

**PENGARUH PROSENTASE MASSA DAN PH NANOFLUIDA
(Al_2O_3 – AIR) TERHADAP *FLUID PROPERTIES*-NYA**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

**FITRI SUKMAWATI
NIM. 0910620051 – 62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2013**

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH PROSENTASE MASSA DAN PH NANOFLUIDA
(Al_2O_3 – AIR) TERHADAP *FLUID PROPERTIES*-NYA**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:
FITRI SUKMAWATI
NIM. 0910620051 – 62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST.,M.Eng
NIP. 19740121 199903 1 001

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 19720903 199702 1 001

**PENGARUH PROSENTASE MASSA DAN PH NANOFLUIDA
(Al₂O₃ – AIR) TERHADAP FLUID PROPERTIES-NYA**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

FITRI SUKMAWATI
NIM. 0910620051 – 62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 25 Juli 2013

MAJELIS PENGUJI

Skripsi I

Skripsi II

Ir. Djoko Sutikno, M. Eng.
NIP. 19541009 198303 1 002

Ir. Ari Wahjudi, MT.
NIP. 19680324 199412 1 001

Skripsi III

Ir. Endi Sutikno, MT.
NIP. 19590411 198710 1 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 19720903 199702 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan berkat dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan judul “Pengaruh Prosentase Massa dan pH Nanofluida (Al_2O_3 – Air) terhadap *Fluid Properties*-Nya” ini dengan baik.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan dan penyelesaian skripsi ini telah dibantu oleh banyak pihak. Oleh sebab itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini:

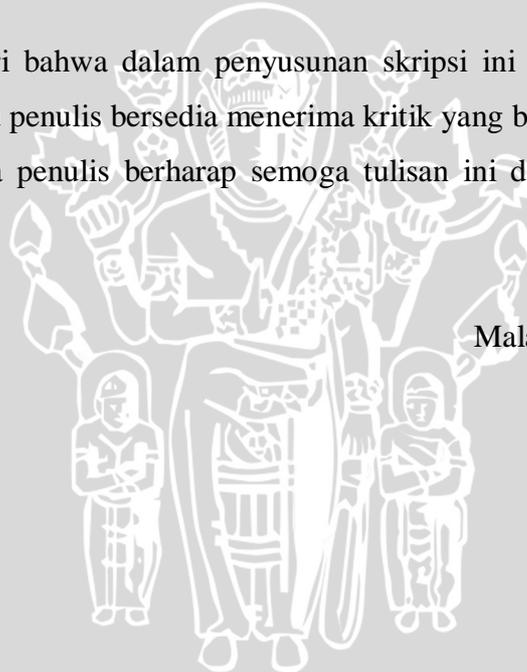
1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dan selaku dosen pembimbing II skripsi yang telah memberikan bimbingan dan motivasi selama penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Dr.Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng., selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng., selaku dosen pembimbing I skripsi yang telah memberikan pengarahan, bimbingan dan memberikan motivasi selama penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Suharto, MT., selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan pengarahan, bimbingan dan semangat di dalam perkuliahan.
5. Bapak Agung Sugeng Widodo, ST., MT., Ph.D, selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Konversi Energi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
6. Orang tua saya, Ir. Edi Pangestu dan Ir. Roadiah Saleh yang telah memberikan kasih sayang, doa, motivasi, semangat serta dukungan moral dan materiil.
7. Kakak saya, Nur Sakinah Eskariani dan adik saya, Abdurrachman Azhar yang telah memberikan doa, motivasi, dukungan moril terhadap penulis selama kuliah maupun dalam penyusunan skripsi ini.
8. Seluruh Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan yang sangat mendukung baik dalam perkuliahan maupun selama penyusunan skripsi ini.
9. Seluruh Staf Administrasi Jurusan Teknik Mesin serta Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
10. Teman seperjuangan skripsi, Mochammad Wildan yang telah membantu dan memberikan semangat dalam penyusunan skripsi ini.

11. Keluarga Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Teknik Mesin, Ir. Erwin Sulistyono, MT. selaku kepala laboratorium, Pak Suhastomo selaku laboran, Ibu Putu Hadi Setyarini, dan para asisten, Adhyatma Pratyaksa, Sulistyono, Reza Tri Anggara, Mohammad Zanuarsah, Jhenta Dawam Guna, Ivan Haryo Prasoj, Rivky Haris Rizaldy, Francisca Lova, dan Satriyo Wiweko yang telah memberikan bantuan, semangat dan motivasi dalam penyusunan skripsi ini.
12. Teman-teman mesin angkatan 2009 “*Black Mamba*” dan khususnya untuk “*Mames*” yang telah menemani perjuangan penulis dalam perkuliahan dan memberikan doa, semangat serta motivasi.
13. Teman-teman kos Sumbersari 290 C yang telah menemani dalam penyusunan skripsi ini.
14. Seluruh pihak terkait yang telah membantu dan tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis bersedia menerima kritik yang bersifat membangun di kemudian hari. Akhirnya penulis berharap semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, Juli 2013

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR GRAFIK	viii
RINGKASAN	ix
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	3
2.2 Nanofluida.....	4
2.2.1 Konsep Nanofluida	5
2.2.2 Perkembangan Nanofluida.....	6
2.2.3 Pembuatan Nanofluida.....	8
a. Metode Satu Langkah (<i>Single-Step Method</i>).....	9
b. Metode Dua Langkah (<i>Two-Step Method</i>).....	10
2.3 <i>Fluid Properties</i>	11
2.3.1 Massa Jenis.....	11
2.3.2 Viskositas	12
2.3.3 Konduktivitas Termal	18
2.4 Hipotesis	22
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Metode Penelitian.....	23
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	23
3.3 Variabel Penelitian	23
3.4 Alat-alat yang digunakan.....	24
3.5 Persiapan Nanofluida.....	29
3.6 Skema Instalasi Alat Penelitian.....	30

3.7	Prosedur Penelitian.....	30
3.8	Diagram Alir Penelitian.....	33
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Pengolahan Analisa Data.....	34
4.1.1	Data Hasil Penelitian.....	34
4.1.2	Perhitungan Data	36
4.1.3	Data Hasil Perhitungan	38
4.2	Pembahasan Grafik	40
4.2.1	Pembahasan Grafik Densitas Nanofluida.....	40
4.2.2	Pembahasan Grafik Viskositas Nanofluida	42
4.2.3	Pembahasan Grafik Konduktivitas Termal Nanofluida	45
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	50
5.2	Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA		x



DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Konduktivitas Termal dari Beberapa Material pada Temperatur 300°K.....	6
Tabel 2.2	Perbandingan Mikropartikel dengan Nanopartikel.....	7
Tabel 3.1	Spesifikasi Nanopartikel Alumina (Al ₂ O ₃)	29
Tabel 4.1	Data Hasil Pengukuran Massa Nanofluida.....	34
Tabel 4.2	Data Hasil Pengukuran Waktu Alir Nanofluida pada Viskometer Ostwald	35
Tabel 4.3	Data Data Hasil Pengukuran Beda Temperatur pada Konduktivitas Meter	36
Tabel 4.4	Data Hasil Perhitungan Densitas Nanofluida.....	39
Tabel 4.5	Data Hasil Perhitungan Viskositas Nanofluida.....	39
Tabel 4.6	Data Data Hasil Perhitungan Konduktivitas Termal Nanofluida.....	40



DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Nanofluida Terdiri dari Fluida Dasar dan Partikel Ukuran Nano yang telah tersuspensi	5
Gambar 2.2	Foto TEM Nanopartikel Alumina (Al_2O_3).....	5
Gambar 2.3	Perbandingan Nanopartikel dengan Mikropartikel	8
Gambar 2.4	Skema <i>hydrometer</i> (a), <i>pycnometer</i> (b), dan <i>bicapillary pycnometer</i> (c).....	12
Gambar 2.5	Profil fluida mengalir di antara dua permukaan datar pada kecepatan yang <i>steady</i>	13
Gambar 2.6	Tegangan geser vs laju geser untuk fluida Newtonian	13
Gambar 2.7	Kekentalan nanofluida sebanding dengan prosentase volume	14
Gambar 2.8	Grafik hasil eksperimental viskositas nanofluida menurut prosentase volume	14
Gambar 2.9	Grafik viskositas nanofluida ($d=7$ nm) dan fluida dasar (air) menurut nilai pH-nya.....	15
Gambar 2.10	Dua tipe dari viskometer Ostwald	16
Gambar 2.11	Skema viskometer bola jatuh	17
Gambar 2.12	Skema viskometer rotasi	18
Gambar 2.13	Efek bentuk partikel SiC dengan fluida dasar air.....	19
Gambar 2.14	Skema pengukuran (a) <i>transient hot-wire method</i> dan (b) <i>steady-state-parallel-plate method</i>	20
Gambar 2.15	<i>Steady state parallel plate</i>	21
Gambar 3.1	<i>Magnetic Stirrer</i>	24
Gambar 3.2	Timbangan Elektrik	25
Gambar 3.3	pH meter.....	26
Gambar 3.4	Viskometer Ostwald	26
Gambar 3.5	<i>Stopwatch</i>	27
Gambar 3.6	<i>Ball pipet</i>	27
Gambar 3.7	Piknometer	27
Gambar 3.8	Konduktivitasmeter	28
Gambar 3.9	<i>Power supply</i>	28
Gambar 3.10	<i>Data logger</i>	28

Gambar 3.11 Laptop 28

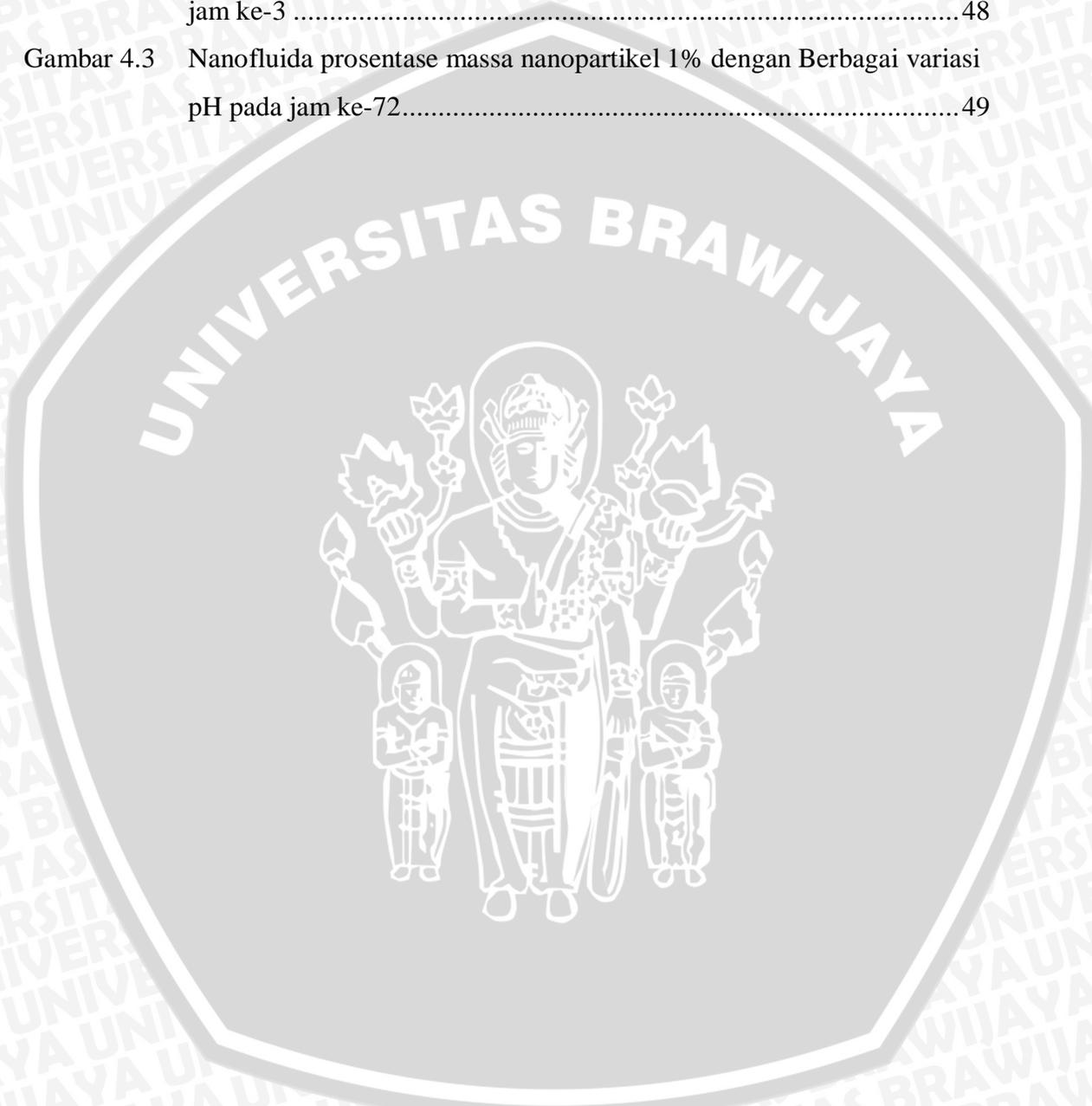
Gambar 3.12 Instalasi Penelitian Pengujian Konduktivitas termal..... 30

Gambar 3.13 Diagram Alir Penelitian..... 33

Gambar 4.1 Nanofluida prosentase massa nanopartikel 1% dengan berbagai pH... 47

Gambar 4.2 Nanofluida prosentase massa nanopartikel 1% dengan pH 9 pada jam ke-3 48

Gambar 4.3 Nanofluida prosentase massa nanopartikel 1% dengan Berbagai variasi pH pada jam ke-72..... 49



DAFTAR GRAFIK

No	Judul	Halaman
Grafik 4.1	Grafik Pengaruh Variasi Tingkat Keasaman (pH) Nanofluida terhadap Densitas Nanofluida	41
Grafik 4.2	Grafik Pengaruh Prosentase Massa Nanopartikel terhadap Densitas Nanofluida.....	42
Grafik 4.3	Grafik Pengaruh Variasi Tingkat Keasaman (pH) Nanofluida terhadap Viskositas Nanofluida.....	43
Grafik 4.4	Grafik Pengaruh Prosentase Massa Nanopartikel terhadap Viskositas Nanofluida.....	44
Grafik 4.5	Grafik Pengaruh Variasi Tingkat Keasaman (pH) Nanofluida terhadap Konduktivitas Termal Nanofluida.....	45
Grafik 4.6	Grafik Pengaruh Prosentase Massa Nanopartikel terhadap Konduktivitas Termal Nanofluida.....	46



RINGKASAN

FITRI SUKMAWATI, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2013, Pengaruh Prosentase Massa dan pH Nanofluida (Al_2O_3 – Air) terhadap Fluid Properties-Nya, Dosen Pembimbing: Nurkholis Hamidi; Slamet Wahyudi.

Penggunaan air sebagai fluida penukar kalor yang masih kurang efisien sehingga dibutuhkan alternatif untuk mengubah karakteristik (*fluid properties*) air agar lebih efisien dalam aplikasinya. Salah satu cara untuk memperbaiki *fluid properties* pada air adalah nanofluida. Nanofluida mulai kerap digunakan sebagai fluida penukar kalor karena nanofluida memiliki karakteristik perpindahan panas yang lebih baik daripada air. Namun penelitian tentang nanofluida ini masih terbatas, sehingga masih perlu dilakukan penelitian-penelitian yang mendalam tentang nanofluida untuk menambah khazanah ilmu pengetahuan.

Nanofluida adalah suatu campuran atau suspensi antara fluida cair (yang disebut dengan fluida dasar) dengan partikel padat yang mempunyai ukuran nanometer atau 10^{-9} m (nanopartikel). Namun, nanopartikel ini dapat mengendap dengan berbagai kondisi tingkat keasaman (pH) pada fluida dasarnya. Pada penelitian ini digunakan nanopartikel Al_2O_3 dan air sebagai fluida dasarnya dengan variasi prosentase massa nanopartikel: 0,25; 0,5; 0,75 dan 1% dari massa nanofluida seluruhnya sedangkan variasi pH fluida dasar : 5, 7, 9. Hasil dari penelitian ini berupa densitas, viskositas dan konduktivitas termal nanofluida.

