

Hambatan Termal Pipa Kalor Bertingkat dengan Fluida Kerja Hybrid Nanofluid Al₂O₃-CuO-Air

Wayan Nata Septiadi^{1*}, I Gusti Ketut Sukadana², I Ketut Astawa², Cahyo Sudarmo³, I Nyoman Swar Raditya M⁴

^{1,2,3,4}Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Badung-Bali, Indonesia

*wayan.nata@gmail.com

Abstrak

Besarnya fluks kalor yang dihasilkan produk teknologi mengakibatkan pipa kalor mulai banyak digunakan dalam sistem pendingin. Pipa memiliki keunggulan pada kemampuan memindahkan kalor dalam jumlah yang lebih besar dan proses sirkulasi fluida yang tidak memerlukan daya tambahan dari luar (bersifat pasif). Kemajuan bidang teknologi nano, mengakibatkan penggunaan nanofluida sebagai fluida kerja pipa kalor juga semakin banyak digunakan guna meningkatkan kinerja pipa kalor. Nanofluida mulai banyak di gunakan sebagai fluida kerja alternatif karena memiliki konduktivitas termal yang lebih baik, akan tetapi terkadang nanofluida dengan konduktivitas termal yang baik terdapat kelemahan pada permasalahan aglomerasi. *Hybrid nanofluid* merupakan nanofluida yang relatif lebih stabil dibandingkan dengan beberapa nanofluida yang memiliki waktu terjadinya aglomerasi cukup cepat. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui hambatan termal pipa kalor bertingkat pada penggunaan fluida kerja *hybrid nanofluid* Al₂O₃-CuO-Air.

Pada penelitian ini dilakukan perhitungan hambatan termal pada pipa kalor bertingkat yang menggunakan fluida kerja *hybrid nanofluid* Al₂O₃-CuO-Air. *Hybrid nanofluid* dibuat dengan mendispersikan partikel nano Al₂O₃ dan CuO berdiameter 20 nm pada fluida dasar air (H₂O) dengan fraksi volume 0,1%, 0,3%, 0,5%, 0,7% dan 1% pada komposisi rasio 75% Al₂O₃ dengan 25% CuO yang disonifikasi menggunakan ultrasonik prosessor selama 30 menit. Temperatur pada bagian evaporator kondensor tingkat pertama dan kondensor pada tingkat ke dua serta pada bagian *heatsink* di ukur menggunakan termokopel tipe-K dengan NI 9213. Pembebanan kalor ke pipa kalor dilakukan dengan menggunakan plat simulator yang diatur melalui voltage regulator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hambatan termal pipa kalor bertingkat dengan fluida kerja *hybrid nanofluid* Al₂O₃-CuO-air lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan fluida kerja air maupun nanofluida Al₂O₃-air, akan tetapi penggunaan fluida kerja *hybrid nanofluid* Al₂O₃-CuO-air memberikan hambatan termal lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan fluida kerja nanofluida CuO-air pada fraksi volume yang sama.

Kata kunci : hybrid nanofluid, hambatan termal, pipa kalor

Pendahuluan

Kemajuan di bidang teknologi berdampak pada peningkatan kinerja yang dibarengi dengan pengecilan dimensi produk teknologi. Hal ini memberikan dampak yang sangat signifikan terhadap peningkatan fluks kalor yang dihasilkan, dimana fluks kalor bisa mencapai lebih dari 100 W/cm²[1,2]. Hal ini mengakibatkan pipa kalor mulai banyak digunakan sebagai sistem pendingin dikarenakan pipa kalor merupakan pendingin yang bersifat pasif dengan kemampuan mentransfer kalor yang lebih besar dari

pendingin konvensional [3,4]. Kinerja pipa kalor sangat dipengaruhi oleh fluida kerja yang digunakan sebagai media pemindah kalor.

