dan konsentrasi tinggi (1%, 3%, 5%, dan 7%) fraksi volume.



Gambar 3.2 Grafik perbandingan konduktivitas *hybrid* nanofluida terhadap air.



Gambar 3.3 Grafik perbandingan tiga rasio nanopartikel

Hasil grafik konduktivitas termal dari masing-masing rasio (75% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 25% TiO<sub>2</sub>, 50% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 50% TiO<sub>2</sub>, 25% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 75% TiO<sub>2</sub>) tersebut menunjukkan peningkatan nilai konduktivitas termal yang dihasilkan seiring semakin besarnya fraksi volume hybrid nanofluida baik dalam konsentrasi tinggi maupun rendah. Selain itu dapat dilihat pula pada grafik bahwa nilai konduktivitas termal yang dihasilkan oleh *hybrid* nanofluida lebih besar dari nilai konduktivitas termal fluida dasar yaitu air. Sehingga dapat diketahui bahwa pembuatan hybrid nanofluida dengan menggunakan nanopartikel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan TiO<sub>2</sub> dapat menghasilkan peningkatan konduktivitas termal yang lebih baik dari pada fluida dasar.

Grafik perbandingan ketiga rasio pada gambar 3.3 menunjukkan bahwa rasio yang menghasilkan nilai konduktivitas termal paling besar berada pada rasio 75% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 25% TiO<sub>2</sub>. Pada fraksi volume rendah ataupun pada fraksi volume tinggi *hybrid* nanofluida dengan rasio 75% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 25% TiO<sub>2</sub> tetap memberikan trend konduktivitas termal yang paling tinggi dibandingkan dengan 50% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 50% TiO<sub>2</sub> dan 25% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 75% TiO<sub>2</sub>. Hal ini wajar karena konduktivitas termal nanopartikel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> memang lebih tinggi dibandingkan dengan konduktivitas termal TiO<sub>2</sub>. Sehingga dengan komposisi persentase Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang lebih besar akan menghasilkan nilai konduktivitas termal yang lebih besar pula. Hasil ini juga didukung dengan penelitian yang dilakukan oleh Nata Septiadi et al., 2015 pada penelitiannya terkait tentang karakterisasi konduktivitas termal nanofluida oksida berbasis fluida dasar H<sub>2</sub>O dengan menggunakan tiga nanopartikel yaitu CuO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan TiO<sub>2</sub>. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa nilai konduktivitas termal nanofluida Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Air lebih besar dibandingkan nilai konduktivitas termal yang dihasilkan oleh nanofluida TiO<sub>2</sub>-Air. Sehingga hybrid nanofluida yang memiliki kandungan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> lebih besar akan memiliki nilai konduktivitas termal lebih baik.

### 3.4 Peningkatan Konduktivitas Termal *Hybrid* Nanofluida dari Konduktivitas Termal Nanofluida Tunggal

Perbandingan nilai konduktivitas termal *hybrid* nanofluida dengan fluida dasar air dilakukan untuk memperoleh titik fraksi volume yang menghasilkan peningkatan nilai konduktivitas termal yang paling signifikan terhadap air. Berikut adalah contoh dan hasil perhitungan peningkatan persentase konduktivitas termal yang terjadi pada rasio 75% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 25% TiO<sub>2</sub> baik dalam konsentrasi rendah (0,1%, 0,3%, 0,5%, 0,7%) dan konsentrasi tinggi (1%, 3%, 5%, dan 7%) fraksi volume.

Table 3.2 Hasil perhitungan peningkatan konduktivitas termal terhadap air.

Rasio Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - TiO <sub>2</sub>	Fraksi Volume (%)	K <sub>rata-rata</sub> (W/m°C)	Peningkatan Konduktivitas Termal Terhadap Air (%)
75% : 25%	0,1	0,6140	9,64
	0,3	0,6740	20,35
	0,5	0,7240	29,28
	0,7	0,7420	32,50
	1	0,7640	36,42
	3	0,7720	37,85
	5	0,7760	38,57
	7	0,7900	41,07

$$\frac{0,6140 - 0,56}{0,56} \times 100\% = 9,64\%$$

Berdasarkan tabel hasil perhitungan nilai peningkatan konduktivitas termal hybrid nanofluida terhadap air tersebut dapat dilihat persentase peningkatan konduktivitas termal hybrid nanofluida dibandingkan dengan fluida dasar air. Peningkatan konduktivitas termal hybrid nanofluida ini terjadi pada semua fraksi volume baik pada konsentrasi tinggi maupun konsentrasi rendah. Dari hasil ini juga diperoleh bahwa peningkatan tertinggi dari konsentrasi rendah terdapat pada fraksi volume 0,7% yaitu 32,50% dan dari konsentrasi tinggi terdapat pada fraksi volume 7% yaitu 41,07%.