Perbedaan tingkat keasaman pH nanofluida mempengaruhi densitas, viskositas dan konduktivitas termal. pH nanofluida dengan karakteristik tertinggi didapatkan pada pH 7 (netral). Hal ini disebabkan oleh pH nanofluida dapat mempengaruhi muatan pada permukaan nanopartikel sehingga kestabilan nanopartikel Al_2O_3 pada air akan bervariasi. Penambahan nanopartikel meningkatkan densitas, viskositas dan konduktivitas termal nanofluida. Prosentase massa nanopartikel dengan nilai karakteristik tertinggi adalah 1% yaitu prosentase massa tertinggi pada penelitian ini. Densitas nanofluida meningkat hingga 1,3 %, viskositasnya meningkat hingga 16 % dan konduktivitas termalnya meningkat hingga 20 %.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketergantungan akan penggunaan air dalam kehidupan sehari-hari menjadikan air memiliki peranan penting dalam kehidupan manusia. Khususnya pada bidang teknik, air dipilih digunakan sebagai fluida kerja dalam proses-proses produksi didasari oleh sifat-sifat pada air itu sendiri. Sifat kapasitas kalor yang dimiliki oleh air tergolong cukup tinggi bila dibandingkan dengan fluida lainnya. Selain itu, sifat konduktivitas termal yang baik juga dimiliki oleh air. Sifat-sifat pendukung lainnya seperti massa jenis, berat jenis, viskositas, hingga koefisien gesek dari air ini memungkinkan untuk digunakannya air sebagai fluida kerja dalam proses-proses produksi. Sifat-sifat ini disebut sebagai *fluid properties*.

Cara untuk meningkatkan *performance* pada proses produksi adalah dengan memperbaiki *fluid properties* dari air tersebut. Salah satu cara untuk mengubah karakteristik *fluid properties* dari air adalah nanofluida. Choi (1995) memperkenalkan istilah *nanofluid*, yaitu penambahan partikel berukuran nanometer ($\phi < 100 \text{ nm}$) pada fluida dasar yang bertujuan untuk memperbaiki *fluid properties* dari fluida dasar tersebut.

Pengaplikasian nanofluida ini mulai banyak digunakan dalam bidang teknik dengan tujuan memperbaiki *fluid properties* pada fluida dasarnya. Namun, nanopartikel yang tersuspensi dalam fluida dasar ini akan mulai mengalami pengendapan setelah beberapa lama sehingga dapat menjadi kekurangan tersendiri bagi aplikasi nanofluida. Sehingga perlu diteliti faktor yang mempengaruhi kestabilan suspensi nanopartikel dalam nanofluida, yang dalam hal ini dispesifikkan pada tingkat keasaman (pH) nanofluida.

Di samping itu, penelitian tentang nanofluida ini masih terbatas, sehingga masih perlu dilakukan penelitian-penelitian yang mendalam tentang nanofluida untuk menambah khazanah ilmu pengetahuan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, dirumuskan suatu permasalahan yaitu: bagaimana pengaruh penambahan nanopartikel (Al_2O_3) ke dalam fluida

dasarnya (air) dan perbedaan tingkat keasaman (pH) nanofluida terhadap *fluid properties*-nya?

1.3 Batasan Masalah

Sebelum melakukan penelitian untuk menjawab permasalahan di atas, perlu untuk dilakukan pembatasan terhadap permasalahan tersebut guna untuk menghindari permasalahan tidak meluas. Batasan-batasan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Al_2O_3 dengan tipe Alumina UPC818F dan ukuran partikel 20 nm sebagai nanopartikel dan air sebagai fluida dasar dari nanofluida ini.
2. Kecepatan pengadukan dengan menggunakan *magnetic steering* 500 rpm dan waktu pengadukan 5 menit.
3. Pengujian viskositas pada aliran laminar dengan viskometer Ostwald.
4. *Fluid properties* nanofluida yang diuji adalah massa jenis (ρ), viskositas dinamik (μ) dan konduktivitas termal (k).

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh penambahan nanopartikel Al_2O_3 pada air serta perbedaan tingkat keasamannya (pH) terhadap *fluid properties*-nya.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai bahan referensi bagi dunia ilmu pengetahuan dan teknologi terutama mahasiswa khususnya teknik mesin untuk melakukan penelitian selanjutnya mengenai nanofluida dan pengaplikasiannya.
2. Membantu menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang kerap timbul pada fluida kerja yang digunakan pada proses-proses produksi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Nanofluida pada pertama kali diteliti oleh Choi (1995) dengan mencampurkan nanopartikel CuO dan Al₂O₃ dengan fluida dasarnya air dan *ethylene glycol*. Hasil dari penelitian ini adalah perpindahan kalor secara konduksi mengalami peningkatan sebesar 20%.

Kemudian penelitian tentang nanofluida ini dilanjutkan oleh Eastman, *et.al* (1997) dengan mencampurkan 0,3% nanopartikel Cu pada *ethylene glycol*. Hasil dari penelitian ini adalah meningkatnya konduktivitas termal sebesar 40%.

Pada tahun 1999, Lee, *et.al.* meneliti tentang penambahan 1- 4% konsentrasi volume partikel CuO dan Al₂O₃ dari volume campuran dengan menggunakan metode *hot wire* dan menghasilkan peningkatan konduktivitas termal nanofluida sebesar 1-10%.

Kemudian penelitian dikembangkan lagi oleh Zhu,*et.al.* pada tahun 2009. Penelitiannya mengenai pengaruh pH nanofluida terhadap efek perubahan pada konduktivitas termalnya. pH dapat mempengaruhi kestabilan suspensi nanopartikel dan sifat dari permukaan nanopartikel tersebut sehingga mempengaruhi konduktivitas termalnya pula. Untuk nilai pH 8-9 merupakan nilai pH yang menunjukkan konduktivitas termal lebih tinggi dibandingkan dengan situasi yang lain.

Pada tahun yang sama dengan penelitian Zhu,*et. al.*, Zhao, *et.al.* juga meneliti tentang nanofluida. Berbeda dengan Zhu, Zhao menggunakan nanofluida *silicon dioxide* dan hasilnya menunjukkan pentingnya ukuran diameter nanopartikel yang dapat mempengaruhi viskositas nanofluida. Ketika ukuran partikel lebih kecil, viskositas menjadi jauh lebih tinggi dan akan lebih bergantung pada fraksi volume nanofluida. Selain itu, ketika ukuran partikel lebih kecil dari pada 20 nm, maka viskositas nanofluida akan sangat berhubungan dengan nilai pH-nya dan berubah secara signifikan antara pH 5-7. Namun ketika ukuran partikel lebih besar dari 20 nm, maka viskositas tidak mengalami perubahan akibat perubahan pH.

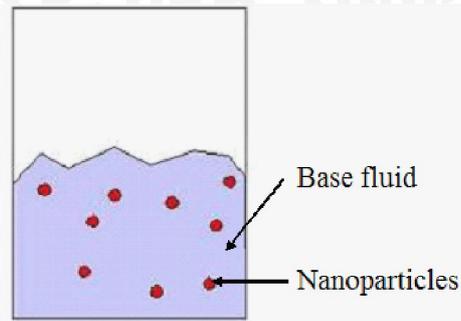
Kemudian penelitian tentang nanofluida dilanjutkan kembali oleh Harkirat (2010). Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan

konduktivitas termal nanofluida dari pada fluida dasarnya seiring dengan kenaikan suhu, yaitu dari 2% menjadi 44% (pada konsentrasi 1% partikel Al_2O_3), 3% menjadi 47% (pada konsentrasi 2% partikel Al_2O_3), dan 5% menjadi 48% (pada konsentrasi 4% partikel Al_2O_3). Sedangkan pada kalor spesifik volumetrik pada nanofluida Al_2O_3 akan menurun secara bertahap seiring meningkatnya konsentrasi volume partikel dan suhunya. Sifat viskositas dan densitas nanofluida Al_2O_3 menurun seiring kenaikan suhu nanofluida. Tetapi pada peningkatan konsentrasi partikel Al_2O_3 , viskositas nanofluida menurun sedangkan densitasnya meningkat.

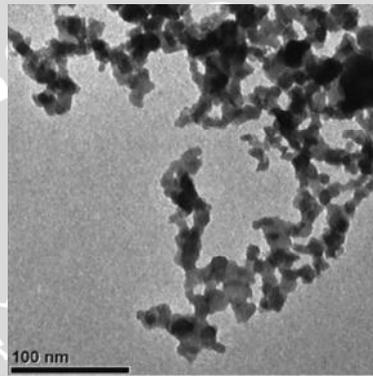
Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Imanuel Do Alla (2013). Penelitian ini menggunakan campuran nanopartikel Al_2O_3 yang konsentrasi massanya 0,5 , 1 dan 2% dengan fluida dasar air. Nanofluida ini digunakan sebagai fluida pada radiator dan hasil penelitian menunjukkan peningkatan pada keseluruhan koefisien perpindahan panas dibandingkan dengan fluida dasarnya. Yaitu, peningkatan koefisien perpindahan panas sebesar 10-26% (pada konsentrasi 0,5% partikel Al_2O_3), 20-50% (pada konsentrasi 1% partikel Al_2O_3), dan 3-75% (pada konsentrasi 2% partikel Al_2O_3). Rasio perpindahan panas ini juga meningkat pada peningkatan temperatur nanofluida.

2.2 Nanofluida

Nanofluida adalah suatu campuran atau suspensi antara fluida cair (yang disebut dengan fluida dasar) dengan partikel padat yang mempunyai ukuran nanometer atau 10^{-9} m (nanopartikel). Partikel berukuran nano tersebut tersuspensi ke dalam fluida dasar secara permanen karena adanya efek Brownian pada partikel tersebut seperti pada gambar 2.1. Sedangkan pada gambar 2.2 merupakan tampilan nanopartikel alumina (Al_2O_3) yang tersuspensi ke dalam fluida dasar air menggunakan foto *Transmission Electron Microscopy* (TEM) perbesaran hingga 100 nm. Secara teori nanofluida ini memiliki konduktivitas termal yang lebih baik daripada fluida dasar pencampurnya, karena partikel padat memiliki konduktivitas termal yang lebih tinggi dari fluida dasar.



Gambar 2.1 Nanofluida Terdiri dari Fluida Dasar dan Partikel Ukuran Nano yang telah tersuspensi
Sumber: Choi, *et.al* (1995)



Gambar 2.2 Foto TEM Nanopartikel Alumina (Al_2O_3)
Sumber: Jwo, *et.al* (2010)

Choi, *et.al* (1995) meneliti partikel Al_2O_3 dan CuO dengan fluida dasar *ethylene glycole* dan air. Hasil penelitian mengindikasikan kenaikan konduktivitas termal sebanding dengan kenaikan prosentase volume nanopartikel.

2.2.1 Konsep Nanofluida

Konsep dan kemunculan nanofluida dimulai sejak Maxwell (1881) meneliti dengan mendispersikan partikel berukuran mili maupun mikro ke dalam fluida. Tetapi partikel tersebut masih terlalu besar untuk terdispersi ke dalam fluida sehingga jika mengalir dalam pipa akan menyumbat alirannya. Sejak saat itu para peneliti terus mengembangkan dan mengatasi keterbatasan ini dengan menggunakan nanopartikel ($\phi < 100 \text{ nm}$).

Seperti kita ketahui pada temperatur ruang, logam dalam bentuk padat memiliki nilai konduktivitas termal yang lebih tinggi dibandingkan fluida. Sebagai contoh, dapat dilihat pada tabel 2.1. Konduktivitas termal padatan

metalik lebih tinggi dari cairan metalik maupun cairan non-metalik. Konduktivitas termal aluminium pada temperatur ruang adalah sekitar 400 kali lebih besar dari air, 1000 kali lebih besar dari *ethylene glycole*, dan 2000 kali lebih besar dari minyak mesin. Dari keterangan tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa konduktivitas termal fluida yang telah didispersikan partikel metalik maupun non-metalik dalamnya akan lebih baik dibandingkan fluida yang sering digunakan sebagai fluida kerja.

Tabel 2.1 Konduktivitas Termal dari Beberapa Material pada Temperatur 300°K

Jenis Material	Contoh Material	Nilai k (W/mK)
Padatan Metalik	Perak	429
	Tembaga	401
	Aluminium	237
Padatan Non-Metalik	Intan	3300
	<i>Carbon Nanotube</i>	3000
	Silikon	148
	Alumina (Al ₂ O ₃)	40
Cairan Metalik	Sodium pada 644 K	72.3
Cairan Non-Metalik	Air	0.613
	<i>Ethylene Glycole</i>	0.253
	Minyak Mesin	0.145

Sumber: Das (2007:9)

2.2.2 Perkembangan Nanofluida

Perkembangan nanoteknologi dewasa ini telah mengarah pada kelas fluida baru dan lebih khusus yang disebut nanofluida, yang memiliki potensi besar untuk aplikasi pada alat-alat perpindahan kalor. Istilah nanofluida berarti campuran dua fase di mana fase pendispersi biasanya cairan dan fase yang terdispersi terdiri dari nanopartikel padat yang sangat halus berukuran 1-100 nm. Nanopartikel yang didispersikan pada fluida dengan jumlah yang relatif sedikit dan terdispersi secara merata akan meningkatkan *fluid properties* dari fluida dasar yang digunakan.

Sebelum perkembangan nanoteknologi, mikroteknologi sempat menjadi teknologi yang berpotensi. Mikroteknologi hampir menyerupai nanoteknologi,

hanya saja perbedaannya terdapat pada ukuran partikel yang disuspensikan pada fluida dasarnya seperti tampak pada gambar 2.3. Mikroteknologi menggunakan partikel berukuran mikrometer (μm). Penggunaan nanopartikel daripada mikropartikel memiliki beberapa kelebihan yang ditunjukkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Perbandingan Mikropartikel dengan Nanopartikel

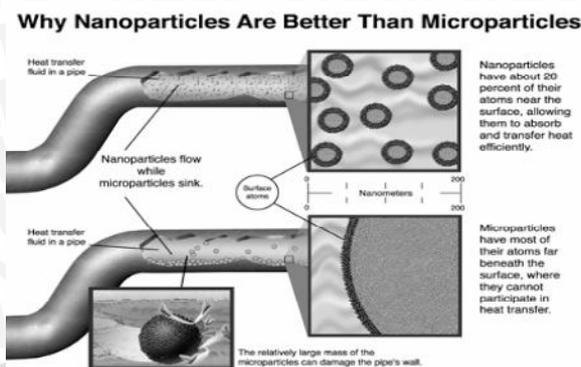
Segi	Mikropartikel	Nanopartikel
Stabilitas	Cepat mengendap	Hampir Stabil
Rasio A/V	1	1000 kali lebih besar
Konduktivitas	Rendah	Tinggi
Menyumbat dalam pipa mikro?	Ya	Tidak
Erosi?	Ya	Tidak
Daya Pemompaan	Besar	Kecil
Fenomena skala nano?	Tidak	Ya

Sumber: Das (2007:11)

Choi, *et.al* (1995) merupakan orang yang pertama kali menggunakan istilah nanofluida yang menggunakan fluida cair dan nanopartikel tersuspensi di dalamnya. Setelah Choi memperkenalkan nanofluida, banyak ilmuwan meneliti dan mengembangkan potensi yang dimiliki nanofluida ini. Perkembangan yang dilakukan bukan hanya dengan meneliti sifat-sifat nanofluida tetapi juga mengembangkan peralatan yang dapat menggunakan nanofluida sebagai fluida kerja atau dapat disebut sebagai *next generation coolant* seperti *smart coolant* untuk computer dan *safe coolant* untuk reaktor nuklir.

