



UNIVERSITAS INDONESIA

**REKAYASA NANOFLUIDA BERBASIS TiO_2 SEBAGAI MEDIA
PENDINGIN PADA SISTEM PENUKAR KALOR**

SKRIPSI

**FLUORDY E NAHUMURY
0706200320**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
DESEMBER 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**REKAYASA NANOFLUIDA BERBASIS TiO_2 SEBAGAI MEDIA
PENDINGIN PADA SISTEM PENUKAR KALOR**

SKRIPSI

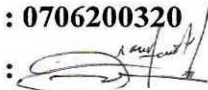
Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**FLUORDY E NAHUMURY
0706200320**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
DESEMBER 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Fluordy E Nahumury
NPM : 0706200320
Tanda Tangan : 
Tanggal : 22 Desember 2009


HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh
Nama : Fluordy E Nahumury
NPM : 0706200320
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Rekayasa Nanofluida Berbasis TiO₂ Sebagai Media Pendingin Pada Sistem Penukar Kalor

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Kimia pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Slamet, MT
Pembimbing : Ir. Dewi Tristantini, MT, PhD
Penguji : Ir. Sukirno, M.Eng
Penguji : Ir. Bambang Heru S., MT

()
()
()
()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 22 Desember 2009

KATA PENGANTAR

Segala puja dan puji saya ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmatnya kepada saya dalam menyelesaikan skripsi dengan judul **“REKAYASA NANOFLUIDA BERBASIS TiO₂ SEBAGAI MEDIA PENDINGIN PADA SISTEM PENUKAR KALOR”** ini untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya ingin mengucapkan terima kasih pada :

1. Prof. Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA., Selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia FTUI
2. Ir Yuliusman M.eng Selaku Koordinator seminar/skripsi Jurusan Teknik Kimia FTUI
3. Dr Ir Slamet, MT dan Ir Dewi Tristantini MT, PhD, Dr. Ing., Ir Nandy putera, sebagai dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya selama penyusunan skripsi ini
4. Mama dan Papa, Freony, Fincenta atas doa dan semangat serta masukan yang diberikan kepada penulis
5. Kartika, dan teman-teman Ekstensi Teknik Kimia 07 yang telah membantu baik material maupun spiritual

Saya menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna dengan segala keterbatasan yang ada. Oleh karena itu, semua saran dan kritik yang membangun sangat saya harapkan.

Akhirnya semoga makalah seminar ini dapat bermanfaat dan memberikan arti bagi semua pihak pada umumnya dan bagi saya sendiri pada khususnya.

Depok, 22 Desember 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fluordy E Nahumury

NPM : 0706200320

Program Studi : Teknik Kimia

Departemen : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Rekayasa Nanofluida Berbasis TiO_2 Sebagai Media Pendingin
Pada Sistem Penukar Kalor”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pengkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 22 Desember 2009

Yang menyatakan



(Fluordy E Nahumury)

ABSTRAK

Nama : Fluordy E Nahumury
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Rekayasa nanofluida berbasis TiO₂ sebagai media pendingin pada sistem penukar kalor

Pada penelitian ini dilakukan rekayasa untuk mendapatkan kondisi yang optimum dari nanofluida TiO₂ dengan memvariasikan konsentrasi nanofluida dan waktu sonikasi. Nanofluida dibuat dengan mendispersikan nanopartikel TiO₂ dengan diameter partikel sebesar 21 nm dalam air, konsentrasi nanofluida sebesar 0,5-8,0 % volume dan waktu sonikasi adalah 5, 10, 15 dan 30 menit. Alat Decagon-KD2 digunakan untuk mengukur nilai konduktivitas termal nanofluida TiO₂. Kondisi optimum nanofluida TiO₂ dalam penelitian ini diperoleh pada waktu sonikasi selama 10 menit dengan konsentrasi 5 %, dimana nilai konduktivitas termal nanofluida sebesar 1,3 kali dari konduktivitas termal fluida dasarnya dan peningkatan konduktivitas termal sebesar 40 % dari nanofluida yang tidak disonikasi.

***Keywords* : Nanofluida TiO₂, variasi konsentrasi nanofluida, konduktivitas termal, variasi waktu sonikasi**

ABSTRACT

Name : Fluordy E Nahumury
Study Program : Chemical engineering
Title : Nanofluids engineering base on TiO_2 as coolant media in heat exchanger system

This study conducted engineering to obtain the optimum conditions of nanofluids TiO_2 with varying concentrations and sonication time of nanofluids. Nanofluids synthesis performed with TiO_2 nanoparticles 21 nm size was dispersed into the water based fluid. Various concentration is 0.5-8% vol and sonication time is 5, 10, 15, and 30 minutes. Decagon-KD2 instrument used to measured the thermal conductivity of nanofluids. The result showed that the optimum sonication time is 10 minutes in 5 % volume concentration of TiO_2 wich can increase 40 % thermal conductivity from the nanofluids with no sonication and 1.3 times higher than amount of the base fluids thermal conductivity.

***Keywords* : TiO_2 nanofluids, various concentration of nanofluids, thermal conductivity, various time of sonication.**

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penggunaan Fluida Konvensional Sebagai Media Pendingin	5
2.2 Nanofluida.....	5
2.2.1 Karakteristik Termal Nanofluida	6
2.3 Mekanisme Perpindahan Kalor Nanofluida.....	7
2.3.1 Gerak Brown	8
2.3.2. Konveksi Dalam Nanofluida.....	8
2.4 Faktor Yang Mempengaruhi Konduktivitas Termal Nanofluida	7
2.4.1. Suhu.....	10
2.4.2. Ukuran Partikel	10
2.4.3 Waktu Sonifikasi Dan Pengaruh Bentuk Partikel	11
2.4.4. Pengaruh Fluida Dasar Pada Konduktivitas Termal Nanofluida	11
2.5. Preparasi Nanofluida	12
2.6. Model Teoritis Konduktivitas Termal Nanofluida	13
2.7. Metode Pengukuran Konduktivitas Termal Nanofluida	16
2.7.1. Pengukuran Efektifitas Konduktivitas Termal	16
2.7.2. Perhitungan Sifat Fisik Nanofluida	17
2.8 Aplikasi nanofluida	18
2.9 TiO ₂ Secara Umum	19
BAB 3 METODE PENELITIAN	21
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	21
3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian.....	22
3.3 Prosedur Percobaan.....	25
3.3.1. Prosedur Percobaan Pengaruh Konsentrasi Terhadap Konduktivitas Termal Nanofluida TiO ₂	25
3.3.2. Prosedur Percobaan Pengaruh Waktu Ultrasonik Terhadap Konduktivitas Nanofluida TiO ₂	26
3.3.3. Prosedur Percobaan Pengukuran Densitas Nanofluida TiO ₂	27

3.3.4. Prosedur Percobaan Pengukuran Viskositas Nanofluida TiO ₂	27
3.4 Pengambilan dan Pengolahan Data	28
3.5 Variabel Penelitian	29
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Pengaruh Konsentrasi Terhadap Nilai Konduktivitas Termal Nanofluida	31
4.2 Perbandingan Nilai Konduktivitas Berbagai Peneliti	33
4.3 Pengaruh Variasi Waktu Ultrasonik Terhadap Nilai Konduktivitas Termal Nanofluida TiO ₂	35
4.4 Pengaruh Variasi Konsentrasi Terhadap Viskositas, Absorbansi & Densitas Nanofluida TiO ₂	36
4.5. Perbandingan Hasil Penelitian Dengan Model Teoritis	40
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran	42
DAFTAR PUSTAKA.....	43
LAMPIRAN.....	45

DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 2.1	Skema diagram mekanisme beberapa kemungkinan peningkatan konduktivitas termal suatu nanofluida	7
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian Rekayasa nanofluida berbasis TiO ₂ untuk aplikasi media pendingin sistem penukar kalor secara umum.....	21
Gambar 3.2	Alat Piknometer	22
Gambar 3.3	Ultrasonik	23
Gambar 3.4	stirer	23
Gambar 3.5	Viskometer Ostwald.....	24
Gambar 3.6	KD2 Thermal Properties Analyzer.....	24
Gambar 3.7	UV-Vis	25
Gambar 4.1	Grafik Hubungan Ratio Konduktivitas Terhadap Konsentrasi	32
Gambar 4.2	Grafik Perbandingan Ratio Konduktivitas Hasil Penelitian Dan Berbagai Peneliti	33
Gambar 4.3	Grafik Hubungan Konduktivitas Terhadap Waktu Ultrasonik	36
Gambar 4.4	Grafik Hubungan Viskositas Dan Densitas Terhadap Konsentrasi	37
Gambar 4.5	Grafik Hubungan Viskositas Dan Densitas Terhadap Variasi Waktu Ultrasonik	37
Gambar 4.6	Grafik Pengaruh Konsentrasi Terhadap Waktu Sedimentasi Nanofluida TiO ₂	39
Gambar 4.7	Perbandingan Antara Hasil Penelitian Dengan Model Teoritis	40

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1 Nilai Konduktivitas Termal Berbagai Jenis Nanopartikel Dengan Berbagai Jenis Fluida	12
Tabel 2 Model termal konduktivitas dasar.....	14
Tabel 3 Sifat fisik dan kimia dari TiO ₂	20

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Pengolahan Data Penelitian	44
Lampiran 2 Gambar Nanofluida TiO ₂ Selama Penelitian	45

BAB 1

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Gagasan atau ide menggunakan dispersi partikel sebagai metode untuk menambah nilai konduktivitas termal bukan hal yang baru. Lebih dari 120 tahun yang lalu, Maxwell telah melakukan penelitian untuk meningkatkan konduktivitas elektrik dari suatu cairan dengan teori pendispersian partikel. Penelitian dan investigasi teori meningkatnya konduktivitas termal dengan menggunakan nanopartikel dilakukan pertama kali oleh Masuda pada tahun 1993, dalam penelitian ini menunjukkan bahwa konduktivitas dari alumina (Al_2O_3), silika (SiO_2) dan titania (TiO_2) dengan fluida dasar air, untuk alumina dengan konsentrasi di bawah 5 % konduktivitasnya mempunyai nilai sebesar 32 % lebih tinggi dari fluida dasarnya. Ditemukan juga bahwa konduktivitas termal meningkat dan viskositas berkurang mengikuti perubahan dari suhu fluida dasar. Setelah itu beberapa peneliti dari Argonne National Lab (ANL) mengerjakan penelitian yang sama dalam mekanisme perpindahan panas dari suatu fluida dan jelas terlihat bahwa dengan menggunakan nanopartikel yang didispersikan menambah nilai perpindahan panas, penggunaan nanopartikel yang didispersikan ini kemudian dipatenkan dengan nama *nanofluids* (Williams, 2006).

Penelitian konduktivitas nanofluida dengan TiO_2 sebagai nanopartikelnya dan air sebagai fluida dasar yang dilakukan oleh beberapa peneliti mendapatkan nilai konduktivitas nanofluida lebih tinggi dibandingkan dengan konduktivitas fluida dasarnya, dari penelitian yang dilakukan tersebut variasi konsentrasi dari nanofluida TiO_2 0,2; 0,6; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0 dan 5,0 % vol, dengan variasi ukuran partikel yang berbeda-beda. Kondisi yang optimum dari nanofluida TiO_2 masih belum bisa ditentukan dari hasil penelitian yang telah ada karena hasil konduktivitas yang beragam.

Pada penelitian rekayasa nanofluida berbasis TiO_2 sebagai media pendingin pada sistem penukar kalor ini variasi konsentrasi yang digunakan berbeda dengan yang dilakukan oleh para peneliti yang telah ada, variasi konsentrasi yang digunakan adalah 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0 % vol dimana variasi konsentrasi 6 dan 8 % belum pernah diteliti sebelumnya, selain memvariasikan

konsentrasi dalam penelitian ini juga akan melakukan variasi waktu ultrasonik (5 – 30 menit). Variasi konsentrasi dan waktu sonikasi dari nanofluida dilakukan untuk mendapatkan kondisi optimum dari nanofluida TiO₂.

Konduktivitas fluida yang menggunakan nanopartikel mempunyai nilai yang tinggi jika dibandingkan dengan fluida yang tidak menggunakan nanopartikel. Alat ultrasonik yang digunakan dalam penelitian ini bertujuan untuk memecah *aggregate* dari nanopartikel dalam nanofluida, dimana *aggregate* ini tidak diinginkan untuk terjadi karena akan mengurangi nilai konduktivitas termal nanofluida.

Alasan menggunakan TiO₂ sebagai nanopartikel adalah karena (a) TiO₂ mempunyai konduktivitas termal yang tinggi. (b) secara umum TiO₂ adalah bahan yang aman bagi manusia dan binatang, (c) nanopartikel TiO₂ mudah ditemukan, (d) metal oksida seperti nanopartikel TiO₂ mempunyai kestabilan yang tinggi (He,dkk.2006).

