

**PENGARUH VARIASI PROSENTASE MASSA NANOPARTIKEL DAN
TEMPERATUR NANOFLUIDA TERHADAP *FLUID PROPERTIES***

NANOFLUIDA H₂O-Al₂O₃

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh

**MOCH. WILDAN
NIM. 0910620077-62**

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2013

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH VARIASI PROSENTASE MASSA NANOPARTIKEL DAN
TEMPERATUR NANOFLUIDA TERHADAP *FLUID PROPERTIES***

NANOFLUIDA H₂O-Al₂O₃

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh

MOCH. WILDAN
NIM. 0910620077-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

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

Dr.Eng. Lilis Yuliati, ST., MT.
NIP. 19750702 200003 2 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI PROSENTASE MASSA NANOPARTIKEL DAN
TEMPERATUR NANOFLUIDA TERHADAP FLUID PROPERTIES
NANOFLUIDA H₂O-Al₂O₃**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

MOCH. WILDAN
NIM. 0910620077-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 29 Juli 2013

Penguji I

Ir. Hastono Wijaya, MT.
NIP. 19601204 198601 1 002

Penguji II

Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT.
NIP. 19591128 198710 1 001

Penguji III

Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng
NIP. 19750710 199903 1 004

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah senantiasa melimpahkan rahmat, berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **"Pengaruh Variasi Prosentase Massa Nanopartikel dan Temperatur Nanofluida terhadap *Fluid Properties* Nanofluida H₂O-Al₂O₃"** ini dengan baik.

Selama dalam penulisan skripsi ini penulis telah dibantu oleh banyak pihak. Oleh sebab itu penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini, yaitu :

- Ibu Asfariyah tercinta, serta kakak-kakak saya Abdul Hamid, M. Baihaqi, Noor Laila, M. Fitri A. serta keponakan saya Fadhly yang selalu memberikan motivasi dan dukungan baik materil maupun moril untuk mengerjakan skripsi ini,
- Bapak Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng., serta Ibu Dr.Eng. Lilis Yulianti, ST., MT., sebagai Dosen pembimbing yang telah banyak bersabar dan bersedia meluangkan waktunya untuk memberikan ide-ide, bimbingan, arahan, dan masukan dalam penyusunan skripsi ini.
- Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
- Bapak Dr.Eng. Anindito P., ST., M.Eng., selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
- Bapak Agung Sugeng W., ST., MT., Ph.D. Selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Produksi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya,
- Bapak Ir. Ari Wahjudi, MT., Selaku dosen wali saya yang telah memberikan bimbingan dan motivasi selama menempuh kuliah di Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya,
- Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan,
- Seluruh staf administrasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah banyak membantu,

- Fitri Sukmawati yang telah menjadi partner skripsi dan selalu mengingatkan dan memberikan semangat serta dukungan.
- Keluarga besar Mayjend Panjaitan 110 (MP 110), Anput, Ucup, Hapid, Blonde, Muklis, Hengki, Irwan, Ilham, Lutfi dan Tam yang telah bersedia memberikan tempat serta dukungannya.
- Keluarga besar Studio Gambar Mesin, Bapak Purnami selaku kepala studio, Teman-teman asisten semua, terima kasih atas bantuannya.
- Teman-teman angkatan 2009 (**BLACK MAMBA**) semuanya, terima kasih atas dukungannya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Juli 2013