Karena ukurannya yang sangat kecil, maka nanopartikel memiliki keistimewaan, yaitu:

- Mampu tersuspensi lebih lama dalam fluida dibanding mikropartikel jika ditambahkan dengan *surfactants* atau *stabilizer*.
- Luas permukaan per unit volum dari nanopartikel sekitar 1000 kali lebih tinggi daripada mikropartikel, artinya pelepasan kalor menjadi lebih cepat karena $A_{\text{nanopartikel}} > A_{\text{mikropartikel}}$.



Gambar 2.3 Perbandingan Nanopartikel dengan Mikropartikel
Sumber: Argonne National Laboratory (2005)

2.2.3 Pembuatan Nanofluida

Argonne National Laboratory (ANL) menjelaskan ada dua teknik pencampuran nanofluida yaitu teknik pertama, nanopartikel dibuat dan dicampurkan ke dalam fluida dasar secara bersamaan dan teknik kedua, pembuatan nanopartikel dan pencampuran partikel tersebut dilakukan secara terpisah. Akan tetapi kedua teknik tersebut memperoleh hasil yang baik hanya untuk nanopartikel oksida dan tidak untuk nanopartikel logam.

Untuk mencari hasil yang lebih baik Das, *et.al* (2003), melakukan pencampuran menggunakan *ultrasonic vibrator* yang menghasilkan nanopartikel dapat terdispersi dengan baik pada campuran. Dalam persiapan nanofluida ini, perlu diperhatikan densitas nanopartikel untuk mendapatkan perbandingan campuran yang tepat.

Putra, *et.al* (2003) melakukan pencampuran nanopartikel yang terdispersi dengan baik ke dalam fluida dasarnya dengan menggunakan *ultrasonic vibrator*. Karakteristik yang terbentuk tergantung oleh fraksi volume dari partikel yang dicampurkan. Pada penelitian ini, digunakan prosentase volume nanopartikel sebesar 0,5, 1 dan 2% Al_2O_3 berukuran kurang lebih 20 nm.

Pada penelitian-penelitian sebelumnya digunakan prosentase volume untuk menentukan konsentrasi campuran. Volume partikel ditentukan dengan menggunakan densitas sebenarnya dari nanopartikel dan massanya dengan mengabaikan massa udara yang terperangkap di dalamnya. Pencampuran nanopartikel ke dalam partikel fluida dasar mengakibatkan pembentukan karakteristik baru terhadap fluida yang dihasilkan. Karakteristik yang terbentuk tergantung dari fraksi volume partikel yang dicampurkan.

Secara garis besar, ada dua metode dasar yang dikembangkan untuk menghasilkan nanofluida yaitu:

1. Metode *single step*, di mana proses pembuatan nanopartikel dan pendispersiannya ke dalam fluida dilakukan sekaligus dalam satu tahapan di dalam fluida dasarnya.
2. Metode *two step*, di mana proses pembuatan nanopartikel dan pendispersiannya ke dalam fluida tidak dilakukan secara sekaligus dalam tempat yang sama (di fluida dasarnya). Proses pembuatan nanopartikel dan proses pendispersinya adalah proses yang terpisah.

Untuk nanopartikel, jenis-jenis material yang digunakan antara lain:

- Oksida keramik (Al_2O_3 , CuO)
- Nitrit keramik (AlN , SiN)
- Karbida keramik (SiC , TiC)
- Logam (Cu , Ag , Au)
- Semikonduktor (TiO_2 , SiC)
- *Carbon Nanotubes*
- Material komposit ($\text{Al}_{70}\text{Cu}_{30}$)

Sedangkan fluida dasar yang digunakan, antara lain:

- Air
- *Ethylene Glycole*
- Minyak dan Pelumas
- *Bio-fluids*

a. Metode Satu Langkah (*Single-Step Method*)

Single-Step Method menggunakan teknik reduksi kimia untuk membuat nanopartikel yang kemudian langsung didispersikan ke fluida dasarnya. Ada beberapa eksperimen yang dilakukan untuk membuat nanofluida dengan *single-step method*, antara lain: Liu, *et.al* (2006) meningkatkan konduktivitas termal air yang dicampur Cu dengan metode reduksi kimia. Nanopartikel tembaga (Cu) dihasilkan dalam air dengan mereduksi *copper acetate*. Ion Cu^{2+} direduksi menjadi atom tembaga (Cu). Dari atom tembaga terjadi presipitasi membentuk nanopartikel tembaga. *Copper acetate* [$\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$] digunakan sebagai bahan baku yang direndam dalam (fluida dasar) *deionized water*. Larutan diaduk pada

temperatur 55°C dengan *nitrogen hydrazine* (N_2H_4) sebagai bahan produksi. Jumlah larutan *hydrazine* ditambah dengan tetap diaduk rata. Larutan didinginkan pada suhu 0°C dan dibiarkan mengendap, kemudian dicuci dengan *deionized water* untuk membersihkan kotoran. Fraksi volum nanopartikel Cu yang dihasilkan dalam larutan dibawah 0,2% volume.

Zhu, *et.al* (2004) juga mereduksi $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ dengan $NaH_2PO_2 \cdot H_2O$ dalam *ethylene glycole* dengan radiasi gelombang mikro. Dengan metode ini dapat menghasilkan nanofluida yang stabil dan tidak mengendap. Hasilnya juga menunjukkan bahwa penambahan $NaH_2PO_2 \cdot H_2O$ dan adanya radiasi gelombang mikro sangat mempengaruhi laju reaksi dan *properties* dari nanopartikel Cu.

b. Metode Dua Langkah (*Two-Step Method*)

Two-Step Method banyak dilakukan dalam sintesa nanofluida dengan menggunakan *nanopowder* yang banyak diproduksi industri secara komersil. Dengan metode ini, nanopartikel langsung dilarutkan dalam fluida dasar. Biasanya peralatan *ultrasonic* digunakan mendispersikan partikel untuk mengurangi penggumpalan.

Selain Das, *et.al* (2003) dan Putra, *et.al* (2003) yang telah diuraikan sebelumnya, beberapa peneliti lain juga menggunakan metode ini antara lain: Murshed, *et.al* (2005) menggunakan *ultrasonic vibrator* untuk membuat campuran dengan fraksi volume yang berbeda dari nanopartikel TiO_2 ke dalam fluida dasar (*deionized water*) selama 8-10 jam. Penelitian ini menggunakan *surfactant acid* dan *centyltrimethyl ammonium bromide* (CTAB) untuk membuat larutan yang stabil dan terdispersi dengan baik tanpa mengganggu sifat termofisika dan sifat perpindahan panas karena *surfactant* yang dipakai sangat kecil (konsentrasi volumenya 0,01-0,02%).

Xuan, *et.al* (2003) juga menggunakan teknik yang sama untuk menyiapkan nanofluida. Dengan metode ini, nanofluida dihasilkan dengan mencampur langsung bubuk nanopartikel ke dalam fluida dasarnya selama 10 jam dengan menggunakan *ultrasonic vibrator*. Larutan tersebut mengandung 2-5% volume nanopartikel dengan fluida dasar air dan minyak.

2.3 *Fluid Properties*

2.3.1 *Massa Jenis*

Massa jenis atau *density* didefinisikan sebagai massa cairan per satuan volume. Secara umum, massa jenis dipengaruhi oleh tekanan dan temperatur. Perhitungan massa jenis nanofluid (*effective density*) dihitung atas dasar campuran (*mixture*) dua zat yang berbeda.

Densitas nanofluid (ρ_{eff})

$$\rho_{\text{eff}} = \left(\frac{m}{V} \right)_{\text{eff}} = \frac{m_b + m_p}{V_b + V_p} = \quad (\text{Das, et.al, 2007}) \quad (2.1)$$

$$= \frac{\rho_b V_b + \rho_p V_p}{V_b + V_p} = (1 - \phi_p) \rho_b + \phi_p \rho_p$$

Di mana:

ρ_{eff} = massa jenis nanofluida

m_b = massa fluida dasar

m_p = massa nanopartikel

V_b = volume fluida dasar

V_p = volume nanopartikel

ϕ_p = prosentase volume nanopartikel pada nanofluida

Metode untuk menentukan massa jenis yang umum digunakan adalah:

1. *Westphal balance*
2. *Specific gravity balance (chain-o-matic)*
3. *API hydrometer*
4. *Pycnometer*
5. *Bicapillary pycnometer.*

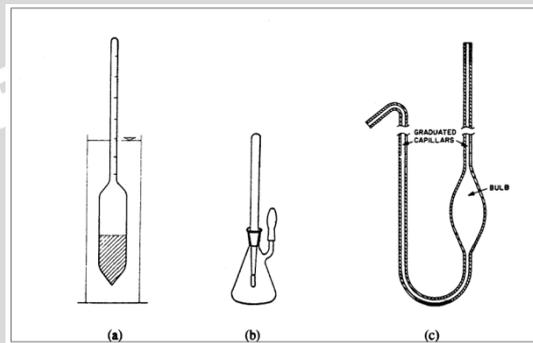
Dua metode pertama di atas menggunakan dasar prinsip Archimedes yaitu bagian yang tenggelam di dalam sebuah cairan akan memperoleh gaya angkat yang sama besar dengan berat dari cairan yang dipindahkan.

API hydrometer biasanya digunakan untuk menentukan berat jenis minyak di bidang perminyakan. Ketika *hydrometer* dimasukkan ke dalam minyak kemudian akan mengapung dengan sumbu vertikal dan akan memindahkan massa minyak sebesar massa dari *hydrometer* tersebut (gambar

2.4a). *Hydrometer* dapat digunakan pada tekanan atmosfer atau tekanan lain dalam bejana bertekanan.

Pycnometer seperti pada gambar 2.4b terbuat dari cawan berbentuk labu yang dapat diisi dengan cairan bervolume tertentu. Berat jenis dari cairan ini didefinisikan sebagai rasio dari massa cairan dengan massa air bervolume yang sama dan pada temperatur yang sama.

Bicapillary pycnometer pada gambar 2.4c adalah alat lain untuk menentukan massa jenis cairan. Sampel cairan dimasukkan ke dalam *pycnometer* yang kemudian ditentukan dari volume serta massanya.



Gambar 2. 4 Skema *hydrometer* (a), *pycnometer* (b), dan *bicapillary pycnometer* (c)

Sumber: Torsaeter (2003 : 10)

2.3.2 Viskositas

Kekentalan atau viskositas adalah salah satu sifat dasar fluida, yang diartikan sebagai ketahanan fluida terhadap laju deformasi atau resistansi internal pada fluida untuk mengalir. Viskositas fluida didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan geser dengan laju regangan geser dengan persamaan dasar:

$$\tau = \mu \cdot \frac{\partial u}{\partial y} \quad (\text{Fox, 1985 : 29}) \quad (2.2)$$

Dimana:

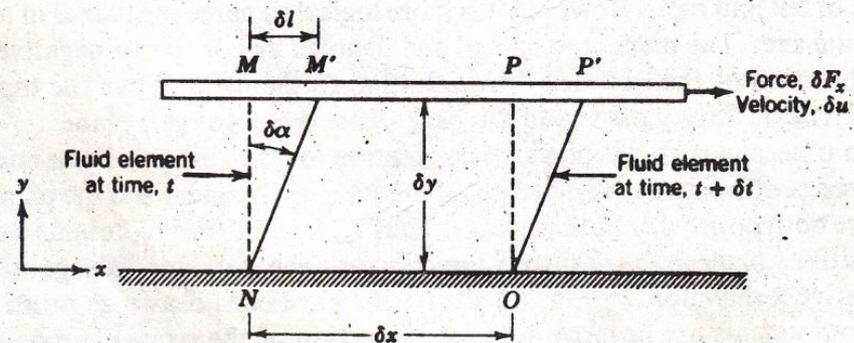
τ = tegangan geser

μ = viskositas dinamik

$\frac{\partial u}{\partial y}$ = laju geser

Viskositas juga didefinisikan sebagai F/A di mana F adalah gaya yang dibutuhkan menjaga pergerakan fluida dengan kecepatan (v) konstan pada

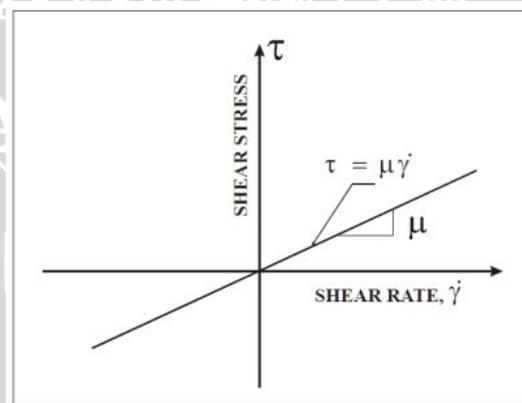
sumbu x dan A adalah luas penampang yang berkontak dengan fluida (gambar 2.5).



Gambar 2.5 Profil fluida mengalir di antara dua permukaan datar pada kecepatan yang *steady*

Sumber: Fox (1985 : 28)

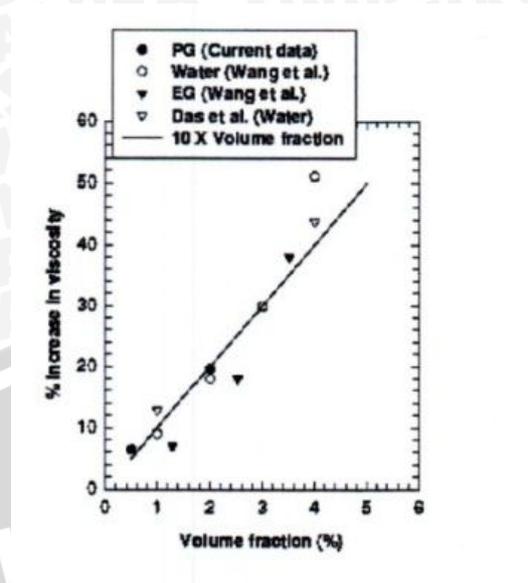
Pada gambar 2.5 di atas diasumsikan bahwa fluida tidak mengalami slip pada kedua permukaan. Fluida Newtonian seperti air dan gas memiliki viskositas masing-masing dan tegangan gesernya sebanding dengan laju geser (gambar 2.6). Umumnya viskositas dinyatakan dalam centipoise, cp ($1 \text{ cp} = 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$)



Gambar 2.6 Tegangan geser vs laju geser untuk fluida Newtonian

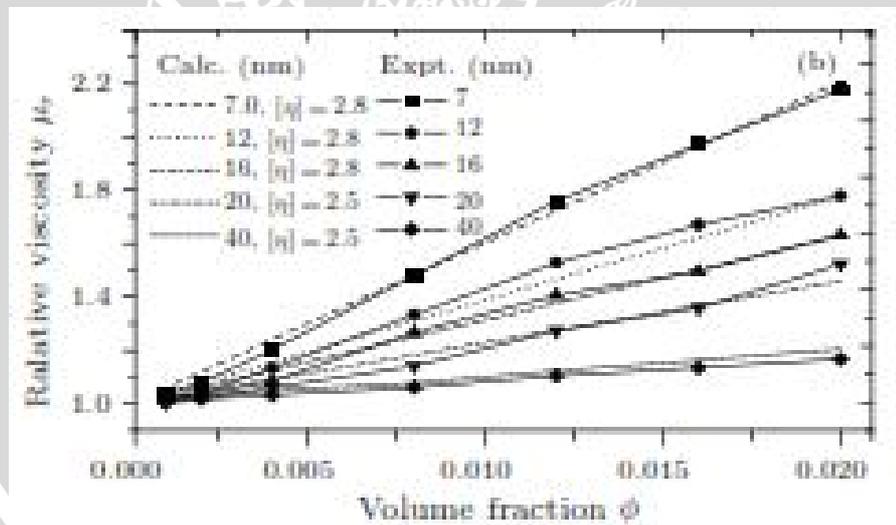
Sumber: Torsaeter (2003 : 13)

Wang, *et.al.* (1999) mengukur kekentalan nanofluid partikel Al_2O_3 fluida dasar air, dilihat dari segi campuran (*dispersed*) nanofluida. Pada pencampuran yang baik kekentalan nanofluid menurun. Untuk prosentase volume partikel 3% kekentalan nanofluida naik 30% dibandingkan dengan kekentalan air seperti ditunjukkan pada gambar 2.7.

