



UNIVERSITAS INDONESIA

**KARAKTERISTIK KONDUKTIVITAS TERMAL SUSPENSI
PARTIKEL SUBMIKRON SENGG OKSIDA YANG DISINTESIS
MENGUNAKAN *PLANETARY BALL MILL***

SKRIPSI

**FREDY JOHNY
0906605454**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
Juli 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**KARAKTERISTIK KONDUKTIVITAS TERMAL SUSPENSI
PARTIKEL SUBMIKRON SENG OKSIDA YANG DISINTESIS
MENGUNAKAN *PLANETARY BALL MILL***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**FREDY JOHNY
0906605454**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
Juli 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Fredy Johny

NPM : 0906605454

Tanda Tangan : 

Tanggal : 6 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Fredy Johny
NPM : 0906605454
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Karakteristik Konduktivitas Termal Suspensi
Partikel Submikron Seng Oksida yang Disintesis
Menggunakan *Planetary Ball Mill*

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Sri Harjanto
Penguji 1 : Dr. Ir. Akhmad Herman Yuwono, M.Phil.Eng
Penguji 2 : Nofrijon Sofyan, Ph.D



Handwritten signatures of the examiners and supervisor, including the name 'Harjanto' and 'Akhmad Herman Yuwono'.

Ditetapkan di : Depok
Tanggal :

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Yesus Kristus, karena atas kasih karunia dan tuntunanNya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Hanya oleh anugerahNya saja hambatan, masalah yang ditemui dalam penelitian dan penulisan skripsi ini dapat selesai. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Departemen Metalurgi Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr.Ir. Sri Harjanto, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan tenaga, waktu dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Dwi Marta Nurjaya S.T, M.T, selaku Pembimbing Akademis Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI;
3. Dr. Ir. Akhmad Herman Yuwono, M.Phil.Eng, selaku kordinator mata kuliah spesial Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI;
4. Seluruh Dosen Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI, yang telah memberikan pengetahuan dan ilmunya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini;
5. Orang tua dan adik-adik saya tercinta yang telah banyak memberikan dukungan doa, moral dan material;
6. Bonbon selaku sahabat yang selalu memberi doa dan pengaruh dalam suka dan duka terhadap penulisan skripsi ini;
7. Sahabat dan teman seperjuangan, Ibo, Abud, Dedi, Cica, John, Fius, Singgih, Alfin, Bayu, Shandy, Aldi, Ucok ,mas Mamat, Baskoro, dan berbagai pihak yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan tugas skripsi ini;
8. Teman yang selalu memberi dukungan dan semangat, ka Ika, Angel, Renti.

Semoga skripsi ini dapat selalu bermanfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan bagi mahasiswa dan masyarakat sekarang dan dihari depan

Depok, 6 Juli 2012

Penulis

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

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

Nama : Fredy Johny
NPM : 0906605454
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Departemen : Teknik 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:

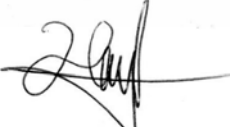
Karakteristik Konduktivitas Termal Suspensi Partikel Submikron Seng Oksida yang Disintesis Menggunakan *Planetary Ball Mill*

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 6 Juli 2012

Yang menyatakan


(Fredy Johny)

ABSTRAK

Nama : Fredy Johny
NPM : 0906605454
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Karakteristik Konduktivitas Termal Suspensi Partikel Submikron Seng Oksida yang Disintesis Menggunakan *Planetary Ball Mill*

Suspensi nanopartikel dalam cairan sekarang ini menarik potensi penggunaannya dalam peningkatan aplikasi pendingin. Nanofluida ZnO dipersiapkan melalui dispersi nanopartikel ZnO dalam air (W) dan etilen glikol (EG) sebagai media pendispersinya. Penelitian ini dilaksanakan untuk mengamati karakteristik utamanya, seperti distribusi ukuran partikel, kestabilan suspensi, dan konduktivitas panas. Proses penggilingan dilaksanakan menggunakan *Planetary Ball Mill* selama 15 jam. Rentang distribusi ukuran partikel yang didapat kurang dari 1 mikron yaitu sekitar 58 - 100%. Konduktivitas panas nanofluida ZnO diukur sebagai fungsi fraksi volume. Konduktivitas panas nanofluida ZnO/W dan ZnO/EG meningkat sampai 6% dan 15%, berturut – turut, sebagai fraksi volume nanopartikel meningkat hingga 1 vol.%.

Kata kunci :

nanofluida, zinc oksida, konduktivitas panas, penggilingan mekanik.

ABSTRACT

Name : Fredy Johny
NPM : 0906605454
Major : Metallurgy and Material Engineering
Title : Thermal Conductivity Characteristics of Zinc Oxide
Submicron Particle Suspension Synthesized by
Planetary Ball Mill

Nanoparticle suspensions in liquid are recent interest for their potential use in advanced coolant applications. ZnO nanofluids have been prepared by dispersing ZnO nanoparticle in the water (W) and ethylene glycol (EG) as the base fluid. This research is conducted to observe the main characteristic, such as particle size distribution, suspension stability, and thermal conductivity. Milling process was conducted by using planetary ball mill for 15 hours. Particle size distribution which less than 1 μm size were in the range 58 – 100%. The thermal conductivity of ZnO nanofluids has been measured as a function of the volume fraction. The thermal conductivity ratio of ZnO/W and ZnO/EG nanofluids increases up to 6% and 15%, respectively, as the volume fraction of nanoparticles increases up to 1 vol.%.

Key Words :

nanofluids, zinc oxide, thermal conductivity, planetary ball mill

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK.....	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Metodologi Penelitian.....	4
1.5. Ruang Lingkup Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	5
2. DASAR TEORI.....	7
2.1. Nanofluida	7
2.2. Fabrikasi Nanofluida	9
2.2.1. Proses dua tahap	9
2.2.2. Proses satu tahap	10
2.3. <i>Planetary Ball Mill</i> (PBM).....	11

2.4. Faktor – faktor yang mempengaruhi konduktifitas nanofluida	13
2.4.1. Efek Konsentrasi Partikel	13
2.4.2. Efek Partikel Material.....	14
2.4.3. Efek Ukuran Partikel	14
2.4.4. Efek Bentuk Partikel.....	15
2.4.5. Efek Fluida Dasar Material	16
2.4.6. Efek Temperatur.....	17
2.4.7. Efek Aditif.....	17
2.4.8. Efek Keasaman (pH)	18
2.5 Faktor – faktor yang mempengaruhi sintesis nanofluida.....	19
2.5.1. Stabilitas Termal	19
2.5.2. Kemampuan dispersi dalam media pendispersi.....	21
2.5.3. Kompatibilitas kimia dan kemudahan manipulasi kimia.....	21
2.6. Mekanisme Peningkatan Konduktivitas Panas	22
2.6.1. Gerak Brownian Nanopartikel	22
2.6.2. Lapisan Cair Pada Permukaan Nanopartikel.....	23
2.6.3. Energi Pengangkut Balistik.....	24
2.6.4. Pengaruh Pengelompokan Nanopartikel.....	24
2.7. Karakterisasi Hasil Sintesis Nanofluida	25
2.7.1. Scanning Electron Microscope	25
2.7.2. Xray Diffraction.....	26
2.7.3. Zeta Potensial.....	27
2.7.4. <i>Particle Size Analyser</i> (PSA)	29
2.7.5. Konduktifitas Panas	30
3. METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1. Diagram Alir Penelitian.....	32
3.2. Alat dan Bahan	34

3.2.1. Bahan	34
3.2.2. alat.....	35
3.3. Sintesis nanofluida.....	35
3.3.1. Preparasi sample	36
3.3.2. Proses Penggilingan	36
3.3.3. Penyalinan hasil	37
3.3.4. Proses Pengenceran.....	37
3.3.5. Pengeringan.....	37
3.3.6. Sonifikasi	38
3.4. Karakterisasi	38
3.4.1. Particle Size Analyser (PSA)	38
3.4.2. Zeta Potensial.....	39
3.4.3. Konduktifitas panas.....	39
3.4.4. Scanning Electron Microscope (SEM).....	39
3.4.5. X-Ray <i>Diffraction</i> (XRD).....	39
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1. Stabilitas Nanofluida	41
4.2. Distribusi Ukuran Partikel	45
4.3. Zeta Potensial.	50
4.4. Konduktifitas Panas	52
4.5. SEM.....	53
4.6. XRD.....	54
5. KESIMPULAN.....	56
REFERENSI	57
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Perbandingan konduktifitas termal pada <i>liquid, polymers, dan solid</i>	8
Gambar 2.2.	Arah gerak bola dalam vial yang berputar pada piringan	12
Gambar 2.3.	(a) Peningkatan konduktifitas panas Al_2O_3 dalam air (b) Pengaruh konsentrasi volume partikel Al_2O_3 dalam air.....	13
Gambar 2.4.	(a) Pengaruh partikel material untuk partikel dalam air. (b) Pengaruh partikel material untuk partikel dalam etilen glikol.....	14
Gambar 2.5.	(a) Pengaruh ukuran partikel dalam Al_2O_3 air. (b) Pengaruh ukuran partikel dalam Al_2O_3 Etilen glikol.....	15
Gambar 2.6.	(a) Pengaruh bentuk partikel SiC dalam air. (b) Pengaruh bentuk partikel TiO_2 dalam air.....	16
Gambar 2.7.	Pengaruh fluida dasar material Al_2O_3 dalam air	16
Gambar 2.8.	Pengaruh temperatur untuk Al_2O_3 dalam air.....	17
Gambar 2.9.	Pengaruh aditif untuk Cu dalam etilen glikol	18
Gambar 2.10.	(a) Pengaruh keasaman pada Al_2O_3 dalam air. (b) Pengaruh keasaman pada CuO dalam air	18
Gambar 2.11.	Nanopartikel digambarkan sebagai sistem metastabil, energi mereka antara atom, molekul, dan bulk. jenis nanopartikel yang berbeda dengan energi yang berbeda, dan setiap nanopartikel dapat berubah ukuran menjadi lebih besar	20
Gambar 2.12.	Stabilitas kinetik dari sistem nanopartikel. Sebagai penghalang interaksi gaya van der Waals adalah lebih tinggi energi panasnya, maka nanopartikel cenderung stabil. Ketika penghalang ini tidak ada maka partikel akan mengalami agregasi atau penggabungan	21
Gambar 2.13.	Peningkatan konduktivitas panas karena terbentuknya lapisan cair pada permukaan nanopartikel	23
Gambar 2.14.	Peningkatan konduktivitas panas sebagai pengaruh dari fraksi volume dari pengelompokkan	25
Gambar 2.15.	Data pola difraksi au, fungsi sudut difraksi dua theta terhadap intensitas	27
Gambar 2.16.	Skematik Dynamic light scattering menggunakan mode dinamik	30
Gambar 2.17.	Skematik pengaturan analyser	31
Gambar 3.1.	Alur penelitian.....	33
Gambar 3.2.	<i>Planetary Ball Mill</i>	35
Gambar 4.1.	Produksi nanofluida 0 jam setelah milling a) base fluid Ethylene Glycol, b) base fluid air.....	42
Gambar 4.2.	Produksi nanofluida 24 jam setelah milling a) base fluid Ethylene Glycol, b) base fluid air.....	42
Gambar 4.3.	Produksi nanofluida 0 jam setelah Filtrasi dengan base fluid air, dengan konsentrasi pengenceran a) 0,1 %, b) 0,5 %, c) 0,7 % dan d) 1 %	43
Gambar 4.4.	Produksi nanofluida 30 jam setelah Filtrasi dengan base fluida air, dengan konsentrasi pengenceran a) 0,1 %, b) 0,5 %, c) 0,7 % dan d) 1 %	43
Gambar 4.5.	Produksi nanofluida 0 jam setelah Filtrasi dengan base fluid Ethylene glycol, dengan konsentrasi pengenceran a) 0,1 %, b) 0,5 %, c) 0,7 % dan d) 1 %	44

Gambar 4.6. Produksi nanofluida 30 jam setelah Filtrasi dengan base fluid Ethylene glycol, dengan konsentrasi pengenceran a) 0,1 %, b) 0,5 %, c) 0,7 % dan d) 1 %	44
Gambar 4.7. Distribusi ukuran partikel awal dan setelah milling 15 jam efektif berdasarkan pendekatan intensitas	46
Gambar 4.8. Distribusi ukuran partikel ZnO/water berdasarkan pendekatan.....	47
Gambar 4.9. Distribusi ukuran partikel ZnO/EG berdasarkan pendekatan	48
Gambar 4.10. Perbandingan rata – rata ukuran partikel ZnO berbagai konsentrasi dengan media pendispersi.....	49
Gambar 4.11. Perbandingan rata – rata ukuran partikel ZnO berbagai konsentrasi dengan media pendispersi Etilen glikol.....	50
Gambar 4.12. Pengukuran nilai Zeta potensial nanofluida ZnO.....	51
Gambar 4.13. Perbandingan rasio peningkatan konduktifitas panas nanofluida ZnO..	52
Gambar 4.14. Perbandingan mikrostruktur a) Partikel awal Zno sebelum milling (4000X) dengan b) Partikel ZnO/water setelah milling 15 jam (8000X)	53
Gambar 4.15. Perbandingan mikrostruktur a) Partikel awal Zno sebelum milling (4000X) dengan b) Partikel ZnO/EG setelah milling 15 jam (8000 X). .	54
Gambar 4.16. Perbandingan Pengujian XRD partikel awal Zno sebelum milling dengan partikel ZnO setelah milling 15 jam)	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Rekomendasi beban bola yang digunakan terhadap volume vial 12



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Pengujian PSA

Lampiran 2. Hasil Pengujian konduktifitas panas



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Teknologi pada abad 21 memerlukan alat miniatur kedalam ukuran nanometer dimana kinerja akhirnya secara dramatis meningkat. Ini mengangkat banyak hal yang mengacu pada material baru untuk menuju keberhasilan fungsional dan selektif yang spesifik. Material nanophase dan nanostruktur, merupakan cabang baru dalam penelitian material dengan perhatian dan ketertarikan terbesar karena aplikasi potensial mereka dalam bidang seperti elektronik, optik, katalis, keramik, penyimpanan data magnetik ^[1].

Dalam perkembangan kehidupan di kota-kota besar, Pemanasan atau pendinginan fluida adalah suatu kebutuhan utama didalam banyak bidang industri, bidang transportasi, kebutuhan di bidang energi dan produksi serta dalam bidang elektronika. Sifat – sifat thermal dari fluida berperan penting dalam peningkatan efisiensi dari kinerja sistem untuk menghasilkan sistem yang optimum ^[2]. Peningkatan sistem yang optimum dari fluida kerja terus diupayakan dan diteliti sehingga dapat menekan losses energi pada produksi. Salah satu penelitian yang sedang dilakukan adalah fluida dalam bentuk nano terhadap media kerja, sehingga perpindahan panas dalam suatu sistem menjadi optimal. Nanofluida dikembangkan sebagai suatu fluida yang menggantikan fluida konvensional seperti air, *ethylene glycol* dan oli.

Perkembangan sekarang dalam teknologi nano yaitu telah diciptakan kelas fluida yang agak khusus yang disebut nanofluida. Nanofluida muncul sebagai fluida yang memiliki potensi yang besar untuk aplikasi pendinginan. Istilah nanofluida berarti dua campuran fase dimana fase yang kontinu biasanya cairan dan fase yang terdispersi terdiri dari nanopartikel padat yang sangat halus, berukuran lebih kecil daripada 50 nm ^[3]. Beberapa dispersi nanopartikel dari keperluan rekayasa sebenarnya dibuat dan secara komersial tersedia. Telah dibuktikan bahwa sifat-sifat termal dari campuran yang terbentuk secara signifikan lebih tinggi daripada fluida

dasarnya.

Perkembangan teknologi material telah mampu memproduksi partikel dalam ukuran nanometer sehingga diharapkan partikel yang dicampurkan dalam fluida cair akan tersuspensi lebih baik, seperti dilakukan oleh Choi yang mendispersikan partikel CuO dalam ukuran nanometer dengan fluida cair *ethylene glycol*. Dari hasil penelitian diperoleh peningkatan perpindahan kalor konduksinya sebesar 20% ^[3]. Lalu hasil pengukuran terbaru setelah itu menyatakan bahwa hasil penelitiannya diperoleh peningkatan sebesar 40% pada konduktivitas termalnya hanya dengan kurang dari 1 % vol partikel Cu pada *ethylene glycol* ^[3].

Penelitian nanofluida ZnO yang akan dilakukan juga didasarkan oleh penelitian sebelumnya dengan partikel TiO₂ yang dilakukan oleh Rahmawan setiadji dengan konsentrasi 10 % terhadap volume, dan beberapa penelitian lainnya. Hasil pengujian yang dilakukan dengan menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA), didapatkan dalam penelitian tersebut yaitu distribusi ukuran partikel yang mencapai <100 nm mencapai 32,3 % ^[4]. Penelitian didapat dengan proses penggilingan partikel awal dengan rentang ukuran partikel antara 17,3 – 1808,5 nm menggunakan PBM selama 15 jam efektif. Hasil penelitian juga mendapatkan peningkatan konduktivitas panas nanofluida TiO₂ yang ditambahkan SDS dengan rasio tertinggi sebesar 1,30 dari fluida air destilasi, dengan nilai konduktivitas panas air destilasi 0,56 w/m^oc ^[4].

Penelitian lain yang dilakukan oleh L.C Damonte, et al. (argentina) yaitu memproduksi nanopartikel ZnO melalui penggilingan mekanik, lalu membandingkan waktu penggilingan terhadap ukuran partikel. Hasil yang didapatkan melalui waktu penggilingan 1 jam dan 5 jam mempunyai peningkatan reduksi ukuran partikel. Ukuran butir awal sebelum digiling mempunyai range 170 – 500 nm, setelah 1 jam digiling, ukuran butir yang dihasilkan lebih banyak homogen 50 – 110 nm, dan setelah dilakukan penggilingan selama 5 jam maka range ukuran yang didapatkan yaitu < 17 nm, sehingga ukuran butir yang diproduksi homogen < 20 nm ^[5]. Penelitian lain yang turut mendukung dalam penelitian nanofluida ZnO yaitu penelitian yang telah dilakukan oleh Majid

Moossavi (iran),dimana membuat nanofluids ZnO dengan media pendispersi yaitu menggunakan *ethylene glycol* dan ZnO yang menggunakan media pendispersi *glycerol*. Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut didapatkan peningkatan konduktifitas panas dengan rasio tertinggi 1,07^[6].

Berdasarkan pengamatan penelitian yang dilakukan oleh Rahmawan Setiaji ,maka penelitian sintesis dengan partikel ZnO nanofluids ini menggunakan konsentrasi yang lebih kecil terhadap volume dibanding penelitian sintesis TiO₂, sehingga diharapkan dengan konsentrasi berat terhadap volume yang kecil mendapatkan hasil yang lebih efisien sebagai pengganti nanofluida partikel TiO₂.

1.2 Perumusan masalah

Pengembangan penelitian sintesis nanofluida dengan menggunakan metode reduksi ukuran partikel Proses satu tahap dari 100 mikron menjadi lebih kecil 100 nm didalam media terdispersi air distilasi dengan alat *planetary ball mill*. Proses reduksi partikel yang disintesis menggunakan metode *wet mechanical*. Material yang digunakan untuk disintesis yaitu ZnO yang memiliki sifat konduktifitas termal baik dan mampu direduksi ukuran partikelnya dengan berbagai metode. Variabel konsentrasi pembuatan nanofluida ZnO yang digunakan yaitu fraksi volume 0,1 % , 0,5 % , 0,7 % dan 1 % dengan waktu penggilingan 15 jam efektif. Pengamatan yang dilakukan yaitu secara visual untuk melihat kestabilan dispersi partikel ZnO dalam pelarut air destilasi. Karakterisasi material selanjutnya dengan pengujian *particle size analyser* (PSA), pengujian zeta potensial, *X-Ray Diffraction*, dan pengujian konduktivitas panas (KD 2).

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian sintesis nanofluida dengan batasan tertentu, bertujuan untuk :

1. Mendapatkan partikel berukuran submikron menggunakan partikel ZnO dengan menggunakan alat *Planetary Ball Mill* (PBM).
2. Mengetahui kemampuan dispersi / tingkat kelarutan material ZnO didalam media air terdistilasi untuk membentuk sebuah fluida nano yang stabil.

3. Membandingkan kemampuan dispersi / tingkat kelarutan material ZnO didalam media *ethylene glycol*. untuk membentuk sebuah fluida nano yang stabil.
4. Mengetahui nilai konduktivitas termal nanofluida ZnO yang terbentuk setelah penggilingan dengan waktu tertentu.

1.4 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan adalah studi kepustakaan tentang sintesis dan karakterisasi nanofluida dari ZnO yang mengaplikasikan prosedur sintesis TiO₂. Pengamatan langsung proses sintesis nanofluida dan observasi dengan pendekatan *top down* menggunakan alat *Planetary Ball Mill*, dimana dengan variabel persentase partikel dan pengaruh media pendispersi selain air pada kestabilan nanofluida yang dihasilkan. Setelah proses sintesis, hasil penelitian dikarakterisasi untuk mengetahui sifat dan karakteristik setiap variabelnya. Data yang diperoleh merupakan data primer dari hasil pengujian laboratorium dan instansi. Berdasarkan data primer tersebut kemudian dianalisa perbandingan yang didapat menggunakan literatur, sehingga mendapat kesimpulan yang dapat menjawab tujuan dari penelitian ini.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Melihat banyaknya masalah yang akan timbul dalam penelitian ini nantinya, kami membatasi pembahasan tentang nanofluida dengan beberapa variabel penting. Proses sintesis nanofluida dilakukan dengan menggunakan metode *wet mechanical* dalam metode ini digunakan *planetary ball mill* untuk mereduksi ukuran partikel.

Sintesis nanofluida ini menggunakan ZnO komersil dengan berat jenis 5,6 gr/ml. Media pendispersi digunakan air destilasi dengan pH netral berkisar 7,0. Media pendispersi *ethylene glycol* juga digunakan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kestabilan nanofluida yang dihasilkan.

Proses penggilingan yang dilakukan dengan menggunakan vial dari Alumina dengan volume 250 ml. Bola pereduksi yang digunakan adalah jenis

corrondum dengan ukuran 10 mm sebanyak 50 buah dan 5 mm sebanyak 250 buah. Kecepatan putar dari *planetary ball mill* diatur konstan pada kisaran 300 rpm. Waktu penggilingan yang digunakan selama 15 jam sebagai variabel untuk membandingkan nanofluida yang dihasilkan.

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

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

Bab ini menjelaskan 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 untuk membandingkan hasil dari penelitian yang pernah dilakukan dengan hasil dari penelitian yang akan dilakukan.

Bab III *Metodologi Penelitian*

Bab ini menjelaskan mengenai hal-hal yang dilakukan selama penelitian berlangsung, 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 pengamatan penelitian dan pengujian yang 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, lalu dibandingkan dengan literatur, sehingga didapatkan suatu analisa yang dapat menggambarkan sifat-sifat dan karakteristik dari proses sintesis nanofluida ZnO melalui media pendispersi dalam air distilasi dan media pendispersi *ethylene glycol* 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

Dalam pengembangan efisiensi energi, ukuran vital yang perlu diperhatikan pada alat perpindahan panas yaitu konduktifitas panas dari fluida perpindahan panasnya. Bagaimanapun perpindahan panas tradisional seperti air, minyak, dan campuran etilen glikol adalah fluida dengan perpindahan panas yang rendah. Peningkatan kompetisi global dalam bidang- bidang industri inilah sehingga memerlukan pengembangan terhadap fluida perpindahan panas yang terdepan. Cara dalam pengembangan fluida perpindahan panas, yaitu dengan mencari fluida yang mempunyai konduktifitas panas yang lebih tinggi secara signifikan dari yang telah tersedia.

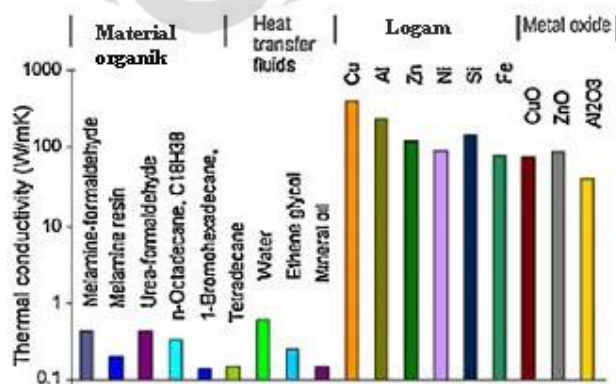
Pertimbangan penelitian sebelumnya dan pengembangan kenyamanan pada peningkatan perpindahan panas, perbaikan utama dalam kemampuan pendinginan dibatasi karena fluida perpindahan panas secara konvensional mempunyai konduktifitas termal yang rendah. Bagaimanapun, logam – logam dalam bentuk padatan pada temperatur ruang mempunyai jarak konduktifitas termal yang tinggi dari fluida tersebut ^[7]. Hal tersebut dapat dilihat dari konduktitas termal copper pada temperatur ruang yaitu sekitar 700 kali lebih besar dari air, dan sekitar 300 kali lebih besar dari oli mesin, seperti digambarkan gambar 2.1 ^[7-9]. Nilai konduktifitas logam terlihat lebih besar daripada nonlogam, maka diharapkan konduktifitas termal fluida yang mengandung suspensi partikel logam padat lebih tinggi secara signifikan dari fluida perpindahan panas secara konvensional. Fakta tentang teori penelitian konduktifitas termal dari dispersi yang mengandung partikel padat, telah dilakukan lebih dari 100 tahun yang lalu pada era Maxwell di tahun 1873 dan telah banyak ilmuwan yang sudah mencoba mendispersikan partikel yang berukuran mili maupun mikrometer ke dalam fluida konvensional ^[10].

