

AGLOMERASI DAN *WETTABILITY HYBRID* NANOFLUIDA Al_2O_3 - TiO_2 -AIR PADA KOSENTRASI RENDAH DAN TINGGI

Wayan Nata Septiadi^{1,2,3*}, I Komang Manik Sugiarta^{3,4}, I G K Sukadana³, Nandy Putra⁵

¹ Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Badung-Bali, Indonesia

² Laboratorium Perpindahan Panas¹ Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Badung-Bali

³ Heat Transfer Research Group Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana

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

⁵ Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia, Kampus Baru UI-Depok

Keywords:
Agglomeration,
Hybrid nanofluids,
Wettability

Email penulis:
wayan.nata@gmail.com
maniksugiarta19@gmail.com

Abstract

Nanofluid is a liquid fluid mixture with solid particles having sizes in nanometers (10^{-9} m). Nanofluid is potentially applied in the industry such as microelectronics, transportation, and manufacturing. There is a problem in a single nanofluid where high thermal conductivity but easily agglomerated or otherwise, therefore this research is conducted on hybrid Al_2O_3 - TiO_2 -Water. The purpose of this research was to investigate the effect of nanoparticle composition on the characterization of agglomeration and wettability hybrid nanofluids, and to compare the ability of hybrid nanofluids with single nanofluid in preventing agglomeration.

This research was conducted by synthesizing hybrid nanofluid and single nanofluid using magnetic stirrer for 30 minutes with variation of volume fraction 0,1%; 0,3%; 0,5%; 0,7%; 1%; 3%; 5%; 7% and varying the composition of Al_2O_3 with TiO_2 nanoparticles in hybrid nanofluids by 75%:25%; 50%:50% and 75%:25%. Agglomeration was observed visually and measured absorbance using UV-Vis, wettability testing by measuring the contact angle between hybrid nanofluid with sintered powder wick surface using HSVI and ImageJ software.

The test results showed an increase in volume fraction, agglomeration of hybrid nanofluids longer and better wettability. At the same volume fraction, hybrid nanofluids containing more Al_2O_3 have better wettability and longer agglomeration, and hybrid nanofluids have longer agglomeration times than TiO_2 nanofluid.

1. Pendahuluan

Dalam dekade terakhir penelitian tentang nanofluida telah meningkat pesat. Nanofluida adalah suatu campuran atau suspensi antara fluida cair (yang disebut fluida dasar) dengan partikel solid yang mempunyai ukuran diameter dalam nanometer (10^{-9} m). Fluida dasar dapat berupa air, cairan organik, biocairan, minyak dan pelumas. Bahan nanopartikel dapat berupa logam kimia stabil, oksida logam, keramik oksida, karbida logam, nitrida logam dan karbon (Sarkar, Ghosh, & Adil, 2015). Istilah nanofluida pertama kali dikemukakan oleh Choi pada tahun 1995 dari laboratorium Nasional Argonne, Amerika Serikat (Wang & Mujumdar, 2007).

Menurut (Hatwar & Kriplani, 2014) nanofluida berpotensi diaplikasikan pada industri seperti mikroelektronika, transportasi dan manufaktur. Secara teoritis nanofluida memiliki konduktivitas termal yang lebih baik dari fluida dasarnya, selain itu efek gerak *brown* akan terjadi pada nanopartikel yang menyebabkan nanopartikel melayang-layang pada fluida dasar sehingga dapat meminimalisir terjadinya aglomerasi pada nanofluida. Jika diaplikasikan, kemungkinan terjadinya penyumbatan (*clogging*) di dalam saluran sangat kecil, lalu karena kecilnya partikel maka abrasi antara nanofluida dengan dinding saluran kecil terjadi (Putra, 2003).

Pada nanofluida tunggal terdapat permasalahan, dimana konduktivitas termalnya tinggi namun mudah teraglomerasi dan sebaliknya. Aglomerasi berdampak buruk terhadap stabilitas nanofluida dan menyebabkan menurunnya kemampuan nanofluida dalam menghantarkan panas. Selain konduktivitas termal dan aglomerasi, kemampuan nanofluida dalam menghantarkan panas juga dipengaruhi oleh *wettability* (derajat kebasahan). Karena permasalahan tersebut para peneliti mulai mengembangkan dan melakukan penelitian terhadap *hybrid* nanofluida. Saat ini, studi tentang *hybrid* nanofluida yang sebagian besar pada konduktivitas termal sedangkan penelitian tentang aglomerasi dan *wettability* nanofluida masih terbatas, oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakterisasi aglomerasi dan *wettability hybrid* nanofluida Al_2O_3 - TiO_2 -Air pada konsentrasi rendah dan tinggi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh komposisi nanopartikel terhadap karakter

aglomerasi dan *wettability hybrid* nanofluida, serta mengetahui kemampuan *hybrid* nanofluida menghambat aglomerasi dibandingkan nanofluida tunggal.

Hybrid nanofluida adalah jenis nanofluida yang sangat baru, yang dapat dibuat dengan mensintesa berbagai jenis (dua atau lebih dari dua) nanopartikel dalam fluida dasar (Nata Septiadi, Putra, & Saleh, 2015). Tujuan utama dari sintesis *hybrid* nanofluida adalah untuk mendapatkan keunggulan-keunggulan sifat dari bahan penyusunnya. Menurut (Devendiran & Amirtham, 2016) sintesis nanopartikel hibrida memberikan perbaikan pada sifat fisik-kimia yang tidak diperoleh pada nanofluida yang menggunakan nanomaterial tunggal. (Sarkar et al., 2015) menyatakan tujuan penyertaan nanopartikel hibrida dalam fluida dasar adalah untuk meningkatkan karakteristik perpindahan panas fluida dasar melalui kombinasi sifat termo-fisik nanomaterial.

