



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENAMBAHAN 1.0 wt % *SODIUM DODECYL
SULFATE* (SDS) PADA SINTESIS NANOFLUIDA TiO_2
DENGAN *WET MECHANOCHEMICAL PROCESS***

SKRIPSI

**RAHMAWAN SETIAJI
0706163735**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
DESEMBER 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENAMBAHAN 1.0 wt % *SODIUM DODECYL
SULFATE* (SDS) PADA SINTESIS NANOFLUIDA TiO₂
DENGAN *WET MECHANOCHEMICAL PROCESS***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**RAHMAWAN SETIAJI
0706163735**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
DESEMBER 2010**

Universitas Indonesia

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Rahmawan Setiaji
NPM : 0706163735

Tanda Tangan :
Tanggal : 31 Desember 2010



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Rahmawan Setiaji
NPM : 0706163735
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Pengaruh Penambahan 1.0 wt% *Sodium Dodecyl Sulfate* (SDS) Pada Sintesis Nanofluida TiO_2 Dengan *Wet Mechanochemical Process*

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Sri Harjanto ()

Penguji 1 : Prof. Dr. Ir. Bondan Tiara Sofyan, M.Si. ()

Penguji 2 : Deni Ferdian S.T., M.Sc. ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 31 Desember 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik jurusan Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penelitian dan pengujian dilakukan sebagai bentuk aplikatif ilmu yang telah diterima selama di bangku kuliah. Dengan skripsi ini, diharapkan penulis semakin siap terjun ke dunia kerja sebagai Sarjana Teknik.

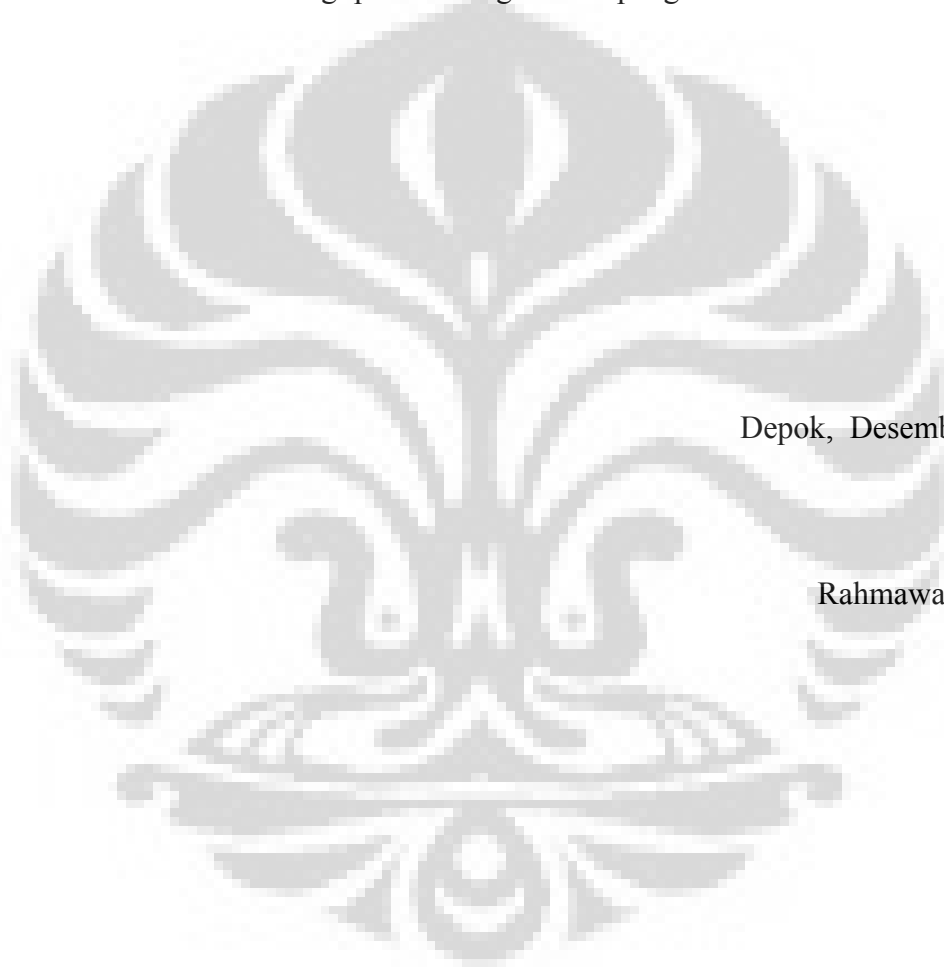
Skripsi ini mengambil tema teknologi nano dengan judul Pengaruh Penambahan 1.0 wt% *Sodium dodecyl sulfate* (SDS) Pada Sintesis Nanofluida TiO₂ Dengan *Wet Mechanochemical Process*. Skripsi ini berisi penelitian serta pengujian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari penambahan SDS sebagai surfaktan pada proses sintesis nanofluida. Penambahan surfaktan pada proses sintesis nanofluida diperlukan agar dihasilkan nanofluida yang mempunyai kestabilan dispersi yang baik. Kebutuhan akan nanofluida semakin meningkat dengan aplikasinya yang ditujukan untuk menggantikan fluida konvensional sebagai pendingin sehingga penelitian di bidang ini semakin terbuka lebar.

Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Sri Harjanto, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, pikiran dan biaya untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Prof. Dr-Ing. Ir. Bambang Suharno, selaku Kepala Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI.
3. Dr. Ir. Ahmad Herman Yuwono, Phd, selaku koordinator Kerja Praktek Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI.
4. Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia Syahrial, M.Phil, Eng, selaku pembimbing akademis yang telah mengarahkan penulis selama kuliah di Teknik Metalurgi dan Material FTUI.

5. Kedua orang tua dan keluarga tercinta di rumah yang telah banyak memberikan bantuan dukungan baik moral dan material.
6. Sahabat yang banyak membantu dalam proses perkuliahan dan penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini dapat membawa manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.



Depok, Desember 2010

Rahmawan Setiaji

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

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

Nama : Rahmawan Setiaji
NPM : 0706163735
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Departemen : Metalurgi dan Material
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 :

**Pengaruh Penambahan 1.0 wt% *Sodium Dodecyl Sulfate* (SDS) Pada
Sintesis Nanofluida TiO₂ Dengan *Wet Mechanochemical Process*.**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis atau pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 31 Desember 2010
Yang menyatakan

(.....)

ABSTRAK

Nama : Rahmawan Setiaji
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul : Pengaruh Penambahan 1.0 wt % *Sodium dodecyl Sulfate* (SDS) Pada Sintesis Nanofluida TiO₂ Dengan *Wet Mechanochemical Process*.

Nanofluida dikembangkan dalam rangka memperoleh jenis fluida pendingin baru dengan konduktifitas panas yang lebih tinggi dari pada fluida pendingin konvensional seperti air dan etilen glikol. Penelitian ini dilaksanakan untuk mempelajari pengaruh penambahan *sodium dodecyl sulfate* (SDS) sebanyak 1.0 wt % fraksi volume terhadap karakteristik nanofluida TiO₂ berbasis air distilasi yang dihasilkan dari *wet mechanochemical process*. Karakteristik yang menjadi fokus utama adalah ukuran partikel, dispersi nanopartikel, dan konduktivitas panas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan waktu milling 15 jam, ukuran partikel tereduksi menjadi 17,2 nm hingga 157, nm dari ukuran rerata awal sebesar 305 nm. Distribusi nanopartikel dalam suspensi antara 50,6 % hingga 100 %. Konduktivitas panas meningkat untuk nanofluida dengan dan tanpa penambahan surfaktan 26 % dan 14 % dibandingkan air distilasi.

Kata kunci: nanofluida, titanium oksida, *sodium dodecyl sulfate*, surfaktan

ABSTRACT

Name : Rahmawan Setiaji
Major : Metallurgy and Materials Engineering
Title : Effect of 1.0 wt % Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) on TiO₂
Nanofluid Synthesis through Wet Mechanochemical Process

Nanofluids have been developed in a search of new coolants with higher thermal conductivity compared to the conventional coolants, such as water or ethylene glycol. This research is held to observe the effect of 1.0 wt/vol % sodium dodecyl sulfate (SDS) on the characteristics of nanofluids produced from wet mechanochemical process. Three main characteristics of nanofluids, i.e. particle size, nanoparticle dispersion, and thermal conductivity, are discussed. The results of this research show that with 15 hours of milling time, particle size reduced between 17.2 nm to 157.6 nm from previous size of 305 nm. Nanoparticle distribution in fluid between 50,6 % to 100 %. The enhancement of thermal conductivity of the nanofluids with or without surfactant is 26 % and 14 %.

Keywords: nanofluids, titanium oxide, sodium dodecyl sulfate, surfactant

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Metodologi Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
2. DASAR TEORI	7
2.1. Nanofluida	7
2.2. Fabrikasi Nanofluida	8
2.2.1. Proses Dua Tahap	9
2.2.2. Proses Satu Tahap	10
2.3. <i>Planetary Ball Mill</i> (PBM)	12
2.4. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Sintesis nanofluida	14
2.4.1. Stabilitas Panas	14
2.4.2. Kemampuan Berdispersi Dalam Media Pendispersi	17
2.4.3. Sifat Mampu Manipulasi Disetiap Kompatibilitas Kimia	17
2.5. Karakterisasi Hasil Sintesis nanofluida	18
2.5.1. Ukuran dan Distribusi Partikel	18
2.5.2. Kestabilan Dispersi	20

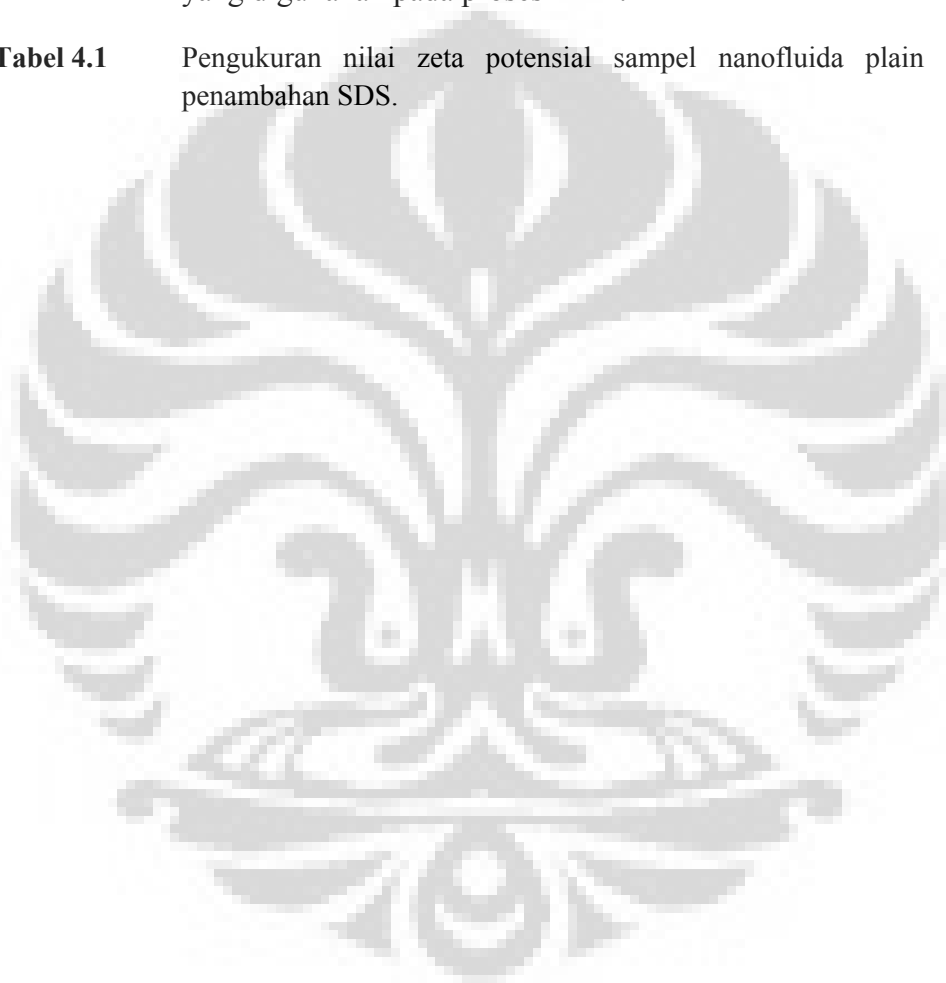
2.5.3. Konduktivitas Panas	21
2.6. Faktor yang Mempengaruhi Konduktivitas Panas	22
2.6.1. Pengaruh Volume Konsentrasi Partikel	22
2.6.2. Pengaruh Jenis Partikel	24
2.6.3. Pengaruh Ukuran Partikel	26
2.6.4. Pengaruh Bentuk Partikel	27
2.6.5. Pengaruh Fluida Dasar	28
2.6.6. Pengaruh Temperatur	28
2.6.7. Pengaruh Penambahan Aditif	29
2.6.8. Pengaruh Keasaman (pH)	30
2.7. Mekanisme Peningkatan Konduktivitas Panas	31
2.7.1. Gerak Brownian Nanopartikel	31
2.7.2. Lapisan Cair Pada Permukaan Nanopartikel	32
2.7.3. <i>Ballistic Transport Energy</i>	33
2.7.4. Pengaruh Pengelompokan Nanopartikel	34
3. METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1. Diagram Alir	35
3.2. Alat dan Bahan	36
3.2.1. Bahan	36
3.2.2. Alat	37
3.3 Sintesis Nanofluida	37
3.3.1. Preparasi Sampel	38
3.3.2. Proses Milling	39
3.3.3. Proses Pengenceran	39
3.3.4. Sonifikasi	39
3.4. Karakterisasi	40
3.4.1. <i>Particle Size Analyzis</i>	40
3.4.2. Zeta Potensial	42
3.4.3. Konduktivitas Panas	42
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1. Stabilitas Nanofluida	43
4.2. Distribusi Ukuran Partikel	45
4.2.1. Hasil Pengujian PSA	45
4.2.2. Analisa Hasil PSA	46
4.3. Zeta Potensial	49

4.4. Konduktivitas Panas	50
5. PENUTUP	53
5.1. Kesimpulan	53
5.2. Saran	54
REFERENSI	55



DAFTAR TABEL

- Tabel 2.1** Perbandingan suspensi mikropartikel dan nanopartikel dalam fraksi volume yang sama
- Tabel 2.2** Spesifikasi material yang sering dipakai sebagai bola dan vial
- Tabel 2.3** Rekomendasi penggunaan jumlah bola terhadap volume vial yang digunakan pada proses PBM.
- Tabel 4.1** Pengukuran nilai zeta potensial sampel nanofluida plain dan penambahan SDS.



DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1** Arah gaya yang bekerja selama PBM berputar. Arah rotasi wadah dan revolusi piringan yang berlawanan mengakibatkan seolah-olah partikel terlontar dan terbentur ke dinding
- Gambar 2.2** Nanopartikel adalah sebuah sistem metasabil, dengan energi antara atom, molekul, dan ukuran normal. Dibedakan tergantung dari tipe nanopartikel energi, dan setiap nanopartikel mencari kestabilan dengan berubah ukuran menjadi lebih besar
- Gambar 2.3** Stabilitas kinetik dari sistem nanopartikel. Sebagai penghalang interaksi gaya van der Waals lebih tinggi dari energi panasnya, maka cenderung stabil. Ketika penghalang ini tidak ada maka partikel akan mengalami agregasi atau penyatuan
- Gambar 2.4** Variasi pada diffraktografi sinar-X pada nanopartikel emas sebagai fungsi dari dimensinya dibandingkan dengan serbuk Au ukuran lebih besar. Sampel nanopartikel emas ini dilindungi oleh asam mercaptosuccinic dan rasio S/Au hasil sintesis dapat terlihat dimensinya. Perbandingan dimensi adalah : 4nm, 1nm, 3nm, 2nm, dan 0,5nm
- Gambar 2.5** (a) Perubahan konduktivitas panas Al_2O_3 didalam air (b) Perbandingan perubahan panas konduktivitas dari hasil dua penelitian yang memiliki variabel sama
- Gambar 2.6** (a) Perubahan konduktivitas panas CuO didalam media pendispersi air (b) Pengaruh volume konsentrasi partikel terhadap konduktivitas panas dua penelitian di rentang yang berbeda
- Gambar 2.7** Nilai konduktivitas panas CuO didalam fluida *ethylene glykol*. Literatur dari dua penelitian yang ada menunjukkan peningkatan signifikan dengan meningkatnya volume partikel
- Gambar 2.8** (a) Pengaruh Jenis partikel oksida terhadap konduktivitas panas didalam media pendispersi air (b) Perbedaan nilai konduktivitas panas partikel logam dan oksida dalam media pendispersi *ethylene glycol*
- Gambar 2.9** Perbandingan konduktivitas panas logam, oksida, dan karbida didalam pelarut *ethylene glikol*

- Gambar 2.10** Pengaruh ukuran partikel terhadap konduktivitas panas dari nanofluida
- Gambar 2.11** Konduktivitas SiC dalam media pelarut air dengan perbandingan bentuk bola dan silinder
- Gambar 2.12** Konduktivitas berbagai fluida dasar dengan besar partikel seragam
- Gambar 2.13** Pengaruh temperatur pada konduktivitas panas nanofluida Al_2O_3 dan CuO
- Gambar 2.14** (a) Hasil Penelitian Eastman, et al untuk sintesis nanofluida Cu didalam media pendispersi *ethylene glykol* (b) Hasil Penelitian Assael untuk sintesis nanofluida MWCNT didalam media pendispersi air
- Gambar 2.15** Pengaruh keasaman terhadap konduktivitas panas nanofluida Al_2O_3
- Gambar 2.16** Peningkatan konduktivitas panas akibat terbentuknya lapisan cair pada permukaan nanopartikel.
- Gambar 2.17** Ilustrasi pembentukan lapisan disekitar nanopartikel. k_l , k_f , dan k_p adalah konduktivitas panas lapisan nano, fluida dasar, dan nanopartikel.
- Gambar 2.18** Peningkatan konduktivitas panas sebagai pengaruh dari volume pengelompokkan.
- Gambar 3.1** Diagram alir penelitian
- Gambar 4.1** a) Nanofluida TiO_2 tanpa penambahan surfaktan 0 jam produksi b) Nanofluida dengan surfaktan SDS 0 jam produksi.
- Gambar 4.2** a) Nanofluida TiO_2 tanpa penambahan surfaktan 30 jam produksi b) Nanofluida dengan surfaktan SDS 30 jam produksi.
- Gambar 4.3** Distribusi ukuran partikel TiO_2 berdasarkan pendekatan intensitas partikel.
- Gambar 4.4** Perbandingan nilai konduktivitas panas pada penelitian sintesis nanofluida TiO_2 .

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil PSA Sampel TiO₂

Lampiran 2. Data nilai pengujian konduktivitas panas nanofluida TiO₂ menggunakan alat KD-2 diukur pada temperatur ruang 25-27°C.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini perkembangan dalam dunia teknologi semakin pesat. Perkembangan teknologi saat ini mengarah ke peralatan-peralatan berdimensi kecil namun memiliki kemampuan luar biasa dan mempunyai kecepatan proses yang luar biasa cepat. Dilihat dari segi dimensi sangatlah menguntungkan karena dapat menghemat ruang, akan tetapi peralatan tersebut akan menghasilkan flux kalor (kalor per satuan luas) yang cukup tinggi. Oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem pendingin yang baik. Sistem pendinginan yang baik dan tepat sangatlah dibutuhkan agar kestabilan fungsi dari peralatan tersebut terjamin.

Perkembangan teknologi saat ini mulai dikembangkan nanofluida sebagai pengganti dari fluida konvensional. Nanofluida merupakan campuran antara partikel padat yang memiliki diameter dalam ukuran nanometer (1-100 nm) dengan fluida dasarnya^[1]. Partikel berukuran nanometer tersebut tersuspensi dalam fluida dasar secara permanen yang dikarenakan adanya efek Brownian pada partikel tersebut^[2]. Gerak Brownian adalah gerak acak dari partikel nanofluida yang terdispersi, dan ini yang menyebabkan partikel nano tersebut tetap tersuspensi dan tidak jatuh mengendap akibat gaya gravitasi. Umumnya kadar partikel nano tersuspensi dalam nanofluida adalah sebesar 1-10% dari volume media. Setiap kadar dari suspensi tersebut akan memberikan efek yang berbeda, terhadap sifat dari nanofluida yang dihasilkan.

Masalah utama dalam fabrikasi nanofluida adalah kemampuan terdispersi partikel nano ke dalam medianya dan juga stabilitas dari suspensi yang dihasilkan. Beberapa dari partikel nano, memiliki gaya tarik-menarik seperti gaya van der Waals^[3]. Ini menyebabkan partikel yang sudah tersuspensi tersebut untuk cenderung tarik menarik dengan sesamanya dan beraglomerasi kembali. Setelah terjadi aglomerasi partikel akan menjadi berat dan cenderung akan mengendap jatuh ke bawah. Oleh karena itu, salah satu tujuan dari penelitian ini adalah untuk

mengetahui seberapa kemampuan partikel nano untuk terdispersi dan juga pemilihan metode yang tepat untuk meningkatkan stabilitas dari suspensinya.

Penelitian ini dilakukan dengan memfabrikasi nanofluida TiO_2 pada media terdispersi air menggunakan metode *wet mechanochemical*. *Wet mechanochemical* merupakan salah satu mekanisme fabrikasi nanofluida dengan pendekatan *top down*, dimana reduksi partikel dilakukan dalam media pendispersinya secara langsung dengan menggunakan *ball mill*. Metode ini termasuk jenis proses saatu tahap dalam fabrikasi nanofluida. *Ball mill* yang digunakan merupakan *planetary ball mill*.

Material TiO_2 dipilih dalam penelitian ini karena material ini mempunyai kestabilan kimia fisika yang baik, cukup murah, dan tersedia secara komersil^[4]. Penambahan surfaktan dilakukan untuk mendapatkan kestabilan suspensi yang lebih baik dan juga dispersi sesuai yang diinginkan. Penambahan surfaktan ini tidak menyebabkan perubahan sifat termodinamik dari nanofluida karena surfaktan yang ditambahkan dalam konsentrasi yang sangat rendah yakni 0,02%. Penelitian dan studi sebelumnya, Murshed et al^[5] penggunaan CTAB sebagai surfaktan lebih efektif dibandingkan dengan asam oleic. Hwang et al (2005) menggunakan *sodium dodecyl sulfat* (SDS) sebagai surfaktan dalam sintesis nanofluida MWCNT. Variasi fraksi volume dan juga waktu *milling* digunakan untuk membandingkan kestabilan dari suspensi nanofluida yang dihasilkan. Selain itu penggunaan surfaktan juga dibandingkan dengan nanofluida yang tidak menggunakan surfaktan sehingga terlihat efek dari penambahan surfaktan terhadap kestabilan nanofluida yang dihasilkan.

Penggunaan SDS lebih disukai dikarenakan material ini lebih tidak berbahaya dibandingkan dengan CTAB. Pada penelitian sebelumnya, Natarajan et al^[6] mendapatkan hasil penelitiannya dengan menggunakan SDS pada nanofluida *carbon nanotube* (CNT) terbukti dapat menghasilkan nanofluida yang lebih stabil.