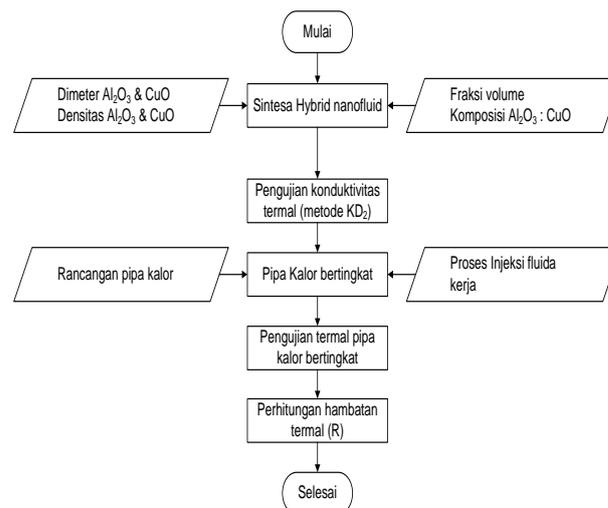
Nano fluida merupakan salah satu fluida kerja yang telah banyak diteliti dan dipergunakan sebagai fluida kerja alternatif pada pipa kalor. Banyak penelitian tentang penggunaan nanofluida sebagai fluida pipa kalor yang sudah dilakukan guna meningkatkan kinerja pipa kalor, seperti halnya Putra, dkk.,[4] telah melakukan pengujian pada hambatan termal pipa kalor dengan fluida kerja nanofluida Al₂O₃, TiO₂ dan

ZnO pada beberapa fraksi volume dengan fluida dasar air dan ethyleneglycol. Penggunaan nanofluida Al_2O_3 -air dan CuO-air baik dengan dan tanpa surfaktan sebagai fluida kerja pipa kalor juga telah diteliti oleh Septiadi, dkk., Putra, dkk., dan R.Saleh, dkk., [5-7]. Peningkatan respon pipa kalor sebagai sistem pendingin melalui penggunaan fluida kerja nanofluida juga telah dilakukan R. Hajian, dkk., [8] dimana dengan penggunaan fluida kerja nanofluida pipa kalor memiliki respon yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan fluida kerja konvensional. M. Vijayakumar, dkk., [9] juga telah mengkaji mengenai penggunaan fluida kerja nanofluida Al_2O_3 dan CuO pada heat pipe dengan sintered powder. Adanya pelapisan tipis pada bagian evaporator akibat pemakaian fluida kerja nanofluida Graphane disampaikan oleh E.d Sadeghinezhad, dkk., [10] dimana pelapisan tersebut dapat meningkatkan keterbasahan wick pipa kalor. *Hybrid nanofluid* juga mulai banyak diteliti untuk mendapatkan kinerja pipa kalor yang lebih baik serta mengatasi permasalahan aglomerasi yang terjadi pada beberapa nanofluida tertentu. R. Ramachandran, dkk., [11] telah meneliti pengaruh dari penggunaan *hybrid nanofluid* pada *wick screen mesh* pipa kalor, dimana dalam hal ini penggunaan fluida kerja *hybrid nanofluid* dapat menurunkan hambatan termal sebesar 16,05%.

Adanya kecenderungan *hybrid naofluid* yang lebih stabil dibandingkan dengan nanofluida tunggal [12] memungkinkan *hybrid nanofluid* di gunakan untuk meningkatkan kinerja pipa kalor. Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan penelitian terhadap hambatan termal pipa kalor bertingkat dengan penggunaan fluida kerja *hybrid nanofluid* Al_2O_3 -CuO-Air. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui penurunan hambatan termal pipa kalor bertingkat akibat pemakaian fluida kerja *hybrid nanofluid* Al_2O_3 -CuO-Air.

