

## Koefisien Perpindahan Panas Sumbu Kapiler Pipa Kalor berbasis Sintered Powder Tembaga pada Fluida Kerja Hybrid Nanofluida $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ dengan Komposisi Ratio 50% : 50%

Ferdy Yonathan Maxwell Tamba<sup>1)</sup>, Wayan Nata Septiadi<sup>1)\*</sup>, Ketut Astawa<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana,  
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362

Email: [tamba615@gmail.com](mailto:tamba615@gmail.com), [wayan.nata@gmail.com](mailto:wayan.nata@gmail.com), [awatsa@yahoo.com](mailto:awatsa@yahoo.com)

doi: <https://doi.org/10.24843/METTEK.2019.v05.i01.p03>

### Abstrak

Pipa kalor memiliki konduktivitas termal tinggi dimana memindahkan panas dengan mempertahankan perbedaan suhu menjadi sama dibagian yang dipanaskan dan didinginkan. Kinerja termal pipa kalor dapat ditentukan dari nilai hambatan panas, dimana jika hambatan panas besar maka laju perpindahan kalor menurun dan begitu juga sebaliknya. Faktor yang mempengaruhi nilai hambatan panas adalah fluida kerja sebagai media penghantar kalor dan *wick* sebagai media fluida cair yang bersirkulasi dengan prinsip kerja kapilaritas. Kapilaritas *wick* berbentuk rongga sehingga *wick* disebut juga porous media. Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan nilai koefisien perpindahan panas menggunakan sumbu kapiler pipa kalor jenis *sintered wick* dengan Fluida kerja hybrid nanofluida  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$  dengan rasio perbandingan 50% : 50%. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan nilai koefisien perpindahan panas pada pengujian didih kolam sumbu kapiler pipa kalor berbasis *sintered wick* menggunakan fluida kerja hybrid nanofluida  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$  dengan komposisi rasio perbandingan 50% : 50% adalah 20,8  $\text{kW/m}^2\cdot\text{K}$ .

**Kata kunci:** Didih Kolam, Hybrid Nanofluid, Sintered Wick

### Abstract

*Heat pipes have high thermal conductivity which transfers heat by keeping the temperature difference to be the same in the heated and cooled part. Thermal performance of heat pipes can be determined from the value of heat resistance, where if the heat resistance is large then the heat transfer rate decreases and vice versa. Factors that influence the value of heat resistance are the working fluid as a medium for conducting heat and wick as a liquid fluid medium that is circulating with the working principle of capillary. Capillary wick takes the form of a cavity so that wick is also called porous media. The research was conducted to obtain the heat transfer coefficient using capillary axes of sintered wick type heat pipe with a working fluid hybrid nanofluid  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$  with a ratio of 50%: 50%. Based on the results of the study it can be concluded that the value of heat transfer coefficient on boiling-pool capillary heat test based on sintered wick using hybrid working fluid of nanofluid  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$  with composition ratio of 50%: 50% is 20,8  $\text{kW/m}^2\cdot\text{K}$ .*

**Keywords:** Pool Boiling, Hybrid Nanofluid, Sintered Wick

---

\*Korespondensi: Tel./Fax.: 081916356509  
E-mail: [wayan.nata@gmail.com](mailto:wayan.nata@gmail.com)

## 1. PENDAHULUAN

Pipa kalor (*Heat Pipe*) adalah sebuah teknologi penghantar kalor yang terbuat dari pipa dengan bahan tembaga atau nikel dengan dimensi tertentu. Pipa kalor memiliki 3 sisi utama yaitu sisi kondensor, sisi evaporator dan sisi adiabatik. Pada bagian dalam dinding pipa terdapat sumbu kapiler (*wick*) yang berfungsi sebagai jalur gerak fluida kerja dari sisi evaporator menuju ke kondensor, dimana pergerakan fluida kerja memenuhi prinsip kapilaritas. Pada pipa kalor terdapat perubahan fase fluida kerja dimana setelah fluida menguap di bagian evaporator lalu uap mengalir menuju kondensor dan setelah mengalami kondensasi di bagian kondensor maka uap akan mencair dan cairan tersebut akan kembali menuju evaporator dari pipa kalor dan seterusnya [1].