Nanofluida termasuk relatif fluida kelas baru yang terdiri dari fluida dasar dengan partikel ukuran nano dengan range 1 -100 nm, yang tersuspensi dalam

fluida tersebut ^[11]. Partikel ini umumnya adalah logam atau logam oksida. Dalam beberapa dekade, nanoteknologi mengalami kemajuan yang cepat dan mengarah munculnya generasi baru dari pendingin yang dinamakan nanofluida. Nanofluida didefinisikan sebagai suspensi nanopartikel dalam fluida dasarnya. beberapa jenis nanofluida adalah *copper nanofluids* dengan media dasarnya etilen glikol dan *copper oxide nanofluids* dengan media dasarnya air. Dibandingkan dengan fluida konvensional, Suspensi solid – liquid untuk intensifikasi perpindahan panas maka proses nanofluida mempunyai beberapa keuntungan yaitu ^[11]:

- ✓ area permukaan spesifik tinggi sehingga permukaan perpindahan panas lebih besar antara partikel dan fluida.
- ✓ Mempunyai stabilitas dispersi yang tinggi dengan utamanya gerakan brownian yang dimiliki partikel.
- ✓ Mengurangi daya pompa jika dibandingkan terhadap cairan murni
- ✓ Mengurangi sumbatan partikel jika dibandingkan slurries konvensional.
- ✓ Sifat dari nanofluida dapat diatur, termasuk konduktivitas termal dan pembasahan permukaan melalui variasi konsentrasi partikel untuk kenyamanan aplikasi yang berbeda.

Aplikasi spesifik dari nanofluida dapat digunakan sebagai pendingin mesin, oli transmisi mesin, *jacket water coolant* pada generator listrik, pendingin elektronik, pendingin lasan, pendingin sistem nuklir, pemanas air matahari ^[12].



Gambar 2.1. Perbandingan konduktivitas termal pada *liquid, polymers, dan solid* ^[19].

2.2 Fabrikasi Nanofluida

Metode dalam pembuatan nanofluida menurut Gleiter tahun 1989, sebagian besar dibedakan menjadi 2, yaitu secara fisika dan kimia^[10]. Metode secara fisika dengan proses kondensasi fasa gas penghalusan mekanik. Sedangkan metode secara kimia dengan *chemical precipitation, spray pyrolysis, spray – drying system, chemical vapor deposition*.

Beberapa material nanopartikel yang digunakan dalam pembuatan nanofluida adalah keramik oksida (Al_2O_3 , CuO), keramik nitrida (AlN , SiN), keramik karbida (SiC , TiC), logam (Ag , Au , Cu , Fe), semikonduktor (TiO_2), *single - , double-, multi walled carbon nanotubes* (SWCNT, DWCNT, MWCNT) dan material komposit.

Nanofluida diproduksi melalui dua teknik, yaitu : Teknik dua tahap dan teknik satu tahap. Teknik dua tahap yaitu teknik yang dimulai dengan teknik sintesis secara kimia atau fisika terlebih dahulu, setelah itu diproses dengan mendispersikan nanopartikel tersebut ke dalam fluida dasarnya. Teknik satu tahap yaitu teknik dimana membuat dan mendispersikan nanopartikel langsung ke dalam fluida dasarnya.

2.2.1 Proses dua tahap

Teknik proses dua tahap mempunyai keuntungan dalam komersialisasi nanofluida, dimana *Nanophase Technology Corporation* dapat meningkatkan skalanya melalui teknik kondensasi gas inert dalam menghasilkan nanopartikel dalam jumlah besar. Seperti serbuk nano yang diproduksi secara ekonomis dalam *bulk*, dapat digunakan untuk membuat nanofluida melalui metode dua tahap jika masalah aglomerasi dapat diatasi. Pembuatan nanofluida dengan menggunakan proses dua tahap telah dilakukan dan mempunyai faktor penting yang merupakan tantangannya, dimana partikel berikatan dengan cepat beraglomerasi sebelum partikel tersebut berdispersi sempurna. Aglomerasi partikel tersebut sangat atraktif, yang diakibatkan oleh gaya van der Waals antar nanopartikelnya, dan aglomerasi partikel yang berikatan dengan cepat harus dijaga ketika ditempatkan diluar liquid. Faktanya, aglomerasi merupakan kendala utama pada teknologi

serbuk nano, termasuk dalam teknologi nanofluida, dan kunci sukses fabrikasi nanofluida agar mempunyai sifat perpindahan panas yang tinggi adalah dengan memproduksi dan suspensi mendekati monodispersi atau keadaan non-aglomerasi nanopartikel didalam fluida. Hambatan terburuk penggunaan nanopartikel oksida adalah membutuhkan konsentrasi volume yang tinggi dibandingkan dengan partikel logam untuk mendapatkan peningkatan perpindahan panas yang sama dalam nanofluida.

Pada konsentrasi volume yang tinggi, masalah aglomerasi bertambah buruk. Beberapa perlakuan permukaan nanopartikel menggambarkan dispersi yang sempurna dalam fluida dasar dan sifat termal yang baik. Tantangannya adalah pengembangan secara inovatif untuk memperbaiki proses dua tahap dalam menghasilkan nanofluida dalam volume yang besar, yang memiliki dispersi yang baik. Beberapa fluida komersial sekarang, tersedia dalam bentuk suspensi liquid dengan partikel-partikel kecil. Salah satunya suspensi keramik tersedia dalam jumlah besar. Fluida magnetik yang mengandung partikel oksida besi telah tersedia di pasaran sejak tahun 1970an. Fluida tersebut juga memiliki masalah sama, yaitu aglomerasi dan fabrikasi nanofluida dibuat di laboratorium dengan teknik proses dua tahap.

2.2.2 Proses satu tahap

Metode yang menggunakan proses satu tahap lebih dianjurkan untuk nanofluida yang mengandung logam-logam dengan konduktivitas tinggi seperti Cu, untuk menjaga oksidasi partikel. Pada teknik ini, nanopartikel dibentuk dan didispersikan dalam fluida dalam prosesnya. Metode satu tahap ini terdiri dari evaporasi langsung dan digunakan untuk menghasilkan nanopartikel Cu yang meminimalkan aglomerasi, serta mempunyai dispersi baik dan suspensi stabil dalam etilen glikol. Teknik ini meliputi kondensasi serbuk nanofluida dari fasa uap langsung mengalir kedalam etilen glikol bertekanan rendah dalam ruang vakum. Metode satu tahap ini juga yang dikembangkan oleh Argonne National Laboratory dalam menciptakan nanofluida ^[10].

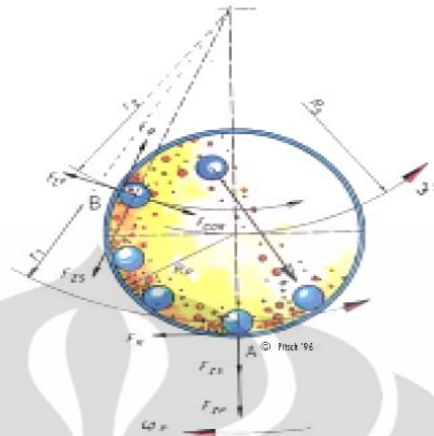
Metode lain yang termasuk dalam proses satu tahap, adalah sintesis nanopartikel dengan *submerged arc*, yaitu nanopartikel diproduksi melalui pemanasan material padat dari sebuah elektroda dengan bunga listrik yang menyebar, kemudian dikondensasi langsung kedalam liquid didalam ruang hampa guna membentuk nanofluida. Metode ini digunakan untuk menghasilkan nanofluida yang mengandung berbagai nanopartikel seperti TiO_2 , CuO dan Cu .

Walaupun metode satu tahap ini memproduksi nanofluida dalam jumlah kecil, untuk tujuan penelitian, metode ini juga tidak mungkin untuk produksi secara komersial. Metode ini sulit untuk skala besar karna dua alasan. Proses yang memerlukan vakum secara signifikan lambat dalam memproduksi nanopartikel dan nanofluida, ini membatasi laju produksi. Alasan lainnya adalah karna mahal.

2.3 *Planetary Ball Mill (PBM)*

Planetary ball mill bekerja mempunyai tiga fungsi. Fungsi yang pertama sebagai penghalusan material sehingga didapatkan reduksi ukuran partikel dalam alat tersebut dalam kecepatan tinggi. Penggunaan *planetary ball mill* dengan kecepatan tinggi dapat juga digunakan sebagai pencampur dan homogenisasi untuk bentuk padatan maupun suspensi. Fungsi lainnya, *planetary ball mill* dengan kecepatan tinggi yang mempunyai rancangan khusus dapat juga digunakan sebagai pencampuran secara mekanik untuk material yang keras maupun getas.

Cara kerja *planetary ball mill* 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. Perputaran yang terjadi antara vial dengan piringan berlawanan arah, sehingga partikel yang berada di dalam vial akan terkena efek sentrifugal dan tertumbuk dengan bola maupun dinding dari vial seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2. 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 2.2 Arah gerak bola dalam vial yang berputar pada piringan^[20].

Performance dan hasil preparasi sample ditentukan dari pemilihan vial yang digiling dan beban bola seperti pada tabel 2.1. Pemilihan ditentukan pada jumlah yang akan ditangani, ukuran partikel akhir yang diperlukan, dan kemurnian produk yang dihaluskan. Tabel pendekatan membuat kemungkinan memilih konfigurasi pencampuran yang cocok, ditentukan pada jumlah sampel dan ukuran butir dari *feed material*.

Bola besar umumnya digunakan untuk mereduksi ukuran partikel yang kasar, dan satunya bola kecil untuk penghalusan yang lebih baik. Semakin besar densitas dari material yang dibuat, maka energi tumbukan yang diberikan semakin besar. Ketika keausan dari tumbukan tidak dapat dihindari, material dari vial dan bola harus dipilih dengan baik sehingga debu yang ada tidak akan mengganggu analisis.

Vial Yang Digiling dan Beban Bola

Volume vial	eff. Volume (material dan bola)	Ukuran partikel feed maks	Beban Bola yang Direkomendasikan			
			Ø 40 mm	Ø 30 mm	Ø 20 mm	Ø 10 mm
50 ml	5 - 30 ml	< 3 mm	-	-	3 pcs	10 pcs
125 ml	15 - 80 ml	< 4 mm	-	-	6 pcs	25 pcs
250 ml	25 - 150 ml	< 6 mm	-	5 pcs	12 pcs	50 pcs
500 ml	75 - 300 ml	< 10 mm	4 pcs	8 pcs	20 pcs	100 pcs

Tabel 2.1 Rekomendasi beban bola yang digunakan terhadap volume vial^[20].

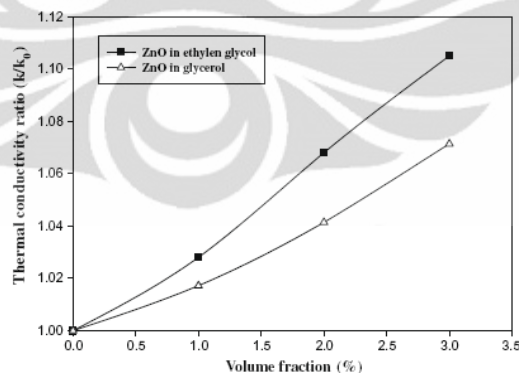
2.4 Faktor – faktor yang mempengaruhi konduktifitas nanofluida

Karakteristik yang ingin didapatkan dari nanofluida tidak hanya peningkatan konduktifitas panas, tetapi juga kestabilan dari nanofluida itu sendiri, sehingga diperoleh karekteristik nanofluida yang optimum dan tidak mengganggu kinerja sistem pendinginan.

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian-penelitian menghasilkan parameter – parameter yang dapat mempengaruhi efek peningkatan konduktifitas panas nanofluida. Terdapat delapan parameter yang mempengaruhi peningkatan konduktifitas panas berdasarkan eksperimen data yaitu : konsentrasi volume partikel, partikel material, ukuran partikel, bentuk partikel, material fluida dasar, temperatur, aditif dan pengasaman ^[13].

2.4.1 Efek Konsentrasi Partikel

Pengaruh konsentrasi volume partikel pada peningkatan konduktifitas nanofluida digambarkan pada gambar 2.3. Berdasarkan pengamatan dari penelitian, maka secara umum trend yang didapatkan bahwa, semakin meningkatnya konsentrasi volume partikel maka semakin meningkat juga konduktifitas panas nanofluida.

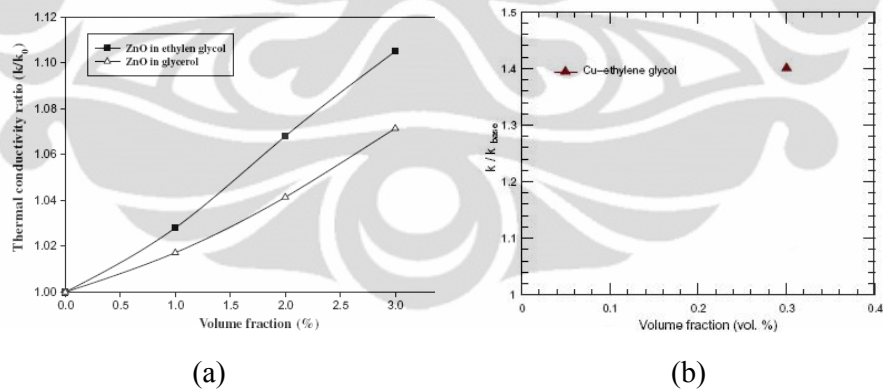


Gambar 2.3 Peningkatan konduktifitas panas ZnO dalam etilen glikol dan gliserol pada konsentrasi yang berbeda ^[6].

2.4.2 Efek Partikel Material

Pengaruh partikel material pada peningkatan konduktifitas nanofluida digambarkan pada gambar 2.4 (a) dengan material partikel oksida dan tembaga, berbasis etilen glikol dan gliserol. Berdasarkan pengamatan dari hasil penelitian, seperti terlihat material partikel oksida secara signifikan tidak mempengaruhi peningkatan, untuk partikel yang relatif mempunyai konduktivitas panas yang rendah. Kondisi berubah ketika partikel material yang mempunyai konduktifitas panas tinggi digunakan.

Sebagai contoh, pada gambar 2.4 (b) di bawah ini nanofluida Tembaga berbasis etilen glikol. Konduktifitas panasnya lebih tinggi dari nanofluida Zinc oxide, terlihat dengan konsentrasi volume 0,3%, mengalami peningkatan sampai 40%. Hasil ini menunjukkan secara signifikan bahwa partikel Cu lebih tinggi peningkatannya dari partikel oksida, walaupun dengan konsentrasi volume 0,3% dibanding ZnO dengan konsentrasi sampai 3%. Hal ini memberikan peluang terhadap pengembangan penelitian dan produksi nanofluida yang mengandung partikel logam.

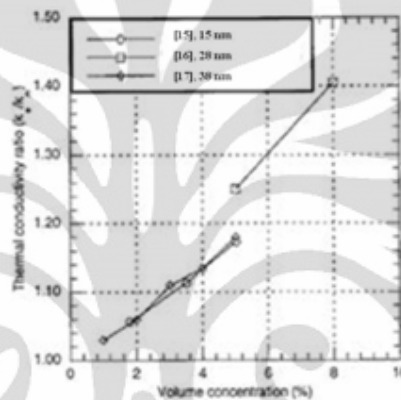


Gambar 2.4 (a) Pengaruh partikel material ZnO dalam Etilen glikol dan gliserol^[6]. (b) Pengaruh partikel material Cu dalam etilen glikol^[14].

2.4.3 Efek Ukuran Partikel

Pengaruh ukuran partikel pada peningkatan konduktifitas nanofluida digambarkan pada gambar 2.5. Partikel yang dilaporkan pada penelitian disini yaitu hanya partikel yang berbentuk bola atau bulat. Berdasarkan pengamatan penelitian, pada gambar 2.5 partikel dengan menggunakan basis etilen glikol.

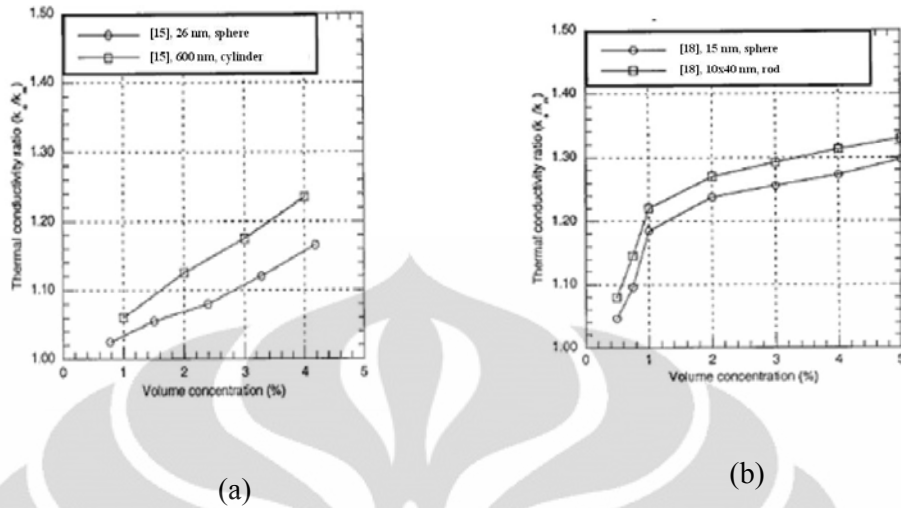
Partikel dengan ukuran 28 nm memiliki nilai konduktivitas yang tinggi, dan partikel dengan ukuran 15 nm memiliki nilai konduktivitas yang rendah. Pengamatan berdasarkan data tersebut, semakin kecil ukuran partikel tidak menggambarkan semakin kecil tingkat konduktivitas panasnya. Sehingga, tidak dapat disimpulkan dengan mengecilnya ukuran butir maka akan menurunkan konduktivitas panasnya. Perlu penelitian lebih lanjut untuk mengidentifikasi tingkat perubahan dari ukuran partikel material ini.



Gambar 2.5 Pengaruh ukuran partikel dalam Al₂O₃ Etilen glikol [13, 15-17].

2.4.4 Efek Bentuk Partikel

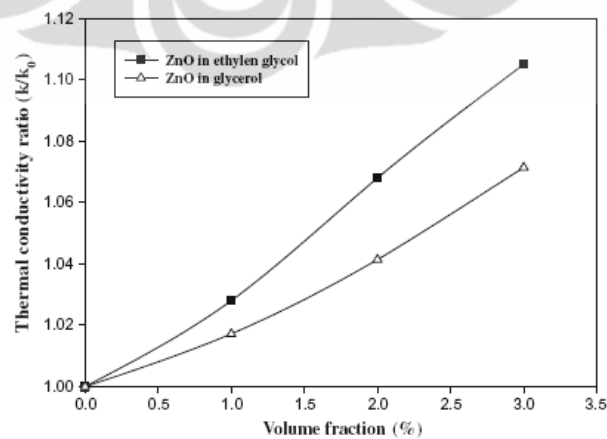
Pengaruh bentuk geometri partikel pada peningkatan konduktivitas nanofluida digambarkan pada gambar 2.6. Bentuk partikel bulat dan cylinder dibandingkan, yang digambarkan pada gambar 2.6 (a). Berdasarkan pengamatan penelitian, terlihat pada bentuk partikel silinder mempunyai peningkatan konduktivitas panas yang lebih tinggi dari bentuk partikel bulat. Hal ini dikarenakan bentuknya yang panjang lebih mudah mengkonduksikan perpindahan panas melalui fluida. Pada gambar pada gambar 2.6 (b) menggambarkan bahwa, bentuk partikel rod mempunyai peningkatan konduktivitas panas yang lebih tinggi dari bentuk partikel bulat. Berdasarkan data penelitian tersebut mengindikasikan elongasi partikel lebih unggul dari partikel bulat untuk peningkatan konduktivitas panas.



Gambar 2.6. (a) Pengaruh bentuk partikel SiC dalam air^[15]. (b) Pengaruh bentuk partikel TiO₂ dalam air^[13, 18].

2.4.5 Efek Fluida Dasar Material

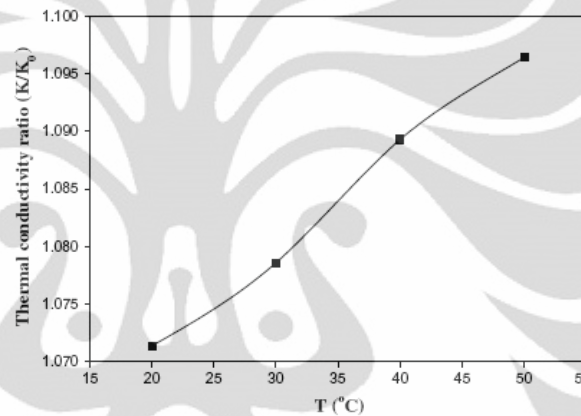
Pengaruh fluida dasar, seperti, etilen glikol, dan gliserol pada peningkatan konduktifitas panas nanofluida ditunjukkan pada gambar 2.7 di bawah ini. Berdasarkan data menunjukkan, peningkatan konduktifitas panas lebih signifikan terjadi pada fluida dasar yang memiliki konduktifitas panas rendah, yaitu etilen glikol dibandingkan dengan fluida dasar gliserol. Dalam hal ini, tujuan peningkatan performa pendinginan dalam media pendingin dengan konduktifitas panas rendah pun tercapai, sehingga nanofluida berpotensi untuk aplikasi pendinginan.



Gambar 2.7 Pengaruh fluida dasar material ZnO dalam etilen glikol dan gliserol^[6].

2.4.6 Efek Temperatur

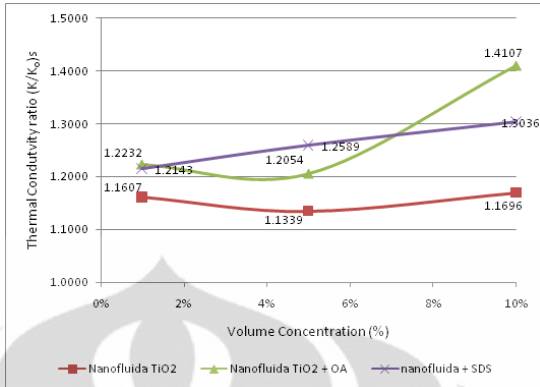
Pengaruh temperatur pada peningkatan konduktifitas panas nanofluida ditunjukkan pada gambar 2.8 di bawah ini. Secara umum, konduktifitas panas nanofluida lebih sensitif pada temperatur daripada fluida dasar. Berdasarkan penelitian yang ditunjukkan pada gambar 2.8, semakin tinggi temperatur, maka konduktifitas panas nanofluida juga semakin meningkat. Hal tersebut karena konduktifitas panas nanofluida bergantung pada temperatur yang lebih kuat dimana merangsang kepada pergerakan nanopartikel, dimana energi nanopartikel semakin besar yang ditimbulkan oleh temperatur.



Gambar 2.8 Pengaruh temperatur untuk ZnO dalam gliserol pada fraksi volume dengan berbagai temperatur [6].

2.4.7 Efek Aditif

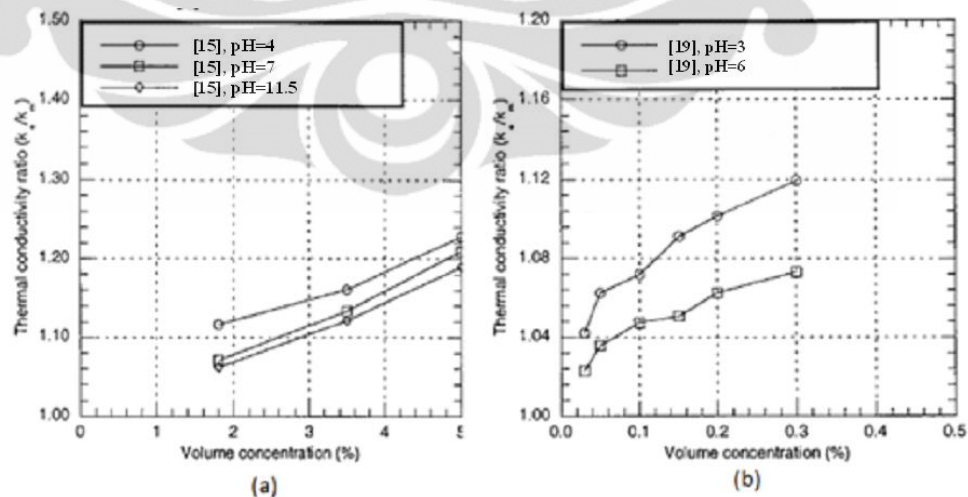
Pengaruh penambahan aditif pada peningkatan konduktifitas panas nanofluida ditunjukkan pada gambar 2.9 di bawah ini. Penambahan aditif tertentu ke dalam nanofluida bertujuan untuk mempertahankan kestabilan nanofluida sehingga mencegah aglomerasi. Berdasarkan data penelitian dibawah terlihat, bahwa peningkatan konduktifitas panas diperbaiki melalui penggunaan aditif. Hal ini karena aditif menyebabkan lapisan pada partikel yang terbentuk, sehingga menimbulkan gaya elektrostatis antarpartikel yang mencegah inti partikel saling mendekat.



