



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**REKAYASA NANOFUIDA BERBASIS  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (ALUMINA)  
SEBAGAI MEDIA PENDINGIN PADA  
SISTEM PENUKAR KALOR**

**SKRIPSI**

**KARTIKA OCTAVIANI  
0706200352**

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



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**REKAYASA NANOFLUIDA BERBASIS  $Al_2O_3$  (ALUMINA)  
SEBAGAI MEDIA PENDINGIN PADA  
SISTEM PENUKAR KALOR**

**SKRIPSI**


**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**KARTIKA OCTAVIANI  
0706200352**

**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** : Kartika Octaviani  
**NPM** : 0706200352  
**Tanda Tangan** :   
**Tanggal** : 22 Desember 2009

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Kartika Octaviani  
NPM : 0706200352  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Rekayasa nanofluida berbasis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( alumina) 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 : Ir. Dewi Tristantini, MT, PhD  
Pembimbing : Dr. Ir. Slamet, MT  
Penguji : Ir. Sukirno, M.Eng  
Penguji : Ir. Bambang Heru S., MT

(*Dewi Tristantini*)  
(*Dr. Ir. Slamet*)  
(*Ir. Sukirno*)  
(*Ir. Bambang Heru S.*)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 22 Desember 2009

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi dengan judul Rekayasa nanofluida berbasis  $Al_2O_3$  (alumina) sebagai media pendingin sistem penukar kalor ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Ibu Ir. Dewi Tristantini, MT, PhD, Bapak Dr. Ir Slamet, MT dan Bapak Dr. Ing., Ir Nandy putera, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- (2) Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA., selaku kepala Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.
- (3) Bapak Prof. Dr. Ir. Anondho Wijanarko, M.Eng selaku pembimbing akademis.
- (4) Teman – teman Ekstensi Teknik Kimia 2007, atas semangatnya pada waktu mengambil data dan menyelesaikan skripsi ini.
- (5) Bang Ijal, Kang Jajat, Mas Taufik, Mas Eko dan semuanya atas semua bantuannya selama ini.

Saya menyadari bahwa makalah 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 skripsi ini dapat bermanfaat dan memberikan arti bagi semua pihak pada umumnya dan bagi saya sendiri pada khususnya.

Depok, Desember 2008

Penulis

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

---

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

Nama : Kartika Octaviani  
NPM : 0706200352  
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  $Al_2O_3$  (alumina) 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



(Kartika Octaviani)

## ABSTRAK

Nama : Kartika Octaviani  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Rekayasa nanofluida berbasis alumina sebagai media pendingin pada sistem penukar kalor

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran konduktivitas termal nanofluida alumina dengan variasi konsentrasi nanofluida dan variasi waktu vibrasi ultrasonik. Sintesis nanofluida dilakukan dengan mendispersikan nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dengan ukuran 13 nm kedalam fluida dasar air. Dari hasil penelitian diperoleh nanofluida yang optimum adalah nanofluida dengan waktu vibrasi ultrasonik 10 menit pada konsentrasi nanofluida alumina 4% volume yang menghasilkan nilai konduktivitas termal nanofluida sebesar  $1,395 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  atau sekitar 2 kali konduktivitas termal fluida dasarnya.

Kata kunci:

Nanofluida alumina, konduktivitas termal, variasi konsentrasi nanofluida

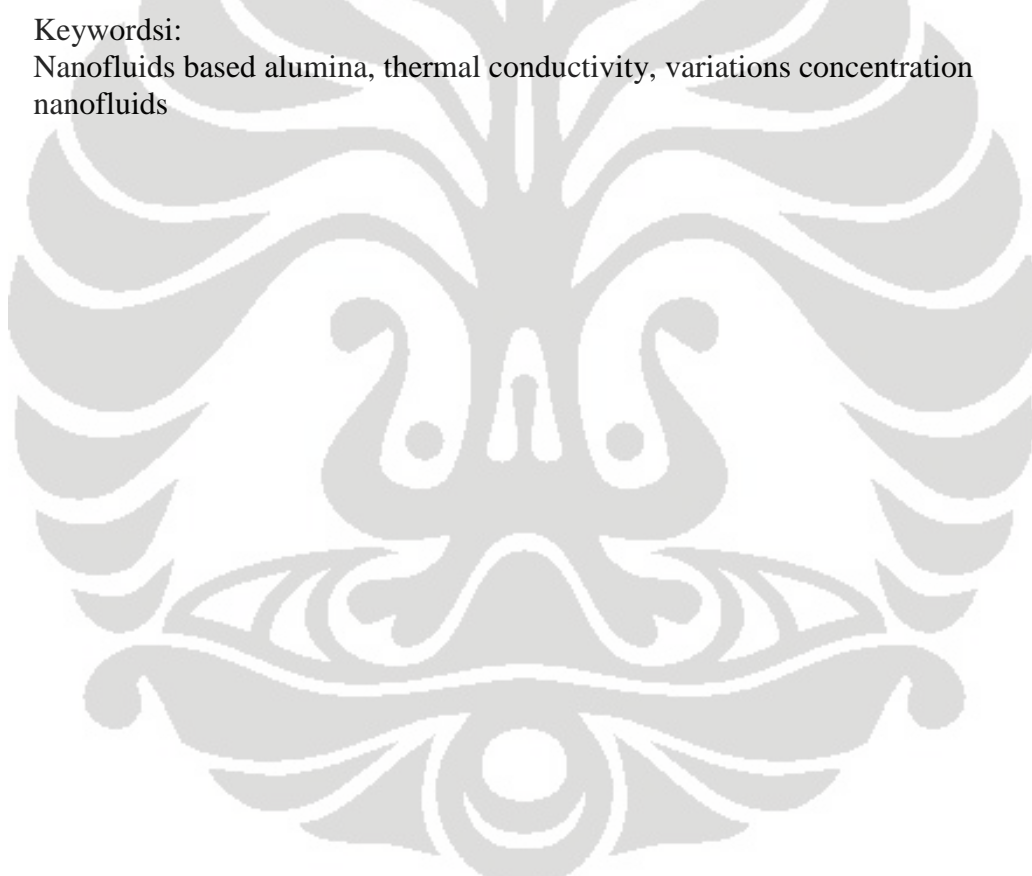
## ABSTRACT

Name : Kartika Octaviani  
Study Program : Teknik Kimia  
Title : Nanofluids Engineering based on alumina as coolant media in Heat Exchanger system

This study measured the thermal conductivity of nanofluids based alumina with various nanofluids concentration and time variations of ultrasonic vibrations. Nanofluids synthesis performed with  $\text{Al}_2\text{O}_3$  nanoparticles with 13 nm size was dispersed into the water-based fluid. The result showed that the optimum ultrasonic vibration time is 10 minutes in 4% volume concentration of alumina nanofluids which result in  $1.395 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  of nanofluids thermal conductivity approximately twice amount of the base fluid thermal conductivity.

Keywords:

Nanofluids based alumina, thermal conductivity, variations concentration nanofluids





## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Nanofluida.....	4
2.2 Nanopartikel.....	4
2.2.1 Sifat-sifat nanopartikel.....	5
2.2.2 Alumina.....	5
2.2.2.1 Sifat-Sifat Alumina.....	5
2.3 Mekanisme Peningkatan Nilai Konduktivitas Termal Pada Nanofluida.....	6
2.4 Preparasi Nanofluida.....	8
2.5 Karakteristik Ukuran Partikel.....	11
2.6 Karakteristik Termal Nanofluida.....	11
2.6.1 Penghitungan Konduktivitas Termal Nanofluida.....	12
2.6.2 Model teoritis prediksi konduktivitas termal nanofluida.....	16
2.7 Dasar-dasar pendingin secara umum.....	19
2.7.1 Tantangan pendingin.....	19
2.7.2 Metode konvensional untuk meningkatkan perpindahan panas.....	20
2.8 Aplikasi Nanofluida.....	20
2.9 Spektroskopi UV-Vis.....	22
2.9.1 Instrumentasi.....	22
2.9.2 Absorbansi.....	22

2.9.3	Faktor-faktor penting dalam absorbansi.....	24
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b>		
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	25
3.2	Bahan dan Peralatan Penelitian.....	26
3.3	Prosedur Percobaan.....	29
3.3.1	Preparasi nanofluida berbasis alumina.....	29
3.3.2	Prosedur percobaan pengukuran konduktivitas termal nanofluida alumina dengan variasi konsentrasi.....	29
3.3.3	Prosedur percobaan pengukuran konduktivitas termal nanofluida alumina dengan variasi waktu vibrasi ultrasonik.....	30
3.3.4	Prosedur percobaan pengukuran densitas nanofluida alumina.....	30
3.3.5	Prosedur percobaan pengukuran viskositas nanofluida alumina.....	31
3.4	Teknik Pengambilan Data.....	31
3.5	Pengolahan Data.....	32
<b>BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1	Pengukuran konduktivitas termal nanofluida alumina dengan variasi konsentrasi Nanofluida.....	33
4.2	Pengaruh variasi konsentrasi nanofluida terhadap densitas dan viskositas nanofluida.....	35
4.3	Perbandingan rasio konduktivitas termal dengan beberapa peneliti sebelumnya.....	38
4.4	Pengukuran konduktivitas termal nanofluida alumina dengan variasi waktu vibrasi alat ultrasonik nanofluida.....	40
<b>BAB 5 KESIMPULAN</b>		
5.1	Kesimpulan.....	41
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>42</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>44</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b>	Skema diagram mekanisme beberapa kemungkinan peningkatan konduktivitas termal suatu nanofluida ..... 8
<b>Gambar 2.2</b>	Skema diagram dari satu berkas spektrofotometer UV..... 22
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram alir penelitian secara umum..... 25
<b>Gambar 3.2</b>	<i>Ultrasonic Processor</i> ..... 26
<b>Gambar 3.3</b>	Magnetic Stirrer..... 27
<b>Gambar 3.4</b>	Piknometer..... 27
<b>Gambar 3.5</b>	Viskometer Ostwald..... 27
<b>Gambar 3.6</b>	KD2 <i>Thermal Properties Analyzer</i> ..... 28
<b>Gambar 4.1</b>	Grafik Hubungan Ratio Konduktivitas Thermal Terhadap Berbagai Variasi Konsentrasi Nanofluida..... 34
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik Hubungan Variasi Konsentrasi Nanofluida Terhadap Viskositas dan Densitas Nanofluida Alumina..... 36
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik Hubungan Variasi Waktu Vibrasi Ultrasonik Nanofluida Terhadap Densitas dan Viskositas Nanofluida Alumina..... 36
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik Pengaruh Konsentrasi Terhadap Waktu Pengendapan Nanofluida Alumina..... 37
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik Perbandingan antara hasil Penelitian dengan Peneliti Lain..... 39
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik Hubungan Rasio Konduktivitas Termal Nanofluida Alumina Terhadap Berbagai Variasi Waktu Vibrasi Ultrasonik..... 40

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 2.1</b> Sifat- Sifat Fisik Alumina .....	6
<b>Tabel 2.2</b> Sifat-Sifat Termal Alumina.....	6
<b>Tabel 2.3</b> Konduktivitas termal Nanofluida dan nanopartikel.....	14
<b>Tabel 2.4</b> Model termal konduktivitas dasar .....	18



## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Lampiran 1</b> Pengolahan Data Penelitian.....	42
<b>Lampiran 2</b> Gambar-gambar nanofluida alumina.....	47



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Teknologi perpindahan kalor merupakan suatu teknologi yang hadir pada saat yang tepat ketika sistem pendingin sangat dibutuhkan saat ini. Barang-barang elektronik yang semakin banyak bermunculan memerlukan media pendingin yang tepat dan efisien agar fungsi alat-alat elektronik tersebut berjalan dengan baik.

Fluida kerja konvensional yang biasa digunakan untuk sistem atau proses pendinginan seperti air, oli mesin, etilen glikol, udara dan lain-lain kurang efektif digunakan karena memiliki nilai koefisien perpindahan kalor yang kecil, yaitu sekitar  $0,6 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ . fluida konvensional tersebut dapat digunakan bila laju alir fluidanya besar atau ditingkatkan. Selain itu, fluida kerja konvensional dengan ukuran partikel yang besar dapat menimbulkan masalah seperti pembentukan sedimen, penyumbatan (*clogging*) dan abrasi.

Dengan kemajuan teknologi pada saat ini, suatu alternatif baru fluida kerja diberikan agar dapat meningkatkan konduktivitas termal sehingga dapat meningkatkan karakteristik perpindahan kalor fluida kerja konvensional yaitu nanofluida. Nanofluida adalah campuran suatu nanopartikel yang tersuspensi dalam fluida dasar (fluida cair) dengan partikel solid yang mempunyai diameter  $<50 \text{ nm}$ . Berdasarkan teori, nanofluida memiliki konduktivitas termal yang besar dan menyebabkan *pressure drop* kecil. Selain itu partikel padatan yang ditambahkan pada campuran tersebut dapat menghantarkan panas yang lebih baik daripada fluida dasarnya. Nanopartikel juga dapat menghambat atau mengurangi pembentukan sedimen bila dibandingkan dengan partikel yang lebih besar. Dengan adanya gerak Brown pada nanofluida, gaya antar partikel dan luas permukaan nanofluida menjadi lebih besar sehingga tidak terbentuk sedimentasi dan kemungkinan terjadinya penyumbatan akan kecil sekali.