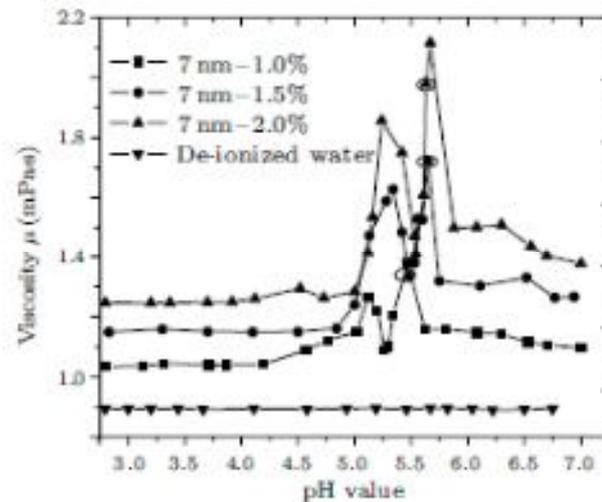


Gambar 2.7 Kekentalan nanofluida sebanding dengan prosentase volume
 Sumber : Wang, *et.al* (1991)

Hasil penelitian oleh Wang, *et.al.* (1991) diperkuat dengan hasil penelitian Zhao (2009). Hasil penelitian Zhao menunjukkan viskositas meningkat akibat dari peningkatan prosentase volume yang dapat terlihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Grafik hasil eksperimental viskositas nanofluida menurut prosentase volume
 Sumber: Zhao (2009)



Gambar 2.9 Grafik viskositas nanofluida ($d=7$ nm) dan fluida dasar (air) menurut nilai pH-nya
Sumber : Zhao (2009)

Gambar 2.9 di atas merupakan hasil dari penelitian yang dilakukan oleh Zhao (2009). Dari grafik tersebut, terlihat nilai pH mempengaruhi viskositas dari nanofluida dibandingkan dengan fluida dasar yang cenderung konstan tidak berubah meskipun nilai pH berubah. Nilai viskositas nanofluida tertinggi di antara nilai pH 5-6.

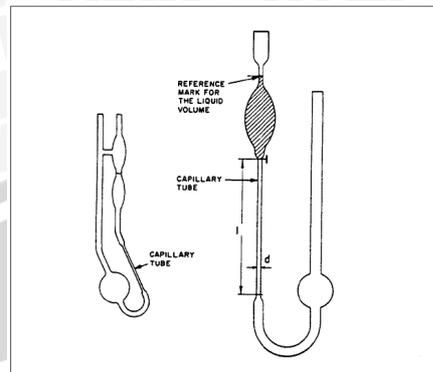
Perubahan pH pada nanofluida dapat mengubah dimensi fraktal dan koefisien elektroviskos primer sehingga dapat mengubah kestabilan nanofluida dan viskositasnya. Dimensi fraktal merupakan besaran kuantitatif yang menggambarkan bagaimana sebuah objek *solid* mengisi suatu ruang secara kontinyu. Sedangkan koefisien elektroviskos primer merupakan koefisien keadaan muatan elektrik pada permukaan *solid-liquid* nanofluida yang dapat mempengaruhi viskositasnya. Namun hal ini bukan merupakan alasan satu-satunya yang mempengaruhi viskositas nanofluida, maka sangat dibutuhkan penelitian selanjutnya untuk mengatasi masalah ini.

Metode pengukuran viskositas adalah:

1. Viskometer tipe kapiler

Alat untuk menentukan viskositas disebut viskosimeter atau viskometer. Salah satu jenis viskometer untuk cairan adalah viskometer Ostwald (gambar 2.10). Pada viskometer ini, viskositas didapatkan dari perbandingan waktu yang diperlukan untuk volume cairan tertentu dan referensi cairan yang mengalir pada

pipa kapiler yang ditentukan pada kondisi awal tertentu. Selama pengukuran, temperatur cairan harus dijaga konstan dengan merendam alat pada air yang temperaturnya terkontrol.



Gambar 2.10 Dua tipe dari viskometer Ostwald
Sumber: Torsaeter (2003 : 14)

Dalam menggunakan viskometer Ostwald ini, digunakan prinsip hukum Poiseuille untuk tabung pipa kapiler dan aliran yang laminar yaitu:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{\Delta P \cdot \pi \cdot r^4}{8 \cdot \mu \cdot l} \quad (\text{Torsaeter, 2003 : 14}) \quad (2.3)$$

Di mana t adalah waktu yang dibutuhkan volume (V) tertentu dengan densitas (ρ) dan viskositas (μ) untuk mengalir melalui tabung pipa kapiler dengan panjang (l) dan jari-jari pipa (r) dengan perbedaan tekanan ΔP . Dalam hal ini, ΔP adalah $\rho g l$, sehingga:

$$\frac{V}{t} = \frac{\rho \cdot g \cdot l \cdot \pi \cdot r^4}{8 \cdot \mu \cdot l} \quad (\text{Torsaeter, 2003 : 14}) \quad (2.4)$$

Atau

$$\mu = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot \rho \cdot g \cdot t}{8V} = \text{Const.} \cdot \rho \cdot t \quad (\text{Torsaeter, 2003 : 14}) \quad (2.5)$$

2. Viskometer bola jatuh

Alat lain yang digunakan untuk menentukan viskositas fluida adalah viskometer bola jatuh (gambar 2.11), yang berdasarkan pada hukum Stoke untuk bola jatuh dalam cairan di bawah efek gravitasi. Bola baja dijatuhkan ke dalam tabung kaca dengan diameter yang sedikit lebih besar yang berisi fluida, dan waktu yang dibutuhkan untuk bola jatuh pada kecepatan konstan melalui jarak tertentu dicatat untuk menentukan viskositas fluida. persamaan yang digunakan adalah:

$$\mu = t. (\rho_b - \rho_f). K \quad (\text{Torsaeter, 2003 : 15}) \quad (2.6)$$

Di mana:

μ = viskositas (cp)

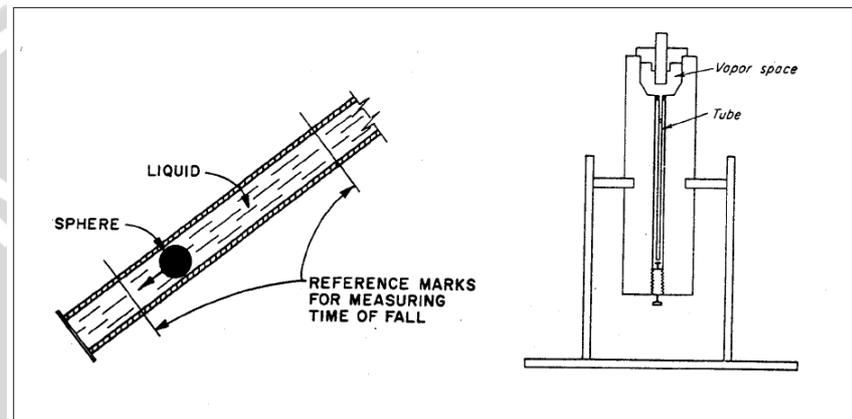
t = waktu bola jatuh (s)

ρ_b = massa jenis bola (g/cm^3)

ρ_f = massa jenis fluida pada temperatur pengujian (g/cm^3)

K = konstanta bola

Konstanta bola tidak memiliki satuan.

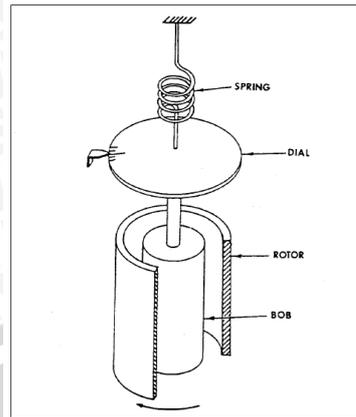


Gambar 2.11 Skema viskometer bola jatuh
Sumber: Torsaeter (2003 : 15)

Viskometer bola jatuh dapat memberikan hasil yang baik selama aliran fluida dalam tabung adalah laminar. Beberapa viskometer jenis ini tekanan dan temperaturnya dapat dikendalikan.

3. Viskometer rotasi

Alat lain yang sering digunakan untuk fluida non-newtonian adalah viskometer tipe rotasi dari dua silinder konsentris, dengan annulus berisikan fluida yang akan diukur viskositasnya (gambar 2.12). Silinder luar maupun dalam diputar pada kecepatan konstan dan defleksi rotasi pada silinder menjadi ukuran dari viskositas cairan.



Gambar 2.12 Skema viskometer rotasi
 Sumber: Torsaeter (2003 : 16)

Ketika jarak antara silinder (d) adalah kecil, maka viskositas pada aliran laminar dapat didefinisikan sebagai:

$$\frac{dv}{dr} = \frac{\omega.R}{d} \quad (\text{Torsaeter, 2003 : 16}) \quad (2.7)$$

Di mana R adalah jari-jari pada silinder bagian dalam dan ω adalah kecepatan sudut dari silinder luar (rotor) yang dijabarkan menjadi $\omega = 2.\mu.n$. Ketika rotor berputar dengan kecepatan sudut yang konstan dan silinder dalam dibiarkan tidak bergerak, maka torsi dari getaran silinder dalam harus sama tetapi berlawanan arah dengan torsi dari silinder luar dari motor. Luasan yang mengalami torsi sebesar $2.r.h$, di mana h adalah panjang silinder. Gaya drag pada silinder dalam adalah $k.\theta.R$, di mana k adalah torsi konstan dari getaran dan θ adalah perubahan sudut dari alat ini. Sehingga menjadi:

$$\frac{F}{A} = \frac{k.\theta.R}{2.\pi.R.h} = \mu \frac{dv}{dr} = \mu \frac{\omega.R}{d} \quad (\text{Torsaeter, 2003 : 16}) \quad (2.8)$$

Di mana:

$$\mu = \frac{k.\theta.d}{2.\pi.h.\omega.R} - \frac{K.\theta}{\omega.h} \quad (\text{Torsaeter, 2003 : 16}) \quad (2.9)$$

K adalah konstanta dari viskometer rotasi yang ditentukan melalui kalibrasi.

2.3.3 Konduktivitas Termal

Konduktivitas panas (k) adalah sifat murni dari material, yang berhubungan dengan kemampuan menghantarkan panas. Yang didefinisikan sebagai perbandingan fluk kalor ($\partial Q/(A * \partial t)$) dengan gradien temperatur ($\partial T/x$):



$$k = \frac{\partial Q \cdot x}{A \cdot \Delta t \cdot \Delta T} \quad (\text{Das, et.al, 2007}) \quad (2.10)$$

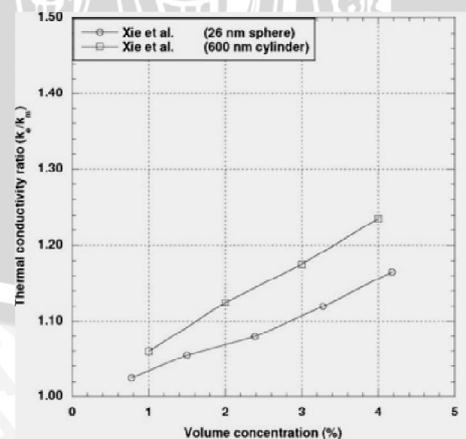
dimana Q adalah panas, A adalah luas permukaan, t adalah waktu, x adalah ketebalan permukaan dan T adalah temperatur.

Mekanisme tentang peningkatan konduktifitas panas nanofluida masih diperdebatkan. Dari beberapa percobaan yang telah dilakukan para peneliti, peningkatan panas tergantung dari beberapa parameter, di antaranya adalah prosentase volume (*fraction volume*) nanopartikel, material nanopartikel, bentuk nanopartikel, ukuran nanopartikel, fluida yang digunakan serta temperatur kerja. Belum ada teori yang pasti untuk menentukan/ memprediksi konduktifitas termal nanofluida.

Percobaan Wenhua *et al.* (2008) menggunakan partikel SiC bentuk bola diameter 28 nm dan silinder panjang 600 nm dengan fluida dasar air, menghasilkan peningkatan konduktifitas panas sebesar 1,24 dan 1,16 dengan prosentase volume 4% seperti terlihat pada gambar 2.13.

Keblinski, *et.al*, (2002) meneliti kemungkinan mekanisme lain pada peningkatan konduktifitas panas nanofluida yang disebabkan oleh 4 faktor yaitu:

- Gerak Brown (*Brownian motion nanoparticles*)
- Pengelompokan nanopartikel (*clustering of nanoparticles*)
- Pelapisan partikel dengan fluida dasar (*molecular level layering*)
- Transfer panas antar partikel

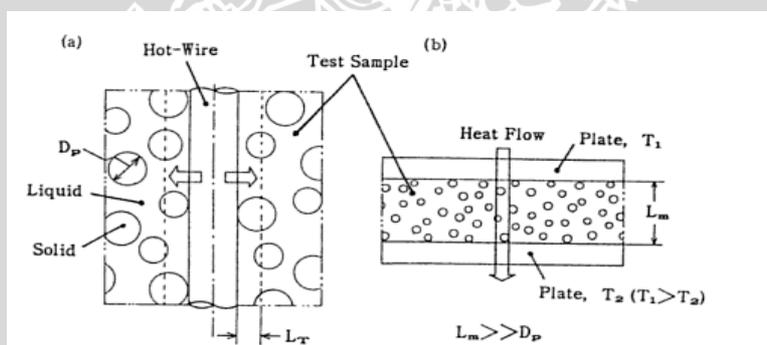


Gambar 2.13 Efek bentuk partikel SiC dengan fluida dasar air

Sumber: Wenhua, *et.al.* (2008)

Metode pengukuran konduktivitas termal campuran dua fase adalah dengan *transient hot-wire method* dan *steady-state-parallel-plate method*. *Transient hot wire method* memiliki banyak kelebihan dari pada *steady-state-parallel-plate method*, antara lain sampel yang sederhana, waktu pengukuran yang relatif lebih singkat dan keakuratan yang baik.

Dalam pengukuran konduktivitas termal campuran *solid-liquid*, hasil yang diperoleh dengan *hot wire method* tidak selalu tepat dengan pengukuran menggunakan metode lain. Gambar 2.14 di bawah menunjukkan ilustrasi skema dari pengukuran (a) *transient hot-wire method* dan (b) *steady-state-parallel-plate method*. Pada *steady-state-parallel-plate method*, ketebalan dari sampel biasanya jauh lebih besar daripada ukuran dari partikel padatnya (D_p) yang terkandung pada sampel tersebut dan dibutuhkan waktu beberapa jam untuk mengkondisikan temperatur yang *steady*. Panas melalui sejumlah partikel padat sehingga konduktivitas termal campuran tidak terpengaruh oleh ukuran partikel padatnya, tetapi dipengaruhi oleh rasio konsentrasi campuran serta konduktivitas termal partikel padat dan cairannya.