### 3.5 Komposisi Nanopartikel pada Peningkatan Konduktivitas Termal *Hybrid* Nanofluida

Berdasarkan hasil yang diperoleh tentang peningkatan konduktivitas termal hybrid nanofluida terhadap air, yang mana diperoleh bahwa peningkatan tertinggi dari konsentrasi rendah terdapat pada fraksi volume 0,7% yaitu 32,50% dan dari konsentrasi tinggi terdapat pada fraksi volume 7% yaitu 41,07%. Selanjutnya dilakukan perhitungan terhadap komposisi nanopartikel untuk mengetahui fraksi volume yang menghasilkan peningkatan yang signifikan terhadap penambahan massa nanopartikel yang digunakan. Hal ini bertujuan untuk menghasilkan *hybrid* nanofluida yang lebih efisien dimana peningkatan konduktivitas termal terbaik dengan penggunaan nanopartikel yang tepat dan dapat menghasilkan konduktivitas termal *hybrid* nanofluida yang meningkat secara signifikan terhadap penambahan nanopartikel yang digunakan.

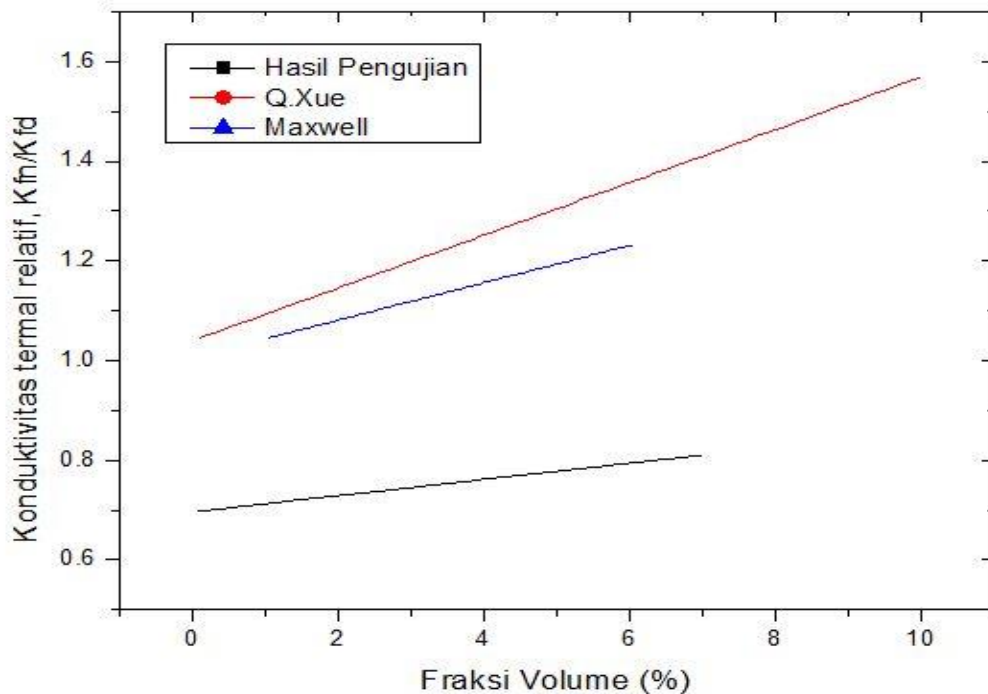
Berikut adalah hasil perhitungan penggunaan komposisi nanopartikel pada fraksi volume 0,7% dan 7% dengan rasio 75% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 25% TiO<sub>2</sub> dan perbandingannya terhadap air.

Rasio Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - TiO <sub>2</sub>	Fraksi Volume (%)	K <sub>rata-rata</sub> (W/m°C)	Peningkatan Komposisi Nanopartikel (gram)	Peningkatan K <sub>rata-rata</sub>	Peningkatan terhadap Air
75%-25%	0,7	0,7420	6 kali	20%	32,5%
	7	0,7900	69 kali	28%	41%

Mengacu dari tabel diatas dapat dibandingkan bahwa pada fraksi volume 0,7% dengan peningkatan komposisi sebanyak 6 kali dapat meningkatkan konduktivitas termal sebesar 20% dan 32,5% terhadap air sedangkan fraksi volume 7% yang memerlukan peningkatan komposisi jauh lebih banyak yaitu 69 kali hanya dapat meningkatkan konduktivitas termal sebesar 28% dan 41% terhadap air. Hasil ini menunjukkan bahwa pada fraksi volume 0,7% yang mampu menghasilkan peningkatan yang signifikan dan efisien terhadap penggunaan nanopartikel dibandingkan dengan fraksi volume 7%.