Metode Penelitian

Penelitian dilakukan melalui metode eksperimen, yang dilakukan melalui beberapa tahapan, yakni tahap persiapan dan sintesa hybrid nanofluid, tahap perancangan dan produksi pipa kalor bertingkat serta tahap pengujian pipa kalor. Adapun tahapan penelitian terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir Penelitian

Tahap persiapan dan sintesa hybrid nanofluid

Sintesa *hybrid nanofluid* dilakukan dengan mendispersikan partikel nano Al_2O_3 dan CuO yang masing masing berdiameter 20 nm ke dalam fluida dasar Air [12]. 100 ml *hybrid nanofluid* di sintesa dengan menggunakan ultrasonik prosesor dengan waktu sonifikasi 15,30 dan 60 menit pada temperatur 25°C. Gambar 2. Merupakan skematik sintesa *hybrid nanofluid* Al_2O_3 -CuO-Air. *Hybrid nanofluid* Al_2O_3 -CuO-Air masing-masing dibuat pada fraksi vlume 0,1%, 0,3%, 0,5%, 0,7% dan 1% dengan komposisi antara partikel nano Al_2O_3 dengan CuO masing masing 80:20, 75:25, 70:30, 65: 35 dan 50:50.

Dalam tahapan ini juga dilakukan pengujian konduktivitas termal dari *hybrid nanofluid* dengan menggunakan metode KD_2 yang dilakukan pada temperatur 25°C [12].



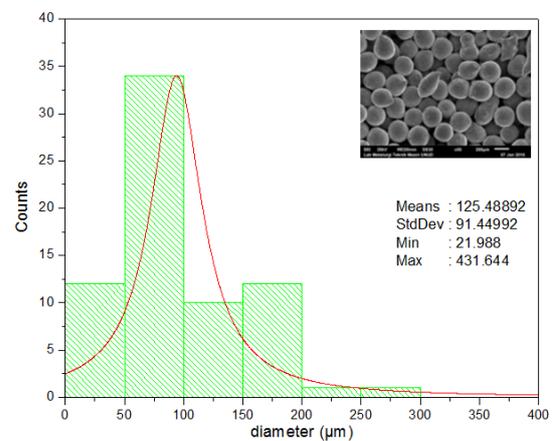
Gambar 2. Sintesa *hybrid nanofluid* Al₂O₃-CuO-Air.

Tahap perancangan dan produksi pipa kalor bertingkat

Rancangan pipa kalor lurus bertingkat dibuat dengan menggunakan pipa tembaga dengan panjang total 80 mm, dengan diameter pipa besar 25,4 mm dan diameter pipa kecil 19,05 mm. Pipa kalor dibagaim bawah dilengkapi dengan plat datar tembaga berukuran 40 x 40 mm² tebal 5 mm sebagai area penyerap kalor dari sumber kalor dan diujungnya dilengkapi plat datar tembaga yang berdiameter 35 mm tebal 5 mm sebagai penyerapan kalor berikutnya [13]. Sumbu kapiler yang digunakan adalah sintered powder tembaga yang dibuat menggunakan metode sintering serta proses kompaksi secara sentrifugal. Adapun sumbu kapiler pipa kalor ditunjukkan pada Gambar 3.



(a)