Gambar 2.14 Skema pengukuran (a) *transient hot-wire method* dan (b) *steady-state-parallel-plate method*
Sumber: C.J.Cremers, *et.al.* (1990 : 174)

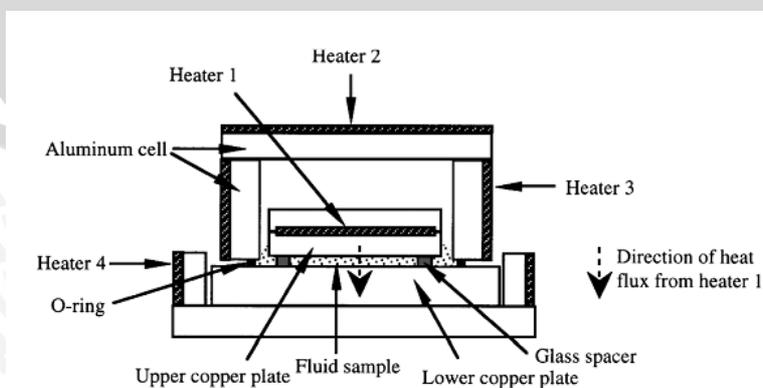
Sebaliknya, pada *hot-wire method*, pengukuran harus dilakukan dalam beberapa detik saja sebelum terjadi konveksi bebas dari campuran tersebut. Kedalaman penetrasi termal (L_r) harus jauh lebih kecil daripada D_p agar menghasilkan efek yang tepat pada pengukuran konduktivitas campuran ini. Dengan kata lain, pada *hot-wire method*, konduktivitas termal campuran tergantung pada ukuran partikel padat, meskipun rasio konsentrasi campuran dijaga konstan. Dengan demikian, harus ada batasan dalam penggunaan *hot-wire method* dalam pengukuran konduktivitas termal campuran dua fase ini.

Skema dari *steady-state-parallel-plate* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.14 (b), sampel campuran diletakkan di antara dua piringan paralel. Pada metode ini, diasumsikan tidak ada panas yang hilang dari fluida ke lingkungan sekitar. Untuk mencegah aliran konveksi, sampel dipanaskan pada bagian atas dan didinginkan pada bagian bawah. Dan hal tersebut merupakan tantangan untuk mengontrol di mana tidak ada panas yang hilang ke lingkungan dari fluida.

Metode *steady-state-parallel-plate* membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mengukur peningkatan temperatur dengan tepat pada tiap termokopel. Perbedaan dalam pembacaan temperatur harus diminimalisir saat termokopel dalam temperatur yang sama. Etil alkohol dan aquades digunakan sebagai acuan untuk menentukan konstanta instalasi ini.

Gambar 2.15 menunjukkan alat dari *steady state parallel plate* sesuai desain dari Challoner dan Powell (1956). Sampel fluida diletakkan di antara plat tembaga, dan permukaan dari cairan sedikit lebih tinggi daripada permukaan bawah dari plat tembaga bagian atas. Dua plat tembaga tersebut dipisahkan oleh tiga kaca *spacers*. Untuk mengontrol temperatur sekitar agar tidak mempengaruhi cairan sampel, cairan sampel tersebut diletakkan dalam ruang yang diisolasi, yang terbuat dari aluminium.

Saat pengujian, *heater 1* menyediakan *heat flux* dari plat tembaga bagian atas ke plat tembaga bagian bawah. *Heater 4* digunakan untuk menyeimbangkan kesamaan temperatur pada plat tembaga bagian bawah. *Heater 2* dan 3 digunakan untuk meningkatkan temperatur dari *aluminium cell* untuk menghilangkan kerugian akibat konveksi dan radiasi dari plat tembaga bagian atas.



Gambar 2.15 *Steady state parallel plate*
Sumber: Wang, *et. al.* (1999)

Konduktivitas termal fluida dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$k_e = \frac{k \cdot S - k_g \cdot S_g}{S - S_g} \quad (\text{Wang, et.al. 1999}) \quad (2.11)$$

Keterangan:

k_g : konduktivitas termal *glass spacers*

S_g : luas penampang *glass spacers*

S : luas penampang plat tembaga bagian atas

k : konduktivitas termal tembaga

k_e : konduktivitas termal fluida

2.4 Hipotesis

Variasi prosentase massa nanopartikel Al_2O_3 pada air akan mempengaruhi densitas, viskositas dan konduktivitas termal nanofluida. Hal ini diakibatkan oleh semakin banyak massa nanopartikel yang ditambahkan pada air akan meningkatkan densitas nanofluida, sehingga viskositasnya meningkat. Partikel padat memiliki konduktivitas termal yang lebih tinggi daripada air, sehingga semakin tinggi prosentase massa nanopartikel Al_2O_3 pada air akan meningkatkan konduktivitas termal nanofluida. Sedangkan variasi tingkat keasaman (pH) nanofluida akan mempengaruhi muatan pada permukaan nanopartikel sehingga kestabilan nanopartikel Al_2O_3 pada air akan bervariasi dan hal ini dapat mempengaruhi densitas, viskositas dan konduktivitas termal nanofluida tersebut.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*) yaitu dengan melakukan pengamatan secara langsung untuk memperoleh data sebab akibat melalui eksperimen guna mendapatkan data empiris yang secara langsung digunakan ke obyek yang akan diteliti.

Pada penelitian ini digunakan air sebagai fluida dasar dan partikel Al_2O_3 berukuran nano yang disuspensikan menjadi nanofluida dengan prosentase massa nanopartikel 0,25; 0,5; 0,75 dan 1% dan tingkat keasaman (pH) 5,7, dan 9. Pengukuran pada penelitian ini dilakukan untuk menentukan nilai konduktivitas termal, densitas dan viskositas yang dibandingkan dengan fluida dasarnya (air).

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret sampai Juni di Laboratorium Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, dan Bengkel Otomotif, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Politeknik Malang.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah:

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti nilainya dapat diubah-ubah dengan metode tertentu untuk mendapatkan nilai variabel terikat dari obyek penelitian, sehingga dapat diperoleh hubungan antara keduanya. Variabel bebas pada penelitian ini adalah:

- Prosentase massa nanopartikel: 0,25, 0,5, 0,75 dan 1% dari massa nanofluida seluruhnya.
- pH fluida dasar : 5, 7, 9

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas dan diketahui setelah penelitian dilakukan yang merupakan hasil dari penelitian ini. Variabel terikat pada penelitian ini adalah:

- massa jenis nanofluida (ρ)
- viskositas dinamik nanofluida (μ)
- konduktivitas termal nanofluida (k)

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya ditentukan oleh peneliti dan dikondisikan konstan. Variabel terkontrol pada penelitian ini adalah:

- temperatur nanofluida : 26°C
- temperatur ruang pengujian : 30°C
- kecepatan pengadukan 500 rpm dan waktu pengadukan 5 menit
- nanopartikel berukuran 20 nm

3.4 Alat-alat yang Digunakan

1. *Magnetic stirrer*

Magnetic stirrer pada gambar 3.1 merupakan alat yang digunakan untuk mengaduk nanopartikel dalam fluida dasarnya. Selain itu, dapat juga digunakan untuk memanaskan fluida atau material lain.

Spesifikasi dari *magnetic stirrer* adalah:

- Model : Steromag
Tegangan : 230 V
Daya : 800 VA
Frekuensi : 50 Hz
Produk : Italia



Gambar 3.1 *Magnetic Stirrer*

2. Timbangan elektrik

Timbangan elektrik pada gambar 3.2 merupakan alat untuk menimbang massa dari suatu benda yang diuji. Spesifikasi dari timbangan elektrik adalah:

Type	: JA5003B <i>Electronic Balance</i>
Tegangan	: AC 100-240 V
Frekuensi	: 50/60 Hz
Daya	: 12 W



Gambar 3.2 Timbangan Elektrik

3. pH meter

pH meter pada gambar 3.3 merupakan alat untuk mengukur tingkat keasaman (pH) nanofluida. Spesifikasi dari pH meter adalah:

<i>type</i>	: ZQ 168 <i>Portable Biogas Detector</i>
no seri	: 006030561001
<i>detecting gas</i>	: - CH ₄ 0-100% vol - CO ₂ 0-50% vol - pH 0-14
tegangan	: 3,6 V <i>Li-ion battery</i>
<i>sampling method</i>	: <i>natural diffusion</i>
<i>working condition</i>	: -10°C – 60 °C ≤ 95% RH



Gambar 3.3 pH meter

4. Viskometer Ostwald

Viskometer Ostwald pada gambar 3.4 merupakan alat untuk mengukur viskositas dari fluida. Spesifikasi dari viskometer Ostwald adalah:

Model : no III
No seri : 4865 15
Pengukuran : 100-150 detik
Produk : Jerman



Gambar 3.4 Viskometer Ostwald

5. Stopwatch

Stopwatch pada gambar 3.5 merupakan alat yang digunakan untuk mengukur waktu.



Gambar 3.5 Stopwatch

6. Ball pipet

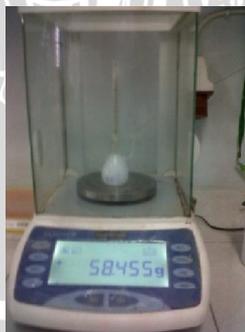
Ball pipet pada gambar 3.6 merupakan alat yang digunakan untuk mengeluarkan dan mengambil larutan dengan cara menghisap larutan tersebut.



Gambar 3.6 Ball pipet

7. Piknometer

Piknometer pada gambar 3.7 merupakan alat yang digunakan untuk menentukan massa jenis dari nanofluida.



Gambar 3.7 Piknometer

8. Konduktivitasmeter

Konduktivitasmeter pada gambar 3.8 merupakan alat yang digunakan untuk mengukur nilai dari konduktivitas termal fluida.



Gambar 3.8 Konduktivitas meter

9. *Power Supply*

Power Supply pada gambar 3.9 merupakan alat untuk mengatur arus dan tegangan yang akan diberikan pada *heater*.



Gambar 3.9 Power supply

10. *Data Logger*

Data Logger pada gambar 3.10 merupakan alat untuk membaca dan menyimpan informasi hasil pengukuran yang kemudian disambungkan pada komputer sehingga dapat dipantau secara mendetail.



Gambar 3.10 Data logger

11. Laptop

Laptop pada gambar 3.11 merupakan alat untuk melihat dan menyimpan informasi yang telah dibaca oleh *data logger*.



Gambar 3.11 Laptop

3.5 Persiapan Nanofluida

Tabel 3.1 Spesifikasi Nanopartikel Alumina (Al_2O_3)

<i>Spesification</i>	<i>Value</i>
<i>Type</i>	Alumina UPC818F
<i>Made in</i>	<i>Ultrafine Powders and Chemicals (China)</i>
<i>Apparance</i>	<i>White powder</i>
<i>Purity</i>	$\pm 99\%$
<i>Grain Size (nm)</i>	20
<i>Spesific surface area (m²/g)</i>	200
<i>Silicon (ppm)</i>	3,5
<i>Calcium (ppm)</i>	1,6
<i>Iron (ppm)</i>	0,2
<i>Cobalt (ppm)</i>	0,8

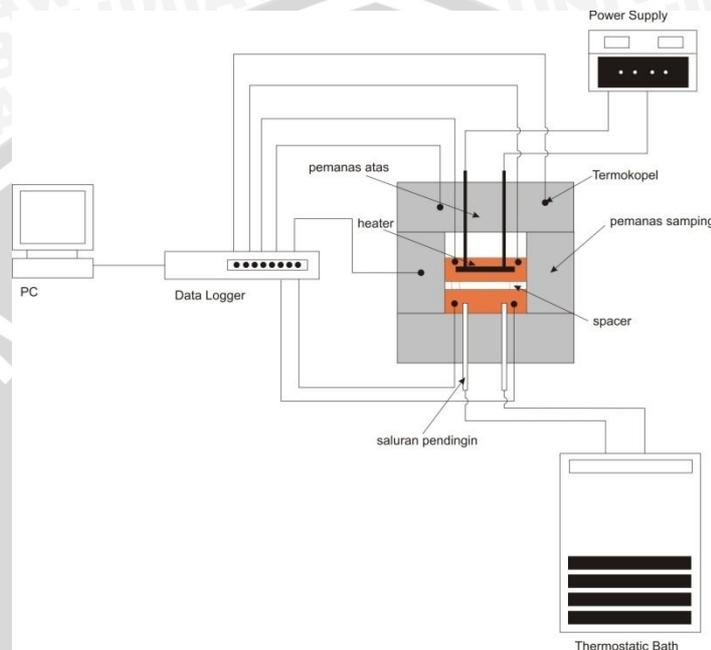
Proses persiapan nanofluida harus menjamin terdispersinya nanopartikel dengan spesifikasi seperti pada tabel 3.1 di atas secara sempurna dalam pencampurannya. Pencampuran nanopartikel ke dalam fluida dasar mengakibatkan pembentukan karakteristik baru terhadap fluida yang dihasilkan yaitu nanofluida. Mekanisme yang baik seperti pengaturan nilai pH atau penambahan *surfactant* untuk mempertahankan kestabilan suspensi terhadap sedimentasi juga perlu diperhatikan. Untuk mencari hasil yang lebih baik, peneliti sebelumnya menggunakan *ultrasonic vibration* yang menjamin dihasilkannya campuran nanopartikel terdispersi dengan baik.

Dalam persiapan nanofluida perlu diperhatikan densitas dari nanopartikel untuk mendapatkan perbandingan campuran yang tepat. Pada penelitian ini, penulis menggunakan prosentase massa sebesar 0,25, 0,5, 0,75 dan 1% nanopartikel Al_2O_3 dengan ukuran ± 20 nm dari massa keseluruhan nanofluida yaitu 150 gram serta penggunaan tingkat keasaman pH yang bervariasi yaitu 5,7, dan 9. Fluida dasar divariasikan tingkat keasamannya dengan mencampurkan aquades dan HCl dengan prosentase volume HCl 2% untuk mendapatkan pH 5, sedangkan aquades dan NaOH dengan prosentase volume NaOH 2% untuk mendapatkan pH 9.

Karena keterbatasan alat modern seperti *ultrasonic vibrator* maka untuk pencampuran nanofluida penulis menggunakan alat pengaduk *magnetic steering*. Setelah menentukan perbandingan massa nanopartikel dengan air serta

tingkat keasamannya, kemudian dicampur dengan alat tersebut hingga partikel tersuspensi merata. Ini dapat dilihat dengan tidak adanya endapan. Pada penelitian ini proses pencampuran dengan pengaduk *magnetic steering* dilakukan selama 5 menit dan kecepatan pengadukan 500 rpm.