Nanopartikel memiliki luas permukaan yang besar mengakibatkan gaya tarik menarik (*Van der waals*) pada permukaan nanopartikel meningkat. Gaya Tarik menarik ini cenderung menarik partikel lain untuk membentuk gugus yang dikenal sebagai aglomerasi (Ilyas, Pendyala, & Marneni, 2014). Pembentukan aglomerat memiliki dampak negatif terhadap stabilitas nanofluida (Hong & Kim, 2012). Aglomerasi akan menyebabkan nanopartikel akan mengendap atau tersedimentasi sehingga nanofluida menjadi jernih. Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan pengendapan adalah konsentrasi partikel, ukuran partikel dan densitas (Geankoplis, 2003).

Penelitian tentang aglomerasi nanofluida sebelumnya sudah pernah dilakukan oleh (Witharana, Hodges, Xu, Lai, & Ding, 2012) mereka mengamati perilaku pengendapan suspensi alumina (fraksi volume 0,5%) pada tingkat pH yang berbeda. Mereka menemukan bahwa nanosuspensi stabil selama 30 menit pada pH 6,3. (Liu, Sun, Borthwick, & Ni, 2013) meneliti perilaku agglomerasi dan sedimentasi nanopartikel TiO₂, nanosuspensi dengan ukuran aglomerat lebih dari 1000 nm menunjukkan stabilitas yang buruk. (Subramaniyan, Priya, Kottaisamy, & Ilangovan, 2014) melakukan penelitian menggunakan nanopartikel TiO₂ 10 ml, etanol 20 ml dan air 30 ml dibuat dengan metode sol-gel, dan didapat waktu sedimentasi TiO₂ adalah 9-10 hari, memiliki ukuran yang tidak homogen dengan agglomerasi tinggi dan diameter partikel rata-rata berada pada kisaran 50 -100 nm. (Haghighi et al., 2013) mengamati perilaku sedimentasi lempung, Al₂O₃ dan CeO₂ dalam campuran air, EG (Etanol Glikol) dan air (EG 50 vol%) diamati dengan menggunakan metode fotografi. Ditemukan bahwa nanosuspensi dengan konsentrasi nanopartikel rendah menunjukkan stabilitas yang lebih baik daripada nanosuspensi dengan konsentrasi tinggi.

Wettability adalah kemampuan cairan untuk menjaga kontak dengan permukaan padat (Choi & Eastman, 1995). *Wettability* juga dapat diartikan sebagai interaksi yang menentukan besarnya sudut kontak antara fluida cair dan permukaan padat, yang mana bila cairan menyebar secara spontan pada permukaan disebut dengan basah. Bila interaksi antar cairan dan permukaan lemah, cairan akan membentuk butir-butir cairan di permukaan dan hanya membasahi sebagian permukaan (Bernardin, Mudawar, Walsh, & Franses, 1997). Semakin tinggi derajat kebasahan, semakin besar daerah yang dibasahi oleh fluida maka perpindahan kalor juga semakin besar (Deendarlianto, Hidaka, & Kohno, 2008). Sudut kontak kurang dari 90° (hidrofilik) biasanya mengindikasikan pembasahan permukaan sangat bagus, dan cairan akan menyebar di area yang luas di permukaan. Sudut kontak yang lebih besar dari 90° (hidrofobik) biasanya menunjukkan pembasahan permukaan tidak bagus, sehingga cairan akan meminimalkan kontak dengan permukaan.

Sudut kontak bergantung pada tiga parameter, yaitu tegangan permukaan, tegangan adhesi dan faktor kekasaran permukaan (Kim, Bang, Buongiorno, & Hu, 2006). Peningkatan konsentrasi nanopartikel dapat meningkatkan *wettability* nanofluida dan tegangan permukaan sehingga sudut kontaknya menurun (Zhu, Zhao, Li, Guan, & Li, 2011). (Jackson et al., 2014) melakukan penelitian mengenai *wettability* nanofluida, hasil penelitiannya menunjukkan bahwa tetesan nanofluida secara konsisten menghasilkan koefisien perpindahan panas konvektif yang lebih tinggi daripada air. Nanofluida lebih hidrofilik daripada air sehingga sudut kontak dengan permukaan lebih kecil, serta perpindahan panasnya lebih baik dibandingkan air. (Bhuiyan, Saidur, Amalina, Mostafizur, & Islam, 2015) menyatakan tegangan permukaan nanofluida meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi nanopartikel. (Tanvir & Qiao, 2012) juga menyatakan tegangan permukaan nanofluida meningkat secara linier dengan peningkatan konsentrasi dan ukuran partikel.

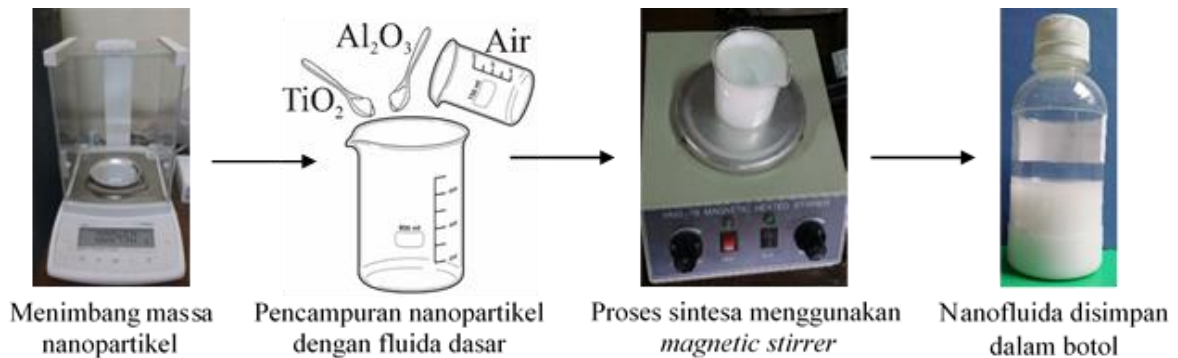
2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental yang meliputi studi literatur, persiapan alat dan bahan, preparasi nanofluida, pengujian karakteristik aglomerasi dan *wettability* dan dilakukan analisa hasil penelitian.