Penelitian mengenai nanofluida pertama kali dilakukan oleh Choi *et al*, pada penelitiannya Choi melakukan penelitian mengenai pengukuran konduktivitas termal dari nanofluida  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CuO}$  dengan fluida dasar ethylene

glycol dan air. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Choi *et al* menunjukkan bahwa peningkatan konduktivitas termal nanofluida berbanding lurus dengan kenaikan persen volume nanopartikel yang dicampurkan. Selain itu, pada penelitian yang telah dilakukan oleh Keblinski *et al*, diperoleh hasil bahwa dengan menggunakan nanofluida berbasis alumina-air diperoleh peningkatan nilai konduktivitas termal sebesar 30% (Keblinski, 2005). Dengan melihat hasil dari penelitian-penelitian sebelumnya maka penelitian rekayasa nanofluida berbasis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (alumina) sebagai media pendingin pada sistem penukar kalor dilakukan.

## 1.2 Perumusan Masalah

Masalah yang hendak dicari solusinya dalam penelitian ini adalah bagaimana meningkatkan konduktivitas termal nanofluida dengan cara mencari kondisi operasi yang optimum yaitu memvariasikan konsentrasi dan waktu vibrasi ultrasonik nanofluida alumina dalam rekayasa nanofluida berbasis alumina pada media pendingin sistem penukar kalor.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk menemukan kondisi optimum pembuatan nanofluida berbasis alumina agar konduktivitas termal fluida kerja dapat ditingkatkan. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi dan waktu vibrasi ultrasonik nanofluida tersebut.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan permasalahan dalam penelitian ini adalah:

1. Nanopartikel yang digunakan adalah nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (alumina) sebagai padatan tersuspensi dan aquades sebagai fluida dasar.
2. Bahan nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (alumina) yang digunakan berukuran 13 nm.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika 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**

Berisi tentang konsep mekanisme nanofluida, preparasi nanofluida, karakteristik ukuran nanopartikel, karakteristik termal nanofluida, penghitungan konduktivitas termal nanofluida, model teoritis nanofluida, aplikasi nanofluida dan teori mengenai alumina yang merupakan bahan dasar pembuatan nanofluida berbasis alumina ini.

### **BAB III : METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini menginformasikan penjelasan tentang metodologi dan tahap-tahap penelitian yang akan dilakukan dari awal hingga akhir dan memuat bahan/alat yang digunakan, serta prosedur penelitian.

### **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 DAN SARAN**

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



## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Nanofluida**

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

Nanofluida adalah suspensi serbuk nano logam atau nonlogam dalam fluida dasar dan dapat disintesis untuk meningkatkan laju perpindahan kalor dalam berbagai aplikasi (Heris, Esfahany and Etemad, 2006).

#### **2.2 Nanopartikel**

Nanopartikel adalah suatu padatan yang sangat kecil, ukuran nanopartikel tersebut antara 1 nm sampai dengan 100 nm. Partikel berukuran nano terdiri atas 10 sampai dengan 100.000 atom-atom penyusun. Nanopartikel memiliki sifat-sifat yang tidak biasa dengan ukuran yang sangat kecil yaitu 0,1-100 nm, yang akan memberikan sifat fisik, mekanik, elektronik, magnetik dan sifat kimia yang unik yang berbeda dengan partikel yang berukuran lebih besar.

Bahan nanopartikel yang biasa digunakan adalah oksida logam sederhana seperti silika, titanium, Alumina, oksida besi, oksida perak dan zirkonia (Witharana, 2003).

Bahan untuk nanopartikel dan fluida dasar yang biasa digunakan adalah :

1. Bahan-bahan nanopartikel:
  - a. Keramik oksida:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{CuO}$
  - b. Logam karbida:  $\text{SiC}$
  - c. Nitrid:  $\text{SiN}$
  - d. Logam: Al dan Cu
  - e. Nonlogam: Graphite dan karbon nanotube
  - f. Layered (lapisan):  $\text{Al} + \text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cu} + \text{C}$

2. Fluida dasar yang biasa digunakan dalam pembuatan nanofluida adalah:
  - a. Air
  - b. Etilen glikol atau trietilen glikol dan pendingin lainnya
  - c. Minyak atau Pelumas
  - d. Larutan polimer ([www.kostic.niu.edu](http://www.kostic.niu.edu))

### 2.2.1 Sifat-sifat nanopartikel

Nanopartikel mempunyai ukuran diantara ukuran molekuler dan keadaan struktur bulk padatan, memberikan sifat-sifat yang unik dan berbeda bila dibandingkan dengan material yang berukuran lebih besar. Beberapa contoh dari sifat-sifat nanopartikel adalah titik lebur yang rendah, tekanan transisi fasa padat yang lebih tinggi, koefisien difusi yang tinggi dan perubahan sifat termofisik pada partikel.

Nanopartikel sangat reaktif dan sangat cepat bergabung dengan partikel lain yang ada disekitarnya sebagai contoh bergabung dengan nanopartikel lain, dan mereka beraglomerasi dan setelah itu tidak dapat digunakan lagi sebagai nanopartikel (Witharana, 2003).

### 2.2.2 Alumina

Aluminium oksida adalah sebuah senyawa kimia dari aluminium dan oksigen dengan rumus kimia  $Al_2O_3$ . Nama mineralnya adalah alumina dan dalam bidang pertambangan, keramik dan teknik material senyawa ini lebih banyak disebut dengan nama alumina.

#### 2.2.2.1 Sifat-sifat alumina

Aluminium oksida adalah isolator (penghambat) panas dan listrik yang baik. Umumnya  $Al_2O_3$  terdapat dalam bentuk kristalin yang disebut *corundum* atau  $\alpha$ -aluminium oksida.  $Al_2O_3$  dipakai sebagai bahan abrasif dan sebagai komponen dalam alat pemotong, karena sifat kekerasannya.

Aluminium oksida berperan penting dalam ketahanan logam aluminium terhadap perkaratan dengan udara. Logam aluminium sebenarnya amat mudah bereaksi dengan oksigen di udara. Aluminium bereaksi dengan oksigen

membentuk aluminium oksida, yang berupa lapisan tipis yang dengan cepat menutupi permukaan aluminium. Lapisan ini melindungi logam aluminium dari oksidasi lebih lanjut. Ketebalan lapisan ini dapat ditingkatkan melalui proses anodisasi. Beberapa *alloy* (paduan logam), seperti perunggu aluminium, memanfaatkan sifat ini dengan menambahkan aluminium pada *alloy* untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi.

$\text{Al}_2\text{O}_3$  yang dihasilkan melalui anodisasi bersifat amorf, namun beberapa proses oksidasi seperti plasma *electrolytic oxydation* menghasilkan sebagian besar  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dalam bentuk kristalin, yang meningkatkan kekerasannya ([www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)).

Sifat- sifat fisik dan sifat termal alumina dapat dilihat pada tabel 2.1 dan tabel 2.2 dibawah ini.

**Tabel 2.1** Sifat-sifat fisik alumina

<b>Sifat fisik</b>	
Komposisi atom	>99%
Struktur kristal	Corundum
Densitas ( $\text{g/cm}^3$ )	3,95
Absorpsi air (%)	0

**Tabel 2.2** Sifat-sifat termal alumina

<b>Sifat termal</b>	
Spesifik panas pada $100^\circ\text{C}$ ( $\text{J/kg.K}$ )	930
Konduktivitas termal pada $20^\circ\text{C}$ ( $\text{W/mK}$ )	40
Hambatan getaran termal ( $^\circ\text{C}$ )	200

([www.aZom.com](http://www.aZom.com))

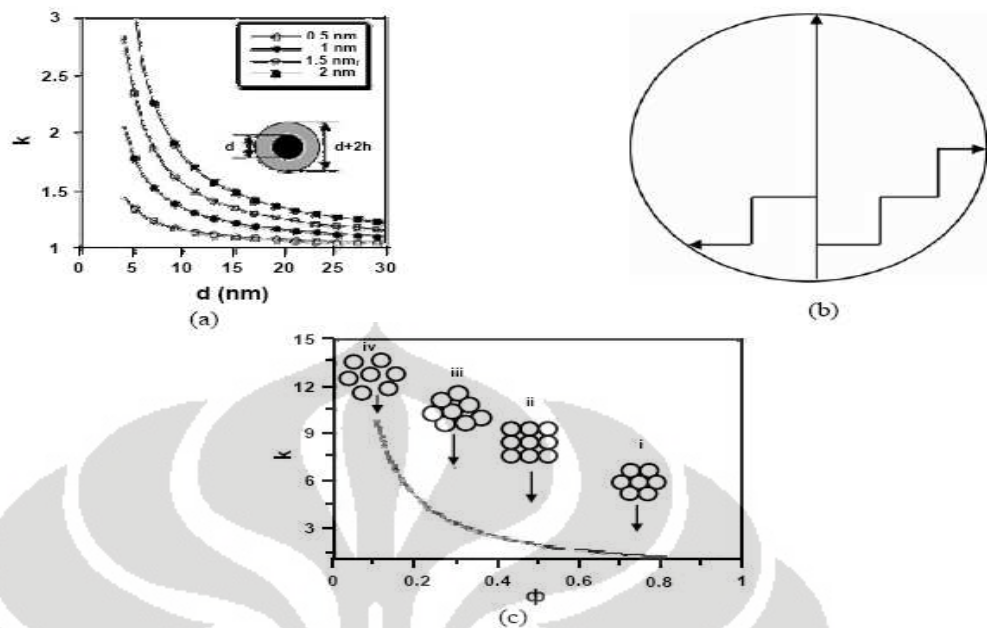
### 2.3 Mekanisme Peningkatan Nilai Konduktivitas Termal Pada Nanofluida

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

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.

Pemahaman mengenai perpindahan kalor dalam nanofluida dapat dibagi menjadi 2 kategori. Kategori pertama 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.

Sedangkan kategori kedua dimulai dari nanostruktur nanofluida. Pengamatan ini mengasumsikan bahwa nanofluida adalah suatu campuran yang dibentuk oleh nanopartikel sebagai inti dan dikelilingi oleh nanolayer sebagai *shell*, yang kemudian akan tenggelam di fluida dasar.



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

Keterangan gambar diatas adalah :

- (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 and Mujumdar, 2008)

## 2.4 Preparasi nanofluida

Preparasi nanofluida dilakukan dengan mencampurkan partikel berukuran nano dengan suatu fluida. Hal ini menyebabkan peningkatan yang sangat cepat dalam teknik sintesis nanofluida. Tetapi, ini bukan standar preparasi 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*) oleh gas inert. Produk nanopartikel tersebut

kemudian didispersi kedalam fluida. Metode ini dapat menghasilkan derajat pengendapan (aglomerasi) nanopartikel yang besar.

- b) Pendekatan secara kimia menggunakan teknologi basah, pendekatan *single-step*. Hal ini menampilkan metode yang kuat untuk pertumbuhan struktur nano pada berbagai macam logam, semikonduktor, non logam dan sistem hibrid. Keuntungan yang ditawarkan oleh teknologi nano dengan pendekatan secara kimia 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 *monodispersed* struktur nano. Lebih lanjut lagi, nanofluida yang dibuat dengan menggunakan metode ini menunjukkan peningkatan konduktivitas termal 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.

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

- a. Ablasi laser (teknik *single-step*) adalah metode lain dalam preparasi nanofluida yang banyak dicoba yang secara simultan membuat dan menyebar partikel berukuran nano secara langsung pada fluida dasar. Berbagai macam nanofluida telah dibuat dengan menggunakan metode ablasi laser, yaitu 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*, merupakan metode yang sangat cepat untuk melakukan sintesis nanofluida.
- c. SANSS (*Submerged arc nanofluids synthesis system*) juga digunakan untuk pembuatan nanofluida (Singh, 2008)

Preparasi nanofluida adalah langkah pertama dalam aplikasi suatu partikel berukuran nano untuk mengubah perpindahan kalor suatu fluida konvensional.

Secara umum, metode yang efektif yang digunakan untuk preparasi suspensi adalah :

1. Mengubah nilai pH suatu suspensi
2. Menggunakan aktivator permukaan atau dispersan
3. Menggunakan vibrasi ultrasonik.

Semua metode untuk preparasi suspensi itu bertujuan untuk mengubah sifat-sifat permukaan yang tersuspensi. Aktivator dan dispersan yang biasa digunakan adalah tiol, asam oleat, dan garam laurat. Pemilihan aktivator dan dispersan yang tepat tergantung pada sifat-sifat larutan dan partikel-partikelnya. (Trisaksri and Wongwises, 1997).

Perpindahan kalor adalah salah satu proses yang paling penting dalam industri. Konduktivitas panas yang rendah dari fluida konvensional menentukan batasan dasar dalam perpindahan kalor.

1. Miniaturisasi dan nanoteknologi

Nanoteknologi menciptakan material, peralatan dan sistem dengan mengontrol suatu zat pada tingkat skala nano dan mengeksploitasi sifat-sifat dan fenomena yang muncul pada zat dengan skala nano.

2. Kemunculan nanofluida

Kemunculan nanofluida sebagai bidang baru perpindahan kalor skala nano dalam liquid dihubungkan secara langsung dengan pola miniatur dan teknologi nano.

3. Perpindahan panas skala nano sebagai pendekatan peningkatan perpindahan kalor baru.

Ketika Choi (Choi, 1995) mengerjakan pendingin cairan nitrogen pada saluran mikro, dia menyatakan bahwa *pressure drop* di saluran mikro pada penukar kalor meningkat secara signifikan seiring dengan berkurangnya diameter saluran aliran dan sistem kriogenik dibutuhkan untuk pendingin cairan nitrogen. Pada saluran mikro penukar kalor cairan nitrogen, perpindahan kalor sangat diutamakan, tetapi dengan biaya tenaga pemompaan yang tinggi dan sistem kriogenik yang mahal

(Das *et al*, 2008).