3.6 Skema Instalasi Alat Penelitian



Gambar 3.12 Instalasi Penelitian Pengujian Konduktivitas termal

3.7 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah pengambilan data dalam penelitian ini:

a. Pengukuran densitas

1. Mempersiapkan nanofluida dengan persentase nanopartikel sebesar 0,25% dengan pH 5.
2. Memasukkan nanofluida dalam piknometer sampai tidak ada udara yang terjebak.
3. Menimbang piknometer yang telah diisi nanofluida.
4. Mencatat data hasil penimbangan. Data yang didapatkan dari alat piknometer berupa massa nanofluida, kemudian didapatkan nilai densitasnya dengan menggunakan rumus:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.1)$$

Di mana: ρ = densitas nanofluida (gram/cm³)

m = massa nanofluida (gram)

V = volume dalam piknometer (cm^3)

5. Mengulang langkah 1-4 dengan persentase nanopartikel sebesar 0,25, 0,5, 0,75, 1% dan variasi pH 5,7, dan 9.

b. Pengukuran viskositas

1. Mempersiapkan nanofluida dengan persentase nanopartikel sebesar 0,25% dengan pH 5.
2. Memasukkan nanofluida dalam viskometer Ostwald.
3. Menghisap nanofluida pada ujung viskometer Ostwald menggunakan *ball pipet* sampai pada garis bagian atas.
4. Menghitung waktu yang dibutuhkan nanofluida dari garis bagian atas sampai garis bagian bawah.
5. Mencatat waktu alir nanofluida. Data yang didapatkan dari alat viskometer berupa waktu alir dari nanofluida, kemudian didapatkan nilai viskositasnya dengan menggunakan rumus:

$$\mu = K \cdot \rho \cdot t \quad (3.2)$$

Di mana: μ = viskositas fluida sampel (cp)

$$K = \frac{\mu_{air}}{\rho_{air} \cdot t_{air}}$$

t = waktu alir fluida sampel (detik)

ρ = massa jenis fluida sampel (gr/cm^3)

6. Mengulang langkah 1-5 dengan persentase nanopartikel sebesar 0,25, 0,5, 0,75, 1% dan variasi pH 5,7, dan 9.

c. Pengukuran konduktivitas termal

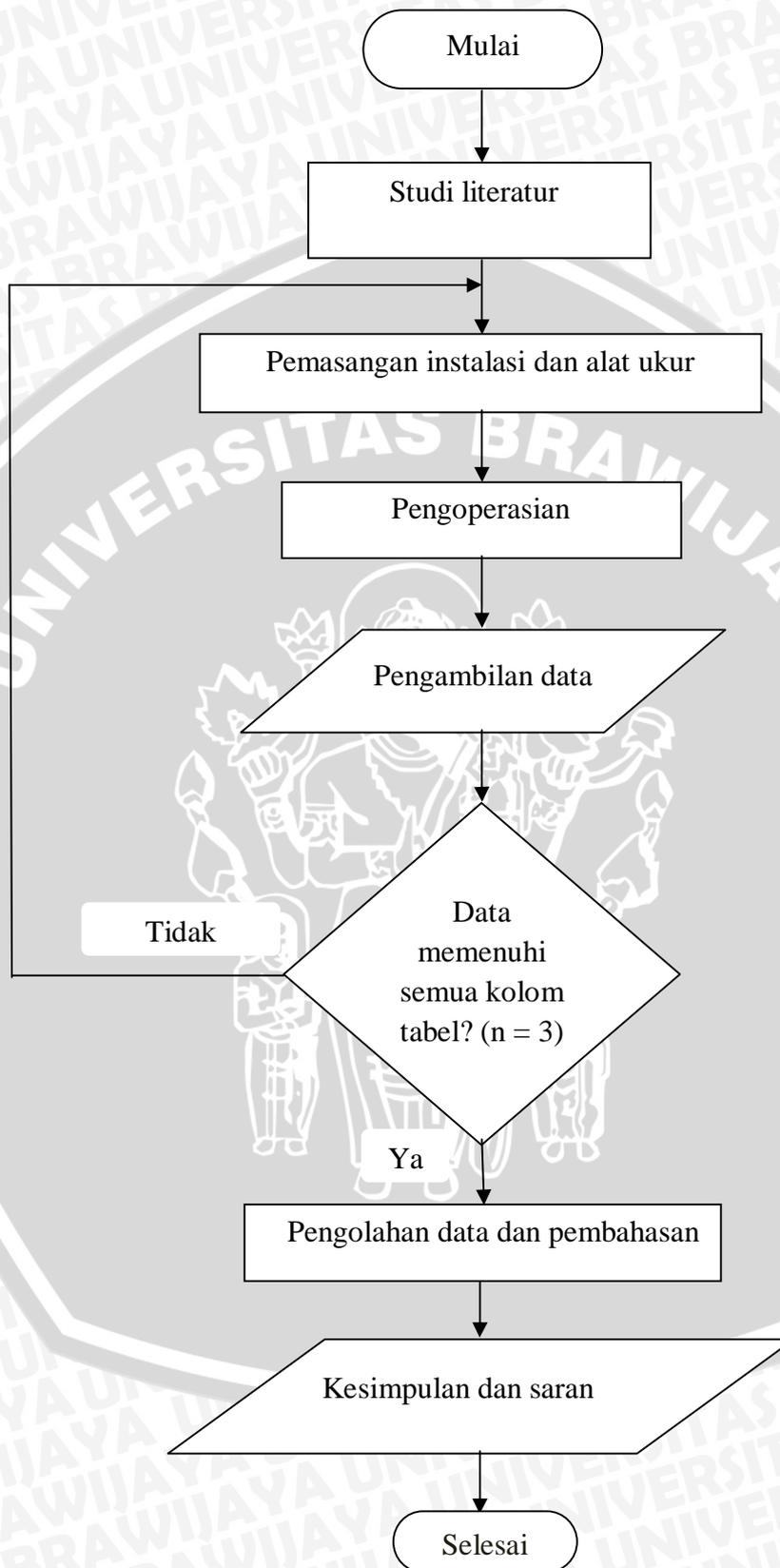
1. Persiapan alat-alat yang dibutuhkan untuk digunakan pada instalasi konduktivitas meter *steady state parallel plate method* yaitu konduktivitas meter, *power supply*, *data logger*, dan laptop kemudian disusun sesuai dengan gambar instalasi penelitian.
2. Mencoba kesesuaian alat untuk memastikan alat sudah bekerja dengan baik serta pengkalibrasian alat konduktivitas meter menggunakan aquades.
3. Mempersiapkan nanofluida dengan persentase nanopartikel sebesar 0,25% dengan pH 5.
4. Memasukkan nanofluida dalam konduktivitas meter.

5. Mengatur arus dan tegangan yang dibutuhkan pada tiap *heater* sedangkan pada pendinginan dijaga temperaturnya konstan pada suhu 26°C.
6. Menunggu kondisi *heater* sampai *steady*.
7. Mencatat hasil pengukuran.
8. Mengulang langkah 3-7 dengan persentase nanopartikel sebesar 0,25, 0,5, 0,75, 1% dan variasi pH 5,7, dan 9.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.13 Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian dan Pengolahan Data

4.1.1 Data Hasil Penelitian

Pada penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah tingkat keasaman (pH) nanofluida dengan variasi 5,7 dan 9. Sedangkan variabel terkontrolnya adalah konsentrasi massa nanopartikel Al_2O_3 pada nanofluida dengan variasi 0,25; 0,5; 0,75 dan 1%.

Penelitian yang dilakukan antara lain penelitian densitas nanofluida, viskositas nanofluida dan konduktivitas termal nanofluida. Data yang diperoleh dari penelitian densitas nanofluida berupa massa nanofluida dengan menggunakan alat piknometer. Massaditimbang dengan menggunakan timbangan elektrik yang memiliki ketelitian 0,001 gram. Data hasil penelitian densitas nanofluida dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Hasil Pengukuran Massa Nanofluida

Massa piknometer kosong: 33,695 gram Volume piknometer: 24,53 cm ³		
persentase massa nanopartikel	pH	Massa nanofluida dan piknometer (gram)
Air	5	58,146
	7	58,140
	9	58,154
0,25%	5	58,315
	7	58,276
	9	58,293
0,50%	5	58,352
	7	58,330
	9	58,362
0,75%	5	58,362
	7	58,380
	9	58,408
1%	5	58,405
	7	58,402
	9	58,455

Sedangkan data yang diperoleh dari pengujian dari viskositas nanofluida berupa waktu alir nanofluida pada pipa kapiler viskometer Ostwald. Data hasil pengujian viskositas nanofluida dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Hasil Pengukuran Waktu Alir Nanofluida pada Viskometer Ostwald

ρ air: 1 gram/cm ³ μ air: 0,8488 cp t alir: 109,51 detik		
persentase massa nanopartikel	pH	waktu (detik)
Air	5	109,92
	7	109,51
	9	110,44
0,25%	5	113,17
	7	121,85
	9	115,52
0,50%	5	115,22
	7	122,87
	9	116,11
0,75%	5	116,59
	7	124,41
	9	120,17
1%	5	117,29
	7	125,70
	9	123,66

Sedangkan data hasil pada pengujian konduktivitas termal berupa tegangan dan arus yang tertera pada *power supply*, serta perbedaan suhu antara *heater* dan plat pendinginnya yang tertera pada *software data logger*. Pengamatan konduktivitas meter ini menggunakan metode *steady state flat parallel plate*. Data hasil penelitian konduktivitas termal nanofluida dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data Hasil Pengukuran Beda Temperatur pada Konduktivitas Meter

Luas penampang pelat heater: $6,361725 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ Luas penampang spacer: $8,4823 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ Tinggi spacer: 2 mm Tinggi heater : 19 mm k spacer: 0,25 W/m.°C				
persentase massa nanopartikel	pH	Tegangan (V)	Arus (A)	ΔT (°C)
Air	5	5,3	0,57	1,475
	7	5	0,53	1,295
	9	4,5	0,49	1,07
0,25%	5	5,3	0,57	1,45
	7	4,5	0,49	0,975
	9	5,3	0,57	1,41
0,50%	5	5,3	0,57	1,425
	7	5	0,53	1,145
	9	5,3	0,57	1,38
0,75%	5	5,3	0,57	1,375
	7	5	0,53	1,11
	9	5,3	0,57	1,33
1%	5	5,3	0,57	1,36
	7	5	0,53	1,08
	9	5,3	0,57	1,305

4.1.2 Perhitungan Data

A. Perhitungan Densitas Nanofluida

Data hasil penelitian densitas nanofluida berupa berat nanofluida dan piknometer dihitung untuk mengetahui densitasnya dengan menggunakan rumus:

$$\rho = \frac{m \text{ nanofluida}}{V \text{ piknometer}}$$

$$\rho = \frac{m \text{ nanofluida dan piknometer} - m \text{ piknometer}}{V \text{ piknometer}}$$

dimana ρ adalah densitas nanofluida. Maka, perhitungan densitas nanofluida didapatkan seperti di bawah ini (sebagai contoh adalah nanofluida dengan konsentrasi massa 0,25% dengan pH 5):

$$\rho = \frac{58,315 - 33,695}{24,530}$$

$$\rho = 1,00367 \text{ gram/ cm}^3$$

B. Perhitungan Viskositas Nanofluida

Data hasil penelitian viskositas yang berupa waktu (detik), dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\mu_{nanofluida} = K \cdot \rho_{nanofluida} \cdot t_{nanofluida}$$

Di mana: μ = viskositas (cp)

$$K = \frac{\mu_{air}}{\rho_{air} \cdot t_{air}} = (cm/s)^2$$

$t_{nanofluida}$ = waktu alir nanofluida (detik)

$\rho_{nanofluida}$ = massa jenis nanofluida (gr/cm³)

Maka didapatkan nilai K:

$$K = \frac{\mu_{air}}{\rho_{air} \cdot t_{air}} = \frac{0,84880 \times 10^{-3} \text{ gr/cm} \cdot \text{s}}{0,99651 \text{ gr/cm}^3 \cdot 109,51 \text{ s}} = 0,00775 (cm/s)^2$$

Maka, perhitungan viskositas nanofluida didapatkan seperti di bawah ini (sebagai contoh adalah nanofluida dengan konsentrasi massa 0,25% dengan pH 5):

$$\mu = K \cdot \rho_{nanofluida} \cdot t_{nanofluida}$$

$$\mu = 0,00775 \cdot 1,00367 \cdot 113,17$$

$$\mu = 0,88347 \text{ cp}$$

C. Perhitungan Konduktivitas Termal Nanofluida

Data hasil penelitian konduktivitas termal yang berupa voltase, arus dan perbedaan temperatur, dihitung dengan menggunakan rumus:

$$k_e = \frac{k \cdot S - k_g \cdot S_g}{S - S_g}$$

Di mana:

k_g : konduktivitas termal *glass spacers* (W/m.°C)

S_g : luas penampang *glass spacers* (m²)

S : luas penampang plat tembaga bagian atas (m²)

k : konduktivitas termal tembaga (W/m.°C)

k_e : konduktivitas termal fluida (W/m.°C)

dalam hal ini, konduktivitas termal tembaga diperoleh melalui perhitungan di bawah ini (sebagai contoh adalah nanofluida dengan konsentrasi massa 0,25% dengan pH 5):

$$k = \frac{V \cdot I \cdot h_{heater}}{A_{heater} \cdot \Delta T} = \frac{5,3 \cdot 0,57 \cdot 1,9 \cdot 10^{-3}}{6,361725 \cdot 10^{-3} \cdot 1,45} = 0,62225 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$$

Maka, perhitungan konduktivitas termal nanofluida didapatkan seperti di bawah ini:

$$k_e = \frac{k \cdot S - k_g \cdot S_g}{S - S_g}$$

$$k_e = \frac{0,62225 \cdot 6,361725 \cdot 10^{-3} - 0,25 \cdot 8,4823 \cdot 10^{-5}}{6,361725 \cdot 10^{-3} - 8,4823 \cdot 10^{-5}}$$

$$k_e = 0,64477 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$$

4.1.3 Data Hasil Perhitungan

Berdasarkan perhitungan dari data yang telah diperoleh, maka didapatkan secara berturut-turut hasil denistas nanofluida, viskositas nanofluida dan konduktivitas termal nanofluida seperti pada tabel 4.4, tabel 4.5 dan tabel 4.6.

Tabel 4.4 Data Hasil Perhitungan Densitas Nanofluida

Massa piknometer kosong: 33,695 gram Volume piknometer: 24,53 cm ³				
persentase massa nanopartikel	pH	Massa nanofluida dan piknometer (gram)	Massa Nanofluida (gram)	Massa Jenis (gram/ cm ³)
Air	5	58,219	24,524	0,99680
	7	58,225	24,530	0,99651
	9	58,240	24,545	0,99713
0,25%	5	58,315	24,620	1,00367
	7	58,276	24,581	1,00208
	9	58,293	24,598	1,00277
0,50%	5	58,352	24,657	1,00518
	7	58,330	24,635	1,00428
	9	58,362	24,667	1,00559
0,75%	5	58,362	24,667	1,00559
	7	58,380	24,685	1,00632
	9	58,408	24,713	1,00746
1%	5	58,405	24,710	1,00734
	7	58,402	24,707	1,00723
	9	58,455	24,760	1,00938

Tabel 4.5 Data Hasil Perhitungan Viskositas Nanofluida

ρ air: 1 gram/cm ³ μ air: 0,8488 cp t alir: 109,51 detik			
persentase massa nanopartikel	pH	waktu (detik)	Viskositas (cp)
Air	5	108,92	0,84402
	7	109,51	0,84880
	9	110,44	0,85654
0,25%	5	113,17	0,88347
	7	121,85	0,94972
	9	115,52	0,90101
0,50%	5	115,22	0,90082
	7	122,87	0,95978
	9	116,11	0,90815
0,75%	5	116,59	0,91190
	7	124,41	0,97378
	9	120,17	0,94166
1%	5	117,29	0,91898
	7	125,70	0,98475
	9	123,66	0,97085

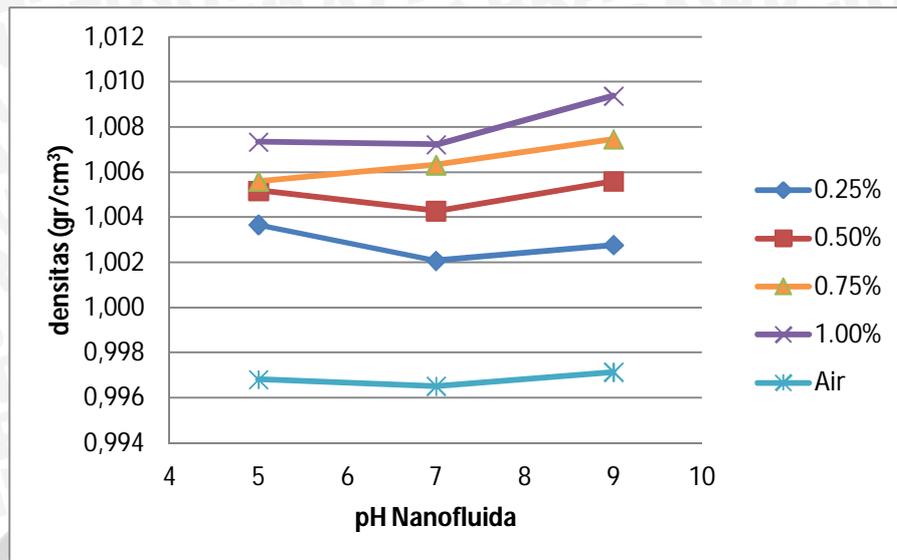
Tabel 4.6 Data Hasil Perhitungan Konduktivitas Termal Nanofluida