Gambar 2.9 Pengaruh aditif untuk TiO₂ dalam air yang ditambah dengan oleic acid dan SDS^[4].

2.4.8 Efek Keasaman (pH)

Pengaruh variabel keasaman pada peningkatan konduktivitas panas nanofluida ditunjukkan pada gambar 2.10 di bawah ini. Berdasarkan data penelitian yang dilakukan oleh kelompok peneliti, terlihat pada kedua penelitian dengan material yang berbeda, menunjukkan kecenderungan yang sama dalam peningkatan konduktivitas panas. Penelitian yang melibatkan variabel keasaman (pH), menyimpulkan bahwa semakin rendah keasaman (asam), maka semakin tinggi konduktivitas panas. Penjelasan tentang fenomena ini masih belum ditemukan sehingga membutuhkan investigasi lebih lanjut.



Gambar 2.10 (a) Pengaruh keasaman pada Al₂O₃ dalam air^[15]. (b) Pengaruh keasaman pada CuO dalam air^[13, 19].

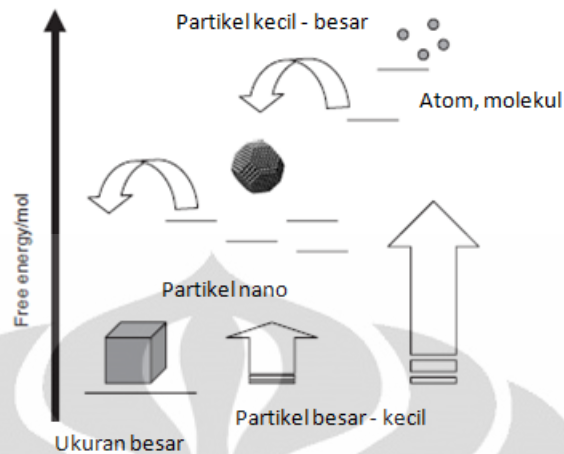
2.5 Faktor – faktor yang mempengaruhi sintesis nanofluida

Beberapa faktor penting yang mempengaruhi proses sintesis nanofluida yaitu: stabilitas panas, kemampuan berdispersi didalam media pendispersi, dan sifat mampu manipulasi disetiap kompatibilitas kimia.

2.5.1 Stabilitas Termal

Nanopartikel adalah sistem metastabil. Hal ini berarti jika nanopartikel bertransformasi menjadi partikel stabil apabila mencapai energi global minimal dalam energi bebasnya. Dalam ukuran yang kecil $< 1\text{ nm}$, nanopartikel mempunyai struktur yang berbeda-beda dan biasanya membentuk *nanocluster*. Setiap *cluster* mempunyai struktur yang isomerik dan mempunyai tingkat kestabilan yang berbeda satu dengan yang lainnya. Pada ukuran yang besar, beberapa bentuk struktur dapat terbentuk, namun sulit dibedakan antara satu dengan yang lainnya.

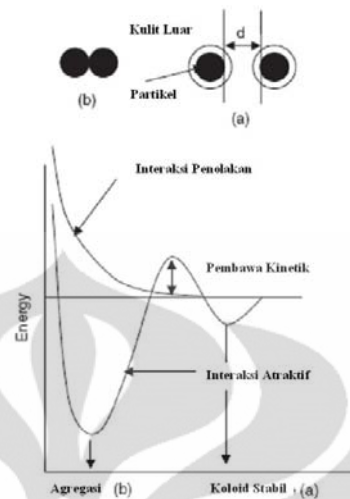
Gambar 2.11 berikut ini mengilustrasikan sistem metastabil dari nanopartikel dan transformasi yang terjadi dari bentuk yang satu ke bentuk yang lainnya. Walaupun transformasi dari bentuk atom, molekul, maupun nanopartikel menjadi bentuk *bulk* terjadi secara spontan. Meskipun transformasi terjadi secara spontan, stabilitas nanopartikel memerlukan pengontrolan dengan hati-hati. Karena nanopartikel merupakan partikel metastabil, setelah waktu periode tertentu partikel dapat kembali ke bentuk bulk.



Gambar 2.11 Nanopartikel digambarkan sebagai sistem metastabil, energi mereka antara atom, molekul, dan bulk. jenis nanopartikel yang berbeda dengan energi yang berbeda, dan setiap nanopartikel dapat berubah ukuran menjadi lebih besar^[21].

Partikel-partikel nano yang berdekatan akan mengalami interaksi interpartikel yang dapat menimbulkan agregasi atau penggabungan. Dalam kasus agregasi, masing-masing partikel tetap mempertahankan individualitasnya, tetapi bagian permukaannya hilang akibat adanya kandungan molekul agregasi yang menimbulkan interaksi, seperti ikatan hydrogen dan ikatan ionic. Pada kasus penggabungan partikel, partikel-partikel bergabung (fusi) secara irreversible hingga membentuk partikel baru yang lebih besar.

Jika partikel berada pada jarak tertentu, d , interaksi antarpartikel akan menghasilkan energy minimum. Interaksi dapat menjadi gaya tarik-menarik atau gaya tolak-menolak. Gaya elektrostatik merupakan gaya tolak-menolak antarpartikel yang menjaga inti partikel saling menjauh. Sedangkan gaya Van Der Waals menarik inti partikel untuk saling bergabung dan menghasilkan energy minimum. Untuk jarak partikel yang dekat, gaya Van Der Waals bersifat kuat sehingga menyebabkan partikel bergabung tanpa adanya lapisan kulit. Untuk mencegah dominasi gaya Van Der Waals, diperlukan adanya energy penghalang (barrier). Jika energy barrier lebih besar dari pada energy interaksi, kT , maka sistem stabil secara kinetik. Hal tersebut diilustrasikan pada gambar 2.12 dibawah ini..



Gambar 2.12 Stabilitas kinetik dari sistem nanopartikel. Sebagai penghalang interaksi gaya van der Waals adalah lebih tinggi energi panasnya, maka nanopartikel cenderung stabil. Ketika penghalang ini tidak ada maka partikel akan mengalami agregasi atau penggabungan^[21].

2.5.2 Kemampuan dispersi dalam media pendispersi

Nanopartikel terdiri dari dua bagian yaitu inti yang biasanya keramik, logam, polimer dan dinding tipis yang mungkin ionic, molekular, polimer, keramik maupun logam. Sifat nanopartikel pada prinsipnya mengacu pada bagian inti, sedangkan dinding tipis digunakan sebagai lapisan pelindung. Tingkat kelarutan nanopartikel tergantung pada sifat kimia dari dindingnya. Molekul pelindung memiliki karakteristik afinitas kimia terhadap inti nanopartikel, mengarah pada suatu gugus kimia tertentu. Ikatan kimia yang terbentuk inilah yang memberikan stabilitas termal pada sistem nanopartikel, dan mempunyai sifat protektif terhadap ikatan interpartikel dan kemampuan dispersi dalam media pendispersi.

2.5.3 Kompatibilitas kimia dan kemudahan manipulasi kimia

Ukuran, bentuk, dan sifat nanopartikel ditentukan pada kondisi sintesis, sangat berhubungan dengan ukuran inti dan penggunaan untuk aplikasi. Hal ini sangat diharapkan untuk membuat sistem yang metastabil. Secara kinetik nanopartikel terperangkap dalam energi bebas minimalnya, dan parameter sintesis

sangat krusial untuk penentuan hasil akhir. Pembuatan ukuran inti, sangat penting dengan menggunakan metodologi yang sama. Seringkali ukuran, bentuk, dan sifat nanopartikel menyebabkan keterbatasan terhadap kemampuan adaptasi dari sistem terhadap beberapa jenis kimia dan kondisi. Sebagai contoh, jika sistem sensitif terhadap penambahan kimia karena inti atau kulit pelindungnya maka modifikasi akan mudah dilakukan karena sifat kimia sedikit mempengaruhi terhadap kulit pelindung dan tidak bereaksi terhadap kimia itu sendiri. Hal ini berarti kulit harus dimanipulasi setelah sintesis nanopartikel, sehingga kita dapat memilih kulit yang digunakan memiliki sifat kimia yang nyaman dan memungkinkan untuk dimanfaatkan.

2.6 Mekanisme Peningkatan Konduktivitas Panas

Peningkatan konduktivitas panas pada nanofluida dapat dijelaskan dengan beberapa mekanisme. Menurut Keblinski et al bahwa terdapat empat mekanisme yang mungkin dapat menjelaskan fenomena peningkatan konduktivitas panas ^[22]. Mekanisme yang dimaksud adalah gerak Brownian nanopartikel, lapisan cair pada permukaan nanopartikel, *ballistic transport energy* antar partikel, dan pengaruh kluster nanopartikel.

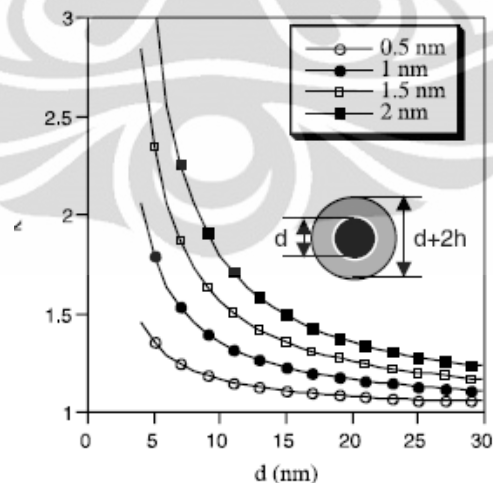
2.6.1 Gerak Brownian Nanopartikel

Gerak brownian nanopartikel di molekular dan level nanoscale adalah kunci yang mengatur perlakuan panas nanopartikel dalam suspensi fluida. Gerak Brownian merupakan gerak secara acak dari nanopartikel yang tersuspensi dalam fluida. Gerak Brownian dari nanopartikel berpengaruh pada peningkatan konduktivitas panas melalui dua cara ^[2]. 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. Pengaruh yang kuat dari gerak brownian lebih efektif terjadi pada temperatur yang tinggi. Bagaimanapun kontribusi gerak brownian terhadap konduktivitas panas nanofluida sangatlah kecil. Sebagai hasilnya, dapat diambil kesimpulan bahwa gerak Brownian dari

partikel bukan merupakan penyebab utama dari fenomena peningkatan konduktivitas panas dari nanofluida [23].

2.6.2 Lapisan Cair Pada Permukaan Nanopartikel

Lapisan cair yang terjadi pada permukaan partikel padat berbentuk seperti *nanolayer* padat. Lapisan ini bertindak sebagai jalan termal antara nanopartikel padat dengan fluida dasarnya, dan merupakan ukuran penting yang bermain dalam peningkatan konduktivitas panas nanofluida. Konduktivitas panas efektif meningkat seiring meningkatnya ketebalan *nanolayer* yang terbentuk. Khususnya pada rentang ukuran partikel yang kecil, pengaruh ukuran partikel dan ketebalan *nanolayer* menjadi jelas, dimana implikasi manipulasi struktur *nanolayer* menjadi metode efektif untuk menghasilkan konduktivitas panas nanofluida yang tinggi seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.13. Walaupun adanya lapisan cair pada permukaan merupakan ukuran yang bermain dalam perpindahan panas, tapi tidak semata-mata mungkin dapat bertanggungjawab terhadap peningkatan konduktivitas panas. Melalui simulasi molekular dinamik, xue et al mendemonstrasikan bahwa lapisan pada liquid atom di antarpermukaan *liquid-solid* tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap sifat perpindahan panas [23].



Gambar 2.13 Peningkatan konduktivitas panas karena terbentuknya lapisan cair pada permukaan nanopartikel [22].

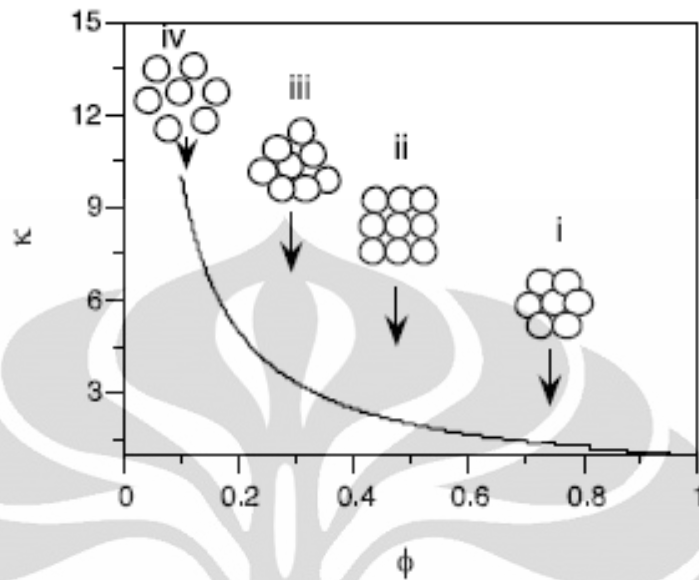
2.6.3 Energi Pengangkut Balistik

Padatan kristalin yang digunakan pada nanofluida, panas dibawa oleh phonon. Phonon terbentuk secara acak, merambat pada arah yang acak, dan menyebar akibat interaksi antar phonon. Mekanisme tersebut merupakan deskripsi makroskopis pada 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.

Ballistic transport energy masih belum bisa menjelaskan fenomena peningkatan konduktivitas panas. Hal ini dikarenakan temperatur di dalam partikel mendekati konstan pada setiap balistic atau diffusive phonon, sehingga memberikan kondisi batasan yang sama untuk aliran panas dalam konduktivitas panas rendah. Bagaimanapun *ballistic transport* dapat memberikan pengaruh yang signifikan pada konduktivitas panas nanofluida. 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^[22].

2.6.4 Pengaruh Pengelompokan Nanopartikel

Pembentukan pola ketahanan panas yang rendah, pengelompokan partikel ke dalam pola meluas akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap konduktivitas panas efektif. Bagaimanapun, pengelompokan secara luas sehingga aglomerasi dari padatan tidak mungkin terjadi, namun pengelompokan yang besar akan memungkinkan terjadinya endapan. Pengaruh pengelompokan diilustrasikan pada gambar 2.14 dimana peningkatan konduktivitas panas dipengaruhi oleh peningkatan volume efektif dari pengelompokan.



Gambar 2.14 Peningkatan konduktivitas panas sebagai pengaruh dari fraksi volume dari pengelompokan ^[22].

2.7 Karakterisasi Hasil Sintesis Nanofluida

2.7.1 Scanning Electron Microscope

SEM adalah jenis mikroskop elektron untuk mengetahui gambar permukaan sampel melalui scanning sinar elektron energi tinggi dalam pola scan yang cepat. SEM merupakan satu dari instrumen yang serba guna dimana pengujian ini berfungsi untuk mengetahui struktur mikro ^[24]. Informasi tentang pembentukan nanopartikel pada nanofluida dapat ditelaah menggunakan SEM. Interaksi elektron dan atom yang mencapai sampel menghasilkan signal yang mengandung informasi tentang topografi permukaan, komposisi, dan sifat lainnya. Mekanisme kerjanya yaitu dari sinar elektron yang dihasilkan dari *elektron gun* lalu difokuskan ke titik sampel melalui dua lensa. Sinar elektron yang dihasilkan tersebut melewati lensa kondenser dan difokuskan oleh lensa objektif hingga ukuran diameternya luar biasa kecil. Sinar *Secondary electron* atau *Backscattered Electron* yang terkena sampel lalu dideteksi oleh detektor sehingga diubah menjadi bentuk gambar dan informasi lainnya.

2.7.2 Xray Diffraction

Salah satu teknik Xray Diffraction digunakan untuk mengkarakterisasi sampel dalam bentuk serbuk atau agregat dari material yang diberikan. Teknik pengujian ini memberikan berbagai jenis investigasi. Investigasi yang termasuk didalamnya adalah identifikasi dan analisis fasa kualitatif dan kuantitatif, menentukan kristalinitas material nanopartikel, mikroidentifikasi, penentuan lattice-parameter, dan dalam beberapa kasus analisis struktur kristal. Kemampuan XRD untuk melakukan identifikasi tersebut lebih mudah, nyaman, dan rutin digunakan daripada metode analisis lainnya, hal tersebut juga menjelaskan pentingnya dalam aplikasi industri.

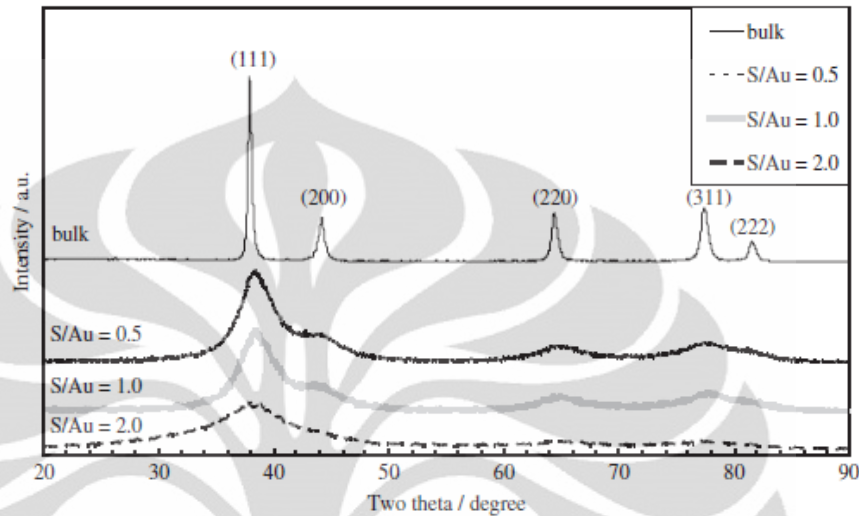
Dalam analisis XRD, sampel biasanya dalam bentuk serbuk halus yang diujikan (biasanya mempunyai ukuran kurang dari $44 \mu\text{m}$) atau ukurannya dapat dikurangi lagi dalam bentuk serbuk. Partikel-partikel dalam sampel terdiri atas satu atau lebih daerah difraksi, dimana difraksi sinar x-ray koheren. Daerah-daerah kristalin yang kecil disebut kristal. Kebanyakan aplikasi difraksi serbuk bergantung pada sinyal x-ray dari statistik sampel kristalit. Posisi sudut, θ , dari difraksi sinar x-ray tergantung pada jarak, d , antara bidang-bidang atom dalam fase kristal dan pada panjang gelombang x-ray, λ , sehingga mempunyai bentuk rumus :

$$n \lambda = 2 d \sin \theta \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

Intensitas sinar difraksi ditentukan dari penyusunan atom pada bidang itu. Teknik difraksi serbuk X-ray biasanya memerlukan preparasi sampel. ini terdiri dari penghancuran sampel menjadi cocok didalam *glass capillary tube*, rolling menjadi bentuk rod yang sangat tipis untuk teknik kamera Debye-Scherrer, penyebaran itu seperti lapisan tipis pada holder sampel, atau pembungkus kedalam holder sampel dari ukuran yang pasti pada teknik XRD. namun dalam beberapa kasus, sampel dicocokkan dengan pengujian metalografi.

Pola difraksi dapat direkam dengan menggunakan film, analog, atau metode digital. Apakah film, analog, atau pengumpulan data digital digunakan, dan data akhir digambarkan dalam grafik intensitas, sebagai fungsi jarak

interplanar d , atau sebagai fungsi sudut difraksi 2θ seperti yang digambarkan pada gambar 2.15. Identifikasi fasa menggunakan XRD didasarkan pada pola unik yang dihasilkan melalui setiap fasa kristalin [25].



Gambar 2.15. Data pola difraksi au, fungsi sudut difraksi dua theta terhadap intensitas^[21].

2.7.3 Zeta Potensial

Partikel koloid (termasuk nanofluida) terlarut didalam pelarut memiliki muatan elektrik, hal ini karena memiliki karakteristik bipolar dan atribut ionik.. Sebagai contoh permukaan koloid mungkin membentuk grup yang terionisasi. Hal ini menyebabkan muatan elektrik pada permukaan dapat menyebabkan akumulasi muatan yang berlawanan jenis berada disekitar permukaan tadi menghasilkan lapisan elektrik ganda. Difusi atau pergerakan dari double layer tergantung dari perbedaan polaritas ion yang terjadi pada fasa liquid. Lapisan ganda memiliki dua bagian, daerah dalam yang memiliki ikatan ion relatif kuat terhadap permukaan, dan daerah difusi dimana distribusi ion ditentukan oleh keseimbangan gaya elektrostatis pada pergerakan di temperatur acak. Ketika diberikan muatan elektrik, partikel akan berinteraksi dengan elektroda, tergantung dari polaritas partikel. Potensial yang tercatat ketika bagian dari lapisan ganda melewati elektroda disebut *zeta* atau *electrokinetic potential*. Zeta potensial juga didefinisikan sebagai potensial pada bidang geser dari partikel ketika bergerak didalam media.

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 anatara partikel. Dideskripsikan dengan formula *Smoluchowski* :

$$\zeta = \frac{4\pi\eta}{\epsilon} \times U \times 300 \times 300 \times 1000 \dots\dots\dots(2.2)$$

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* :

$$U = \frac{2\varepsilon z f(ka)}{3\eta} \dots\dots\dots(2.3)$$

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 ^[21].

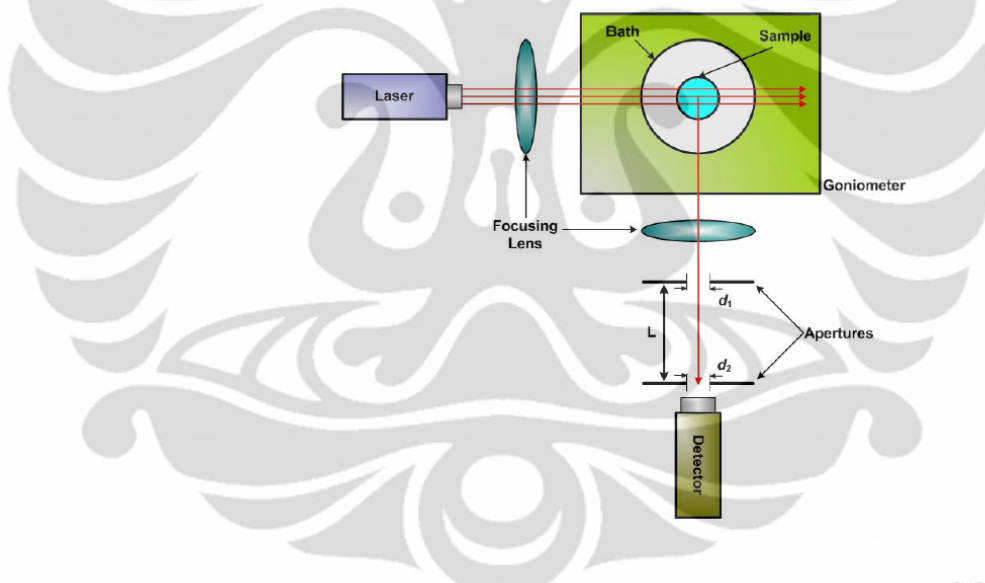
2.7.4 Particle Size Analyser (PSA)

Ukuran partikel dapat dianalisis menggunakan anlyser PSA, dimana menggunakan teknik dyanmic light scattering. Teori *Dynamic light scattering* teknik yang dipakai untuk mengukur ukuran partikel dengan rentang beberapa nanometer sampai beberapa mikron. Penggunaan ide Konsepnya adalah bahwa partikel kecil dalam suspensi bergerak dengan pola secara acak. Ahli mikrobiologis dengan nama Brown yang pertama menemukan efek ini, dimana pengamatan objek melalui organisme hidup melalui *light microscopy* pergerakan partikel kecil dalam fluida dinamakan gerak brownian,dan dapat mudah diamati untuk partikel dengan ukuran kira-kira 0,5 – 1 mikron dengan mikroskop pada perbesaran 200 – 400 kali. Pengamatan partikel besar dibanding partikel kecil, menunjukkan bahwa partikel besar bergerak lebih lambat dibanding partikel kecil pada temperatur yang sama. Mengacu kepada pengembangan Einstein dalam teori molekular kinetiknya, bahwa molekul banyak yang kecil dari partikel dapat memberi perubahan arah partikel dan kecepatan.Kombinasi efek ini diamati seperti pergerakan acak partikel keseluruhan.