Terjadi peningkatan yang signifikan dengan air (*deionized water*) pada fraksi volume 0,7% dibandingkan 7%. Oleh karena itu dapat diperoleh nilai konduktivitas yang optimal dari pengujian ini adalah pada rasio perbandingan 75%:25% dengan fraksi volume 0,7%. 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 0,7% dan rasio 75% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 25% TiO<sub>2</sub> pada penelitian ini memiliki trend yang sama jika dibandingkan dengan model Maxwell dan Q. Xue seperti yang terlihat pada Gambar 3.4. Nilai konduktivitas termal yang dihasilkan antara model Maxwell, Q. Xue dan hasil pengujian menunjukkan trend yang meningkat semakin meningkatkan fraksi volume. Namun terlihat bahwa nilai konduktivitas termal dari hasil pengujian berada di bawah dari model Maxwell dan Q. Xue. Hal ini terjadi karena fluida yang digunakan model Maxwell dan Q. Xue menggunakan nanofluida Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Air sedangkan dalam pengujian ini adalah hybrid nanofluida yaitu campuran antara Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>-Air yang bertujuan untuk menghasilkan fluida dengan peningkatan konduktivitas optimum dan tingkat agglomerasi yang lebih panjang. Sehingga dengan pembuatan *hybrid* nanofluida Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>-Air dapat mencapai tujuan fluida kerja alternatif yang diinginkan.



Gambar 3.4 Perbandingan hasil penelitian dengan penelitian Maxwell dan Q.Xue

#### 4. Kesimpulan

Karakter konduktivitas termal *hybrid* nanofluida  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{TiO}_2$  - Air pada konsentrasi rendah dan tinggi menunjukkan terjadi peningkatan nilai konduktivitas termal yang dihasilkan seiring semakin besarnya fraksi volume *hybrid* nanofluida baik dalam konsentrasi tinggi maupun rendah dan memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan konduktivitas fluida dasar. Rasio yang menghasilkan nilai konduktivitas termal paling besar berada pada rasio 75%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  : 25%  $\text{TiO}_2$  baik dalam konsentrasi rendah maupun konsentrasi tinggi. Peningkatan yang terjadi yaitu pada rasio 75%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  : 25%  $\text{TiO}_2$  ini terjadi pada semua fraksi volume baik pada konsentrasi tinggi maupun konsentrasi rendah. Peningkatan tertinggi dari konsentrasi rendah terdapat pada fraksi volume 0,7% yaitu 32,50% dan dari konsentrasi tinggi terdapat pada fraksi volume 7% yaitu 41,07%. Komposisi terbaik nanopartikel pada peningkatan konduktivitas termal *hybrid* nanofluida yang signifikan berada pada konsentrasi rendah dengan fraksi volume 0,7%. Fraksi volume 0,7% dengan peningkatan komposisi sebanyak 6 kali dapat meningkatkan konduktivitas termal sebesar 20% dan 32,5% terhadap air sedangkan fraksi volume 7% yang memerlukan peningkatan komposisi jauh lebih banyak yaitu 69 kali hanya dapat meningkatkan konduktivitas termal sebesar 28% dan 41% terhadap air. Hal ini membuktikan terjadi peningkatan yang signifikan dengan air (*deionized water*) pada fraksi volume rendah yaitu 0,7%.

#### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Udayana atas dukungan dana melalui skema Hibah Penelitian Dasar Unggulan perguruan Tinggi (PDUPT) 2018 dengan Kontrak Nomor 171.77/UN14.4.A/PL/2018, serta kepada Laboratorium AHTRG FT UI atas dukungan peralatan..

#### Daftar Pustaka

- Akilu, S., Baheta, A. T. & Sharma, K. 2017. Experimental measurements of thermal conductivity and viscosity of ethylene glycol-based hybrid nanofluid with  $\text{TiO}_2$ -CuO/C inclusions. *Journal of Molecular Liquids*, 246, 396-405.
- Babu, J. R., Kumar, K. K. & Rao, S. S. 2017. State-of-art review on hybrid nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 551-565.
- Chang, M.-H., Liu, H.-S. & Tai, C. Y. 2011. Preparation of copper oxide nanoparticles and its application in nanofluid. *Powder technology*, 207, 378-386.