Kesulitan yang biasa dijumpai dalam pabrik nanofluida adalah kecenderungan partikel berukuran nano untuk menggumpal menjadi partikel yang lebih besar, yang mengurangi permukaan nanopartikel. Untuk menghambat kecenderungan ini, partikel pendispersi sering ditambahkan ke fluida dasar dan partikel berukuran nano. Sayangnya, percobaan ini dapat mengubah sifat permukaan partikel dan nanofluida yang dibuat sehingga mengandung level ketidakmurnian yang besar (Das *et al*, 2008).

## 2.5 Karakteristik ukuran partikel

Analisis nanofluida dilakukan dengan menggunakan mikroskop elektron (SEM/TEM). Analisis untuk karakteristik nanofluida yang paling sering dilakukan adalah dengan menggunakan TEM. Transmisi elektron kriogenik mikroskopik dapat memberikan metode karakteristik yang kuat, tapi sedikit laboratorium yang mengaplikasikan teknik ini. SPM (*Sanning probe Microscopy*) tidak dapat digunakan untuk karakterisasi nanofluida. Pendekatan sederhana adalah dengan menggunakan penganalisis ukuran partikel berdasarkan pada DLS (*dynamic light scattering*). Singh (Singh, 2008) telah menggunakan sistem DLS untuk distribusi ukuran partikel sebagai tambahan hasil dengan TEM sebagai alat karakteristik utama. Alat pengukur karakteristik lain yang berharga untuk struktur suspensi pada skala nano adalah SAXS (*Small Angle X-ray Scattering*) dan SANS (*Small Angle Neutron Scattering*). Dibawah pendekatan relatif suspensi monodispersi, hamburan luas permukaan bisa dihubungkan ke faktor bentuk dari partikel, yang ditentukan dengan bentuk partikel dan faktor struktur untuk hubungan antar partikel yang berbeda. Sifat dari suspensi seperti ukuran partikel rata-rata, bentuk karakteristik secara kasar (bulat atau persegi panjang, rasio luas permukaan terhadap volume, ketebalan dari inti, dan selongsong partikel), dispersitas dan luas partikel atau diendapkan dapat diketahui dengan segera (Singh, 2008).

## 2.6 Karakteristik termal nanofluida

Beberapa grup peneliti telah menghitung konduktivitas termal lebih dari yang diprediksi oleh model Maxwell, setelah dinyatakan bahwa ukuran partikel kecil dan luas permukaan yang besar adalah penting. Penelitian dilakukan pada



nanopartikel  $\text{CuO}_2$  dengan dua grup yang berbeda. Nanofluida yang mengandung partikel lebih besar memiliki konduktivitas termal yang lebih besar pula. Nanofluida menunjukkan kekuatan karakteristik termal yang besar tergantung pada temperatur, korelasi antara konduktivitas termal yang tinggi maka temperatur pun akan tinggi pula. Keunikan dari nanofluida dan nanopartikel itu sendiri adalah tidak ada model yang umum, dapat digunakan pada partikel yang lebih besar dan dapat menentukan penambahan nanopartikel karena penurunan kontinum pada ukuran nano. (Singh, 2008)

### 2.6.1 Penghitungan konduktivitas termal nanofluida.

Nanofluida memiliki karakteristik perpindahan kalor yang besar bila dibandingkan dengan fluida konvensional biasa. Salah satu alasannya adalah adanya partikel tersuspensi dalam suatu nanofluida yang dapat meningkatkan konduktivitas termal nanofluida. Konduktivitas termal nanofluida sangat tergantung pada fraksi volume suatu partikel. Sampai sekarang hal ini masih menjadi suatu masalah yang belum terpecahkan yaitu bagaimana memprediksi konduktivitas termal nanofluida, walaupun terdapat banyak korelasi empiris untuk menghitung konduktivitas campuran dua fasa.

Untuk menghitung sifat termal suatu nanofluida, maka nanofluida tersebut harus berada pada keadaan setimbang dan menggunakan metode transien. Walaupun 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 pengujian. 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*) berdasarkan peningkatan temperatur pada kawat platina (sebagai kawat panas) dihubungkan pada konduktivitas termal  $K_{\text{eff}}$  fluida. Metode transien kawat-panas secara luas

dikerjakan untuk menghitung konduktivitas termal nanofluida. Bentuk modifikasi dari metode kawat panas (*hot-wire method*) ditunjukkan dengan metode pemeriksaan panas yang secara singkat telah digunakan oleh peneliti untuk menghitung konduktivitas termal nanofluida. Metode tersebut telah digunakan untuk konduktivitas termal dan difusivitas termal dari Au/toluene, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O, karbon non fiber/H<sub>2</sub>O, dan ZrO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O, CuO/H<sub>2</sub>O. Data konduktivitas termal dari zat-zat tersebut dapat dilihat pada tabel 2.3 (Singh, 2008).

**Tabel 2.3.** Konduktivitas termal nanofluida dan nanopartikel(Singh,2008)

Konduktivitas fluida dasar	Nanopartikel, diameter rata-rata dan konsentrasi nanofluida	Metode sintesis nanofluida	Rasio konduktivitas termal maksimum
Air	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , <50 nm	Two step	1,08
0,613	4,3 % vlume		
Air	CuO	Two-step	1,10
0,613			
Air	C-MWNT 50 nm, 0,6% volume	Two-step	1,38
0,613			
EG	Fe, <10nm, 6% volume	Two-step	1,18
0,252			
Air	TiO <sub>2</sub> , 15 nm, < 5% volume	Two-step	1,30
0,613			
Air	Cu, 18 nm 5% volume	One-step	1,60
0,613			
Tiolat	Au, 10-20 nm, 0,1% volume	Two-step	1,09
Sirat	Ag, 6-80 nm, 0,1% volume	Two-step	1,85
α-olephin	CNT, 25 x 50000 nm, 1% volume	Two-step	2,50
EG	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , < 50nm 5% volume	Two-step	1,18
0,252			
EG	CuO, 35 nm 4% volume	Two-step	1,21
0,252			
EG	Cu, 10nm 0,5% volume	One-step	1,41
0,252			
Minyak	Cu, 100nm 7,6% volume	Two step	1,43
0,145			
Air	Cu, 75-100nm 1 % volume	One step	1,23
0,613			

Peningkatan konduktivitas termal nanofluida lebih besar dari konduktivitas termal fluida dasar dan proses pembuatan nanofluida yang digunakan (Singh, 2008).

Kinerja perpindahan kalor nanofluida sepanjang pipa dinyatakan dalam Perhitungan koefisien perpindahan panas konveksi dapat dilihat pada persamaan (1) dan (2) dibawah ini (Heris, Esfahany and Etemad, 2007).

$$\overline{h_{nf}}(\text{exp}) = \frac{C_{Pnf} \cdot \rho_{nf} \cdot \overline{U} \cdot A (T_{b2} - T_{b1})}{\pi \cdot D \cdot L \cdot (T_w - T_b)_{LM}} \dots\dots\dots (1)$$

$$\overline{Nu_{nf}}(\text{exp}) = \frac{\overline{h_{nf}}(\text{exp}) \cdot D}{K_{nf}} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan rumus:

$\overline{h_{nf}}(\text{exp})$  = Koefisien perpindahan kalor rata-rata percobaan nanofluida  
( $Wm^{-2}K^{-1}$ )

$C_{Pnf}$  = Kalor spesifik nanofluida ( $kJkg^{-1}K^{-1}$ )

$\rho_{nf}$  = Densitas nanofluida ( $kgm^{-3}$ )

$\overline{U}$  = Kecepatan rata-rata fluida ( $ms^{-1}$ )

A = Luas permukaan pipa ( $m^2$ )

$T_{b1}$  = Temperatur masukan bulk (K)

$T_{b2}$  = Temperatur keluaran bulk (K)

D = Diameter pipa (m)

L = Panjang pipa (m)

$T_w$  = Temperatur dinding pipa

$\overline{Nu_{nf}}(\text{exp})$  = Bilangan Nusselt rata-rata percobaan nanofluida

$K_{nf}$  = Konduktivitas termal efektif nanofluida ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )

Hasil percobaan diperoleh dari penelitian yang dibandingkan dengan prediksi adanya korelasi untuk aliran laminar fluida fasa tunggal dalam pipa dibawah kondisi batas temperatur dinding yang konstan. Pada persamaan ini peningkatan perpindahan kalor konveksi nanofluida tergantung pada peningkatan konduktivitas termal:

$$\overline{Nu_{nf}}(th) = 1.86 \left( Re_{nf} \cdot Pr_{nf} \cdot \frac{D}{L} \right)^{1/3} \left( \frac{\mu_{nf}}{\mu_{wnf}} \right)^{0.24} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan rumus :

$\overline{Nu_{nf}}(th)$  = Bilangan Nusselt nanofluida yang dihitung dalam bentuk persamaan

Seider-Tate

$Re_{nf}$  = Bilangan Reynold nanofluida

$Pr_{nf}$  = Bilangan Prandtl nanofluida

$\mu_{nf}$  = Viskositas nanofluida (Pa s)

$\mu_{wnf}$  = Viskositas nanofluida pada temperatur dinding pipa (Pa s)

D = Diameter pipa (m)

L = Panjang pipa (m)

Pada persamaan (3) Bilangan Reynold dan Bilangan Prandtl nanofluida dapat dihitung dengan:

$$Re_{nf} = \frac{\rho_{nf} \cdot \bar{U} \cdot D}{\mu_{nf}} \dots\dots\dots (4)$$

$$Pr_{nf} = \frac{Cp_{nf} \cdot \mu_{nf}}{K_{nf}} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan rumus :

$Re_{nf}$  = Bilangan Reynold nanofluida

$Pr_{nf}$  = Bilangan Prandtl nanofluida

$\mu_{nf}$  = Viskositas nanofluida (Pa s)

$k_{nf}$  = Konduktivitas termal efektif nanofluida ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )

$C_{p,nf}$  = Kalor spesifik nanofluida ( $kJ/kg^{-1}K^{-1}$ )

Sifat fisik yang digunakan untuk nanofluida dihitung dari air dan sifat-sifat nanopartikel pada temperatur bulk rata-rata menggunakan korelasi untuk densitas, viskositas, panas spesifik dan konduktivitas panas:

$$\rho_{nf} = v \cdot \rho_s + (1 - v) \cdot \rho_w \dots\dots\dots (6)$$

$$\mu_{nf} = \mu_w \cdot (1 + 2.5v) \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan Rumus :

$\rho_{nf}$  = densitas nanofluida ( $kgm^{-3}$ )

V = Fraksi volume nanofluida

$\rho_s$  = Densitas nanopartikel ( $kg m^{-3}$ )

$\rho_w$  = Densitas air ( $kg\ m^{-3}$ )

$\mu_{nf}$  = Viskositas nanofluida ( $Pa\ s$ )

$\mu_w$  = Viskositas air ( $Pa\ s$ )

$V$  = Fraksi volume nanofluida

Persamaan (7) dapat digunakan pada partikel speris dengan fraksi volume kurang dari 5%

$$Cp_{nf} = \frac{v(\rho_s.Cp_s) + (1-v)(\rho_w.Cp_w)}{\rho_{nf}} \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan rumus :

$Cp_{nf}$  = Kalor spesifik nanofluida ( $kJ/kg^{-1}K^{-1}$ )

$V$  = Fraksi volume nanofluida

$\rho_s$  = Densitas nanopartikel ( $kg\ m^{-3}$ )

$Cp_s$  = Kalor spesifik nanopartikel ( $kJ/kg^{-1}K^{-1}$ )

$\rho_w$  = Densitas air ( $kg\ m^{-3}$ )

$Cp_w$  = Kalor spesifik air ( $kJ/kg^{-1}K^{-1}$ )

$\rho_{nf}$  = densitas nanofluida ( $kgm^{-3}$ )

Korelasi Yu dan Choi (Yu and Choi, 2003) digunakan untuk menentukan konduktivitas termal nanofluida:

$$K_{nf} = \left[ \frac{K_s + 2K_w + 2(K_s - K_w)(1 + \beta)^3 v}{K_s + 2K_w - (K_s - K_w)(1 + \beta)^3 v} \right] K_w \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan rumus :

$k_{nf}$  = Konduktivitas termal efektif nanofluida ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )

$k_s$  = Konduktivitas termal nanopartikel ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )

$k_w$  = Konduktivitas termal air ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )

Pada persamaan (9)  $\beta$  adalah rasio ketebalan nanolayer dengan jari-jari partikel dan  $\beta = 0,1$  digunakan untuk menghitung konduktivitas termal nanofluida (Heris, Esfahany and Etemad, 2007).