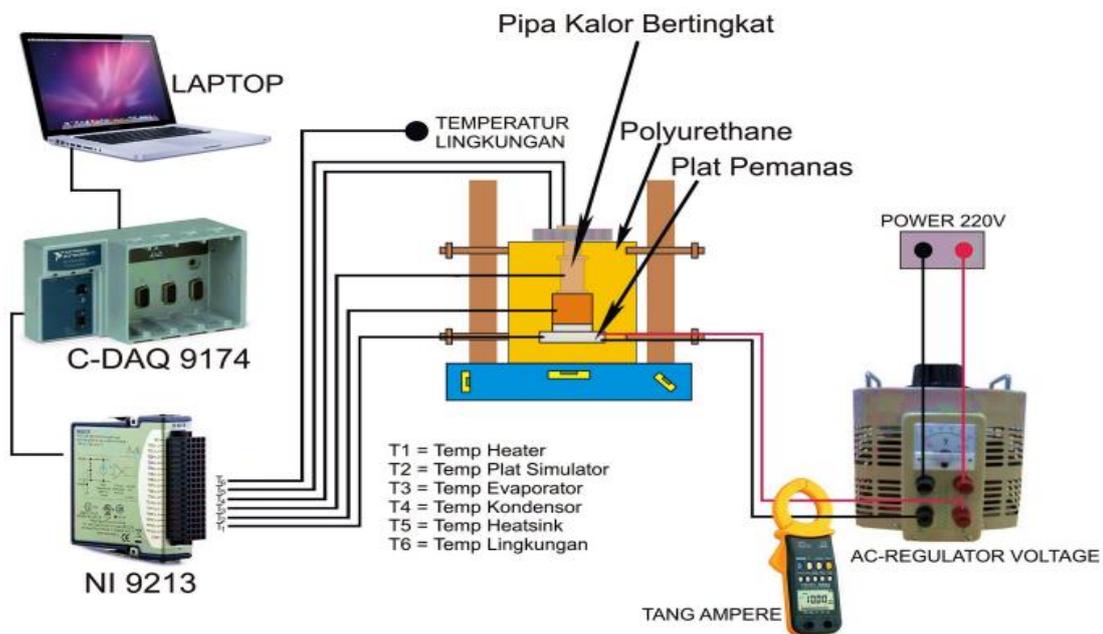


(b)

Gambar 3. (a) sumbu kapiler sintered tembaga, (b) foto SEM dan distribusi pori sumbu kapier.

Tahap pengujian termal pipa kalor bertingkat

Pengujian termal pipa kalor bertingkat dilakukan dengan menset-up apartur penelitian seperti terlihat pada Gambar 4. Pipa kalor bertingkat di berikan pembebanan melalui plat simulator yang di atur melalui voltage regulator dengan tingkat pembebanan dari 9,24 Watt sampai dengan 46,22 Watt. Untuk menjaga kerugian kalor, pipa kalor dan plat simulator diisolasi dengan menggunakan polyurethane dengan konduktivitas termal 0,02 W/m°C. Pengukuran temperatur dilakukan dengan menggunakan data Aquisisi c-DAQ 9174 dan modul temperatur NI 9213 dengan menggunakan sensor temperatur termokopel tipe K yang dipasang pada bagian plat simulator permukaan bawah dan atas, evaporator 1, evaporator 2, kondensor serta pada bagian *heat-sink*.



Gambar 4. Skematik pengujian termal pipa kalor bertingkat

Adapun hambatan termal pipa kalor dihitung melalui persamaan:

$$R_{pkb} = \frac{T_{e1} - T_c}{Q_{in}} = \left(\frac{T_{e1} - T_{e2}}{Q_{in-e1}} \right) + \left(\frac{T_{e2} - T_c}{Q_{in-e2}} \right) \quad (1)$$

Dimana T_{e1} , T_{e2} dan T_c masing-masing merupakan temperatur pada evaporator tingkat pertama, temperatur evaporator pada tingkat ke dua dan temperatur kondensor ($^{\circ}\text{C}$). Q_{in-e1} dan Q_{in-e2} merupakan beban kalor yang di serap oleh evaporator tingkat pertama dan tingkat ke dua (Watt) serta R_{pkb} merupakan hambatan termal total pipa kalor bertingkat ($^{\circ}\text{C}/\text{Watt}$).

Dengan:

$$\left(\frac{T_{e1} - T_{e2}}{Q_{in-e1}} \right) = R_{pk-1} \quad (2)$$

merupakan hambatan termal pipa kalor pada tingkat pertama dan

$$\left(\frac{T_{e2} - T_c}{Q_{in-e2}} \right) = R_{pk-2} \quad (3)$$

merupakan hambatan termal pipa kalor pada tingkat ke dua.