Salah satu faktor yang mempengaruhi nilai hambatan panas pada pipa kalor adalah fluida kerja sebagai media penghantar kalor Kapilaritas *wick* berbentuk rongga sehingga *wick* disebut juga porous media [2]–[6].

*heat transfer enhancement technique* merupakan kumpulan metode yang dapat digunakan guna meningkatkan laju perpindahan panas. Salah satu metode dalam *heat transfer enhancement technique* yang dapat digunakan adalah *additive for liquids*. Dalam hal ini adalah penambahan partikel berukuran nano (10-100 nm) pada fluida dasar. Penambahan nanopartikel pada fluida dasar berakibat pada meningkatnya nilai konduktivitas termal fluida.

Kemajuan teknologi yang cukup pesat telah mendorong banyak penelitian lebih lanjut mengenai teknologi nanofluida jenis baru yaitu hybrid nanofluida dengan mensintesa dua atau lebih nano partikel kedalam fluida dasar guna mendapatkan keunggulan-keunggulan sifat dari bahan penyusunnya[2]. Hybrid nanofluida ini diharapkan akan menghasilkan konduktivitas termal yang lebih baik dan tidak cepat mengendap dibandingkan dengan nanofluida tunggal. Beberapa keuntungan dari penggunaan nanofluida antara lain meningkatkan stabilitas dan transfer panas serta membuat sistem lebih kecil sehingga menghemat biaya investasi [8].

Beberapa penelitian telah dilakukan insinyur termal guna membuktikan termal propertis dari hybrid nanofluida yang disintesa menggunakan metode satu langkah (*one step method*) S.Suresh dkk. [9] melaporkan hasil pengujian menggunakan hybrid nanofluida yang disintesa dari dua jenis nanopartikel yaitu  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan Cu masing-masing berukuran 15 nm pada fluida dasar air dengan metode satu langkah didapatkan hasil thermal properti sebesar 13,6%. D.Madheshdkk. [7] menggunakan nanopartikel  $\text{TiO}_2$  dan Cu pada fluida dasar air dengan metode sintesa hybrid nanofluida serupa didapatkan nilai koefisien perpindahan panas sebesar 68%. Tessy Theres Baby dkk. [10] Berusaha melakukan pengembangan mengenai komposisi hybrid nanofluida dengan mencampurkan tiga varian nanopartikel jenis Ag, MWCNT, & Graphene pada fluida dasar *Distilled water & Ethylene Glycol* dan melaporkan terjadi peningkatan termal properties sebesar 20%.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju perpindahan panas pada pipa kalor dengan sintered powder wick menggunakan fluida kerja hybrid nanofluida. Besar laju perpindahan panas diwakilkan dengan nilai koefisien perpindahan panas yang didapatkan selama pengujian. Permasalahan diatas dibatasi dengan penggunaan campuran dua jenis nano partikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{TiO}_2$  dengan ukuran diameter rata – rata 20 nm sebagai fluida kerja berkomposisi ratio  $\text{Al}_2\text{O}_3$  50% :  $\text{TiO}_2$  50%. Pengujian pool boiling pada penelitian ini dilakukan pada tekanan atmosfer. Penggunaan dua jenis campuran nanopartikel pada penelitian ini yaitu  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{TiO}_2$  ialah dikarenakan aluminium oksida memiliki nilai koefisien perpindahan panas yang tinggi sedangkan titanium dioksida tidak mudah mengedap dalam larutan. Sehingga dalam penelitian ini penggunaan komposisi ratio  $\text{Al}_2\text{O}_3$  50% :  $\text{TiO}_2$  50% dilakukan dengan harapan mendapatkan keunggulan properties yang sama antara aluminium oksida dengan titanium dioksida apabila dibandingkan dengan nanofluida  $\text{Al}_2\text{O}_3$  atau nanofluida  $\text{TiO}_2$ .