Ketika sumber sinar coherent seperti laser mempunyai frekuensi yang diketahui diarahkan pada partikel yang bergerak, maka sinar menyebar, tetapi pada frekuensi yang berbeda. Perubahan itu dinamakan *Doppler shift* atau *broadening* (perluasan) ,dan konsepnya sama untuk sinar ketika berinterkasi dengan partikel kecil yang bergerak. Untuk tujuan pengukuran partikel, perubahan dalam frekuensi cahaya dihubungkan terhadap ukuran partikel yang menyebabkan perubahan. pengarahaan pada kecepatan rata – rata partikel, partikel kecil

menyebabkan perubahan yang besar pada frekuensi cahaya daripada partikel besar. Perbedaan dalam frekuensi dari sebaran cahaya terhadap ukuran partikel yang berbeda digunakan untuk menentukan ukuran dari partikel yang diukur.

Alat DLS yang digunakan dalam pembelajaran ini terdiri dari tiga komponen. Sebuah laser dari spectra secara fisika memancarkan panjang gelombang 514 nm dari argon. Sebuah goinometer dari Brookhaven menjaga sebran yang ada antara insiden sinar laser dan partikel dengan ukuran nano, dimana keduanya ditempatkan kedalam *bath*. Akhirnya, *detector* dari Brookhaven mendeteksi sebaran sinar dalam 90 derajat dari insiden sinar ketika sudut antara goinometer dan detector tepat 90 derajat, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.16 ^[26].



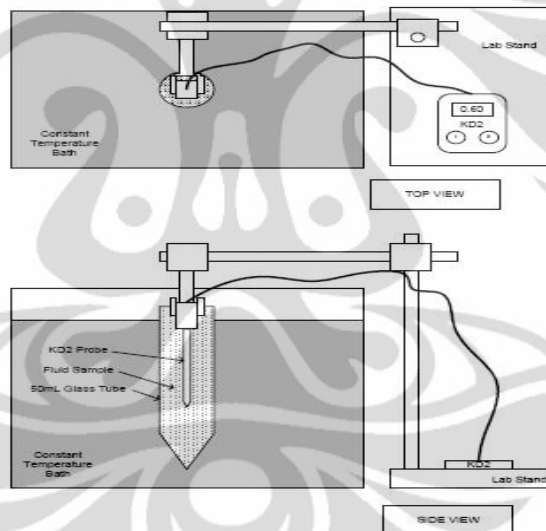
Gambar 2.16 Skematik Dynamic light scattering menggunakan mode dinamik^[26].

2.7.5 Konduktifitas Panas

Sifat penting yang dikarakterisasi dalam nanofluida adalah konduktifitas panas. Dalam menentukan terhadap fluida yang diinginkan, maka oeningkatan konduktifitas panas mungkin sebagian besar elemen penting dalam hal ini, karena merupakan potensial yang besar dalam perpindahan panas. Pengukuran sifat konduktifitas panas nanofluida diukur menggunakan *Decagon Device KD2 analyser*, setelah bebrapa pengujian dan digunakan untuk semua nanofluida pada

temperatur ruang sebagai pengecekan pertama. Bagian berikutnya metode transient hot wire pada KD2 ketika beroperasi akan menjelaskan atau menghasilkan pengukuran nilai konduktifitas panas.

Penggunaan KD2 yang berasal dari manufaktur melalui *trial dan error*, bahwa KD2 bekerja sangat akurat jika probe diatur sempurna secara vertikal dan digunakan sebuah *bath isothermal* untuk menjaga sampel berada pada temperatur 25 °C. Skematik KD2 dalam *bath isothermal* digambarkan pada gambar 2.17 dibawah. Permintaan keakuratan pengujian KD2 dengan campuran air dan etilen glikol telah diuji berulang – ulang terhadap data yng ada menurut literatur Bohne, Fischer, dan Obermier. Nilai yang didapat sungguh akurat dalam pengukuran tersebut [26].

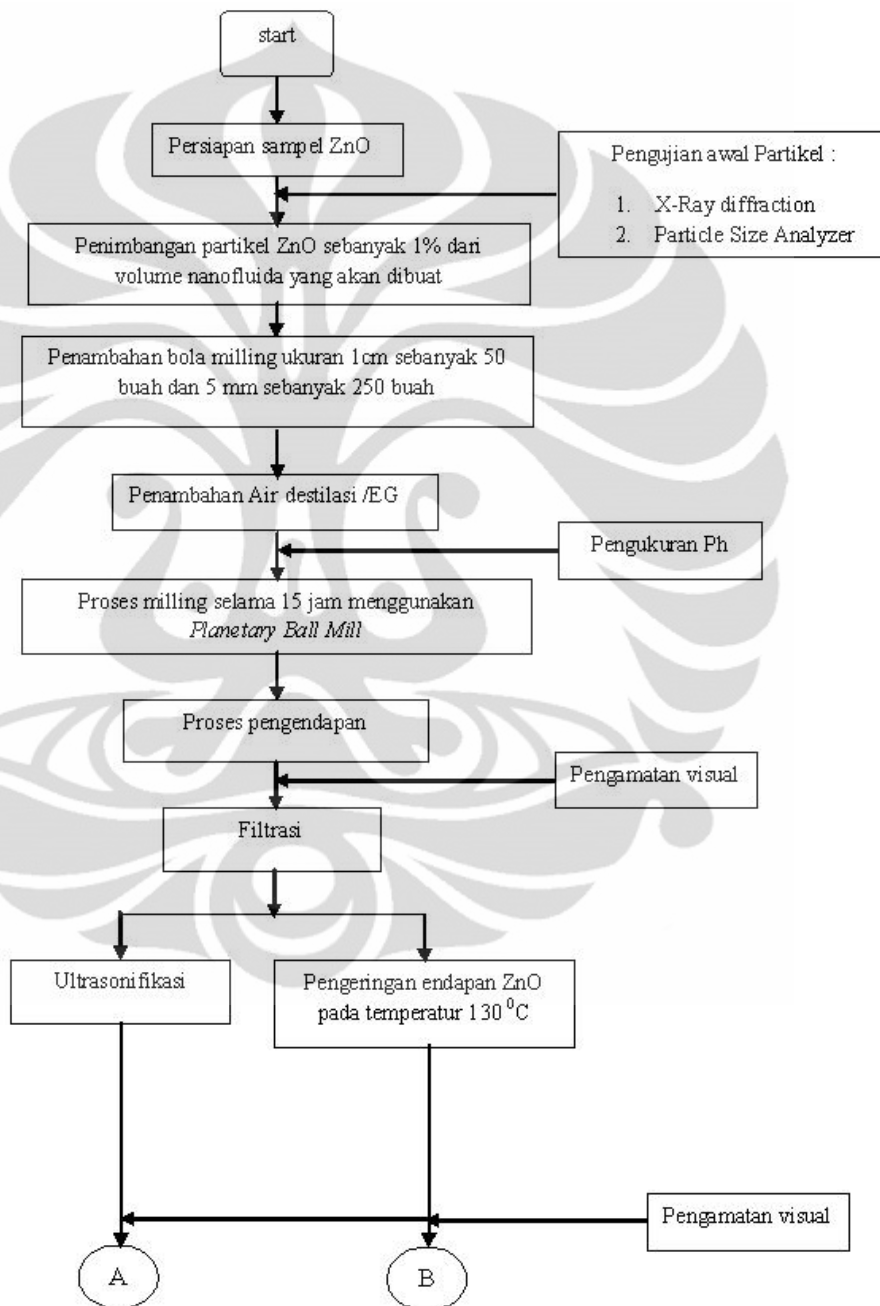


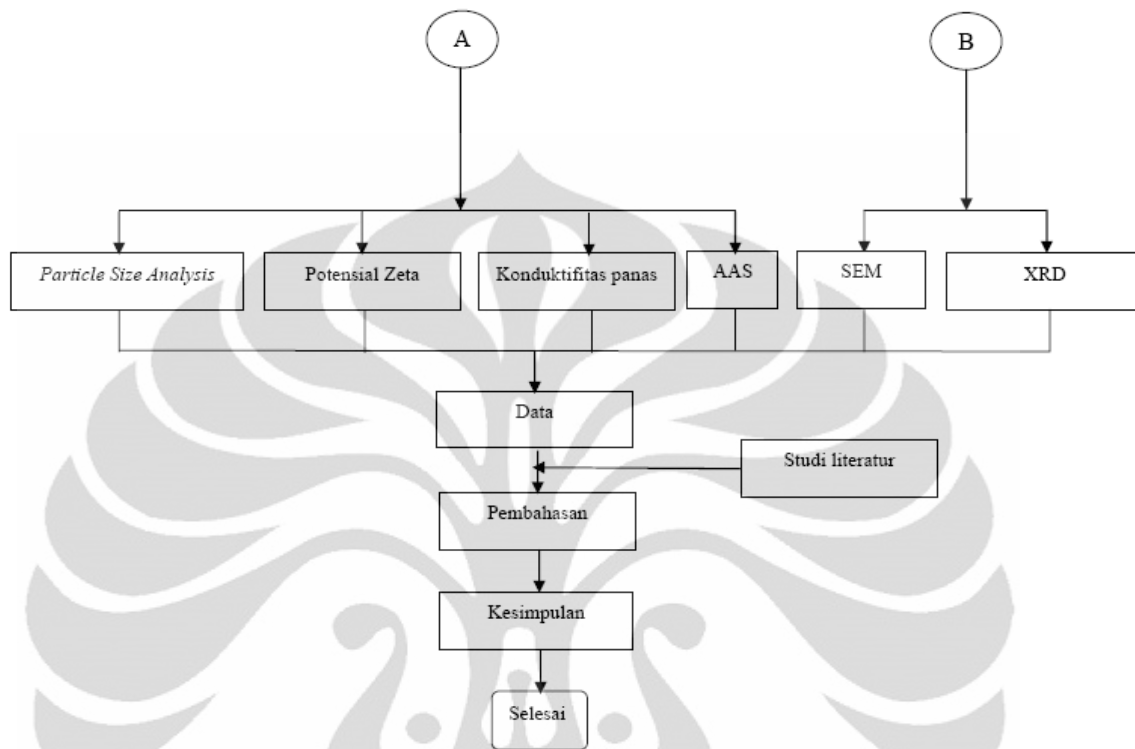
Gambar 2.17 Skematik pengaturan analyser KD2 [26].

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Alur diagram penelitian

Pencapaian Tujuan dari sebuah penelitian memerlukan sebuah alur kerja yang akurat dan tepat didalam pelaksanaannya. Gambar 3.1 mengilustrasikan diagram alir yang menggambarkan seluruh kegiatan penelitian.

Penelitian ini menggunakan bahan ZnO komersil yang mempunyai ukuran dibawah 1000 mikron. Fluida dasar yang digunakan untuk mendispersikan partikel ZnO adalah air destilasi dan etilen glikol. Alat yang digunakan untuk sintesis nanofluida dalam penelitian ini adalah *planetary ball mill* dengan dua buah vial *alumina* yang masing-masing mempunyai kapasitas 250 mL. Bahan - bahan dimasukkan ke dalam vial secara bersama-sama. Pada setiap vial, dimasukkan dengan total 100 mL. 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, yang

terdiri dari 200 buah dengan diameter 5 mm dan 50 buah dengan diameter 10 mm. Proses penggilingan dilaksanakan selama 15 jam. Proses sintesis nanofluida ini dilaksanakan di Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI, Kampus UI Depok.

Pengujian yang dilakukan untuk mengkarakterisasi yaitu menggunakan: 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 Ruang Engineering Center FTUI.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Bahan

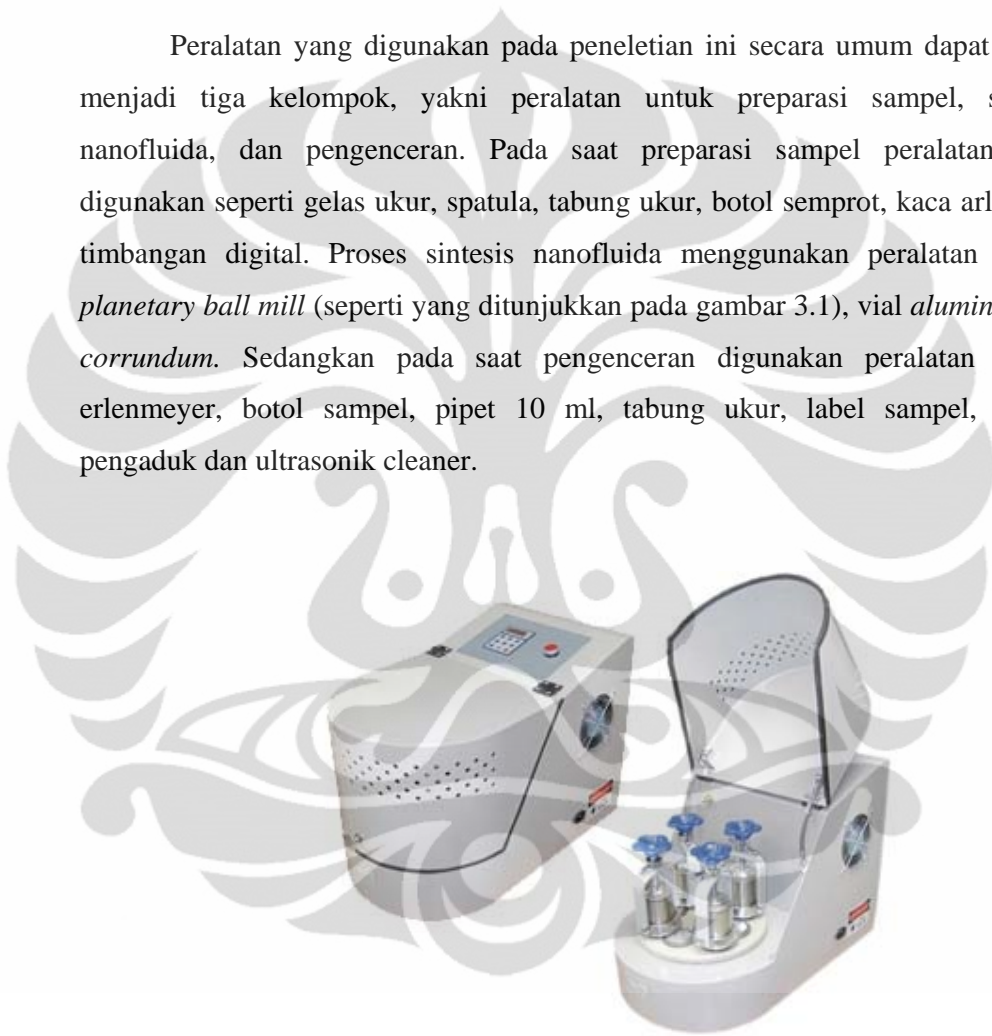
Bahan yang digunakan dalam penelitian sintesis nanofluida ini yaitu ZnO sebagai partikel tersuspensi. ZnO ini merupakan jenis komersil dimana mempunyai berat jenis 5,6 gram/ml. Sesuai dengan pengujian PSA yang dilakukan pada partikel awal, rata – rata ukuran awal dari partikel ini adalah 25.205,9 nm dengan rentang ukuran partikel antara 144,3 – 140.002,8 nm. Pengujian komposisi kimia dilakukan dengan menggunakan metode XRD untuk mengetahui jenis partikel ZnO.

Media pendispersi yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan dua jenis pendispersi. Media pendispersinya menggunakan air distilasi dan etilen glikol. Air distilasi digunakan pada penelitian ini karena memiliki kemampuan pendispersian partikel dengan baik. Hal ini dikarenakan air distilasi telah mengalami proses demineralisasi sehingga semua mineral yang terlarut dalam air telah dipisahkan. Sedangkan etilen glikol digunakan dalam pendispersi partikel ZnO adalah sebagai pembanding karna mempunyai konstanta dielektrik yang lebih rendah dibanding air destilasi. Pengukuran awal untuk tingkat keasaman/pH air destilasi dan etilen glikol dengan menggunakan kertas pH adalah berkisar 6 -7 atau netral. Pengukuran konduktifitas panas awal dari kedua media pendispersi juga diukur menggunakan KD 2 di Ruang Heat Transfer Engineering Center. Hasil

pengukuran awal dari air destilasi yaitu 5,6 W/m °C, sedangkan hasil pengukuran etilen glikol yaitu 2,5 W/m °C.

3.2.2 Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini secara umum dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yakni peralatan untuk preparasi sampel, sintesis nanofluida, dan pengenceran. Pada saat preparasi sampel peralatan yang digunakan seperti gelas ukur, spatula, tabung ukur, botol semprot, kaca arloji dan timbangan digital. Proses sintesis nanofluida menggunakan peralatan seperti *planetary ball mill* (seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1), vial *alumina*, bola *corrundum*. Sedangkan pada saat pengenceran digunakan peralatan seperti erlenmeyer, botol sampel, pipet 10 ml, tabung ukur, label sampel, batang pengaduk dan ultrasonik cleaner.



Gambar. 3.2 *Planetary Ball Mill* ⁽²⁷⁾

3.3 Sintesis nanofluida

Penelitian pembuatan partikel Zno terdispersi dalam air destilasi disini dilakukan dengan metode reduksi ukuran butir menggunakan alat *planetary ballmill*. Pada prinsipnya kerja alat ini menggunakan prinsip kominusi, yaitu memanfaatkan gaya revolusi dan rotasi sehingga didapat gaya impact dari bola

untuk mereduksi ukuran partikel didalam vial. Penelitian sebelumnya ,peneliti menggunakan vial jenis stainless steel dan bola corronдум yang mempunyai masalah karena menghasilkan pengotor akibat dari tergerusnya vial oleh bola corronдум.

Dari permasalahan yang ditimbulkan, maka penelitian kali ini menggunakan vial alumina dan bola corronдум sehingga dapat meminimalisir pengotor – pengotor yang berasal dari gerusan vial. Metode sintesis proses satu tahap pada nanofluida dengan menggunakan PBM mengikuti variabel bola berdasarkan panduan alat PBM dan peneliti sebelumnya sehingga ukuran yang dihasilkan dapat maksimal.

Bola pereduksi digunakan ukuran 10 mm dan 5 mm, dengan jumlah 50 buah dan 250 buah. Perhitungan didapat berdasarkan literatur efektif reduksi dengan PBM, seperti dapat dilihat pada tabel 2.1.

3.3.1 Preparasi sample

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

Penelitian menggunakan peresentase volume untuk master sebesar 1 % volume partikel terlarut dari total volume 100 ml. Penimbangan partikel ZnO dilakukan dengan menggunakan timbangan digital. Partikel ZnO yang digunakan dalam pembuatan sampel dalam penelitian ini sebanyak $5,6 \times 1 = 5,6$ gram. Pelarutan dilakukan dengan menambahkan 99 ml air destilasi. Pelarutan dilakukan langsung di vial untuk mencegah berkurangnya konsentrasi partikel akhir dari nanofluida.

3.3.2 Proses Penggilingan

Proses reduksi ukuran partikel ZnO dilakukan menggunakan alat *planetary ball mill* dengan kecepatan putar rerata 300 rpm. PBM untuk milling yang digunakan memiliki kapasitas 4 vial dan volume masing-masing vial 250 ml. Material vial yang digunakan yaitu Al₂O₃. Total proses milling sintesis ZnO dengan PBM adalah 15 jam efektif.

3.3.3 Penyalinan hasil

Setelah mengalami proses milling, sampel dari vial akan dipindahkan kedalam wadah dengan menggunakan air destilasi 50 ml sebagai pembersih. Sampel dalam wadah didiamkan selama 24 jam dan diamati kestabilan nanofluida ZnO serta waktu pengendapan yang terjadi. nano fluida yang telah didiamkan selama 24 jam difiltrasi dengan penuangan langsung partikel nano yang stabil ke wadah lain.

3.3.4 Proses Pengenceran

Pengenceran konsentrasi bertujuan untuk mengetahui sifat nanofluida disetiap perbedaan konsentrasi partikelnya. Nanofluida yang dihasilkan diencerkan menjadi 0,1 %, 0,5, 0,7 % dan nanofluida awal dipertahankan sebesar 1 %. Pengenceran yang dilakukan sesuai dengan variabel fraksi volume yang telah ditentukan pada Bab I. Pengenceran yang dilakukan membutuhkan sebuah formula yang tepat untuk mengetahui mekanisme pengenceran, sehingga dibuat suatu formula sebagai berikut:

$$C1 \cdot V1 = C2 \cdot V2 \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

dimana C1 adalah konsentrasi awal, V1 adalah volume awal, C2 adalah konsentrasi baru, dan V2 adalah volume baru.

3.3.5 Pengeringan

Partikel nano yang mengendap dilakukan proses pengeringan dalam oven selama kurang lebih 5 jam dengan temperatur ± 130 °C . Penimbangan dilakukan

terhadap partikel nano yang telah dikeringkan dengan menggunakan timbangan digital untuk mengetahui berat akhir partikel yang tidak stabil.

3.3.6 Sonifikasi

Proses sonifikasi merupakan penggetaran nanofluida dengan menggunakan gelombang ultrasonik sehingga meningkatkan kestabilan suspensi. Proses ini menggunakan alat pembersih ultrasonik di ruang Heat Transfer Engineering Center sebelum pengukuran konduktivitas panas. Proses sonifikasi pada umumnya bertujuan untuk meningkatkan reaksi kimia dengan memvariasikan panas, tekanan atau dengan menambahkan katalis. Gelombang ultrasonik disini bertujuan untuk menggetarkan suspensi sehingga terjadi dispersi partikel yang sempurna. mekanisme ultrasonifikasi dengan meletakkan sampel nanofluid ke dalam wadah. Batang penggetar ultrasonik dicelupkan kedalam wadah yang berisi sampel, lalu alat dioperasikan selama 10 menit untuk menghindari penguapan.

3.4 Karakterisasi

Tujuan dilakukan karakterisasi adalah untuk mengetahui karakter atau sifat – sifat nanofluid dari informasi yang ada. Metode pengujian yang dilakukan dibagi kedalam beberapa pengujian untuk memberikan informasi yang lengkap dan akurat.

3.4.1 Particle Size Analyser (PSA)

Particle size analyzer merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui ukuran dan distribusi dari partikel yang tersuspensi. Gerak brownian dimiliki partikel yang tersuspensi didalam sebuah fluida, Hal tersebut dikarenakan penggabungan acak dengan molekul pelarutnya. Pergerakan ini disebabkan oleh difusi partikel melalui medianya. dengan pengujian ini maka akan diketahui berapa ukuran partikel yang dihasilkan setelah proses milling serta keefektifan dari mesin PBM.

Pengujian dilakukan dengan pemberian sinar laser, ketika sinar laser ditembakkan kedalam partikel, sinar akan menyebar kesegala arah dalam fluida. Sinar tersebar dilepas dan terhalang oleh sebagian volume partikel yang dideteksi oleh perbedaan sudut awal dan sudut sinar datang.

3.4.2 Zeta Potensial

Tujuan pengujian ini Sama seperti *particle size analysis* yaitu bertujuan untuk mengetahui kestabilan suspensi nanofluida yang dihasilkan. Partikel nano yang mempunyai nilai zeta potensial yang tinggi akan memiliki gaya untuk mencegah partikel teraglomerasi.

3.4.3 Konduktifitas panas

Pengujian ini dilakukan pada temperatur ruang, dimana berfungsi untuk mengetahui peningkatan konduktifitas panas nanofluida dibandingkan dengan fluida dasarnya. Sifat transfer panas sangat diperlukan dalam aplikasi media pendingin. Mekanisme pengujian yaitu dengan mengambil sejumlah fluida lalu diukur dengan mencelup probe konduktifitas panas. Hasil yang didapat dalam hasil pengukuran tersebut terbaca dalam satuan $W/m^{\circ}C$.

3.4.4 Scanning Electron Microscope (SEM)

SEM adalah jenis mikroskop elektron untuk mengetahui gambar permukaan sampel melalui scanning sinar elektron energi tinggi dalam pola scan yang cepat. SEM merupakan satu dari instrumen yang serba guna dimana pengujian ini berfungsi untuk mengetahui struktur mikro dari partikel ZnO. Pengujian SEM dilakukan di ruang SEM Metalurgy Universitas Indonesia. Mekanisme pengujiannya yaitu sample nanofluida yang telah dikeringkan pada kaca preparat ditempelkan pada karbon tip yang diletakkan pada holder sampel yang dinamakan *specimen stub*. *Specimen stub* dimasukkan kedalam chamber yang kemudian diujikan untuk mendapatkan informasi yang diinginkan.

3.4.5 X-Ray Diffraction (XRD)

Pengujian ini berfungsi untuk mengetahui senyawa atau fasa yang terkandung dari nanofluida ZnO, sehingga diketahui apakah terjadi perubahan fasa atau senyawa dari nanofluida tersebut. Pengujian ini dilakukan dengan cara menembakkan sinar X pada sample dengan panjang gelombang tertentu dari berbagai arah, selanjutnya sampel akan memantulkan kembali sinar ini dan akan ditangkap oleh detector yang akan menampilkan data hasil berupa grafik 2θ vs intensitas.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Stabilitas Nanofluida

Proses sintesis nanofluida dalam penelitian ini, dilakukan dengan menggunakan *planetary ball mill*. Proses sintesis ini dilakukan selama 15 jam efektif dengan kecepatan putar 300 rpm. Fungsi dari alat ini sebagai penghalusan material sehingga didapatkan reduksi ukuran partikel dalam alat tersebut dengan kecepatan tinggi, selain itu sebagai homogenisasi dalam bentuk padatan atau suspensi. Faktor Kecepatan putar sangat menentukan dalam menghasilkan partikel yang lebih halus. Semakin tinggi kecepatan putar pada *planetary ball mill* akan meningkatkan gaya impact pada material.