Hasil dan Pembahasan

Distribusi temperatur pipa kalor bertingkat

Dari pengujian distribusi temperatur pipa kalor bertingkat didapatkan kondisi temperatur pada kondisi steady pada masing masing evaporator tingkat pertama, evaporator tingkat ke dua, temperatur kondensor dan temperatur heat-sink seperti terlihat pada Table 1. Dari table terlihat temperatur pada bagian evaporator tingkat pertama, kedua dan temperatur pada bagian kondensor serta selisih tempetaur antara temperatur evaporator tingkat pertama dengan temperatur evaporator tingkat kedua serta selisih temperatur evaporator tingkat pertama dengan temperatur kondensor. Kondisi fraksi volume 0,5% memberikan selisih temperatur paling kecil baik untuk kondisi evaporator tingkat pertama dengan evaporator tingkat kedua maupun antara evaporator tingkat pertama dengan kondensor.

Temperatur untuk beberapa perlakuan yang lain juga dicatat dalam model pencatatan yang sama dengan Table 1. Kinerja pipa kalor bertingkat untuk beberapa perlakuan lainnya ditampilkan dalam grafik hambatan termal (R).

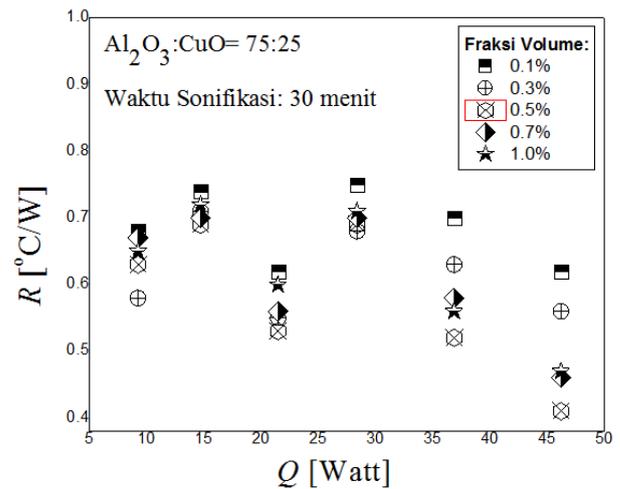
Tabel 1. Temperatur Pipa kalor dengan fluida kerja *hybrid nanofluid* Al₂O₃-CuO-Air dengan komposisi 75% Al₂O₃ dan 25% CuO dengan waktu sonifikasi 30 menit.

<i>Fraksi Volume (%)</i>	<i>Q (Watt)</i>	<i>Te1 (°C)</i>	<i>Te2 (°C)</i>	<i>Tc (°C)</i>	<i>Te1- Te2 (°C)</i>	<i>Te1- Tc (°C)</i>
0,1	9,24	37,93	32,48	31,65	5,45	6,28
	14,70	43,11	34,73	32,23	8,38	10,88
	21,48	47,86	37,55	34,54	10,31	13,32
	28,38	52,09	30,24	30,81	21,85	21,29
	36,88	61,17	44,57	35,35	16,60	25,82
	46,22	63,71	43,37	35,05	20,34	28,66
0,3	9,24	3,6	33,43	33,24	5,17	5,36
	14,70	43,32	34,94	32,88	8,38	10,44
	21,48	48,24	36,64	36,43	11,60	11,81
	28,38	52,86	38,95	33,56	13,91	19,30
	36,88	62,75	45,79	39,52	16,96	23,23
	46,22	63,84	43,97	37,96	19,87	25,88
0,5	9,24	39,44	34,64	33,62	4,80	5,82
	14,70	43,8	36,60	33,66	7,20	10,14
	21,48	48,79	39,12	37,41	9,67	11,38
	28,38	53,83	41,91	34,25	11,92	19,58
	36,88	63,18	48,80	44,00	14,38	19,18
	46,22	64,01	49,22	45,06	14,79	18,95
0,7	9,24	40,56	35,48	34,37	5,08	6,19
	14,70	44,37	36,73	34,08	7,64	10,29
	21,48	49,2	38,67	37,17	10,53	12,03
	28,38	53,93	41,16	34,06	12,77	19,87
	36,88	64,28	48,79	42,89	15,49	21,39
	46,22	65,89	46,94	44,63	18,95	21,26
1,0	9,24	40,42	35,52	34,41	4,90	6,01
	14,70	44,63	36,99	34,05	7,64	10,58
	21,48	50,41	39,67	37,52	10,74	12,89
	28,38	53,92	41,43	33,77	12,49	20,15
	36,88	65,58	50,09	44,93	15,49	20,65
	46,22	67,92	67,92	46,20	18,49	21,72