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan penelitian ini adalah memperoleh kondisi optimum dari nanofluida dengan memvariasikan konsentrasi nanofluida dan waktu sonikasi dalam rekayasa nanofluida berbasis titanium sebagai media pendingin pada penukar kalor.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

Memperoleh kondisi optimum dari nanofluida berbasis titanium agar dapat meningkatkan konduktivitas termal suatu fluida kerja. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi dan waktu sonikasi nanofluida TiO_2 .

1.4 Batasan Masalah

Ruang lingkup penelitian ini ialah:

1. Nanopartikel yang digunakan untuk rekayasa nanofluida berbasis titanium dioksida adalah TiO_2 Degussa P-25 dengan diameter partikel 21 nm.
2. Fluida dasar yang digunakan dalam rekayasa nanofluida berbasis TiO_2 adalah aquades.

1.5 Sistematika penulisan

Sistem penulisan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah serta sistematika penulisan yang digunakan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Nanofluida, mekanisme perpindahan kalor nanofluida, faktor yang mempengaruhi konduktivitas termal nanofluida, preparasi nanofluida, model teoritis konduktivitas termal nanofluida, aplikasi nanofluida, TiO_2 secara umum.

BAB III : METODE PENELITIAN

Berisi tentang diagram alir selama proses penelitian, baik preparasi sampel sampai ke tahap pengukuran.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil dari penelitian yang telah dilakukan berdasarkan prosedur yang tertera di Bab III. Dalam bab ini juga terdapat analisis dan pembahasan dari hasil penelitian yang telah diperoleh.

BAB V : KESIMPULAN

Berisi rangkuman keseluruhan dari inti penelitian yang telah dilakukan, serta mengacu pada hasil yang telah diperoleh. Bab ini berisi kesimpulan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Banyak penelitian yang dilakukan terhadap nanofluida membuktikan bahwa nilai konduktivitas nanofluida jauh lebih besar jika dibandingkan dengan fluida yang digunakan sebagai pendingin selama ini seperti air, etilen glikol dan oli. Hal ini menjadikan nanofluida sebagai bahan yang sangat efisien untuk diaplikasikan sebagai media pendingin dalam sistem penukar kalor.

2.1. Nanofluida

Nanofluida adalah padatan tersuspensi yang terdiri atas serbuk nano (nanopartikel) dan fluida dasar. Serbuk ini terdiri atas partikel nanokristal dengan ukuran partikel berukuran nanometer. Nanofluida disintesis dengan mensuspensi nanopartikel dalam liquid sebagai fluida dasar (Witharana, 2003).

Nanopartikel adalah padatan yang berukuran 1 – 100 nanometer, berikut adalah nanopartikel yang biasanya digunakan beserta fluida dasar yang biasanya digunakan.

Bahan untuk nanopartikel dan fluida dasar yang biasa digunakan adalah :

1. Bahan-bahan nanopartikel:

- a. SiN
- b. Al₂O₃ dan CuO
- c. SiC
- d. TiO₂
- e. Nonlogam: Graphite dan karbon nanotube

2. Fluida dasar :

- a. Minyak atau pelumas
- b. Larutan polimer
- c. Air
- d. Etilen glikol atau trietilen glikol dan media pendingin lainnya.

2.1.1 Karakteristik Termal Nanofluida

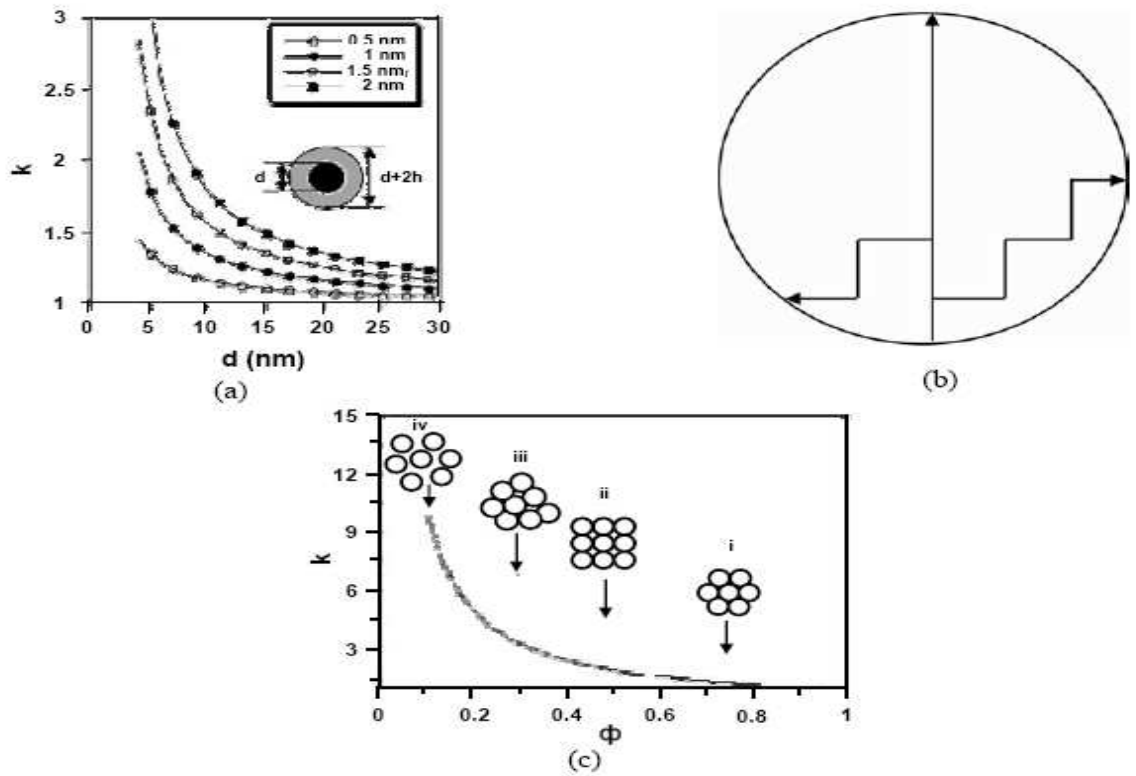
Beberapa grup peneliti telah menghitung konduktivitas termal nanofluida lebih dari yang diprediksi oleh model Maxwell. Penelitian dilakukan pada nanofluida CuO_2 dengan dua grup yang berbeda, dilaporkan bahwa nanofluida yang mengandung partikel lebih besar memiliki termal konduktivitas yang lebih besar pula. Dilaporkan pula bahwa nanofluida menunjukkan adanya keterkaitan antara konduktivitas termal dan temperatur, yaitu semakin tinggi temperatur maka, semakin tinggi konduktivitas termalnya (Duangthongsuk dkk.,2008). Keunikan dari nanofluida dan nanopartikel itu sendiri adalah tidak ada model yang umum dapat digunakan pada partikel yang lebih besar, dapat menentukan penambahan nanopartikel karena penurunan kontinum pada ukuran nano.

2.2. Mekanisme Perpindahan Kalor Nanofluida

Nanofluida merupakan campuran yang dibentuk oleh nanopartikel sebagai inti dan dikelilingi oleh nanolayer sebagai *shell*, yang kemudian akan tenggelam didasar cairan.

Pemahaman konvensional mengenai konduktivitas termal berasal dari formulasi campuran kontinum yang biasanya hanya melibatkan ukuran partikel atau bentuk dan fraksi volume serta asumsi difusivitas perpindahan kalor baik pada fluida dan fasa padatan. Pemahaman konvensional ini dapat memberikan prediksi yang baik untuk mikrometer atau sistem padatan maupun fluida berukuran besar, tetapi tidak berhasil untuk menjelaskan karakteristik perpindahan kalor yang tidak biasa pada nanofluida.

Beberapa pernyataan mengatakan bahwa konduktivitas termal nanofluida terdiri atas unsur konvensional yang statis dan gerak Brown yang menghasilkan pencampuran mikro. Model ini mempertimbangkan partikel dinamis sehingga efek yang dihasilkan adalah penambahan konduktivitas termal suspensi cairan statis. Dengan demikian, ukuran partikel, fraksi volume, konduktivitas termal dari kedua nanopartikel, fluida dasar dan temperatur akan diambil sebagai model untuk konduktivitas termal nanofluida. Teori ini menyediakan sarana untuk memahami mekanisme interaksi partikel pada nanofluida.



Gambar 2.1. Skema diagram dari beberapa mekanisme kemungkinan peningkatan konduktivitas termal suatu nanofluida.

Keterangan gambar : (a) peningkatan k karena pembentukan lapisan struktur cairan dengan konduktivitas tinggi pada permukaan partikel cairan; (b) Balistik dan perpindahan penyebaran phonon pada partikel padatan; (c) Peningkatan k karena meningkatnya efektifitas fluks seiring dengan meningkatnya konduksi.(Wang dkk., 2008).

2.2.1 Gerak Brown

Gerak Brown adalah gerak partikel yang bergerak melalui suatu cairan dan mempunyai kemungkinan saling beradu, karena itu bisa saja terjadi perpindahan kalor dari padatan yang satu ke padatan yang lain. Gerak Brown dari nanopartikel bisa menjadi hal yang sangat mempengaruhi peningkatan konduktivitas termal dengan dua cara yaitu, pertama adalah secara langsung dengan gerak nanopartikel yang menyebabkan perpindahan kalor dan cara tidak langsung yaitu melalui *micro-convection* dari fluida yang mengelilingi nanopartikel. Hal ini dapat menyebabkan naiknya konduktivitas termal. Hukum Stokes-Einsten :

$$D = \frac{k_B T}{3\pi\eta d} \quad (1.3)$$

Keterangan :

- k_B = konstanta boltzman
- η = viskositas
- D = konstanta difusi
- d = diameter partikel

dengan persamaan di atas dapat ditentukan efek dari gerak brown terhadap konduktivitas termal dengan membandingkan waktu yang dibutuhkan partikel untuk bergerak dengan penyebaran panas dalam suatu fluida. Efek dari gerak Brown terhadap konduktivitas dapat ditentukan dengan membandingkan waktu yang dibutuhkan partikel untuk bergerak dengan jarak yang sama dengan ukurannya (τ_D) seperti yang bisa dilihat pada persamaan (1.4) (Kebllinski dkk., 2001)

$$\tau_D = \frac{d^2}{6D} = \frac{3\pi\eta d^3}{6k_B T} \quad (1.4)$$

Jika rumus ini dibandingkan dengan waktu yang dibutuhkan oleh panas untuk bergerak dalam fluida dengan jarak yang sama (τ_H) seperti yang ditunjukkan pada persamaan (1.5)

$$\tau_H = \frac{d^2}{6\chi} = \frac{d^2 c_p}{6k_f} \quad (1.5)$$

Dengan :

- τ_D = waktu yang dibutuhkan oleh partikel untuk bergerak dengan jarak yang sama dengan ukuran partikelnya
- τ_H = waktu yang dibutuhkan oleh panas untuk bergerak dalam fluida dengan jarak yang sama.
- C_P = kapasitas panas
- T = temperatur
- k_f = konduktivitas fluida
- χ = konduktivitas *thermometric*

2.2.2. Konveksi Dalam Nanofluida

Pada penelitian yang dilakukan oleh Ding (2007) dengan metode dispersiv, *transient* dan *steady heat transfer coefficients* digunakan untuk variasi konsentrasi dari nanofluida pada kondisi konveksi alami. Air distilasi digunakan sebagai fluida dasarnya dan TiO_2 digunakan sebagai nanopartikelnya. Agglomerat yang terbentuk dipecah dengan menggunakan *high-shear homogenizer* untuk mendapatkan nanofluida yang stabil. Hasil yang didapatkan memperlihatkan bahwa nanofluida menurunkan koefisien perpindahan kalor konveksi alami. Dari penelitian yang dilakukan oleh peneliti lain didapatkan bahwa penurunan konveksi diakibatkan oleh efek partikel atau *fluid slip* dan endapan atau sedimen dari nanopartikel. Pada umumnya perpindahan kalor secara konveksi pada nanofluida memiliki nilai yang tinggi pada saat masuk ke dalam sistem tetapi menurun sesuai dengan jarak yang ditempuh atau dilewati dan berada pada nilai konstan pada daerah *fully developed* (Ding et al., 2007).

2.3. Faktor Yang Mempengaruhi Konduktivitas Termal Nanofluida

Nilai konduktivitas termal nanofluida sangat bergantung pada beberapa hal seperti, pH, suhu, ukuran partikel dan beberapa hal lain. Untuk lebih jelasnya berikut penjelasan mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi nilai konduktivitas termal nanofluida.

2.3.1. Suhu

Temperatur atau suhu sangat berpengaruh pada konduktivitas nanofluida dimana nilai konduktivitas termal suatu nanofluida akan berubah jika terjadi perubahan suhu sehingga sangat penting untuk menjaga kestabilan suhu dari suatu nanofluida. Semakin tinggi suhu maka semakin besar nilai konduktivitas termal nanofluidanya (Duangthongsuk dan Wongwises., 2008).