1.2 Perumusan Masalah

Nanofluida yang dikembangkan adalah nanofluida TiO_2 yang di sintesis dengan menggunakan metode *wet mechanochemical*. Proses ini mereduksi

partikel reduksi partikel TiO_2 dengan proses satu tahap di dalam media terdispersi air distilasi dengan menggunakan *planetary ball mill*. Variabel pembuatan nanofluida dilakukan dengan fraksi volum dari TiO_2 yakni 1%, 5%, dan 10% dengan waktu kominusi 5 jam & 10 jam. Penambahan SDS sebagai surfaktan dilakukan sebanyak 1.0 wt% dengan konsentrasi 0.05 M. Karakterisasi material selanjutnya dilakukan dengan berbagai pengamatan dan pengujian yaitu pengamatan visual nanofluida, pengujian *particle size analyzer* (PSA, Beckman Coulter), pengujian zeta potensial, dan pengujian konduktivitas panas (KD 2).

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan ini antara lain bertujuan untuk :

1. Mendapatkan nanofluida TiO_2 dengan menggunakan metode *wet mechanochemical process*.
2. Mengetahui kemampuan dispersi / tingkat kelarutan TiO_2 didalam media air terdistilasi menjadi nanofluida.
3. Mengetahui pengaruh kadar partikel TiO_2 yang terdispersi terhadap peningkatan koduktivitas panas yang dihasilkan.
4. Mengetahui pengaruh penambahan surfaktan terhadap kestabilan dispersi dari nanofluida dan pengaruhnya terhadap peningkatan konduktivitas panas.

1.4 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian digunakan adalah studi kepustakaan tentang sintesis dan karakterisasi nanofluida dari TiO_2 . Melakukan obsevasi dan pengamatan langsung proses sintesis nanofluida dengan pendekatan *top down* menggunakan alat *planetary ball mill* dengan variabel persentasi partikel dan pengaruh penambahan surfaktan pada kestabilan nanofluida yang dihasilkan. Setelah proses sintesis, hasil penelitian diuji untuk mengetahui sifat dan karakteristik dari setiap variabelnya. Data diperoleh merupakan data primer yang didapat dari hasil pengujian dilaboratorium dan instansi. Berdasarkan data primer ini kemudian

dianalisa perbandingan dengan literatur yang digunakan sehingga mendapat kesimpulan yang dapat menjawab tujuan dari penelitian ini.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian sintesis nanofluida ini dibatasi dengan beberapa variabel penting. Proses sintesis nanofluida dilakukan dengan menggunakan metode *wet mechanochemical* pada metode ini digunakan *planetary ball mill* untuk mereduksi ukuran partikel.

TiO₂ anatase dengan berat jenis 3,7 gr/ml digunakan sebagai partikel terdispersi pada sintesis nanofluida ini. Media pendispersi digunakan air destilasi dengan pH netral berkisar 7,0. Dalam penelitian ini digunakan *sodium dodecyl sulfate* (SDS) sebagai surfaktan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kestabilan nanofluida yang dihasilkan. SDS yang ditambahkan sebanyak 1.0 wt %.

Proses milling yang dilakukan dengan menggunakan vial dari *ferritic stainless steel* dengan volume 250ml. Bola pereduksi yang digunakan adalah jenis *corrondum* dengan ukuran 1 cm sebanyak 50 buah dan 5mm sebanyak 250 buah. Kecepatan putar dari *planetary ball mill* diatur konstan pada 1000rpm. Waktu *milling* digunakan sebagai variabel untuk membandingkan nanofluida yang dihasilkan.

Pengamatan dilakukan secara visual untuk mengetahui kestabilan proses *milling* dan kestabilan suspensi dari nanofluida yang dihasilkan. Perhitungan pH dilakukan sebelum dan sesudah proses *milling* dilakukan. Karakterisasi dari nanofluida yang dihasilkan dilakukan dengan berbagai pengujian. *Particle size analyzer* (PSA) dilakukan untuk mengetahui ukuran dari partikel yang terdispersi. Pengujian zeta potensial dilakukan untuk mengetahui kestabilan dispersi dari nanofluida yang dihasilkan. Pengujian konduktivitas panas dilakukan dengan menggunakan KD2.

1.6 Sistematika Penulisan

Penelitian nanofluida ini akan ditulis dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

Bab I *Pendahuluan*

Bab pendahuluan ini menjelaskan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, metodologi penelitian, ruang lingkup penelitian, serta sistematika penulisan dari penelitian yang dilakukan.

Bab II *Dasar Teori*

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai literatur yang menjadi dasar dari penelitian yang akan dilakukan. Literatur yang ditampilkan berkaitan dan mendukung penelitian yang akan dilakukan seperti aspek-aspek yang perlu diperhatikan dalam melakukan penelitian nanofluida ini dan juga hasil dari penelitian sebelumnya untuk membandingkan dengan hasil dari penelitian yang akan dilakukan.

Bab III *Metodologi Penelitian*

Bab ini memberikan penjelasan mengenai hal-hal yang dilakukan selama penelitian berlangsung, berhubungan dengan proses sintesis dan pengumpulan data serta informasi, preparasi sampel, hingga pengujian-pengujian yang dilakukan.

Bab IV *Data Penelitian dan Pembahasan*

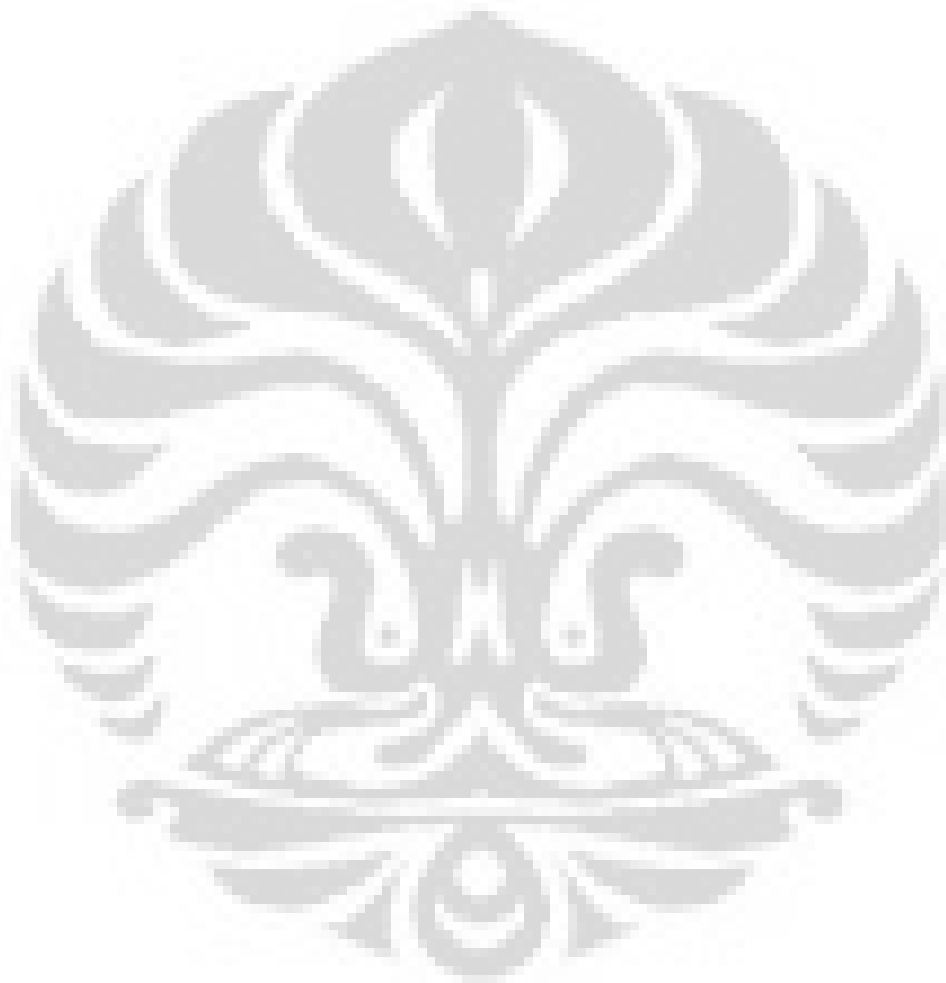
Data penelitian adalah keseluruhan hasil yang diperoleh berdasarkan penelitian dan pengujian dilakukan. Data penelitian bersifat primer sehingga perlu dibandingkan dengan literatur untuk mendapatkan analisa sesuai dengan tujuan dari penelitian.

Bab pembahasan terdiri atas seluruh data hasil percobaan yang didapatkan untuk kemudian dibandingkan dengan literatur sehingga didapatkan suatu analisa yang dapat menggambarkan sifat-sifat dan karakteristik dari proses sintesis nanofluida melalui media TiO_2 terdispersi dalam air distilasi dengan

menggunakan metode *wet mechanochemical process* dengan alat *planetary ball mill*.

Bab V *Kesimpulan*

Secara umum bab ini mencakup rangkuman dari hasil penelitian yang dilakukan serta solusi dan saran yang bisa diberikan untuk meminimalisasi kesalahan guna sebagai acuan untuk penelitian lebih lanjut.



BAB II

DASAR TEORI

2.1 Nanofluida

Perpindahan panas merupakan salah satu proses yang penting dalam berbagai industri dan produk untuk konsumen. Rendahnya konduktivitas panas dari fluida konvensional menyebabkan masalah pada perpindahan panas ini. Sejak era Maxwell di tahun 1873, banyak ilmuwan yang sudah mencoba mendispersikan partikel yang berukuran mili ataupun mikrometer ke dalam fluida konvensional. Namun, proses ini dibatasi oleh mudah terjadinya proses aglomerasi dari partikel yang ada menjadi partikel berukuran besar. Sejalan dengan perkembangan teknologi nano dan miniaturisasi mulai dikembangkan konsep yang disebut dengan nanofluida. Dalam konsep nanofluida ini, ukuran partikel menjadi hal terpenting dalam mengembangkan nanofluida yang stabil dan mempunyai konduktivitas yang baik.

Selama lebih dari 100 tahun para ilmuwan berusaha meningkatkan konduktivitas panas yang rendah dari fluida konvensional dengan menambahkan partikel padat ke dalam fluida. Pendekatan sederhana dari mekanisme ini mempunyai dua masalah utama : (1) partikel berukuran milimeter sampai mikrometer sangat cepat beraglomerasi menjadi partikel yang besar dalam fluida, dan (2) konduktivitas dari suspensi rendah pada konsentrasi partikel yang rendah.

Dewasa ini, teknologi nano sudah mampu memproduksi nanopartikel metalik maupun nonmetalik dengan ukuran kristal rerata $<100\text{nm}$. Sifat mekanis, optik, elektrik, magnet, dan panas dari nanopartikel ini jauh lebih bagus dari material ruahnya dengan struktur butir yang kasar. Choi (1995) berpendapat bahwa nanofluida merupakan kelas baru dalam teknologi nano yang berbasis pada rekayasa fluida transfer panas dengan mendispersikan partikel berukuran nanometer ke dalam fluida konvensional. Masalah utama dalam menambahkan partikel padat ke dalam fluida adalah aglomerasi, abrasi, dan penyumbatan. Nanofluida mempunyai kemampuan yang lebih baik untuk

mengatasi masalah diatas karena kestabilan suspensi nanopartikel dalam fluida lebih baik bila dibandingkan dengan mili maupun mikropartikel. Berikut tabel perbandingan yang membandingkan antara suspensi mikropartikel dengan nanopartikel.

Tabel 2.1 Perbandingan suspensi mikropartikel dan nanopartikel dalam fraksi volume yang sama^[3].

	mikropartikel	nanopartikel
Kestabilan	rendah	stabil
Rasio permukaan/volume	1	1000 X lebih besar dari mikropartikel
Konduktivitas	rendah	tinggi
Penyumbatan	iya	tidak
Erosi	iya	tidak
Fenomena ukuran nano	tidak	iya

2.2 Fabrikasi Nanofluida

Material yang digunakan untuk sintesis nanofluida sangat beragam baik untuk fluida dasarnya maupun untuk nanopartikel yang didispersikan. Nanofluida yang stabil dan mempunyai konduktivitas yang tinggi biasa diproduksi dengan metode satu maupun dua tahap. Kedua pendekatan ini menghasilkan suspensi nanopartikel yang tahan terhadap aglomerisasi. Suspensi yang mendekati tanpa aglomerisasi atau terdispersi tunggal pada fluidanya merupakan kunci utama dalam meningkatkan sifat panas dari nanofluida.

Nanopartikel yang digunakan untuk pembuatan nanofluida terbuat dari berbagai macam material seperti oksida keramik (Al_2O_3 , CuO), nitrida keramik (AlN , SiN), karbida keramik (SiC , TiC), logam (Cu , Ag , Au), semikonduktor (TiO_2 , SiC), karbon *nanotube*, dan komposit material. Fluida dasar yang biasa digunakan seperti air, *ethylene glycol*, dan oli.

Gleiter (1989) berpendapat bahwa fabrikasi nanopartikel secara umum dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori utama yakni proses fisika dan proses kimia. Proses fisika mencakup metode *inert gas condensation* dan penghalusan

mekanik. Metode kimia mencakup *chemical vapor deposition*, *chemical precipitation*, *micro emulsions*, *thermal spray*, dan *spray pyrolysis*.

Metode fabrikasi nanofluida yang umum digunakan adalah metode satu maupun dua tahap. Metode dua tahap pada awalnya dilakukan proses pembentukan nanopartikel. Kemudian, proses dilanjutkan dengan mendispersikan nanopartikel ke dalam fluida dasarnya sehingga terbentuk nanofluida.

2.2.1 Proses Dua Tahap

Keuntungan dari proses dua tahap teknik didalam komersialisasi nanofluida telah diteliti oleh *Nanophase Technology Corporation* dapat meningkatkan kondensasi gas inert sehingga dapat menjaga produksi jumlah nanofluida^[7]. Seperti serbuk nano secara ekonomis didalam padatan dapat digunakan untuk membuat nanofluida dengan metode proses dua tahap jika masalah aglomerasi dapat ditanggulangi. Aglomerasi ini diakibatkan gaya van der Waals antar nanopartikel sangat atraktif, dan aglomerasi ini harus dijaga sampai semua partikel terdispersi seluruhnya kedalam fluida.

Pada kenyataannya, aglomerasi adalah kendala utama pada teknologi serbuk nano, termasuk pada pembuatan nanofluida ini, dan kunci suksesnya fabrikasi nanofluida dengan sifat transfer panas yang tinggi adalah dengan memproduksi dan mensuspensi didekat monodispersi atau keadaan non-aglomerasi nanopartikel didalam fluida. Halangan dengan penggunaan oksida bernanopartikel adalah membutuhkan konsentrasi volume tinggi bila dibandingkan dengan partikel logam untuk mendapat perubahan perpindahan panas pada nanofluida.

Beberapa perlakuan permukaan pada nanofluida menunjukkan dispersi yang baik di-fluida dasar dan memiliki sifat panas baik. Tantangannya adalah untuk mengembangkan secara inovatif nanofluida ini dan memiliki dispersi volume tinggi. Beberapa fluida secara komersil tersedia dalam bentuk larutan tersuspensi dengan partikel-partikel kecil. Suspensi keramik terdapat dalam jumlah besar, fluida magnetik yang mengandung partikel oksida besi banyak dipasarkan sejak tahun 1970an. Fluida tersebut juga memiliki masalah sama yaitu

aglomerasi dan fabrikasi nanofluida dilaboratorium dengan teknik proses dua tahap.

Persiapan pembuatan nanofluida dimulai dengan mencampurkan langsung nanopartikel dengan fluida dasarnya. Pada tahap awal, nanopartikel nanopartikel disintesis dan dihasilkan dalam bentuk serbuk. Nanopartikel dapat dibuat dengan beberapa proses diantaranya *transition metal salt reduction, thermal decomposition and photochemical, ligand reduction and displacement from organometallics, metal vapor synthesis, and electrochemical synthesis*^[16].

Xuan et al^[17] menggunakan metode dua tahap untuk fabrikasi nanofluida Cu dalam fluida air dan minyak. Nanofluida difabrikasi dengan mencampurkan nanopartikel dengan fluida dasar kemudian dilakukan sonifikasi dengan ditambahkan surfaktan sebagai penstabil. Kim et al^[18] menggunakan metode dua tahap untuk menghasilkan nanofluida CuO dengan sonifikasi tanpa penambahan penstabil. Sonifikasi yang optimum dilakukan selama 9 jam dengan rerata ukuran nanopartikel 60 nm.

Aplikasi dari proses dua tahap umumnya digunakan untuk fabrikasi nanofluida berbasis carbon nanotube baik SWCNTs maupun MWCNTs. Beberapa peneliti berpendapat bahwa proses dua tahap sangat baik dilakukan untuk fabrikasi nanofluida yang mengandung nanopartikel oksida yang didispersikan pada air deionisasi.

2.2.2 Proses Satu Tahap

Nanofluida yang memiliki konduktifitas logam tinggi seperti Cu pada umumnya digunakan proses satu tahap dibandingkan proses dua tahap untuk mencegah oksidasi partikel dasar. Dengan teknik ini nanopartikel terbentuk dan terdispersi pada fluida melalui satu tahapan. Argon International telah mengembangkan metode *one-step physical* untuk menciptakan nanofluida. Metode ini meliputi evaporasi secara langsung dan telah digunakan untuk fabrikasi nanopartikel Cu yang secara seragam terdispersi pada *ethylene glycol*. Secara teknis kondensasi fasa serbuk nano dari fasa penguapan langsung dilakukan di ruangan vakum ke fluida dasar *ethylene glycol* pada tekanan penguapan rendah.

Dispersi yang baik menunjukkan nanofluida Cu pada *ethylene glycol* meningkatkan konduktivitas panas sampai dengan 40% pada konsentrasi volume 0,3%. Hasil didapat menunjukkan peningkatan kinerja nanofluida dari yang telah diteliti sebelumnya. Tahap lain dari proses satu tahap ini adalah sintesis dengan pendepositan nanopartikel dengan bunga listrik didalam fluida (*submerged arc nanoparticle synthesis*), proses tersebut digunakan pada nanopartikel seperti TiO₂, CuO, dan Cu. Dengan metode ini, nanopartikel diproduksi dari pemanasan material padat dari sebuah elektroda dengan bunga listrik yang menyebar dan dikondensasi langsung kedalam larutan didalam ruang hampa guna membentuk nanofluida.

Proses satu tahap ini umumnya digunakan untuk penelitian karena hanya dapat menghasilkan naofluida dalam jumlah sedikit, dan sulit untuk dikomersialkan. Alasannya cukup sederhana, yaitu pembentukan nanofluida yang cukup lama dari nanopartikelnya dan rerata efisiensi pembentukan nanofluida juga kecil. Karenanya proses satu tahapdirasa tidak efektif untuk komersial.

Baru-baru ini, metode kimia dengan proses satu tahap untuk membuat nanfluida Cu berhasil dilakukan^[8]. Monodispersi dari nanopartikel Cu dengan diameter kurang dari 20nm dapat diperoleh dan terdispersi di *ethylene glycol* dengan reduksi garam Cu oleh *sodium hypophospite*. *Polyvinylpyrrolidone* ditambahkan sebagai polimer pelindung dan penstabil yang menghambat aglomerisasi partikel. Nanofluida Cu yang difabrikasi dengan metode kimia proses satu tahap ini menunjukkan hasil yang sama dengan proses satu tahap dengan metode fisika.

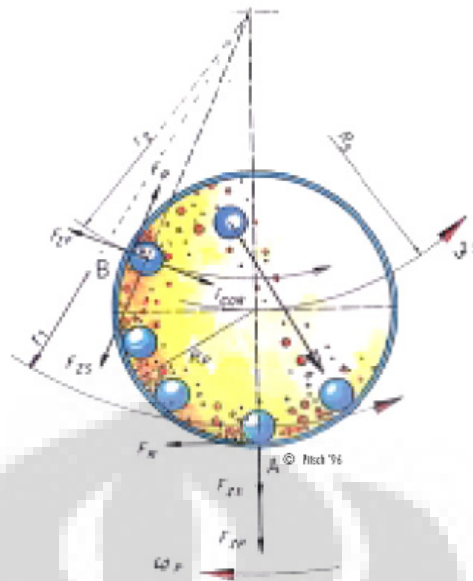
Laboratorium Argon dengan beberapa pengembangan berhasil memproduksi nanofluida dalam jumlah besar lebih cepat dari tahap tunggal lainnya. Tetapi kekurangannya adalah konsentrasi volume dari nanopartikel dan kuantitas nanofluida lebih minimum dari proses dua tahap. Saat ini proses tunggal ini masih sangat mahal dan hanya dapat dilakukan dalam skala kecil atau lab. Oleh karena itu, tantangan untuk proses ini kedepannya adalah dapat memproduksi nanofluida secara massal. Salah satu proses satu tahap yang sedang kami teliti adalah sintesis nanofluida menggunakan metode *wet mechanochemical*

dengan menggunakan *planetary ball mill*. *Wet mechanochemical* merupakan salah satu mekanisme fabrikasi nanofluida dengan pendekatan *top down*, dimana reduksi partikel dilakukan dalam media pendispersinya secara langsung dengan menggunakan *ball mill*.

2.3 *Planetary Ball Mill (PBM)*

Proses sintesis nanofluida pada penelitian ini menggunakan alat *planetary ball mill* untuk mereduksi ukuran partikel. Perbedaan PBM dengan alat *ball mill* konvensional adalah dari ukuran, arah rotasi, dan tumbukan serta kecepatan putar. PBM termasuk alat *ball mill* dengan menggunakan kecepatan putar tinggi, sehingga biasa disebut dengan *high energy ball milling*.

Prinsip kerja dari PBM menggunakan wadah atau yang biasa disebut dengan vial yang ditempatkan pada piringan berputar. Piringan ini akan berputar secara revolusi dan vial akan berputar secara rotasi. Arah putar dari revolusi dan rotasi ini berlawanan arah sehingga partikel yang dimasukkan ke dalam vial akan terkena efek sentrifugal dan akan tertumbuk dengan bola dan dinding dari vial. Bola-bola di dalam vial akan saling bertumbukan satu sama lainnya yang menghasilkan energi kinetik. Energi kinetik dari pergerakan bola ini dikonversi menjadi energi impak untuk mereduksi ukuran partikel. Gaya friksi dari partikel dan dinding vial juga membantu proses reduksi ukuran partikel.



Gambar 2.1 Arah gaya yang bekerja selama PBM berputar. Arah rotasi wadah dan revolusi piringan yang berlawanan mengakibatkan seolah-olah partikel terlontar dan terbentur ke dinding^[12].

Material yang digunakan untuk bola dan vial umumnya berasal dari jenis logam dan keramik. Pemilihan bola dan vial ini berdasarkan jenis partikel yang akan direduksi. Apabila partikel memiliki kekerasan dan kekuatan tinggi, maka material yang digunakan harus mempunyai kekerasan yang tinggi juga. Material logam dan keramik mempunyai kelebihan dan kekurangan masing – masing.

Material logam mempunyai densitas yang tinggi sehingga membantu meningkatkan energi impact dari bola. Namun, penggunaan material logam ini rentan terjadinya kontaminasi pada sampel. Permukaan bola dan vial logam mudah teroksidasi dan tergerus selama proses penggilingan sehingga akan mengotori sampel. Sifat ulet dari material logam menghasilkan fenomena *cold weld* yakni proses penyambungan dan pepaduan pada material karena energi impact yang dihasilkan tidak mampu memecah partikel logam yang ulet.

Kelebihan utama dari material keramik adalah mempunyai kekerasan permukaan dan ketahanan abrasi yang tinggi. Oleh karena itu, kontaminasi yang terjadi selama proses penggilingan dapat dikurangi seminimal mungkin. Namun, material keramik biasanya mempunyai densitas yang rendah sehingga energi impactnya lebih kecil bila dibandingkan dengan logam. Untuk mengatasi

kekurangan ini biasanya dilakukan dengan menaikkan kecepatan dari putaran untuk mendapatkan nilai dampak yang lebih baik.