Hambatan termal pipa kalor bertingkat

Gambar 5 merupakan nilai hambatan termal pipa kalor bertingkat dengan fluida kerja *hybrid nanofluid* Al₂O₃-CuO-Air dengan komposisi 75% Al₂O₃ dan 25% CuO pada fraksi volume 0,1%, 0,3%, 0,5%, 0,7% dan 1,0% yang di sonifikasi selama 30 menit. Dari gambar terlihat bahwa fraksi volume 0.5% memeberikan nilai hambatan termal paling rendah dibandingkan dengan hambatan termal pada fraksi volume yang lainnya. Penggunaan fluida kerja *hybrid nanofluid* pada pipa kalor bertingkat juga memperlihatkan adanya penurunan nilai hambatan termal dibandingkan dengan pemakaian fluida kerja konvensional air [14], dengan penurunan hambatan termal paling besar 23,29%.

Penurunan hambatan termal pipa kalor pada pemakaian fluida kerja *hybrid nanofluid* Al₂O₃-CuO-Air dikarenakan *hybrid nanofluid* memiliki konduktivitas termal yang lebih tinggi dibandingkan dengan air. Hal ini akan berdampak pada laju perpindahan kalor yang terjadi di dalam pipa kalor dimana laju perpindahan kalor secara konveksi dari bagian sumbu kapiler ke fluida kerja menjadi lebih besar. Proses pendidihan fluida kerja serta transfer kalor dari bagian evaporator menuju bagian kondensor menjadi lebih cepat dikarenakan adanya peningkatan heat transfer koefisien secara keseluruhan akibat penggunaan *hybrid nanofluid*. Tingkat keterbasahan antara hybrid nanofluid dengan sumbu kapiler juga mengakibatkan pengangkutan fluida kerja dari bagian kondensor ke evaporator menjadi lebih cepat.

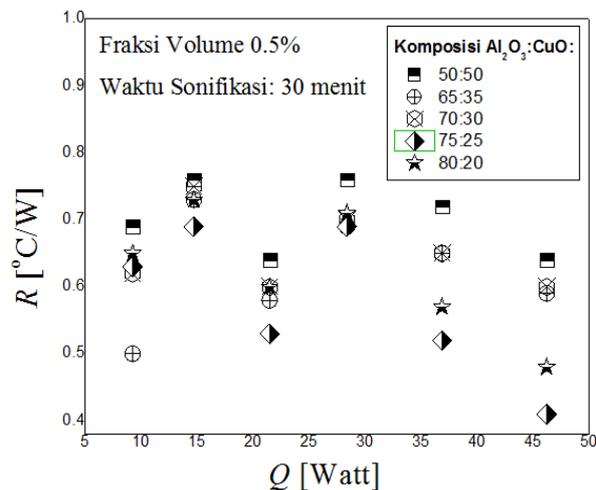


Gambar 5 Hambatan termal pipa kalor bertingkat pada komposisi nano partikel 75:25 dan waktu sonifikasi 30 menit