Penulis

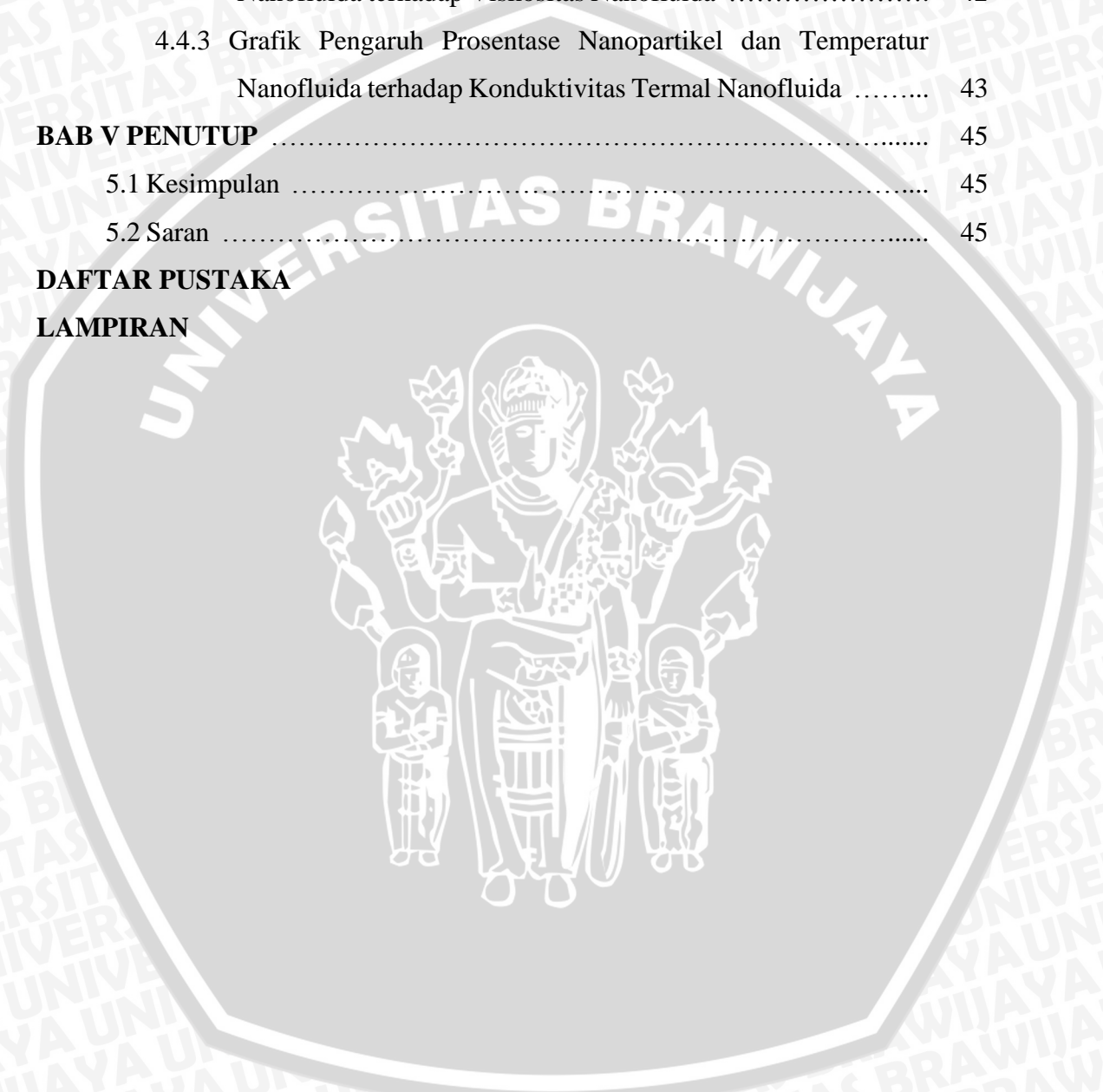


DAFTAR ISI

	halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Nanofluida	4
2.3 Sifat Fisik Fluida	7
2.3.1 Viskositas	7
2.3.2 Massa Jenis	15
2.3.3 Konduktivitas Termal	17
2.4 Hipotesis	23
BAB III METODE PENELITIAN	24
3.1 Tempat Penelitian	24
3.2 Variabel Penelitian	24
3.3 Alat-Alat Penelitian	25
3.4 Skema Instalasi Alat Penelitian	31
3.5 Prosedur Penelitian	32
3.6 Diagram Alir Penelitian	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Analisis Penelitian	36
4.2 Perhitungan Data	38