2.1. Preparasi nanofluida

Nanofluida tunggal dan *hybrid* nanofluida dibuat dengan cara mencampurkan partikel nano Al_2O_3 dan TiO_2 kedalam fluida dasar berupa aquades (air suling). Partikel yang digunakan adalah nanopartikel komersial dari Nano Degussa berukuran 20 nm. Nanofluida disintesa menggunakan *Magnetic Stirrer* selama 30 menit. Nanofluida dibuat dengan variasi konsentrasi fraksi volume yaitu konsentrasi rendah (0,1%; 0,3%; 0,5%; 0,7%) dan konsentrasi tinggi (1%; 3%; 5%; 7%) serta memvariasikan komposisi nanopartikel Al_2O_3 dengan TiO_2 pada *hybrid* nanofluida sebesar 75%:25%; 50%:50% dan 75%:25%. Skema pembuatan *hybrid* nanofluida dapat dilihat pada gambar 1.

Pengukuran volume nanopartikel dilakukan dengan cara perkalian massa nanopartikel dengan massa jenisnya, dimana nanopartikel Al_2O_3 memiliki massa jenis 0,18 g/ml dan TiO_2 sebesar 0,24 g/ml. Perbandingan massa nanopartikel dengan fluida dasar pada *hybrid* nanofluida dan nanofluida tunggal dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2.



Gambar 1. Skema pembuatan *hybrid* nanofluida.

Tabel 1. Perbandingan massa nanopartikel dengan fluida dasar pada *hybrid* nanofluida.

Fraksi Volume (%)	Volume Air (ml)	Massa Nanopartikel (gram)					
		75 % : 25 %		50 % : 50 %		25 % : 75 %	
		Al_2O_3	TiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Al_2O_3	TiO_2
0,1	99,9	0,0135	0,0060	0,0090	0,0120	0,0045	0,0180
0,3	99,7	0,0405	0,0180	0,0270	0,0360	0,0135	0,0540
0,5	99,5	0,0675	0,0300	0,0450	0,0600	0,0225	0,0900
0,7	99,3	0,0945	0,0420	0,0630	0,0840	0,0315	0,1260
1	99	0,1350	0,0600	0,0900	0,1200	0,0450	0,1800
3	97	0,4050	0,1800	0,2700	0,3600	0,1350	0,5400
5	95	0,6750	0,3000	0,4500	0,6000	0,2250	0,9000
7	93	0,9450	0,4200	0,6300	0,8400	0,3150	1,2600

Tabel 2. Perbandingan massa nanopartikel dengan fluida dasar pada nanofluida tunggal.

Fraksi Volume (%)	Volume Air (ml)	Massa Nanopartikel (gram)	
		Al_2O_3	TiO_2
0,1	99,9	0,018	0,024
0,3	99,7	0,054	0,072
0,5	99,5	0,090	0,120
0,7	99,3	0,126	0,168
1	99	0,180	0,240
3	97	0,540	0,720
5	95	0,900	1,200
7	93	1,260	1,680

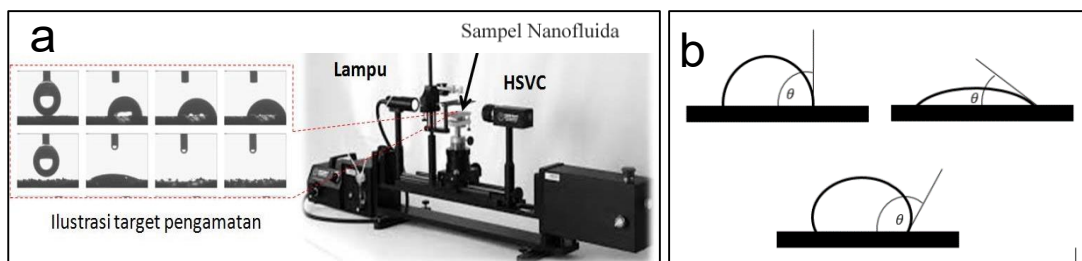
2.2 Pengamatan Aglomerasi

Aglomerasi nanofluida terjadi karena penggumpalan antar partikel akibat dari gaya *van der waals* dan melemahnya gerak *brown* pada nanofluida. Aglomerasi menyebabkan menurunnya tingkat homogenitas pada nanofluida sehingga partikel akan cenderung mengendap di bagian bawah dan mengakibatkan nanofluida akan terlihat bening pada bagian atas. Oleh karena itu pengamatan aglomerasi dapat dilakukan secara visual.