### 2.6.2 Model teoritis prediksi 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 2.2 (Singh, 2008).

**Tabel 2.4** Model konduktivitas termal dasar (Singh,2008)

Ekspresi	Remarks
$\frac{K_{eff}}{K_m} = 1 + \frac{3(\alpha - 1)\phi}{(\alpha + 2) - (\alpha - 1)\phi}$	Model Maxwell
$\frac{K_{eff}}{K_m} = \frac{\alpha + (n - 1) - (n - 1)(1 - \alpha)\phi}{\alpha + (n - 1) + (1 - \alpha)\phi}$	Model Hamilton-Crosser
$\frac{K_{eff}}{K_m} = 1 + \frac{3(\alpha - 1)\phi}{(\alpha + 2) - (\alpha - 1)\phi} [\phi + f(\alpha)\phi^2 + g(\phi)\phi^3]$	Model Davis
$\frac{K_{eff}}{K_m} = \frac{(\alpha(1 + 2\beta) + 2) + 2\phi(\alpha(1 - \beta) - 1)}{(\alpha(1 + 2\beta) + 2) - \phi(\alpha(1 - \beta) - 1)}$	$\beta = R_K K_m / R_2$ $R_K$ adalah hambatan Kapitza
$K_{eff} = K_m + (1 - \phi) + K_2\phi + \phi h\delta_\tau$	Model Jang & Choi
$K_{eff}/K_m = [1 + AR e^m Pr^{0.333} \phi [2(1 - \nu)/(2 + \nu)]]$	Model Prasher

Keterangan tabel 2.4 diatas adalah

1.  $K_{eff}$  adalah konduktivitas termal campuran fluida padatan,  $\alpha = K_2/K_m$ ,  $K_m$
2.  $K_2$  adalah konduktivitas termal fluida dasar dan partikel,
3.  $n$  dan  $v$  adalah faktor bentuk partikel dan fraksi volume,
4.  $h$  adalah koefisien perpindahan panas dan
5.  $\delta_\tau$  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 yang inovatif 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 kedalam fluida untuk membentuk lumpur. 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  $\mu\text{m}$  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). Partikel-partikel dengan ukuran diameter  $<100$  nm menampilkan sifat-sifat yang berbeda dengan padatan konvensional. Dibandingkan dengan partikel berukuran mikron, serbuk fasa nano mempunyai area permukaan yang 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. Choi (1995) adalah orang yang pertama kali menggunakan nama nanofluida untuk menunjukkan fluida yang tersuspensi nanopartikel. 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).

## 2.7 Dasar-dasar pendingin secara umum

Pendingin dengan *ultrahigh-performance* adalah salah satu kebutuhan yang sangat vital bagi teknologi industri. Konduktivitas termal yang rendah adalah batasan yang utama dalam pengembangan energi efisiensi perpindahan panas fluida yang diinginkan untuk pendingin dengan *Utrahigh-performance*. Nanoteknologi modern dapat memproduksi partikel logam dan nonlogam dengan dimensi nanometer. Nanomaterial mempunyai properti termal yang unik. Nanofluida dibuat dengan mensuspensi nanopartikel-nanopartikel dengan ukuran rata-rata dibawah 100 nm dalam perpindahan kalor fluida konvensional seperti air, minyak dan etilen glikol. Tujuan dari nanofluida adalah untuk memperoleh properti termal yang mungkin paling tinggi dengan konsentrasi yang mungkin paling rendah (<1% volume) dengan dispersi seragam dan suspensi nanopartikel yang stabil (< 10 nm) dalam fluida dasarnya. Untuk meraih tujuan ini, sangat penting untuk memahami bagaimana nanopartikel meningkatkan perpindahan energi dalam liquid. (Das et al, 2008).

### 2.7.1 Tantangan pendingin

Pendingin sangat diperlukan untuk memelihara kinerja dan kemampuan variasi produk secara umum seperti komputer, tenaga elektronik, mesin mobil dan laser bertenaga tinggi atau sinar X. Dengan peningkatan yang tidak terduga dalam muatan panas (dalam beberapa kasus mencapai 25 kW) dan flux panas (dalam beberapa kasus mencapai 2000 W/cm<sup>2</sup>) disebabkan oleh lebih banyak energi atau ukuran yang lebih kecil untuk suatu produk, pendingin adalah salah satu tantangan teknis suatu industri dengan teknologi tinggi, seperti mikroelektronik, transportasi, pabrik, metrologi dan lain-lain. Sebagai contoh, industri elektronik menyediakan komputer dengan kecepatan tinggi, ukuran yang



lebih kecil dan fitur yang lebih luas, dapat menyebabkan meningkatnya muatan kalor, fluks kalor dan lokasi *hot spot* pada chip. Udara pendingin adalah metode dasar untuk sistem pendingin elektronik. Teknologi nanofluida menawarkan potensi yang tinggi untuk pembangunan *high-performance, compact*, biaya efektif sistem pendingin liquid (Das et al, 2008)

### **2.7.2 Metode konvensional untuk meningkatkan perpindahan panas.**

Cara konvensional untuk meningkatkan perpindahan panas pada sistem termal adalah dengan meningkatkan luas permukaan perpindahan kalor dari peralatan pendingin dan kecepatan aliran atau mendispersi partikel padatan dalam fluida perpindahan kalor. Pendekatan baru untuk meningkatkan perpindahan kalor adalah dengan menemukan tantangan pendingin diperlukan karena peningkatan dibutuhkan untuk perpindahan kalor fluida yang lebih efisien dalam banyak industri-industri, seperti elektronik, transportasi, suplai energi bagi industri-industri (Das et al, 2008).

## **2.8 Aplikasi nanofluida**

Konduktivitas termal yang sangat tinggi dan kestabilan yang ekstrim selalu diinginkan untuk perpindahan kalor fluida dengan partikel. Teknologi nanofluida dapat membuat proses perpindahan kalor menjadi lebih efisien dalam penggunaan energi dan biaya. Nanofluida dapat diaplikasikan dalam industri secara luas. Nanopartikel berukuran relatif lebih kecil daripada diameter aliran *microchannel* dapat memberikan solusi untuk permintaan pendingin dengan kinerja tinggi. Nanofluida dapat mengalir pada *microchannel* tanpa mengalami penyumbatan sehingga dapat dikatakan bahwa nanofluida adalah pendingin yang baik. Hal ini dapat meningkatkan proses pendinginan pada *Microelectro Mechanical Systems* (MEMS) dibawah kondisi flux kalor yang ekstrim.

Fluida mesin pendingin (etilen glikol/campuran air) oli mesin, fluida transmisi otomatis dan fluida perpindahan kalor sintetik lain umumnya memiliki kemampuan perpindahan kalor yang kecil. Hal itu menguntungkan untuk konduktivitas termal yang tinggi yang ditawarkan oleh nanofluida. Nanofluida dapat digunakan sebagai fluida pendingin logam kerja untuk mengecilkan ukuran partikel dan komponen pembersih. Sistem energi matahari mendapat keuntungan

dari nanofluida untuk meningkatkan perpindahan panas dari kumpulan matahari ke tangki penyimpanan. Nanofluida juga meningkatkan kemampuan perpindahan kalor dari sistem refrigerasi. Aplikasi potensial yang lain termasuk pendingin reaktor nuklir cahaya air, sistem keamanan cadangan, kolam penyimpanan bahan bakar dan lain-lain.

Nanofluida juga dapat digunakan pada bidang lain selain industri perpindahan kalor. Sebagai contoh, dalam lapangan biomedis nanopartikel magnetik didispersi kedalam darah, menunjukkan secara magnetik kanker tumor, kemudian menggunakan laser atau lapangan 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 menggunakan petunjuk magnetik nanopartikel dalam aliran darah. (Singh, 2008).

Nanofluida memiliki potensi untuk digunakan sebagai fluida pendingin karena nanopartikel tidak bersifat abrasif dan tidak menyumbat komponen-komponen mesin. Nanofluida dapat digunakan sebagai alternatif pendingin, pelumas pada otomotif dan pendingin untuk barang-barang elektronik (Botha,2007).

Nanofluida dapat digunakan untuk meningkatkan perpindahan kalor dan efisiensi energi dalam berbagai sistem termal. Oleh karena itu, nanofluida dapat digunakan pada:

1. Transportasi

Campuran etilen glikol dan air secara umum digunakan sebagai pendingin otomotif, tetapi campuran ini mempunyai perpindahan kalor yang kecil bila dibandingkan dengan fluida pendingin yang hanya menggunakan air saja. Penambahan nanopartikel pada pendingin mesin memiliki potensi untuk meningkatkan laju pendinginan otomotif. Peningkatan laju pendinginan dapat digunakan untuk mengurangi panas pada mesin dengan mengurangi ukuran sistem pendingin.

2. Pendingin barang-barang elektronik

Nanofluida telah dipertimbangkan sebagai fluida kerja untuk saluran panas pada pendingin barang-barang elektronik. Tsai dkk (2004) menggunakan

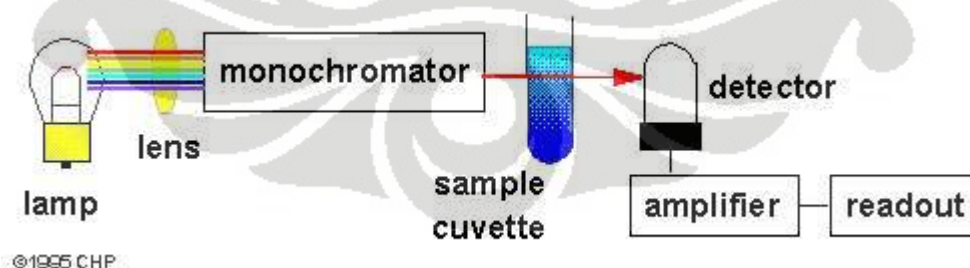
air sebagai fluida dasar pada desain sirkulasi saluran panas sebagai penyebar panas yang digunakan dalam CPU pada *notebook* atau desktop PC (Wang and Mujumdar, 2008).

## 2.9 Spektroskopi UV-Vis

Spektroskopi UV-vis adalah pengukuran panjang gelombang dan intensitas penyerapan dari dekat-ultraviolet dan cahaya tampak oleh sampel. Ultraviolet dan cahaya terlihat cukup energik untuk mempromosikan elektron keluar tingkat energi yang lebih tinggi. Spektroskopi UV-vis biasanya diterapkan pada molekul dan ion anorganik atau kompleks dalam larutan. Sampel tetapi sangat berguna untuk pengukuran kuantitatif. Konsentrasi yang analitis dalam larutan dapat ditentukan dengan mengukur absorbansi pada suatu panjang gelombang dan menerapkan Hukum Beer-Lambert.

### 2.9.1 Instrumentasi

Sumber cahaya biasanya merupakan hidrogen atau lampu deuterium untuk pengukuran ultraviolet dan lampu tungsten untuk pengukuran terang. Panjang gelombang sumber cahaya kontinu ini dipilih dengan panjang gelombang pemisah seperti prisma atau kisi-kisi *monochromator*. Spektra diperoleh dengan pemindaian panjang gelombang pemisah dan pengukuran kuantitatif dapat dibuat dari spektrum atau pada satu panjang gelombang.



Gambar 2.2. Skema diagram dari satu berkas spektrofotometer UV

### 2.9.2 Absorbansi

Spektrometer serapan bekerja dengan cara melewatkan serangkaian panjang gelombang sinar pada suatu larutan (sel sampel) dan wadah lain yang

identik yang hanya berisi pelarut (sel pembanding/*referens*). Untuk tiap panjang gelombang sinar yang melewati spektrometer, intensitas sinar yang melewati sel pembanding dihitung biasanya disebut sebagai  $I_0$  dengan  $I$  adalah intensitas. Intensitas sinar yang melewati sel sampel juga dihitung untuk panjang gelombang yang sama disebut dengan  $I$ .

Jika  $I$  lebih kecil dari  $I_0$ , berarti sampel menyerap sejumlah sinar. Selanjutnya perhitungan sederhana dilakukan oleh komputer untuk mengubahnya menjadi absorbansi dengan  $I$  adalah intensitas. Intensitas sinar yang melewati sel sampel juga dihitung untuk panjang gelombang yang sama disebut dengan  $A$ . Hubungan antara  $A$  (absorbansi) dan kedua intensitas adalah:

$$\log_{10} \frac{I_0}{I} = \epsilon lc$$

$$A = \epsilon lc$$

Keterangan rumus:

$I_0$  = Intensitas sel pembanding

$I$  = Intensitas

$\epsilon$  = Absorpsivitas molar

$l$  = Panjang larutan (cm)

$c$  = Konsentrasi larutan ( $\text{mol/dm}^{-3}$ )

Berdasarkan hubungan diatas, absorbansi dapat diperoleh dengan kisaran dari 0 hingga 1, tetapi dapat juga diperoleh nilai absorbansi lebih tinggi dari 1. Nilai absorbansi 0 pada suatu panjang gelombang berarti tidak ada sinar dengan panjang gelombang tertentu yang diserap. Intensitas berkas sampel dan pembanding sama, jadi perbandingan  $I_0/I$  adalah 1.  $\log_{10}$  dari satu adalah nol. Huruf Yunani epsilon dalam persamaan ini disebut absorptivitas molar atau kadang-kadang disebut dengan koefisien absorpsi molar.

Absorbansi larutan akan bervariasi berdasarkan konsentrasi atau ukuran wadah. Absorptivitas molar diperoleh dari pembagian absorbansi dengan konsentrasi dan panjang larutan yang dilalui sinar. Pada dasarnya, ini memberikan nilai absorbansi standar, sinar berjalan sepanjang 1 cm melewati larutan 1  $\text{mol dm}^{-3}$ . Hal ini artinya bahwa anda dapat membandingkan antara satu senyawa

dengan senyawa lainnya tanpa mengkhawatirkan pengaruh konsentrasi dan panjang larutan. Absorbansi 1 terjadi ketika 90 % sinar pada suatu panjang gelombang diserap dan 10 % lainnya tidak diserap. Dalam hal ini,  $I_0/I$  adalah  $100/I_0$  ( $=10$ ) dan  $\log_{10}$  of 10 adalah 1.

### 2.9.3 Faktor-faktor penting dalam absorbansi

#### 1. konsentrasi

Bagian sinar yang diserap akan tergantung pada berapa banyak molekul yang berinteraksi dengan sinar. Apabila kita memiliki zat warna organik berupa larutan pekat, maka akan diperoleh absorbansi yang sangat tinggi karena ada banyak molekul yang berinteraksi dengan sinar. Akan tetapi, dalam larutan yang sangat encer, sangat sulit untuk melihat warnanya, sehingga absorbansinya sangat rendah.