Tabel 2.2. Spesifikasi material yang sering dipakai sebagai bola dan vial^[12].

Grinding set Type "C"	Composition (approx.)	Degree of Hardness	Density
Agate	99.9% SiO ₂	7.0 Mohs	app. 2 600 kg/m ³
Sintered corundum I	99.7% Al ₂ O ₃	9.0 Mohs	app. 3 900 kg/m ³
Silicon nitride	53.0% Si, 35.2% N, 3.5% I, 2.5% Al, 0.5% Mg	HV = 1400 kg/mm ² $\hat{=}$ 14 GPA	app. 3 200 kg/m ³
Zirconia	97.0% ZrO ₂	8.5 Mohs	app. 5 700 kg/m ³
Stainless steel	84.5% Fe, 13.0% Cr	53 HRC $\hat{=}$ app. HV = 5.7 GPA	app. 7 700 kg/m ³
Chrome steel 2	86.0% Fe, 11.5% Cr	60 HRC $\hat{=}$ app. HV = 7 GPA	app. 7 700 kg/m ³
Chrome steel 4	84.0% Fe, 13.5% Cr	53 HRC $\hat{=}$ app. HV = 5.7 GPA	app. 7 700 kg/m ³
Tungsten carbide	94.0% WC, 6.0% Co	HV = 1150 kg/mm ² $\hat{=}$ 11.2 GPA	app. 14 400 kg/m ³

Variabel lain yang perlu diperhatikan dalam penggunaan PBM adalah jumlah bola yang digunakan. Berdasarkan literatur yang ada, untuk mendapatkan hasil reduksi partikel yang optimal terdapat perbandingan jumlah bola dengan diameter tertentu terhadap volume dari vial. Nilai perbandingan berkisar antara 1:2 sampai 3:5 antara volume total bola terhadap volume dari vial. Berikut dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.3 Rekomendasi penggunaan jumlah bola terhadap volume vial yang digunakan pada proses PBM^[12].

GRINDING JAR FILLING								
Guidelines for sample volumes and ball charges								
Nominal volume	Useful volume (sample and balls)	PM100	PM200	Max. feed size	Recommended ball charge			
					40 mm dia.	30 mm dia.	20 mm dia.	10 mm dia.
50ml	5-30ml	✓	✓	<3 mm	-	-	3	10
125ml	15-80ml	✓	✓	<4 mm	-	-	6	25
250ml	25-150ml	✓		<6 mm	-	5	12	50
500ml	75-300ml	✓		<10 mm	4	8	20	100

2.4 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Sintesis Nanofluida

Faktor penting yang berpengaruh pada proses sintesis nanofluida : (1) stabilitas panas, (2) kemampuan berdispersi didalam media pendispersi, dan (3) sifat mampu manipulasi disetiap kompatibilitas kimia. Setiap faktor akan

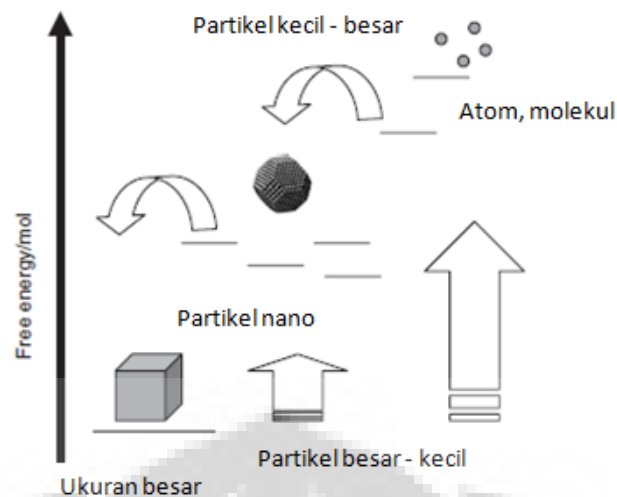
didiskusikan dengan detail lebih lanjut. Beberapa faktor secara langsung mempunyai hubungan satu dan lainnya.

2.4.1 Stabilitas Panas

Nanopartikel terdapat dalam keadaan yang metastabil. Hal ini berarti nanopartikel ini dapat bertransformasi menjadi partikel stabil apabila mencapai energi global minimal pada energi bebasnya. Nanopartikel dalam ukuran $<1\text{nm}$ mempunyai struktur yang berbeda-beda dan biasanya membentuk *cluster*. Setiap *cluster* ini mempunyai struktur yang isomerik dan mempunyai tingkat kestabilan yang berbeda satu dengan yang lainnya. Pada ukuran yang lebih besar, beberapa bentuk struktur dapat terbentuk, namun sulit untuk membedakan satu dengan yang lainnya.

Transformasi dari bentuk yang satu ke bentuk yang lainnya. Transformasi dari bentuk atom, molekul, maupun nanopartikel menjadi bentuk ruahnya terjadi secara spontan. Meskipun transformasi terjadi secara spontan, stabilitas nanopartikel perlu dikontrol dengan hati-hati. Karena nanopartikel merupakan partikel metastabil, setelah periode tertentu partikel ini akan kembali ke bentuk ruahnya.

Gambar 2.2 berikut ini menjelaskan sistem metastabil dari nanopartikel dan transformasi yang terjadi dari bentuk yang satu ke bentuk yang lainnya.



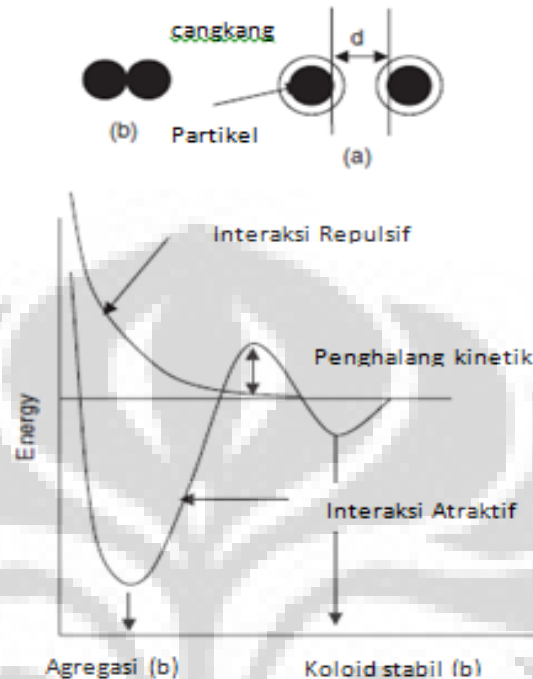
Gambar 2.2 Nanopartikel adalah sebuah sistem metasabil, dengan energi antara atom, molekul, dan ukuran normal. Dibedakan tergantung dari tipe nanopartikel energi, dan setiap nanopartikel mencari kestabilan dengan berubah ukuran menjadi lebih besar^[3].

Interaksi antar dua nanopartikel merupakan efek dari gaya elektrostatis atau gaya van der Waals pada jarak d karena adanya perbedaan kestabilan molekul. Umumnya ada dua interaksi dominan, terutama pada pelarut dielektrik seperti air yang memiliki gaya elektrostatis antar partikel mengikat satu dan yang lainnya. Gaya van der Waals juga mengikat inti partikel agar tidak berjauhan. Hasilnya energi menjadi minimal, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.3.

Gaya van der Waals ini cukup stabil dan susah untuk dipisahkan, pada umumnya untuk mencegah hal tersebut digunakan partikel penyelimut yang dapat melindungi permukaan. Sifat partikel penyelimut ini berbeda untuk setiap molekul tergantung dari molekul dipakai. Prinsip kerjanya adalah dengan menjadi penghalang pada jarak dekat dari dominasi gaya van der Waals sekitar partikel. Sistem akan stabil secara kinetik jika besar penghalang ini lebih besar dari energi panasnya (kT). Seperti didapat dari berbagai literatur, penghalang semakin optimum dengan meningkatnya temperatur.

Perlu diperhatikan bahwa lapisan pelindung ini stabil dalam kondisi normal terutama pada aplikasi nanofluida yang tidak mengalami perubahan temperatur dan tekanan yang signifikan. Dengan kata lain ada kestabilan secara termodinamika dimana laju atau kinetika panas menjadi kecil. Pengaruh struktural,

elektrikal, atau magnetik transisi akan mempengaruhi kestabilan. Secara molekular, struktur pelindung akan ikut bertransformasi dengan orientasi relatif dari ikatan dalam molekulnya.



Gambar 2.3 Stabilitas kinetik dari sistem nanopartikel. Sebagai penghalang interaksi gaya van der Waals lebih tinggi dari energi panasnya, maka cenderung stabil. Ketika penghalang ini tidak ada maka partikel akan mengalami agregasi atau penyatuan^[3].

Pada banyak kasus dijelaskan, kestabilan berhubungan dengan kestabilan kinetik, partikel dengan spesifik struktur dan bentuk. Contoh nanopartikel dari Au₅₅ stabil dengan sejumlah ligan dengan kuantitas medium atau pada keadaan solid statenya. Kondisi tertentu akan mengubah kestabilan ini. Sel micelles dengan bentuk tertentu akan bertransformasi ke bentuk lamellar atau fasa *liquid – crystalline* dan cenderung stabil^[3].

2.4.2 Kemampuan Berdispersi Dalam Media Pendispersi

Nanopartikel terdiri dari dua bagian yakni inti yang biasanya keramik, logam, polimer dan dinding tipis yang mungkin ionic, molekular, polimer, keramik maupun logam^[3]. Sifat dari nanopartikel pada prinsipnya mengacu pada bagian intinya, sedangkan dinding tipis digunakan sebagai lapisan pelindung. Tingkat kelarutan dari nanopartikel tergantung pada sifat kimia dari dindingnya. Molekul

pelindung memiliki karakteristik berupa afinitas kimia terhadap inti nanopartikel dan suatu gugus kimia tertentu. Gugus kimia ini nantinya akan berperan sebagai aditif dispersan atau surfaktan dan mempunyai sifat protektif terhadap ikatan interpartikel dan kemampuan dispersi dalam media.

2.4.3 Sifat Mampu Manipulasi Disetiap Kompatibilitas Kimia

Ukuran, bentuk, dan sifat nanopartikel tergantung dari kondisi sintesis, sangat berhubungan dengan ukuran inti dan penggunaan untuk aplikasi. Hal ini sangat diharapkan untuk sebuah sistem yang metastabil. Secara kinetik nanopartikel terperangkap dalam energi bebas minimalnya, dan parameter sintesis sangat krusial untuk penentuan hasil. Oleh karena itu, untuk membuat ukuran inti, sangat penting untuk menggunakan metodologi terpercaya.

Ukuran, bentuk, dan sifat nanopartikel menyebabkan keterbatasan terhadap keadaptifan dari sistem terhadap beberapa kondisi dan kimianya. Sebagai contoh, jika sistem sensitif terhadap penambahan kimia karena inti atau cangkang pelindungnya maka modifikasi akan mudah dilakukan karena sifat kimia sedikit mempengaruhi terhadap cangkang pelindung dan tidak bereaksi terhadap kimia itu sendiri. Hal ini berarti cangkang harus dimanipulasi kembali setelah sintesis berlangsung, sehingga kita dapat memilih cangkang yang digunakan memiliki sifat kimia yang seperti apa dan memungkinkan untuk difungsionalisasikan.

Kemampuan larut dapat ditingkatkan dengan perubahan lapisan dengan operasi fotosintesis menggunakan prinsip perubahan ligan. Ligan akan tersubstitusi dengan monolayer lain dalam keadaan tertentu. Proses fotosintesis harus berada dalam kondisi stabil antara molekul yang diserap dan keadaan bebasnya, dengan mengulangi proses ini untuk beberapa waktu, perubahan sempurna akan didapat.

Manipulasi kimia dari monolayer dapat dilakukan hanya jika struktur kimia molekul sederhana. Jika lapisan monolayer terganggu, maka potensial untuk terjadinya perubahan fotosintesis semakin tinggi. Contohnya lapisan monolayer dapat terpolimerisasi atau dapat berupa matrik polimer dengan mengganggu dan menerima perubahan. Sistem nano dapat dimanipulasi untuk terperangkap dalam

sebuah rongga dari molekul lain yang lebih besar, seperti pada *dendrimers* dan *cyclodextrins*.

2.5 Karakterisasi Hasil Sintesis Nanofluida

2.5.1 Ukuran dan Distribusi Partikel

Distribusi ukuran partikel nanofluida dapat ditentukan dengan metode *particle size analysis* (PSA). Metode PSA memanfaatkan fenomena penghamburan cahaya oleh partikel. Ketika cahaya ditembakkan ke nanofluida, maka cahaya tersebut akan menabrak partikel-partikel yang terkandung di dalamnya, sehingga akan terjadi penghamburan cahaya. Fitur yang juga patut diperhitungkan dalam metode ini adalah gerak Brown yang terjadi pada partikel-partikel nano di dalam nanofluida. Gerak Brown ini dapat menyebabkan fluktuasi intensitas hamburan pada sudut hamburan tertentu. Posisi relatif partikel pada volume hamburan menentukan besarnya interferensi gelombang cahaya yang konstruktif atau destruktif pada detektor. Karena laju difusi partikel ditentukan oleh ukurannya, maka informasi mengenai ukuran partikel tersebut terkandung dalam laju fluktuasi cahaya yang dihamburkan.

Ukuran partikel dapat dilakukan pendekatan ukuran kristalit. Pendekatan ukuran kristalit dilakukan pada hasil XRD. Efek dari ukuran kristalit, terlihat pada garis difraksi mengindikasikan kedalaman puncak dari sampel, diberikan oleh formula *Scherrer* :

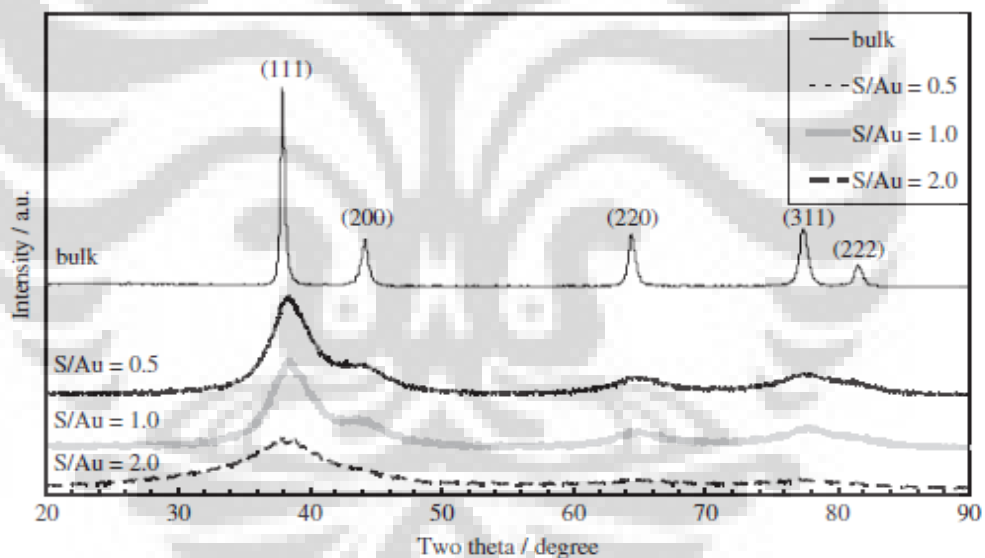
$$t = 0.9\lambda / (B \cos \theta), \quad \dots\dots\dots (1)$$

dimana t adalah ketebalan dari kristalin (dalam Amstrong), θ adalah sudut elevasi, B adalah garis perluasan, mengindikasikan puncak kedalaman dari sampel bila dibandingkan dengan dengan standardnya, dihitung menggunakan formula *Warren* :

$$B^2 = B_M^2 - B_S^2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

Dimana M dan S ditujukan kepada standard karakterisasi specimen, dan B's dihitung dalam radian diketinggian setengahnya. Puncak antara sampel dengan standard seharusnya serupa satu dan lainnya

Ukuran sampai dengan 200nm dapat dihitung menggunakan formula *Scherrer*. Pada luas permukaan interval 5 – 50nm mudah untuk ditentukan. Pada gambar 2.4 ditunjukkan sinar-X diffraktografi dari beberapa partikel emas dengan radiasi $\text{CuK}\alpha$. Spektrum standard dari patikel emas berukuran lebih besar ditunjukkan sebagai pembandingan. Kesimpulannya bahwa pada partikel yang berukuran lebih besar lebih mudah ditentukan puncak dari diagram dan semakin kecil ukuran partikel maka semakin kecil pula puncak terlihat. Untuk partikel berukuran lebih kecil sudut elevasi digunakan juga lebih kecil agar mudah ditentukan.



Gambar 2.4 Variasi pada diffraktografi sinar-X pada nanopartikel emas sebagai fungsi dari dimensinya dibandingkan dengan serbuk Au ukuran lebih besar. Sampel nanopartikel emas ini dilindungi oleh asam mercaptosuccinic dan rasio S/Au hasil sintesis dapat terlihat dimensinya. Perbandingan dimensi adalah : 4nm, 1nm, 3nm, 2nm, dan 0,5nm^[3].

2.5.2 Kestabilan Dispersi

Kestabilan dispersi menjadi hal penting dalam sintesis nanofluida. Dispersi dari nanofluida dapat dikarakterisasi dengan nilai zeta potensial. Zeta potensial

ditentukan oleh beberapa parameter seperti muatan permukaan, ion yang diserap pada permukaan, dan komposisi sekitar medianya. Muatan murni disekitar media tergantung dari muatan partikel dan penstabil. Zeta potensial adalah indeks interaksi anantara partikel. Dideskripsikan dengan formula *Smoluchowski* :

$$\zeta = \frac{4\pi\eta}{\varepsilon} \times U \times 300 \times 300 \times 1000 \quad \dots\dots\dots(3)$$

dimana Z adalah zeta potensial dalam mV, ε adalah dielektrik konstan dalam media, η adalah viskositas larutan, dan U adalah mobilitas *electrophoretic* (v/V/L)

Perhitungan zeta potensial menembus stabilitas koloid dan larutan nanopartikel. Jika semua larutan dalam sebuah suspensi memiliki kuantitas besar baik positif maupun negatif nilai zeta, akan terjadi penolakan satu dengan lainnya dan tidak ada tendensi untuk berinteraksi. Tetapi jika partikel memiliki zeta potensial rendah maka tidak ada gaya untuk mencegah partikel dari penyatuan kembali. Hasil rerata stabilitas dari sebuah sistem koloid nanopartikel dalam zeta potensial adalah ± 30 mV. Lebih tinggi nilai zeta potensial, maka semakin stabil pula sistem koloid. Nilai zeta potensial sangat dipengaruhi secara primer oleh tingkat keasaman (pH).

Secara manual zeta potensial dihitung menggunakan *micro electrophoresis method*. Teknik ini menggunakan dasar penyebaran sinar oleh partikel. Dalam kasus larutan nanopartikel, sebenarnya *microelectrophoresis* kurang ideal karena efek Doppler menyebarkan sinar dari partikelnya. Metode terbaru untuk mengukur zeta potensial adalah *electroacoustic methods* yang mengukur berdasarkan sifat elektrokinetik partikel. Metode ini diaplikasikan dengan mengukur tingginya frekuensi muatan listrik partikel terhadap pergerakan *electrophoretic* partikel. Menghasilkan gelombang alternatif dengan perbedaan kepadatan antara partikel dan medianya. Kecepatan dari partikel diukur menggunakan *laser Doppler electrophoresis*. Kecepatan ini dikonversi menjadi nilai zeta potensial menggunakan perhitungan *Henry's* :

$$U = \frac{2\varepsilon z f (ka)}{3\eta} \quad \dots\dots\dots(4)$$

dimana ϵ adalah konstan dielektrik, z adalah zeta potensial, η adalah viskositas, dan $f(ka)$ fungsi Henry's. Nilai $f(ka)$ umumnya diasumsikan 1,5 (perhitungan *Smoluchowski's*) untuk media larutan dan dianggap 1 (perhitungan *Huckel*) untuk partikel kecil dimedia non larutan. Teknik zeta potensial ini tidak menggambarkan sifat kimia dari nanopartikel sistem.

2.5.3 Konduktivitas Panas

Ketahanan transfer panas dari fluida yang mengalir dideskripsikan oleh *Nusselt number*, yang berhubungan dengan konduktivitas panas secara langsung dan tidak langsung dengan ketetapan *Prandtl number*. Oleh karenanya ketahanan transfer panas dari suatu sistem nanofluida sangat bergantung dengan panas konduktivitasnya. Sebagai rujukan data, penjelasan dibawah tentang perbandingan grafik akan disajikan guna mendeskripsikan tujuan transfer panas hasil studi pendekatan untuk aplikasi otomotif.

Dalam perhitungan literatur keteknikan, data terkumpul hasil penelitian bertahun-tahun akan disajikan sebagai landasan teori. Rasio perubahan konduktivitas panas didefinisikan sebagai rasio konduktivitas panas nanofluida terhadap panas konduktivitas fluida dasarnya. Persen perubahan dari konduktivitas panas adalah hubungan antara konduktivitas panas awal, koefisien transfer panas, dan *Nusselt Number*. Perubahan persentase didapat dari perbedaan nilai tersebut.

Lebih dari 100 tahun yang lalu, Maxwell menurunkan persamaan untuk menghitung konduktivitas panas efektif dari campuran cairan-padatan yang mengandung partikel bulat.

$$k_{nf} = \frac{k_p + 2k_f + 2(k_p - 2k_f)\phi}{k_p + 2k_f - (k_p - k_f)\phi} k_f \quad \dots\dots\dots(5)$$

dimana k_{nf} adalah konduktivitas panas nanofluida, k_f adalah konduktivitas panas fluida, k_p adalah konduktivitas panas nanopartikel, dan ϕ adalah fraksi volume partikel. Seperti terlihat pada persamaan diatas bahwa pengaruh ukuran dan bentuk dari partikel tidak termasuk dalam analisa untuk menghitung konduktivits panas efektif. Interaksi antar partikel juga dihilangkan pada persamaan ini.

Perkembangan lebih lanjut dari persamaan Maxwell adalah persamaan Hamilton dan Crosser. Bentuk dari partikel pada persamaan ini diperhitungkan juga dalam perhitungan konduktivitas panas nanofluida.

$$k_{nf} = \frac{k_p + (n-1)k_f - (n-1)\varphi(k_f - k_p)}{k_p + (n-1)k_f + (k_f - k_p)\varphi} k_f \quad \dots\dots\dots(6)$$

dimana $n=3/sphericity$, untuk partikel bulat $n=3$.