## 2. METODE

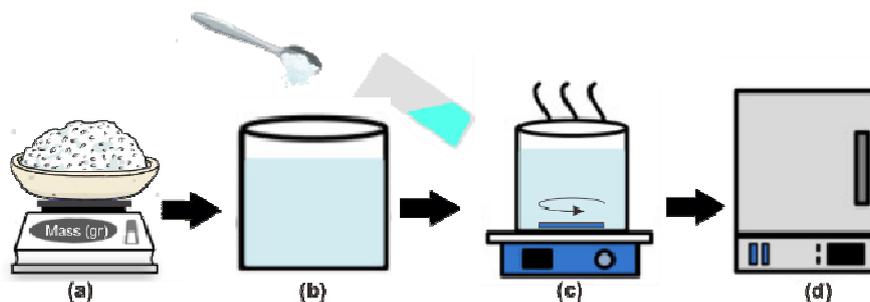
### 2.1. Sintesa Hybrid Nanofluida

Sintesa hybrid nanofluida dilakukan melalui metode dua tahap. Pada penelitian ini hybrid nanofluida disintesa dalam beberapa komposisi ratio dengan perbandingan antara nanopartikel  $Al_2O_3$  50% :  $TiO_2$  50% sesuai dengan tabel 1. Gambar 1 merupakan skematik sintesa hybrid nanofluid. Persamaan matematika yang digunakan dalam menghitung perbandingan massa antara  $Al_2O_3$  dengan  $TiO_2$  sesuai dengan persamaan 1.

$$\% \text{ Fraksi Volume} = \frac{W_{NP} / \rho_{NP}}{W_{NP} / \rho_{NP} + W_{DI} / \rho_{DI}} \quad (2.1)$$

Keterangan :

- $W_{NP}$  : Berat Nanopartikel (gram)
- $\rho_{NP}$  : Massa Jenis Nanopartikel ( $g/m^3$ )
- $W_{DI}$  : Berat Fluida Dasar (gram)
- $\rho_{DI}$  : Massa Jenis Fluida Dasar ( $g/m^3$ )



**Gambar 1.** Skema Sintesa Hybrid Nanofluida dengan Metode Dua Tahap

**Tabel 1.** Perbandingan massa nano partikel  $Al_2O_3$  dan  $TiO_2$  dalam volume 100 ml Hybrid Nanofluida

Fraksi Volume	Massa Nano Partikel (gr)	
	$Al_2O_3 + TiO_2$	
	50%	50%
0.1%	0.78	1.122

### 2.2. Pengujian Pendidihan Kolam

Pengujian ini menggunakan pemanas listrik komersil dengan daya maksimum 300 W dan tegangan maksimum 170 V, pemanas ini terhubung dengan *adjustable DC power supply*. Dimensi dari pemanas listik adalah : panjang 150 mm dan diameter 6 mm yang terbuat dari stainless stell. Sebelum pemanas utama digunakan, proses pendidihan dibantu dengan pemanas tambahan. Pengukuran suhu dilakukan dengan menggunakan termokopel tipe k pada dua titik, satu titik pada permukaan pemanas dan satu titik pada fluida. Termokopel dihubungkan dengan data akuisisi NI 9201 yang mengirimkan sinyal analog yang akan diubah menjadi sinyal digital pada komputer melalui perangkat lunak LabView jumlah sampel data

yang diambil adalah 1 data per detik. Bagian kondenser terhubung dengan *circulating thermostatic bath* yang beroperasi pada suhu 25 °C. Tabung yang digunakan pada pengujian pendidihan ini terbuat dari kaca pyrex dengan tebal 6 mm, tinggi 200 mm, diameter terluar 115 mm dan diameter bagian dalam tabung 103 mm. bagian terbawah terbuat dari tembaga yang juga berfungsi sebagai tempat dudukan pemanas.