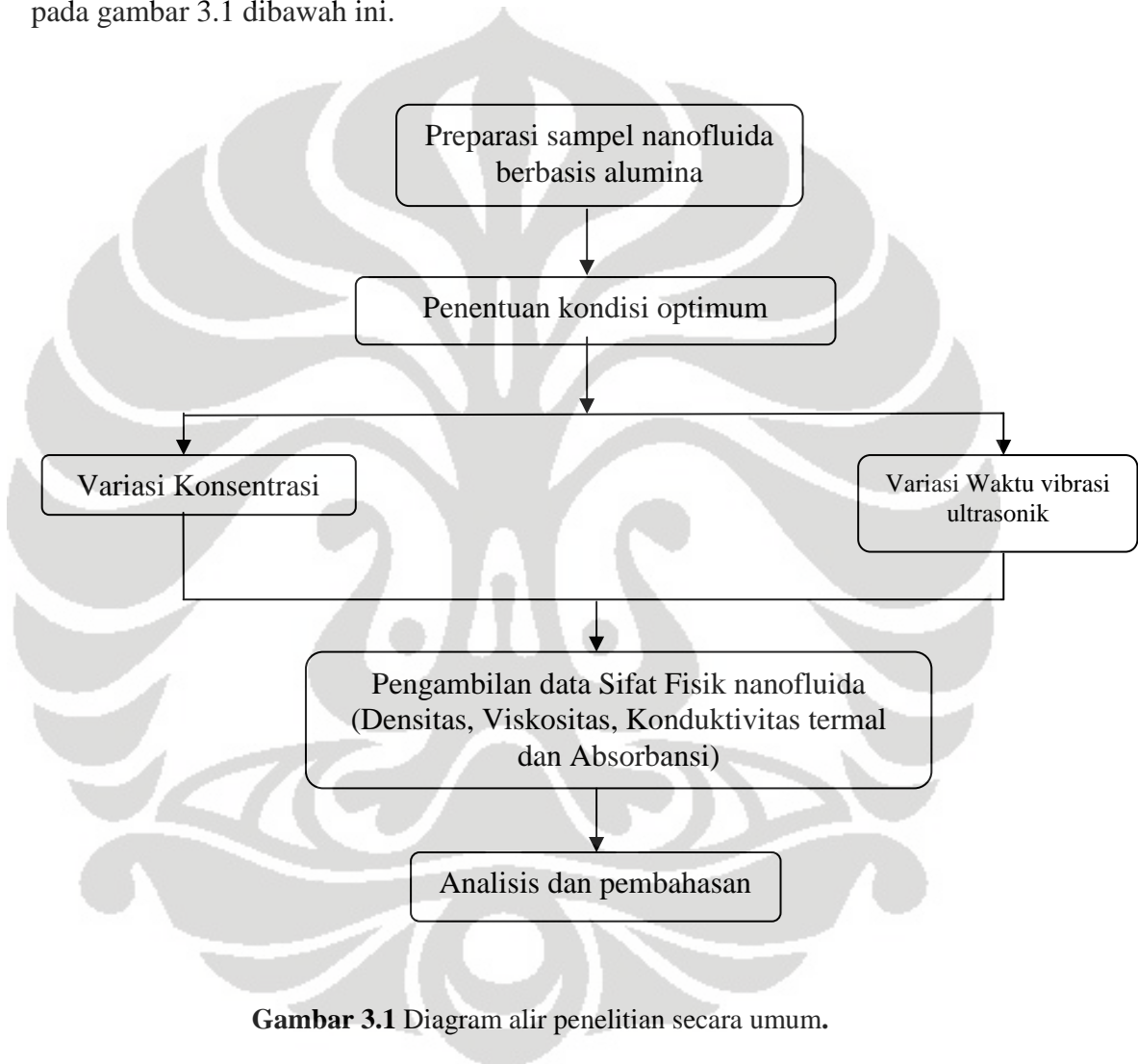
#### 2. bentuk wadah

Bila kita memiliki larutan zat warna yang sangat encer dalam wadah yang berbentuk tabung sedemikian sehingga yang dilewati sinar panjangnya 1cm. Absorbansi tidak akan terlalu tinggi. Selain itu, bila melewatkan sinar melalui tabung sepanjang 100 cm yang berisi larutan yang sama. Sinar akan lebih banyak diserap karena sinar berinteraksi dengan lebih banyak molekul. Berdasarkan pengamatan tadi dapat disimpulkan bahwa bentuk wadah yang digunakan juga sangat penting dalam pengukuran absorbansi. Konsentrasi dan panjang larutan menjadi pertimbangan dalam hukum Beer-Lambert.

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram alir penelitian

Diagram alir penelitian rekayasa nanofluida berbasis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (alumina) sebagai media pendingin pada sistem penukar kalor secara umum dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah ini.



**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian secara umum.

Rekayasa nanofluida berbasis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (alumina) ini dilakukan untuk meningkatkan konduktivitas termal dan karakteristik perpindahan kalor fluida kerja, yaitu densitas, viskositas dan absorbansi.

### 3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (alumina)
- Aquades

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- Gelas Beaker 100 ml 10 buah
- Alat ultrasonik, yaitu alat yang digunakan untuk melakukan vibrasi terhadap nanofluida agar nanofluida tersebut tidak terjadi pengendapan dengan cepat. Adapun gambar *ultrasonic processor* dapat dilihat pada gambar 3.2 dibawah ini.



**Gambar 3.2** Ultrasonik Processor

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%

(UP-800 *Ultrasonic Processor Users Manual*).

- Pengaduk (*stirrer*), yaitu alat yang digunakan untuk mengaduk nanopartikel dan fluida dasar. Gambar alat *magnetic stirrer* dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut



**Gambar 3.3** *Magnetic Stirrer*

- Timbangan dan piring timbangan
- Piknometer, yaitu alat yang digunakan untuk mengukur densitas suatu fluida. Adapun piknometer dapat dilihat pada gambar 3.4 dibawah ini



**Gambar 3.4** Piknometer

- Viskometer Ostwald, yaitu alat yang digunakan untuk mengukur viskositas suatu fluida. Adapun viskometer Ostwald dapat dilihat pada gambar 3.4 dibawah ini



**Gambar 3.5** Viskometer Ostwald

- KD2 thermal properties analyzer adalah suatu alat yang digunakan untuk mengukur properti termal. Alat ini terdiri atas monitor dan jarum sensor



yang dapat dimasukkan kedalam suatu medium yang akan diukur. Pembacaan dimulai dengan menekan tombol sebelah kiri pada monitor. Kontroler menunggu selama 30 detik untuk melakukan pengukuran temperatur sampai stabil, kemudian pengukuran panas selama 30 detik. Kemudian, memonitor laju pendinginan selama 30 detik. Pada akhir pembacaan, kontroler menghitung konduktivitas termal berdasarkan pada pengukuran yang dilakukan selama periode pemeriksaan pemanasan dan pendinginan. Data ini digunakan untuk menghitung konduktivitas termal dan hambatan termal.

#### Spesifikasi 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

Adapun KD2 Thermal Properties Analyzer dapat dilihat pada gambar 3.6 dibawah ini



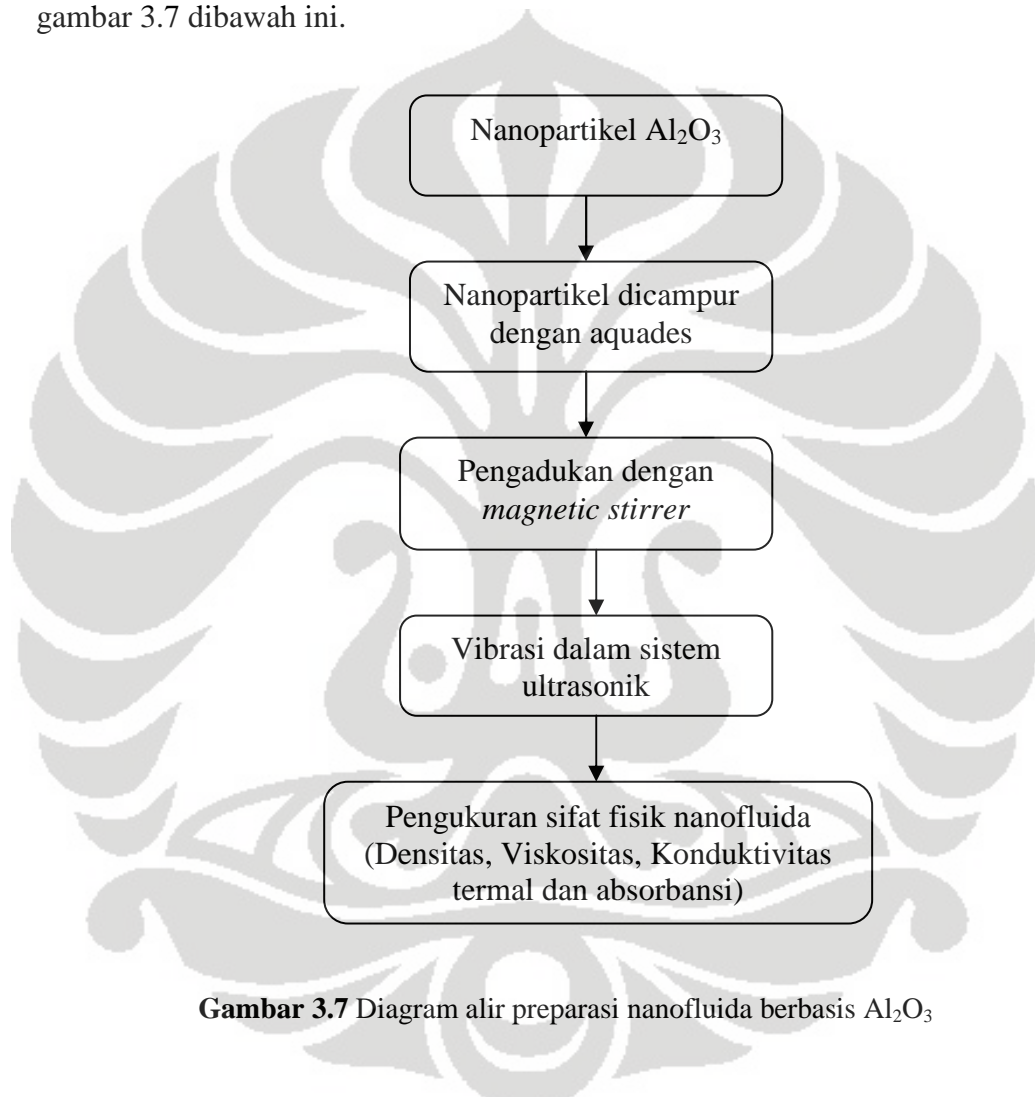
**Gambar 3.6** KD2 Thermal Properties Analyzer  
( KD2 Thermal Properties Analyzer Users Manual)

- UV-Vis, yaitu alat yang digunakan untuk mengukur absorbansi nanofluida sehingga dapat diketahui waktu pengendapan yang lebih akurat.

### 3.3. Prosedur Percobaan

#### 3.3.1 Preparasi nanofluida berbasis alumina

Preparasi nanofluida berbasis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.7 dibawah ini.



**Gambar 3.7** Diagram alir preparasi nanofluida berbasis  $\text{Al}_2\text{O}_3$

#### 3.3.2 Prosedur percobaan pengukuran konduktivitas termal nanofluida alumina dengan variasi konsentrasi

- Nanopartikel berbasis alumina dengan diameter 13 nm di campur dengan aquades dalam *beaker glass* 100 ml dengan memvariasikan konsentrasi nanofluida ( 0,5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6% dan 8%)

- Campuran nanopartikel dan aquades lalu diaduk selama 5 menit dalam *magnetic stirrer* dengan memvariasikan waktu vibrasi ultrasonik nanofluida.
- Nanofluida divibrasi dengan menggunakan ultrasonik, waktu vibrasi di alat ultrasonik selama 10 menit
- Dilakukan pengambilan data untuk mengukur viskositas, densitas dan konduktivitas termal masing-masing nanofluida.
- Nanofluida tersebut di ukur absorbansinya dengan menggunakan alat UV-Vis untuk mengetahui waktu pengendapan yang lebih akurat.

### **3.3.3 Prosedur percobaan pengukuran konduktivitas termal nanofluida alumina dengan variasi waktu vibrasi ultrasonik**

- Nanopartikel berbasis alumina dengan diameter 13 nm di campur dengan aquades dalam *beaker glass* 100 ml dengan konsentrasi nanofluida alumina 4%.
- Campuran nanopartikel dan aquades lalu diaduk selama 5 menit dalam *magnetic stirrer*.
- Nanofluida divibrasi dengan menggunakan ultrasonik, waktu vibrasi di alat ultrasonik selama dengan variasi waktu ultrasonik 0, 5, 10, 15 dan 30 menit.
- Dilakukan pengambilan data untuk mengukur viskositas, densitas dan konduktivitas termal masing-masing nanofluida.
- Nanofluida tersebut di ukur absorbansinya dengan menggunakan alat UV-Vis untuk mengetahui waktu pengendapan yang lebih akurat.