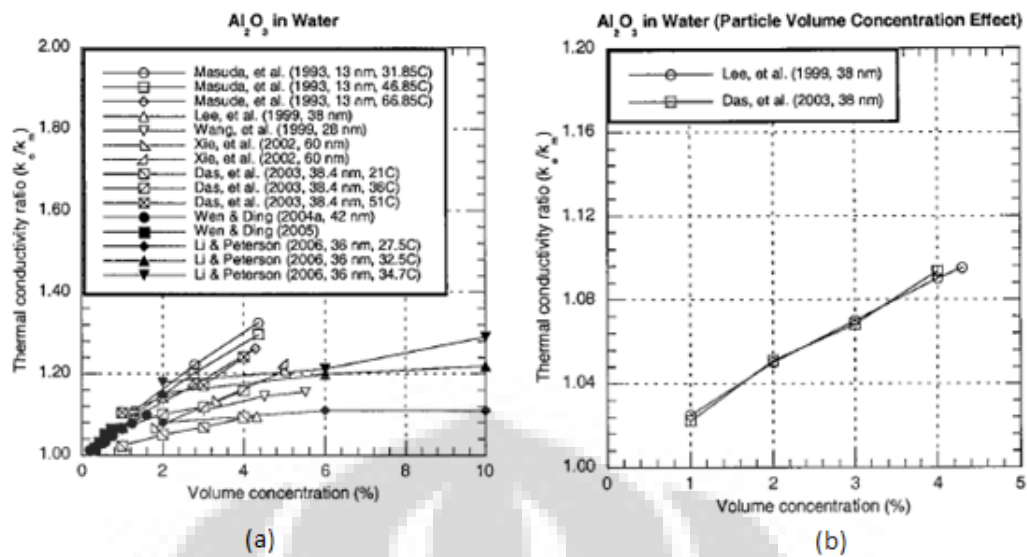
Kedua model persamaan ini pada dasarnya diturunkan untuk partikel yang mempunyai ukuran cukup besar mulai dari mikrometer sampai milimeter. Kedua model persamaan ini masih dipertanyakan untuk menghitung konduktivitas panas efektif dari nanofluida. Meskipun demikian, kedua model ini masih sering digunakan untuk membandingkan antara nilai teori dengan percobaan.

2.6 Faktor yang Mempengaruhi Konduktivitas Panas

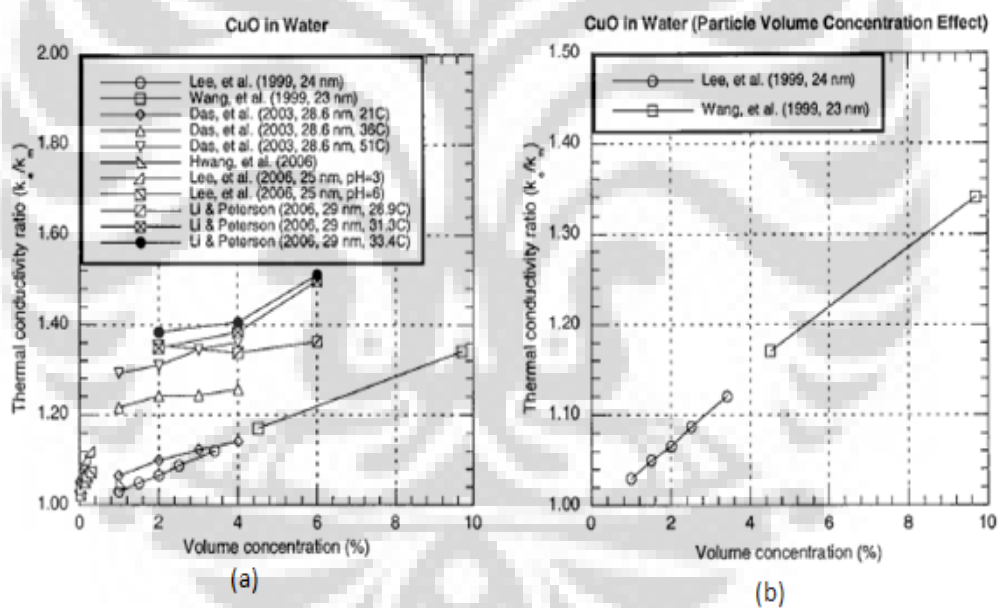
Penelitian sebelumnya menunjukkan beberapa faktor yang mempengaruhi konduktivitas panas dari nanofluida. Faktor yang mempengaruhi konduktivitas panas nanofluida adalah sebagai berikut.

2.6.1 Pengaruh Volume Konsentrasi Partikel

Pengaruh dari jumlah konsentrasi partikel terhadap perubahan konduktivitas panas sebuah sistem nanofluida dapat dilihat pada Gambar 2.5 (a) dimana ada tujuh percobaan terhadap Al_2O_3 didalam air. Ukuran partikel dan temperatur juga dijadikan variasi, maka dapat diambil kesimpulan bahwa konduktivitas panas akan meningkat dengan meningkatnya volume konsentrasi partikel. Volume partikel oksida biasanya normal antara 4 – 5% untuk menjaga pertambahan viskositas. Pada Gambar 2.6 (b) dapat kita lihat perbandingan konduktivitas panas dua percobaan dengan material dan parameter sama memiliki keidentikan satu dengan yang lainnya. Dapat disimpulkan teori pendukung sudahlah akurat disetiap percobaan.



Gambar 2.5 (a) Perubahan konduktivitas panas Al₂O₃ didalam air (b) Perbandingan perubahan panas konduktivitas dari hasil dua penelitian yang memiliki variabel sama^[10].

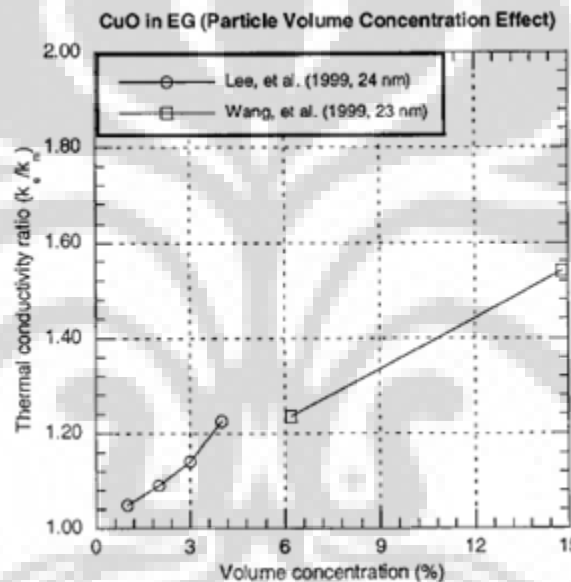


Gambar 2.6 (a) Perubahan konduktivitas panas CuO didalam media pendispersi air (b) Pengaruh volume konsentrasi partikel terhadap konduktivitas panas dua penelitian di rentang yang berbeda^[10].

Hasil perubahan konduktivitas panas juga dapat dilihat pada Gambar 2.6 (a) dari berbagai penelitian yang dilakukan. Dapat dilihat perbedaan ukuran partikel dan temperatur juga meningkatkan konduktivitas panas dari partikel. Gambar 2.6 (b) menunjukkan kenaikan yang konstan terhadap konduktivitas

panas oleh dua penelitian berbeda dengan variabel temperatur dan konsentrasi yang sama.

Pengaruh volume konsentrasi partikel dalam *ethylene glycol* sebagai fluida dasar dapat dilihat pada Gambar 2.7. berdasarkan gambar yang ada terlihat bahwa terjadi peningkatan konduktivitas panas dengan semakin bertambahnya konsentrasi partikel. Data didapat merupakan perbandingan beberapa penelitian. Sebagai kesimpulan dapat ditunjukkan bahwa semakin tinggi volume konsentrasi partikel, maka viskositas nanofluida akan meningkat dan menyebabkan adanya penyerapan panas yang baik oleh partikel.



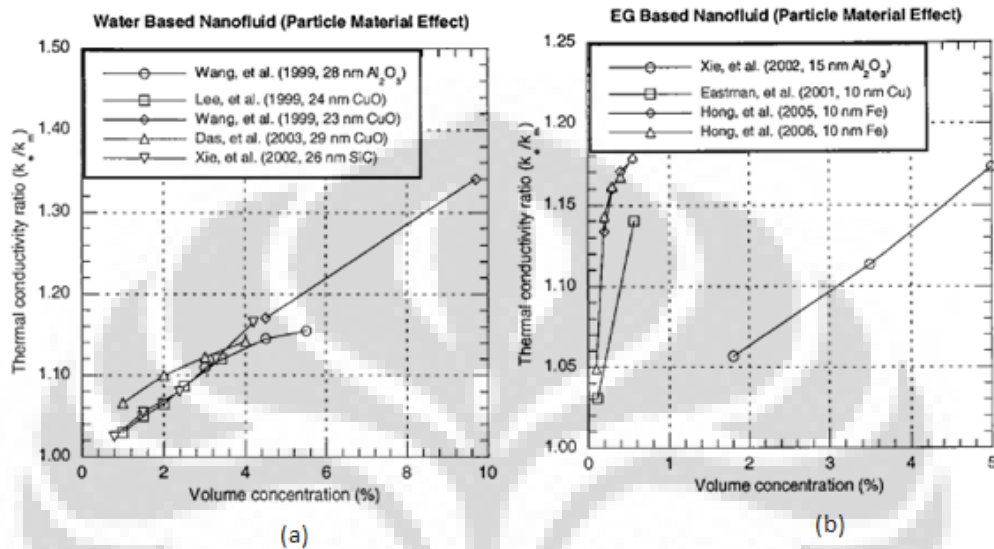
Gambar 2.7 Nilai konduktivitas panas CuO didalam fluida *ethylene glycol*. Literatur dari dua penelitian yang ada menunjukkan peningkatan signifikan dengan meningkatnya volume partikel^[10].

2.6.2 Pengaruh Jenis Partikel

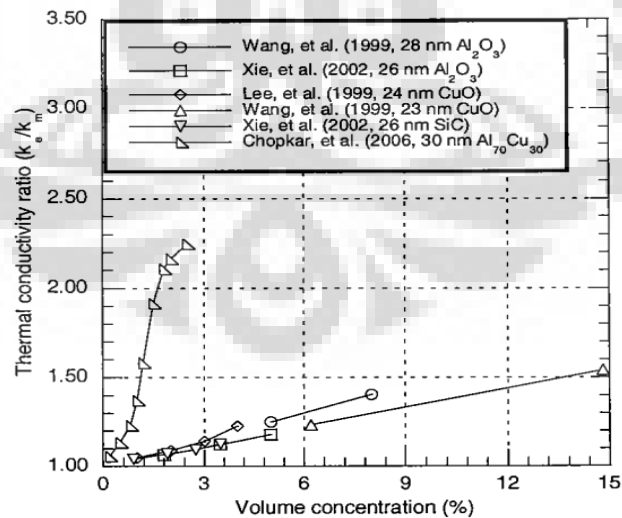
Pengaruh jenis partikel material terhadap perubahan konduktivitas panas dideskripsikan pada Gambar 2.8 (a) untuk dua partikel oksida dan silikon karbida didalam air. Variabel digunakan kurang lebih konstan, mengisolasi material dari hal yang tidak diinginkan. Seperti terlihat jenis partikel oksida secara signifikan tidak mempengaruhi terhadap perubahan rendahnya konduktivitas panas partikel.

Hasil cukup signifikan dapat dilihat pada Gambar 2.8 (b) dimana perbandingan antara dua partikel logam dengan oksida diuji konduktivitas

panas. Seperti terlihat partikel logam memberikan nilai konduktivitas panas serupa dengan oksida dengan konsentrasi volume lebih rendah. Hal ini diduga karena partikel logam lebih tinggi nilai konduktivitasnya ketika mulai terbentuknya nanopartikel. Sangat sulit memproduksi nanopartikel logam tanpa adanya oksidasi, sehingga metode proses satu tahap digunakan untuk mensintesis.



Gambar 2.8 (a) Pengaruh Jenis partikel oksida terhadap konduktivitas panas didalam media pendispersi air (b) Perbedaan nilai konduktivitas panas partikel logam dan oksida dalam media pendispersi *ethylene glycol*^[10].



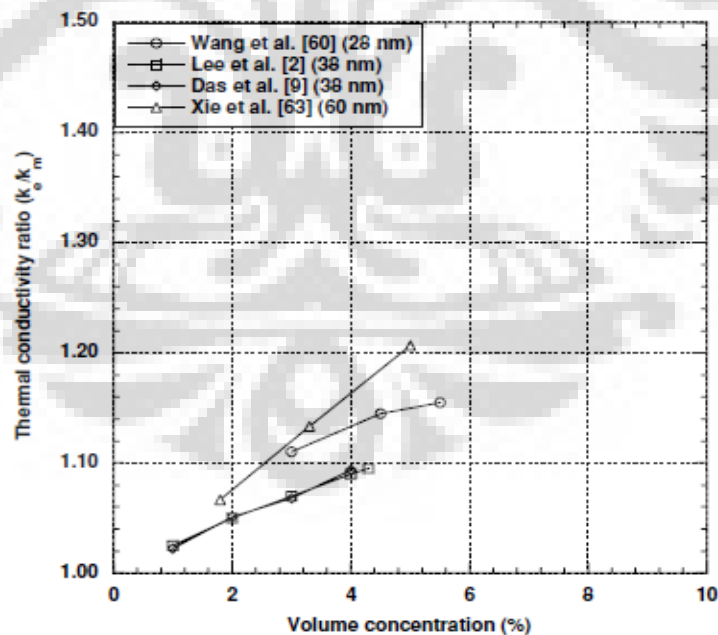
Gambar 2.9 Perbandingan konduktivitas panas logam, oksida, dan karbida didalam pelarut *ethylene glycol*^[10].

Gambar 2.8 (b) menunjukkan rasio konduktivitas panas pada partikel logam meningkat signifikan dibandingkan dengan partikel oksida. Untuk

mengetahui tingkat efektivitas dari volumenya dapat dilihat pada Gambar 2.9. Perbandingan antara logam, oksida, dan karbida menunjukkan pada volume 2,5 % Cu memberikan konduktivitas panas yang sangat baik. Terlihat jelas hasil yang diberikan sangat efektif bila dibandingkan dengan partikel bukan logam. Namun, sifak oksidasi dari material logam menjadi penghalang dalam sintesis nanofluida logam. Oleh karena itu, sampai saat ini sintesis nanofluida logam masih sulit dilakukan dengan cara sederhana.

2.6.3 Pengaruh Ukuran Partikel

Data pembahasan dalam bab ini hanya dari nanofluida dengan bentuk bulat / bola. Pada Gambar 2.10 terlihat perbedaan nilai konduktivitas panas diameter partikel antara 28 sampai dengan 60nm, dengan kecenderungan yang tidak monoton. Terlihat untuk ukuran 60nm memiliki nilai konduktivitas tinggi. Dari data tersebut, semakin kecil ukuran partikel semakin kecil pula tingkat konduktivitas panasnya. Tetapi untuk hasil 28nm berada diantara partikel lebih besar.



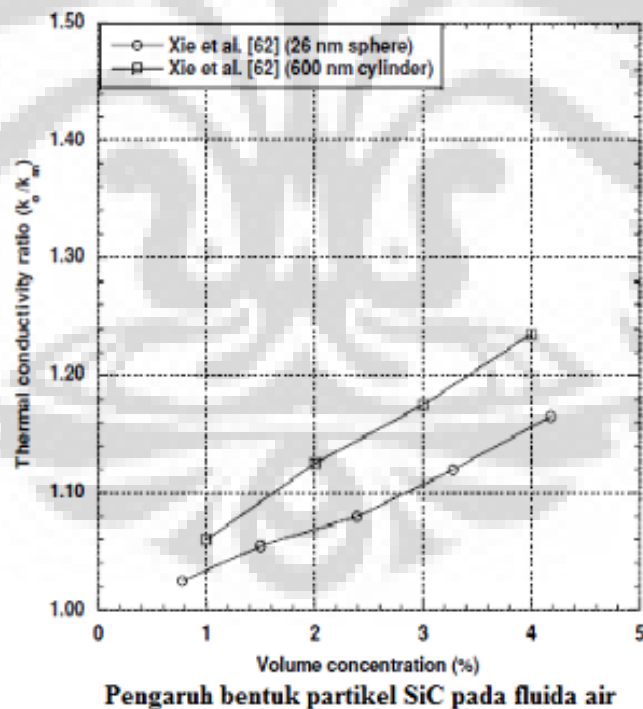
Gambar 2.10 Pengaruh ukuran partikel terhadap konduktivitas panas dari nanofluida^[19].

Berdasarkan Gambar 2.10 hasil yang didapatkan berlawanan dengan literatur yang menjelaskan semakin kecil ukuran partikel maka akan memberikan

kenaikan nilai konduktivitas panas yang signifikan. Aglomerasi menjadi kata kuncinya, hal inilah yang menyebabkan simpangan terhadap nilai konduktivitas panas. Bentuk partikel ternyata juga sangat berpengaruh walaupun memiliki ukuran sama, diduga hal ini tidak diperhatikan ketika sintesis nanofluida.

2.6.4 Pengaruh Bentuk Partikel

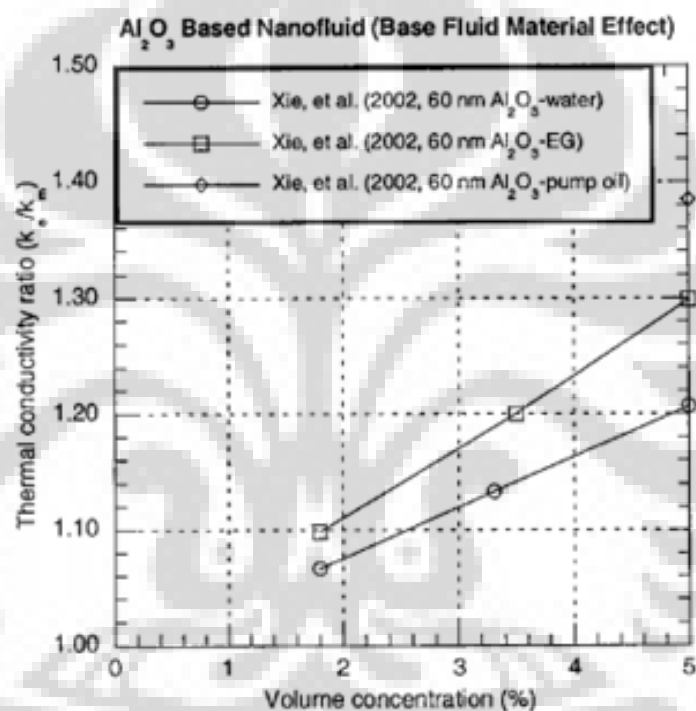
Geometri nanopartikel juga mempunyai peranan penting dalam meningkatkan konduktivitas panas dari nanofluida. Pada Gambar 2.11 dibandingkan partikel bulat dengan silinder. Peningkatan berarti terlihat pada bentuk partikel silinder karena bentuknya yang panjang lebih mudah mengkonduksi transfer panas melalui partikel. Namun, bentuk partikel bola lebih disukai karena mempunyai elongasi partikel yang tidak buruk terhadap konduktivitas panasnya dan juga mudah serta murah biaya untuk sintesis nanofluidanya.



Gambar 2.11 Konduktivitas SiC dalam media pelarut air dengan perbandingan bentuk bola dan silinder^[20].

2.6.5 Pengaruh Fluida Dasar

Pengaruh fluida sebagai material dasar seperti air, *ethylene glycol*, dan minyak polimer terhadap perubahan konduktivitas panas terlihat pada Gambar 2.12 dibawah ini. Hasil menunjukkan peningkatan konduktivitas panas untuk berbagai fluida dasar dengan meningkatnya volume partikel. Peningkatan lebih signifikan terjadi pada fluida dasar *ethylene glycol* dibandingkan dengan fluida air. Kecenderungan ini tidak menggambarkan data literatur secara keseluruhan, tetapi data ini cukup valid untuk digunakan. Dalam keadaan standar, nilai konduktivitas panas dari *ethylene glycol* lebih rendah daripada air.

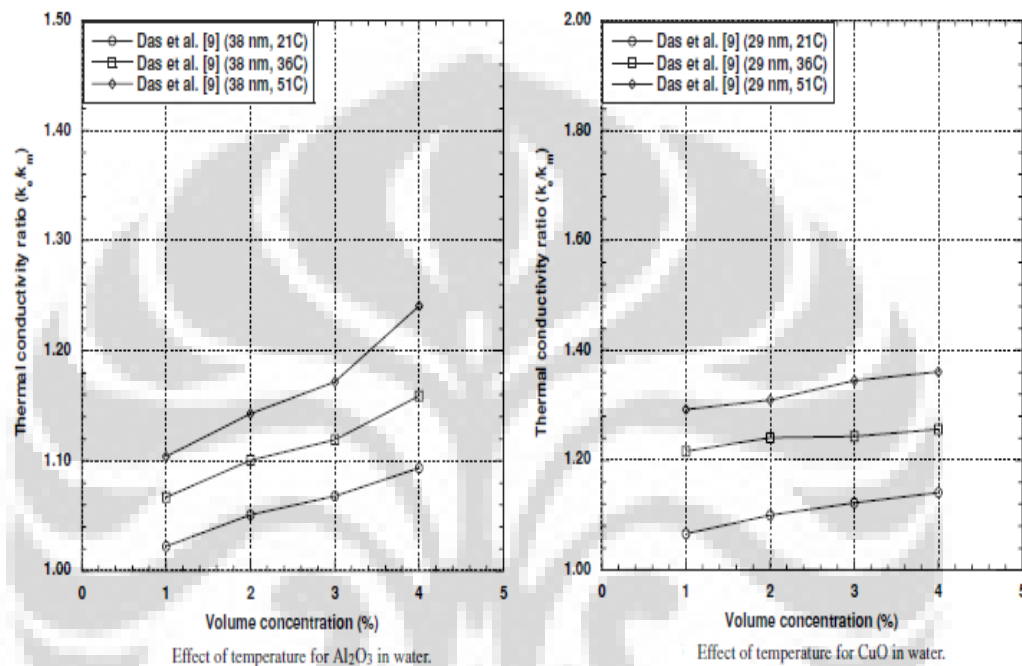


Gambar 2.12 Konduktivitas berbagai fluida dasar dengan besar partikel seragam^[10].

2.6.6 Pengaruh Temperatur

Berdasarkan literatur yang ada, konduktivitas panas dari sebuah sistem nanofluida lebih sensitif dipandang dari sisi perbedaan temperatur bila dibandingkan dengan perbedaan fluida dasarnya. Setiap data pembandingan yang akan disajikan pada Gambar 2.13 (a) dan (b) merupakan hasil penelitian beberapa kelompok dalam kurun waktu berbeda. Kecenderungan hasil yang didapat untuk setiap penambahan temperatur konduktivitas panas dari fluida akan meningkat.

Percobaan Das et al (2003) mendapatkan hasil representatif penelitiannya untuk perbedaan suhu untuk Al_2O_3 media pendispersi air dan CuO dengan media pendispersi air. Das et al menyimpulkan bahwa peningkatan konduktivitas termal dikarenakan pergerakan dari partikel – nanopartikel fluida. Data yang tersaji menunjukkan bahwa literatur dasar yang menyatakan kenaikan temperatur berbanding lurus dengan konduktivitas panas dari nanofluida.



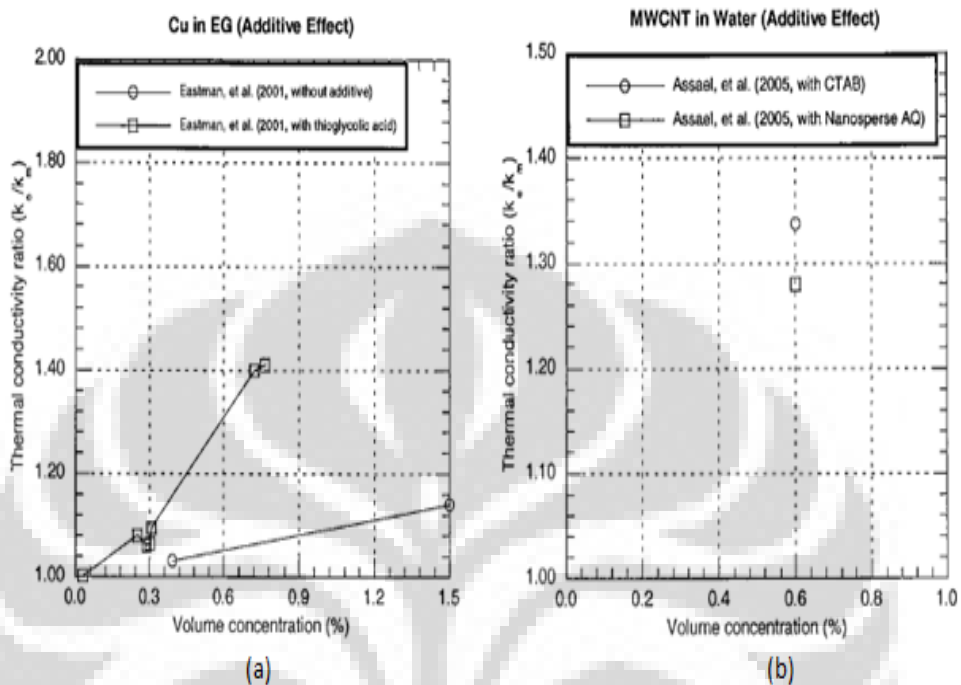
Gambar 2.13 Pengaruh temperatur pada konduktivitas panas nanofluida Al_2O_3 dan CuO^[21].