Persamaan matematika yang digunakan untuk mengolah data yang didapat selama pengujian sesuai persamaan 2.2

$$h = \frac{q''}{\Delta T_s} = \frac{P/\pi DL}{(T_w - T_{sat})} = \frac{(V \times I)/\pi DL}{(T_w - T_{sat})} \quad (2.2)$$

Dimana :

$h$  : koefisien perpindahan kalor [ $W/m^2K$ ]

$q''$  : fluks kalor [ $W/m^2$ ]

$\Delta T_s$ : ( $T_w - T_{sat}$ )

: temperatur *wall superheat* (° C)

$P$  : Daya Pemanas Listrik (W)

$D$  : Diameter Substrat (m)

$L$  : Panjang Substrat (m)

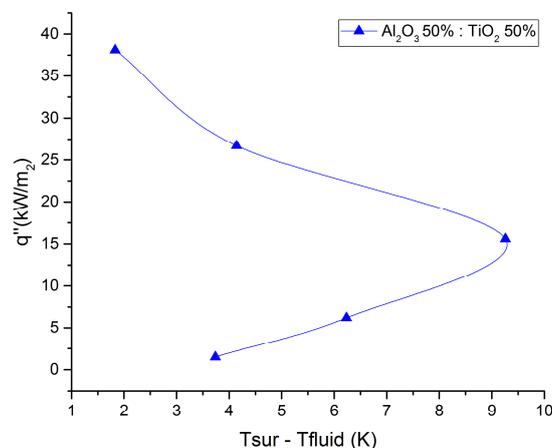
$V$  : Voltase Pemanas Listrik (V)

$I$  : Arus Pemanas Listrik (A)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Kurva Perbandingan Heat Fluks dengan Perbedaan Temperature antara Permukaan dengan Fluida Kerja

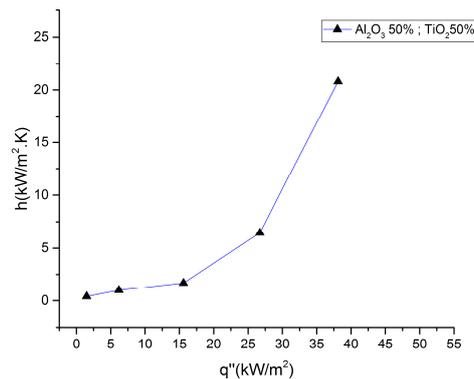
Gambar 2 menunjukkan hubungan antara perbedaan suhu ( $\Delta T$ ) dinding pemanas dan fluida kerja dengan fluks kalor pada variasi fluida kerja yang digunakan. Pada saat fluks kalor bernilai 1,4  $kW/m^2$  perbedaan temperatur antara dinding permukaan *sintered wick* dan fluida kerja bernilai 3,7 °C. Perbedaan suhu terus meningkat seiring meningkatnya fluks kalor hingga fluks kalor 26,7  $kW/m^2$  perbedaan temperatur menurun drastis menjadi 4,14 °C sehingga garis grafik membentuk profil huruf C terbalik. Kenaikan perbedaan temperature di heat fluks kecil ( $< 16 kW/m^2$ ) pada grafik disebabkan terjadinya rejim konveksi alami pada aparatus percobaan, sedangkan menurunnya perbedaan temperatur secara drastis pada heat fluk tinggi ( $> 25 kW/m^2$ ) disebabkan terjadinya rejim nucleate boiling pada aparatus percobaan. Pada rejim perpindahan panas dipengaruhi oleh nukleat yang terlepas dari permukaan *sintered wick*.