Luas penampang pelat <i>heater</i> : $6,361725 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ Luas penampang <i>spacer</i> : $8,4823 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ Tinggi <i>spacer</i> : 2 mm Tinggi <i>heater</i> : 19 mm <i>k spacer</i> : 0,25 W/m.°C					
persentase massa nanopartikel	pH	Tegangan (V)	Arus (A)	ΔT (°C)	Konduktivitas Termal (W/m.°C)
Air	5	5,3	0,57	1,475	0,61659
	7	5	0,53	1,295	0,61604
	9	4,5	0,49	1,07	0,62040
0,25%	5	5,3	0,57	1,45	0,62728
	7	4,5	0,49	0,975	0,68118
	9	5,3	0,57	1,41	0,64517
0,50%	5	5,3	0,57	1,425	0,63834
	7	5	0,53	1,145	0,69719
	9	5,3	0,57	1,38	0,65927
0,75%	5	5,3	0,57	1,375	0,66167
	7	5	0,53	1,11	0,71928
	9	5,3	0,57	1,33	0,68418
1%	5	5,3	0,57	1,36	0,66901
	7	5	0,53	1,08	0,73935
	9	5,3	0,57	1,305	0,69735

4.2 Pembahasan Grafik

4.2.1 Pembahasan Grafik Densitas Nanofluida

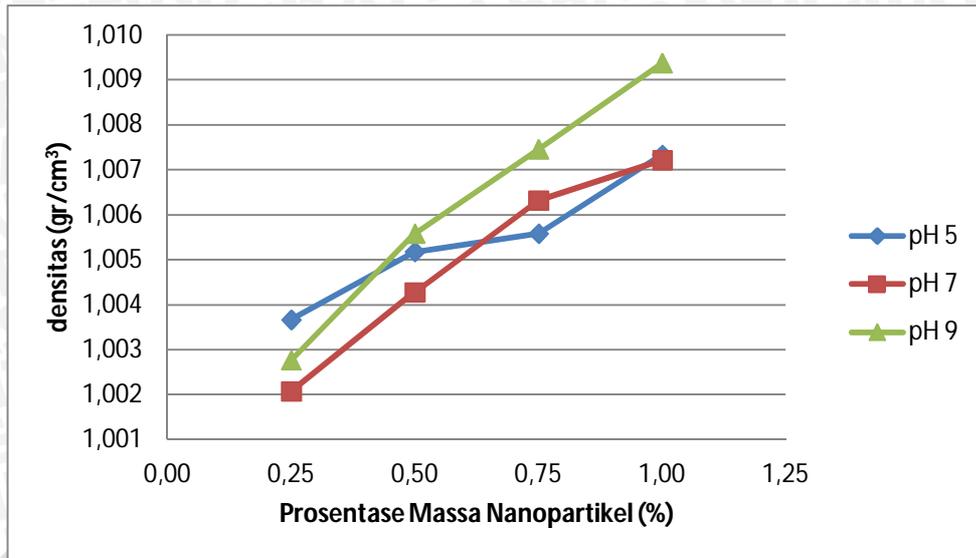
Berdasarkan data hasil perhitungan densitas nanofluida, maka dapat diplot menjadi grafik seperti pada grafik 4.1 dan 4.2.



Grafik 4.1 Grafik Pengaruh Variasi Tingkat Keasaman (pH) Nanofluida terhadap Densitas Nanofluida

Dari grafik 4.1 menunjukkan pengaruh variasi tingkat keasaman (pH) nanofluida terhadap densitas nanofluida dan menunjukkan bahwa tingkat keasaman (pH) nanofluida mempengaruhi densitas nanofluida kecuali pada air karena tidak ada penambahan nanopartikel sehingga densitasnya mengalami sedikit perubahan untuk berbagai pH. Pada grafik 4.1, pH 7 memiliki densitas paling rendah, karena aquades tidak mengalami penambahan zat apapun. Pada pH 5 terdapat penambahan HCl dan sedangkan pH 9 NaOH. Densitas pada pH 9 lebih tinggi daripada pH 5 diakibatkan berat Mr NaOH lebih tinggi daripada HCl.

Pada variasi pH nanofluida terlihat densitas nanofluida paling rendah pada pH netral (pH 7) dibandingkan dengan pH 5 maupun pH 9. Hal ini diakibatkan oleh adanya pengaruh pH terhadap dimensi fractal dan juga muatan pada nanopartikel, sehingga jarak antar nanopartikel akan mengalami perbedaan antara satu pH satu dengan pH yang lainnya. Jarak antar nanopartikel yang berbeda ini mengakibatkan volume nanofluida juga akan berbeda sehingga densitas nanofluida akan mengalami fluktuasi pada pH yang berbeda seperti tampak pada grafik 4.1.



Grafik 4.2 Grafik Pengaruh Prosentase Massa Nanopartikel terhadap Densitas Nanofluida

Sedangkan pada grafik 4.2 menunjukkan pengaruh prosentase massa nanopartikel terhadap densitas nanofluida dan terlihat semakin tinggi prosentase massa nanopartikel, maka densitas nanofluida akan semakin tinggi. Hal ini dipengaruhi oleh massa nanopartikel yang tersuspensi dalam nanofluida dapat menambah massa nanofluida tersebut sehingga densitasnya juga akan meningkat. Hal ini sesuai dengan persamaan massa jenis di bawah ini:

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{4.1}$$

Keterangan :

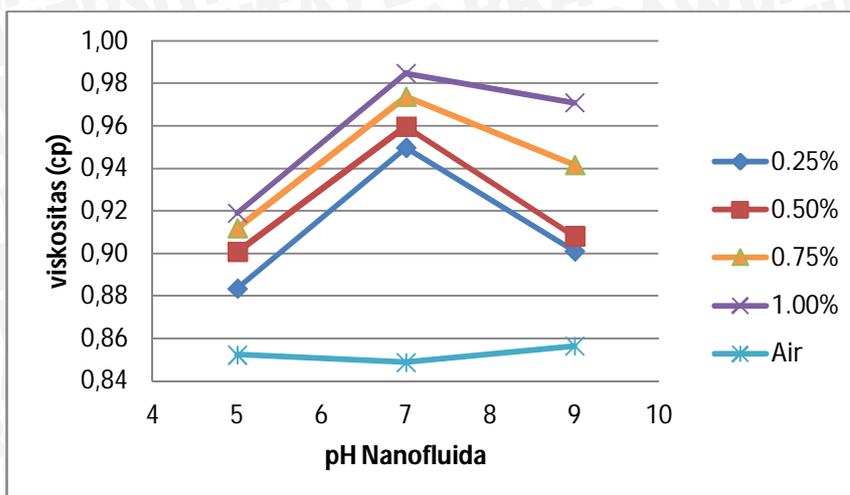
ρ = massa jenis nanofluida (gram/ cm³)

m = massa nanofluida (gram)

V = volume nanofluida (cm³)

4.2.2 Pembahasan Grafik Viskositas Nanofluida

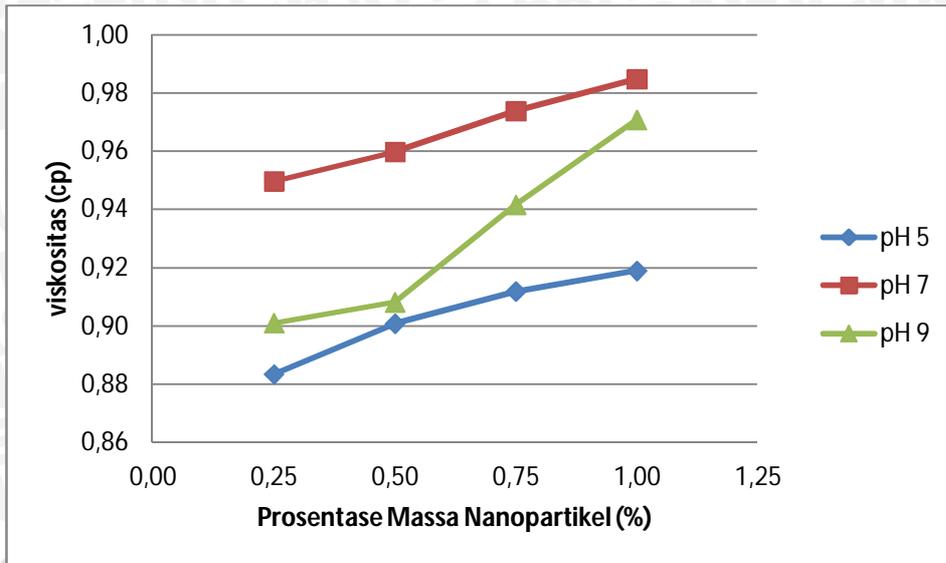
Berdasarkan data hasil perhitungan viskositas nanofluida, maka dapat diplot menjadi grafik seperti pada grafik 4.3 dan 4.4 di bawah ini:



Grafik 4.3 Grafik Pengaruh Variasi Tingkat Keasaman (pH) Nanofluida terhadap Viskositas Nanofluida

Dari grafik 4.3 menunjukkan pengaruh variasi tingkat keasaman (pH) nanofluida terhadap viskositas nanofluida dan terlihat bahwa tingkat keasaman (pH) nanofluida mempengaruhi viskositas nanofluida kecuali pada air yang viskositasnya mengalami sedikit perubahan untuk berbagai pH. Pada grafik, pH 7 memiliki viskositas paling rendah, karena aquades tidak mengalami penambahan zat apapun. Pada pH 5 terdapat penambahan HCl dan sedangkan pH 9 NaOH. Viskositas pada pH 9 lebih tinggi daripada pH 5 diakibatkan densitas air pada pH 9 lebih tinggi daripada pH 5, sehingga gaya yang dibutuhkan untuk menjaga pergerakan fluida dengan kecepatan yang konstan juga akan meningkat.

Pada variasi pH nanofluida terlihat viskositas nanofluida paling tinggi pada pH netral (pH 7) dibandingkan dengan pH 5 maupun pH 9. Hal ini diakibatkan oleh adanya pengaruh pH terhadap dimensi fractal dan juga muatan pada nanopartikel, sehingga jarak antar nanopartikel akan mengalami perbedaan antara satu pH satu dengan pH yang lainnya. Jarak antar nanopartikel yang berbeda ini mengakibatkan kestabilan pada suspensi nanofluida juga akan berbeda sehingga viskositas nanofluida akan mengalami fluktuasi pada pH yang berbeda seperti tampak pada grafik 4.3.



Grafik 4.4 Grafik Pengaruh Prosentase Massa Nanopartikel terhadap Viskositas Nanofluida

Sedangkan pada grafik 4.4 menunjukkan pengaruh prosentase massa nanopartikel terhadap viskositas nanofluida dan terlihat semakin tinggi prosentase massa nanopartikel, maka viskositas nanofluida akan semakin tinggi. Hal ini dipengaruhi oleh massa nanopartikel yang tersuspensi dalam nanofluida dapat menambah gaya yang dibutuhkan untuk menjaga pergerakan fluida dengan kecepatan yang konstan, yang sesuai dengan persamaan di bawah ini:

$$\mu = \frac{F}{A} \cdot t \tag{4.2}$$

Keterangan :

μ = viskositas dinamik (Poise)

F = gaya yang dibutuhkan untuk menjaga pergerakan fluida dengan kecepatan yang konstan (N)

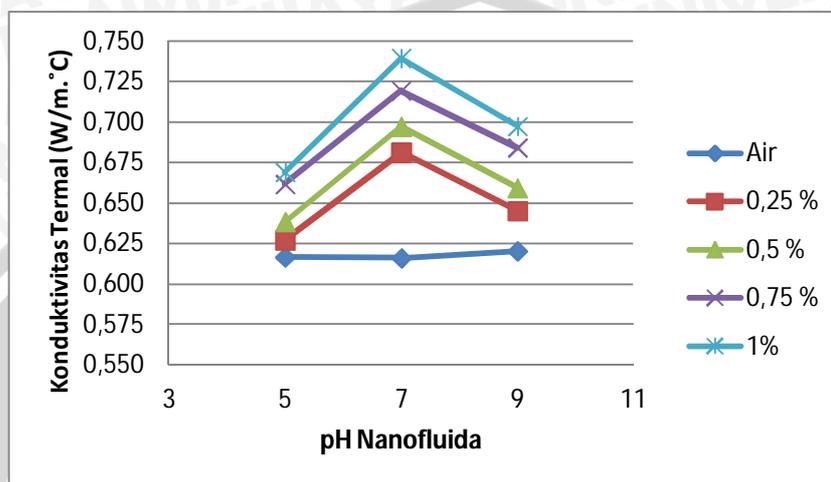
A = luas permukaan yang berkontak dengan fluida (m²)

t = waktu alir fluida (detik)

Akibat meningkatnya massa nanopartikel pada fluida, maka meningkat pula gaya F, sehingga viskositas nanofluida juga akan mengalami peningkatan.

4.2.3 Pembahasan Grafik Konduktivitas Termal Nanofluida

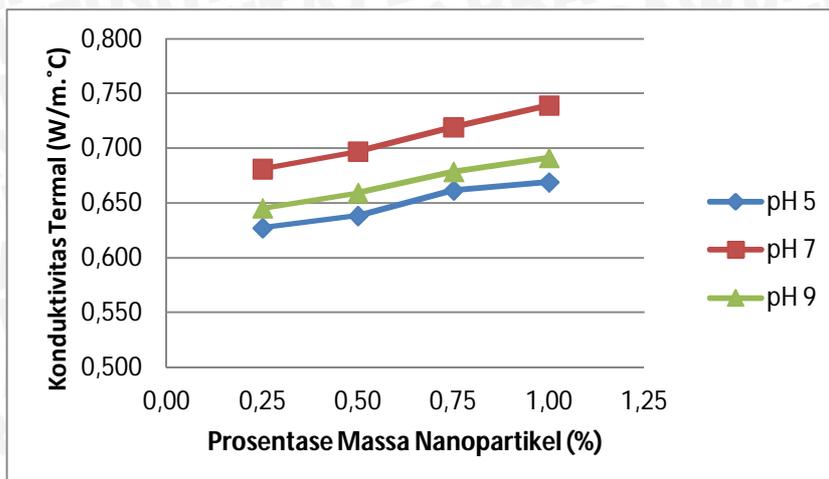
Berdasarkan data hasil perhitungan konduktivitas termal nanofluida, maka dapat diplot menjadi grafik seperti pada grafik 4.5 dan 4.6 di bawah ini:



Grafik 4.5 Grafik Pengaruh Variasi Tingkat Keasaman (pH) Nanofluida terhadap Konduktivitas Termal Nanofluida

Dari grafik 4.5 menunjukkan pengaruh variasi tingkat keasaman (pH) nanofluida terhadap konduktivitas termal nanofluida dan terlihat bahwa tingkat keasaman (pH) nanofluida mempengaruhi konduktivitas termal nanofluida kecuali pada air yang konduktivitas termalnya cenderung konstan pada berbagai pH. Hal ini dikarenakan pada air tidak ditambah nanopartikel sehingga konduktivitas termalnya cenderung tidak mengalami perubahan.