2.6.7 Pengaruh Penambahan Aditif

Salah satu masalah utama dalam sintesis nanofluida adalah menjaga kestabilan nanofluida yang dihasilkan. Aglomerasi sering terjadi pada nanofluida. Oleh karena itu, peneliti berfikir untuk menambahkan suatu zat yang dapat menjaga nanopartikel agar tidak mengalami aglomerasi. Zat yang ditambahkan ini biasa disebut dengan surfaktan.

Hasil penelitian didapat tidak pasti dan tersebar secara acak tergantung dari respek surfaktan yang ditambahkan. Tetapi banyak studi yang telah dilakukan untuk melihat sifat surfaktan ini. Seperti terlihat di Gambar 2.14 (a) dan (b) untuk penambahan surfaktan berbeda pada sistem nanofluida. Pada kasus keduanya

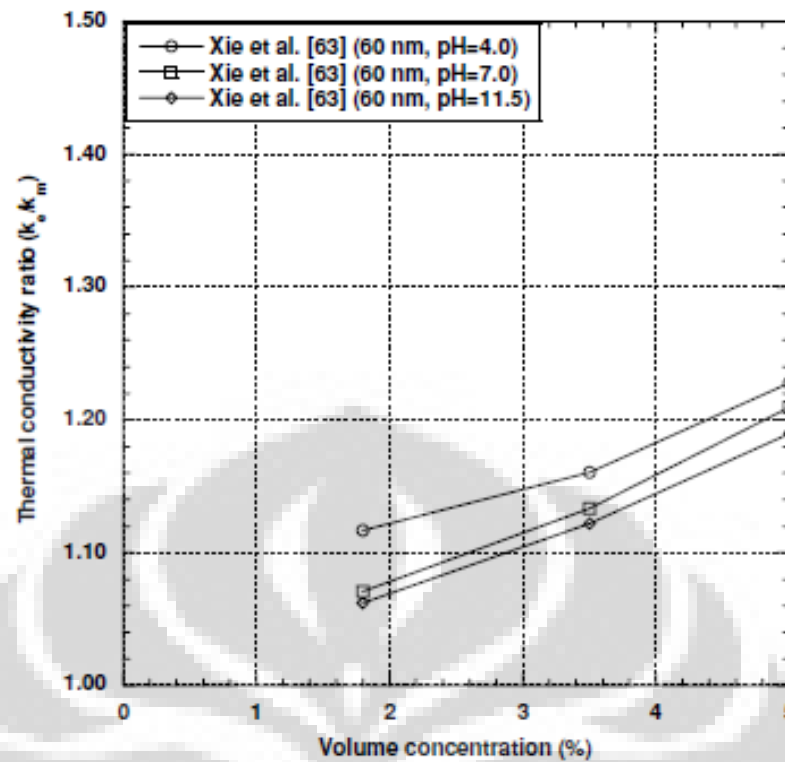
diketahui bahwa konduktivitas panas meningkat dengan penambahan kuantitas surfaktan meningkat. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dimasa mendatang karena sejauh ini literatur yang kami dapat hanya berkisar pada gambar.



Gambar 2.14 (a) Hasil Penelitian Eastman, et al untuk sintesis nanofluida Cu didalam media pendispersi *ethylene glycol* (b) Hasil Penelitian Assael untuk sintesis nanofluida MWCNT didalam media pendispersi air^[10].

2.6.8 Pengaruh Keasaman (pH)

Keterbatasan studi literatur terhadap efek penambahan keasaman terhadap perubahan konduktivitas panas sistem nanofluida. Hasil dua penelitian dapat terlihat seperti gambar dibawah. Meskipun Gambar 2.15 menunjukkan kecenderungan yang sama, kesimpulan bertambahnya tingkat keasaman akan mempengaruhi konduktivitas panas belum bisa disimpulkan.



Gambar 2.15 Pengaruh keasaman terhadap konduktivitas panas nanofluida Al_2O_3 ^[22].

2.7 Mekanisme Peningkatan Konduktivitas Panas

Peningkatan konduktivitas panas pada nanofluida dapat dijelaskan dengan beberapa mekanisme. Beberapa penelitian sebelumnya menyimpulkan bahwa teori makroskopis terbukti gagal untuk menjelaskan fenomena peningkatan konduktivitas panas pada nanofluida. Koblinski et al^[14] berpendapat bahwa terdapat empat mekanisme yang mungkin untuk menjelaskan fenomena peningkatan konduktivitas panas. Mekanisme yang dimaksud adalah gerak Brownian dari nanopartikel, lapisan cair yang teratur pada permukaan nanopartikel, *ballistic transport energy* antar partikel, dan pengaruh kluster nanopartikel.

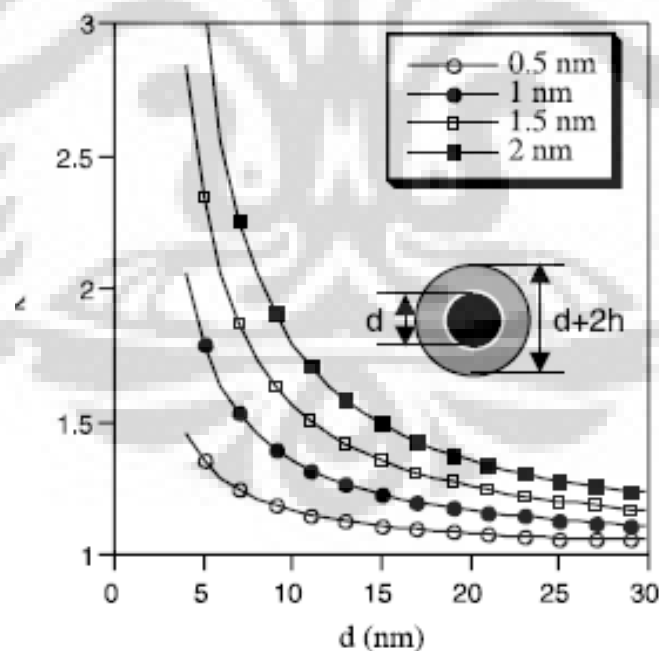
2.7.1 Gerak Brownian Nanopartikel

Gerak Brownian merupakan gerak secara acak dari nanopartikel yang tersuspensi dalam fluida. Gerak Brownian dari nanopartikel berpengaruh pada peningkatan konduktivitas panas melalui dua cara. Pengaruh langsung dari mekanisme ini adalah dengan pergerakan dari nanopartikel yang menyebabkan

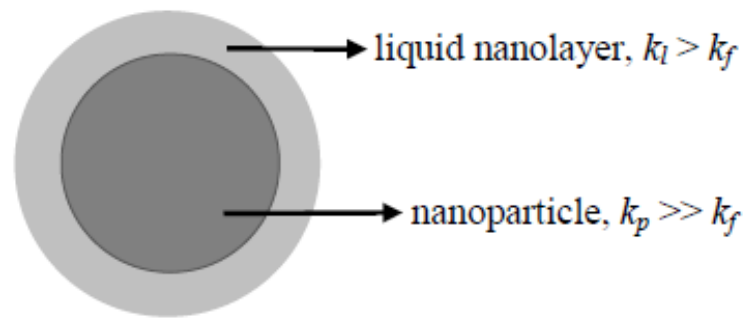
perpindahan panas. Pengaruh secara tidak langsung disebabkan dengan adanya konveksi mikroskopis dari fluida disekitar nanopartikel. Penelitian lebih lanjut yang dilakukan oleh Evans et al^[15] membuktikan secara teoritis mekanisme gerak Brownian memperlihatkan peningkatan yang tidak signifikan dari konduktivitas panas fluida dasar. Hal ini dijelaskan dengan *moleculardynamics simulations*. Sebagai hasilnya, dapat diambil kesimpulan bahwa gerak Brownian dari partikel bukan merupakan penyebab utama dari fenomena peningkatan konduktivitas panas dari nanofluida.

2.7.2 Lapisan Cair Pada Permukaan Nanopartikel

Penelitian sebelumnya memperlihatkan bahwa lapisan nano yang terdapat di permukaan nanopartikel memperlihatkan konduktivitas panas yang lebih baik dibandingkan material ruahnya. Berdasarkan penelitian tersebut, lapisan yang terbentuk disekitar nanopartikel mempunyai pengaruh terhadap peningkatan konduktivitas dari nanofluida^[16].



Gambar 2.16 Peningkatan konduktivitas panas akibat terbentuknya lapisan cair pada permukaan nanopartikel^[14].



Gambar 2.17 Ilustrasi pembentukan lapisan disekitar nanopartikel. k_l , k_f , dan k_p adalah konduktivitas panas lapisan nano, fluida dasar, dan nanopartikel^[16].

Para peneliti mengembangkan model teori menyangkut lapisan cair disekitar nanopartikel dan memperkirakan hasilnya dengan mengasumsikan nilai konduktivitas panas dan ketebalan dari lapisan nano tersebut. Parameter yang terkait dengan ketebalan lapisan nano ini adalah konstanta dielektrik, temperatur dari nanofluida, dan *ionic strength*.

2.7.3 *Ballistic Transport Energy*

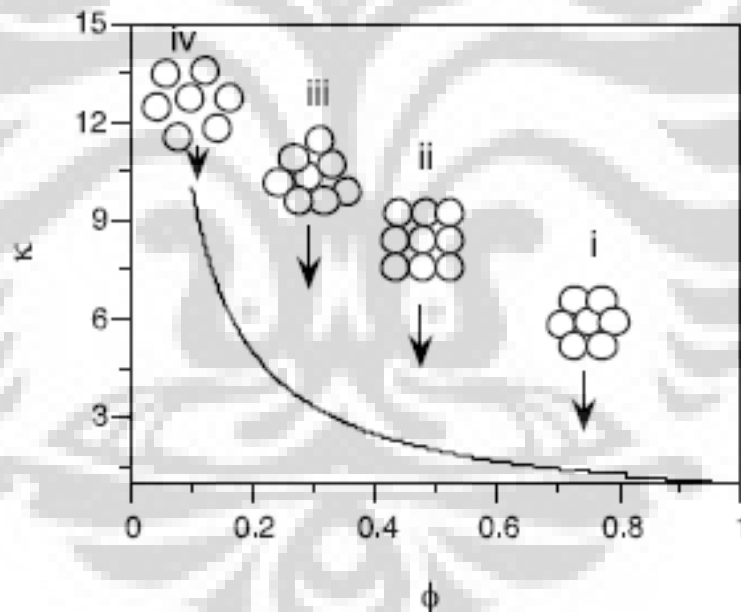
Panas pada padatan kristalin yang digunakan pada nanofluida dibawa oleh phonon. Phonon terbentuk secara acak, tumbuh pada arah yang acak, dan menyebar akibat interaksi antar phonon. Mekanisme diatas merupakan pembuktian secara makroskopis untuk perpindahan panas. Pada logam, panas umumnya dibawa oleh elektron yang juga memperlihatkan pergerakan difusi pada tingkat makroskopis. Namun, dilihat dari sudut pandang makroskopis sangatlah sulit untuk memperlihatkan bahwa *ballistic phonon transport* lebih efektif dibandingkan dengan *diffusion phonon transport* yang cepat.

Kebbinski et al berpendapat bahwa *ballistic transport energy* masih belum bisa menjelaskan fenomena peningkatan konduktivitas panas. Hal ini dikarenakan temperatur di dalam partikel mendekati konstan dan kondisi ini tidak tergantung pada mekanisme perpindahan panas baik secara difusi maupun ballistik. Kebbinski et al juga berpendapat bahwa *ballistic transport* dapat memberikan pengaruh yang signifikan pada konduktivitas panas dari nanofluida apabila memungkinkan terjadinya perpindahan panas antara nanopartikel. Mekanisme ini hanya mungkin

terjadi apabila jarak antara nanopartikel satu dan lainnya sangat dekat. Kondisi ini dimungkinkan terjadi dengan adanya gerak Brownian yang menyebabkan partikel bergerak mendekat satu dan lainnya.

2.7.4 Pengaruh Pengelompokan Nanopartikel

Pembentukan pola ketahanan panas yang rendah, pengelompokan partikel ke dalam pola meluas akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap konduktivitas panas efektif. Walaupun demikian, pengelompokan secara luas sehingga aglomerasi dari padatan tidak mungkin terjadi namun pengelompokan yang besar akan memungkinkan terjadinya endapan. Pengaruh pengelompokan diilustrasikan pada Gambar 2.19 yang menunjukkan peningkatan konduktivitas panas yang dipengaruhi peningkatan volume efektif dari pengelompokan.



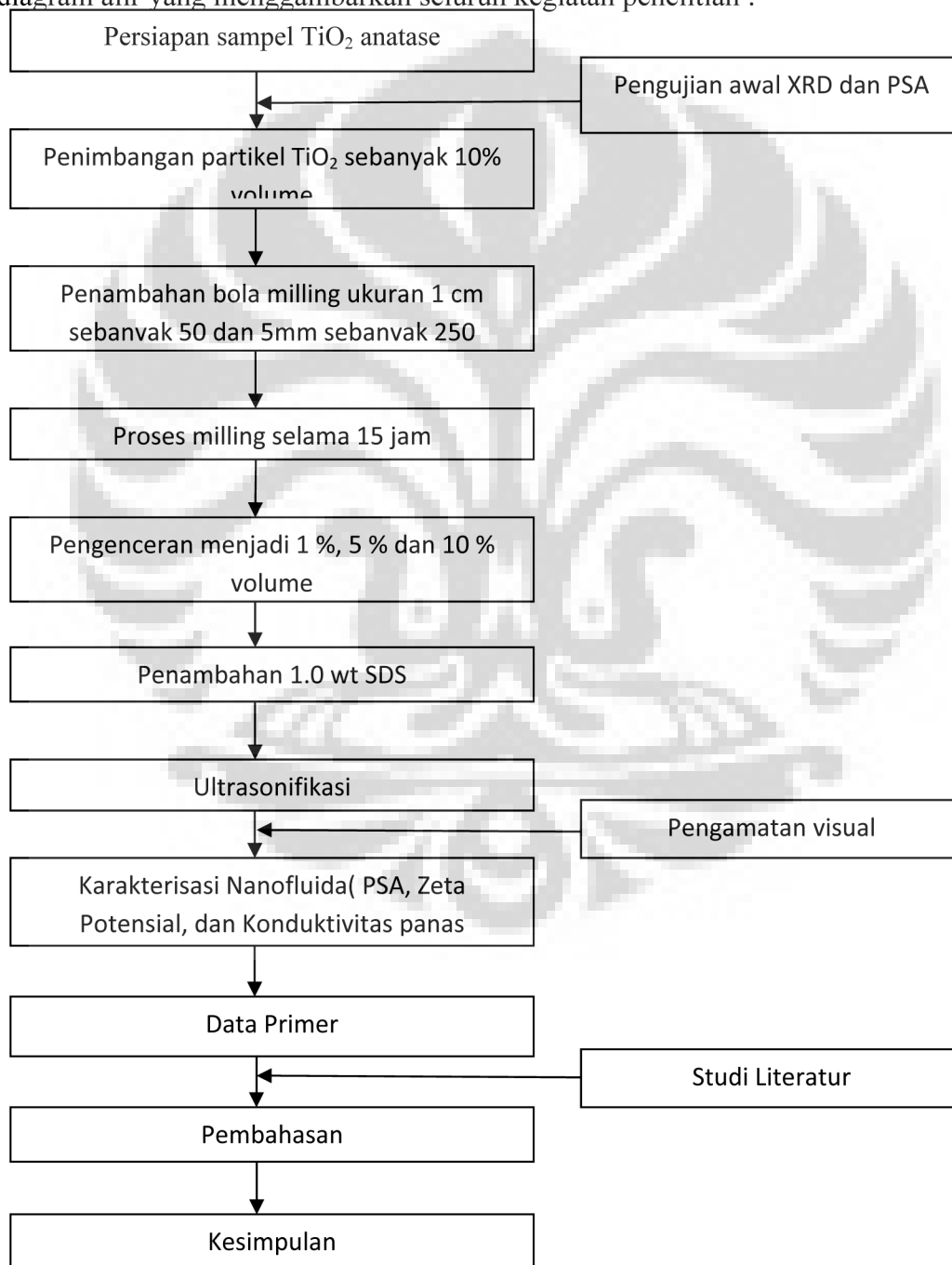
Gambar 2.18 Peningkatan konduktivitas panas sebagai pengaruh dari volume pengelompokan^[14].

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian, alur kerja yang sistematis dan tepat diperlukan agar tujuan dari sebuah penelitian dapat tercapai. Berikut adalah diagram alir yang menggambarkan seluruh kegiatan penelitian :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah TiO_2 anatase yang berukuran di bawah 100 mikron. Air distilasi digunakan sebagai fluida dasar untuk mendispersikan partikel TiO_2 . Surfaktan yang digunakan adalah *sodium dodecyl sulfate* (SDS). Alat yang digunakan untuk sintesis nanofluida dalam penelitian ini adalah *planetary ball mill* dengan dua buah vial *stainless steel* yang masing-masing beerkapasitas 250 mL.

Semua bahan dimasukkan ke dalam vial secara bersama-sama. Pada setiap vial, dimasukkan total 100 mL dari ketiga bahan tersebut. Dengan demikian, komposisi masing-masing bahan disesuaikan dengan jumlah sesuai dengan fraksi volume yang akan dibuat. Bola pereduksi yang digunakan adalah bola corundum sebanyak 250 buah, terdiri atas 200 buah dengan diameter 10 mm dan 50 buah dengan diameter 5 mm. Proses *milling* dilaksanakan selama 15 jam. Proses sintesis nanofluida ini dilaksanakan di Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI, Kampus UI Depok.

Pengujian yang dilakukan: particle size analyzer (PSA), uji potensial Zeta, dan uji konduktifitas panas. PSA dan uji potensial Zeta dilakukan di Masyarakat Nano Indonesia, Kawasan Puspitek Serpong, Gedung 410 Balai Inkubator Teknologi BPPT Ruang 129, Tangerang, Banten. Sedangkan uji konduktifitas panas dilakukan dengan menggunakan KD2 di Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Bahan

Penelitian sintesis nanofluida ini menggunakan TiO_2 dari Merck sebagai partikel tersuspensi. TiO_2 yang di pakai merupakan jenis komersil dimana berat jenisnya 3,7 gram/ml. Sesuai dengan pengujian PSA yang dilakukan pada partikel awal, ukuran awal dari partikel ini adalah 305 nm dengan rentang antara 17,3 – 1808 nm. Uji komposisi kimia dilakukan dengan menggunakan metode XRD untuk mengetahui jenis partikel TiO_2 ini.

Media pendispersi yang digunakan adalah air distilasi atau lebih dikenal dengan nama aquades. Air distilasi digunakan pada penelitian ini karena memiliki

kemampuan mendispersikan partikel dengan lebih baik. Hal ini terjadi karena air distilasi telah mengalami proses demineralisasi sehingga semua mineral terlarut pada air telah dipisahkan. Pengukuran awal untuk tingkat keasaman/pH aquades dengan menggunakan pH meter adalah 7.0 atau netral.

Surfaktan digunakan pada penelitian ini sebagai variabel untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kestabilan dispersi dari nanofluida yang dihasilkan. Surfaktan yang digunakan adalah *Sodium Dodecyl Sulfate* (SDS). Atau biasa disebut *sodium lauryl sulfate*. SDS yang dipakai adalah merek Wako dengan rumus kimia $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OSO}_3\text{Na}$ dengan massa relatif 288,38. SDS ini termasuk material yang berbahaya sehingga dalam penanganannya harus hati-hati. SDS ini tidak kompatibel apabila dipadukan dengan oksidator dan asam kuat.

3.2.2 Alat

Peralatan yang digunakan secara umum dapat dibagi menjadi tiga kelompok yakni peralatan untuk preparasi sampel, sintesis nanofluida, dan pengenceran. Pada saat preparasi sampel peralatan yang digunakan seperti botol angsa, gelas ukur, spatula, tabung ukur dan timbangan digital. Proses sintesis nanofluida menggunakan peralatan seperti *planetary ball mill*, vial *stainless steel*, bola *corundum*, dan perekat. Sedangkan pada saat pengenceran digunakan peralatan seperti botol angsa, botol spesimen, pipet tetes, tabung ukur, label spesimen, dan ultrasonik cleaner.

3.3 Sintesis Nanofluida

Penelitian sintesis nanofluida TiO_2 ini menggunakan metode *wet mechanochemical process*. Metode ini merupakan metode satu tahap dimana pendispersian partikel dalam fluida dasarnya dilakukan bersamaan dengan reduksi ukuran partikel menggunakan *planetary ball mill*. Prinsip kerja alat ini adalah dengan memanfaatkan gaya revolusi dan rotasi sehingga didapat gaya impak dari bola untuk mereduksi ukuran partikel didalam vial. Penggunaan vial baja tahan karat dan bola *corundum* masih menyebabkan sedikit masalah karena menghasilkan pengotor akibat dari ikut tergerusnya vial oleh bola.

Planetary ball mill yang digunakan merupakan *prototype* yang di desain sendiri secara sederhana. Sintesis nanofluida yang dilakukan menggunakan alat ini masih belum sempurna karena alat masih kurang stabil dan masih perlu banyak perbaikan. Proses kominusi yang terjadi sering terhenti karena *planetary ball mill* yang digunakan mengalami kendala teknis.

3.3.1 Preparasi Sampel

Tahap awal dalam preparasi sampel yang dilakukan adalah memastikan seluruh peralatan yang akan digunakan dalam keadaan bersih. Setiap peralatan dicuci dengan menggunakan sabun, dibilas dengan air, dan kemudian dikondisikan dengan menggunakan air distilasi. Kondisi seperti ini diharapkan mampu mengeliminasi kontaminasi terhadap nanofluida yang dihasilkan.

Penelitian ini menggunakan presentasi volume untuk master sebesar 10 % volume partikel terlarut dari total volume 100ml. Penimbangan dilakukan dengan menggunakan timbangan digital. Partikel TiO₂ yang digunakan untuk membuat sampel pada penelitian ini sebanyak $3,7 \times 10 = 37$ gram. Pelarutan dilakukan dengan menambahkan 90 ml aquades. Pelarutan dilakukan langsung di vial untuk mencegah berkurangnya konsentrasi partikel.