### **3.3.4 Prosedur percobaan pengukuran densitas nanofluida alumina**

- Piknometer dicuci dengan aquades setelah itu dikeringkan
- Piknometer kosong ditimbang dalam timbangan analitis
- Nanofluida alumina dituangkan kedalam piknometer
- Berat piknometer dan nanofluida alumina ditimbang dalam timbangan analitis

- Selisih antara berat piknometer yang berisi nanofluida alumina dengan piknometer kosong dihitung lalu dibagi dengan volume piknometer

### 3.3.5 Prosedur percobaan pengukuran viskositas nanofluida alumina

- Nanofluida alumina dituangkan ke dalam viskometer Ostwald
- Nanofluida alumina dihisap dengan menggunakan *ball pipet* sampai batas garis atas
- Waktu laju turunnya nanofluida mencatat sampai turun mencapai garis kedua
- Viskositas nanofluida diketahui dengan mengalikan waktu nanofluida dalam viskometer Ostwald dengan koefisien viskositasnya.

### 3.4. Teknik Pengambilan Data

Data-data yang diambil dalam penelitian ini adalah:

- Penghitungan densitas:

Data-data yang diambil untuk penghitungan densitas adalah:

1. Berat piknometer kosong
2. Berat piknometer berisi nanofluida alumina
3. Volume piknometer

- Penghitungan Viskositas

Data-data yang diambil untuk penghitungan viskositas adalah:

1. Waktu ( $t$ ) nanofluida dalam viskometer
2.  $C$  viskometer pada  $T = 27^{\circ}\text{C} = 0,01632$

- Pengukuran konduktivitas termal nanofluida dengan menggunakan *KD2 Thermal properties analyzer*.

### 3.5. Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut :

- Perhitungan densitas nanofluida berbasis  $\text{Al}_2\text{O}_3$

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$= \frac{(\text{berat piknometer berisi nanofluida} - \text{berat piknometer kosong})}{\text{volume piknometer}}$$

- Perhitungan viskositas nanofluida berbasis  $\text{Al}_2\text{O}_3$

$$\mu = c \cdot t$$

Dimana : c pada  $T = 27^\circ\text{C} = 0,01632$

t = waktu nanofluida dalam viskometer

- Variable Penelitian
  - a) Variabel Bebas : Konsentrasi, waktu, pH, volume
  - b) Variable Terikat : Konduktivitas termal
  - c) Variabel Tetap : -

## BAB 4

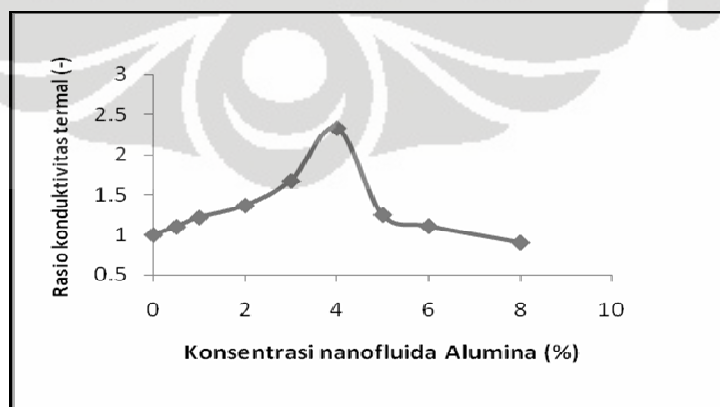
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada proses pembuatan nanofluida dengan menggunakan metode *two-step* ini, aglomerasi yang rendah dan kestabilan nanofluida menjadi hal utama yang harus diperhatikan. Untuk memproduksi suspensi yang memiliki kestabilan yang baik, beberapa teknik digunakan seperti penggunaan alat ultrasonik untuk memecah agregat yang terbentuk pada nanopartikel, mengontrol pH atau dengan penambahan stabilizer pada nanofluida.

#### 4.1 Pengaruh pengukuran konduktivitas termal nanofluida alumina dengan variasi konsentrasi nanofluida

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui konduktivitas termal nanofluida alumina dengan cara memvariasikan konsentrasi nanofluida serta mengukur nilai konduktivitas termal nanofluida tersebut. Variasi konsentrasi nanofluida alumina yang digunakan sebesar 0%, 0,5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6% dan 8%. Pada penelitian ini alat yang digunakan untuk mengukur konduktivitas termal nanofluida adalah KD2 *Thermal analyzer*.

Pada penelitian ini dapat diketahui rasio konduktivitas termal nanofluida alumina. Rasio konduktivitas termal nanofluida adalah perbandingan antara konduktivitas termal nanofluida terhadap nilai konduktivitas termal fluida dasarnya. Pengaruh konsentrasi nanofluida alumina terhadap rasio konduktivitas termal dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut



**Gambar 4.1** Hubungan rasio konduktivitas termal nanofluida terhadap berbagai variasi konsentrasi nanofluida

Dari gambar 4.1 diatas dapat dilihat bahwa rasio konduktivitas termal meningkat dengan semakin meningkatnya konsentrasi nanofluida sampai dengan konsentrasi nanofluida 4% dan konduktivitas termal nanofluida turun drastis pada konsentrasi 5%, 6% dan 8%. Hal ini disebabkan nanopartikel memiliki nilai konduktivitas termal yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan konduktivitas termal fluida dasarnya. Sehingga dengan penambahan nanopartikel kedalam fluida dasar dapat meningkatkan konduktivitas termal fluida.

Peningkatan konduktivitas termal nanofluida sampai dengan konsentrasi 4% sesuai dengan hasil penelitian-penelitian sebelumnya bahwa dengan semakin tingginya konsentrasi maka semakin meningkat pula nilai konduktivitas termal nanofluida tersebut. Selain itu peningkatan nilai konduktivitas termal nanofluida disebabkan oleh agregat yang terbentuk oleh nanopartikel masih dapat dipecah ukurannya menjadi ukuran nano pada saat divibrasi dengan menggunakan alat ultrasonik. Namun demikian kemampuan alat ultrasonik pada penelitian ini diperkirakan terbatas sehingga pada konsentrasi nanofluida yang lebih tinggi dari 4%, yaitu 5%, 6% dan 8%, nilai konduktivitas termal nanofluida menurun karena karena kemungkinan agregat yang terbentuk tidak bisa dipisah oleh alat ultrasonik. Nanopartikel dengan jumlah yang sangat banyak membentuk agregat dan dalam proses pemecahan agregat tersebut alat ultrasonik mengalami kesulitan untuk memecah agregat sehingga nilai konduktivitas termalnya pun menurun. Tetapi walaupun terjadi agregasi nanopartikel yang sangat besar, kestabilan nanofluida masih sangat baik, yaitu nanofluida dapat bertahan berhari-hari tanpa terlihat terbentuknya sedimentasi.

Berdasarkan hasil peneliti-peneliti sebelumnya, diketahui bahwa nanofluida meningkatkan nilai konduktivitas termal fluida dasarnya. Hal ini karena nanopartikel yang tercampur pada fluida dasar meningkatkan luas permukaan dan kapasitas kalor dari fluida, sehingga efektifitas konduktivitas termal fluida meningkat. Partikel-partikel yang berukuran nanometer ini menyebabkan meningkatnya interaksi dan tumbukan antar partikel, fluida dan permukaan yang dilaluinya. Partikel nano ini mengalami gerak Brownian

sehingga ketika fluida dalam keadaan diam, nanopartikel ini terdistribusi merata dengan gaya apung (*bouyancy*) sehingga tidak terjadi sedimentasi (Putra, 2003).

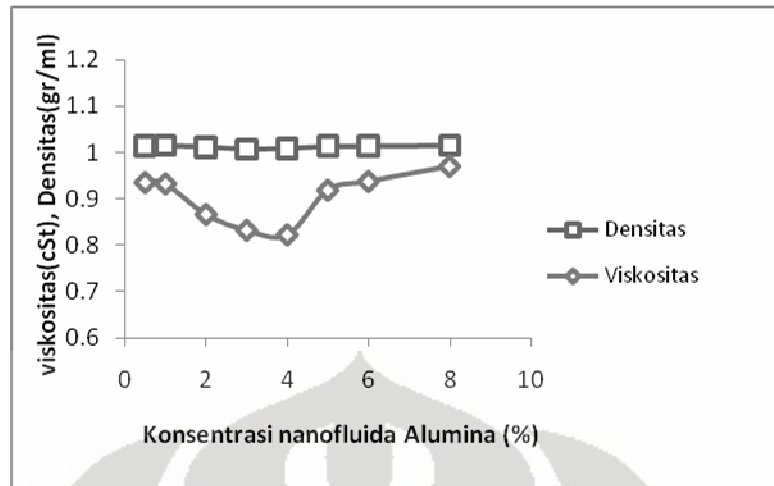
Nanofluida yang diproduksi dengan metode *two-step* memiliki kemungkinan untuk terbentuknya agregat dan agregat tersebut tidak sepenuhnya dapat dipecah, jadi nanopartikel-nanopartikel itu hanya terdispersi sebagian. Nanofluida dengan ukuran nanopartikel yang lebih kecil menunjukkan peningkatan konduktivitas termal dengan kenaikan temperatur dibandingkan dibandingkan nanofluida dari nanopartikel dengan ukuran yang lebih besar. Hal ini mungkin disebabkan partikel dengan ukuran yang lebih kecil lebih mudah untuk bergerak.

Pada penelitian ini peningkatan nilai konduktivitas termal nanofluida kemungkinan disebabkan oleh kenaikan luas permukaan partikel per unit volume nanofluida.

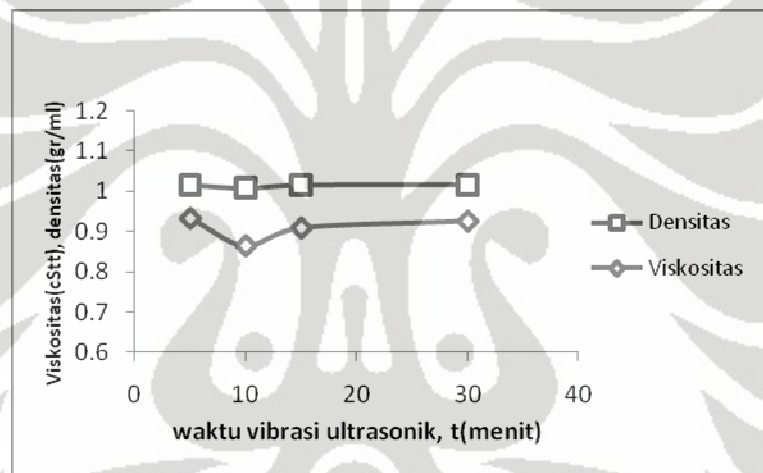
#### **4.2 Pengaruh variasi konsentrasi nanofluida terhadap densitas dan viskositas nanofluida**

Pada penelitian ini, dilakukan juga pengukuran densitas dan viskositas nanofluida alumina. Penghitungan densitas nanofluida bertujuan untuk mendapatkan perbandingan antara nanopartikel alumina dengan aquades dengan sempurna. Viskositas merupakan parameter yang penting untuk aliran fluida. Pada sintesis nanofluida alumina dilakukan penghitungan viskositas nanofluida. Penambahan nanopartikel kedalam fluida dasar dapat meningkatkan viskositas suatu fluida. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh grafik hubungan antara densitas dan viskositas nanofluida dengan variasi konsentrasi nanofluida alumina serta grafik hubungan antara viskositas dan densitas dengan variasi waktu vibrasi ultrasonik nanofluida alumina.





**Gambar 4.2** Grafik hubungan variasi konsentrasi nanofluida terhadap viskositas dan densitas nanofluida alumina



**Gambar 4.3** Grafik hubungan variasi waktu vibrasi ultrasonik nanofluida terhadap densitas dan viskositas nanofluida alumina

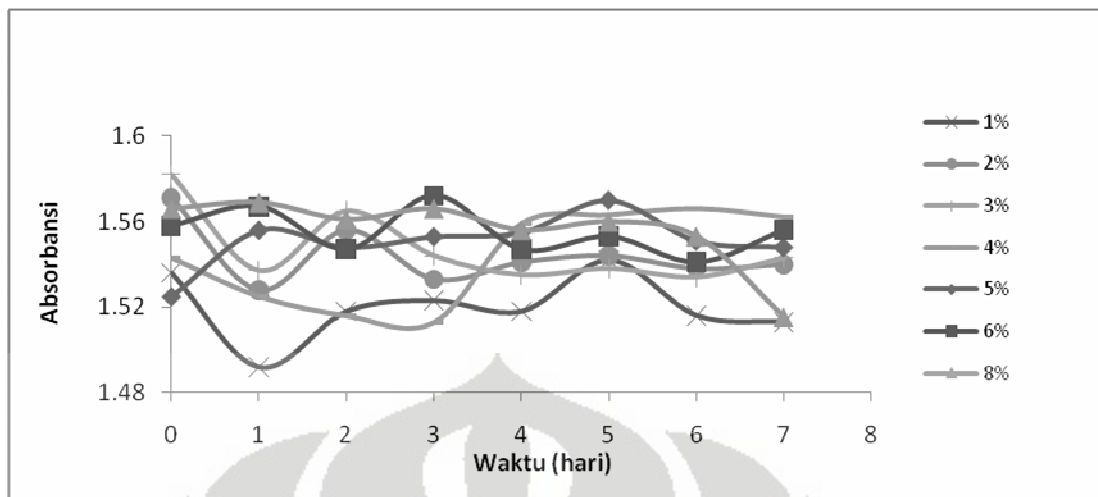
Dari gambar 4.2 diatas, dapat dilihat bahwa densitas nanofluida pada konsentrasi 0,5% sampai dengan 8% memiliki nilai densitas yang relatif sama yaitu sekitar 1,01 gr/ml. Pada viskositas nanofluida alumina pada konsentrasi 0,5% dan 1% memiliki nilai yang hampir sama yaitu 0,93 cSt. Setelah 1% sampai dengan 4% viskositas nanofluida alumina mengalami penurunan. Sedangkan dari konsentrasi 4% sampai dengan 8% terjadi peningkatan viskositas.

Pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa densitas nanofluida alumina dengan variasi waktu vibrasi ultrasonik memiliki nilai yang relatif sama yaitu sekitar 1,01 gr/ml untuk setiap waktu vibrasi mulai dari 5, 10, 15 dan 20 menit. Sedangkan

untuk nilai viskositas nanofluida dari waktu vibrasi 5 menit ke 10 menit mengalami penurunan yaitu dari 0,93 cSt menjadi 0,86 cSt. Pada waktu vibrasi ultrasonik dari 10, 15 dan 30 menit mengalami peningkatan, yaitu 0,90 cSt menjadi 0,925 cSt.

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa penambahan nanopartikel kedalam fluida dasar dapat meningkatkan viskositas suatu fluida, sehingga viskositas suatu suspensi nanopartikel lebih besar daripada fluida dasarnya. Pada penelitian ini diperoleh bahwa dengan semakin tingginya konsentrasi nanofluida, maka semakin besar pula viskositas nanofluida. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, diketahui bahwa jenis fluida dasar yang digunakan juga sangat berpengaruh pada viskositas suatu nanofluida ketika konsentrasi nanofluida rendah. Bila konsentrasi menjadi lebih besar, interaksi antara fluida dasar dan partikel padatan menghasilkan efek yang lebih besar pada viskositas nanofluida. Selain fluida dasar, morfologi nanopartikel juga berpengaruh terhadap viskositas suatu nanofluida. Selain konsentrasi, aglomerasi nanopartikel menyebabkan suspensi nanopartikel memiliki nilai viskositas yang lebih besar (Das et al, 2008).

Pada penelitian ini juga dilakukan pengukuran absorbansi nanofluida. Hal ini dilakukan agar kita dapat mengetahui berapa lama nanofluida membentuk endapan. Pengamatan terhadap pembentukan endapan pada nanofluida alumina tidak dapat dilihat dengan menggunakan mata telanjang karena nanofluida alumina berwarna keruh sehingga akan mengalami kesulitan dalam pengamatannya apakah nanofluida tersebut telah membentuk endapan atau belum. Berdasarkan hasil penelitian maka diperoleh hasil absorbansi nanofluida alumina adalah:



**Gambar 4.4** Grafik pengaruh konsentrasi terhadap waktu pengendapan nanofluida alumina

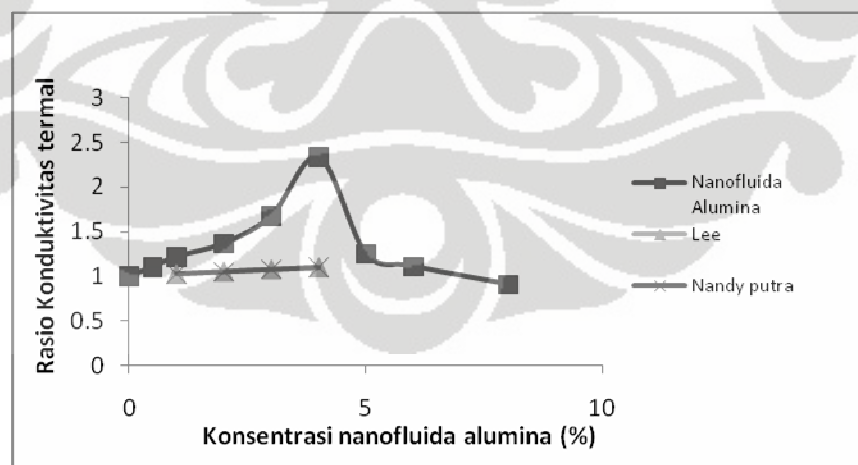
Dari gambar 4.4, dapat dilihat bahwa penurunan absorbansi setiap harinya tidak signifikan, sehingga dapat disimpulkan bahwa pembentukan endapan nanofluida alumina cukup lama pada setiap konsentrasi. Berdasarkan hasil pengamatan yang telah dilakukan diketahui bahwa semakin tinggi konsentrasi nanofluida maka pembentukan endapan nanofluida akan semakin lama. Hal lain yang harus diperhatikan dalam pengamatan pembentukan endapan pada nanofluida alumina adalah pH nanofluida. Nanofluida yang memiliki pH rendah pembentukan endapan pada nanofluida pun semakin lama dan apabila pH nanofluidanya terlalu basa pembentukan endapan pada nanofluida akan semakin cepat. Selain itu nilai pH yang semakin tinggi menyebabkan konduktivitas termal nanofluida akan semakin besar dan begitu pula sebaliknya, semakin kecil nilai pH nanofluida maka konduktivitas termalnya akan semakin besar (Duangthosuk dan Wongwises, 2008).

### **4.3 Perbandingan rasio konduktivitas termal hasil percobaan ini dengan hasil beberapa peneliti sebelumnya**

Pada penelitian yang dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya telah dilakukan pengukuran konduktivitas termal nanofluida dengan menggunakan nanopartikel alumina dan fluida dasar air. Sebagai contoh, (Lee dan Putra, 2003) diperoleh nilai rasio konduktivitas termal nanofluida alumina yang tidak jauh

berbeda. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa nilai rasio konduktivitas termal nanofluida alumina yang diperoleh pada penelitian ini berada jauh diatas para peneliti sebelumnya. Hal ini dapat terjadi karena ukuran partikel yang digunakan oleh peneliti sebelumnya (Lee dan Putra) lebih besar, Lee menggunakan nanopartikel alumina dengan ukuran 38 nm (Lee,1999) sedangkan Putra menggunakan nanopartikel alumina dengan ukuran 38,4 nm (Putra,2003). Pada penelitian ini ukuran nanopartikel yang digunakan adalah 13 nm. Seperti kita ketahui bahwa semakin kecil ukuran nanopartikel yang digunakan maka nilai konduktivitas termal nanofluida akan semakin tinggi. Hal ini dapat terjadi karena nanopartikel memiliki luas permukaan yang jauh lebih besar daripada partikel-partikel dengan ukuran mikrometer. Bahkan luas permukaan nanopartikel 3 kali lebih besar dari pada partikel dengan ukuran mikrometer. Dengan luas permukaan yang lebih besar ini maka interaksi dan tumbukan antar partikel, fluida dan permukaan yang dilaluinya akan semakin meningkat sehingga menyebabkan nanopartikel mengalami gerak Brown, yaitu gerak acak partikel-partikel berukuran nanometer yang menyebabkan konduktivitas termal nanofluida meningkat.

Hubungan antara rasio konduktivitas termal nanofluida alumina antara peneliti dengan berbagai peneliti yang lain dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

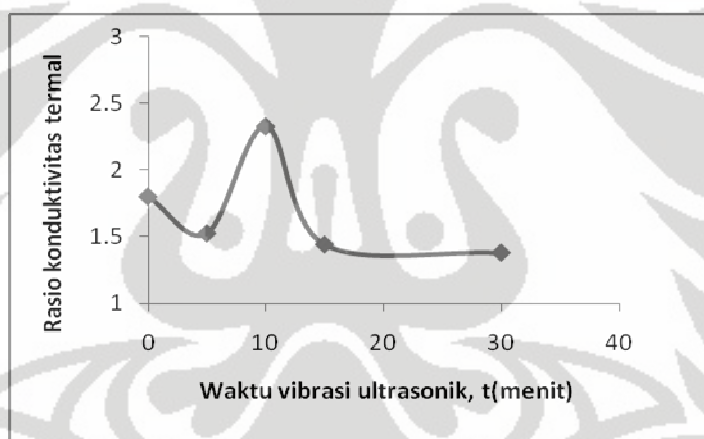


**Gambar 4.5** Grafik perbandingan antara hasil penelitian dengan peneliti lain

#### 4.4 Pengukuran konduktivitas termal nanofluida alumina dengan variasi waktu vibrasi alat ultrasonik nanofluida

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi optimum nanofluida dengan memvariasikan waktu vibrasi ultrasonik nanofluida. Kondisi optimum yang dimaksud adalah nilai konduktivitas termal optimum nanofluida alumina. Variasi waktu vibrasi ultrasonik nanofluida alumina yang digunakan adalah 0, 5, 10, 15 dan 30 menit. Alat yang digunakan untuk vibrasi ultrasonik adalah UP-800 *Ultrasonic Processor*.

Prosedur kerja yang dilakukan untuk pengujian rasio konduktivitas termal nanofluida dengan variasi waktu vibrasi ultrasonik sama dengan pengujian rasio konduktivitas termal nanofluida dengan variasi konsentrasi nanofluida. Hanya saja, waktu vibrasi ultrasoniknya berbeda beda untuk setiap konsentrasi nanofluida alumina. Dari hasil penelitian, diperoleh grafik seperti berikut:



**Gambar 4.6** Grafik Hubungan rasio konduktivitas termal nanofluida terhadap berbagai variasi waktu vibrasi ultrasonik

Berdasarkan gambar 4.6 diatas dapat dilihat bahwa waktu vibrasi ultrasonik yang optimum adalah waktu vibrasi ultrasonik 10 menit. Pada waktu vibrasi ultrasonik 0 menit, yang berarti tidak dilakukan vibrasi ultrasonik, rasio konduktivitas termal nanofluida adalah 1,8. Nilai rasio konduktivitas termal nanofluida alumina tanpa vibrasi ultrasonik ini cukup bagus, tetapi tanpa perlakuan vibrasi ultrasonik nanofluida alumina ini cepat membentuk agregat, sehingga hal ini tidak diharapkan dalam pembuatan nanofluida. Pada waktu vibrasi ultrasonik 5 menit, nilai rasio konduktivitas termal mengalami penurunan.

Hal ini mungkin disebabkan oleh pemecahan agregat nanofluida belum sempurna atau waktu vibrasi ultrasonik terlalu cepat. Pada nanofluida alumina dengan waktu vibrasi ultrasonik 15 dan 30 menit nilai rasio konduktivitas termal mengalami penurunan. Hal ini karena dengan waktu ultrasonik yang terlalu lama, suhu nanofluida dalam *beaker glass* menjadi naik, sehingga fluida dasar yang terdapat dalam *beakerglass* berukuran 100ml berkurang jumlahnya akibat terjadinya penguapan disamping itu penggunaan ultrasonik dengan waktu yang sangat lama akan mengakibatkan suhu nanofluida menjadi tinggi (*overheating*), hal ini mengakibatkan dispersi nanofluida tidak sempurna sehingga pada saat diukur nilai konduktivitasnya menjadi menurun.



## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang didapat dari penelitian rekayasa nanofluida berbasis alumina sebagai media pendingin pada sistem penukar kalor adalah sebagai berikut:

1. Nilai konduktivitas termal nanofluida yang diteliti mencapai nilai optimum pada konsentrasi nanofluida alumina 4% volume yaitu sekitar 2 kali konduktivitas termal fluida dasarnya.
2. Konsentrasi nanofluida berpengaruh pada konduktivitas termal nanofluida, yaitu semakin besar konsentrasi nanofluida maka semakin besar pula nilai konduktivitas termalnya. Pada penelitian ini, konduktivitas termal menurun setelah konsentrasi diatas 4% volume nanofluida alumina, yang kemungkinan diakibatkan keterbatasan kemampuan alat ultrasonik untuk memecahkan agregat nanopartikel yang terbentuk pada konsentrasi tinggi.
3. Pada variasi waktu vibrasi ultrasonik, waktu vibrasi optimum yang diperoleh adalah 10 menit dengan konsentrasi 4% volume nanofluida alumina.
4. Hasil pengukuran absorbansi menunjukkan nanofluida alumina memiliki kestabilan yang baik, yaitu nanofluida alumina tidak mengendap selama lebih dari 5 hari.

#### **5.2 Saran**

Diperlukan penelitian yang lebih detil untuk menyempurnakan penelitian ini terutama menyangkut metode pengukuran konduktivitas termal nanofluida agar dapat diperoleh data yang lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Botha, S. S. 2007. *Synthesis and Characterization of Nanofluids for Cooling Application*. Disertation, University of Western Cape.South Africa.
- Choi, S. U. S. 1995. *Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles*. ASME. 66: 99–105.
- Das, S.K., Choi, S. U. S., Yu. W., & Pradeep, T. 2008. *Nanofluids : Science and Technology*. John Wiley and Son, Inc.
- Duangthongsuk, W., Wongwises, S. 2009. *Measurments Of Temperature-Dependent Thermal And Viscosity Of TiO<sub>2</sub>-Water Nanofluids*. Experimental Thermal and Fluid Science, 33: 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.
- Heris, S.J., Esfahany, M.N., and Etemad, S.Gh. 2006. *Experimental Investigation of Convective Heat Transfer of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Water Nanofluid in Circular Tube*. International Journal of Heat and Fluid Flow. 28: 203-210.
- Putra, N; Tiesen, P; & Roetzel, W. 2003. Temperature Dependence of Thermal Conductivity Enhancement for Nanofluids.ASME. 125: 567-574.
- Singh, A.K. 2008. *Thermal Conductivity of Nanofluids*. Defence Science Journal. 58. 600-607.
- Trisaksri, V and Wongwises, S. 1997. *Review of Heat Transfer Characteristics of Nanofluids*. Thermal Engineering and Multiphase Flow Research Lab. Bangkok, Thailand
- Wang, X.Q., and Mujumdar, A.S. 2008. *A Review on Nanofluids-Part II: Experiment and Aplications* Brazilian Journal of Chemical Engineering. 25: 631-648.