**Gambar 2.** Kurva Pendidihan Sumbu Kapiler Sintered Tembaga dengan Variasi Hybrid Nanofluida sebagai Fluida Kerja

### 3.2. Kurva Perbandingan Perbedaan Koefisien Perpindahan Panas terhadap Heat Fluks

Berdasarkan gambar 3 Koefisien perpindahan panas dipengaruhi oleh nilai perbedaan temperature sehingga berdasarkan grafik koefisien perpindahan panas terus meningkat seiring meningkatnya fluks kalor. Pada fluks kalor maksimal yang di gunakan pada penelitian ini yaitu bernilai  $38,1 \text{ kW/m}^2$  koefisien perpindahan panas meningkat tajam dan bernilai  $20,8 \text{ kW/m}^2$ , tingginya koefisien perpindahan panas pada saat heat fluks tinggi menyiratkan bahwa terjadi perbedaan temperatur dengan nilai kecil antara permukaan pemanas dengan fluida kerja. Hal ini disebabkan karena perpindahan panas terjadi cukup baik pada apparatus pengujian.



**Gambar 3.** Kurva Perbandingan Fluks Kalor terhadap Koefisien Perpindahan Panas terhadap variasi Hybrid Nanofluida

## 4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan yaitu dalam pembuatan hybrid nanofluida  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$  dengan rasio 50% : 50% didapatkan bahwa pada  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dibutuhkan nanopartikel sebanyak 0,78 gr dalam 400ml dan pada  $\text{TiO}_2$  dibutuhkan 0,85 gr dalam 400ml. Berdasarkan penelitian didapatkan bahwa nilai koefisien perpindahan panas pada sumbu kapiler pipa kalor berbasis sintered wick menggunakan fluida kerja hybrid nanofluida  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$  dengan heat fluks maksimal yaitu  $38,1 \text{ kW/m}^2$  adalah  $20,8 \text{ kW/m}^2 \text{ K}$

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih diucapkan kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia dan LPPM Universitas Udayana atas bantuan dana melalui skema hibah Penelitian Unggulan Udayana (PUU) 2019

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. N. Septiadi dan N. Putra, *Teknologi Pipa Kalor : Teori, Desain dan Aplikasi*, 1 ed. Jakarta: UI-Press, 2014.
- [2] W. N. Septiadi, I. K. G. Wirawan, I. G. K. Sukadana, N. Putra, dan G. A. Iswari, "Peningkatan Kinerja Termal Heat Pipe dengan Hybrid Nanofluid," in *Seminar Nasional Energi dan Industri Manufaktur SIGER 2017*, 2017, vol. 0, hal. III/1-III/10.
- [3] H. Jouhara, A. Chauhan, T. Nannou, S. Almahmoud, B. Delpech, dan L. C. Wrobel, "Heat pipe based systems - Advances and applications," *Energy*, vol. 128, hal. 729–754, 2017.
- [4] W. N. Septiadi, I. G. K. Sukadana, K. Astawa, N. P. I. A. Nyoman, T. Trisdadewi, dan G. A. Iswari, "Konduktivitas Termal Hybrid Nanofluid  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$  - Air pada Fraksi

- Volume Rendah,” in *Konferensi Nasional Engineering Perhotelan VII*, 2017, vol. 2017, hal. 210–215.
- [5] H. Rahman, “Kajian Eksperimental Wick Screen Mesh Dan Sintered Powder Terhadap Kinerja Heat Pipe,” Universitas Indonesia, 2011.
- [6] M. Shafahi, V. Bianco, K. Vafai, dan O. Manca, “Thermal Performance of Flat-Shaped Heat Pipes using Nanofluids,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 53, no. 7–8, hal. 1438–1445, 2010.
- [7] C. Muheimin *et al.*, “Studi Eksperimental Perpindahan Kalor Di Berdasarkan Variasi Temperatur Awal Batang Panas,” *Digilit ITS.*, vol. 1, no. 1, hal. 1–4, 2012.
- [8] N. Putra, R. Saleh, W. Nata, A. Okta, dan Z. Hamid, “Thermal Performance of Biomaterial Wick Loop Heat Pipes with Water-Base Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanofluids,” *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 76, hal. 128–136, 2014.