2.3.2. Ukuran Partikel

Konduktivitas termal nanofluida meningkat linear dengan bertambahnya fraksi volume (konsentrasi), tetapi penambahan rasio volume bergantung pada pendispersian nanopartikel. Meningkatnya konduktivitas termal bergantung pada luas permukaan (*Specific Surface Area (SSA)*).(Bahrami., 2006). Sehingga bisa dikatakan bahwa peningkatan nilai konduktivitas bergantung pada ukuran nanopartikel yang digunakan semakin kecil ukuran partikel maka akan semakin meningkat nilai konduktivitas termalnya (Duangthongsuk dan Wongwises., 2008).

2.3.3 Waktu Sonifikasi Dan Pengaruh Bentuk Partikel

Sonifikasi dilakukan untuk membantu mendispersikan nanopartikel dalam suatu fluida dengan sempurna selain itu proses sonifikasi dimaksudkan juga untuk memecah *agglomerate* yang terjadi dalam nanofluida dan membuat nanofluida menjadi lebih stabil (Gowda et all,). Dari penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti didapatkan bahwa sonifikasi (dengan pulse yang tinggi) menghasilkan peningkatan dalam konduktivitas termal. Namun waktu sonifikasi harus diperhatikan karena jika sonifikasi dilakukan terlalu lama akan mengakibatkan partikel menyatu kembali atau *agglomerate* dari partikel akan terbentuk kembali.(Bahrami,2006).

Selain diameter partikel atau ukuran partikel yang berpengaruh, bentuk dari partikel juga berpengaruh. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Murshed didapatkan bahwa partikel dengan bentuk lingkaran mempunyai konduktivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan partikel yang berbentuk silinder (Bahrami,2006).

2.3.4. Pengaruh Fluida Dasar Pada Konduktivitas Termal Nanofluida

Pemilihan fluida dasar yang digunakan untuk mendispersikan nanopartikel sangat penting karena jika tidak sesuai dengan nanopartikel yang digunakan maka akan mengakibatkan nilai konduktivitas yang tinggi tidak tercapai. Fluida dasar yang digunakan untuk mendispersikan nanopartikel selama ini adalah fluida konvensional seperti air, etilen glikol dan oli, namun dari ketiga fluida ini yang lebih sering digunakan adalah air dan etilen glikol. Nilai konduktivitas nanofluida alumina dengan etilen glikol sebagai fluida dasarnya memiliki nilai yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan nanofluida alumina dengan air sebagai fluida dasarnya, kemungkinan yang terjadi adalah pada saat berbentuk koloid nanofluida tersebut memiliki partikel kecil dalam jumlah yang banyak dan partikel-partikel tersebut akan menyatu satu dengan lainnya sesuai dengan gerak brown masing-masing partikel, partikel yang saling menyatu membentuk agregat dan akan sangat aktif. Kecepatan pembentukan agregat bergantung pada viskositas dari fluida dasar dan luas nanopartikel (Gowda ,dkk).

Tabel 1. Nilai Konduktivitas Termal Berbagai Jenis Nanopartikel Dengan Berbagai Jenis Fluida (Singh, 2008)

<i>Base fluid with conductivity</i>	<i>Nanopartikel, average diameter and concentration</i>	<i>Method used for syntesis</i>	Max, thermal conductivity ratio
Water 0.613	Al ₂ O ₃ , <50 nm, up to 4.3 vol %	2-step	1.08
Water 0.613	CuO, <50 nm, up to 3.4 vol %	2-step	1.10
Water 0.613	C-MWNT 50 nm, 5 μ m, 3 μ m, 0.6 vol %	2-step	1.38
EG 0.252	Fe, <10 nm, 6.0 vol %	2-step	1.18
Water 0.613	TiO ₂ 15 nm, <5.0 vol %	2-step	1.30
Water 0.613	Cu, 18 nm, up to 5.0 vol %	1-step	1.60
Thiolate	Au, 10-20 nm, 0.1 vol %	2-step	1.09
Cirate	Ag, 6-80 nm, 0.1 vol %	2-step	1.85
α -olephin	CNT, 25x50000 nm, 1.0 vol %	2-step	2.50
EG 0.252	Al ₂ O ₃ , <50 nm, up to 5.0 vol %	2-step	1.18
EG 0.252	CuO, 35 nm, up to 4 vol %	2-step	1.21
EG 0.252	Cu, 10 nm, up to 0.5 vol %	1-step	1.41
Oil (trans) 0.145	Cu, up to 100 nm, up to 7.6 vol %	2-step	1.43
Water 0.613	Cu, 75-100 nm, 1.0 vol %	1-step	1.23

2.4. Preparasi Nanofluida

Preparasi nanofluida dilakukan dengan cara mencampurkan partikel berukuran nano dengan suatu fluida. Sejak saat itu terdapat peningkatan yang sangat cepat dalam teknik sintesis nanofluida. Studi-studi yang berbeda untuk preparasi nanofluida menggunakan berbagai macam pendekatan.

Terdapat dua metode dasar untuk preparasi nanofluida, yaitu :

- a) *Two-step process*, yaitu nanopartikel pertama-tama dibuat dalam bentuk serbuk kering (*dry powder*), kemudian didispersi kedalam fluida. Selanjutnya digunakan ultrasonik untuk mengintensifkan pendispersian partikel (Wang,dkk.2008).
- b) Pendekatan secara kimia menggunakan teknologi basah atau pendekatan *single-step*. Hal ini menampilkan metode yang baik untuk pertumbuhan struktur nano pada berbagai macam logam, semikonduktor, non logam, dan sistem hibrid. Keuntungan yang ditawarkan oleh *nanochemistry* adalah bahwa fungsi permukaan nanopartikel logam atau semikonduktor nonlogam, menyebar pada variasi yang sangat beragam seperti air dapat dipreparasi dengan pengontrolan yang teliti untuk memproduksi monodispersi struktur nano. Lebih lanjut lagi, nanofluida yang dibuat dengan menggunakan metode ini menunjukkan penambahan konduktivitas yang lebih besar daripada menggunakan metode two-step. Lagipula, fluida dasar mengandung ion-ion lain dan produk reaksi yang sulit atau tidak mungkin dipisahkan dari fluida. Dengan menggunakan kedua pendekatan tersebut, partikel berukuran nano diproduksi dari proses yang melibatkan reaksi reduksi atau penukar ion. (Wang,dkk.2008; Bahrami,dkk.2006)

Berbagai macam metode baru yang digunakan untuk sintesis nanofluida, diantaranya adalah;

- a. Ablasi laser (*single-step*) adalah metode lain dalam preparasi nanofluida yang banyak dicoba. Secara simultan membuat dan menyebar partikel berukuran nano secara langsung pada fluida dasar. Variasi nanofluida telah dipreparasi dengan menggunakan metode ablasi laser. Dengan mengablasi padatan logam, semikonduktor dan lain-lain yang dicelupkan kedalam fluida dasar (air, oli pelumas, dll). Dengan membuat nanofluida seperti ini, nanofluida stabil dihasilkan tanpa menggunakan perubahan sifat pendispersi yang lain.
- b. Sintesis nanofluida berdasarkan irradiasi microwave, metode yang sangat cepat untuk melakukan sintesis nanofluida.
- c. SANSS (*Submerged arc nanofluids synthesis system*).

2.5. Model Teoritis Konduktivitas Termal Nanofluida

Peningkatan konduktivitas termal tergantung pada bahan nanopartikel, ukuran dan konsentrasi. Peningkatan pada konduktivitas termal berada diluar prediksi model Maxwell klasik. Survei literatur menunjukkan bahwa terdapat jumlah model yang banyak untuk menentukan konduktivitas termal nanofluida. Model yang ada dapat dikategorikan ke dalam dua bagian umum yaitu:

- Model statis yang mengasumsikan nanopartikel tetap dalam fluida dasar yang konduktivitas termalnya diprediksi dengan konduksi didasarkan pada model seperti model Maxwell, Hamilton-Crosser dan lain-lain. Model ini menggunakan konduktivitas fasa pilihan dan fraksi volume.
- Model dinamis, berdasarkan pada gerakan acak nanopartikel dalam fluida (gerak Brown) yang memastikan untuk transportasi energi seluruh tumbukan antara nanopartikel atau konveksi cairan mikro, pencampuran yang menambah perpindahan energi panas. Beberapa model dasar digunakan untuk menentukan konduktivitas termal berdasarkan pada dua pendekatan di atas, yang ditunjukkan pada tabel 2. (Singh, 2008).

Tabel 2. Model termal konduktivitas dasar (Singh,2008)

Persamaan	Remarks
$\frac{K_{eff}}{K_m} = 1 + \frac{3(\alpha - 1)\phi}{(\alpha + 2) - (\alpha - 1)\phi}$	Model Maxwell
$\frac{k_{eff}}{k_f} = \left[\frac{k_p + (n-1)k_f - (n-1)\phi(k_f - k_p)}{k_p + (n-1)k_f + \phi(k_f - k_p)} \right]$	Model Hamilton-Crosser
$\frac{k_{eff}}{k_f} = \frac{k_p + 2k_f - 2\phi(k_f - k_p)}{k_p + 2k_f + \phi(k_f - k_p)}$	Model Wasp
$k_{eff} = \frac{1}{4}[(3\phi - 1)k_p + (2 - 3\phi)k_f] + \frac{k_f}{4}\sqrt{\Delta}$ $\Delta = [(3\phi - 1)^2(k_p / k_f)^2 + (2 - 3\phi)^2 + 2(2 + 9\phi - 9\phi^2)(k_p / k_f)]$	Model Bruggeman

Keterangan tabel 2 diatas adalah

1. K_{eff} adalah konduktivitas termal campuran fluida padatan, $\alpha = K_2/K_m$, K_m
2. $n = 3/\psi$ dan ψ adalah *sphericity*. Untuk partikel dengan bentuk bola dan silinder faktor ψ bernilai 1 dan 0.5.
3. ϕ adalah konsentrasi (% vol).
4. K_p adalah konduktivitas partikel.
2. h adalah koefisien perpindahan panas dan
3. δ_τ adalah ketebalan lapisan (Singh, 2008).

Koefisien perpindahan kalor meningkat diatas konduktivitas termal. Mekanisme yang mungkin dipertimbangkan untuk peningkatan ini adalah difusi nanopartikel dan lapisan batas tipis, dispersi dan penambahan turbulensi.

Konduktivitas termal rendah dari fluida proses menghalangi kerapatan yang tinggi dan keefektifan penukar kalor, walaupun berbagai teknik digunakan untuk meningkatkan perpindahan kalor. Peningkatan properti panas dari transmisi energi fluida menjadi salah satu cara untuk memperbesar perpindahan panas. Cara baru yang ditemukan untuk meningkatkan konduktivitas termal fluida adalah dengan mensuspensi partikel padatan berukuran kecil dalam fluida. Berbagai jenis serbuk seperti partikel logam, nonlogam dan partikel polimer dapat ditambahkan ke dalam fluida. Konduktivitas termal suatu fluida dengan partikel tersuspensi diperkirakan lebih besar daripada fluida biasa. Uji penggunaan nanofluida di industri telah dilakukan oleh Liu dkk (1988) dan Ahuja (1975), yang menyelidiki mengenai muatan volumetrik partikel, ukuran dan laju alir pada *pressure drop* lumpur dan perpindahan kalornya. Pada kasus konvensional, partikel tersuspensi mempunyai dimensi μm atau bahkan mm. Ukuran partikel yang besar dapat menimbulkan beberapa masalah, seperti abrasi dan penyumbatan (*clogging*).

Aplikasi nanofluida memberikan cara yang efektif untuk meningkatkan karakteristik perpindahan kalor fluida (Eastman dkk, 1997). Dibandingkan dengan partikel berukuran mikron, area permukaan pada serbuk fasa nano lebih besar dan memiliki potensi yang lebih besar untuk meningkatkan konduktivitas termal. Beberapa peneliti mencoba untuk mensuspensi partikel-partikel berukuran nano ke dalam fluida untuk membentuk perpindahan kalor fluida yang tinggi dan efektif. Beberapa hasil percobaan yang dilakukan oleh Eastman dkk (1997) menunjukkan bahwa peningkatan konduktivitas termal mendekati 60% dapat

diperoleh dari nanofluida yang terdiri atas air dan nanopartikel CuO 5% volume (Xuan and Li, 2000).