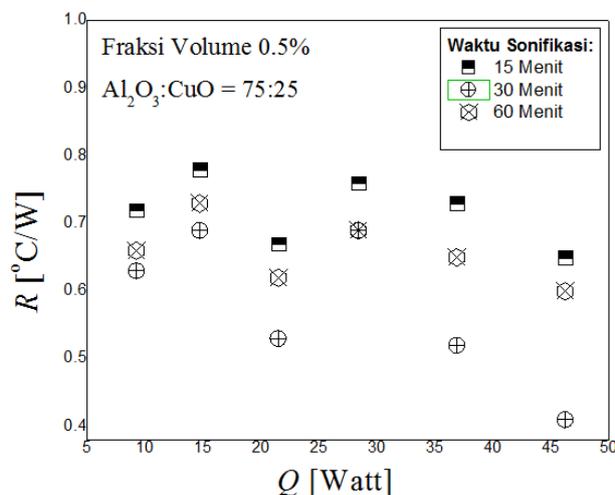
Komposisi nano partikel pada *hybrid nanofluid* juga berpengaruh terhadap hambatan termal pipa kalor bertingkat. Dimana dari Gambar 6 terlihat bahwa pada fraksi volume 0.5% dengan komposisi 75:25 memeberikan hambatan termal paling rendah dibandingkan dengan komposisi yang lainnya. Hal ini tentunya jika dilihat dari peningkatan konduktivitas termal komposisi 50:50 harusnya memiliki konduktivitas termal paling tinggi, akan tetapi hambatan termal disini juga dipengaruhi oleh aglomerasi [12] nanofluid pada komposisi tertentu antara Al₂O₃ dengan CuO. Aglomerasi tentunya berpengaruh terhadap kapilaritas dan keterbasahan serta proses pendidihan yang terjadi pada bagian evaporator.

Gambar 7 merupakan nilai hambatan termal pipa kalor bertingkat dengan fluida kerja *hybrid nanofluid* dengan perlakuan waktu sonifikasi, dimana waktu sonifikasi 30 menit memberikan nilai hambatan termal yang paling kecil dibandingkan dengan peruses sonifikasi dengan waktu 15 menit dan 60 menit. Ditinjau dari aspek aglomerasi waktu sonifikasi 15 menit dan 60 menit memberikan dampak aglomerasi yang lebih cepat. Hal ini terjadi karena dengan waktu sonifikasi 15 menit nano

partikel belum terdispersi secara sempurna sehingga partikel nano yang teraglomerasi pada penyimpanan nano partikel belum terpecah lagi dalam ukuran nano masing-masing.



Gambar 6. Hambatan termal pipa kalor bertingkat pada fraksi volume 0.5% dan waktu sonifikasi 30 menit



Gambar 7. Hambatan termal pipa kalor bertingkat pada fraksi volume 0.5% dan komposisi 75:25

Sonifikasi dalam waktu yang terlalu lama juga berpengaruh terhadap temperatur hybrid nanofluid yang disintesa dalam jumlah tertentu sehingga dapat berpengaruh terhadap perubahan fraksi volume yang

tentunya dapat mempengaruhi konduktivitas termal serta terjadinya aglomerasi. Dengan waktu sonifikasi yang sama serta fraksi volume yang sama *hybrid nanofluid* Al₂O₃-CuO-air mengakibatkan hambatan termal yang lebih kecil dibandingkan dengan pemakaian nanofluid CuO-Air [14].

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penggunaan fluida kerja *hybrid nanofluid* Al₂O₃-CuO-Air dengan fraksi volume 0.5% pada pipa kalor bertingkat dapat menurunkan hambatan termal paling besar 23,29% dibandingkan dengan penggunaan fluida kerja konvensional air dengan komposisi 75% Al₂O₃ dan 25% CuO. *Hybrid nanofluid* Al₂O₃-CuO-Air juga memberikan hambatan termal pipa kalor yang lebih rendah dibandingkan penggunaan fluida kerja nanofluid CuO-Air.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat dan Fakultas Teknik Universitas Udayana atas dukungan dana melalui skema Hibah Unggulan Program Studi 2016 serta Applied Heat Transfer Research Group FT-UI atas penggunaan beberapa peralatan dalam proses sintesa hybrid nanofluid.