Hal pertama yang dilakukan setelah sintesis adalah pengamatan visual terhadap nanofluida. Pengamatan visual adalah langkah sederhana dan penting dalam mengamati kestabilan nanofluida sebelum ditentukannya serangkaian pengujian. Pengamatan visual dilakukan 4 kali, yaitu setelah milling dan didiamkan setelah 24 jam. Jika terdapat pengendapan partikel, maka suspensi yang lebih stabil yang diambil. Pengamatan visual kedua dilakukan sesaat setelah filtrasi dan 30 jam setelah filtrasi. Pengamatan visual dalam melihat kestabilan nanofluida dijelaskan melalui foto pada gambar 4.1 sampai gambar 4.6.

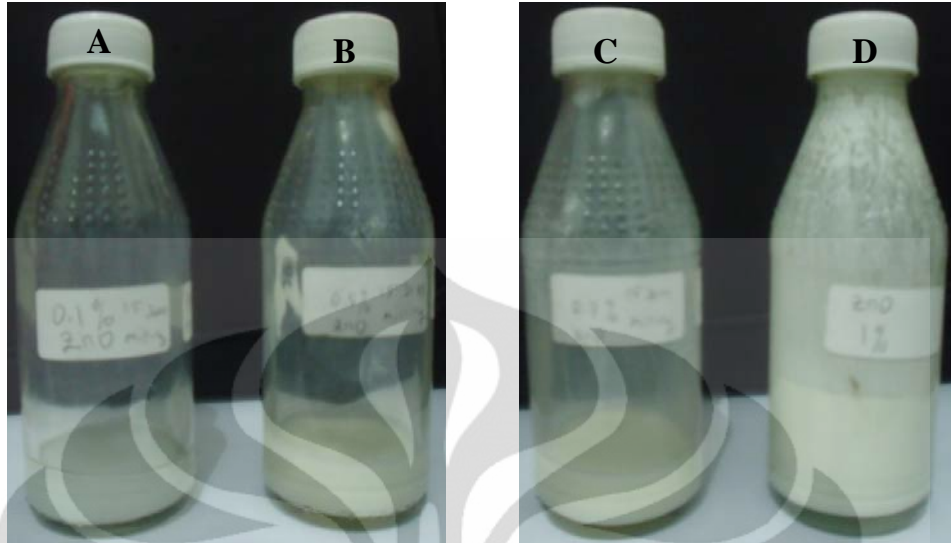
Gambar 4.1 dan 4.2 dibawah merupakan foto nanofluida yang diambil segera setelah proses *milling* selesai. Gambar 4.1 menunjukkan bahwa suspensi terlihat stabil dan tidak terlihat adanya pengendapan partikel-partikel. Gambar 4.2 menunjukkan nanofluida yang didiamkan setelah 24 jam, terlihat pengendapan partikel pada nanofluida dengan *base fluid* air maupun etilen glikol. Nanofluida yang menggunakan *base fluid* etilen glikol lebih banyak partikel yang stabil dibanding dengan nanofluida yang menggunakan air sebagai *base fluid*nya.



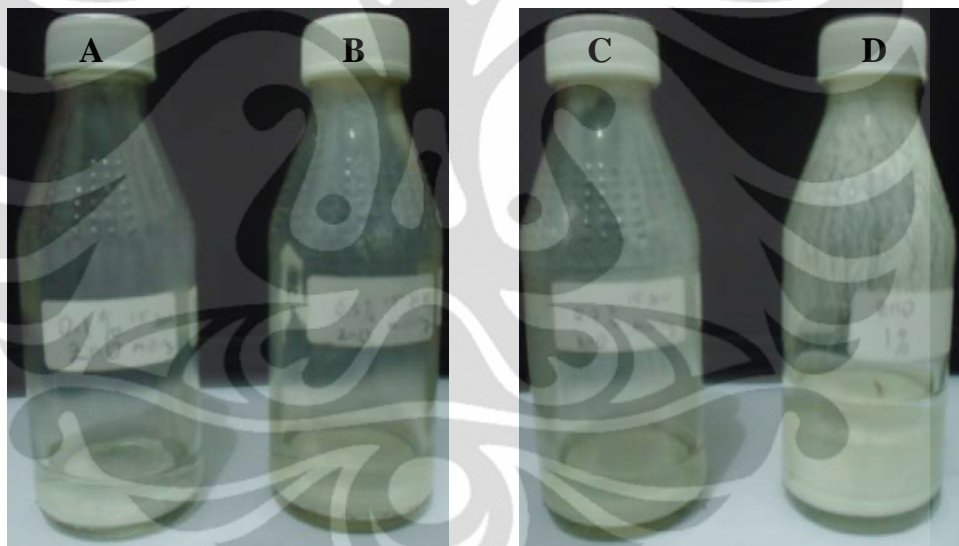
Gambar 4.1. Produksi nanofluida 0 jam setelah milling a) base fluid Etilen glikol, b) base fluid air.



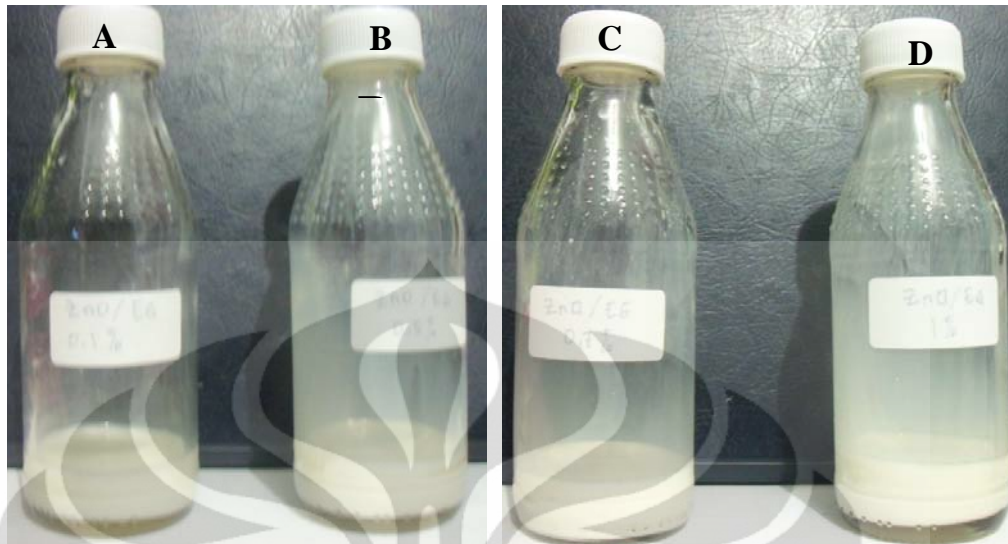
Gambar 4.2. Produksi nanofluida 24 jam setelah milling a) base fluid Etilen glikol, b) base fluid air.



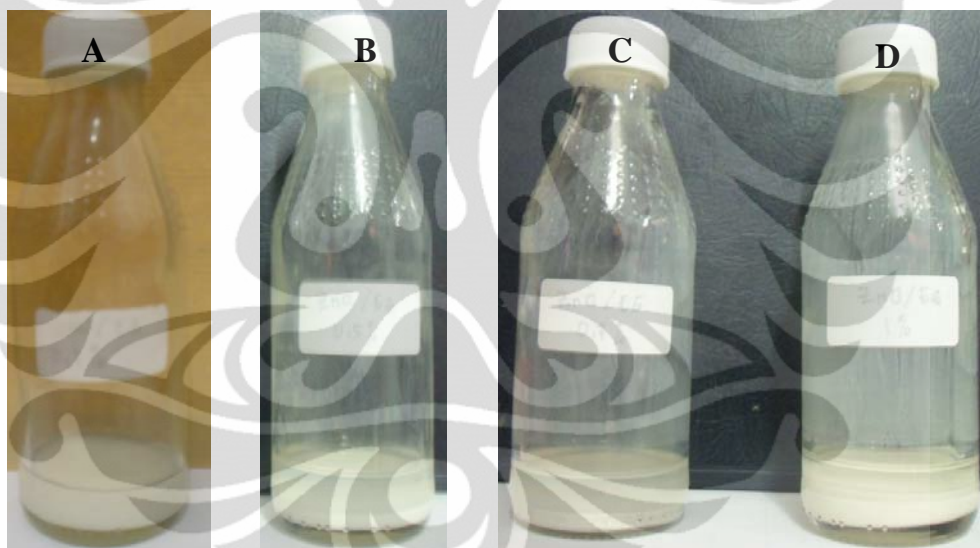
Gambar 4.3. Produksi nanofluida 0 jam setelah Filtrasi dengan base fluid air, dengan konsentrasi pengenceran a) 0,1 %, b) 0,5 %, c) 0,7 % dan d) 1 %.



Gambar 4.4. Produksi nanofluida 30 jam setelah Filtrasi dengan base fluida air, dengan konsentrasi pengenceran a) 0,1 %, b) 0,5 %, c) 0,7 % dan d) 1 %.



Gambar 4.5. Produksi nanofluida 0 jam setelah Filtrasi dengan *base fluid* Etilen glikol, dengan konsentrasi pengenceran a) 0,1 %, b) 0,5 %, c) 0,7 % dan d) 1 %.



Gambar 4.6. Produksi nanofluida 30 jam setelah Filtrasi dengan *base fluid* Etilen glikol, dengan konsentrasi pengenceran a) 0,1 %, b) 0,5 %, c) 0,7 % dan d) 1 %.

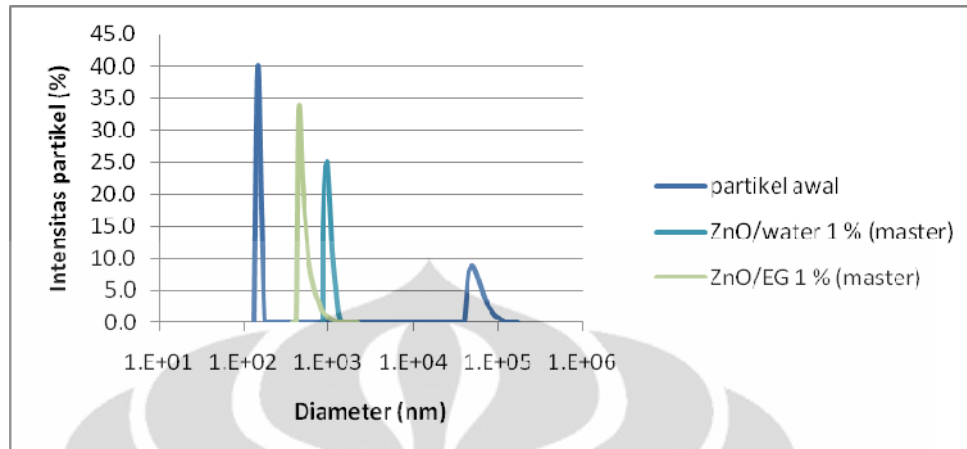
Gambar 4.3 dan 4.4 di atas merupakan foto nanofluida yang menggunakan *base fluid* air, yang diambil setelah proses filtrasi. Nanofluida dengan berbagai konsentrasi pada gambar 4.3 menunjukkan bahwa suspensi terlihat stabil dan tidak terlihat adanya pengendapan partikel-partikel. Namun, pada gambar 4.4 menunjukkan nanofluida yang didiamkan setelah 30 jam dengan konsentrasi beragam, terlihat pengendapan partikel pada nanofluida. Pengendapan partikel pada nanofluida dengan konsentrasi yang berbeda menunjukkan tingkat keseragaman pengendapan partikel yang sama.

Gambar 4.5 dan 4.6 di atas merupakan foto nanofluida yang menggunakan *base fluid* etilen glikol, yang diambil setelah proses filtrasi. Nanofluida dengan berbagai konsentrasi pada gambar 4.5 menunjukkan bahwa suspensi terlihat stabil dan tidak terlihat adanya pengendapan partikel-partikel. Namun, pada gambar 4.6 menunjukkan nanofluida yang didiamkan setelah 30 jam dengan konsentrasi beragam, terlihat pengendapan partikel pada nanofluida dengan konsentrasi 0,5 % sampai 1%, sedangkan nanofluida dengan konsentrasi 0,1 % lebih menunjukkan bahwa partikel stabil.

Berdasarkan pengamatan visual, dapat disimpulkan nanofluida ZnO dengan media pendispersi etilen glikol mempunyai tingkat kestabilan yang lebih baik dibandingkan dengan nanofluida ZnO yang menggunakan media pendispersi air.

4.2 Distribusi Ukuran Partikel

Ukuran partikel dianalisis menggunakan anlyser PSA, dimana menggunakan teknik *dynamic light scattering*. Pengujian ukuran partikel menggunakan PSA untuk menganalisa kemampuan alat *Planetary ball mill* dan untuk menjelaskan sifat dari material yang tersuspensi pada nanofluida. Hasil pengujian ukuran partikel dilakukan pada pengujian yang sama, yaitu pada kondisi temperatur 25°C, viskositas (cP) 0,8878 dengan index refraksi 1,3328 pada media pendispersi air, sedangkan pada media pendispersi etilen glikol, pada viskositas (cP) 3,1100 dengan index refraksi 1,4627. Data hasil pengujian digambarkan pada gambar dibawah ini.



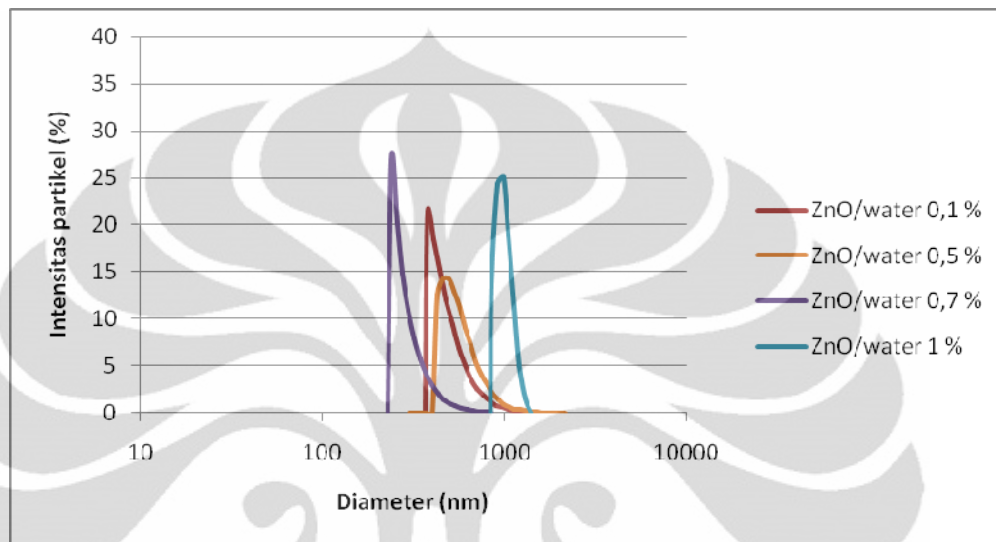
Gambar 4.7 Distribusi ukuran partikel awal dan setelah milling 15 jam efektif berdasarkan pendekatan intensitas.

Pada gambar 4.7 merupakan distribusi ukuran partikel awal dari sampel sebelum dilakukan proses milling. Grafik distribusi dan ukuran partikel awal yang digunakan untuk penelitian ini mempunyai rentang ukuran partikel antara 144,3 – 140.002,8 dengan 2 rentang distribusi ukuran partikel. Ukuran partikel awal dengan rentang 144,3 – 160,1 mempunyai intensitas partikel sampai 57,6 % kumulatif, dan rentang partikel 44.495,3 -140.002,8 nm mempunyai intensitas partikel 42,4 % kumulatif. Diameter rata-rata partikel awal sebelum dimiling yaitu 25.205,9 nm dengan standard deviasi 30.984,1.

Distribusi ukuran partikel setelah dimiling selama 15 jam efektif dengan media pendispersi air pada konsentrasi 1 % volume, mempunyai rentang ukuran partikel antara 853,9 – 1.389,1 nm. Ukuran partikel <1 mikron mempunyai intensitas partikel sampai 63,2 % kumulatif. Diameter rata-rata partikel ini 994,3 nm dengan standard deviasi 104,4. Sedangkan distribusi ukuran partikel setelah dimiling selama 15 jam efektif dalam media pendispersi etilen glikol dengan konsentrasi 1 % volume, mempunyai rentang ukuran partikel antara 448,5 – 1.858,6 nm. Ukuran partikel <1 mikron mempunyai intensitas partikel sampai 98,6 % kumulatif. Diameter rata-rata partikel ini 546,9 nm dengan standard deviasi 144,1.

Penggilingan mekanik yang terlihat dari distribusi ukuran partikel menunjukkan, reduksi ukuran partikel cukup baik dengan media pendispersi

etilen glikol menghasilkan rata – rata ukuran partikel yang lebih kecil dibanding dengan menggunakan media pendispersi air. Namun hal ini mempunyai kemungkinan bahwa material ZnO membentuk aglomerat pada partikel yang tersuspensi dalam air destilasi.



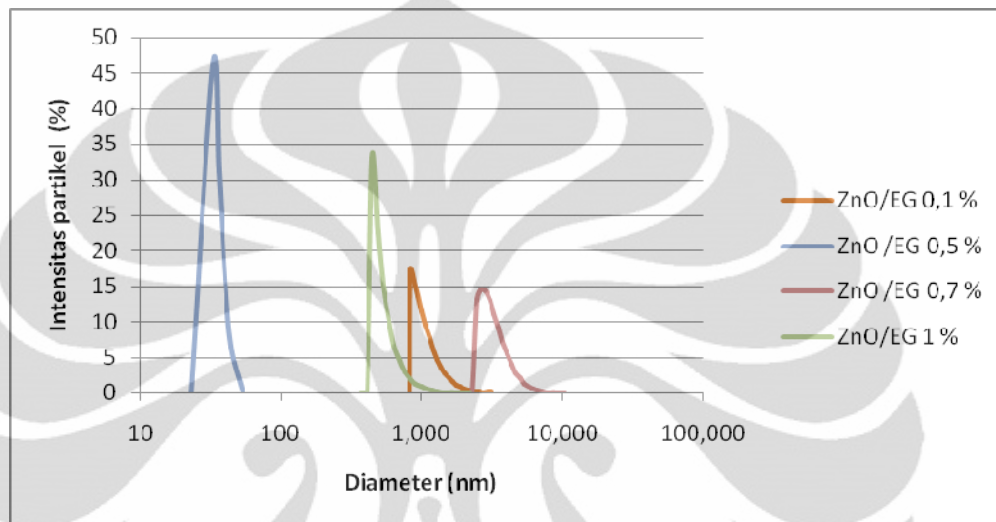
Gambar 4.8 Distribusi ukuran partikel ZnO/water berdasarkan pendekatan intensitas.

Pada gambar 4.8 merupakan distribusi ukuran partikel setelah dimiling selama 15 jam efektif dengan media pendispersi air. Pada konsentrasi 0,1 % volume, distribusi ukuran partikel ini mempunyai rentang ukuran partikel antara 377,8 – 1.451,4 nm. Ukuran partikel < 1 mikron mempunyai intensitas partikel sampai 99,1 % kumulatif. Diameter rata-rata partikel ini 490,7 nm dengan standard deviasi 140,4.

Pada konsentrasi 0,5 % volume, distribusi ukuran partikel ini mempunyai rentang ukuran partikel antara 429,9 – 1.508,2 nm. Ukuran partikel < 1 mikron mempunyai intensitas partikel sampai 98,2 % kumulatif. Diameter rata-rata partikel ini 576,8 nm dengan standard deviasi 148,9.

Pada konsentrasi 0,7 % volume, distribusi ukuran partikel ini mempunyai rentang ukuran partikel antara 238,4 – 839,2 nm. Ukuran partikel < 1 mikron mempunyai intensitas partikel sampai 100 % kumulatif. Diameter rata-rata partikel ini 295 nm dengan standard deviasi 78,7.

Berdasarkan grafik menunjukkan bahwa distribusi ukuran partikel setelah proses pengenceran mempunyai rentang ukuran partikel yang lebih kecil dari masternya, hal ini karena kecenderungan konsentrasi yang lebih tinggi mempunyai tingkat pengelompokan partikel yang lebih besar dari konsentrasi yang lebih kecil.



Gambar 4.9 Distribusi ukuran partikel ZnO/EG berdasarkan pendekatan intensitas.

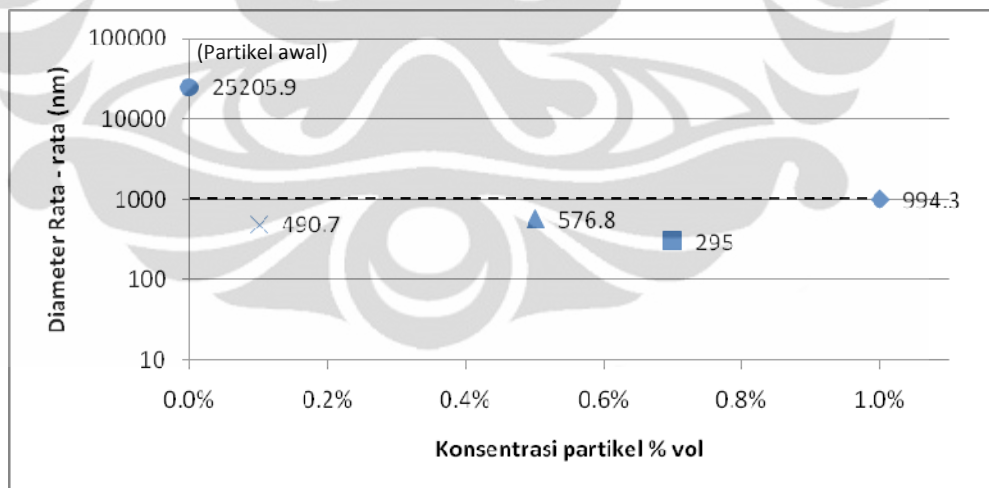
Pada gambar 4.9 merupakan distribusi ukuran partikel setelah dimiling selama 15 jam efektif dalam media pendispersi etilen glikol dengan konsentrasi 0,1 % volume. Grafik distribusi ukuran partikel ini mempunyai rentang ukuran partikel antara 830,5 – 3.134,1 nm. Ukuran partikel <1 mikron mempunyai intensitas partikel sampai 58,2 % kumulatif. Diameter rata-rata partikel ini 1.080,9 nm dengan standard deviasi 299,7.

Pada konsentrasi 0,5 % volume, distribusi ukuran partikel ini mempunyai rentang ukuran partikel antara 33,1 – 44,5 nm. Ukuran partikel <100 nm mempunyai intensitas partikel sampai 99,9 % kumulatif, Diameter rata-rata partikel ini 37,3 nm dengan standard deviasi 104,9.

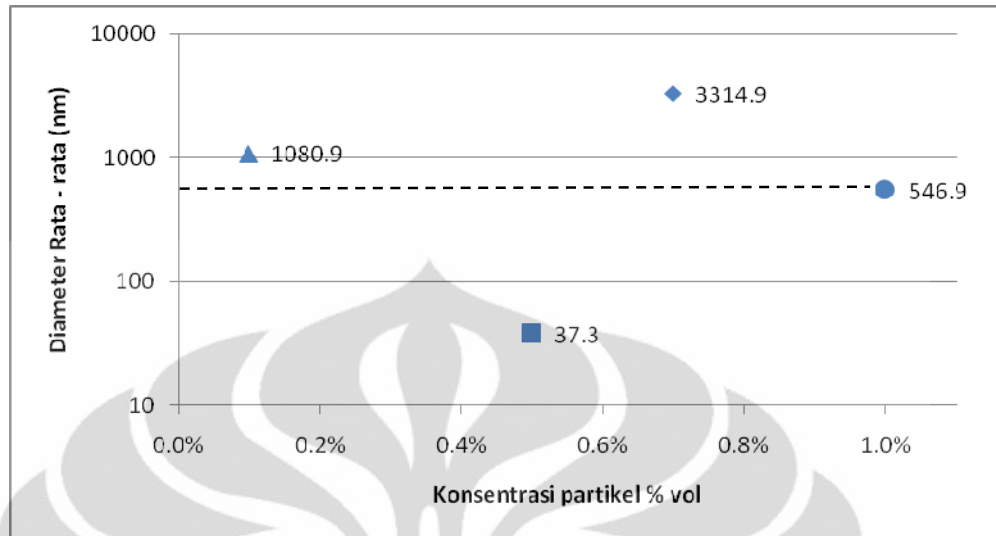
Pada konsentrasi 0,7 % volume, distribusi ukuran partikel ini mempunyai rentang ukuran partikel antara 2.467,5 – 8.895,2 nm. Pada konsentrasi 0,7 % volume, ukuran partikel <1 mikron tidak didapatkan. Diameter rata-rata partikel ini 3314,9 nm dengan standard deviasi 859,1. Pada konsentrasi ini, ukuran

partikel yang didapatkan sangat jauh berbeda dengan yang menggunakan media pendispersi air, dimana dengan media pendispersi air ukuran partikel <1 mikron intensitas partikelnya mencapai 100 persen. Hal ini mempunyai kemungkinan pada faktor pengenceran yang kurang tepat, sehingga partikel besar mayoritas terbawa. Disamping itu kecenderungan aglomerasi pada nanofluida ZnO/EG lebih besar dibanding dengan ZnO/W, hal ini dapat dilihat dari rata – rata ukuran partikel yang lebih besar pada ZnO/EG. Faktor lain yang memungkinkan juga dipengaruhi oleh kekentalan media pendispersi, sehingga energi tumbukan bola pejal yang menumbuk partikel lebih kecil pada cairan yang lebih kental akibat adanya lapisan, dibanding energi tumbukan bola pada media pendispersi yang tingkat kekentalannya rendah.