- Choi, S. U. & Eastman, J. A. 1995. Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles. Argonne National Lab., IL (United States).
- Devendiran, D. K. & Amirtham, V. A. 2016. A review on preparation, characterization, properties and applications of nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 21-40.
- Duan & Fei 2012. Thermal Property Measurement of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Water Nanofluid.
- Duangthongsuk, W. & Wongwises, S. 2009. Measurement of temperature-dependent thermal conductivity and viscosity of TiO<sub>2</sub>-water nanofluids. *Experimental thermal and fluid science*, 33, 706-714.
- Esfe, M. H., Arani, A. A. A., Rezaie, M., Yan, W.-M. & Karimipour, A. 2015a. Experimental determination of thermal conductivity and dynamic viscosity of Ag–MgO/water hybrid nanofluid. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 66, 189-195.
- Esfe, M. H., Wongwises, S., Naderi, A., Asadi, A., Safaei, M. R., Rostamian, H., Dahari, M. & Karimipour, A. 2015b. Thermal conductivity of Cu/TiO<sub>2</sub>-water/EG hybrid nanofluid: Experimental data and modeling using artificial neural network and correlation. *International communications in heat and mass transfer*, 66, 100-104.
- Fard, M. H., Esfahany, M. N. & Talaie, M. 2010. Numerical study of convective heat transfer of nanofluids in a circular tube two-phase model versus single-phase model. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37, 91-97.
- Ilyas, S. U., Pendyala, R. & Marneni, N. 2016. Stability and agglomeration of alumina nanoparticles in ethanol-water mixtures. *Procedia Engineering*, 148, 290-297.
- Kristiawan, B. & Kamal, I. S. 2015. *Karakterisasi Reologi dan Transfer Kalor Konveksi Fluida Nano Berbasis Anatase Titanium (IV) Dioxide*. Universitas Gadjah Mada.
- Madhesh, D., Parameshwaran, R. & Kalaiselvam, S. 2014. Experimental investigation on convective heat transfer and rheological characteristics of Cu–TiO<sub>2</sub> hybrid nanofluids. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 52, 104-115.
- Minea, A. A. 2017. Hybrid nanofluids based on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> and SiO<sub>2</sub>: Numerical evaluation of different approaches. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 104, 852-860.
- Mintsa, H. A., Roy, G., Nguyen, C. T. & Doucet, D. 2009. New temperature dependent thermal conductivity data for water-based nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences*, 48, 363-371.
- Nata Septiadi, W., Putra, N. & Saleh, R. 2015. Karakterisasi Konduktivitas Termal Nanofluida Oksida Berbasis Fluida Dasar H<sub>2</sub>O. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 8.
- Pakravan, H. A. & Yaghoubi, M. 2013. Analysis of nanoparticles migration on natural convective heat transfer of nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences*, 68, 79-93.
- Putra, N. 2003. Nano Teknologi: Pengembangan Potensi Nanofluida Sebagai Fluida Kerja Alternatif.
- Putra, N., Wayan Nata, S., dan H., Rahman. 2010. Efek Konsentrasi Nano Fluida Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> Terhadap Kinerja Heat Pipe. Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-9. Palembang, 2010. 85-92.
- Putra, N. & Septiadi, W. N. 2014. Teknologi Pipa kalor, Teori dan Aplikasi. Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia. Jakarta.
- Putra, N., Septiadi, W. N., Rahman, H. & Irwansyah, R. 2012. Thermal performance of screen mesh wick heat pipes with nanofluids. *Experimental thermal and fluid science*, 40, 10-17.
- Saha, G. & Paul, M. C. 2015. Heat transfer and entropy generation of turbulent forced convection flow of nanofluids in a heated pipe. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 61, 26-36.
- Sarkar, J., Ghosh, P. & Adil, A. 2015. A review on hybrid nanofluids: recent research, development and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 164-177.
- Sidik, N. A. C., Adamu, I. M., Jamil, M. M., Kefayati, G., Mamat, R. & Najafi, G. 2016. Recent progress on hybrid nanofluids in heat transfer applications: a comprehensive review. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 78, 68-79.
- Suhanan, Kamal, S., Prayitno, Y. A. K., Wiranata, A. & Pradecta, M. R. 2016. studi ekperimental sifat termofisik fluida nano TiO<sub>2</sub>/ThermoXT-32. *Nasional Siomposium On Thermofluids VIII 2016*.
- Sundar, L. S., Sharma, K., Singh, M. K. & Sousa, A. 2017. Hybrid nanofluids preparation, thermal properties, heat transfer and friction factor—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 185-198.

- Suresh, S., Venkataraj, K., Selvakumar, P. & Chandrasekar, M. 2011. Synthesis of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Cu/water hybrid nanofluids using two step method and its thermo physical properties. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 388, 41-48.
- Wang, X.-Q. & Mujumdar, A. S. 2007. Heat transfer characteristics of nanofluids: a review. *International journal of thermal sciences*, 46, 1-19.
- Wildan, M., Hamidi, N., Yuliati, L. & Sudarmadji 2013. pengaruh variasi prosentase masa nanopartikel dan temperatur nanofluida terhadap *fluid properties* nanofluida H<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- Yang, Y., Oztekin, A., Neti, S. & Mohapatra, S. 2012. Particle agglomeration and properties of nanofluids. *Journal of Nanoparticle Research*, 14, 852.
- Yu, W. & Xie, H. 2012. A review on nanofluids: preparation, stability mechanisms, and applications. *Journal of Nanomaterials*, 2012, 1.