Dalam penelitian ini juga dilakukan pengamatan aglomerasi menggunakan UV-Vis dengan mengukur absorbansi nanofluida. Pengambilan data absorbansi dilakukan karena kemampuan pengamatan terhadap sedimen setiap orang berbeda, nanofluida Al_2O_3 dan TiO_2 berwarna putih dan keruh sehingga tidak bisa dengan jelas melihat sedimen yang terbentuk. Pengambilan data absorbansi menggunakan UV-Vis Double Beam Shimadzu/UV-1800, software UVProbe digunakan untuk menampilkan hasil pengukuran absorbansi. panjang gelombang yang digunakan dalam pengujian adalah 200-680 nm. pengambilan data absorbansi dilakukan tiga kali yaitu sehari setelah sintesa, 8 hari setelah sintesa dan 15 hari setelah sintesa

2.3. Pengujian Wettability

Wettability nanofluida diamati menggunakan HSCV (*high speed camera video*) dilakukan dengan melakukan penetrasi nanofluida terhadap bidang datar dan kamera yang memiliki resolusi tinggi akan merekam perilaku fluida yang mengenai permukaan bidang datar. Dalam pengujian ini bidang datar yang digunakan adalah permukaan *sintered powder wick* dan gambar 2a adalah skema pengujian *wettability*. Gambar yang di dapat dari HSVC kemudian diukur sudut kontak menggunakan software ImageJ, Metode pengukurannya dilakukan dengan mengukur sudut antara garis tangen tetesan fluida dengan permukaan datar. Cara pengukurannya dapat dilihat pada gambar 2b.



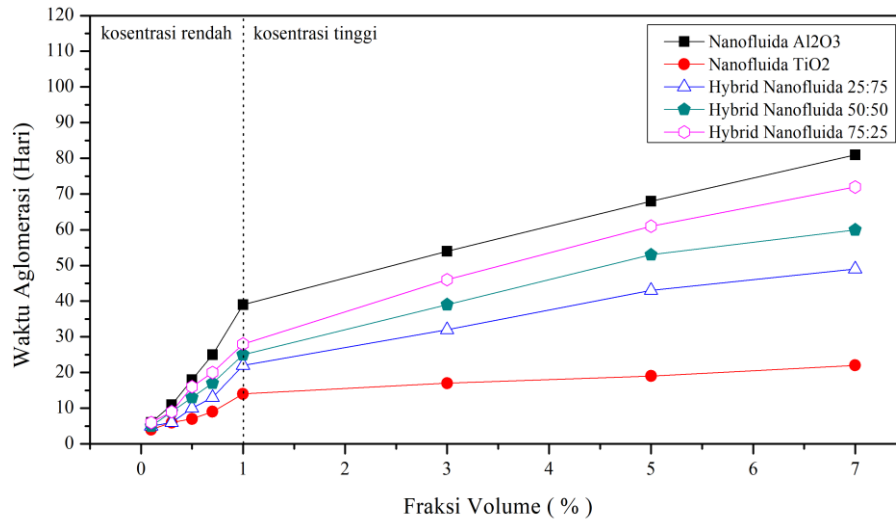
Gambar 2. (a) Skema pengujian *wettability*, (b) Pengukuran sudut kontak nanofluida pada permukaan datar

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengamatan Aglomerasi Nanofluida Secara Visual

Pada penelitian ini, aglomerasi nanofluida tunggal dan *hybrid* nanofluida diamati secara visual sedangkan pengamatan aglomerasi dengan mengukur absorbansi menggunakan UV-Vis hanya dilakukan pada *hybrid* nanofluida saja. Hal tersebut dikarenakan nanofluida tunggal hanya dijadikan data pembanding untuk mengetahui kemampuan *hybrid* nanofluida dalam menghambat aglomerasi. *Hybrid* nanofluida dan nanofluida tunggal yang telah disintesa disimpan dan diamati aglomerasinya secara visual dengan cara melihat endapan (sedimen) yang terjadi pada nanofluida tersebut, waktu yang diperlukan nanopartikel sampai mengendap secara keseluruhan sehingga nanofluida tersebut menjadi jernih dapat dilihat pada gambar 3.

Nanofluida tunggal dan *hybrid* nanofluida konsentrasi rendah lebih cepat teraglomerasi dibandingkan dengan konsentrasi tinggi dan semakin tinggi fraksi volume nanopartikel, aglomerasi nanofluida semakin lama. Pada konsentrasi rendah nanopartikel pada nanofluida teraglomerasi pada minggu pertama dan kedua, Nanofluida konsentrasi tinggi secara visual pada minggu pertama sudah terbentuk aglomerat, namun waktu yang dibutuhkan keseluruhan nanopartikel teraglomerasi hingga nanofluida menjadi bening lebih lama dibandingkan konsentrasi rendah. *Hybrid* nanofluida dengan fraksi volume 7% dengan komposisi 75% Al_2O_3 :25% TiO_2 mengalami aglomerasi hingga membentuk cairan bening dan endapan pada bagian bawah tempat penyimpanan paling lama dibandingkan *hybrid* nanofluida yang lainnya yaitu selama 72 hari dan yang paling cepat teraglomerasi adalah *hybrid* nanofluida fraksi volume 0,1% dengan variasi partikel 50% Al_2O_3 :50% TiO_2 dan 25% Al_2O_3 :75% TiO_2 .



Gambar 3. Grafik waktu aglomerasi nanofluida tunggal dan *hybrid* nanofluida dengan variasi fraksi volume dan komposisi nanopartikel Al₂O₃ :TiO₂ pada *hybrid* nanofluida.