Berdasarkan grafik menunjukkan bahwa distribusi ukuran partikel setelah proses pengenceran mempunyai rentang ukuran partikel yang lebih kecil pada konsentrasi 0,5 % volume. Ketidakteraturan distribusi ukuran partikel pada tiap konsentrasi mempunyai kemungkinan kelemahan dari faktor pengenceran, dimana sebaran partikelnya tidak merata sempurna.



Gambar 4.10 Perbandingan rata – rata ukuran partikel ZnO berbagai konsentrasi dengan media pendispersi air.



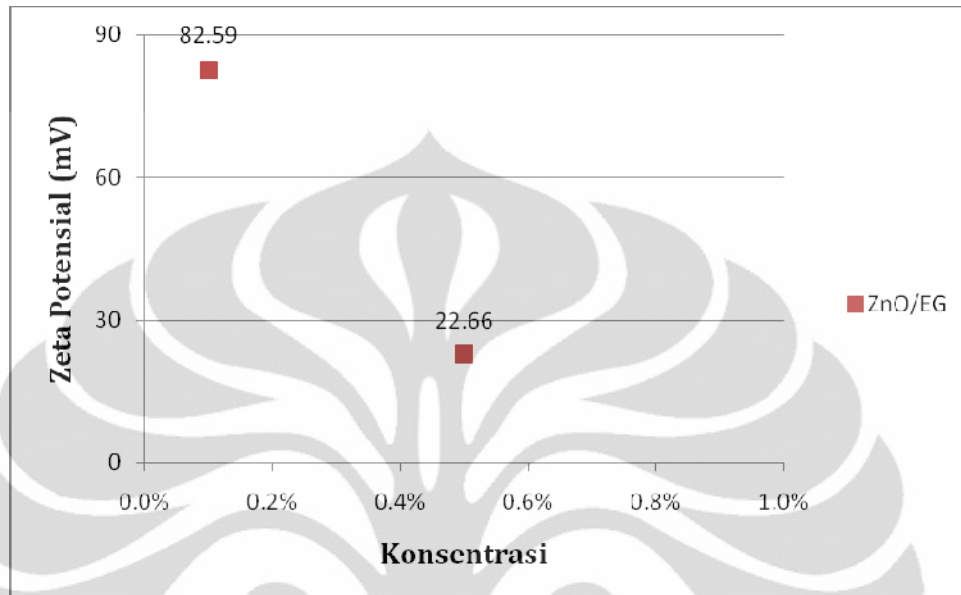
Gambar 4.11 Perbandingan rata – rata ukuran partikel ZnO berbagai konsentrasi dengan media pendispersi Etilen glikol.

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.10 dan gambar 4.11, maka kinerja alat planetary ball mill mereduksi ukuran partikel awal yang mempunyai rentang partikel hingga 140 mikron dengan rata – rata ukuran partikel 25 mikron, hingga menjadi rata – rata dibawah 1 mikron ukuran partikel dengan media pendispersi air, dan dengan media pendispersi etilen glikol hingga mencapai rata – rata ukuran partikel terbesar 3,3 mikron pada konsentrasi 0,7 %. Proses reduksi ukuran partikel dengan media pendispersi etilen glikol mampu hingga mencapai ukuran partikel 37,3 nm. Fenomena proses reduksi ukuran partikel ZnO dengan kemampuan alat planetary ball mill belum dapat pasti peneliti jelaskan tentang mekanisme tersebut, karena mempunyai kemungkinan sifat material partikel ZnO yang saling berikatan ketika proses reduksi berlangsung, sehingga terjadi aglomerat atau pengelompokan partikel, sehingga partikel membesar.

4.3 Zeta Potensial

Pengujian nilai zeta potensial menggunakan alat yang sama dengan pengujian PSA, yaitu dengan alat beckman coulter. Hasil pengujian nilai Zeta potensial didapatkan untuk menjelaskan tingkat kestabilan dari partikel yang tersuspensi dalam nanofluida. Hasil nilai zeta potensial yang lebih besar dari ± 30

mV menunjukkan suspensi nanofluida stabil, sedangkan nilai zeta potensial yang kurang dari ± 30 mV, menunjukkan suspensi nanofluida tidak stabil.



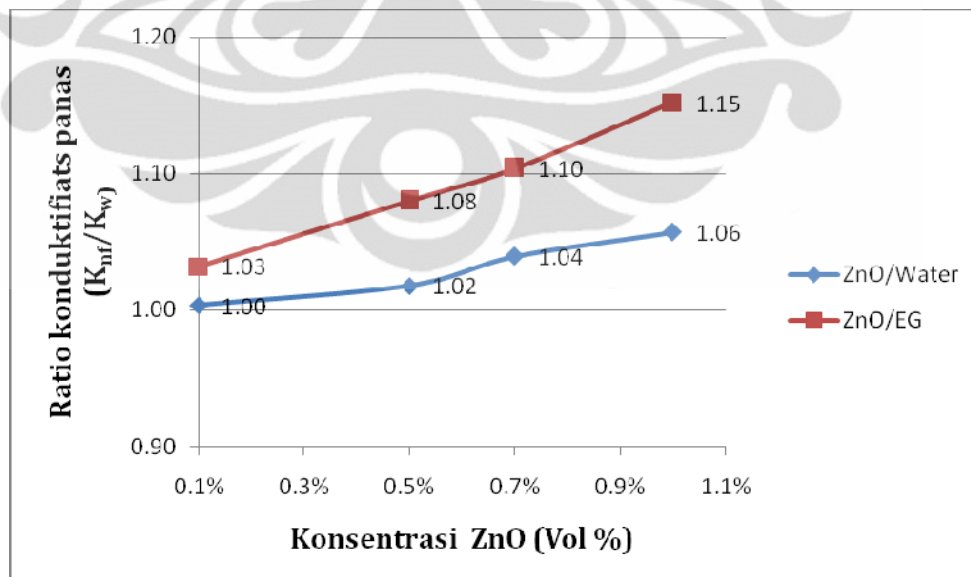
Gambar 4.12 Pengukuran nilai Zeta potensial nanofluida ZnO.

Hasil pengujian yang ditunjukkan pada gambar 4.12, menunjukkan bahwa suspensi nanofluida ZnO 0,1 % vol dengan media pendispersi etilen glikol menunjukkan suspensi yang stabil dengan nilai zeta potensial 82,59 mV. Suspensi nanofluida ZnO 0,5 % vol dengan media pendispersi etilen glikol menunjukkan bahwa suspensi nanofluida kurang stabil dengan nilai zeta potensial 22,66 mV. Pengujian nilai zeta potensial pada nanofluida dengan konsentrasi lebih dari 0,5 % vol. didapatkan nilai diluar dari range alat yaitu melebihi nilai zeta potensial ± 100 mV. Sedangkan nilai zeta potensial nanofluida ZnO dengan media pendispersi air juga menghasilkan nilai yang tidak akurat juga,yaitu diluar dari range nilai alat zeta yang melebihi nilai ± 100 mV. Fenomena hal tersebut tentang ketidakuratan data yang diperoleh melalui pengujian berulang masih tidak dapat dijelaskan oleh peneliti,sehingga dibutuhkan penelitian lebih lanjut. Namun jika dihubungkan terhadap besar ukuran partikel yang digambarkan melalui grafik distribusi ukuran partikel, mempunyai kemungkinan terhadap besar ukuran partikel yang melebihi 100 nm sehingga gerak brownian yang dimiliki partikel sangat kecil. Kemungkinan gerak brownian partikel yang kecil diakibatkan karna aglomerat

partikel sehingga alat tidak dapat membaca nilai zeta partikel. Tetapi, fenomena nanofluida ZnO dengan media pendispersi etilen glikol yang stabil pada konsentrasi 0,1 % mempunyai ukuran partikel diatas 100 nm, sehingga korelasi ukuran partikel terhadap kestabilan partikel pada nanofluida ZnO belum dapat dijelaskan dengan pasti.

4.4 Konduktifitas Panas

Konduktivitas panas dari sebuah nanofluida merupakan data yang penting digunakan dalam nanofluida sebagai aplikasi pendingin. Rasio sebagai data acuan peningkatan konduktivitas panas nanofluida dibandingkan dengan fluida dasarnya. Gambar 4.13 merupakan grafik perbandingan rasio konduktifitas panas pada penelitian ini, dimana rasio peningkatan konduktifitas nanofluida ZnO dengan media pendispersi air dibandingkan dengan media pendispersi etilen glikol. Rasio konduktifitas panas merupakan rasio antara konduktifitas panas sampel dengan konduktifitas panas air distilasi dan konduktifitas panas etilen glikol. Pada penelitian ini, konduktifitas panas air distilasi yang digunakan adalah sebesar 0,56 W/m°C, sesuai dengan pengukuran aktualnya. Sedangkan konduktifitas etilen glikol adalah sebesar 0,25 W/m°C, sesuai dengan pengukuran aktualnya.

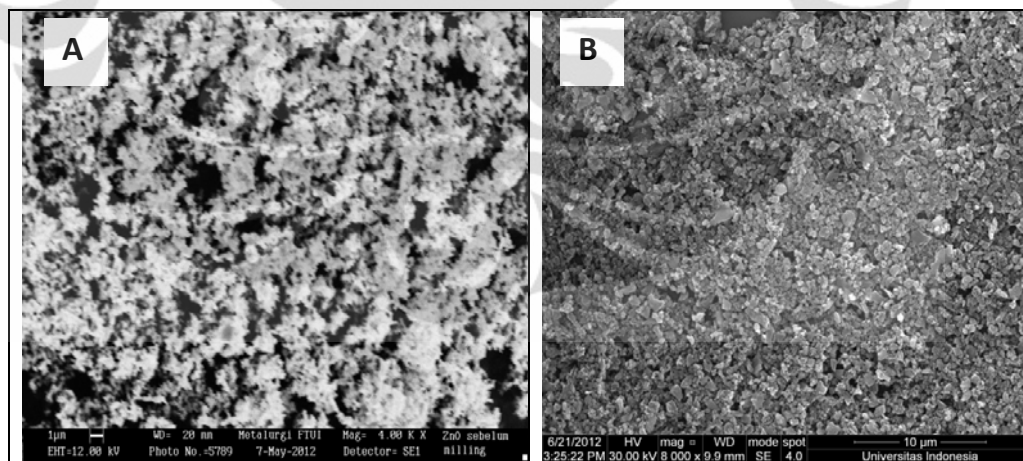


Gambar 4.13 Perbandingan rasio peningkatan konduktifitas panas nanofluida ZnO.

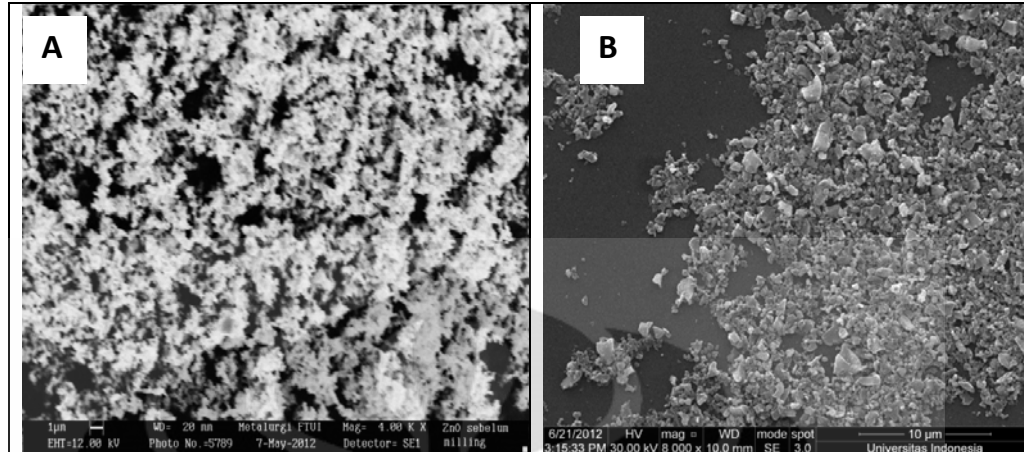
Berdasarkan gambar 4.13, rasio peningkatan nanofluida ZnO dengan media pendispersi Etilen glikol meningkat signifikan dibanding nanofluida dengan media pendispersi air. Pada konsentrasi 1 % volume, rasio peningkatannya mencapai 1,15 dibanding yang menggunakan media pendispersi air sekitar 1,06. Rasio peningkatan konduktifitas panas pada konsentrasi 0,1 % juga menunjukkan lebih tinggi yaitu sekitar 1,03 dibanding yang menggunakan media pendispersi air, yaitu 1,00. Hasil penelitian yang didapatkan merupakan peluang bagi kelas nanofluida dimana dengan penambahan konsentrasi ZnO yang kecil sebesar 0,1 % volume dapat meningkatkan konduktifitas panas fluida dasarnya yang mempunyai konduktifitas panas rendah, serta didapatkan kestabilan partikel dalam nanofluida tersebut.

4.5 SEM

Pengujian SEM adalah untuk mengetahui struktur mikro dari nanopartikel dalam fluida. Hasil pengujian SEM dapat memberikan informasi tentang gambaran morfologi partikel, sehingga dapat diketahui hubungan karakteristik partikel terhadap tingkat kestabilan partikel nanofluida.



Gambar 4.14 Perbandingan mikrostruktur a) Partikel awal ZnO sebelum milling (4000X) dengan b) Partikel ZnO/water setelah milling 15 jam (8000X).

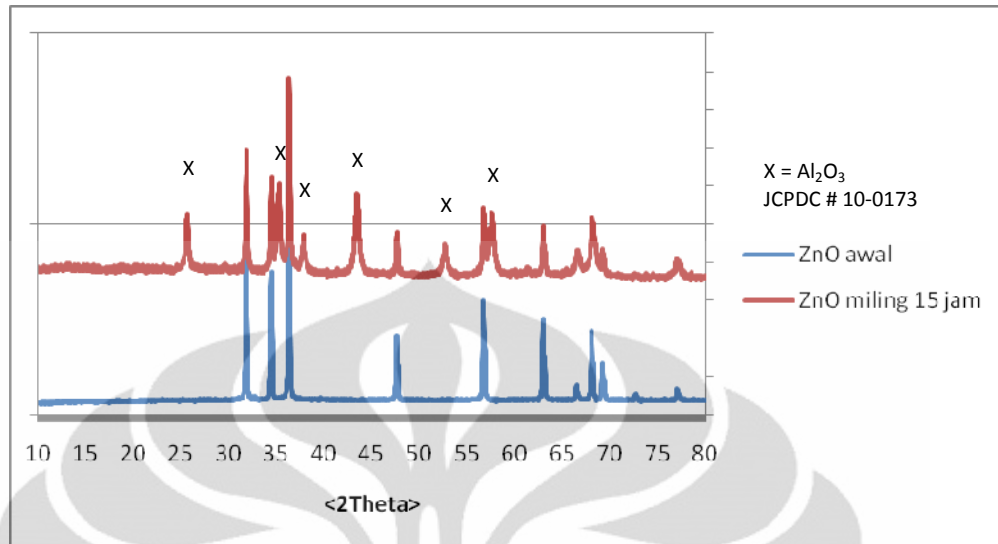


Gambar 4.15 Perbandingan mikrostruktur a) Partikel awal ZnO sebelum milling (4000X) dengan b) Partikel ZnO/EG setelah milling 15 jam (8000 X).

Pada gambar 4.14 dan 4.15 bentuk partikel awal sebelum proses milling dan setelah proses milling mempunyai bentuk yang sama yaitu bentuk bulat. Proses milling tidak mengubah bentuk partikel secara signifikan. Hasil pengujian SEM juga menunjukkan terjadinya pengelompokan partikel, sehingga membentuk aglomerat partikel.

4.6 XRD

Pengujian XRD berfungsi untuk mengetahui senyawa atau fasa yang terkandung dari nanofluida ZnO, sehingga diketahui apakah terjadi perubahan fasa atau senyawa dari nanofluida tersebut. Pengamatan yang dilakukan pada hasil pengujian XRD pada gambar 4.16, bahwa tidak terjadi perubahan fasa dari partikel ZnO sebelum milling maupun setelah milling. Namun, ditemukan peak berbeda yang muncul dari hasil pengujian tersebut. Berdasarkan hasil analisa pengujian, maka ketika peak dicocokkan dengan software *matching* analisis terdapat kecocokan dengan karakteristik peak Al_2O_3 . Kesimpulan yang didapat dari pengujian XRD, maka material alumina yang terdapat dalam nanofluida berasal dari vial yang terkikis oleh bola pejal ketika proses milling berlangsung.



Gambar 4.16 Perbandingan Pengujian XRD partikel awal ZnO sebelum miling dengan partikel ZnO setelah miling 15 jam).

BAB V

KESIMPULAN

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

1. Sintesis nanofluida dengan proses satu tahap menghasilkan rerata ukuran partikel untuk konsentrasi 0,1%, 0,5%, 0,7% dan 1% vol., berturut turut 490,7 nm, 576,8 nm, 295 nm, dan 994,3 nm, sedangkan nanofluida dengan menggunakan media pendispersi etilen glikol 0,1%, 0,5%, 0,7% dan 1% vol., secara berurutan adalah, 1.080,9 nm, 37,3 nm, 3314,9 nm, dan 546,9 nm.
2. Kemampuan dispersi partikel ZnO dalam media pelarut air tidak membentuk kestabilan yang baik.
3. Kemampuan dispersi partikel ZnO dalam media pelarut etilen glikol untuk membentuk nanofluida yang stabil diperoleh pada fraksi volume 0,1 %, dengan intensitas ukuran partikel rata – rata sekitar 1 mikron. Hal ini juga didukung dengan nilai zeta potensial yaitu 82,59 mV.
4. Berdasarkan hasil penelitian sintesis nanofluida dengan media pelarut air maupun etilen glikol dengan fraksi volume 0,1%, 0,5%, 0,7% dan 1%, memperlihatkan nilai peningkatan konduktifitas panas yang nonlinier. Peningkatan nilai konduktifitas panas ZnO/W dan ZnO/EG, meningkat sampai 6% dan 15%, dengan fraksi volume meningkat sampai 1 vol.%, dibanding fluida dasarnya.

Referensi

1. Zhong.L. Wang, *Characterization Of Nanophase Materials*, wiley-Verlag GMBH, New York, 2000. p. 1-55
2. Y. Ding, H. Chen,L. Wang, C.Y. Yang, Y. He, W. Yang, W.P. Lee, L. Zhang, dan R. Huo. *Heat Transfer Intensification Using Nanofluids*. KONA No.25. (2007).
3. S.A. Kumar, K.S. Meenakshi, B.R.V. Narashimhan, S. Srikanth, G. Arthanareeswaran. *Synthesis and characterization of copper nanofluid by a novel one-step method*. Materials Chemistry and Physics, 113, 57-62 (2008).
4. R. Setiaji. *Pengaruh Penambahan 1.0 Wt % Sodium Dodecyl Sulfate (Sds) Pada Sintesis Nanofluida Tio2 Dengan Wet Mechanochemical Process*. Skripsi Universitas Indonesia, 2010.
5. L.C. Damonte, L.A.M. Zelis, B.M. Soucase, M.A.H. Fenollosa. *Nanoparticles of ZnO Obtained by mechanical milling*, Powder Technology, 148, 15-19 (2004).
6. M. Moosavi, E.K. Goharshadi, A. Youssefi. *Fabrication, characterization, and measurement of some physicochemical properties of ZnO nanofluids*, International Journal Heat and Fluid Flow, 31, 599-605 (2010).
7. Y.S. Touloukian, R.W. Powell, C.Y. Ho and, P.G. Klemens. *Thermophysical Properties of Matter Vol 2*, Plenum Press, New York. 1970.
8. A. Bejan, A.D. Kraus. *Heat Transfer Handbook*. John Wiley & Sons, New jersey, 2003, pp 133- 140.
9. D. Wen, G. Lin, S. Vafaei, K. Zhang. *Review of nanofluids for heat transfer applications*. Particuology, 7, 141–50 (2009).
10. S.U.S. Choi. *Nanofluid Technology: Current Status And Future Research*. Argonne National Laboratory in Korea- U.S. Technical Conference on Strategic Technologies, Viena, 1998.
11. S.U.S. Choi. *Development and application of non-Newtonian flows*. FED 231. New York: ASME; 1995. p. 99–105.
12. R. Saidur, K.Y. Leong, H.A. Mohammad. *A Review on application and challenges of nanofluids*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15; 1646-1648 (2011).
13. W. Yu, D.M. France, S.U.S. Choi, J.L. Routbort. *Review And Assessment Of Nanofluid Technology For Transportation And Other Applications*. Energy System Division, Argonne National Laboratory Report, USA, 2007. pp 9-22
14. J.A. Eastman, S.U.S. Choi, S. Li, W. Yu, L.J. Thompson, *Anomalously increased effective thermal conductivity of ethylene glycolbased nanofluids containing copper nanoparticles*, Appl. Phys. Lett. 78 (6), 718–720 (2001).
15. H. Xie, J. Wang, T. Xi, Y. Liu, and F. Ai. *Depedence of the Thermal Conductivity of Nanopartiecle-Fluid Mixture on the Base Fluid*. Journal Of Materials Science Letters 21: 1469-1471 (2002).