2.6. Metode Pengukuran Konduktivitas Termal Nanofluida

Untuk menghitung konduktivitas termal nanofluida digunakan dua metode yaitu metode kesetimbangan dan metode transien. Metode kesetimbangan secara teoritis sangat sederhana, tetapi melibatkan lebih dari sekedar teknik pengerjaan yang sangat teliti, termasuk pengawasan termal untuk mengurangi sisi aliran panas dan sistem kontrol elektronik untuk memungkinkan kondisi yang stabil selama dilakukannya pengetesan. Sedangkan metode transien memberikan penghitungan cepat dan mengurangi perpindahan kalor yang tidak diinginkan. Kebanyakan perhitungan sifat termal fluida telah menggunakan metode transien pada perhitungannya. Penghitungan difusivitas termal dan konduktivitas termal didasarkan pada persamaan energi untuk konduksi. Konduktivitas termal nanofluida telah dihitung menggunakan metode transien kawat-panas (*hot-wire method*). Bentuk modifikasi dari metode kawat panas (*hot-wire method*) ditunjukkan dengan metode pemeriksaan panas secara singkat yang telah digunakan oleh peneliti untuk menghitung konduktivitas termal nanofluida. Metode tersebut telah digunakan untuk konduktivitas termal dan difusivitas termal dari Au/toluene, Al₂O₃/H₂O, karbon non fiber/H₂O, dan ZrO₂/H₂O, TiO₂/H₂O dan CuO/H₂O (Wang,dkk,2008).

2.6.1. Pengukuran Efektifitas Konduktivitas Termal

Konduktivitas termal diukur menggunakan alat KD2 *thermal property meter*, pengukuran didasarkan pada metode *transient hot wire*. KD2 terdiri dari jarum dengan panjang 60 mm dan diameternya sebesar 0.9 mm, yang terhubung dengan element panas dan *thermo-resistor*. Element panas dan thermo-resistor juga terhubung dengan mikroprosesor yang berfungsi untuk mengontrol pengukuran. Sebelum digunakan alat KD2 dikalibrasi terlebih dahulu dengan air distilasi. Kesalahan alat KD2 sebesar $\pm 3\%$ (Chen, dkk.2007). Pengukuran dilakukan dengan menggunakan gelas piala berdiameter kecil dan bervolume 100 mL, data pengukuran konduktivitas nanofluida dengan berbagai nanopartikel dan fluida dasar serta preparasi yang berbeda dapat dilihat pada tabel 1 di atas

2.6.2. Perhitungan Sifat Fisik Nanofluida

Perhitungan nanofluida dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut :

- Fraksi volume ,

$$v = \frac{V_s}{V_t} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$m_s = 1.10^{-3}.v.\rho_s \dots\dots\dots (2.5)$$

- Densitas nanofluida dalam suspensi :

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \dots\dots\dots (2.6)$$

- Perhitungan viskositas nanofluida :

$$\mu_{nf} = \mu_w.(1 + 2.5\phi) \dots\dots\dots (2.7)$$

$$Cp_{nf} = \frac{\phi(\rho_p.Cp_p) + (1 - \phi)(\rho_w.Cp_w)}{\rho_{nf}} \dots\dots\dots (2.8)$$

- Penentuan konduktivitas termal nanofluida

$$K_{nf} = \left[\frac{K_p + 2K_w + 2(K_p - K_w)(1 + \beta)^3 \phi}{K_p + 2K_w - (K_p - K_w)(1 + \beta)^3 \phi} \right] K_w \dots\dots\dots (2.9)$$

(Weerapun dan Somchai, 2007)

Dimana :

- cp_{nf} = kapasitas panas nanofluida
- cp_p = kapasitas panas partikel
- Re_{nf} = reynolds number nanofluida
- Pr_{nf} = prandlt number nanofluida
- ρ_p = densitas partikel
- ρ_w = densitas air
- μ_w = viskositas air
- μ_{nf} = viskositas nanofluida
- ρ_{nf} = densitas nanofluida
- φ = fraksi volume
- k_{nf} = konduktivitas termal nanofluida

k_w	=	konduktivitas termal air
k_p	=	konduktivitas partikel
μ_m	=	viskositas rata-rata

2.7. Aplikasi nanofluida

Konduktivitas termal yang sangat tinggi dan stabilitas yang tinggi selalu diinginkan untuk perpindahan kalor fluida melalui partikel. Teknologi nanofluida dapat membuat proses mejadi lebih efisien dalam penggunaan energi dan biaya. Nanofluida ini dapat digunakan dalam daerah yang luas dalam aplikasi industri, permintaan untuk pendingin dengan kemampuan tinggi dalam industri elektronik meningkat. Nanopartikel mempunyai ukuran yang relatif lebih kecil dari suatu *microchannel* sehingga, nanofluida adalah solusi yang tepat sebagai fluida yang digunakan dalam *microchannel*, karena nanofluida dapat mengalir pada *microchannel* tanpa mengalami penyumbatan. (Das,dkk,2006)

Fluida dalam mesin pendingin (etilen glikol/campuran air), fluida transmisi otomatis, dan fluida perpindahan panas sintetik lainnya umumnya memiliki kapabilitas perpindahan panas yang kecil, hal itu menguntungkan untuk konduktivitas termal yang tinggi yang ditawarkan oleh nanofluida. Nanofluida dapat digunakan sebagai fluida pendingin logam kerja untuk alat pengecil ukuran dan komponen pembersih. Nanofluida juga meningkatkan kapabilitas perpindahan panas dari industri umum dan sistem refrigerasi. Banyak konsep inovasi yang dipertimbangkan, salah satunya pompa pendingin dari satu lokasi, dimana unit refrigerasi dimasukan kelokasi lain. Aplikasi potensial yang lain termasuk pendingin reaktor cahaya air, sistem keamanan cadangan, kolam penyimpanan bahan bakar dan lain-lain.

Nanofluida juga bisa didisain untuk keperluan selain industri perpindahan panas. Sebagai contoh, lapangan biomedis nanopartikel mendispersi ke dalam darah, yang menunjukkan kanker atau tumor, selanjutnya menggun medan magnetik yang memindahkan energi ke partikel untuk menghancurkan tumor tanpa memanaskan darah secara signifikan atau merusak kesehatan. Target berikutnya adalah pengiriman lokal obat-obatan atau radiasi yang seharusnya juga bisa memungkinkan penggunaan nanopartikel dalam aliran darah. (Pollitt, 2009; Wang,dkk.2008)

2.8. TiO₂ Secara Umum

Titanium dioksida juga dikenal sebagai titanium (IV) atau titania, di alam biasanya tersedia dalam bentuk oksida dari titanium dengan rumus TiO₂. Titanium dioksida di alam diketahui terbentuk mineral *rutile, anatase dan brookite*. Titanium dioksida bisa ditemukan dalam produk-produk untuk kulit dan wajah.

Titanium digunakan sebagai nanofluida karena sifatnya yang tidak berbahaya bagi manusia dan binatang, selain itu titanium digunakan karena sifatnya yang stabil dan mudah ditemukan karena diproduksi dalam skala yang besar dalam industri. Titanium juga digunakan karena memiliki konduktivitas termal yang tinggi hal ini bisa dilihat pada tabel 2 (wikipedia).

Titanium juga digunakan sebagai nanotube yang mempunyai fungsi dan kegunaan yang sama seperti nanofluida yaitu untuk mendapatkan konduktivitas termal yang tinggi.

Dalam setiap pelindung matahari (sunscreen), titanium dioksida ditemukan karena TiO₂ mempunyai indeks bias yang tinggi, penyerap sinar UV yang kuat. Selain untuk semua hal diatas, TiO₂ juga digunakan sebagai nanokristal untuk pengolahan limbah, fotokatalis dan element untuk sirkuit elektronik.

Tabel.3. Sifat fisik dan kimia dari TiO₂.(wikipedia)

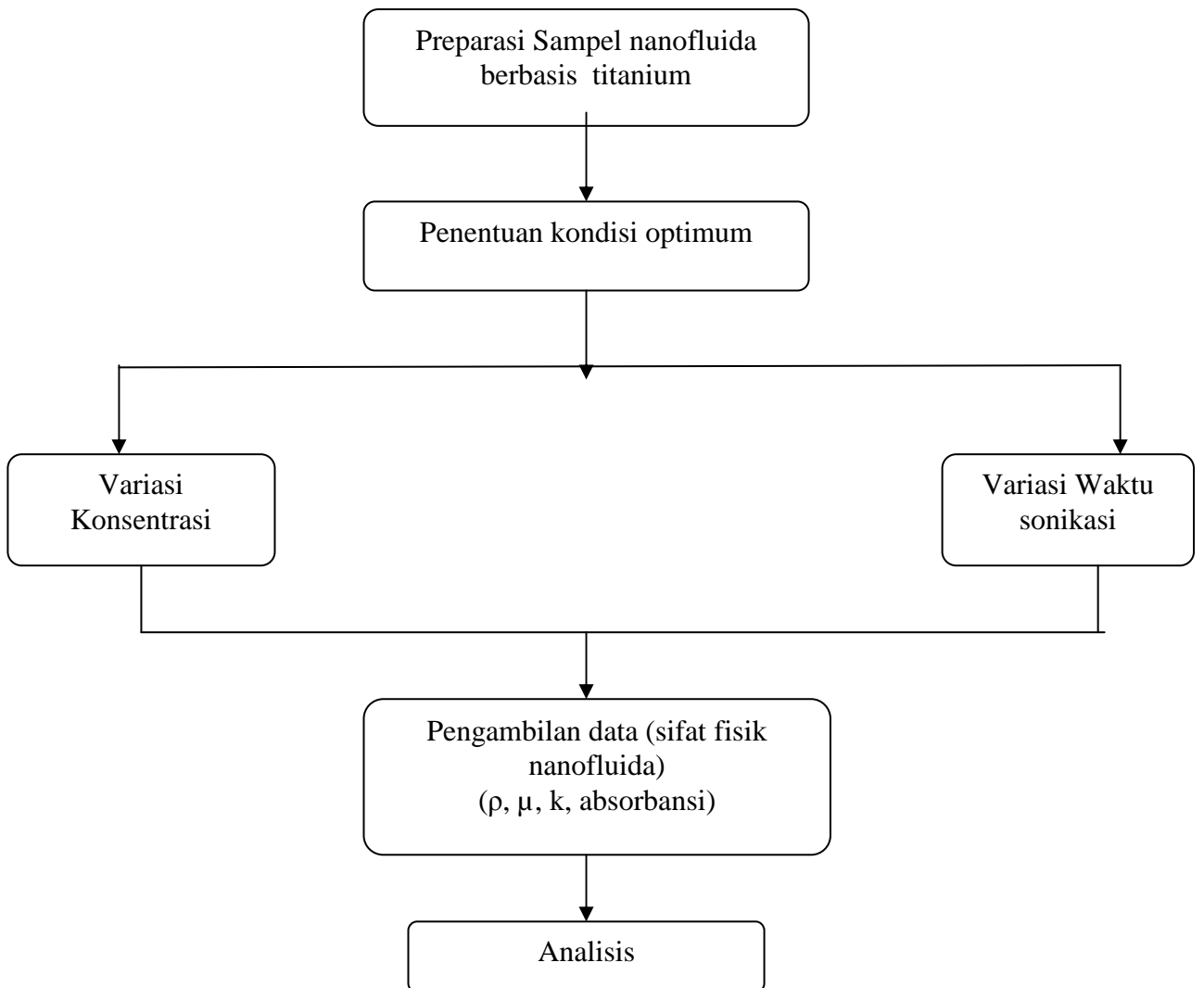
<i>Sifat</i>	Nilai
Densitas	4 gcm ⁻³
porositas	0%
Kekuatan kompresi	680 Mpa
Tingkat racun	0,27
Expansi termal (RT-1000°C)	9 .10 ⁻⁶
Konduktivitas termal	11,7 WmK ⁻¹
Modulus elastisitas	230 GPa

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pengerjaan rekayasa nanofluida dengan titanium dioksida sebagai nanopartikel dan aquades sebagai fluida dasarnya, dapat dilihat pada gambar 3.1 di bawah ini :



Gambar 3.1. diagram alir penelitian

Pengerjaan rekayasa nanofluida dilakukan dengan menyiapkan sampel nanofluida terlebih dahulu setelah itu, dilakukan penentuan kondisi optimum dengan data yang diambil adalah viskositas, densitas, konduktivitas termal dan absorbansi. Pengukuran absorbansi ditunjukkan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan oleh suatu nanofluida hingga mengendap. Setelah data diperoleh maka, data dapat dianalisis dan diolah.

3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- TiO_2 Degussa P-25 ukuran partikel 21 nm
- Aquades

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- Gelas Beaker 100 ml 10 buah
- Alat ultrasonik
- Pengaduk
- Timbangan analitik dan cawan porselein
- UV-Vis
- Piknometer (volume = 10 mL)
- Stopwatch
- Alat oswald
- Alat KD2 (untuk mengukur konduktivitas termal)



Gambar 3.2. Alat piknometer



Gambar 3.3. Ultrasonik

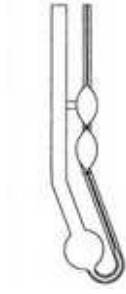
Alat ultrasonik yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis UP-800 Ultrasonic Processor.