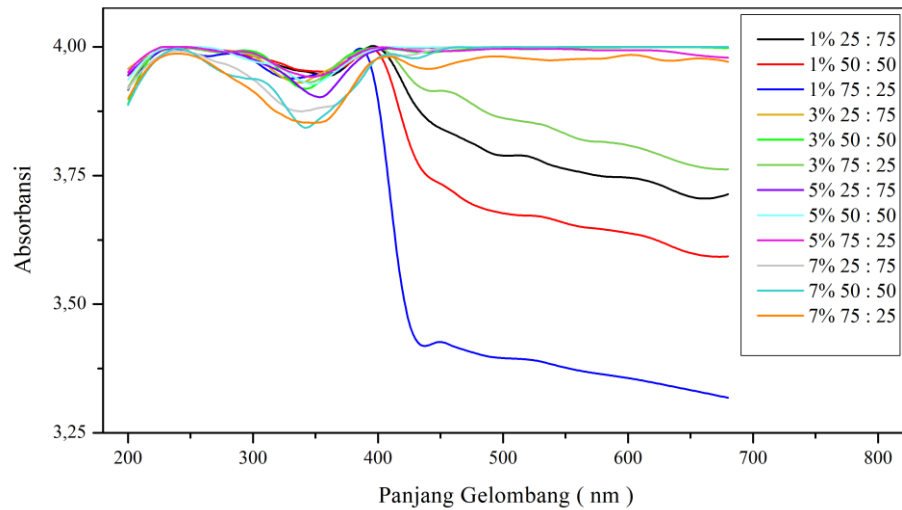
Pada nanofluida tunggal, nanofluida Al₂O₃ pada fraksi volume 7% paling lama teraglomerasi yaitu selama 81 hari dan yang paling cepat teraglomerasi adalah nanofluida TiO₂ selama 4 hari penyimpanan. Pada fraksi volume yang sama nanofluida Al₂O₃ lebih lama teraglomerasi dibandingkan nanofluida TiO₂ dan *hybrid* nanofluida yang mengandung lebih banyak partikel Al₂O₃ juga teraglomerasi lebih lama. Hal tersebut menunjukkan bahwa stabilitas partikel Al₂O₃ lebih bagus dibandingkan partikel TiO₂. Berdasarkan pengamatan secara visual homogenitas nanofluida tunggal dan *hybrid* nanofluida menurun seiring bertambahnya waktu penyimpanan, hal tersebut disebabkan oleh efek gerak brown pada nanopartikel melemah akibat penggumpalan antar nanopartikel, karena penggumpalan tersebut nanopartikel akan tersedimentasi pada bagian bawah dan nanofluida tersebut menjadi jernih. Perubahan homogenitas nanofluida ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Perubahan homogenitas nanofluida Al₂O₃ pada fraksi volume 0,7%

3.2 Pengamatan Aglomerasi Menggunakan UV-Vis

Penelitian ini juga dilakukan pengamatan aglomerasi menggunakan UV-Vis dengan mengukur absorbansi dari *hybrid* nanofluida. Karena sebagian besar puncak absorbansi dari *hybrid* nanofluida hasil pengujian adalah 4, dimana batas maksimal pengukuran dari UV-Vis Double Beam Shimadzu/UV-1800 adalah 4 hal tersebut memungkinkan terjadi *overscale* dalam pengukurannya sehingga jika nilai absorbansinya lebih dari 4 maka UV-Vis akan menampilkan pada batas maksimumnya. Oleh karena itu untuk membandingkan absorbansi masing-masing *hybrid* nanofluida dilakukan dengan menghitung rata-rata absorbansi dari panjang gelombang 200-680 nm. Gambar 5 adalah salah satu hasil pengukuran absorbansi dan tabel 3 adalah data rata-rata hasil pengukuran absorbansi.



Gambar 5. Absorbansi *hybrid* nanofluida konsentrasi tinggi 1 hari setelah sintesa

Tabel 3. Rata-rata absorbansi *hybrid* nanofluida pada panjang gelombang 200-680 nm

Fraksi Volume (%)	25% Al ₂ O ₃ :75% TiO ₂			50% Al ₂ O ₃ :50% TiO ₂			75% Al ₂ O ₃ :25% TiO ₂		
	1 hari	8 hari	15 hari	1 hari	8 hari	15 hari	1 hari	8 hari	15 hari
0,1	1,318	0,631	0,098	0,985	0,545	0,090	2,378	0,676	0,166
0,3	3,528	0,362	0,147	3,493	3,125	0,248	2,892	2,430	0,324
0,5	3,729	3,565	0,382	3,662	3,623	0,383	3,507	3,471	0,539
0,7	3,798	3,803	0,660	3,567	3,535	1,665	3,698	3,533	1,821
1	3,868	0,370	0,369	3,809	0,557	0,458	3,636	1,205	1,078
3	3,991	1,570	0,696	3,978	1,079	0,956	3,896	1,314	1,274
5	3,985	1,115	1,069	3,993	1,542	1,507	3,988	1,719	1,709
7	3,977	1,449	1,418	3,980	1,946	1,892	3,951	2,107	2,053

Dari tabel 3, dapat dilihat bahwa absorbansi semua *hybrid* nanofluida menurun seiring dengan bertambahnya waktu penyimpanan hal tersebut mengindikasikan homogenitas *hybrid* nanofluida menurun. *Hybrid* nanofluida konsentrasi tinggi pada minggu pertama mengalami penurunan absorbansi secara signifikan dan pada minggu kedua terjadi penurunan tetapi tidak signifikan sedangkan *Hybrid* nanofluida konsentrasi rendah pada minggu pertama mengalami penurunan absorbansi tidak signifikan, tetapi pada minggu kedua terjadi penurunan absorbansi secara signifikan.