Referensi

- [1]. K. Paiva and M. Mantelli. Wire-plate and sintered hybrid heat pipes: Model and Experiments. *International Journal of Thermal Sciences*, 93 (2015). 36-51.
- [2]. R. Chein and G. Huang. Thermoelectric cooler application in electronic cooling. *Applied Thermal Engineering*, 24, (2004). 2207-2217.
- [3]. I. Mudawar. Assessment of high-heat-flux thermal management schemes. *Components and Packaging*

- Technologies, IEEE Transactions on, 24, (2001). 122-141, 2001.
- [4]. L. Sundar, Md.H. Farooky, S.N. Sarada, M.K. Singh. Experimental thermal conductivity of ethylene glycol and water mixture based low volume concentration of Al₂O₃ and CuO nanofluids. *Int Comm Heat Mass Transfer*. 41, (2013). 41-46.
- [5]. Septiadi, W. N., N. Putra, M. Juarsa, I. P. A. Putra, and R. Sahnura. "Characteristics of screen mesh wick heat pipe with nano-fluid as passive cooling system." *Atom Indonesia* 39, no. 1 (2013) 24-31.
- [6]. Nandy Putra. *Nano Teknologi: Pengembangan Potensi Nanofluida Sebagai Fluida Kerja Alternatif*. (2003).
- [7]. Saleh, R., Putra, N., Wibowo, R. E., Septiadi, W. N., Prakoso, S. P. Titanium dioxide nanofluids for heat transfer applications. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 52, (2014).19-29.
- [8]. Hajian, Ramin, Mohammad Layeghi, and Kamal Abbaspour Sani. "Experimental study of nanofluid effects on the thermal performance with response time of heat pipe." *Energy Conversion and Management* 56 (2012) 63-68.
- [9]. Vijayakumar, M., P. Navaneethakrishnan, and G. Kumaresan. "Thermal characteristics studies on sintered wick heat pipe using CuO and Al₂O₃ nanofluids." *Experimental Thermal and Fluid Science*, 79 (2016). 25-35.
- [10]. Sadeghinezhad, Emad, Mohammad Mehrali, Marc A. Rosen, Amir Reza Akhiani, Sara Tahan Latibari, Mehdi Mehrali, and Hendrik Simon Cornelis Metselaar. "Experimental investigation of the effect of graphene nanofluids on heat pipe thermal performance." *Applied Thermal Engineering* 100 (2016): 775-787.
- [11]. Ramachandran, R., K. Ganesan, M. R. Rajkumar, L. G. Asirvatham, and S. Wongwises. "Comparative study of the effect of hybrid nanoparticle on the thermal performance of cylindrical screen mesh heat pipe." *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 76 (2016) 294-300.
- [12]. Wayan Nata Septiadi, Cahyo Sudarmo. *Konduktivitas Termal Hybrid Nanofluid Al₂O₃-CuO-Air*. *Prosiding Seminar Nasional Mesin dan Industri (SNMI X) 2016*. 43-49
- [13]. Wayan Nata Septiadi, I Gede Putu Agus Suryawan, I Ketut Gede Wirawan, I Komang Jana Mujaya, Mochamad Rizal Sugiono, Putu Wardana. *Karakterisasi Kinerja Pipa Kalor Bertingkat dengan Wick Screen Mesh untuk Pendingin CPU*. *Prosiding KNEP VI ISSN 2338-414X* (2015) 193-199.
- [14]. Putra, Nandy, Wayan Nata Septiadi, Rosari Saleh, Rardi Artono Koestoer, and Suhendro Purbo Prakoso. "The Effect of CuO-Water Nanofluid and Biomaterial Wick on Loop Heat Pipe Performance." In *Advanced Materials Research*, 875, (2014). 356-361.