Spesifikasi:

- Tipe : UP-800
- Daya : 800 watt
- Volume : 800 ml
- Keluaran amplitudo : 1%~99%



Gambar.3.4.Alat Stirer



Gambar 3.5. Alat Oswald



Gambar 3.6. alat KD2

Spesifikasi untuk alat KD2 *Thermal Properties Analyzer* :

1. Kecepatan pengukuran : 1,5 menit
2. Akurasi : Konduktivitas termal/hambatan termal 5%
3. Daya : 3,0 V CR2-tipe baterai Lithium-ion
4. Berat : 148 gr
5. Lingkungan operasi : -20 – 60oC
6. Jarak Pengukuran :
 - K (konduktivitas termal): 0,02-2 W/mC
 - R (hambatan termal): 0,5-50 mC/W
7. Sensor:
 - Panjang jarum : 60 mm
 - Diameter jarum : 1,28 mm
 - Panjang kabel : 72 cm



Gambar 3.7. Alat UV-vis

3.3. Prosedur Percobaan

3.3.1. Prosedur Percobaan Pengaruh Konsentrasi Terhadap Konduktivitas Termal Nanofluida TiO_2

- Nanopartikel TiO_2 dengan diameter 21 nm didispersikan dalam air (aquades) dengan konsentrasi yang berbeda-beda (0, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6 dan 8 % vol), dengan volume 100 mL.
- Nanofluida diaduk menggunakan *magnetic stirrer* hal ini dilakukan untuk memudahkan dispersi nanopartikel dalam fluida dasar, pengadukan dilakukan selama ± 5 menit .
- Kemudian nanofluida disonifikasi dengan menggunakan alat ultrasonik waktu sonifikasi untuk percobaan pengaruh konsentrasi terhadap nilai konduktivitas nanofluida adalah selama 10 menit untuk setiap variasi konsentrasi larutan, proses sonifikasi ini dilakukan dengan tujuan agar agregasi partikel nano dalam fluida dapat diminimalisasi.
- Setelah disonifikasi nanofluida didiamkan beberapa saat sampai suhunya sama dengan sama dengan suhu pada saat konduktivitas termal aquades tanpa nanopartikel diukur. Hal ini dilakukan karena pada saat proses sonifikasi berlangsung menghasilkan panas dan mengakibatkan temperatur atau suhu nanofluida menjadi naik, suhu sangat mempengaruhi konduktivitas nanofluida untuk itu diperlukan suhu yang stabil atau sama untuk setiap pengambilan data konduktivitas dan dalam penelitian ini suhu yang digunakan selama

pengukuran adalah suhu ruang atau sekitar 27 °C. Selain suhu yang harus diperhatikan pada saat proses sonifikasi adalah ukuran dari gelas piala yang digunakan, gelas piala yang digunakan harus berdiameter kecil karena akan mempengaruhi pendispersian partikel saat sonifikasi berlangsung yang akan berdampak pada kestabilan dan nilai konduktivitas termal nanofluida dimana nanofluida akan semakin cepat membentuk sedimen.

- Konduktivitas termal dari nanofluida TiO₂ diukur menggunakan alat KD2. sensor KD2 berupa jarum dicelupkan ke dalam nanofluida sampai menyentuh dasar piala gelas, pengukuran dengan menggunakan KD2 juga harus menggunakan gelas piala dengan diameter yang kecil dan tinggi dari gelas piala tersebut harus sama dengan panjang jarum pada alat KD2 karena akan mempengaruhi nilai konduktivitas nanofluida. Nilai konduktivitas termal nanofluida tidak stabil jika menggunakan gelas piala dengan diameter yang besar dan nilai konduktivitas termal yang diperoleh lebih kecil dibandingkan dengan nilai konduktivitas yang diukur dengan menggunakan gelas piala yang berdiameter kecil.
- Densitas dan viskositas nanofluida diukur.
- Kemudian nanofluida diukur absoransinya menggunakan UV-Vis dengan panjang gelombang 240 nm.

3.3.2. Prosedur Percobaan Pengaruh Waktu Ultrasonik Terhadap Konduktivitas Nanofluida TiO₂

- Nanopartikel TiO₂ didispersikan ke dalam aquades dengan volume aquades sebesar 100 mL. Untuk percobaan pengaruh waktu ultrasonik ini konsentrasi yang digunakan adalah 5 % vol.
- Setelah itu nanofluida TiO₂ diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 5 menit.
- Nanofluida disonifikasi dengan variasi waktu ultrasonik 5, 10, 15 dan 30 menit.
- Kemudian diukur densitas, viskositas dan konduktivitas nanofluida.

- Nanofluida diukur absorbansinya dengan menggunakan alat spektro UV-Vis untuk mengetahui proses pengendapan yang terjadi pada nanofluida.

3.3.3. Prosedur Percobaan Pengukuran Densitas Nanofluida TiO₂

- Piknometer dicuci dan dikeringkan, setelah itu timbang pikno kosong catat berat pikno kosong. Penimbangan dilakukan dengan menggunakan alat timbang analitik.
- Nanofluida di masukan ke dalam pikno, kemudian ditimbang.
- Data densitas diperoleh dari selisih antara berat pikno yang telah berisi nanofluida dengan berat pikno kosong kemudian dibagi dengan volume larutan dalam pikno.

3.3.4. Prosedur Percobaan Pengukuran Viskositas Nanofluida TiO₂

- Nanofluida TiO₂ dituang ke dalam alat oswald untuk mengukur viskositasnya.
- Nanofluida dihisap dengan menggunakan bulb sampai pada batas gari atas.
- Waktu yang diperlukan oleh nanofluida untuk mengalir dari batas atas ke batas bawah diukur dengan menggunakan *stopwatch*.
- Nilai viskositas diperoleh dengan mengalikan waktu nanofluida dalam alat oswald dengan koefisien viskositasnya.

3.4. Pengambilan dan Pengolahan Data

Data-data yang diambil dalam penelitian ini adalah:

- **Densitas** : Pengambilan data diperoleh dengan menimbang piknometer yang telah diisi dengan nanofluida TiO_2 , hasil penimbangan merupakan nilai massa yang akan dibagi dengan volume dari piknometer, sehingga nilai densitas didapatkan (lihat persamaan (3.1)).
- **Viskositas** : Nanofluida dimasukkan kedalam alat oswald, kemudian dengan menggunakan stopwatch dapat diperoleh waktu yang dibutuhkan nanofluida untuk mengalir dari satu titik ke titik yang lain. Data waktu yang diperoleh dapat diolah dengan menggunakan persamaan (3.2).
- **Konduktivitas termal** : data diperoleh dari alat KD2, dengan mencelupkan alat KD2 ke dalam nanofluida, dan secara otomatis pada alat akan terbaca konduktivitasnya.
- **Absorbansi** : Untuk pengambilan data absorbansi digunakan alat UV-vis, dengan panjang gelombang 240 nm.

- **Pengolahan Data**

- **Perhitungan densitas**

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (3.1)$$

- **Perhitungan viskositas**

$$\mu = C.t \dots\dots\dots (3.2)$$

- **Pengukuran konduktivitas termal :**

Untuk nilai konduktivitas termal nanofluida diperoleh dari alat KD2.

- **Pengukuran absorbansi :**

absorbansi yang diperoleh diplot ke dalam grafik (absorbansi Vs waktu (hari)), sehingga pada saat grafik mengalami penurunan maka, dapat diambil kesimpulan bahwa pada titik itulah nanofluida TiO_2 mengendap dengan sempurna.

Dimana :

μ = viskositas (Cst)

ρ	=	densitas (g/mL)
t	=	waktu (sekon)
m	=	massa (g)
v	=	volume (mL)
C	=	Konstanta Viskositas

3.5. Variabel Penelitian

- a). Variabel Bebas : Konsentrasi nanofluida, waktu sonikasi, absorbansi
- b). Variabel Terikat : Konduktivitas termal

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

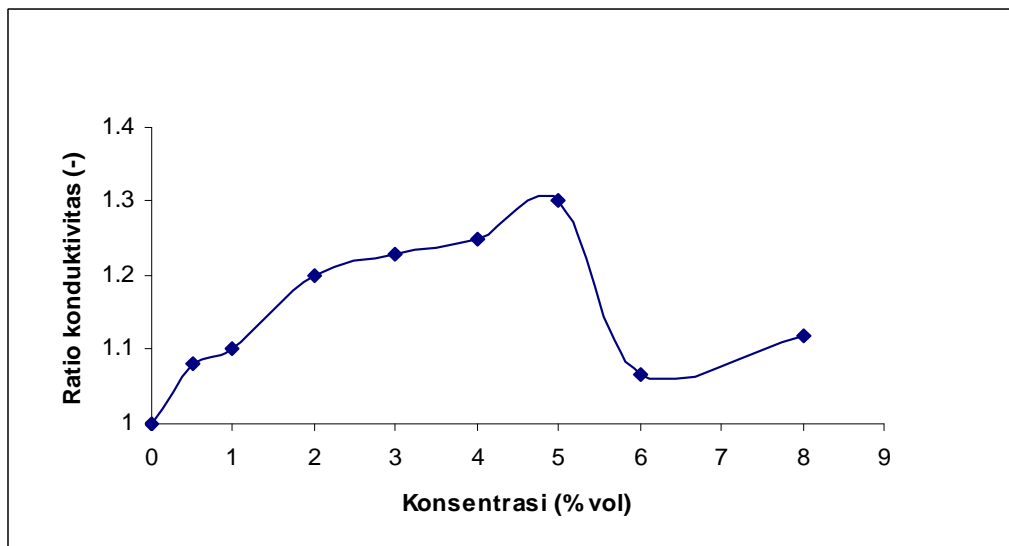
Rekayasa nanofluida TiO_2 untuk aplikasi media pendingin pada sistem penukar kalor dilakukan untuk mendapatkan nilai konduktivitas termal yang tinggi (optimum) dari suatu media pendingin, karena selama ini media pendingin yang digunakan seperti air, etilen glikol dan oli, masih belum bisa memberikan hasil yang baik. Nanofluida adalah media pendingin yang sedang dikembangkan beberapa tahun ini, beberapa penelitian sebelumnya mengatakan bahwa hasil konduktivitas suatu nanofluida lebih tinggi jika dibandingkan dengan media pendingin konvensional (air, etilen glikol dan oli). Nanofluida adalah campuran antara partikel dengan ukuran nano yang ditambahkan ke dalam suatu fluida. Nanopartikel yang digunakan dalam penelitian ini adalah TiO_2 dengan diameter partikel berukuran 21 nm.

Metode dua tahap digunakan untuk mempersiapkan nanofluida dalam penelitian ini. Dalam metode dua tahap nanofluida didispersikan ke dalam suatu fluida dan setelah itu, menggunakan alat ultrasonik untuk mengoptimalkan pendispersian partikel dan untuk mengurangi *agglomeration* dari partikel. Dalam penelitian ini juga divariasikan waktu untuk sonikasi dan konsentrasi nanofluida TiO_2 untuk mendapatkan konduktivitas termal yang baik.

4.1. Pengaruh Konsentrasi Terhadap Nilai Konduktivitas Termal Nanofluida

Pada gambar 4.1. disajikan pengaruh ratio konduktivitas termal nanofluida TiO_2 -air terhadap konsentrasi. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa ratio konduktivitas termal nanofluida naik pada rentang konsentrasi 0,5 % vol sampai 5 % vol, dari grafik juga dapat dilihat kondisi optimum dari nanofluida TiO_2 adalah pada konsentrasi 5 % dengan nilai konduktivitas $0,78 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ dan ratio konduktivitas termalnya sebesar 1,3. Hasil pada rentang konsentrasi 0 sampai 5 % vol sesuai dengan teori dari beberapa peneliti sebelumnya yaitu konduktivitas termal suatu nanofluida akan naik atau meningkat dengan bertambahnya konsentrasi.

Dari hasil penelitian diperoleh grafik sebagai berikut :



Gambar 4.1. Grafik Hubungan Ratio Konduktivitas Terhadap Konsentrasi.

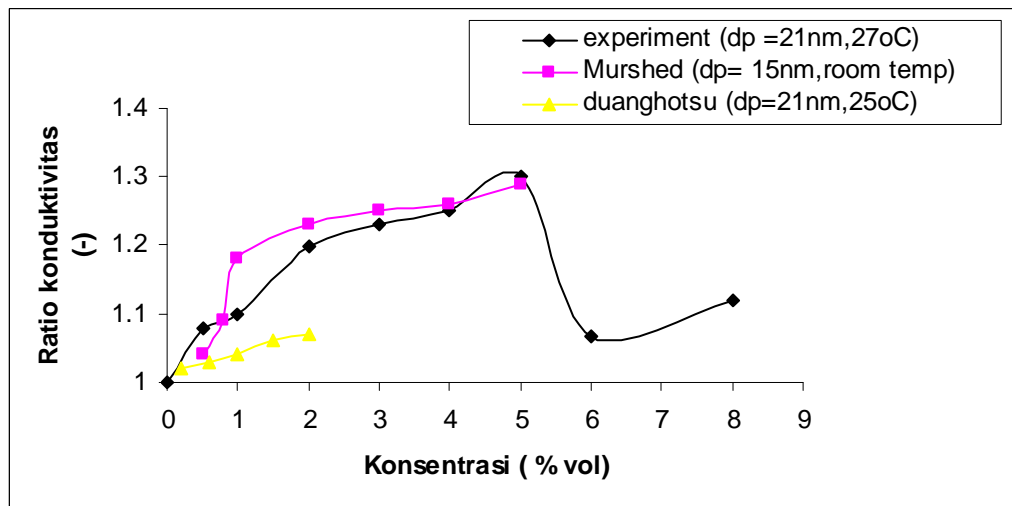
Pada tabel 1 (bab 2), dapat dilihat bahwa hasil dari penelitian ini sesuai dengan data yang disampaikan oleh Singh (2008). Setelah konsentrasi 5 % yaitu 6% dan 8 % terjadi penurunan nilai konduktivitas penurunan ini bisa disebabkan oleh nanopartikel yang digunakan semakin banyak dengan bertambahnya konsentrasi sehingga agregat yang terbentuk selama proses pencampuran tidak mampu dipecah oleh alat ultrasonik selama sonikasi berlangsung, sehingga menyebabkan nilai konduktivitas termalnya menurun. Walaupun agregasi nanofluida besar, nanofluida tetap stabil selama sekitar satu bulan untuk tidak terbentuk sedimen.