16. X. Wang, X. Xu, and S.U.S. Choi. *Thermal Conductivity of Nanoparticle-Fluid Mixture*. Journal of Thermoplastics and Heat Transfer 13:474-480 (1999).
17. S. Lee, S.U.S. Choi, S. Li, and J.A. Eastman. *Measuring Thermal Conductivity Of Fluids Containing Oxide Nanoparticles*. Transactions of the ASME, Journal of Heat Transfer 121:280-289 (1999).
18. S.M.S. Murshed, K.C. Leong, and C. Yang. *Enhanced Thermal Conductivity of TiO₂-Water Based Nanofluids*. International Journal of Thermal Science 44: 367-373 (2005).
19. D. Lee, J.W. Kim, and B.G. Kim. *A New Parameter to Control Heat Transport in Nanofluids: Surface Charge State of the Particle in Suspension*. Journal of Physical Chemistry B, 110: 4323-4328 (2006).
20. *Guide Grinding Planetary Ball Mill 400*. F. Kurt RETSCH GmbH & Co. KG.Germany.
21. S.K. Das, S.U.S. Choi, W. Yu, T. Pradeep. *Nanofluids Science and Technology*. John Wiley & Sons, USA, 2007. pp 39-46
22. 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, 855-863 (2002).
23. G. Ramesh, N.K. Prabhu. *Review of thermo-physical properties, wetting and heat transfer characteristic of nanofluids and their applicability in industrial quench heat treatment*, Nanoscale Research Letter, 6; 334 (2011).
24. *Metallography and Microstructure*. ASM Handbook, vol 9, 2004. pp 883 – 908
25. *Materials Characterization*. ASM Handbook vol 10, 9th ed, 1992. pp 681 – 682
26. W.C. Williams. *Experimental and Theoretical Investigation of Transport Phenomena in Nanoparticle Colloids*. Thesis Massachusetts Institute of Technology, 2006. pp 51-57
27. <http://www.threerollmill.com/planetaryballmills.html>, diakses pada tanggal 7 maret 2012 pukul 21.23 wib

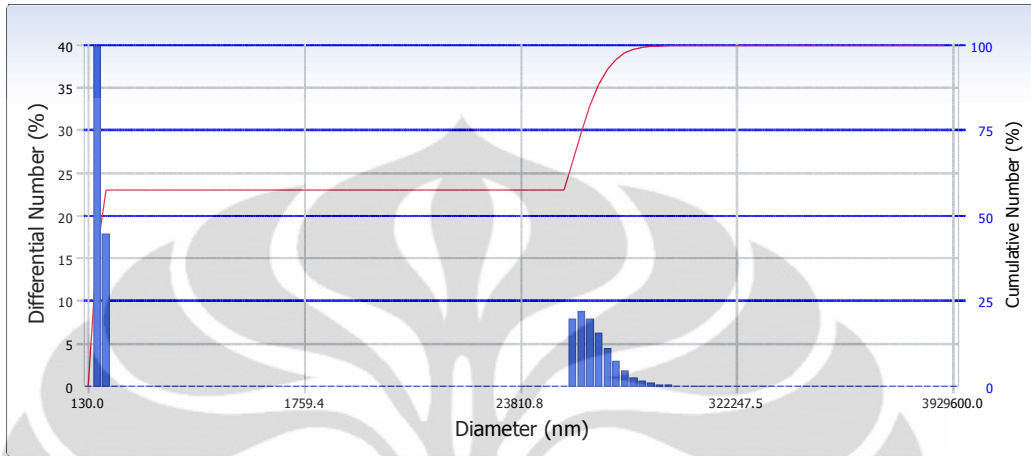
Number Distribution

S/N :

User : Common	Group : ZnO	Repetition : 1/3
Date : 5/4/2012	File Name : ZnO_20120504_135540	
Time : 13:55:40	Sample Information : ZnO	
SOP Name : Nanotech	Security : No Security	

Version 2.31 / 2.00

Number Distribution



Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	149.2	7.3
2	59,339.2	15,730.4
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	25,205.9	30,984.1
Residual :	9.858e-003	(O.K)

Cumulants Results

Diameter (d) : 36677.8 (nm)
 Polydispersity Index (P.I.) : 8.857
 Diffusion Const. (D) : 1.341e-010 (cm²/sec)
 Measurement Condition
 Temperature : 25.0 (°C)
 Diluent Name : WATER
 Refractive Index : 1.3328
 Viscosity : 0.8878 (cP)
 Scattering Intensity : 13938 (cps)

Number Distribution Table

d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
130.0	0.0	0.0	1759.4	0.0	57.7	23810.8	0.0	57.7	322247.5	0.0	100.0
144.3	39.8	39.8	1952.6	0.0	57.7	26426.0	0.0	57.7	357640.0	0.0	100.0
160.1	17.8	57.7	2167.1	0.0	57.7	29328.3	0.0	57.7	396919.8	0.0	100.0
177.7	0.0	57.7	2405.1	0.0	57.7	32549.5	0.0	57.7	440513.7	0.0	100.0
197.2	0.0	57.7	2669.2	0.0	57.7	36124.4	0.0	57.7	488895.4	0.0	100.0
218.9	0.0	57.7	2962.4	0.0	57.7	40092.0	0.0	57.7	542591.0	0.0	100.0
242.9	0.0	57.7	3287.7	0.0	57.7	44495.3	7.9	65.6	602184.0	0.0	100.0
269.6	0.0	57.7	3648.8	0.0	57.7	49382.2	8.8	74.4	668322.1	0.0	100.0
299.2	0.0	57.7	4049.6	0.0	57.7	54805.9	7.9	82.3	741724.2	0.0	100.0
332.1	0.0	57.7	4494.4	0.0	57.7	60825.2	6.2	88.5	823188.1	0.0	100.0
368.6	0.0	57.7	4988.0	0.0	57.7	67505.7	4.4	92.9	913599.1	0.0	100.0
409.0	0.0	57.7	5535.8	0.0	57.7	74919.8	2.9	95.8	1013940.0	0.0	100.0
454.0	0.0	57.7	6143.8	0.0	57.7	83148.3	1.8	97.6	1125302.0	0.0	100.0
503.8	0.0	57.7	6818.6	0.0	57.7	92280.5	1.1	98.7	1248894.0	0.0	100.0
559.2	0.0	57.7	7567.5	0.0	57.7	102415.7	0.6	99.3	1386060.0	0.0	100.0
620.6	0.0	57.7	8398.6	0.0	57.7	113664.1	0.3	99.7	1538292.0	0.0	100.0
688.7	0.0	57.7	9321.0	0.0	57.7	126147.9	0.2	99.8	1707243.0	0.0	100.0
764.4	0.0	57.7	10344.8	0.0	57.7	140002.8	0.1	99.9	1894750.0	0.0	100.0
848.3	0.0	57.7	11481.0	0.0	57.7	155379.3	0.0	100.0	2102852.0	0.0	100.0
941.5	0.0	57.7	12741.9	0.0	57.7	172444.7	0.0	100.0	2333809.0	0.0	100.0
1044.9	0.0	57.7	14141.4	0.0	57.7	191384.3	0.0	100.0	2590132.0	0.0	100.0
1159.7	0.0	57.7	15694.5	0.0	57.7	212404.2	0.0	100.0	2874607.0	0.0	100.0
1287.0	0.0	57.7	17418.2	0.0	57.7	235732.6	0.0	100.0	3190326.0	0.0	100.0
1428.4	0.0	57.7	19331.3	0.0	57.7	261623.2	0.0	100.0	3540721.0	0.0	100.0
1585.3	0.0	57.7	21454.5	0.0	57.7	290357.4	0.0	100.0	3929600.0	0.0	100.0

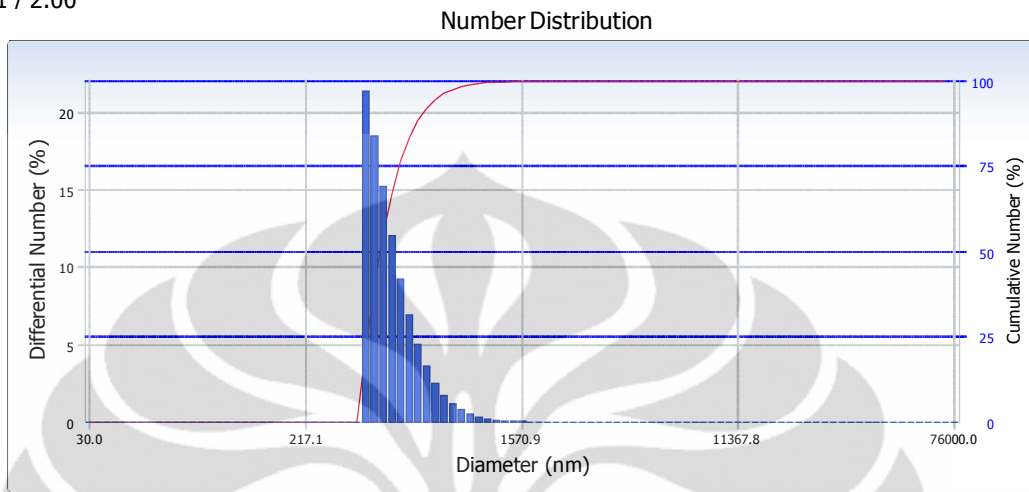
D (10%) : 144.3 (nm) | D (50%) : 153.1 (nm) | D (90%) : 63005.6 (nm)

Number Distribution

S/N :

User : Common	Group : ZnO	Repetition : 3/3
Date : 5/4/2012	File Name : ZnO-0.1P_20120504_133751	
Time : 13:37:51	Sample Information : ZnO-0.1P	
SOP Name : Nanotech	Security : No Security	

Version 2.31 / 2.00



Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	490.7	140.4
2	0.0	0.0
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	490.7	140.4
Residual :	1.632e-002	(O.K)

Cumulants Results

Diameter (d)	: 2528.0	(nm)
Polydispersity Index (P.I.)	: 0.696	
Diffusion Const. (D)	: 1.946e-009	(cm ² /sec)
Measurement Condition		
Temperature	: 25.0	(°C)
Diluent Name	: WATER	
Refractive Index	: 1.3328	
Viscosity	: 0.8878	(cP)
Scattering Intensity	: 9065	(cps)

Number Distribution Table

d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
30.0	0.0	0.0	217.1	0.0	0.0	1570.9	0.0	99.9	11367.8	0.0	100.0
32.5	0.0	0.0	235.0	0.0	0.0	1700.4	0.0	100.0	12304.3	0.0	100.0
35.1	0.0	0.0	254.3	0.0	0.0	1840.4	0.0	100.0	13318.0	0.0	100.0
38.0	0.0	0.0	275.3	0.0	0.0	1992.0	0.0	100.0	14415.1	0.0	100.0
41.2	0.0	0.0	298.0	0.0	0.0	2156.2	0.0	100.0	15602.7	0.0	100.0
44.6	0.0	0.0	322.5	0.0	0.0	2333.8	0.0	100.0	16888.1	0.0	100.0
48.2	0.0	0.0	349.1	0.0	0.0	2526.1	0.0	100.0	18279.3	0.0	100.0
52.2	0.0	0.0	377.8	21.4	21.4	2734.2	0.0	100.0	19785.2	0.0	100.0
56.5	0.0	0.0	409.0	18.5	39.9	2959.4	0.0	100.0	21415.2	0.0	100.0
61.2	0.0	0.0	442.7	15.2	55.1	3203.2	0.0	100.0	23179.4	0.0	100.0
66.2	0.0	0.0	479.1	12.1	67.2	3467.1	0.0	100.0	25089.0	0.0	100.0
71.7	0.0	0.0	518.6	9.3	76.5	3752.7	0.0	100.0	27155.9	0.0	100.0
77.6	0.0	0.0	561.3	6.9	83.4	4061.9	0.0	100.0	29393.1	0.0	100.0
84.0	0.0	0.0	607.6	5.1	88.4	4396.5	0.0	100.0	31814.5	0.0	100.0
90.9	0.0	0.0	657.6	3.6	92.0	4758.7	0.0	100.0	34435.5	0.0	100.0
98.4	0.0	0.0	711.8	2.6	94.6	5150.7	0.0	100.0	37272.4	0.0	100.0
106.5	0.0	0.0	770.4	1.8	96.4	5575.1	0.0	100.0	40343.0	0.0	100.0
115.2	0.0	0.0	833.9	1.2	97.6	6034.3	0.0	100.0	43666.5	0.0	100.0
124.7	0.0	0.0	902.6	0.8	98.4	6531.5	0.0	100.0	47263.9	0.0	100.0
135.0	0.0	0.0	977.0	0.6	99.0	7069.5	0.0	100.0	51157.6	0.0	100.0
146.1	0.0	0.0	1057.4	0.4	99.3	7652.0	0.0	100.0	55372.1	0.0	100.0
158.2	0.0	0.0	1144.6	0.2	99.6	8282.3	0.0	100.0	59933.7	0.0	100.0
171.2	0.0	0.0	1238.8	0.2	99.7	8964.7	0.0	100.0	64871.2	0.0	100.0
185.3	0.0	0.0	1340.9	0.1	99.8	9703.2	0.0	100.0	70215.5	0.0	100.0
200.6	0.0	0.0	1451.4	0.1	99.9	10502.6	0.0	100.0	76000.0	0.0	100.0

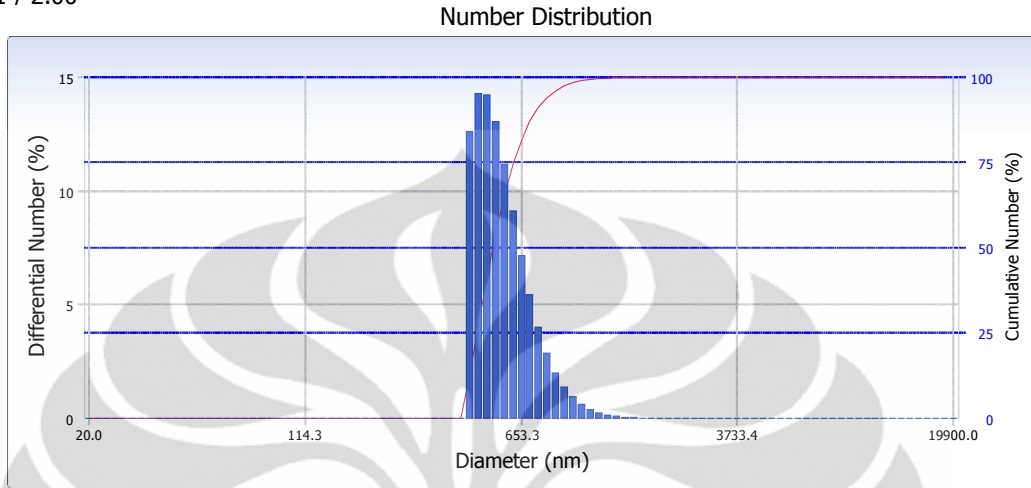
D (10%) : 362.2 (nm) D (50%) : 431 (nm) D (90%) : 628.9 (nm)

Number Distribution

S/N :

User : Common	Group : ZnO-0.5P-WATER	Repetition : 1/1
Date : 6/13/2012	File Name : ZnO-0.5P-WATER_20120613_121017	
Time : 12:10:17	Sample Information : ZnO-0.5P-WATER	
SOP Name : Nanotech	Security : No Security	

Version 2.31 / 2.00



Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	576.8	148.9
2	0.0	0.0
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	576.8	148.9
Residual :	6.991e-003	(O.K)

Cumulants Results

Diameter (d)	: 1088.6	(nm)
Polydispersity Index (P.I.)	: 0.256	
Diffusion Const. (D)	: 4.519e-009	(cm ² /sec)
Measurement Condition		
Temperature	: 25.0	(°C)
Diluent Name	: WATER	
Refractive Index	: 1.3328	
Viscosity	: 0.8878	(cP)
Scattering Intensity	: 9398	(cps)

Number Distribution Table

d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
20.0	0.0	0.0	114.3	0.0	0.0	653.3	7.2	81.7	3733.4	0.0	100.0
21.4	0.0	0.0	122.6	0.0	0.0	700.4	5.4	87.1	4003.0	0.0	100.0
23.0	0.0	0.0	131.4	0.0	0.0	751.0	4.0	91.1	4292.1	0.0	100.0
24.7	0.0	0.0	140.9	0.0	0.0	805.2	2.9	94.0	4602.0	0.0	100.0
26.4	0.0	0.0	151.1	0.0	0.0	863.4	2.0	96.0	4934.4	0.0	100.0
28.3	0.0	0.0	162.0	0.0	0.0	925.7	1.4	97.4	5290.7	0.0	100.0
30.4	0.0	0.0	173.7	0.0	0.0	992.6	0.9	98.3	5672.8	0.0	100.0
32.6	0.0	0.0	186.2	0.0	0.0	1064.3	0.6	98.9	6082.4	0.0	100.0
34.9	0.0	0.0	199.7	0.0	0.0	1141.1	0.4	99.3	6521.6	0.0	100.0
37.5	0.0	0.0	214.1	0.0	0.0	1223.5	0.3	99.6	6992.6	0.0	100.0
40.2	0.0	0.0	229.5	0.0	0.0	1311.9	0.2	99.7	7497.5	0.0	100.0
43.1	0.0	0.0	246.1	0.0	0.0	1406.6	0.1	99.9	8039.0	0.0	100.0
46.2	0.0	0.0	263.9	0.0	0.0	1508.2	0.1	99.9	8619.5	0.0	100.0
49.5	0.0	0.0	282.9	0.0	0.0	1617.1	0.0	100.0	9241.9	0.0	100.0
53.1	0.0	0.0	303.4	0.0	0.0	1733.9	0.0	100.0	9909.3	0.0	100.0
56.9	0.0	0.0	325.3	0.0	0.0	1859.1	0.0	100.0	10624.9	0.0	100.0
61.0	0.0	0.0	348.8	0.0	0.0	1993.3	0.0	100.0	11392.1	0.0	100.0
65.4	0.0	0.0	374.0	0.0	0.0	2137.3	0.0	100.0	12214.8	0.0	100.0
70.2	0.0	0.0	401.0	0.0	0.0	2291.6	0.0	100.0	13096.9	0.0	100.0
75.2	0.0	0.0	429.9	12.6	12.6	2457.1	0.0	100.0	14042.6	0.0	100.0
80.7	0.0	0.0	461.0	14.3	26.9	2634.5	0.0	100.0	15056.7	0.0	100.0
86.5	0.0	0.0	494.3	14.2	41.1	2824.8	0.0	100.0	16144.0	0.0	100.0
92.7	0.0	0.0	530.0	13.0	54.2	3028.8	0.0	100.0	17309.8	0.0	100.0
99.4	0.0	0.0	568.2	11.2	65.4	3247.5	0.0	100.0	18559.8	0.0	100.0
106.6	0.0	0.0	609.3	9.1	74.5	3482.0	0.0	100.0	19900.0	0.0	100.0

D (10%) : 423.8 (nm) D (50%) : 518.3 (nm) D (90%) : 736.8 (nm)

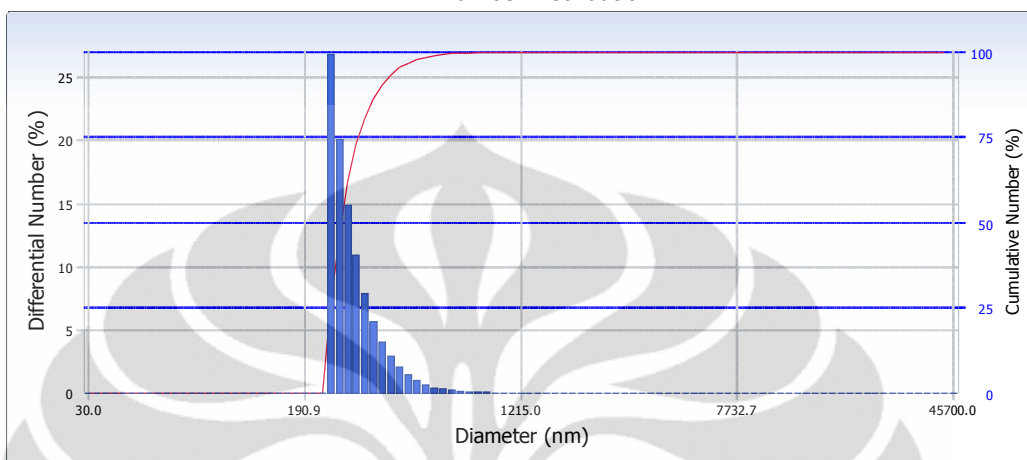
Number Distribution

S/N :

User	: Common	Group	: ZnO-WATER	Repetition	: 1/1
Date	: 6/6/2012	File Name	: ZnO-0.7P_20120606_152924		
Time	: 15:29:24	Sample Information	: WATER		
SOP Name	: Nanotech	Security	: No Security		

Version 2.31 / 2.00

Number Distribution



Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	295.3	78.7
2	0.0	0.0
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	295.3	78.7
Residual	: 1.002e-002	(O.K)

Cumulants Results

Diameter (d)	: 1988.3	(nm)
Polydispersity Index (P.I.)	: 0.407	
Diffusion Const. (D)	: 2.474e-009	(cm ² /sec)
Measurement Condition		
Temperature	: 25.0	(°C)
Diluent Name	: WATER	
Refractive Index	: 1.3328	
Viscosity	: 0.8878	(cP)
Scattering Intensity	: 11254	(cps)

Number Distribution Table

d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
30.0	0.0	0.0	190.9	0.0	0.0	1215.0	0.0	100.0	7732.7	0.0	100.0
32.3	0.0	0.0	205.6	0.0	0.0	1308.4	0.0	100.0	8326.8	0.0	100.0
34.8	0.0	0.0	221.4	0.0	0.0	1408.9	0.0	100.0	8966.6	0.0	100.0
37.5	0.0	0.0	238.4	26.8	26.8	1517.2	0.0	100.0	9655.6	0.0	100.0
40.3	0.0	0.0	256.7	20.1	47.0	1633.8	0.0	100.0	10397.5	0.0	100.0
43.4	0.0	0.0	276.4	14.9	61.9	1759.3	0.0	100.0	11196.4	0.0	100.0
46.8	0.0	0.0	297.7	10.9	72.8	1894.5	0.0	100.0	12056.6	0.0	100.0
50.4	0.0	0.0	320.6	7.9	80.7	2040.0	0.0	100.0	12983.0	0.0	100.0
54.2	0.0	0.0	345.2	5.7	86.4	2196.8	0.0	100.0	13980.6	0.0	100.0
58.4	0.0	0.0	371.7	4.1	90.5	2365.6	0.0	100.0	15054.8	0.0	100.0
62.9	0.0	0.0	400.3	2.9	93.4	2547.3	0.0	100.0	16211.5	0.0	100.0
67.7	0.0	0.0	431.0	2.0	95.4	2743.1	0.0	100.0	17457.2	0.0	100.0
72.9	0.0	0.0	464.1	1.4	96.9	2953.8	0.0	100.0	18798.5	0.0	100.0
78.5	0.0	0.0	499.8	1.0	97.8	3180.8	0.0	100.0	20242.9	0.0	100.0
84.6	0.0	0.0	538.2	0.7	98.5	3425.2	0.0	100.0	21798.3	0.0	100.0
91.1	0.0	0.0	579.6	0.5	99.0	3688.4	0.0	100.0	23473.1	0.0	100.0
98.1	0.0	0.0	624.1	0.3	99.3	3971.8	0.0	100.0	25276.7	0.0	100.0
105.6	0.0	0.0	672.0	0.2	99.5	4276.9	0.0	100.0	27218.9	0.0	100.0
113.7	0.0	0.0	723.7	0.1	99.7	4605.6	0.0	100.0	29310.3	0.0	100.0
122.5	0.0	0.0	779.3	0.1	99.8	4959.4	0.0	100.0	31562.3	0.0	100.0
131.9	0.0	0.0	839.2	0.1	99.9	5340.5	0.0	100.0	33987.4	0.0	100.0
142.0	0.0	0.0	903.6	0.0	99.9	5750.8	0.0	100.0	36598.9	0.0	100.0
152.9	0.0	0.0	973.1	0.0	99.9	6192.7	0.0	100.0	39411.0	0.0	100.0
164.6	0.0	0.0	1047.8	0.0	100.0	6668.5	0.0	100.0	42439.2	0.0	100.0
177.3	0.0	0.0	1128.4	0.0	100.0	7180.9	0.0	100.0	45700.0	0.0	100.0

D (10%) : 227.6 (nm) D (50%) : 260.6 (nm) D (90%) : 368.3 (nm)

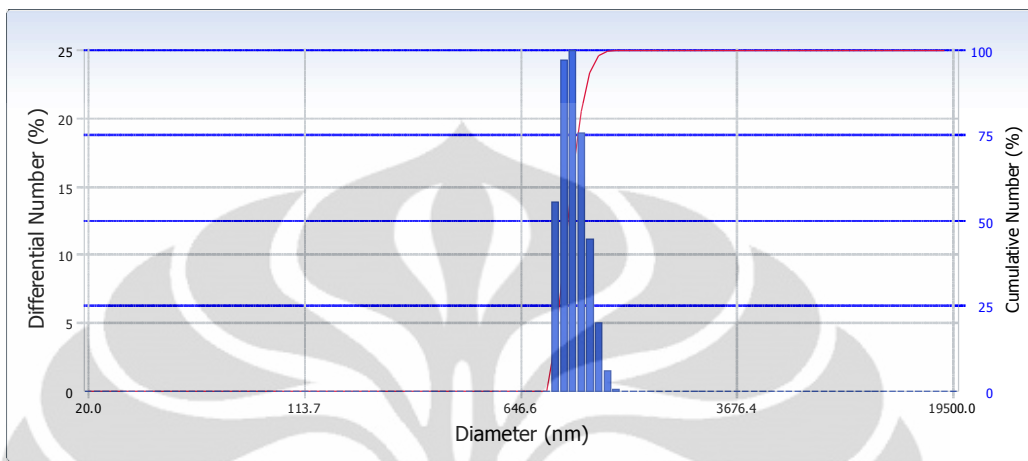
Number Distribution

S/N :

User : Common	Group : ZnO	Repetition : 1/3
Date : 5/3/2012	File Name : ZnO-1P_20120503_154149	
Time : 15:41:49	Sample Information : ZnO-1P	
SOP Name : Nanotech	Security : No Security	

Version 2.31 / 2.00

Number Distribution



Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	994.3	104.4
2	0.0	0.0
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	994.3	104.4
Residual :	1.518e-002	(O.K)

Cumulants Results

Diameter (d) : 1127.5 (nm)
 Polydispersity Index (P.I.) : 0.230
 Diffusion Const. (D) : 4.363e-009 (cm²/sec)

Measurement Condition
 Temperature : 25.0 (°C)
 Diluent Name : WATER
 Refractive Index : 1.3328
 Viscosity : 0.8878 (cP)
 Scattering Intensity : 10312 (cps)

Number Distribution Table

d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
20.0	0.0	0.0	113.7	0.0	0.0	646.6	0.0	0.0	3676.4	0.0	100.0
21.4	0.0	0.0	121.9	0.0	0.0	693.1	0.0	0.0	3941.1	0.0	100.0
23.0	0.0	0.0	130.7	0.0	0.0	743.0	0.0	0.0	4224.9	0.0	100.0
24.6	0.0	0.0	140.1	0.0	0.0	796.5	0.0	0.0	4529.0	0.0	100.0
26.4	0.0	0.0	150.2	0.0	0.0	853.9	13.9	13.9	4855.1	0.0	100.0
28.3	0.0	0.0	161.0	0.0	0.0	915.4	24.3	38.2	5204.6	0.0	100.0
30.4	0.0	0.0	172.6	0.0	0.0	981.3	25.0	63.1	5579.3	0.0	100.0
32.5	0.0	0.0	185.0	0.0	0.0	1051.9	18.9	82.1	5981.0	0.0	100.0
34.9	0.0	0.0	198.3	0.0	0.0	1127.6	11.2	93.3	6411.6	0.0	100.0
37.4	0.0	0.0	212.6	0.0	0.0	1208.8	5.0	98.3	6873.1	0.0	100.0
40.1	0.0	0.0	227.9	0.0	0.0	1295.8	1.5	99.8	7368.0	0.0	100.0
43.0	0.0	0.0	244.3	0.0	0.0	1389.1	0.2	100.0	7898.4	0.0	100.0
46.1	0.0	0.0	261.9	0.0	0.0	1489.1	0.0	100.0	8467.0	0.0	100.0
49.4	0.0	0.0	280.8	0.0	0.0	1596.3	0.0	100.0	9076.6	0.0	100.0
52.9	0.0	0.0	301.0	0.0	0.0	1711.3	0.0	100.0	9730.0	0.0	100.0
56.7	0.0	0.0	322.6	0.0	0.0	1834.5	0.0	100.0	10430.5	0.0	100.0
60.8	0.0	0.0	345.9	0.0	0.0	1966.5	0.0	100.0	11181.5	0.0	100.0
65.2	0.0	0.0	370.8	0.0	0.0	2108.1	0.0	100.0	11986.5	0.0	100.0
69.9	0.0	0.0	397.5	0.0	0.0	2259.9	0.0	100.0	12849.4	0.0	100.0
74.9	0.0	0.0	426.1	0.0	0.0	2422.6	0.0	100.0	13774.5	0.0	100.0
80.3	0.0	0.0	456.7	0.0	0.0	2597.0	0.0	100.0	14766.1	0.0	100.0
86.1	0.0	0.0	489.6	0.0	0.0	2783.9	0.0	100.0	15829.2	0.0	100.0
92.3	0.0	0.0	524.9	0.0	0.0	2984.4	0.0	100.0	16968.8	0.0	100.0
99.0	0.0	0.0	562.7	0.0	0.0	3199.2	0.0	100.0	18190.4	0.0	100.0
106.1	0.0	0.0	603.2	0.0	0.0	3429.5	0.0	100.0	19500.0	0.0	100.0