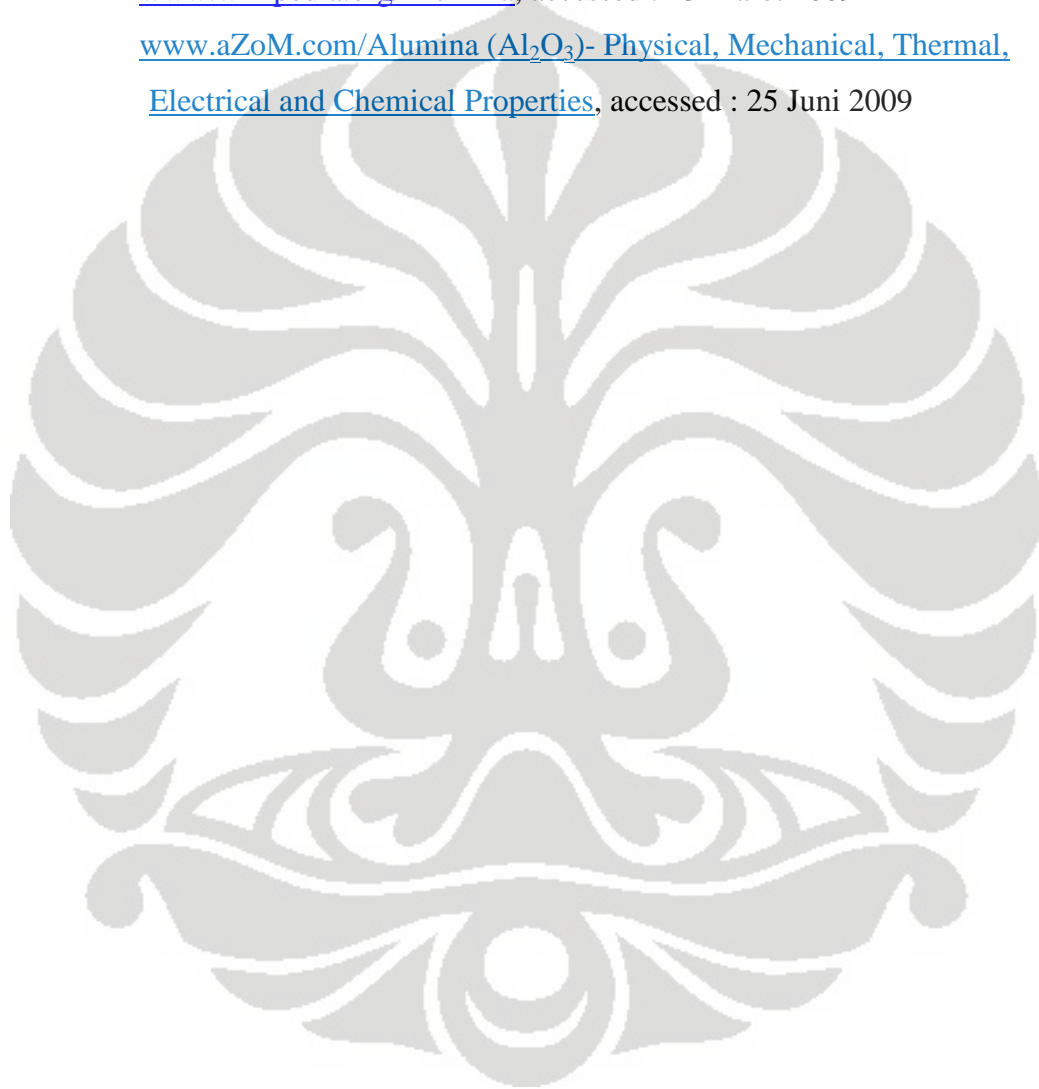
Witharana, S .2003. *Boiling of Refrigerants on Enchanced Surface and Boiling of Nanofluids*. Thesis. The Royal of Institute Technology. Sweden.

Xuan, Y., and Li, Q., 2000. *Heat Transfer Enhancement of Nanofluids*. Int.J. Heat Fluid Flow. 58–64.

[www.kostic.niu.edu](http://www.kostic.niu.edu), accessed : 10 April 2009

[www.wikipedia.org/Alumina](http://www.wikipedia.org/Alumina), accessed : 13 Maret 2009

[www.aZoM.com/Alumina \(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\)- Physical, Mechanical, Thermal, Electrical and Chemical Properties](http://www.aZoM.com/Alumina%20(AI2O3)-Physical%20Mechanical%20Thermal%20Electrical%20and%20Chemical%20Properties), accessed : 25 Juni 2009



## LAMPIRAN

### Lampiran 1

1. Data pengukuran rasio konduktivitas termal nanofluida dengan variasi konsentrasi nanofluida alumina

Konsentrasi (%)	Konduktivitas Termal (W/mc)	Rasio Konduktivitas Termal (-)
0	0.6	1
0.5	0.66	1.1
1	0.73	1.216666667
2	0.82	1.366666667
3	1.005	1.675
4	1.4	2.333333333
5	0.75	1.25
6	0.665	1.108333333
8	0.543	0.905

2. Data pengukuran densitas nanofluida alumina

Konsentrasi (%)	Berat Pikno Kosong (gr)	Berat Pikno + nanofluida (gr)	Vpikno (ml)	Densitas (gr/ml)
0.5	15.5073	25.6395	10	1.01322
1	15.4935	25.6411	10	1.01476
2	15.5067	25.625	10	1.01183
3	15.53205	25.60125	10	1.00692
4	15.5366	25.623	10	1.00864
5	15.52725	25.65895	10	1.01317
6	15.52725	25.66275	10	1.01355
8	15.52725	25.677	10	1.014975

Contoh perhitungan densitas nanofluida :

Penghitungan densitas nanofluida  $\text{Al}_2\text{O}_3$ (alumina) untuk konsentrasi 0,5%

Dik : Berat pikno kosong = 15.5073gr  
Berat pikno + nanofluida  $\text{Al}_2\text{O}_3$ (alumina) = 25.6395gr  
Vpiknometer = 10 ml

Dit :  $\rho$  ?

Jawab :

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{(25,6395 - 15,5073)}{10} = 1,01322$$

3. Data pengukuran viskositas nanofluida alumina

Konsentrasi (%)	t visko (detik)	viskositas (cSt)
0.5	57.315	0.9353808
1	57.15	0.932688
2	53.1	0.866592
3	51	0.83232
4	50.4	0.822528
5	56.3	0.918816
6	57.45	0.937584
8	59.45	0.970224

Contoh perhitungan viskositas untuk konsentrasi nanofluida

Penghitungan viskositas nanofluida alumina

Dik : C pada  $T = 27^{\circ}\text{C} = 0,01632$   
T nanofluida dalam viskometer = 57,315 sekon

Dit :  $\mu$  ?

Jawab :  $\mu = C \times t \text{ air demin} = 0,01632 \times 57,315 = 0,9353 \text{ centistoke}$

4. Data pengukuran rasio konduktivitas termal nanofluida dengan variasi waktu vibrasi ultrasonik nanofluida alumina

t ultrasonik (menit)	Konduktivitas Termal (W/mc)	Rasio Konduktivitas Termal (-)
0	1.08	1.8
5	0.915	1.525
10	1.395	2.325
15	0.865	1.441666667
30	0.828	1.38

5. Data pengukuran densitas dan viskositas nanofluida alumina dengan variasi waktu vibrasi ultrasonik

<b>t ultrasonik (menit)</b>	<b>Densitas (gr/ml)</b>	<b>Viskositas (cSt)</b>
5	1.014715	0.933
10	1.00864	0.8649
15	1.014605	0.9089
30	1.0155	0.9258

6. Data pengukuran absorbansi nanofluida alumina

- Konsentrasi nanofluida alumina 1%

<b>Panjang gel</b>	<b>Hari</b>	<b>Absorbansi</b>
260	0	1.536
	1	1.4917
	2	1.518
	3	1.523
	4	1.518
	5	1.542
	6	1.516
	7	1.513

- Konsentrasi nanofluida alumina 2%

<b>Panjang gel</b>	<b>Hari</b>	<b>Absorbansi</b>
260	0	1.571
	1	1.528
	2	1.556
	3	1.533
	4	1.541
	5	1.544
	6	1.538
	7	1.54

- Konsentrasi nanofluida alumina 3%

Panjang gel	Hari	Absorbansi
260	0	1.582
	1	1.537
	2	1.565
	3	1.544
	4	1.535
	5	1.538
	6	1.534
	7	1.543

- Konsentrasi nanofluida alumina 4%

Panjang gel	Hari	Absorbansi
260	0	1.543
	1	1.525
	2	1.516
	3	1.513
	4	1.559
	5	1.563
	6	1.566
	7	1.562

- Konsentrasi nanofluida alumina 5%

Panjang gel	Hari	Absorbansi
260	0	1.525
	1	1.556
	2	1.548
	3	1.553
	4	1.555
	5	1.57
	6	1.551
	7	1.548

- Konsentrasi nanofluida alumina 6%

Panjang gel	Hari	Absorbansi
260	0	1.558
	1	1.567
	2	1.547
	3	1.572
	4	1.547
	5	1.553
	6	1.541
	7	1.556

- Konsentrasi nanofluida alumina 8%

Panjang gel	Hari	Absorbansi
260	0	1.566
	1	1.569
	2	1.561
	3	1.566
	4	1.556
	5	1.56
	6	1.553
	7	1.515

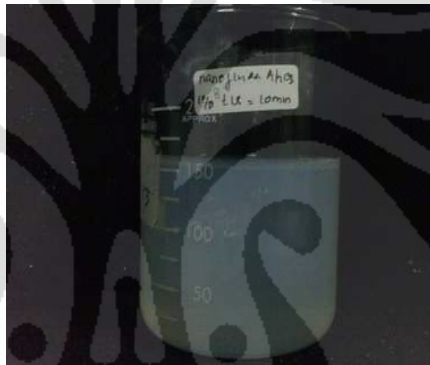
## Lampiran 2. Gambar-gambar nanofluida alumina

### 7. Gambar-gambar nanofluida alumina dengan variasi konsentrasi

#### a. Konsentrasi nanofluida 0,5%



#### b. Konsentrasi nanofluida alumina 1%



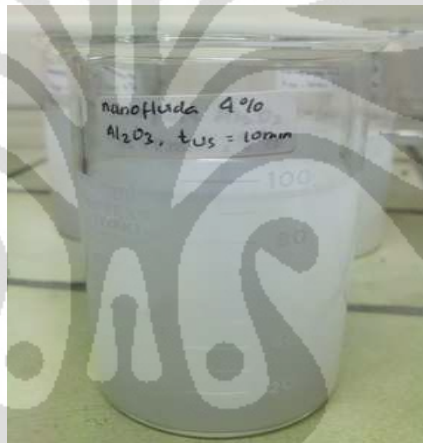
#### c. Konsentrasi nanofluida alumina 2%



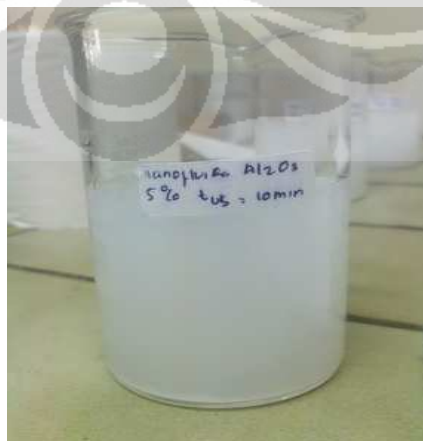
d. Konsentrasi nanofluida alumina 3%



e. Konsentrasi nanofluida alumina 4%

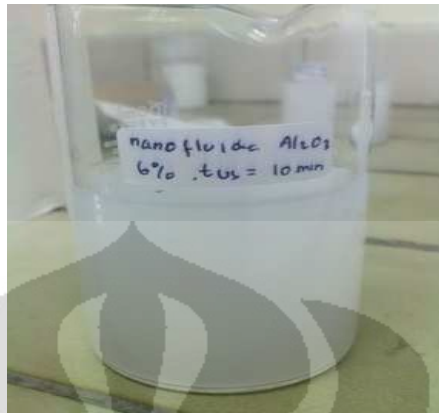


f. Konsentrasi nanofluida alumina 5%





g. Konsentrasi nanofluida alumina 6%



h. Konsentrasi nanofluida alumina 8%



8. Gambar-gambar nanofluida alumina dengan variasi waktu vibrasi ultrasonik, konsentrasi 4%

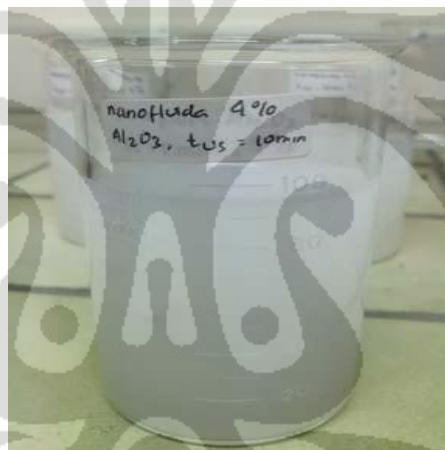
a. Variasi waktu ultrasonik 0 menit, konsentrasi 4%



b. Variasi waktu ultrasonik 5 menit, konsentrasi 4%



c. Variasi waktu ultrasonik 10 menit, konsentrasi 4%



d. Variasi waktu ultrasonik 15 menit, konsentrasi 4%



e. Variasi waktu ultrasonik 30 menit, konsentrasi 4%