Dengan bertambahnya fraksi volume absorbansi *hybrid* nanofluida meningkat pada pengukuran pertama. Pada pengukuran kedua (8 setelah sintesa) absorbansinya meningkat dari fraksi volume 0,1% sampai 0,7% kemudian terjadi penurunan pada fraksi 1% dan mengalami kenaikan lagi sampai fraksi 7%. Pada pengukuran ketiga, perubahan absorbansi *hybrid* nanofluida sama seperti pengukuran kedua yaitu terjadi kenaikan dan penurunan absorbansi. Pada pengukuran kedua dan ketiga, fraksi volume 0,7% dengan komposisi 75% Al₂O₃:25% TiO₂ memiliki absorbansi lebih tinggi dibandingkan fraksi volume 1%, 3% dan 5% namun secara visual lebih cepat teraglomerasi, hal tersebut mengindikasikan bahwa stabilitasnya menurun setelah dua minggu penyimpanan.

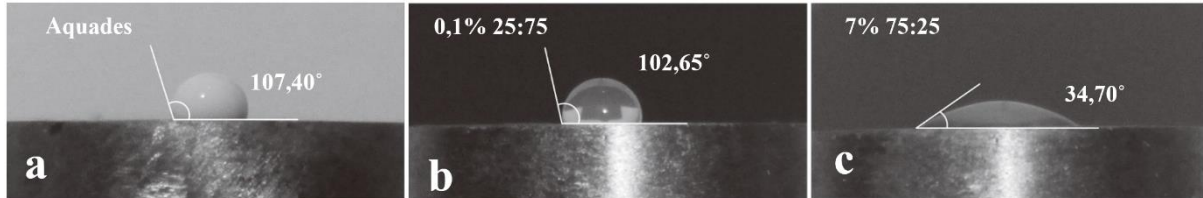
Berdasarkan hasil pengukuran absorbansi, pada fraksi volume yang sama sebagian besar *hybrid* nanofluida yang mengandung 75% partikel Al₂O₃ memiliki nilai absorbansi lebih tinggi. Hal tersebut menunjukkan nanofluida yang mengandung lebih banyak partikel Al₂O₃ memiliki stabilitas yang lebih baik. Pengamatan aglomerasi secara visual juga menunjukkan pada fraksi volume sama *hybrid* nanofluida yang mengandung lebih banyak partikel Al₂O₃ stabilitasnya lebih bagus. Pada nanofluida tunggal, nanofluida TiO₂ lebih cepat teraglomerasi dibandingkan nanofluida Al₂O₃.

Aglomerasi *hybrid* nanofluida yang lebih banyak mengandung partikel Al₂O₃ lebih lambat terjadi karena efek geran *brown* bertahan lebih lama pada partikel dan Al₂O₃ memiliki densitas yang lebih kecil dibandingkan TiO₂. Waktu aglomerasi lebih lambat terjadi pada fraksi volume yang lebih tinggi dikarenakan pada fraksi yang lebih tinggi terjadi gaya gesek lebih besar antar nanopartikel sehingga nanopartikel akan melayang-layang dalam fluida dasarnya yang menyebabkan lama terbentuknya

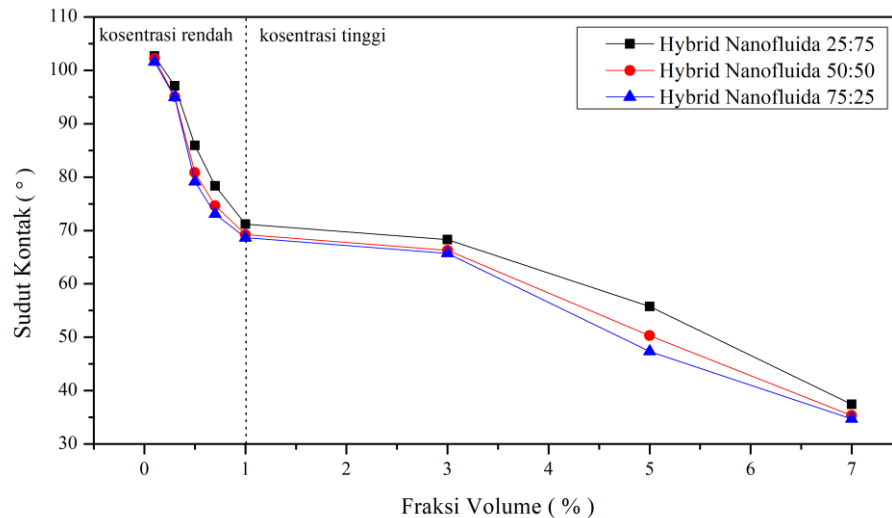
sedimen. Hal tersebut sesuai dengan yang dinyatakan (Geankoplis, 2003) yaitu densitas yang semakin kecil akan menyebabkan gaya apung semakin besar dan semakin besarnya konsentrasi gaya gesek yang dialami partikel semakin besar.

3.3 Wettability Hybrid Nanofluida

Gambar 6 dan gambar 7 adalah hasil pengukuran sudut kontak dari *hybrid* nanofluida dan pada penelitian ini juga dilakukan pengukuran sudut kontak pada aquades yang digunakan sebagai fluida dasar dan didapat nilai sudut kontak sebesar $107,4^\circ$.