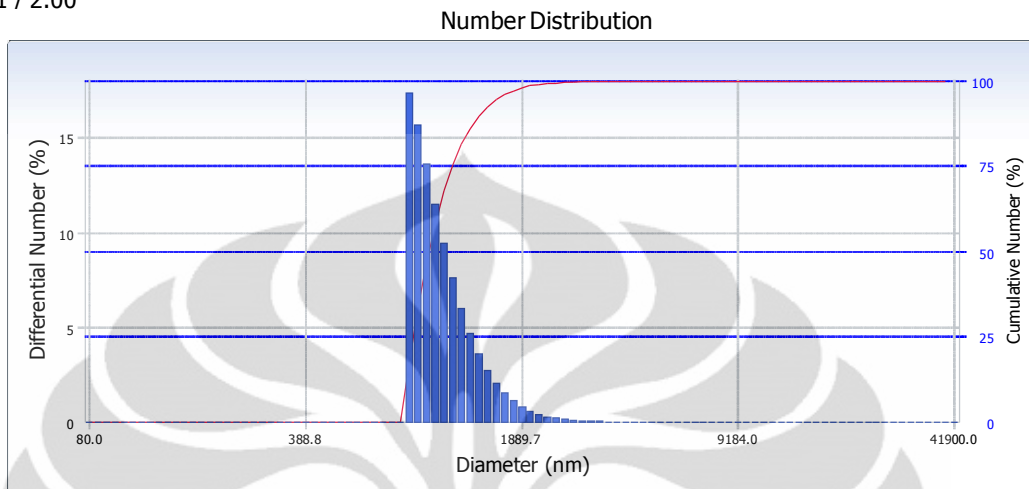
D (10%) : 837.4 (nm) D (50%) : 946 (nm) D (90%) : 1105 (nm)

Number Distribution

S/N :

User : Common Group : ZnO-EG Repetition : 1/1
Date : 6/6/2012 File Name : ZnO-1.5P-15H_20120606_143222
Time : 14:32:22 Sample Information : EG
SOP Name : Nanotech Security : No Security

Version 2.31 / 2.00



Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	1,080.9	299.7
2	0.0	0.0
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	1,080.9	299.7
Residual :	5.945e-003	(O.K)

Cumulants Results

Diameter (d) : 3039.7 (nm)
Polydispersity Index (P.I.) : 0.146
Diffusion Const. (D) : 4.620e-010 (cm²/sec)
Measurement Condition
Temperature : 25.0 (°C)
Diluent Name : EG 50
Refractive Index : 1.4627
Viscosity : 3.1100 (cP)
Scattering Intensity : 17307 (cps)

Number Distribution Table

d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
80.0	0.0	0.0	388.8	0.0	0.0	1889.7	0.8	98.0	9184.0	0.0	100.0
85.2	0.0	0.0	414.2	0.0	0.0	2013.0	0.6	98.6	9783.6	0.0	100.0
90.8	0.0	0.0	441.2	0.0	0.0	2144.5	0.4	99.0	10422.3	0.0	100.0
96.7	0.0	0.0	470.0	0.0	0.0	2284.5	0.3	99.3	11102.7	0.0	100.0
103.0	0.0	0.0	500.7	0.0	0.0	2433.6	0.2	99.5	11827.6	0.0	100.0
109.8	0.0	0.0	533.4	0.0	0.0	2592.5	0.2	99.7	12599.8	0.0	100.0
116.9	0.0	0.0	568.2	0.0	0.0	2761.7	0.1	99.8	13422.3	0.0	100.0
124.6	0.0	0.0	605.3	0.0	0.0	2942.0	0.1	99.8	14298.6	0.0	100.0
132.7	0.0	0.0	644.9	0.0	0.0	3134.1	0.1	99.9	15232.1	0.0	100.0
141.3	0.0	0.0	687.0	0.0	0.0	3338.7	0.0	99.9	16226.5	0.0	100.0
150.6	0.0	0.0	731.8	0.0	0.0	3556.7	0.0	100.0	17285.9	0.0	100.0
160.4	0.0	0.0	779.6	0.0	0.0	3788.9	0.0	100.0	18414.4	0.0	100.0
170.9	0.0	0.0	830.5	17.4	17.4	4036.2	0.0	100.0	19616.6	0.0	100.0
182.0	0.0	0.0	884.7	15.7	33.1	4299.7	0.0	100.0	20897.3	0.0	100.0
193.9	0.0	0.0	942.5	13.6	46.7	4580.4	0.0	100.0	22261.5	0.0	100.0
206.6	0.0	0.0	1004.0	11.5	58.2	4879.5	0.0	100.0	23714.9	0.0	100.0
220.1	0.0	0.0	1069.5	9.5	67.7	5198.0	0.0	100.0	25263.1	0.0	100.0
234.4	0.0	0.0	1139.4	7.6	75.3	5537.4	0.0	100.0	26912.4	0.0	100.0
249.7	0.0	0.0	1213.7	6.0	81.4	5898.9	0.0	100.0	28669.4	0.0	100.0
266.0	0.0	0.0	1293.0	4.7	86.1	6284.0	0.0	100.0	30541.1	0.0	100.0
283.4	0.0	0.0	1377.4	3.6	89.7	6694.3	0.0	100.0	32535.0	0.0	100.0
301.9	0.0	0.0	1467.3	2.7	92.4	7131.3	0.0	100.0	34659.0	0.0	100.0
321.6	0.0	0.0	1563.1	2.1	94.5	7596.9	0.0	100.0	36921.8	0.0	100.0
342.6	0.0	0.0	1665.1	1.5	96.0	8092.8	0.0	100.0	39332.2	0.0	100.0
365.0	0.0	0.0	1773.9	1.1	97.2	8621.2	0.0	100.0	41900.0	0.0	100.0

D (10%) : 808.5 (nm) D (50%) : 959.7 (nm) D (90%) : 1386.8 (nm)

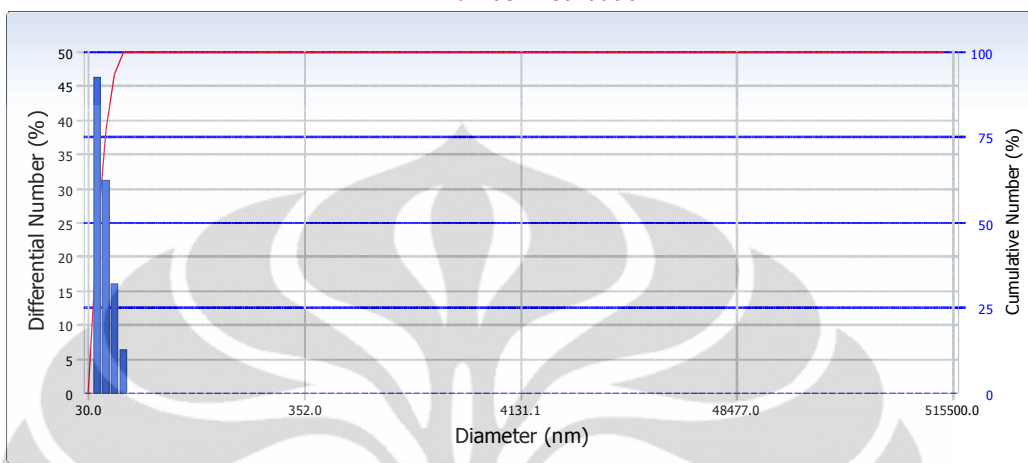
Number Distribution

S/N :

User	: Common	Group	: ZnO-EG	Repetition	: 1/1
Date	: 6/6/2012	File Name	: ZnO-0.5P-15h_20120606_152123		
Time	: 15:21:23	Sample Information	: ZnO-EG		
SOP Name	: Nanotech			Security	: No Security

Version 2.31 / 2.00

Number Distribution



Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	36.1	3.4
2	8,314.0	2,252.5
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	37.3	104.9
Residual	: 9.069e-003	(O.K)

Cumulants Results

Diameter (d)	: 6698.5	(nm)
Polydispersity Index (P.I.)	: 4.568	
Diffusion Const. (D)	: 2.096e-010	(cm ² /sec)
Measurement Condition		
Temperature	: 25.0	(°C)
Diluent Name	: EG 50	
Refractive Index	: 1.4627	
Viscosity	: 3.1100	(cP)
Scattering Intensity	: 9741	(cps)

Number Distribution Table

d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
30.0	0.0	0.0	352.0	0.0	100.0	4131.1	0.0	100.0	48477.0	0.0	100.0
33.1	46.3	46.3	388.5	0.0	100.0	4558.7	0.0	100.0	53495.2	0.0	100.0
36.5	31.2	77.5	428.7	0.0	100.0	5030.6	0.0	100.0	59032.8	0.0	100.0
40.3	16.0	93.5	473.1	0.0	100.0	5551.4	0.0	100.0	65143.7	0.0	100.0
44.5	6.4	100.0	522.0	0.0	100.0	6126.0	0.0	100.0	71887.2	0.0	100.0
49.1	0.0	100.0	576.1	0.0	100.0	6760.2	0.0	100.0	79328.7	0.0	100.0
54.2	0.0	100.0	635.7	0.0	100.0	7460.0	0.0	100.0	87540.5	0.0	100.0
59.8	0.0	100.0	701.5	0.0	100.0	8232.2	0.0	100.0	96602.4	0.0	100.0
66.0	0.0	100.0	774.1	0.0	100.0	9084.4	0.0	100.0	106602.4	0.0	100.0
72.8	0.0	100.0	854.3	0.0	100.0	10024.8	0.0	100.0	117637.5	0.0	100.0
80.3	0.0	100.0	942.7	0.0	100.0	11062.5	0.0	100.0	129814.9	0.0	100.0
88.7	0.0	100.0	1040.3	0.0	100.0	12207.6	0.0	100.0	143252.9	0.0	100.0
97.8	0.0	100.0	1148.0	0.0	100.0	13471.3	0.0	100.0	158082.0	0.0	100.0
108.0	0.0	100.0	1266.8	0.0	100.0	14865.9	0.0	100.0	174446.1	0.0	100.0
119.1	0.0	100.0	1398.0	0.0	100.0	16404.7	0.0	100.0	192504.1	0.0	100.0
131.5	0.0	100.0	1542.7	0.0	100.0	18102.9	0.0	100.0	212431.5	0.0	100.0
145.1	0.0	100.0	1702.4	0.0	100.0	19976.8	0.0	100.0	234421.7	0.0	100.0
160.1	0.0	100.0	1878.6	0.0	100.0	22044.7	0.0	100.0	258688.2	0.0	100.0
176.7	0.0	100.0	2073.1	0.0	100.0	24326.7	0.0	100.0	285466.7	0.0	100.0
194.9	0.0	100.0	2287.7	0.0	100.0	26845.0	0.0	100.0	315017.3	0.0	100.0
215.1	0.0	100.0	2524.5	0.0	100.0	29623.9	0.0	100.0	347626.8	0.0	100.0
237.4	0.0	100.0	2785.8	0.0	100.0	32690.4	0.0	100.0	383611.9	0.0	100.0
262.0	0.0	100.0	3074.2	0.0	100.0	36074.4	0.0	100.0	423322.1	0.0	100.0
289.1	0.0	100.0	3392.4	0.0	100.0	39808.7	0.0	100.0	467143.0	0.0	100.0
319.0	0.0	100.0	3743.6	0.0	100.0	43929.6	0.0	100.0	515500.0	0.0	100.0

D (10%) : 33.1 (nm) D (50%) : 33.5 (nm) D (90%) : 39.4 (nm)

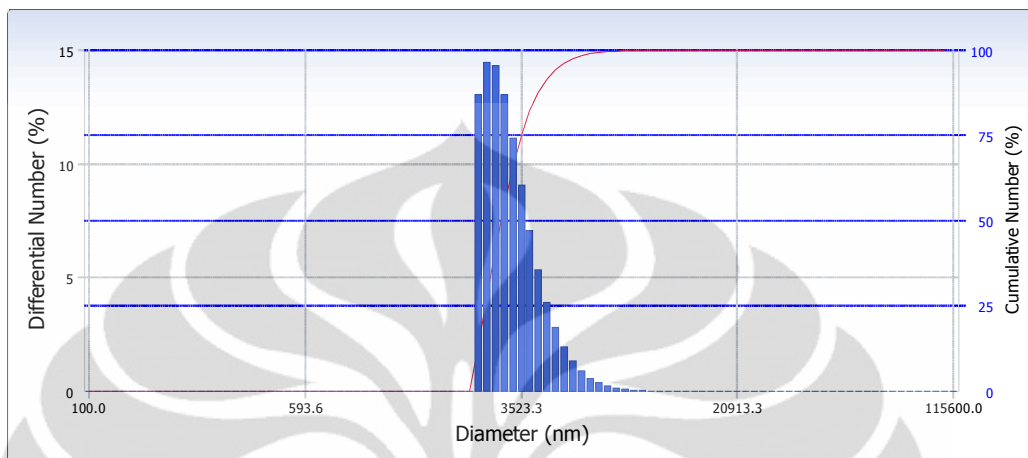
Number Distribution

S/N :

User : Common	Group : ZnO-0.7P-EG	Repetition : 2/3
Date : 6/13/2012	File Name : ZnO-0.7P-EG_20120613_102848	
Time : 10:28:48	Sample Information : ZnO-0.7P-EG	
SOP Name : Nanotech	Security : No Security	

Version 2.31 / 2.00

Number Distribution



Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	3,314.9	859.1
2	0.0	0.0
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	3,314.9	859.1
Residual :	3.725e-003	(O.K)

Cumulants Results

Diameter (d)	: 5543.9	(nm)
Polydispersity Index (P.I.)	: 0.335	
Diffusion Const. (D)	: 2.533e-010	(cm ² /sec)
Measurement Condition		
Temperature	: 25.0	(°C)
Diluent Name	: EG-50	
Refractive Index	: 1.4627	
Viscosity	: 3.1100	(cP)
Scattering Intensity	: 10271	(cps)

Number Distribution Table

d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
100.0	0.0	0.0	593.6	0.0	0.0	3523.3	9.1	75.1	20913.3	0.0	100.0
107.4	0.0	0.0	637.4	0.0	0.0	3783.4	7.1	82.2	22457.5	0.0	100.0
115.3	0.0	0.0	684.5	0.0	0.0	4062.8	5.4	87.5	24115.7	0.0	100.0
123.8	0.0	0.0	735.0	0.0	0.0	4362.8	3.9	91.5	25896.4	0.0	100.0
133.0	0.0	0.0	789.3	0.0	0.0	4684.9	2.8	94.3	27808.6	0.0	100.0
142.8	0.0	0.0	847.6	0.0	0.0	5030.9	2.0	96.2	29861.9	0.0	100.0
153.3	0.0	0.0	910.1	0.0	0.0	5402.3	1.3	97.6	32066.9	0.0	100.0
164.7	0.0	0.0	977.3	0.0	0.0	5801.2	0.9	98.5	34434.6	0.0	100.0
176.8	0.0	0.0	1049.5	0.0	0.0	6229.6	0.6	99.0	36977.2	0.0	100.0
189.9	0.0	0.0	1127.0	0.0	0.0	6689.6	0.4	99.4	39707.6	0.0	100.0
203.9	0.0	0.0	1210.2	0.0	0.0	7183.5	0.2	99.7	42639.5	0.0	100.0
218.9	0.0	0.0	1299.6	0.0	0.0	7714.0	0.1	99.8	45788.0	0.0	100.0
235.1	0.0	0.0	1395.5	0.0	0.0	8283.5	0.1	99.9	49168.9	0.0	100.0
252.5	0.0	0.0	1498.6	0.0	0.0	8895.2	0.1	99.9	52799.4	0.0	100.0
271.1	0.0	0.0	1609.2	0.0	0.0	9552.0	0.0	100.0	56698.1	0.0	100.0
291.1	0.0	0.0	1728.1	0.0	0.0	10257.3	0.0	100.0	60884.6	0.0	100.0
312.6	0.0	0.0	1855.7	0.0	0.0	11014.7	0.0	100.0	65380.2	0.0	100.0
335.7	0.0	0.0	1992.7	0.0	0.0	11828.0	0.0	100.0	70207.8	0.0	100.0
360.5	0.0	0.0	2139.8	0.0	0.0	12701.4	0.0	100.0	75391.8	0.0	100.0
387.1	0.0	0.0	2297.8	0.0	0.0	13639.2	0.0	100.0	80958.6	0.0	100.0
415.7	0.0	0.0	2467.5	13.1	13.1	14646.3	0.0	100.0	86936.5	0.0	100.0
446.4	0.0	0.0	2649.7	14.5	27.6	15727.8	0.0	100.0	93355.7	0.0	100.0
479.4	0.0	0.0	2845.3	14.3	41.9	16889.1	0.0	100.0	100249.0	0.0	100.0
514.7	0.0	0.0	3055.4	13.0	54.9	18136.1	0.0	100.0	107651.2	0.0	100.0
552.8	0.0	0.0	3281.0	11.1	66.0	19475.3	0.0	100.0	115600.0	0.0	100.0

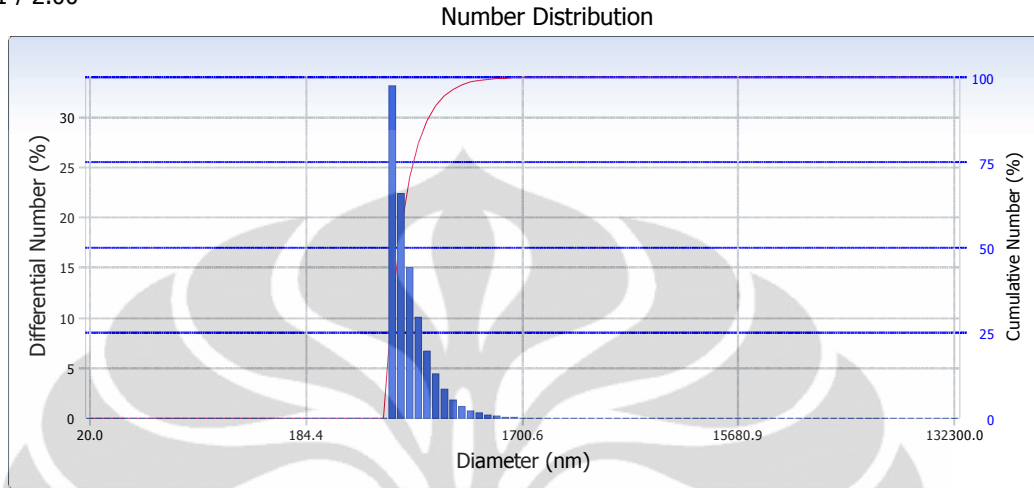
D (10%) : 2426.6 (nm)	D (50%) : 2974.7 (nm)	D (90%) : 4247.4 (nm)
-----------------------	-----------------------	-----------------------

Number Distribution

S/N :

User : Common Group : ZnO-1P-EG Repetition : 1/1
 Date : 6/13/2012 File Name : ZnO-1P-EG_20120613_111806
 Time : 11:18:06 Sample Information : ZnO-1P-EG
 SOP Name : Nanotech Security : No Security

Version 2.31 / 2.00



Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	546.9	144.4
2	0.0	0.0
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	546.9	144.4
Residual :	1.055e-002	(O.K)

Cumulants Results

Diameter (d) : 2831.3 (nm)
 Polydispersity Index (P.I.) : 1.684
 Diffusion Const. (D) : 4.960e-010 (cm²/sec)

Measurement Condition
 Temperature : 25.0 (°C)
 Diluent Name : EG-50
 Refractive Index : 1.4627
 Viscosity : 3.1100 (cP)
 Scattering Intensity : 4737 (cps)

Number Distribution Table

d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
20.0	0.0	0.0	184.4	0.0	0.0	1700.6	0.1	99.9	15680.9	0.0	100.0
21.9	0.0	0.0	201.6	0.0	0.0	1858.6	0.0	99.9	17138.1	0.0	100.0
23.9	0.0	0.0	220.3	0.0	0.0	2031.3	0.0	100.0	18730.7	0.0	100.0
26.1	0.0	0.0	240.8	0.0	0.0	2220.1	0.0	100.0	20471.3	0.0	100.0
28.5	0.0	0.0	263.1	0.0	0.0	2426.4	0.0	100.0	22373.6	0.0	100.0
31.2	0.0	0.0	287.6	0.0	0.0	2651.8	0.0	100.0	24452.7	0.0	100.0
34.1	0.0	0.0	314.3	0.0	0.0	2898.3	0.0	100.0	26725.0	0.0	100.0
37.3	0.0	0.0	343.5	0.0	0.0	3167.6	0.0	100.0	29208.5	0.0	100.0
40.7	0.0	0.0	375.4	0.0	0.0	3461.9	0.0	100.0	31922.8	0.0	100.0
44.5	0.0	0.0	410.3	0.0	0.0	3783.7	0.0	100.0	34889.3	0.0	100.0
48.6	0.0	0.0	448.5	33.1	33.1	4135.3	0.0	100.0	38131.4	0.0	100.0
53.2	0.0	0.0	490.1	22.4	55.5	4519.5	0.0	100.0	41674.9	0.0	100.0
58.1	0.0	0.0	535.7	15.1	70.6	4939.5	0.0	100.0	45547.6	0.0	100.0
63.5	0.0	0.0	585.5	10.1	80.7	5398.5	0.0	100.0	49780.2	0.0	100.0
69.4	0.0	0.0	639.9	6.7	87.4	5900.2	0.0	100.0	54406.1	0.0	100.0
75.8	0.0	0.0	699.3	4.4	91.8	6448.5	0.0	100.0	59461.9	0.0	100.0
82.9	0.0	0.0	764.3	2.9	94.7	7047.7	0.0	100.0	64987.6	0.0	100.0
90.6	0.0	0.0	835.3	1.9	96.6	7702.7	0.0	100.0	71026.7	0.0	100.0
99.0	0.0	0.0	913.0	1.2	97.8	8418.5	0.0	100.0	77627.0	0.0	100.0
108.2	0.0	0.0	997.8	0.8	98.6	9200.8	0.0	100.0	84840.6	0.0	100.0
118.3	0.0	0.0	1090.5	0.5	99.1	10055.8	0.0	100.0	92724.6	0.0	100.0
129.3	0.0	0.0	1191.9	0.3	99.4	10990.2	0.0	100.0	101341.2	0.0	100.0
141.3	0.0	0.0	1302.6	0.2	99.7	12011.5	0.0	100.0	110758.6	0.0	100.0
154.4	0.0	0.0	1423.7	0.1	99.8	13127.7	0.0	100.0	121051.1	0.0	100.0
168.7	0.0	0.0	1556.0	0.1	99.9	14347.6	0.0	100.0	132300.0	0.0	100.0

D (10%) : 421.5 (nm) D (50%) : 479.5 (nm) D (90%) : 674.4 (nm)

Tabel Data Nilai Pengujian Konduktifitas Panas ZnO/Water Menggunakan KD2 pada Temperatur 25 °C.

ZnO	I	II	III	VI	V	Rerata	Peningkatan Konduktivitas Termal
0.10%	0.56	0.55	0.57	0.57	0.57	0.5640	1.0071
0.50%	0.57	0.57	0.56	0.58	0.57	0.5700	1.0179
0.70%	0.58	0.58	0.58	0.59	0.58	0.5820	1.0393
1%	0.59	0.59	0.6	0.59	0.59	0.592	1.0571

Tabel Data Nilai Pengujian Konduktifitas Panas ZnO/Ethylene Glycol Menggunakan KD2 pada Temperatur 25 °C.

ZnO	I	II	III	VI	V	Rerata	Peningkatan Konduktivitas Termal
0.10%	0.26	0.26	0.26	0.25	0.26	0.2580	1.0320
0.50%	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.2700	1.0800
0.70%	0.28	0.28	0.28	0.27	0.27	0.2760	1.1040
1%	0.29	0.29	0.29	0.28	0.29	0.2880	1.1520