Dari gambar 4.1 juga dapat dilihat bahwa konduktivitas nanofluida lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai konduktivitas termal fluida dasarnya. Hal ini membuktikan bahwa penambahan nanopartikel ke dalam suatu fluida dasar sangat efisien, karena dapat meningkatkan nilai konduktivitas termal. (Duangthongsuk, 2009). Hasil penelitian dari beberapa peneliti diketahui bahwa konduktivitas naik dengan naiknya konsentrasi, hal ini bisa terjadi karena adanya penambahan luas permukaan dan kapasitas kalor dari fluida yang menyebabkan meningkatnya nilai konduktivitas termal nanofluida (Duangthongsuk, 2009).

Adanya gerak Brown atau lebih dikenal dengan *Brownian motion* dalam nanofluida mempunyai pengaruh terhadap peningkatan konduktivitas termal

nanofluida. Menigkatnya nilai konduktivitas nanofluida karena adanya *microconvection* yang disebabkan oleh gerak Brown dari nanopartikel (Prasher, 2006). Kecepatan gerak brown untuk membentuk agregat sangat tergantung pada spesifikasi partikel dan kecepatan terbentuknya agregat bergantung pada fluida yang digunakan. Oleh karena itu fluida dasar yang digunakan harus diperhatikan untuk mendapatkan nilai konduktivitas yang tinggi (Gowda, dkk). Selain gerak brown pengaruh konveksi dalam nanofluida bisa meningkatkan nilai konduktivitas termal nanofluida (Ding, dkk, 2007).

4.2. Perbandingan Nilai Konduktivitas Hasil Penelitian Sebelumnya Dibandingkan Dengan Hasil Percobaan Yang Dilakukan



Gambar 4.2. Grafik Perbandingan Ratio Konduktivitas Hasil Penelitian Berbagai Peneliti Dibandingkan Dengan Hasil Percobaan Yang Dilakukan.

Pada gambar 4.2 diperlihatkan grafik perbandingan hasil pengukuran konduktivitas termal nanofluida dari beberapa peneliti sebelumnya terhadap percobaan yang dilakukan. Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa hasil penelitian ini mempunyai nilai konduktivitas termal yang tinggi jika dibandingkan dengan hasil penelitian dari Duangthongsuk (2009), tetapi jika dibandingkan dengan hasil penelitian dari Murshed (2005) hasil penelitian ini masih berada di bawah hasil penelitian Murshed. Perbedaan hasil penelitian ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor seperti perbedaan diameter partikel, suhu atau temperatur pada saat mengukur konduktivitaas nanofluida, preparasi nanofluida, n

digunakan berasal dari perusahaan yang berbeda, adanya penambahan surfaktan pada nanofluida, bahkan perbedaan dalam teknik pengukuran. Selain beberapa hal di atas ternyata pH juga berpengaruh pada konduktivitas suatu nanofluida yaitu semakin kecil nilai pH (asam) yang dimiliki oleh suatu nanofluida semakin besar nilai konduktivitasnya dan sebaliknya jika pH nya semakin tinggi (basa) maka nilai konduktivitas termalnya akan semakin kecil karena agregasi yang terbentuk semakin kecil dan proses dispersi nanopartikel dalam fluida menjadi meningkat (Gowda,R., dkk).

Penelitian Murshed (2005) menggunakan nanopartikel dengan diameter partikel sebesar 15 nm, membuktikan bahwa bahwa semakin kecil partikel semakin besar nilai konduktivitasnya (sub bab 2.4.2). Selain itu penelitian yang dilakukan oleh Murshed (2005) ditambahkan surfaktan ke dalam nanofluida dengan tujuan untuk menjaga kestabilan dari nanofluida tanpa merubah sifat-sifat dari nanofluida tersebut, surfaktan yang digunakan adalah CTAB (*cetyl-trimethyl-ammonium-bromide*). pH nanofluida dalam penelitian yang dilakukan oleh murshed sebesar 6,2-6,8 dengan waktu sonifikasi selama 8-10 jam dan pengukuran konduktivitas dilakukan pada suhu ruang (Murshed *et al.*, 2005).

Penelitian yang dilakukan oleh Duangthongsuk (2009) menggunakan nanopartikel dengan diameter sebesar 21 nm, dengan variasi konsentrasi 0,2; 0,6; 1,0; 1,5; 2,0 % vol, nilai pH berkisar 6,5; 6,8; 7,0; 7,1; 7,5 pengukuran nilai konduktivitas dilakukan pada suhu 25 °C dan waktu sonifikasi selama 2 jam. Penelitian yang dilakukan oleh duangthongsuk dan Murshed menggunakan fluida dasar air.

4.3. Pengaruh Variasi Waktu Ultrasonik Terhadap Nilai Konduktivitas Termal Nanofluida TiO₂

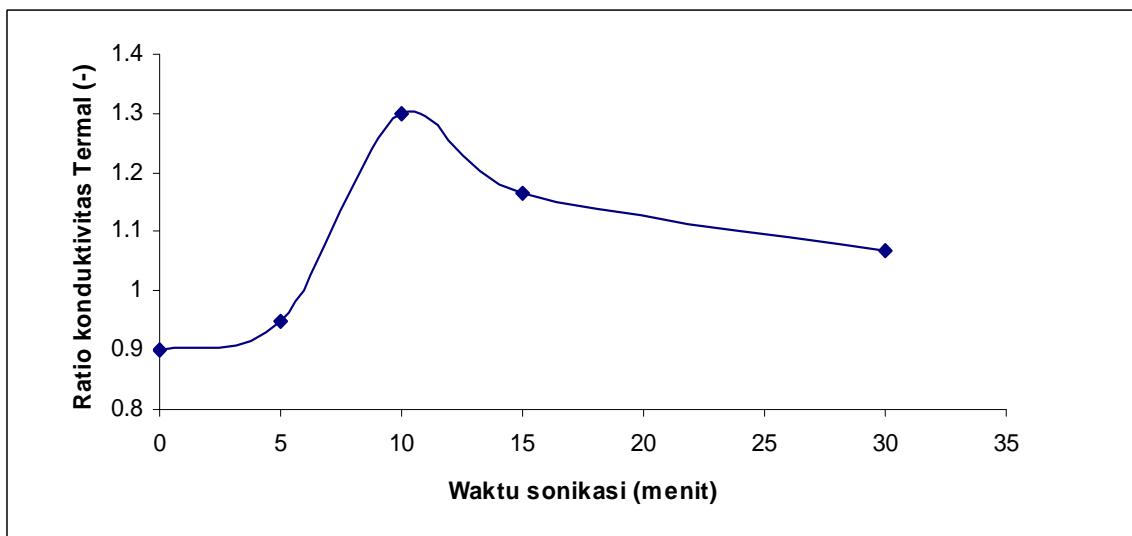
Pengerjaan variasi waktu ultrasonik sama dengan preparasi sampel nanofluida untuk mengukur konduktivitas hanya pada waktu sonikasi divariasikan dari 5, 10, 15 dan 30 menit. Untuk pengukuran konduktivitas nanofluida dilakukan sebelum nanofluida disonikasi dan setelah nanofluida disonikasi sehingga bisa dibandingkan hasilnya dan bisa dilihat ada tidaknya pengaruh waktu sonikasi terhadap nilai konduktivitas termal nanofluida.

Proses sonikasi dilakukan untuk memecah dan mencegah terjadinya gumpalan dari nanopartikel dalam fluida, gumpalan tersebut tidak diinginkan pada penelitian ini karena akan menghambat proses perpindahan kalor dalam system (Bahrami, 2006).

Hasil penelitian yang didapatkan seperti yang ditampilkan pada gambar 4.3 menunjukkan pengaruh waktu sonikasi terhadap konduktivitas termal nanofluida. Pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa pada saat $t = 0$ atau pada saat nanofluida belum disonikasi konduktivitasnya sangat rendah berada di bawah ratio konduktivitas air yaitu 1.00 sedangkan jika dibandingkan dengan nanofluida yang telah disonikasi hasilnya jauh berbeda. Nanofluida yang telah disonikasi untuk semua variasi waktu mempunyai nilai konduktivitas di atas nanofluida pada $t = 0$. Perbedaan nilai konduktivitas dapat dilihat juga pada variasi waktu pada saat $t = 10$ ratio konduktivitas termalnya paling tinggi dengan nilai 1,3 dan ratio konduktivitas yang paling rendah adalah pada saat $t = 5$ menit dengan nilai 0,90, hal ini bisa terjadi karena waktu sonikasi yang dibutuhkan oleh nanofluida untuk memecah aglomerasi dalam larutan terlalu cepat dan pendispersian nanopartikel dalam fluida tidak sempurna sehingga nilai konduktivitasnya menjadi kecil. Seperti yang diperlihatkan pada gambar 4.3 terjadi penurunan nilai konduktivitas dari variasi waktu 10 menit ke variasi waktu 15 dan 30 menit hal ini bisa saja terjadi karena semakin lama nanofluida disonikasi akan mengakibatkan partikel bersatu lagi (Bahrami, 2006).

Pada saat penelitian dilakukan pada variasi waktu sonikasi selama 30 menit jumlah volume nanofluida berkurang sebanyak ± 10 mL setelah dilakukan sonifikasi. Hal ini bisa terjadi karena temperatur yang dihasilkan selama proses ultrasonic meningkat sehingga menyebabkan sebagian larutan teruapkan (data temperatur dapat dilihat pada lampiran 2) .

Dari hasil penelitian yang dilakukan didapatkan pula bahwa waktu sonikasi yang optimal adalah selama 10 menit dengan alasan pada waktu 10 menit pengukuran ratio konduktivitas sebelum dan sesudah sonikasi mengalami banyak peningkatan dari 0,9 menjadi 1,30 . Dari hasil penelitian diperoleh grafik berikut :