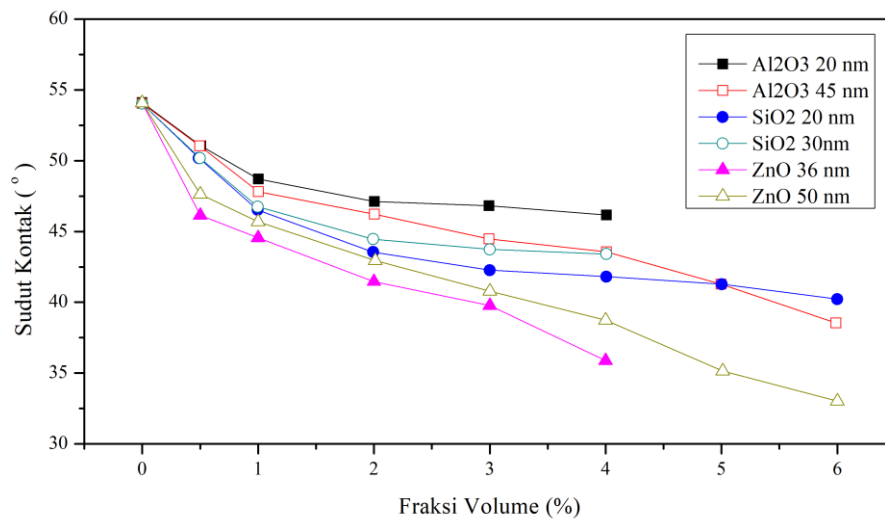
Gambar 6. Sudut kontak dengan permukaan *sintered powder wick* (a) Aquades, (b) *hybrid* nanofluida fraksi volume 0,1% 25% Al_2O_3 :75% TiO_2 , (c) *hybrid* nanofluida fraksi volume 7% 75% Al_2O_3 :25% TiO_2 .



Gambar 7. Grafik sudut kontak nanofluida dengan variasi fraksi volume dan komposisi nanopartikel

Berdasarkan gambar 7 dapat dilihat bahwa semakin tinggi fraksi volume nanopartikel pada *hybrid* nanofluida sudut kontak semakin kecil, hal tersebut mengindikasikan peningkatan fraksi volume memberikan *wettability* yang baik. Semua *hybrid* nanofluida memiliki sudut kontak lebih kecil dari sudut kontak aquades, itu menunjukkan penambahan nanopartikel pada fluida dasar dapat meningkatkan *wettability*. Pada fraksi volume 0,1% dan 0,3% *hybrid* nanofluida bersifat hidrofobik (sudut kontak lebih dari 90°). *Hybrid* nanofluida fraksi volume 7% dengan komposisi 75% Al_2O_3 :25% TiO_2 memiliki sudut kontak paling kecil yaitu $34,7^\circ$. Pada fraksi volume yang sama, *hybrid* nanofluida yang mengandung lebih banyak partikel Al_2O_3 memiliki sudut kontak yang lebih kecil.

Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Chinnam, Das, Vajjha, & Satti, 2015), mereka meneliti sudut kontak nanofluida Al_2O_3 , SiO_2 dan ZnO dengan variasi fraksi volume dan menggunakan ukuran nanopartikel yang berbeda. Gambar 8 adalah hasil dari penelitiannya, peningkatan fraksi volume menyebabkan sudut kontak antara nanofluida dan permukaan kaca menurun, serta pada nanofluida Al_2O_3 dan SiO_2 dengan ukuran partikel lebih besar memiliki sudut kontak lebih kecil pada fraksi volume yang sama. Hasil yang sama juga didapat pada penelitian (Chaudhuri & Paria, 2014) dimana sudut kontak antara nanofluida TiO_2 dan permukaan PTFE (Teflon) menurun dengan peningkatan fraksi volume.



Gambar 8. Grafik sudut kontak nanofluida dengan variasi fraksi volume dan ukuran nanopartikel (Chinnam et al., 2015)

Sudut kontak bergantung pada tiga parameter, yaitu tegangan permukaan, tegangan adhesi dan faktor kekasaran permukaan (Kim et al., 2006). (Bhuiyan et al., 2015) menyatakan tegangan permukaan nanofluida meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi nanopartikel. (Tanvir & Qiao, 2012) juga menyatakan tegangan permukaan nanofluida meningkat secara linier dengan peningkatan konsentrasi dan ukuran partikel. Jika tegangan permukaan meningkat maka luas area kontak antara nanofluida dengan permukaan semakin besar dan sudut kontak antara nanofluida semakin kecil.

Sudut kontak dipengaruhi oleh gaya-gaya yang terjadi pada nanofluida dengan permukaan, diantaranya gaya tarik-menarik antar partikel, gaya tarik antar partikel dengan molekul padat pada permukaan. Ukuran nanopartikel rata-rata 20 nm jika dibandingkan dengan molekul air jauh lebih tinggi, dengan ukuran dan massa yang lebih besar akan menyebabkan gaya kebawah ketika nanofluida menyentuh permukaan. Dengan demikian sudut kontak akan berkurang dan area yang dibasahi semakin besar. Semakin banyak nanopartikel pada nanofluida, semakin kuat efek tersebut terjadi. Ketika fraksi volume meningkat maka semakin banyak partikel yang terdapat pada nanofluida, sehingga mengurangi sudut kontak dengan permukaan. Sudut kontak lebih kecil pada *hybrid* nanofluida yang mengandung lebih banyak partikel Al₂O₃, terjadi karena gaya tarik menarik partikel Al₂O₃ dengan permukaan lebih besar dibandingkan partikel TiO₂.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisa data pada nanofluida tunggal dan *hybrid* nanofluida Al₂O₃-TiO₂-Air dapat disimpulkan sebagai berikut. Secara visual aglomerasi *hybrid* nanofluida Al₂O₃-TiO₂-Air konsentrasi rendah lebih cepat dibandingkan konsentrasi tinggi, semakin tinggi fraksi volume nanopartikel pada nanofluida aglomerasinya semakin lama. Absorbansi *hybrid* nanofluida pada konsentrasi tinggi dan rendah menurun seiring bertambahnya waktu penyimpanan. *Wettability hybrid* nanofluida semakin baik dengan meningkatnya fraksi volume, pada konsentrasi rendah *hybrid* nanofluida dengan fraksi volume 0,1% dan 0,3% bersifat hidrofobik sedangkan yang lainnya bersifat hidrofilik dan pada konsentrasi tinggi semuanya bersifat hidrofilik.