Setelah TiO₂ dan aquades disiapkan, dilakukan penghitungan volum bola 10 mm sebanyak 50 buah dan 5 mm sebanyak 250 buah yang akan digunakan. Vial yang digunakan berukuran 250 ml dan sampel sebanyak 100 ml. Oleh karena itu volum maksimum untuk bola adalah $250 - 100 = 150$ ml. Penghitungan total volum bola adalah sebagai berikut:

$$\text{Bola diameter 10 mm} \rightarrow \frac{4}{3} \pi (0,5 \text{ cm})^3 \times 50 = 26,1 \text{ cm}^3$$

$$\text{Bola diameter 5 mm} \rightarrow \frac{4}{3} \pi (0,25 \text{ cm})^3 \times 250 = 16,3 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volum bola total} \rightarrow 26,1 \text{ cm}^3 + 16,3 \text{ cm}^3 = 42,4 \text{ cm}^3$$

Jadi total volum yang digunakan oleh bola dan sampel adalah $42,4 \text{ cm}^3 + 100 \text{ cm}^3 = 142,4 \text{ cm}^3$. Kegunaan dari mengetahui volum total ini adalah untuk menjaga agar wadah tidak dalam keadaan terlalu penuh. Kapasitas maksimal supaya proses berlangsung optimal adalah $\frac{2}{3}$ dari volume vial. Jika terlalu penuh maka sering berakibat kebocoran selama proses, karena *seal* karet yang digunakan kurang

baik. Selain itu perlu direkat dengan lakban pada bagian luar untuk mencegah kebocoran. Kebocoran perlu diperhatikan agar tidak terjadi kesalahan perhitungan konsentrasi. Perbandingan volume serbuk terhadap bola sebesar 8 : 7. Perbandingan ini digunakan untuk mengetahui efektivitas dari proses *milling* yang dilakukan.

3.3.2 Proses Milling

Proses milling dilakukan dengan menggunakan *planetary ball mill* dengan kecepatan rerata 500 rpm. *Planetary ball mill* untuk milling yang digunakan memiliki kapasitas 2 vial dan volume masing-masing vial 250 ml. Proses milling ini dilakukan selama 15 jam efektif. Selama proses milling, dilakukan pengecekan berkala kinerja alat setiap satu jam sekali. Pengecekan tersebut mencakup pengencangan baut, pelumasan *gear*, pengamatan visual terhadap kebocoran dan pencatatan kejadian.

3.3.3 Proses Pengenceran

Pengenceran konsentrasi bertujuan untuk mengetahui sifat nanofluida disetiap perbedaan konsentrasi partikelnya. Nanofluida yang dihasilkan diencerkan menjadi 1 %, 5 %, dan nanofluida awal dipertahankan sebesar 10 %. Pengenceran ini dilakukan sesuai dengan variabel fraksi volume yang sudah ditentukan pada Bab I. Dalam melakukan pengenceran dibutuhkan sebuah formula yang tepat untuk mengetahui mekanisme pengenceran. Pengenceran dilakukan berdasarkan perubahan konsentrasi sehingga dapat dibuat suatu formula sebagai berikut.

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2 \quad \dots\dots\dots(7)$$

dimana C_1 adalah konsentrasi awal, V_1 adalah volume awal, C_2 adalah konsentrasi baru, dan V_2 adalah volume baru.

3.3.4 Sonifikasi

Proses sonifikasi adalah penggetaran sistem koloid dengan menggunakan gelombang *ultra sound* untuk pendispersian. Proses ini menggunakan alat

pembersih ultrasonik yang ada pada ruang XRD, DMM FTUI, Depok. Tujuan dari sonifikasi adalah mendispersikan partikel secara mekanis sehingga diharapkan dispersi partikel terjadi secara sempurna. Setiap sistem koloid cenderung akan beraglomerasi, oleh karena itu proses sonifikasi dilakukan pada saat sebelum penyimpanan dan sesaat sebelum pengujian. Mekanismenya adalah dengan meletakkan botol berisi sampel didalam wadah ultrasonik yang berisi air, kemudian alat dioperasikan selama 15 menit.

3.4 Karakterisasi

Karakterisasi dari nanofluida dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat dari nanofluida yang dihasilkan. Karakterisasi dilakukan dengan berbagai metode pengujian untuk mendapatkan data yang dapat saling melengkapi.

3.4.1 *Particle size analyzer*

Particle size analyzer merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui ukuran dan distribusi dari partikel yang tersuspensi. Pengujian ini dilakukan di Masyarakat Nano Indonesia dengan menggunakan alat *DelsaTM Nano C, Zeta Potential and Submicron Particle Size Analyzer*, dari Beckman Coulter. Alat ini bisa mengukur partikel yang berukuran 0,6 nm sampai 7 μm dalam suspensi dengan konsentrasi 1 ppm sampai 40%. Partikel yang tersuspensi didalam sebuah fluida memiliki gerak brown dikarenakan penggabungan acak dengan molekul pelarutnya. Pergerakan ini disebabkan oleh difusi partikel melalui medianya. Koefisien difusi, D , merupakan kebalikan dari proporsional terhadap besar partikel terhadap perhitungan *Stokes-Einstein* :

$$D = \frac{k_B T}{3\pi\eta d} \dots\dots\dots(8)$$

dimana D adalah koefisien difusi, k_B adalah konstanta Boltzman, T adalah temperatur absolut, d adalah diameter nanofluida, dan η adalah viskositas.

Perhitungan ini menunjukkan bahwa untuk partikel besar, D akan relatif kecil, dan partikel akan bergerak lebih lambat terhadap partikel lebih kecil, D akan menunjukkan nilai besar maka partikel akan menunjukkan pergerakan yang

lebih tinggi. Oleh karena itu dengan mengamati pergerakan dan mengetahui koefisien distribusi partikel didalam media pelarut, sangat membantu untuk mengetahui besar ukuran partikel.

Pengujian PSA ini merupakan pengujian utama dalam penelitian ini. Pengujian dilakukan dengan cara mengambil sejumlah nanofluida yang dihasilkan untuk ditaruh di cuvet dan kemudian diuji menggunakan sinar laser yang menyebar didalam fluida. Perbedaan sudut awal dan sudut datang serta terhalangnya sejumlah intensitas sinar dideteksi dengan formula untuk mengetahui ukuran partikel terlarut.

Hasil pengujian PSA sendiri didapat dalam tiga bagian besar, yaitu :

1. Distribusi volume. Tingkat distribusi partikel yang dikalkulasi berdasarkan total volume yang ditempati partikel kecil terhadap partikel lebih besar. Pendekatan volume ini sedikit digunakan untuk analisa ilmiah karena deviasi besar dan juga tingkat keakuratan rendah serta kerelatifitasannya tinggi.
2. Distribusi nilai. Tingkat distribusi partikel yang dikalkulasi berdasarkan perbandingan jumlah partikel besar terhadap partikel lebih kecil. Metode ini jarang digunakan untuk analisa ilmiah karena pada penyebaran sinar pembacaan nilai partikel cenderung relatif karena kemungkinan terhalang oleh partikel lebih besar, dan memiliki nilai deviasi cukup besar.
3. Distribusi intensitas. Tingkat distribusi partikel menggunakan pendekatan metode intensitas adalah dengan melakukan kalkulasi berdasarkan tingkat keseringan ukuran partikel yang sama terdeteksi oleh sinar hamburan. Ukuran partikel yang sama akan diklasifikasikan kedalam satu diameter untuk kemudian direrata keseluruhan diameter partikel. Penelitian ilmiah banyak menggunakan pendekatan intensitas karena data yang didapat valid dan dapat dipertanggungjawabkan sehingga mudah untuk diketahui serta dianalisa partikel yang terbentuk.

Analisa ukuran partikel dan distribusinya pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan distribusi intensitas. Distribusi intensitas dipilih karena

memberikan hasil yang paling konsisten dan valid dibandingkan dengan distribusi nilai maupun distribusi volume. Hasil pengujian PSA ini diharapkan mampu menggambarkan distribusi dari nanopartikel yang dihasilkan dan juga efektivitas proses reduksi yang dilakukan.

3.4.2 Zeta Potensial

Zeta potensial digunakan untuk mengetahui kestabilan dari dispersi nanofluida yang dihasilkan. Pengujian zeta potensial dilakukan dengan alat yang sama untuk pengujian *particle size analyzer*. Prinsip pengujian dari zeta potensial adalah mengukur ion-ion yang terdapat pada permukaan partikel. Hasil rerata stabilitas dari sistem koloid termasuk nanofluida dalam zeta potensial adalah ± 30 mV. Nilai zeta potensial berbanding lurus dengan kestabilan dari sistem koloid. Partikel yang mempunyai nilai zeta potensial yang tinggi akan memiliki gaya untuk mencegah partikel teraglomerasi.

3.4.4 Konduktivitas Panas

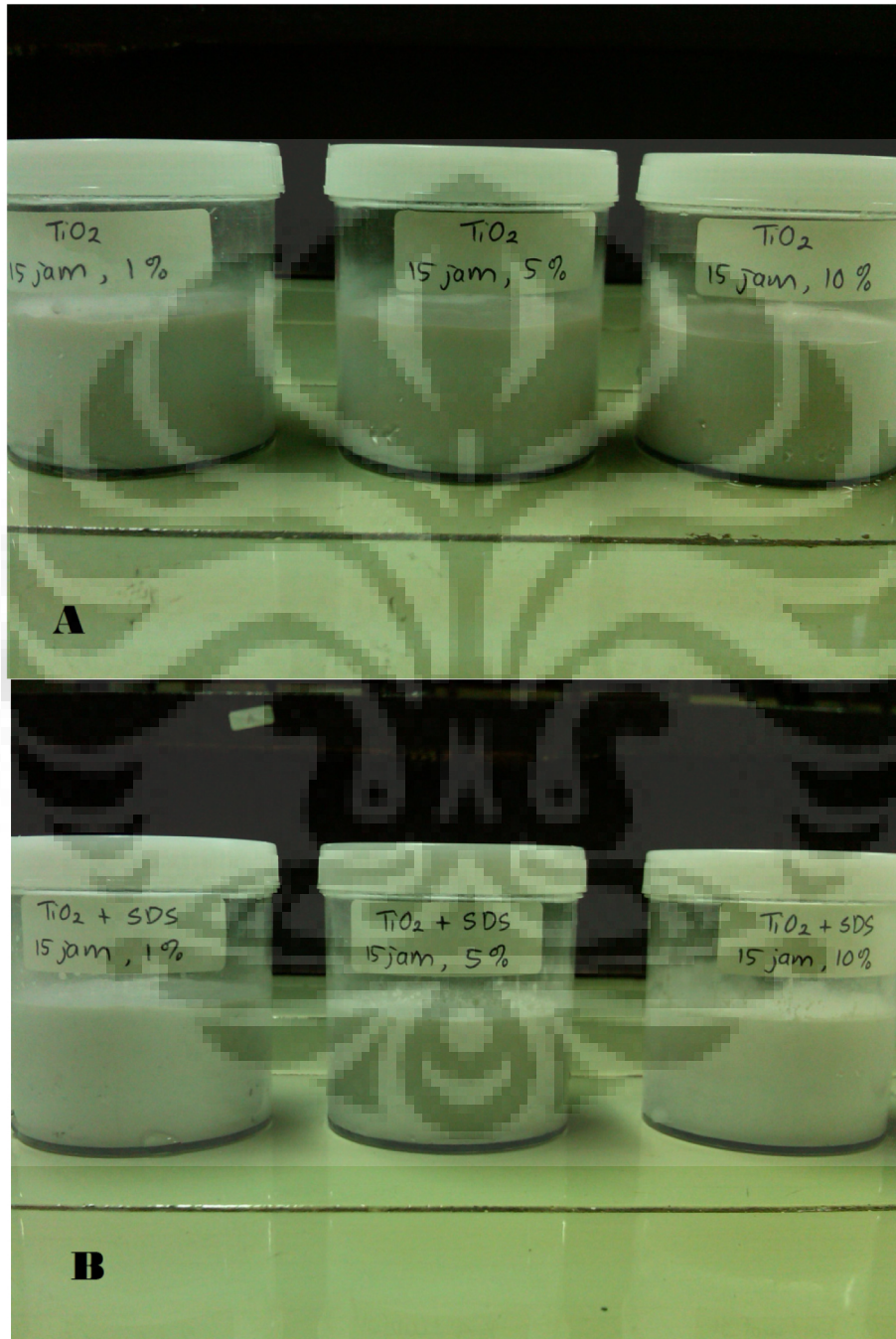
Konduktivitas panas merupakan pengujian yang sangat penting dilakukan terhadap hasil sintesis nanofluida, karena pada aplikasinya nanofluida digunakan sebagai media pendingin untuk alat-alat yang berukuran kecil. Pengukuran konduktivitas panas menggunakan alat KD-2. Secara teori pengukuran konduktivitas panas sendiri menggunakan prinsip mengukur nilai difusifitas panas lingkungan terhadap sejumlah panas yang dikeluarkan oleh probe pengukur. Nilai konduktivitas panas sendiri didapat dari respon partikel disekitar probe yang terpengaruh oleh sejumlah elektrisitas dan perubahan panas oleh jarum pengukur.

Mekanisme pengujian adalah dengan mengambil sejumlah volume nanofluida, dan kemudian alat KD-2 yang memiliki jarum sebagai sensor pemberi. Sejumlah perubahan intensitas panas melalui konversi elektrik dicelupkan hingga terendam selama jangka waktu tertentu. Hasil didapat merupakan tingkat konduktivitas panas partikel dalam fluida dengan satuan Watt/m°C. Pengujian konduktivitas termal dilakukan dua kali untuk setiap persentase volumenya agar didapat tingkat keakuratan yang lebih tinggi.

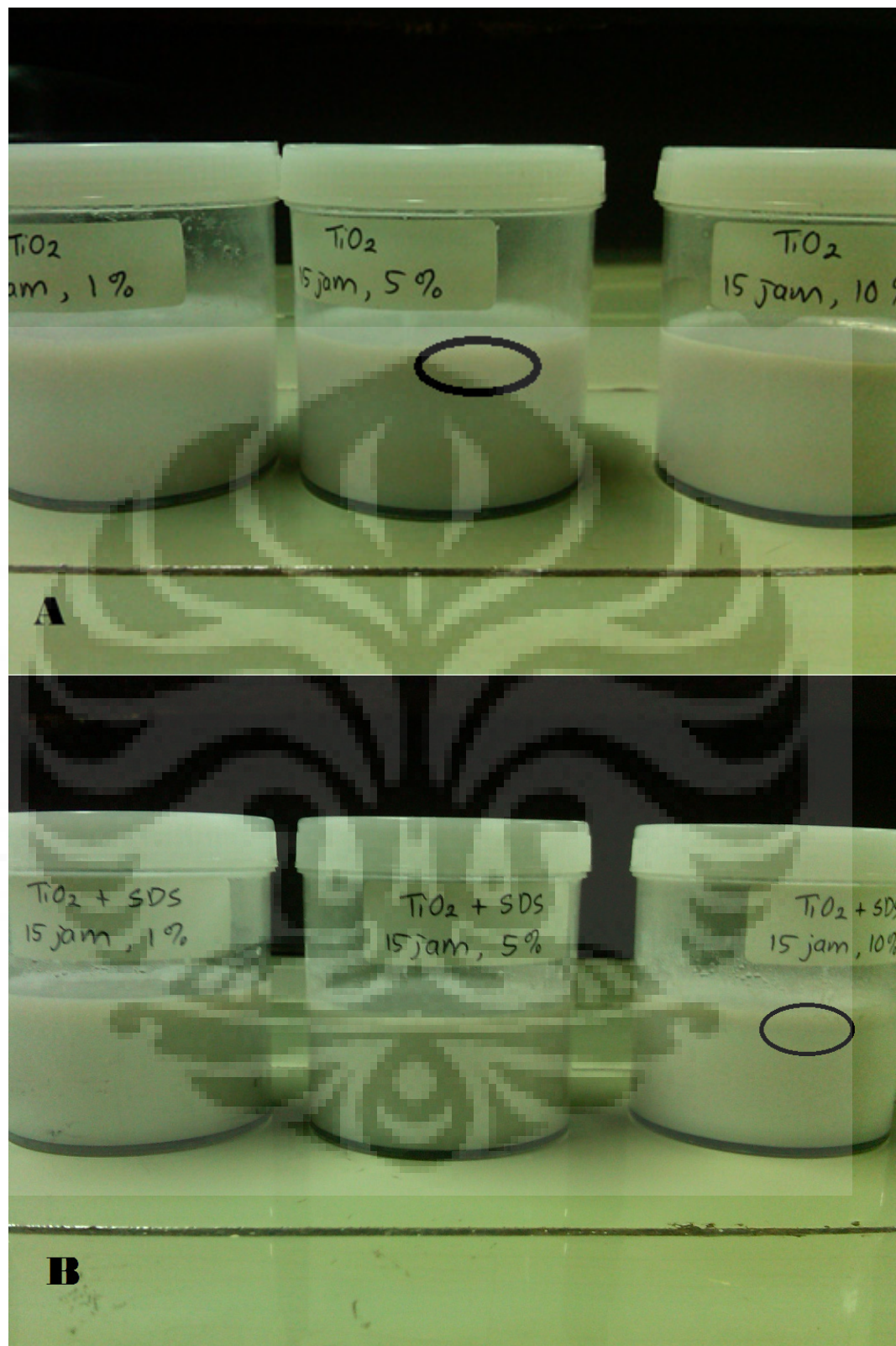
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Stabilitas Nanofluida



Gambar 4.1 a) Nanofluida TiO₂ tanpa penambahan surfaktan 0 jam produksi b) Nanofluida TiO₂ dengan surfaktan SDS 0 jam produksi.



Gambar 4.2 a) Nanofluida TiO₂ tanpa penambahan surfaktan 30 jam produksi b) nanofluida TiO₂ dengan surfaktan SDS 30 jam produksi.

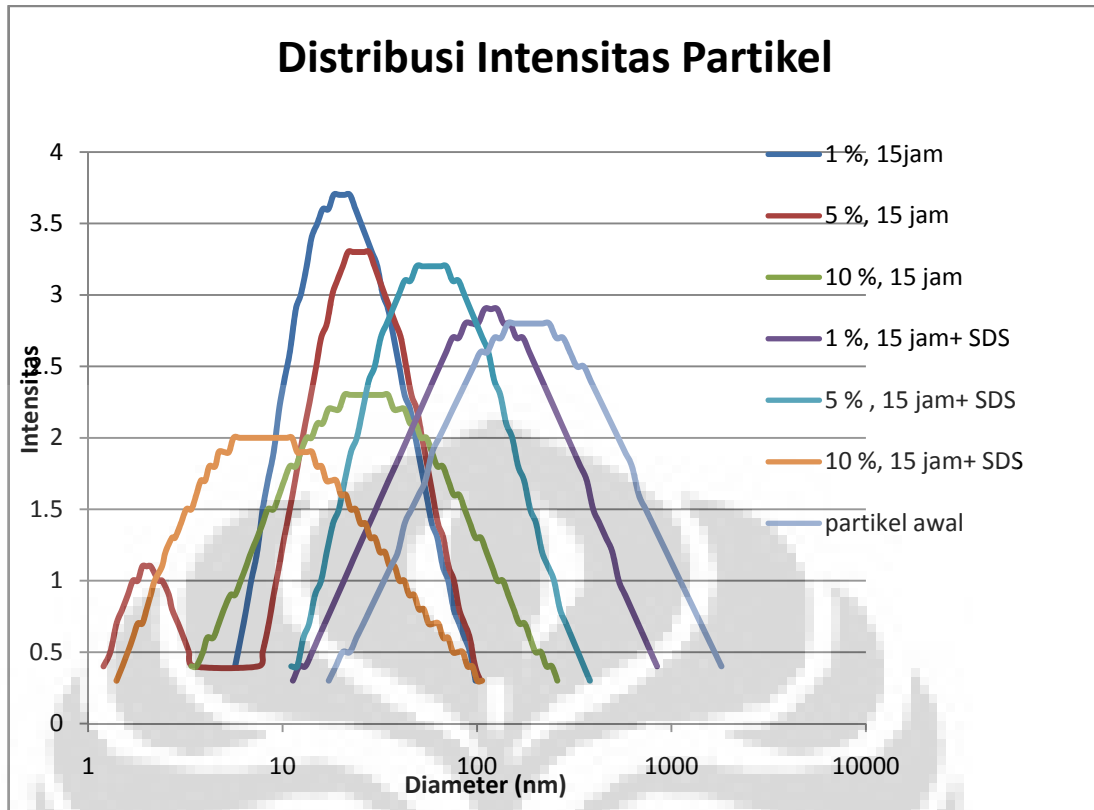
Sintesis nanofluida dilakukan dengan menggunakan *planetary ball mill*. Sintesis ini dilakukan selama 15 jam efektif. Kecepatan putar dari alat memiliki kontribusi penting untuk menghasilkan partikel yang lebih halus. Kecepatan putaran pada *planetary ball mill* akan meningkatkan kecepatan putar bola didalam vial sehingga mempertinggi kontak permukaan antara bola pereduksi dengan partikel.

Pengamatan visual merupakan salah satu cara untuk mengetahui kestabilan dari suspensi yang dihasilkan. Pengamatan visual terhadap hasil sintesis nanofluida memperlihatkan bahwa pada 0 jam produksi, suspensi yang dihasilkan terlihat homogen baik untuk plain maupun dengan penambahan SDS. Setelah 30 jam produksi suspensi terlihat mulai ada yang mengendap.

Gambar 4.2 menunjukkan terjadinya pengendapan pada suspensi yang dihasilkan. Berdasarkan pengamatan visual terhadap suspensi yang dihasilkan tidak terlihat pengaruh dari penambahan surfaktan terhadap kestabilan suspensi. Plain nanofluida dibandingkan dengan nanofluida dengan penambahan surfaktan SDS memperlihatkan fenomena yang sama dimana suspensi mulai mengalami pengendapan. Kestabilan dispersi dari nanofluida akan diamati lebih lanjut dengan pengujian zeta potensial yang akan dibahas selanjutnya.

4.2 Distribusi Ukuran Partikel

4.2.1 Hasil Pengujian PSA



Gambar 4.3 Distribusi ukuran partikel TiO₂ berdasarkan pendekatan intensitas partikel.

4.2.2 Analisa Hasil PSA

Hasil pengujian diatas didapatkan dengan kondisi pengujian yang sama untuk semua sampel yang ada. Keseluruhan pengujian ini dilakukan pada temperatur 25°C, viskositas 0,8878 cP, index refraksi 1.3328, dan sudut penyebaran 165°. Hasil pengujian ini diambil berdasarkan pendekatan intensitas partikel. Gambar 4.3 mengilustrasikan distribusi dan ukuran dari partikel awal yang digunakan untuk penelitian ini. partikel awal yang digunakan untuk penelitian ini mempunyai rentang ukuran partikel antara 17,3 – 1808,5. Rerata diameter 305 nm dengan standard deviasi 326,7. Distribusi ukuran yang mencapai <100 nm mencapai 32,3 %.

Berdasarkan grafik yang ada terlihat bahwa ukuran partikel yang tersuspensi pada fluida mengalami reduksi. Distribusi dan ukuran untuk nanofluida TiO₂ 1 % tanpa penambahan surfaktan mengalami reduksi yang signifikan. Ukuran dari nanopartikel pada fraksi volume ini mencapai 100 % <100nm. Rentang ukuran partikelnya mulai dari 5,7- 98,3 nm. Rerata diameter

partikelnya sebesar 26,7 dengan standar deviasi 17,9. Apabila dibandingkan secara langsung dengan partikel awalnya, reduksi partikel yang terjadi mencapai $\pm 11,4 \times$ dari partikel awalnya. Standar deviasi yang relatif kecil mengindikasikan bahwa pengujian yang dilakukan cukup valid.