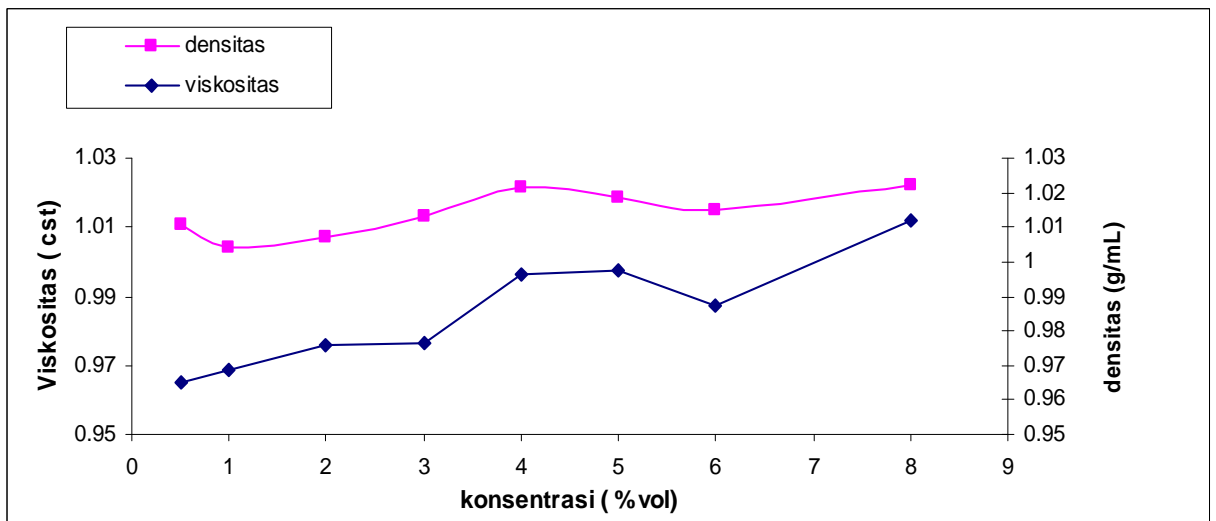


Gambar 4.3. Grafik Hubungan Konduktivitas Termal Terhadap Waktu Sonikasi

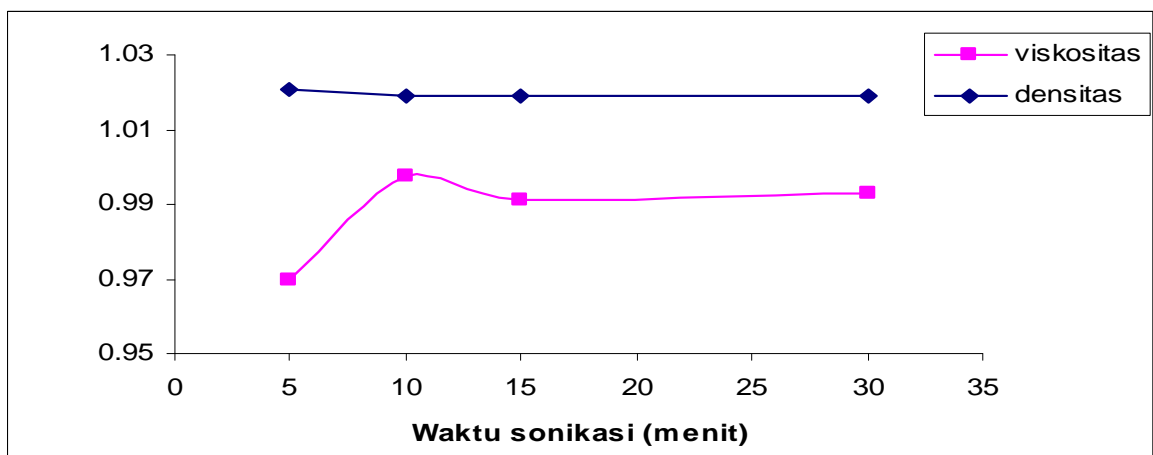
4.4. Pengaruh Variasi Konsentrasi Terhadap Viskositas, Absorbansi & Densitas Nanofluida TiO₂

Pengukuran Viskositas nanofluida dilakukan dengan menggunakan alat Oswald. Pada gambar 4.4 dapat dilihat pengaruh konsentrasi terhadap viskositas nanofluida. Hasil Penelitian menunjukkan pada konsentrasi 0,5 sampai 5 % vol, viskositas meningkat begitu juga dengan viskositas pada konsentrasi 8 % volume. Hal ini sesuai dengan pernyataan beberapa peneliti yaitu nilai viskositas akan meningkat dengan bertambahnya konsentrasi nanofluida namun pada konsentrasi 6 % vol viskositas menurun dari 0.997 menjadi 0,987 .

Dari hasil penelitian diperoleh grafik berikut :



Gambar 4.4. Grafik Hubungan Viskositas Dan Densitas Terhadap Konsentrasi.



Gambar 4.5. Grafik Hubungan Viskositas dan Densitas Terhadap Waktu Sonikasi

Pada gambar 4.4 dapat dilihat bahwa densitas relatif sama antara satu konsentrasi dengan konsentrasi yang lainnya, selain itu dapat dilihat bahwa densitas naik dengan naiknya konsentrasi. Dari percobaan ini bisa diambil kesimpulan bahwa nilai konsentrasi sangat mempengaruhi viskositas tetapi konsentrasi nanofluida tidak terlalu mempengaruhi densitas.

Pada gambar 4.5 dapat dilihat pengaruh variasi waktu terhadap nilai viskositas dan densitas nanofluida TiO_2 . Semakin lama sonikasi berlangsung nilai viskositas semakin menurun, menurunnya nilai viskositas bisa saja disebabkan konsentrasi nanofluida berubah dari 5 % vol menjadi konsentrasi di atas nilai tersebut. Proses

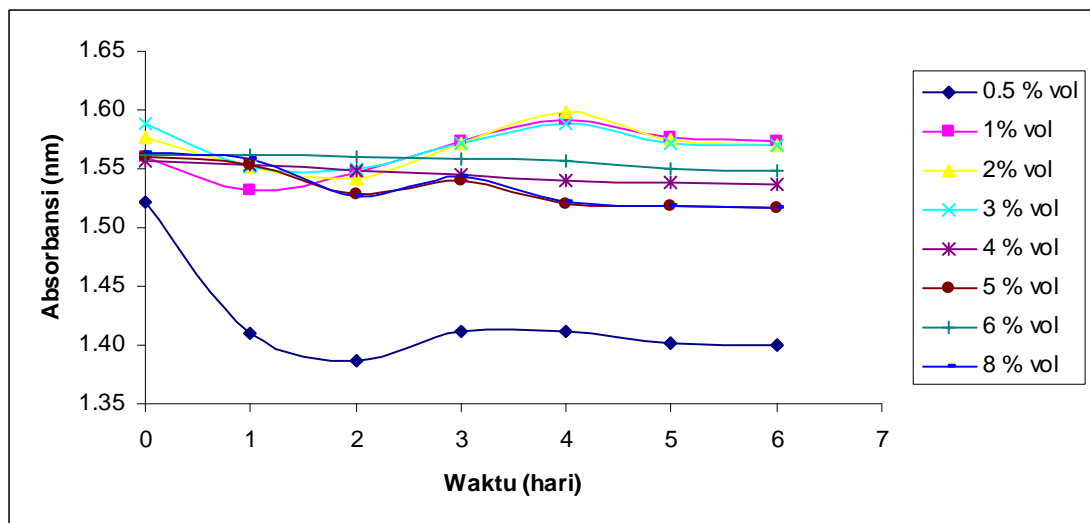
sonikasi yang lama menyebabkan suhu nanofluida menjadi besar sehingga nilai viskositas nanofluida menjadi menurun karena sebagian nanofluida teruapkan sehingga konsentrasi nanofluida mungkin tidak bernilai 5 % vol lagi.

Densitas nanofluida pada gambar 4.5 memiliki hasil yang tidak terlalu signifikan dengan viskositas perubahan densitas dari satu variasi waktu sonikasi dengan lainnya tidak terlalu signifikan.

Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh beberapa peneliti menyebutkan bahwa viskositas meningkat dengan bertambahnya konsentrasi suatu nanofluida. Selain itu juga fluida yang digunakan sebagai fluida dasar juga akan mempengaruhi nilai viskositas suatu nanofluida (Bahrami, 2006).

Selain mengukur konduktivitas dan menghitung viskositas serta densitas, dalam penelitian ini juga dilakukan pengukuran absorbansi nanofluida yang bertujuan untuk mendapatkan informasi mengenai waktu yang diperlukan oleh nanofluida untuk membentuk sediment, selain itu pengambilan data absorbansi dilakukan karena kemampuan untuk mengamati sediment dalam nanofluida tidak bisa dilakukan dengan mata karena larutan nanofluida berwarna putih dan keruh sehingga tidak bisa dengan jelas melihat sediment yang sudah atau belum terbentuk dalam nanofluida. Pengambilan data absorbansi menggunakan alat UV-Vis dan dilakukan untuk semua variasi konsentrasi dengan pengambilan data setiap 24 jam sekali.

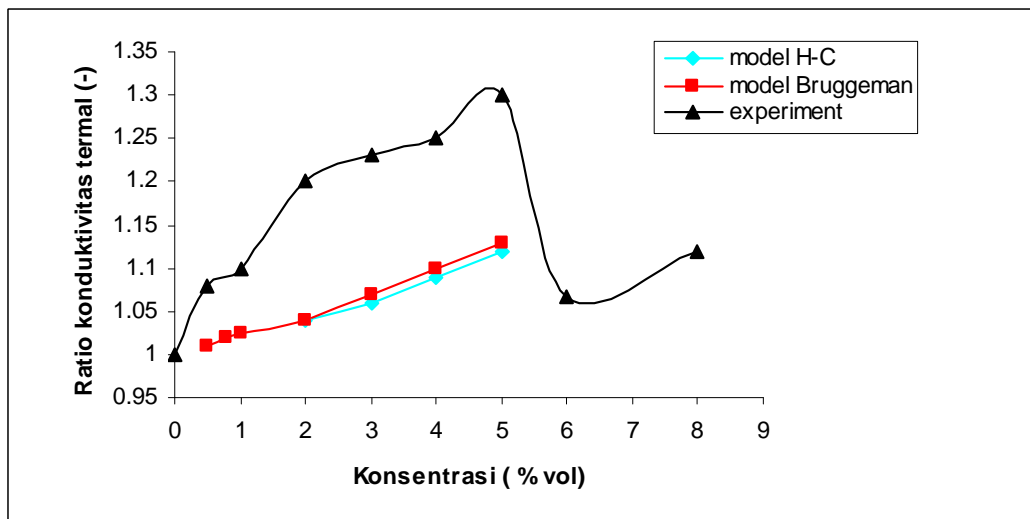
Dari penelitian diperoleh grafik berikut :



Gambar 4.6. Grafik Pengaruh Konsentrasi Terhadap Waktu Sedimentasi Nanofluida TiO₂

Dari data yang disajikan dalam gambar 4.6 diperoleh bahwa penurunan absorbansi dari hari ke hari tidak terlalu signifikan, sehingga waktu yang dibutuhkan oleh suatu nanofluida sampai terbentuk sedimen cukup lama dan terbentuknya sedimen tergantung pada konsentrasi masing-masing nanofluida. Dari hasil penelitian yang dilakukan didapat bahwa semakin tinggi konsentrasi nanofluida maka akan semakin lama proses sampai terbentuknya sedimen. Selain konsentrasi, pH juga mempengaruhi laju sedimentasi, yaitu semakin kecil pH semakin lama nanofluida bertahan untuk tidak membentuk sedimentasi, namun nilai pH harus diperhatikan karena jika pH-nya terlalu asam akan mengganggu kerja alat atau sistem pendingin. Sebaliknya jika pH terlalu basa maka proses terbentuknya sedimen akan terjadi dengan cepat, selain itu juga semakin besar pH maka akan semakin kecil nilai konduktivitas termal dan semakin kecil nilai pH maka nilai konduktivitas termalnya akan besar (Duangthosuk dan Wongwises, 2008).

4.5. Perbandingan Hasil Penelitian Dengan Model Teoritis



Gambar 4.7. Perbandingan Antara Hasil Experimen dan Model Teoritis Konduktivitas Termal.

Teori yang pasti untuk menentukan konduktivitas termal nanofluida belum tersedia, maka teori yang digunakan untuk menentukan konduktivitas termal adalah model klasik untuk model campuran antara padatan-larutan. Model Maxwell atau model Hamilton-Crosser digunakan untuk menentukan konduktivitas termal dari suspensi dengan partikel berbentuk *spherical*, konduktivitas termal dari suspensi tidak hanya bergantung pada konsentrasi partikel tetapi bergantung juga pada ukuran dan bentuk partikel (Murshed, dkk. 2004).

Pada gambar 4.7 data untuk model teoritis diperoleh dari data penelitian Murshed (2005) dengan penelitian yang dilakukan menggunakan TiO_2 dengan ukuran partikel 15 nm. Dapat dilihat nilai konduktivitas dari hasil penelitian yang dilakukan disini lebih tinggi dibandingkan dengan model Hamilton-Crosser dan Bruggeman untuk konsentrasi pada rentang 0,5 sampai 5 % vol, sedangkan untuk konsentrasi di atas 5 % vol nilai konduktivitas termalnya berada dalam rentang nilai konduktivitas model-model di atas.

Hal ini mungkin terjadi karena model teoritis tidak memperhitungkan ukuran partikel, gerak brown pada partikel, *nanolayering* dan pengaruh dari penggumpalan nanopartikel dalam nanofluida.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Penggunaan nanopartikel yang ditambahkan ke dalam suatu fluida dasar mampu meningkatkan nilai konduktivitas termal lebih tinggi dari fluida dasarnya. Oleh karena itu bisa dikatakan bahwa penambahan nanopartikel ke dalam fluida dasar sangat efisien sebagai media pendingin.
2. Kondisi optimum dari nanofluida TiO_2 dalam penelitian ini adalah pada konsentrasi 5 % vol dengan nilai konduktivitas termalnya 1,3 kali lebih besar daripada konduktivitas termal fluida dasarnya.
3. Waktu sonikasi yang paling optimum dalam penelitian ini adalah sonifikasi selama 10 menit yang memberikan hasil konduktivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi waktu lainnya.
4. Pada konsentrasi nanofluida 6,0 dan 8,0 % nilai konduktivitas termal nanofluida TiO_2 lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai konduktivitas pada konsentrasi di bawahnya. Hal ini bisa saja terjadi karena keterbatasan kemampuan dari alat ultrasonik dalam memecah aggregate nanopartikel yang terbentuk pada konsentrasi di atas 5,0 % volum.
5. Viskositas nanofluida TiO_2 meningkat dengan bertambahnya konsentrasi nanofluida dan hal ini sesuai dengan penelitian yang dilaporkan oleh beberapa peneliti sebelumnya.