Pada fraksi volume yang sama *hybrid* nanofluida dengan komposisi 75% Al₂O₃:25% TiO₂ mengalami aglomerasi lebih lama dan absorbansinya lebih tinggi. Pada fraksi volume yang sama *hybrid* nanofluida dengan nanopartikel Al₂O₃ lebih banyak memiliki *wettability* lebih baik dibandingkan *hybrid* nanofluida yang lebih banyak mengandung nanopartikel TiO₂.

Hybrid nanofluida lebih lama teraglomerasi dibandingkan nanofluida TiO₂ namun lebih cepat dibandingkan nanofluida Al₂O₃, densitas nanopartikel TiO₂ yang lebih tinggi menyebabkan aglomerasi lebih cepat terjadi pada nanofluida TiO₂ dan *hybrid* nanofluida yang mengandung 75% nanopartikel TiO₂.

Ucapan Terimakasih

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

- Bernardin, J. D., Mudawar, I., Walsh, C. B., & Franses, E. I. (1997). Contact angle temperature dependence for water droplets on practical aluminum surfaces. *International journal of heat and mass transfer*, 40(5), 1017-1033 .
- Bhuiyan, M., Saidur, R., Amalina, M., Mostafizur, R., & Islam, A. (2015). Effect of nanoparticles concentration and their sizes on surface tension of nanofluids. *Procedia Engineering*, 105, 431-437 .
- Chaudhuri, R. G., & Paria, S. (2014). The wettability of PTFE and glass surfaces by nanofluids. *Journal of colloid and interface science*, 434, 141-151 .
- Chinnam, J., Das, D., Vajjha, R., & Satti, J. (2015). Measurements of the contact angle of nanofluids and development of a new correlation. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 62, 1-12 .
- Choi, S. U., & Eastman, J. A. (1995). Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles: Argonne National Lab., IL (United States).
- Deendarlianto, Y. T., Hidaka, S., & Kohno, M. (2008). *The effect of contact angle on evaporation of water droplet on a heated solid surface*. Paper presented at the Fifth Int. Conference on Transport Phenomena In Multiphase Systems, Bialystok, Poland.
- 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 .
- Geankoplis, C. J. (2003). *Transport processes and separation process principles:(includes unit operations)*: Prentice Hall Professional Technical Reference.
- Haghighi, E., Nikkam, N., Saleemi, M., Behi, M., Mirmohammadi, S. A., Poth, H., Palm, B. (2013). Shelf stability of nanofluids and its effect on thermal conductivity and viscosity. *Measurement Science and Technology*, 24(10), 105301 .
- Hatwar, A. S., & Kriplani, V. (2014). A review on heat transfer enhancement with nanofluid. *Int. J. Adv. Res. Sci. Eng.*, 3(3), 175-183 .
- Hong, J., & Kim, D. (2012). Effects of aggregation on the thermal conductivity of alumina/water nanofluids. *Thermochimica acta*, 542, 28-32 .
- Iyas, S. U., Pendyala, R., & Marneni, N. (2014). Preparation, sedimentation, and agglomeration of nanofluids. *Chemical Engineering & Technology*, 37(12), 2011-2021 .
- Jackson, R. G., Kahani, M., Karwa, N., Wu, A., Lamb, R., Taylor, R., & Rosengarten, G. (2014). *Effect of surface wettability on carbon nanotube water-based nanofluid droplet impingement heat transfer*. Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series.
- Kim, S., Bang, I. C., Buongiorno, J., & Hu, L. (2006). Effects of nanoparticle deposition on surface wettability influencing boiling heat transfer in nanofluids. *Applied physics letters*, 89(15), 153107 .
- Liu, W., Sun, W., Borthwick, A. G., & Ni, J. (2013). Comparison on aggregation and sedimentation of titanium dioxide, titanate nanotubes and titanate nanotubes-TiO₂: Influence of pH, ionic strength and natural organic matter. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 434, 319-328 .
- Nata Septiadi, W., Putra, N., & Saleh, R. (2015). Karakterisasi Konduktivitas Termal Nanofluida Oksida Berbasis Fluida Dasar H₂O. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 8.(2)
- Putra, N. (2003). Nano Teknologi: Pengembangan Potensi Nanofluida Sebagai Fluida Kerja Alternatif.
- 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 .
- Subramaniyan, A., Priya, S. L., Kottaisamy, M., & Ilangovan, R. (2014). Investigations on the absorption spectrum of TiO₂ nanofluid. *Journal of Energy in Southern Africa*, 25(4), 123-127 .

- Tanvir, S., & Qiao, L. (2012). Surface tension of nanofluid-type fuels containing suspended nanomaterials. *Nanoscale research letters*, 7(1), 226 .
- Wang, X.-Q., & Mujumdar, A. S. (2007). Heat transfer characteristics of nanofluids: a review. *International journal of thermal sciences*, 46(1), 1-19 .
- Witharana, S., Hodges, C., Xu, D., Lai, X., & Ding, Y. (2012). Aggregation and settling in aqueous polydisperse alumina nanoparticle suspensions. *Journal of Nanoparticle Research*, 14(5), 851 .
- Zhu, B. J., Zhao, W. L., Li, J. K., Guan, Y. X., & Li, D. D. (2011). *Thermophysical properties of Al₂O₃-water nanofluids*. Paper presented at the Materials Science Forum.