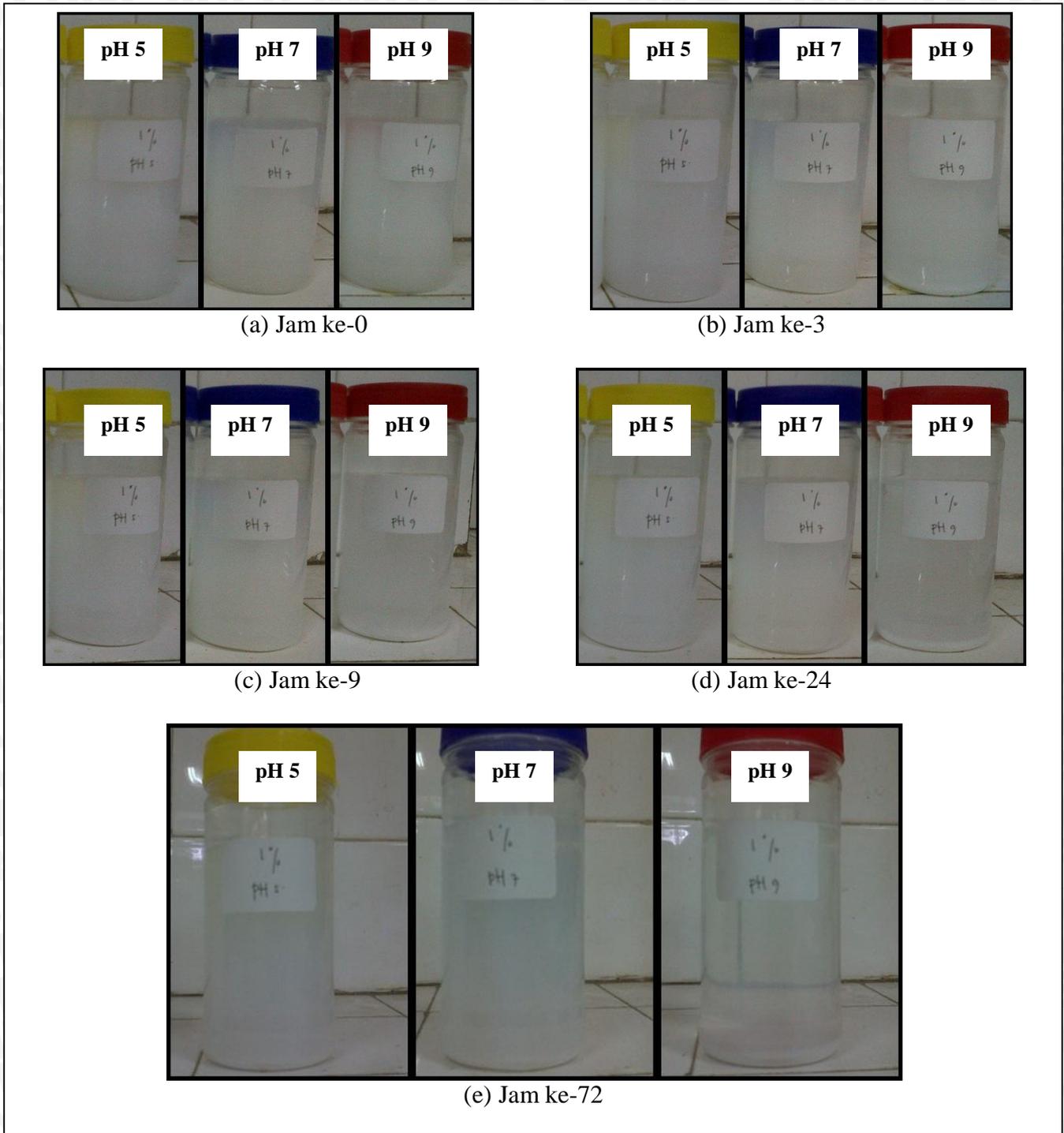
Pada variasi pH nanofluida terlihat konduktivitas termal nanofluida paling tinggi pada pH netral (pH 7) dibandingkan dengan pH 5 maupun pH 9. Hal ini diakibatkan oleh adanya pengaruh pH terhadap dimensi fractal dan juga muatan pada nanopartikel, sehingga jarak antar nanopartikel akan mengalami perbedaan antara satu pH satu dengan pH yang lainnya. Jarak antar nanopartikel yang berbeda ini mengakibatkan kestabilan pada suspensi nanofluida juga akan berbeda sehingga konduktivitas termal nanofluida akan mengalami fluktuasi pada pH yang berbeda seperti tampak pada grafik 4.5.



Grafik 4.6 Grafik Pengaruh Prosentase Massa Nanopartikel terhadap Konduktivitas Termal Nanofluida

Sedangkan pada grafik 4.6 menunjukkan hubungan pengaruh prosentase massa nanopartikel terhadap konduktivitas termal nanofluida dan terlihat semakin tinggi prosentase massa nanopartikel, maka konduktivitas termal nanofluida akan semakin tinggi. Hal ini dipengaruhi oleh massa nanopartikel yang tersuspensi dalam nanofluida semakin banyak. Hal tersebut mengakibatkan bertambahnya konduktivitas termal pada nanofluida seiring bertambahnya nanopartikel pada nanofluida tersebut.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat keasaman (pH) nanofluida mempengaruhi densitas, viskositas dan konduktivitas termal nanofluida tersebut. Hal ini disebabkan oleh tingkat keasaman (pH) ini sangat mempengaruhi kestabilan suspensi nanopartikel dalam nanofluida. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan cepat lambatnya nanopartikel tersebut akan mengendap apabila didiamkan dalam beberapa waktu seperti yang terlihat pada gambar 4.1.

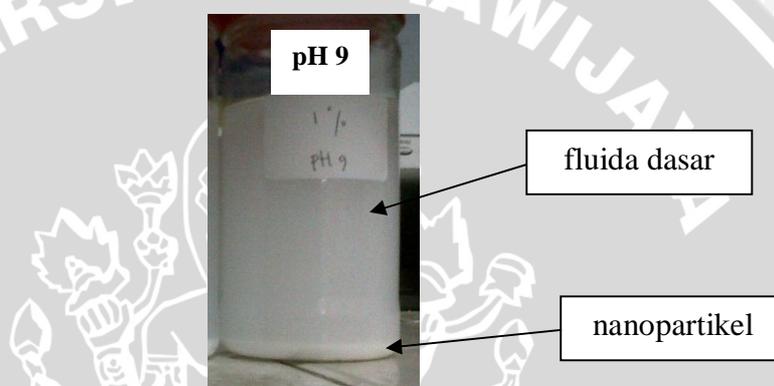


Gambar 4.1 Nanofluida prosentase massa nanopartikel 1% dengan berbagai pH

Pada gambar 4.1 (a) menunjukkan keadaan nanopartikel dengan prosentase massa 1 % yang telah didispersikan ke dalam fluida dasarnya

dengan berbagai tingkat keasaman (pH) yang berbeda pada jam ke-0. Keadaan ini adalah keadaan di mana sesaat setelah pengadukan nanofluida.

Pada gambar 4.1 (b) menunjukkan keadaan nanopartikel dengan prosentase massa 1 % yang telah didispersikan ke dalam fluida dasarnya dengan berbagai tingkat keasaman (pH) yang berbeda pada jam ke-3. Di antara ketiga pH yang berbeda tersebut, nampak pada pH 9 telah terjadi pengendapan nanopartikel dibandingkan pada pH 5 dan 7 seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2. Hal ini menunjukkan bahwa suspensi nanopartikel pada nanofluida pH 9 kurang stabil sehingga mudah untuk mengendap apabila didiamkan.



Gambar 4.2 Nanofluida prosentase massa nanopartikel 1% dengan pH 9 pada jam ke-3

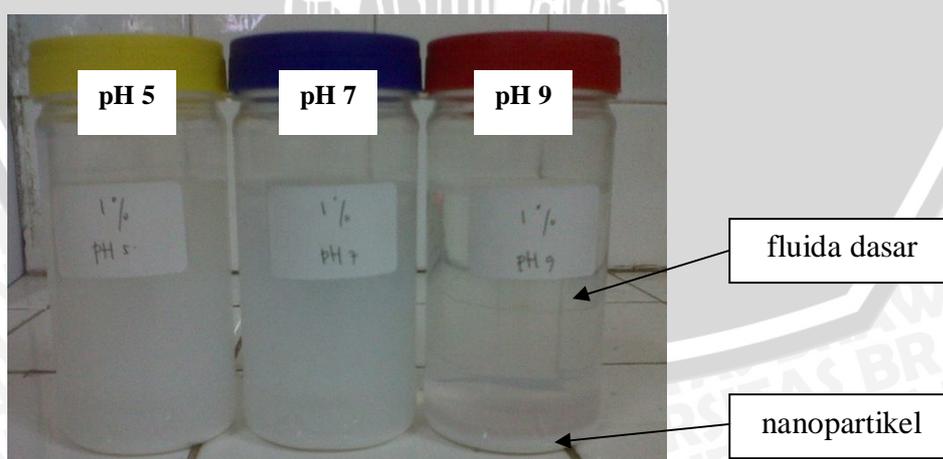
Pada gambar 4.1 (c) menunjukkan keadaan nanopartikel dengan prosentase massa 1 % yang telah didispersikan ke dalam fluida dasarnya dengan berbagai tingkat keasaman (pH) yang berbeda pada jam ke-9. Di antara ketiga pH yang berbeda tersebut, nampak pada pH 9 pengendapan nanopartikel semakin banyak dibandingkan pada jam sebelumnya dan sedangkan pada nanofluida pH 5 dan 7, nanopartikel mulai mengendap tetapi masih sangat sedikit. Hal ini menunjukkan bahwa suspensi nanopartikel pada nanofluida pH 9 kurang stabil sehingga mudah untuk mengendap apabila didiamkan.

Pada gambar 4.1 (d) menunjukkan keadaan nanopartikel dengan prosentase massa 1 % yang telah didispersikan ke dalam fluida dasarnya dengan berbagai tingkat keasaman (pH) yang berbeda pada jam ke-24. Di antara ketiga pH yang berbeda tersebut, nampak pada pH 9 pengendapan

nanopartikel semakin banyak dibandingkan pada jam sebelumnya dan fluida dasarnya mulai terlihat jernih yang menandakan bahwa nanopartikel sudah hampir mengendap seluruhnya. Sedangkan pada nanofluida pH 5 dan 7, nanopartikel tidak mengalami pengendapan yang drastis dibandingkan dengan keadaan nanofluida pH 9. Hal ini menunjukkan bahwa suspensi nanopartikel pada nanofluida pH 9 kurang stabil sehingga mudah untuk mengendap apabila didiamkan.

Pada gambar 4.1 (e) menunjukkan keadaan nanopartikel dengan prosentase massa 1 % yang telah didispersikan ke dalam fluida dasarnya dengan berbagai tingkat keasaman (pH) yang berbeda pada jam ke-72 atau tujuh hari tujuh malam. Di antara ketiga pH yang berbeda tersebut, nampak pada pH 9 pengendapan nanopartikel semakin banyak dibandingkan pada jam sebelumnya dan fluida dasarnya cukup terlihat jernih yang menandakan bahwa nanopartikel mengendap hampir seluruhnya. Sedangkan pada nanofluida pH 5 dan 7, nanopartikel tidak mengalami pengendapan sebanyak nanofluida pH 9.

Keadaan nanofluida apabila diurutkan dari yang paling banyak endapan nanopartikel adalah keadaan nanofluida dengan pH 9,7 dan 5 sesuai dengan gambar 4.3. Hal ini menunjukkan kestabilan suspensi nanopartikel dalam fluida dasarnya paling baik pada keadaan nanofluida dengan pH 5, kemudian pH 7 dan keadaan paling tidak stabil adalah pada pH 9.



Gambar 4.3 Nanofluida prosentase massa nanopartikel 1% dengan Berbagai variasi pH pada jam ke-72

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan, yaitu:

1. Perbedaan tingkat keasaman pH nanofluida mempengaruhi densitas, viskositas dan konduktivitas termal. Hal ini disebabkan oleh pH nanofluida dapat mempengaruhi muatan pada permukaan nanopartikel sehingga kestabilan nanopartikel Al_2O_3 pada air akan bervariasi. pH nanofluida dengan *fluid properties* tertinggi didapatkan pada pH 7 (netral).
2. Penambahan nanopartikel meningkatkan densitas, viskositas dan konduktivitas termal nanofluida. Prosentase massa nanopartikel dengan nilai karakteristik tertinggi adalah pada 1% yaitu prosentase massa tertinggi pada penelitian ini.
3. Pada penambahan nanopartikel dengan prosentase massa nanopartikel 1%, densitas nanofluida meningkat hingga 1,3 %, viskositasnya meningkat hingga 16 % dan konduktivitas termalnya meningkat hingga 20 %.

5.2 Saran

1. Untuk menambah ilmu pengetahuan tentang kestabilan suspensi nanopartikel dalam nanofluida, diperlukan penelitian dengan banyak variasi pH nanofluida.
2. Perlunya metode pengukuran konduktivitas termal campuran dua fase selain *steady state parallel plate* dan *hot wire method* sehingga waktu penelitian konduktivitas termal nanofluida dapat lebih singkat.



DAFTAR PUSTAKA

- Choi, S. U. S. 1995. Enhancing Thermal Conductivity of Fluids with Nanoparticles, in *Developments and Applications of Non-Newtonian Flows*, D. A. Singer and H.P. Wang, Eds., American Society of Mechanical Engineers, New York, FED – 231/MD-66: 99-105
- Cremers, C. J., and H. Alan Fine. 1990. *Thermal Conductivity Volume 21*. Purdue Research Foundation
- Das, S. K., N. Putra, and W. Roetzel. 2003. Pool Boiling Characteristics of Nano-fluids. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 46: 851-862
- Das, S. K., S. U. S. Choi, Wenhua Yu, T. Pradeep. 2007. *Nanofluids : Science and Technology*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Do Alla, Imanuel. 2013. Unjuk Kerja Radiator dengan Fluida Kerja Nanofluida (Al_2O_3 -Air)
- Eastman, J. A., S. U. S. Choi, S. Li, L. J. Thompson, and S. Lee. 1997. Enhanced Thermal Conductivity through the development of nanofluids, *Proc. Symposium Nanophase and Nanocomposite Materials II*, Material Research Society, Boston, MA, 457: 3-11
- Fox, R.W., Alan T.M. 1985. *Introduction to Fluid Mechanics*. Third Edition. Canada : John Wiley & Sons, Inc.
- Harkirat. 2010. Preparation and Characterization of Nanofluids and Some Investigation in Biological Applications
- Jwo CS, Jeng LY, Teng TP, Chen CC: Performance of Overall Heat Transfer in Multi-Channel Heat Exchanger by Alumina Nanofluid. *J Alloy Compd* 2010, 504S:385
- Keblinski, P., S. R. Phillpot, S. U. S. Choi, and J. A. Eastman. 2002. Mechanism of Heat Flow in Suspensions of Nano-sized Particles (Nanofluids), *Int. J. Heat and Mass Transfer*, 45: 855-863
- Lee, S., S. U. S. Choi, S. Li, and J. A. Eastman. 1999. Measuring Thermal Conductivity of Fluids Containing Oxide Nanoparticles, *J. Heat Transfer*, 121: 280-289
- Liu MS, Lin MCC, Huang IT, Wang CC. 2006. Enhancement of Thermal Conductivity with CuO for Nanofluids. *Chem Eng Technol*, 29:72-77
- Murshed, S. M. S., K. C. Leong, and C. Yang. 2005. Enhanced Thermal Conductivity of TiO_2 -Water Based Nanofluids, *Int. J. Therm. Sci*, 44: 367-373

- Putra , N., W. Roetzel, and S. K. Das. 2003. Natural Convection of Nanofluids, *Heat Mass Transfer*, 39: 775-784
- Torsaeter, O., and Abtahi, M. 2003. *Experimental Reservoir Engineering Laboratory Work Book*. Department of Petroleum engineering and Applied Geophysics, Norwegian University of Science and Technology
- Wang, X., X. Xu, and S. U. S. Choi. 1999. Thermal Conductivity of Nanoparticle-Fluid Mixture, *J. Thermophys. Heat Transfer*, 13: 474-480
- Wenhua, et al. 2008 . Review and Comparison of Nanofluid Thermal Conductivity and Heat Transfer Enhancements
- Xuan, Y., and Q. Li. 2003 Investigation on Convective Heat Transfer and Flow Features of Nanofluids, *J. Heat Transfer*, 125: 151-155
- Zhao, J. F., Luo Z. Y., Ni M. J., and Cen K. F. 2009. Dependence of Nanofluid Viscosity on Particle Size and pH Value, *Chin Phys Lett* Vol. 26 No. 6
- Zhu, D., Li X., Wang N., Wang X., Gao J., and Li H. 2009. Dispersion Behavior and Thermal Conductivity Characteristics of Al₂O₃-H₂O Nanofluids. *Current Applied Physics*, 9:131-139
- Zhu, H., Y. Lin, and Y. Yin. 2004. A Novel One-Step Chemical Method for Preparation of Copper Nanofluids, *J. Colloid Interface Sci.*, 277: 100-103