5.2. Saran

Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mempelajari nilai konduktivitas termal nanofluida dengan konsentrasi di atas 5 % volume, sehingga pengaruh konsentrasi terhadap konduktivitas termal bisa dipastikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bahrami, M., Yovanovich, M. M., Culham, J. R. 2006. *Assesment of Relevant Physical Phenomena Controlling Thermal Performance Of Nanofluids*. ASME International Mechanical Engineering Congres And Exposition, IMECE 2006-13417, Chicago.
- Chen, H., Yang, W., Ding, Y., Zhang, L., Tan, C., Lapkin, A. A., Bavykin, V. D. 2007. *Heat Transfer And Flow Behaviour Of aqueous Suspension Of Titanite Nanotubes (Nanofluids)*.
- Das, S. K., Choi, S. U. S., Patel, H. E. 2006. *A Review- Heat Transfer In Nanofluids*.
- Ding, Y., Wang, L., Yang, W., et al. 2007. *Heat Transfer Intensification Using Nanofluids*. KONA. no 25.
- Duangthongsuk, W., Wongwises, S. 2009. *Measurments Of Temperature-Dependent Thermal And Viscosity Of TiO₂-Water Nanofluids*. Experimental Thermal and Fluid Science 33 (2009) 706-714.
- Eastman, J. A., Choi S. U. S., Li S., Thompson L. J., and Lee S. 1997. *Enhanced thermal conductivity through the development of nanofluids*, Proc. Symposium Nanophase and Nanocomposite Materials II , Materials Research Society, Boston, MA, 457: 3–11.
- Gowda, R., Sun, H., Wang, P., Charmchi, M., Gao, F., Gu, Z., Budhalall, B. *Effect Of Particle Surface Charge, Species, Consentration, And Dispersion Method On The Thermal Conductivity Of Nanofluids*.
- He, Y., Jin, Y., Chen, H., Ding, Y., Cang, D., Lu, H. 2006. *Heat Transfer And Flow Behaviour Of Aqueous Suspensions Of TiO₂ Nanoparticles (Nanofluids) Flowing Upward Trough a Vertical Pipe*.
- Heris, S. J., Esfahany, M. N., and Etemad, S. Gh. 2006. *Experimental Investigation of Convective Heat Transfer of Al₂O₃/Water Nanofluid in Circular Tube*. International Journal of Heat and Fluid Flow. 28: 203-210.v
- Hwang, Y. J., Lee, J. K., Lee, C. H., Jung, Y. M., Cheong, S. I., Lee, C. G., Ku, B. C., and Jang, S. P. 2007. *Stability and thermal conductivity characteristics of nanofluids*. *Thermochimica Acta*, 455, no. 1-2, 70–74.

- Keblinski, P., Phillpot, S, R., Choi, S, U, S., Eastman, J, A. 2002. *Mechanisms Of Heat Flow In Suspensions Of Nano-sized Particles (Nanofluids)*. Internat J. Heat & Mass Transfer 45 (2002) 855-863.
- Michael, P. January, 2009. artikel Publish in Guardian
- Murshed, S, M, S., Leong, K, C., Yang, C. 2005. *Enhanced Thermal Conductivity Of TiO₂-Water Based Nanofluids*. Internat. J. Thermal science 44 (2005) 367-373.
- Prasher, R. 2006. *Thermal Conductivity Of Nanoscale Colloidal Solutions (Nanofluids)*. 10.1103/PhysRevLett.94.025901.
- Singh, A, K. 2008. *Thermal Conductivity Of Nanofluids*. Vol 58, pp 600-607.
- Wang, X, Q., Mujumdar, A, S. 2008. *A Review On Nanofluids-Part II: Experiment and Applications*. Vol 25. Pp 631-648.
- Williams, C, W. 2006. *Experimental And Theoretical Investigation Of Transport Phenomena In Nanoparticle Colloids (Nanofluids)*.
- Witharana, S .2003. *Boiling of Refrigerants on Enhanced Surface and Boiling of Nanofluids*. Thesis. The Royal of Institute Technology. Sweden.
- Xuan, Y., and Li, Q., 2000. *Heat Transfer Enhancement of Nanofluids*. Int.J. Heat Fluid Flow. 58–64.
- www.wikipedia.com kata kunci : TiO₂. diakses pada tanggal 22 april 2009.

LAMPIRAN

Lampiran 1 : Pengolahan Data Penelitian

1. Data Pengukuran Nanofluida TiO₂ Untuk Variasi Konsentrasi

Konsentrasi (% vol)	Densitas (gr/mL)	Viskositas (cst)	Konduktivitas (W/m°C)
0	-	-	0.60
0.5	1.0106	0.96492	0.65
1	1.004	0.9685	0.66
2	1.00709	0.9757	0.72
3	1.01335	0.9763	0.74
4	1.02157	0.99625	0.75
5	1.018775	0.99768	0.78
6	1.015195	0.98736	0.64
8	1.02244	1.01184	0.67

Contoh perhitungan konsentrasi nanofluida TiO₂

Dik : densitas nanopartikel TiO₂ P-25 = 130 g/L

Dit : berat nanopartikel ?

Jawab : 1 % = 1 mL x 130 g/L x 1L / 1000 mL
= 0.13 g

2. Data Pengukuran Absorbansi Nanofluida

Data pengukuran absorbansi dilakukan pada panjang gelombang 240 nm

Hari	Konsentrasi Nanofluida TiO ₂ (% vol)					
	0.50	1.00	2.00	3.00	5.00	8.00
1	1.522	1.56	1.576	1.588	1.56	1.563
2	1.41	1.532	1.551	1.552	1.554	1.558
3	1.387	1.547	1.542	1.55	1.528	1.527
4	1.412	1.574	1.572	1.571	1.54	1.543
5	1.411	1.592	1.598	1.589	1.52	1.522
6	1.401	1.576	1.575	1.571	1.518	1.519

3. Data konduktivitas termal untuk variasi waktu sonikasi Nanofluida TiO₂

Waktu Ultrasonik (Menit)	Konduktivitas Termal (W/m°C)
0	0.54
5	0.57
10	0.78
15	0.70
30	0.64

Contoh perhitungan densitas nanofluida :

Penghitungan densitas nanofluida TiO₂ untuk konsentrasi 0,5 % vol

Dik : Berat pikno kosong = 15,5047 gr
Berat pikno + nanofluida TiO₂ = 25,6939 gr
Vpiknometer = 10 ml

Dit : ρ ?

Jawab :

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{25.6939 - 15.5047}{10} = 1.0187$$

Contoh perhitungan viskositas untuk konsentrasi nanofluida

Penghitungan viskositas nanofluida TiO₂

Dik : C pada T = 27°C = 0,01632
T nanofluida dalam viskometer = 61 sekon

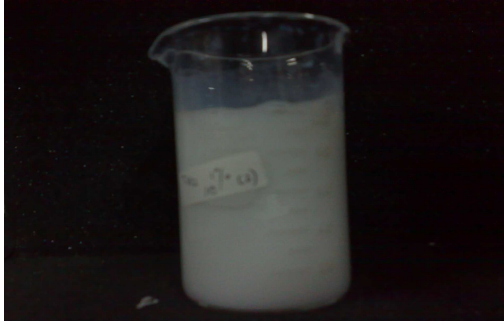
Dit : μ ?

Jawab : $\mu = C \times t$ air demin = 0,01632 x 61 = 0,99 centistoke

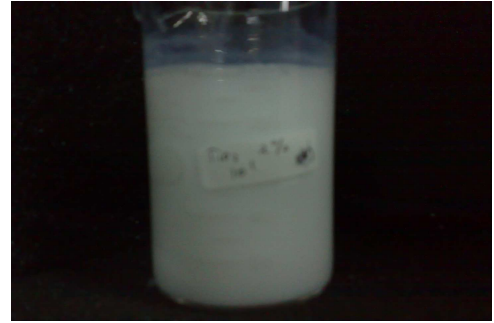
4. Data Densitas Dan Viskositas Untuk Variasi Waktu sonikasi Nanofluida TiO₂

variasi waktu	densitas	viskositas
0		
5	1.02101	0.9698976
10	1.018775	0.99768
15	1.018735	0.99144
30	1.018725	0.993072

Lampiran 2 : Gambar Nanofluida TiO₂ Selama Penelitian



Nanofluida TiO₂ 1%



Nanofluida TiO₂ 2 % vol



Nanofluida TiO₂ 3 %



Nanofluida TiO₂ 4 % vol



Nanofluida TiO₂ 5 % vol



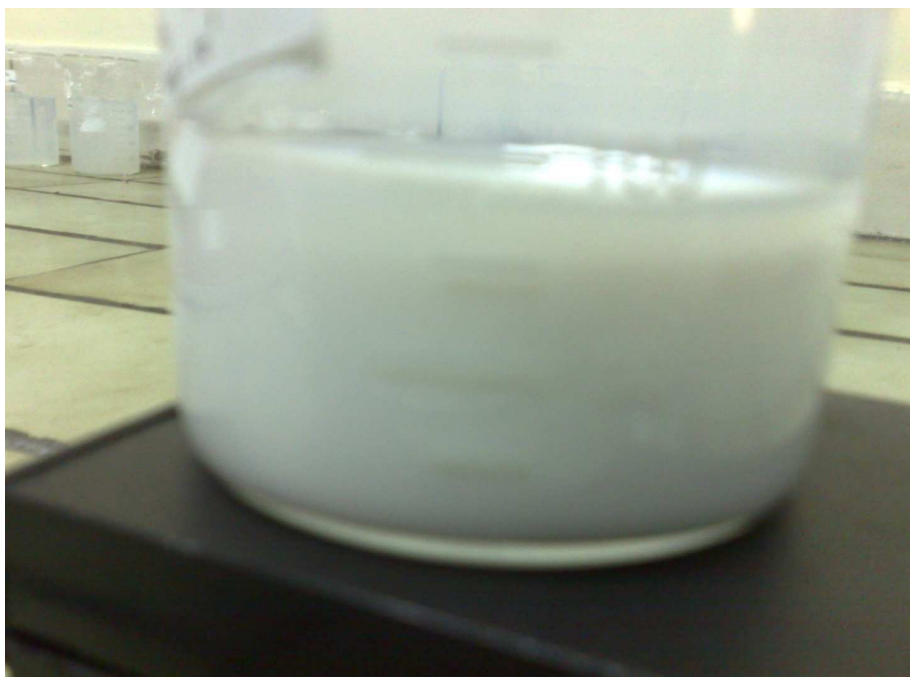
Nanofluida TiO₂ 6 % vol



Nanofluida TiO_2 8 % vol

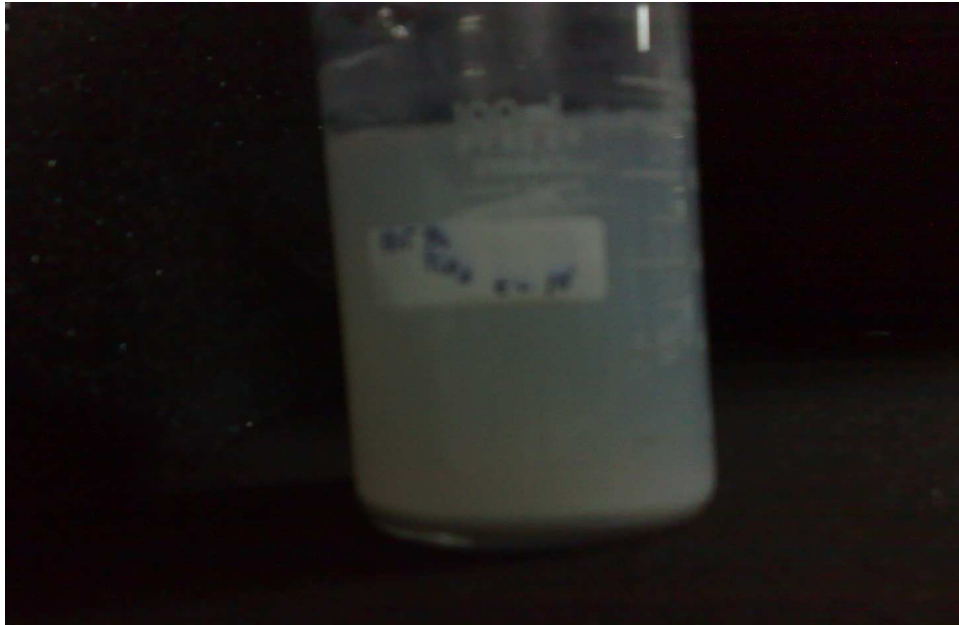
Keterangan :

Semua gambar di atas diambil pada hari pertama dan untuk semua variasi konsentrasi belum terjadi endapan, begitu juga dengan data untuk variasi waktu ultrasonik hari pertama.



(a)

Pada gambar (a) contoh nanofluida yang telah terbentuk dua lapisan.



(b)

Gambar (b) adalah gambar untuk nanofluida TiO_2 yang telah mengendap sebagian.