Pada fraksi volume nanofluida TiO₂ 5 % volume tanpa penambahan surfaktan terdapat dua puncak utama yakni diameter 2,1 nm dan 31,4 nm dengan standar deviasi 0,6 dan 19,2. Secara umum distribusi partikel pada fraksi volume ini mempunyai diameter 27,2 nm dengan standar deviasi 20,5. Rentang distribusi ukuran partikelnya mulai dari 1,2 – 104,1 nm. Partikel yang tersuspensi pada fraksi volume ini 99,7% < 100nm.

Hasil pengujian nanofluida TiO₂ 10 % volume tanpa penambahan surfaktan menunjukkan bahwa pada fraksi volume ini diameter dari partikel yang tersuspensi sebesar 45,2 nm dengan standar deviasi 46,9. Rentang distribusi partikelnya mulai dari 3,4 – 259 nm. Fraksi partikel yang berukuran <100 nm sebesar 88,7%.

Hasil pengujian nanofluida TiO₂ 1 % volume dengan penambahan SDS sebagai surfaktan menunjukkan bahwa rentang distribusi dari partikel ini cukup lebar mulai dari 11,3 – 844,2 nm. Rentang yang lebar ini juga menyebabkan standar deviasi dari pengujian ini menjadi besar yakni 153,6. Rerata diameter dari fraksi volume ini sebesar 157,6 nm. Partikel yang berukuran <100 nm sebesar 50,6 %. Rentang distribusi pada konsentrasi ini jauh lebih lebar dibandingkan pada konsentrasi yang lain dimungkinkan karena proses pengenceran yang dilakukan. Prosedur pengenceran tidak menjamin nanopartikel tersebar merata dalam suspensi.

Hasil pengujian nanofluida TiO₂ 5 % volume dengan penambahan SDS sebagai surfaktan menunjukkan bahwa rentang distribusi dari partikel ini cukup lebar mulai dari 11,1 – 380,7 nm. Rerata diameter partikel ini sebesar 83,2 nm dengan standar deviasi sebesar 68,4. Partikel yang berukuran < 100nm sebesar 72,7 %. Pada fraksi volume ini jumlah partikel yang berukuran < 100 nm lebih

banyak dibandingkan dengan pada fraksi volume 1 % dengan penambahan SDS sebagai surfaktan.

Hasil pengujian nanofluida TiO₂ 10 % volume dengan penambahan SDS sebagai surfaktan menunjukkan bahwa pada fraksi volume ini ukuran dan distribusi partikel hampir keseluruhan < 100 nm. Rerata diameter dari partikel yang tersuspensi sebesar 17,2 nm dengan rentang partikel antara 1,4 – 106,3 nm. Standar deviasi untuk pengujian ini sebesar 19,3. Standar deviasi yang kecil memperlihatkan bahwa hasil pengujian ini valid. Partikel yang mempunyai ukuran < 100 nm sebesar 99,7 %.

Berdasarkan pembahasan diatas, dapat disimpulkan bahwa reduksi ukuran partikel dengan menggunakan *planetary ball mill* berjalan dengan baik. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa rerata diameter terbesar sebesar 157,6 nm dan terkecil sebesar 17,2 nm dengan rentang ukuran partikel mulai 1,2 – 844,2 nm. Standar deviasi dari pengujian ini sebesar 17,9 untuk nilai terkecilnya dan 153,6 untuk nilai terbesarnya. Fraksi partikel yang berukuran < 100 nm juga meningkat. Material awal yang kita punya, partikel yang berukuran < 100 nm sebanyak 32,3 % sedangkan setelah proses reduksi, ukuran partikel yang < 100 nm paling rendah sebanyak 50,6 % dan bahkan dalam beberapa konsentrasi mencapai 100 % seluruh ukuran yang termasuk kategori nanopartikel yakni < 100 nm.

Pengaruh penambahan SDS sebagai surfaktan pada sintesis nanofluida ini memberikan nilai yang tidak linier. Hwang et al (2005) berpendapat bahwa penambahan SDS pada sintesis nanofluida dapat meningkatkan kestabilan dan menghasilkan dispersi sesuai dengan yang diharapkan. Hal ini dikarenakan surfaktan dapat menghambat terjadinya aglomerasi. Hasil dari penelitian ini justru memberikan efek yang berbeda pada konsentrasi tertentu. Pada konsentrasi 1 % dan 5 % fraksi volume, dengan penambahan SDS justru menyebabkan dispersi dari partikel yang melebar dan ukuran partikel cenderung lebih besar. Namun, pada konsentrasi 10 % fraksi volume suspensi terlihat terdispersi dengan baik dan ukuran partikel yang tersuspensi juga lebih kecil bila dibandingkan dengan nanofluida tanpa penambahan surfaktan.

Peneliti belum dapat menjelaskan dengan pasti mekanisme apa yang berlangsung sehingga fenomena tersebut diatas terjadi. Kemungkinan hal ini berkaitan dengan prosedur pengenceran yang peneliti lakukan. Prosedur pengenceran yang dilakukan mempunyai kelemahan yakni surfaktan yang ditambahkan kemungkinan tidak tersebar secara merata.

4.3 Zeta Potensial

Pengukuran zeta potensial dilakukan untuk mengetahui kestabilan dari nanofluida yang dihasilkan. Hasil pengukuran zeta potensial dari nanofluida TiO_2 dan nanofluida TiO_2 dengan penambahan SDS sevbagai surfaktan ditunjukkan pada Tabel 4.1 berikut

Tabel 4.1 Pengukuran nilai zeta potensial sampel nanofluida plain dan penambahan SDS.

Hasil Pengukuran Zeta Potensial		
Konsentrasi	Nilai Zeta Potensial (mV)	
	TiO_2	$\text{TiO}_2 + \text{SDS}$
1%	-27,16	-25,95
5 %	-25,59	-32,06
10%	-28,3	-39,32

Nilai zeta potensial yang dihasilkan mengindikasikan bahwa kestabilan dari nanofluida yang dihasilkan cukup baik. Berdasarkan literatur yang ada, kestabilan dispersi akan baik apabila nilai zeta potensial $\pm 30 \text{ mV}^{[3]}$. Semakin besar nilai zeta potensial berarti semakin besar energi yang dimiliki untuk mencegah terjadinya aglomerasi antar partikel. Nilai negatif pada zeta potensial mengindikasikan bahwa permukaan dari partikel memiliki potensial yang negatif.

Apabila dilihat dari nilai zeta potensial yang dihasilkan, penambahan surfaktan dapat meningkatkan kestabilan dispersi dari nanofluida yang dihasilkan. Nilai zeta potensial dari nanofluida TiO_2 dengan penambahan surfaktan lebih

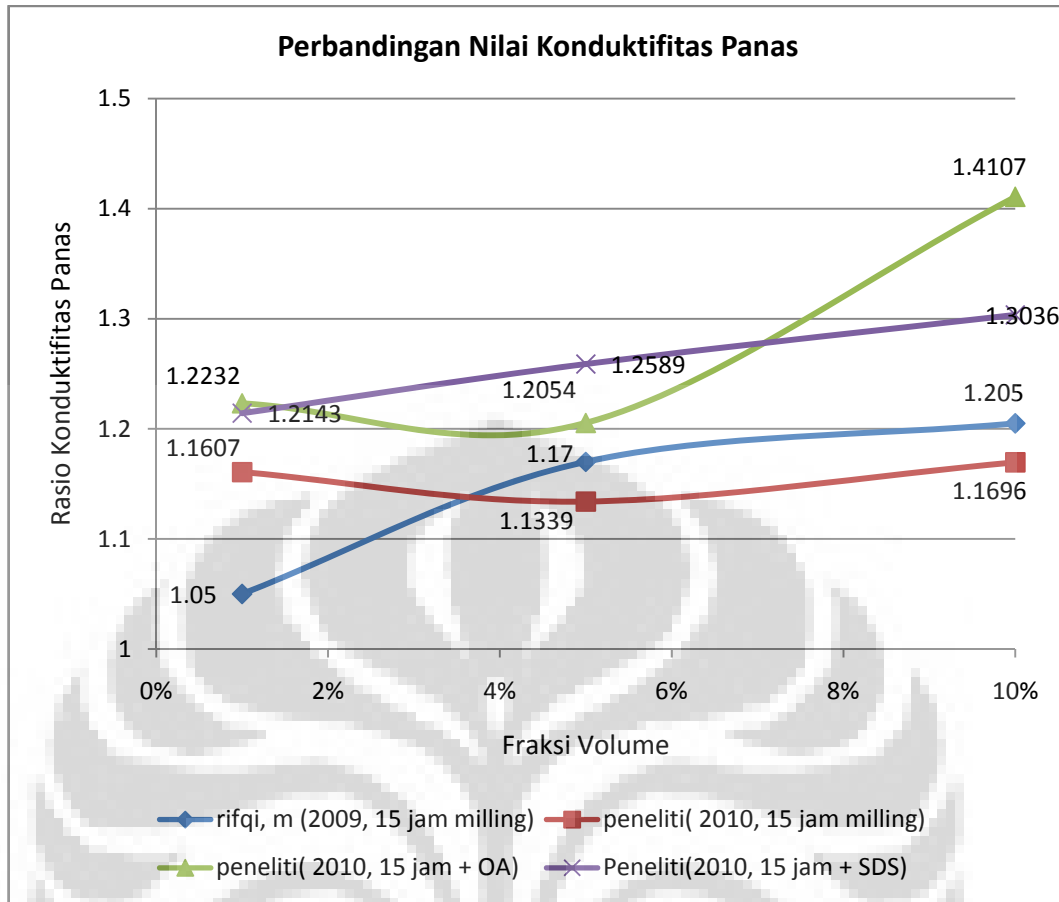
tinggi dari pada nanofluida tanpa penambahan surfaktan. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa hasil yang didapat dari penelitian ini sesuai dengan teori yang ada.

Hubungan antara nilai zeta potensial dan ukuran distribusi partikel didapatkan bahwa nanofluida TiO_2 dengan penambahan SDS mengalami peningkatan secara linier untuk nilai zeta potensialnya mulai dari fraksi volume 1% hingga 10%. Distribusi dan ukuran partikel dari nanofluida ini juga semakin bagus dengan rentang dan diameter yang semakin kecil untuk fraksi volume 1% hingga 10%.

4.4 Konduktivitas Panas

Konduktivitas panas dari sebuah nanofluida merupakan data yang wajib digunakan sebagai data acuan peningkatan konduktivitas panas nanofluida dibandingkan dengan fluida dasarnya. Penelitian ini menggunakan fluida dasar air distilasi dengan nilai konduktivitas panas $0,56 \text{ Wm}^{-1}\text{C}^{-1}$. Pengujian konduktivitas termal dilakukan di laboratorium kimia Departemen Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia dengan menggunakan alat KD-2.

Berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa konduktivitas panas nanofluida berbeda untuk setiap fraksi volume dari nanofluida. Penambahan surfaktan memberikan pengaruh terhadap peningkatan konduktivitas panas. Peningkatan konduktivitas panas berbanding terbalik dengan ukuran dari partikel yang terdispersi. Semakin kecil ukuran dari partikel memberikan nilai konduktivitas panas yang lebih tinggi.



Gambar 4.4 Perbandingan nilai konduktivitas panas pada penelitian sintesis nanofluida TiO_2 .

Gambar 4.4 mengilustrasikan perbandingan nilai konduktivitas panas dari nanofluida TiO_2 yang dihasilkan dari sintesis satu tahap dengan menggunakan *wet mechanochemical process*. Proses reduksi partikel dilakukan dengan menggunakan *planetary ball mill* selama 15 jam. Berdasarkan Gambar 4.4 terlihat bahwa penambahan surfaktan memberikan pengaruh terhadap peningkatan konduktivitas panas. Penambahan SDS sebagai surfaktan memberikan hasil yang linier.

Nilai konduktivitas panas dari nanofluida dengan penambahan SDS sebagai surfaktan meningkat dengan meningkatnya fraksi volume dari nanofluida. Apabila dikaitkan dengan nilai zeta potensial yang dihasilkan, hasil pengukuran konduktivitas panas ini sesuai dengan hipotesa awal yang disusun oleh peneliti. Dispersi dari partikel yang lebih stabil menyebabkan meningkatnya konduktivitas panas dari nanofluida.

Berdasarkan Gambar 4.4 penggunaan *oleic acid* sebagai surfaktan memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap peningkatan konduktivitas panas dibandingkan dengan penambahan SDS. Penambahan SDS memberikan peningkatan konduktivitas panas sebesar 26 % dibanding dengan konduktivitas panas dari air distilasi sebagai fluida dasar. Hal ini lebih besar dari peningkatan yang dihasilkan oleh nanofluida TiO_2 tanpa penambahan surfaktan yang sebesar 14 %.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan hasil pembahasan yang telah dilakukan peneliti memperoleh beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Sintesis nanofluida dengan proses satu tahap menggunakan metode *wet mechanochemical process* sangat potensial untuk dilakukan. Penelitian yang dilakukan menghasilkan rerata ukuran partikel untuk konsentrasi 1%, 5%, dan 10 % serta nanofluida dengan penambahan SDS untuk konsentrasi 1%, 5 %, dan 10 % secara berurutan adalah 26,7 nm, 27,2 nm, 45,2 nm, 157,6 nm, 83,2 nm, dan 17,2 nm.
2. Kemampuan berdispersi partikel TiO₂ dalam pelarut air distilasi untuk membentuk nanofluida yang stabil ditunjukkan oleh nilai presentasi partikel yang berukuran < 100 nm yang didapat berdasarkan hasil pengujian berdasarkan pendekatan intensitas partikel, yaitu : 100 %, 99,7 %, 88,7 %, 50,6 %, 72,7 %, dan 99,7 % untuk nanofluida 1 %, 5 %, 10 % dan nanofluida dengan penambahan SDS 1%, 5 %, dan 10 % secara berurutan.
3. Berdasarkan hasil penelitian sintesis nanofluida dengan fraksi konsentrasi 1 %, 5 %, dan 10% tidak memperlihatkan nilai yang linier. Fraksi konsentrasi 5 % mempunyai nilai konduktivitas panas lebih rendah dibandingkan fraksi konsentrasi 1 %. Namun, nilai konduktivitas panas meningkat kembali untuk fraksi konsentrasi 10 %. Rerata nilai konduktivitas panas dari nanofluida meningkat sebesar 14 % dibandingkan dengan air distilasi sebagai fluida dasarnya.
4. Berdasarkan pengujian ukuran dan distribusi partikel, penambahan surfaktan memberikan pengaruh negatif terhadap dispersi partikel pada fraksi konsentrasi 1 % dan 5 %, namun meningkatkan kemampuan dispersi untuk fraksi konsentrasi 10 %. Pengaruh penambahan surfaktan terhadap konduktivitas panas dari nanofluida linier untuk setiap fraksi

konsentrasi. Pengaruh penambahan surfaktan meningkatkan konduktivitas panas mencapai 26 % dari air distilasi sebagai fluida dasarnya.

5.2 Saran

Berikut merupakan beberapa hal yang perlu diperhatikan agar penelitian selanjutnya didapatkan hasil yang lebih optimal :

1. Penelitian sintesis nanofluida TiO_2 dengan metode pengenceran mempunyai beberapa kelemahan diantaranya adalah tidak meratanya partikel ketika dilakukan pengenceran disetiap presentase volumenya. Hal ini akan berdampak terhadap distribusi ukuran partikel dan nilai konduktivitas panasnya.
2. Kestabilan proses milling diperlukan untuk memperoleh hasil yang lebih konstan dalam penelitian selanjutnya.

Referensi

- [1] S.U.S. Choi, *Developments and Applications of Non-Newtonian Flows*, FED-231/MD-66 (ASME, New York, 1995), p.99.
- [2] S.U.S. Choi, X.Xu, P.Keblinski, W.Yu, *Nanofluids can take the heat*,in:DOE BES 20th Symposium on energy Engineering Sciences, Argonne, USA,2002.
- [3] Sarit K. Das, Stephen U. S. Choi, Wenhua Yu, T. Pradeep. *Nanofluids Science and Technology*. John Wiley & Sons, USA.
- [4] Sri Harjanto, M.Rifqi Azhari, Deni Ferdian, A.H.Yuwono, *Thermal conductivity enhancement of water – TiO₂ suspension synthesized by wet mechanochemical process*, in 4th Indonesian japan joint scientific symposium , 2010.
- [5] S.M.S Murshed, K.C Leong, C.Yang, *Enhanced Thermal Conductivity of TiO₂ – water based Nanofluid* , Int. J. Therm. Sci,44:367-373,2005.
- [6] E,Natarajan., R.Sathish,*Role of Nanofluids in Solar Water Heater*, Int J Adv Manuf Technol, 2009
- [7] J.A. Eastman, S.U.S. Choi, S.Li, L.J. Thompson, *Enhanced Thermal Conductivity through the Development of Nanofluids*, in : Proceedings of the Symposium on Nanophase and Nanocomposite Materials II, vol. 457, Materials Research Society, Boston, 1997, pp. 3-11.
- [8] S.Lee, S.U.S.Choi, S. Li, J.A. Eastman, *Measuring Thermal Conductivity of Fluids Containing Oxide Nanoparticles*, J Heat Transfer 121 (1999) 280-289.
- [9] M. Sakamoto, Y. Kanda, M.Miyahara, K. Higashitani, *Origin of Longrange Attractive Force Between Surfaces Hydrophobized by Surfaktan Adsorbtion*, Langmuir 18 (2002) 5713-5719.
- [10] W. Yu, D.M. France, S. U. S. Choy, and J. L. Roubort, *Review and Assessment of Nanofluid Technology for Transportation and Other*

Applications. International Journal of Argonne National Laboratory IL 60439, USA

- [11] Rifqi.M, *Sintesis Fluida Tersuspensi Partikel Submikron TiO_2 Menggunakan Planetary Ball Mill*, Universitas Indonesia, 2009
- [12] <http://photos.lawbrench.com/manuals/3553-1120.pdf>, diakses pada tanggal 24 November 2010 pukul 17.35
- [13] Xi Wang.Xiang, Mujandar.Arun S, *Heat Transfer Characteristics of Nanofluids: a review*, International journal of Thermal Sciences 46 (2007) 1-19
- [14] P.Keblinski, S.R. Phillpot, S.U.S. Choi, J.A. Eastman, *Mechanisms of Heat Flow in Suspensions of Nano-sized Particles (Nanofluids)*, International Journal of Heat and Mass Transfer 45 (2002) 855-863.
- [15] Evans, W., Fish, J., and Keblinski, P., *Role of Brownian Motion Hydrodynamics on Nanofluid Thermal Conductivity*, Appl. Phys. Lett., 2006, 88(9), 093116-3.
- [16] Botha, S.S., *Synthesis and Characterization of Nanofluids for Cooling Applications*, University of the Western Cape, 2007.
- [17] Xuan, Y., Li, Q., *Heat Transfer Enhancement of nanofluids*, International Journal of Heat Fluid Flow, 21,2000, 58.
- [18] Kwak, K., Kim, C., *Synthesis and Characterization of Nanofluids for Cooling Applications*, Kor-Austr Rheol. J., 17, 2005, 35.
- [19] W. Yu, D.M. France, S. U. S. Choy, and J. L. Roubort, *Comparison of Nanofluid Thermal Conductivity and Heat Transfer Enhancements*, Heat Transfer engineering 29, 2008, 432-460.
- [20] Xie, H., Wang, J., Xi, T., and Liu, Y., *Thermal Conductivity of Suspensions Containing Nanosized SiC Particles*, International Journal of Thermophysics, 23, 2002, 571-580.

- [21] Das, S.K., Putra, N., Thiesen, P., and Roetzel, W., *Temperature Dependence of Thermal Conductivity Enhancement for Nanofluids*, Transactions of the ASME, Journal of Heat Transfer, 125, 2003, 567-574.
- [22] Xie, H., Wang, J., Xi, T., and Liu, Y., *Thermal Conductivity of Suspensions Containing Nanosized Alumina Particles*, Journal of Applied Physics, 91, 2002, 4568-4572.



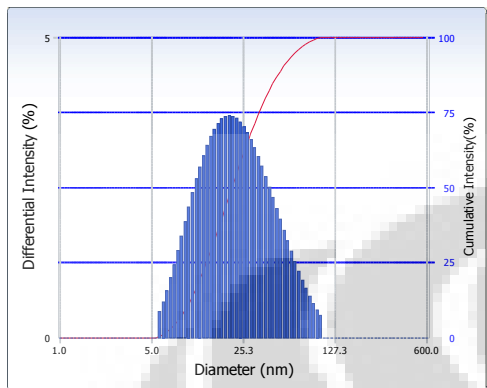
1 / 4 Scale Distribution

S/N :

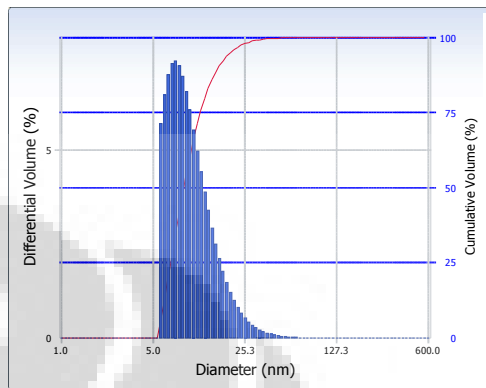
User : Common	Group : TiO2-15jam-1persen	Repetition : 1/1
Date : 12/21/2010	File Name : TiO2-15jam-1persen_20101221_093816	
Time : 09:38:16	Sample Information : TiO2-15jam-1persen	
SOP Name : Nanotech	Security : No Security	

Version 2.31 / 2.00

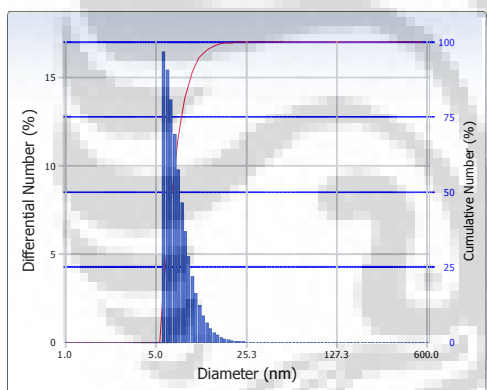
Intensity Distribution



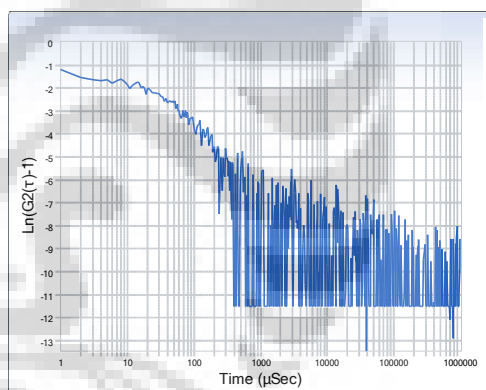
Volume Distribution



Number Distribution



LN(G2(τ)-1) vs τ



Cumulants Results

Diameter (d) : 22.9 (nm)
 Polydispersity Index (P.I.) : 0.386
 Diffusion Const. (D) : 2.148e-007 (cm²/sec)
 Residual : 1.368e-002 (O.K)

Measurement Condition

Temperature : 25.0 (°C)
 Diluent Name : WATER
 Refractive Index : 1.3328
 Viscosity : 0.8878 (cP)
 Scattering Intensity : 11146 (cps)

Distribution Results (Contin)

Intensity Distribution			Volume Distribution			Number Distribution		
Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	26.7	17.9	1	10.4	5.3	1	7.5	2.1
2	0.0	0.0	2	0.0	0.0	2	0.0	0.0
3	0.0	0.0	3	0.0	0.0	3	0.0	0.0
4	0.0	0.0	4	0.0	0.0	4	0.0	0.0
5	0.0	0.0	5	0.0	0.0	5	0.0	0.0
Average	26.7	17.9	Average	10.4	5.3	Average	7.5	2.1

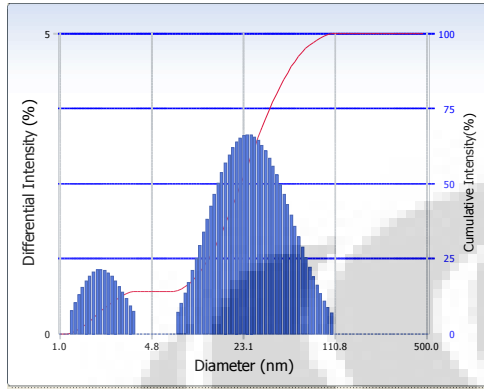
1 / 4 Scale Distribution

S/N :

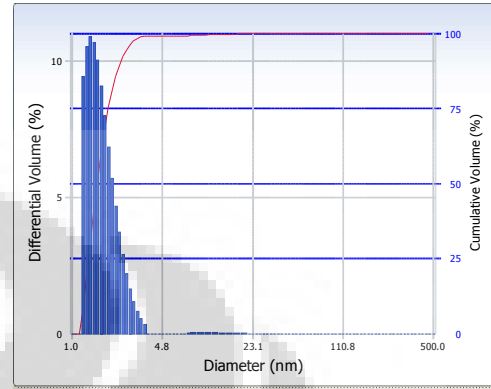
User : Common	Group : TiO2-15jam-5persen	Repetition : 1/1
Date : 12/21/2010	File Name : TiO2-15jam-5persen_20101221_100655	
Time : 10:06:55	Sample Information : TiO2-15jam-5persen	
SOP Name : Nanotech	Security : No Security	

Version 2.31 / 2.00

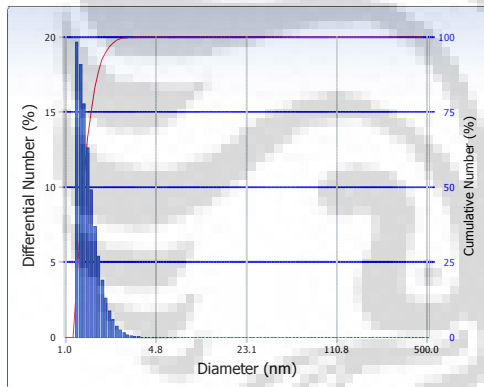
Intensity Distribution



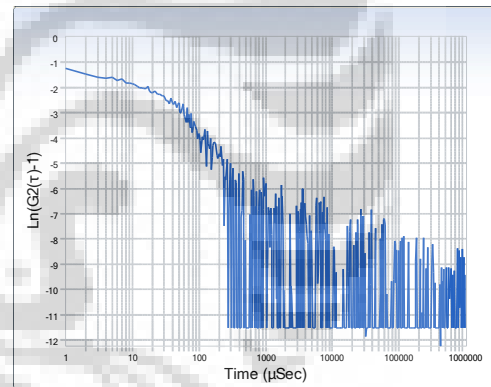
Volume Distribution



Number Distribution



LN(G2(τ)-1) vs τ



Cumulants Results

Diameter (d) : 20.7 (nm)
 Polydispersity Index (P.I.) : 0.363
 Diffusion Const. (D) : 2.371e-007 (cm²/sec)
 Residual : 8.471e-003 (O.K)

Measurement Condition

Temperature : 25.0 (°C)
 Diluent Name : WATER
 Refractive Index : 1.3328
 Viscosity : 0.8878 (cP)
 Scattering Intensity : 13607 (cps)

Distribution Results (Contin)

Intensity Distribution			Volume Distribution			Number Distribution		
Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	2.1	0.6	1	1.7	0.4	1	1.5	0.3
2	31.4	19.2	2	13.6	6.6	2	9.8	2.7
3	0.0	0.0	3	0.0	0.0	3	0.0	0.0
4	0.0	0.0	4	0.0	0.0	4	0.0	0.0
5	0.0	0.0	5	0.0	0.0	5	0.0	0.0
Average	27.2	20.5	Average	1.8	1.2	Average	1.5	0.3

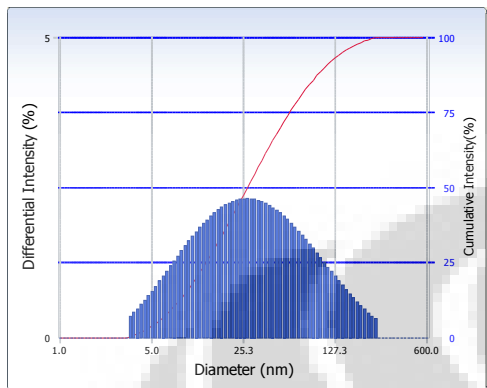
1 / 4 Scale Distribution

S/N :

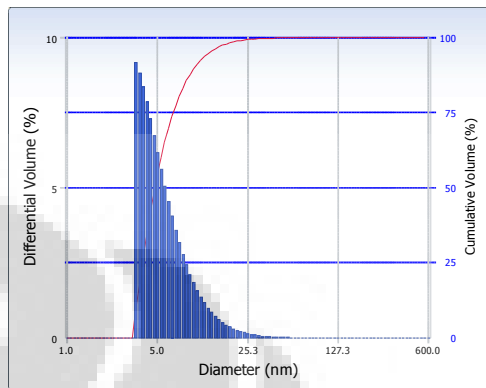
User	: Common	Group	: TiO2-15jam-10persen	Repetition	: 1/1
Date	: 12/21/2010	File Name	: TiO2-15jam-10persen_20101221_102456		
Time	: 10:24:56	Sample Information	: TiO2-15jam-10persen		
SOP Name	: Nanotech	Security	: No Security		

Version 2.31 / 2.00

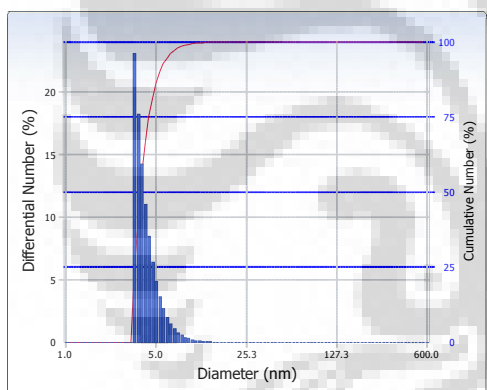
Intensity Distribution



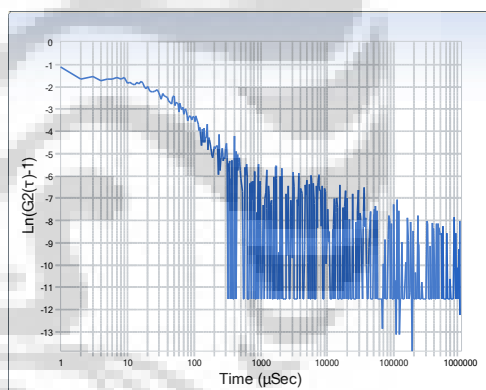
Volume Distribution



Number Distribution



LN(G2(τ)-1) vs τ



Cumulants Results

Diameter	(d)	: 23.4	(nm)
Polydispersity Index (P.I.)		: 0.355	
Diffusion Const.	(D)	: 2.099e-007	(cm ² /sec)
Residual		: 9.296e-003	(O.K)

Measurement Condition

Temperature	: 25.0	(°C)
Diluent Name	: WATER	
Refractive Index	: 1.3328	
Viscosity	: 0.8878	(cP)
Scattering Intensity	: 10502	(cps)

Distribution Results (Contin)

Intensity Distribution

Volume Distribution

Number Distribution

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	45.2	46.9	1	6.2	4.2	1	4.3	1.1
2	0.0	0.0	2	0.0	0.0	2	0.0	0.0
3	0.0	0.0	3	0.0	0.0	3	0.0	0.0
4	0.0	0.0	4	0.0	0.0	4	0.0	0.0
5	0.0	0.0	5	0.0	0.0	5	0.0	0.0
Average	45.2	46.9	Average	6.2	4.2	Average	4.3	1.1

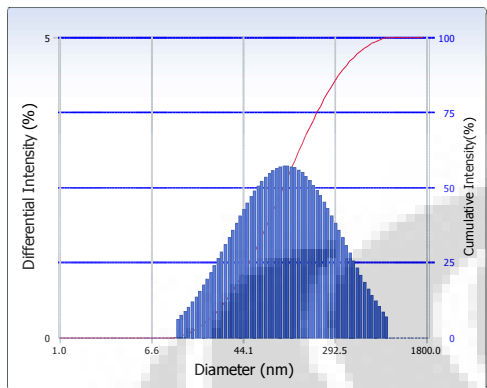
1 / 4 Scale Distribution

S/N :

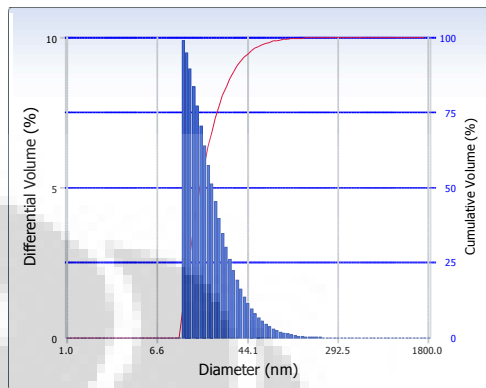
User	: Common	Group	: TiO2+SDS-15jam-1prsn	Repetition	: 1/1
Date	: 12/21/2010	File Name	: TiO2+SDS-15jam-1prsn_20101221_113027		
Time	: 11:30:27	Sample Information	: TiO2+SDS-15jam-1prsn		
SOP Name	: Nanotech	Security	: No Security		

Version 2.31 / 2.00

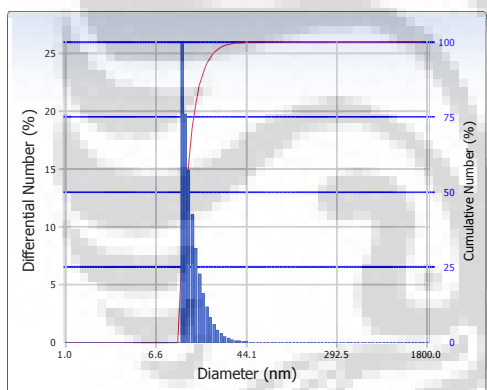
Intensity Distribution



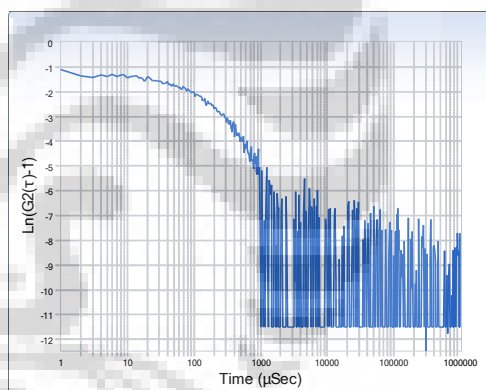
Volume Distribution



Number Distribution



LN(G2(τ)-1) vs τ



Cumulants Results

Diameter (d) : 80.7 (nm)
 Polydispersity Index (P.I.) : 0.349
 Diffusion Const. (D) : 6.098e-008 (cm²/sec)
 Residual : 7.132e-003 (O.K)

Measurement Condition

Temperature : 25.0 (°C)
 Diluent Name : WATER
 Refractive Index : 1.3328
 Viscosity : 0.8878 (cP)
 Scattering Intensity : 11469 (cps)

Distribution Results (Contin)

Intensity Distribution			Volume Distribution			Number Distribution		
Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	157.6	153.6	1	21.5	15.3	1	14.2	4.0
2	0.0	0.0	2	0.0	0.0	2	0.0	0.0
3	0.0	0.0	3	0.0	0.0	3	0.0	0.0
4	0.0	0.0	4	0.0	0.0	4	0.0	0.0
5	0.0	0.0	5	0.0	0.0	5	0.0	0.0
Average	157.6	153.6	Average	21.5	15.3	Average	14.2	4.0

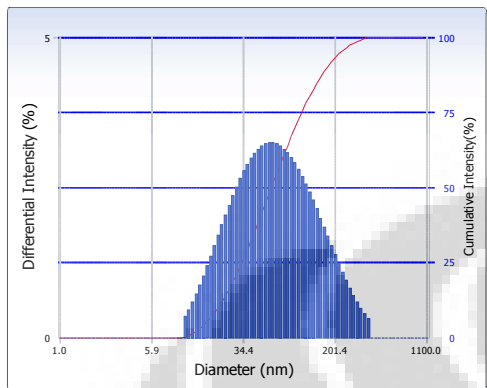
1 / 4 Scale Distribution

S/N :

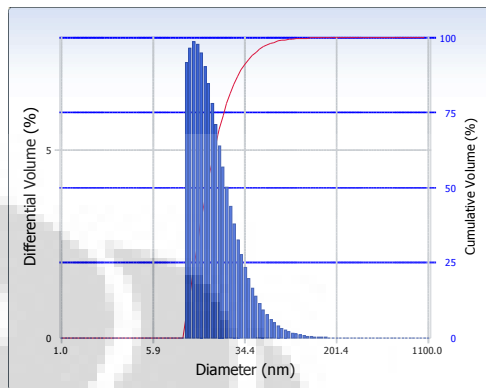
User : Common	Group : TiO2+SDS-15jam-5prsn	Repetition : 1/1
Date : 12/21/2010	File Name : TiO2+SDS-15jam-5prsn_20101221_114642	
Time : 11:46:42	Sample Information : TiO2+SDS-15jam-5prsn	
SOP Name : Nanotech	Security : No Security	

Version 2.31 / 2.00

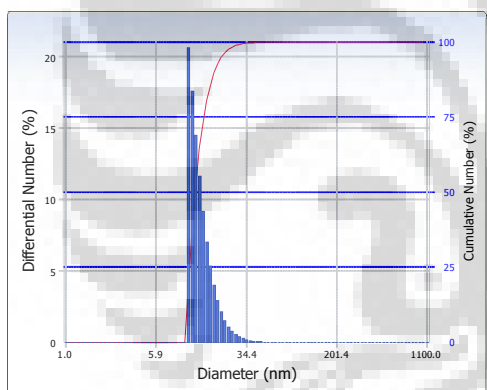
Intensity Distribution



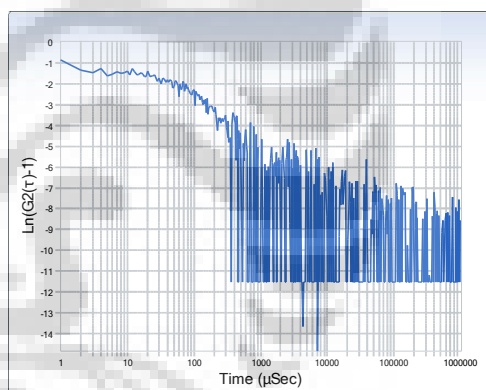
Volume Distribution



Number Distribution



LN(G2(τ)-1) vs τ



Cumulants Results

Diameter (d) : 51.4 (nm)
 Polydispersity Index (P.I.) : 0.341
 Diffusion Const. (D) : 9.577e-008 (cm²/sec)
 Residual : 1.795e-002 (O.K)

Measurement Condition

Temperature : 25.0 (°C)
 Diluent Name : WATER
 Refractive Index : 1.3328
 Viscosity : 0.8878 (cP)
 Scattering Intensity : 4683 (cps)

Distribution Results (Contin)

Intensity Distribution			Volume Distribution			Number Distribution		
Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	83.2	68.4	1	20.9	12.6	1	14.3	4.0
2	0.0	0.0	2	0.0	0.0	2	0.0	0.0
3	0.0	0.0	3	0.0	0.0	3	0.0	0.0
4	0.0	0.0	4	0.0	0.0	4	0.0	0.0
5	0.0	0.0	5	0.0	0.0	5	0.0	0.0
Average	83.2	68.4	Average	20.9	12.6	Average	14.3	4.0

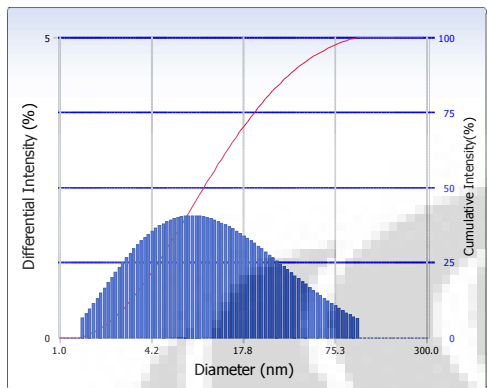
1 / 4 Scale Distribution

S/N :

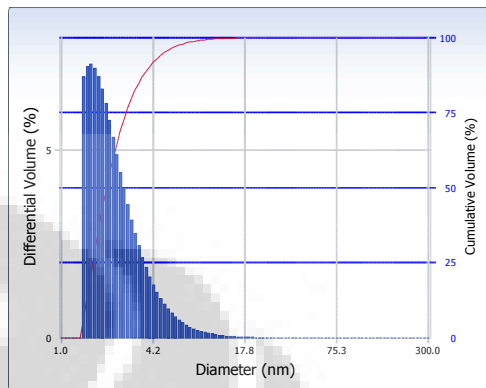
User	: Common	Group	: TiO2+SDS-15jam-10prs	Repetition	: 1/1
Date	: 12/21/2010	File Name	: TiO2+SDS-15jam-10prs_20101221_141301		
Time	: 14:13:01	Sample Information	: TiO2+SDS-15jam-10prs		
SOP Name	: Nanotech	Security	: No Security		

Version 2.31 / 2.00

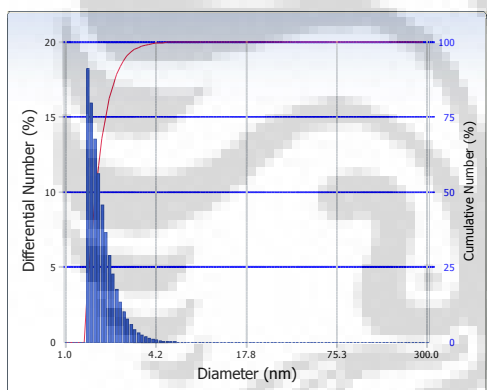
Intensity Distribution



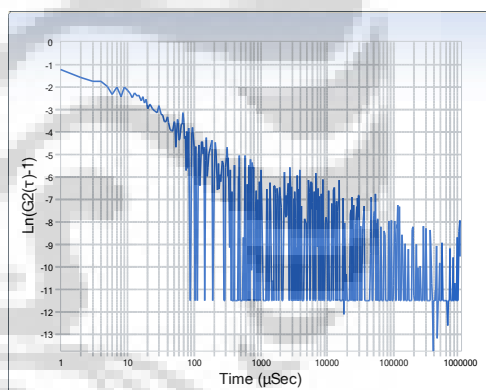
Volume Distribution



Number Distribution



LN(G2(τ)-1) vs τ



Cumulants Results

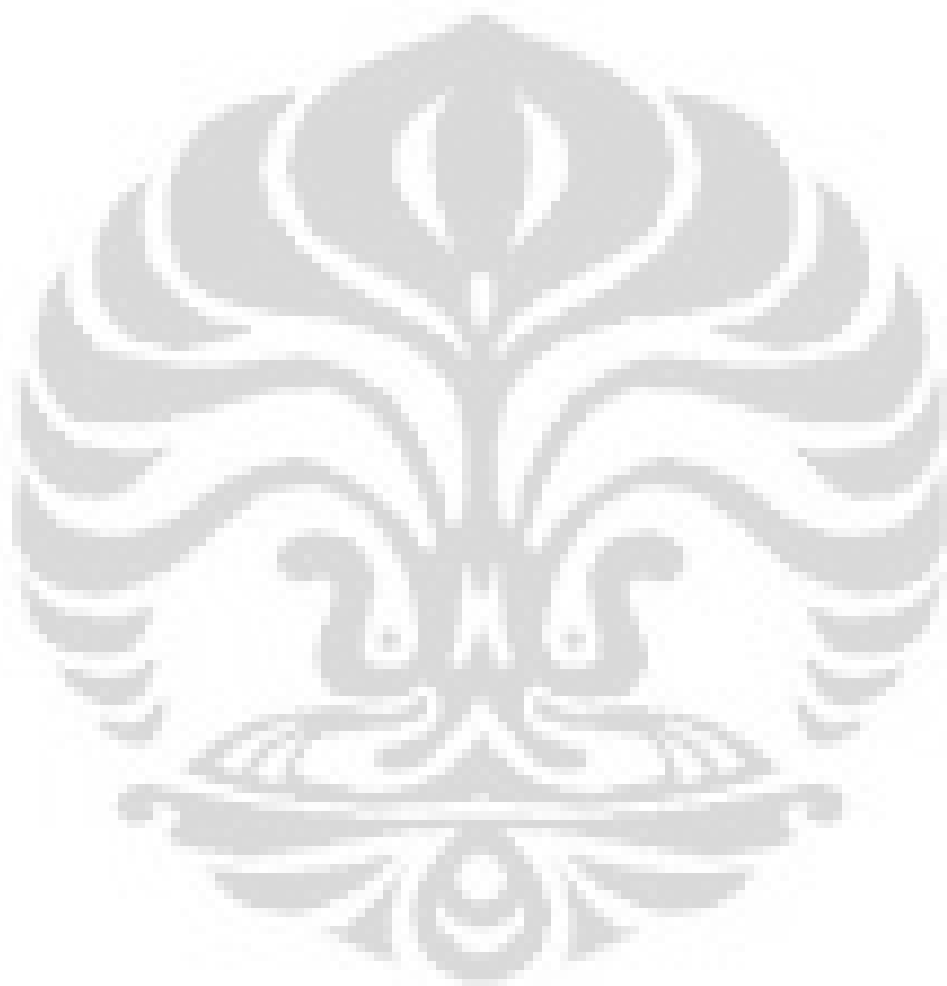
Diameter (d) : 14.7 (nm)
 Polydispersity Index (P.I.) : 0.203
 Diffusion Const. (D) : 3.357e-007 (cm²/sec)
 Residual : 1.369e-002 (O.K)

Measurement Condition

Temperature : 25.0 (°C)
 Diluent Name : WATER
 Refractive Index : 1.3328
 Viscosity : 0.8878 (cP)
 Scattering Intensity : 10741 (cps)

Distribution Results (Contin)

Intensity Distribution			Volume Distribution			Number Distribution		
Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	17.2	19.3	1	2.5	1.6	1	1.8	0.5
2	0.0	0.0	2	0.0	0.0	2	0.0	0.0
3	0.0	0.0	3	0.0	0.0	3	0.0	0.0
4	0.0	0.0	4	0.0	0.0	4	0.0	0.0
5	0.0	0.0	5	0.0	0.0	5	0.0	0.0
Average	17.2	19.3	Average	2.5	1.6	Average	1.8	0.5



Tabel Data nilai pengujian konduktivitas panas nanofluida TiO₂ menggunakan alat KD-2 diukur pada temperatur ruang 25-27°C.

Nanofluida TiO ₂	Pengujian I (W/mC)	Pengujian II (W/mc)	Rerata (W/mc)	Ratio Peningkatan Konduktivitas Termal
1%	0.66	0.64	0.65	1.1607
5%	0.63	0.64	0.635	1.1339
10%	0.66	0.65	0.655	1.1696
1% + SDS	0.71	0.65	0.68	1.2143
5% + SDS	0.74	0.67	0.705	1.2589
10% + SDS	0.69	0.77	0.73	1.3036
1% + OA	0.68	0.69	0.685	1.2232
5% + OA	0.68	0.69	0.675	1.2054
10% + OA	0,8	0,78	0,79	1.4107