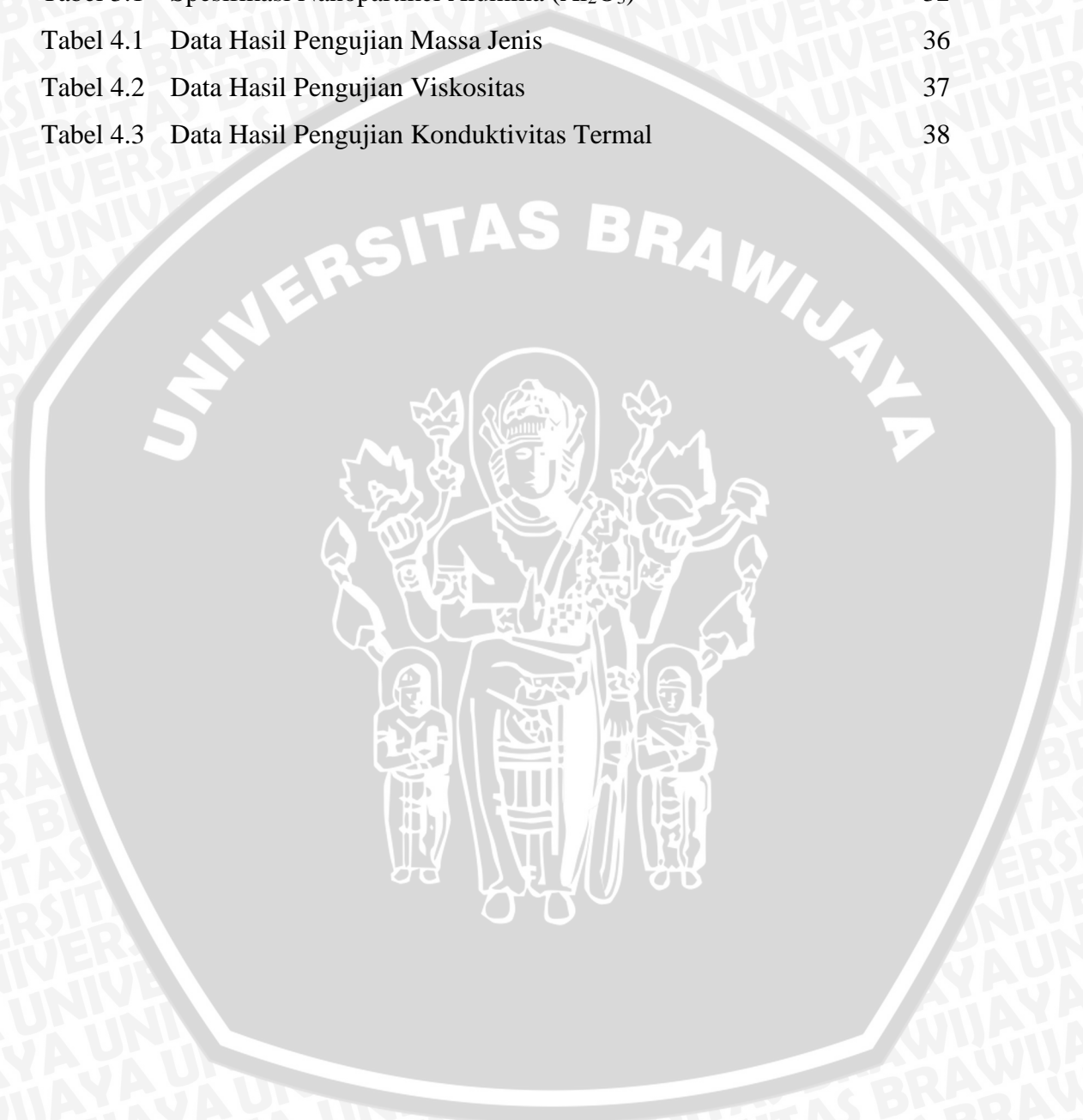


4.3 Data Hasil Perhitungan	40
4.4 Pembahasan	41
4.4.1 Grafik Pengaruh Prosentase Nanopartikel dan Temperatur Nanofluida terhadap Massa Jenis Nanofluida	41
4.4.2 Grafik Pengaruh Prosentase Nanopartikel dan Temperatur Nanofluida terhadap Viskositas Nanofluida	42
4.4.3 Grafik Pengaruh Prosentase Nanopartikel dan Temperatur Nanofluida terhadap Konduktivitas Termal Nanofluida	43
BAB V PENUTUP	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Nilai konduktivitas termal dari beberapa material	5
Tabel 2.2	Nilai konduktivitas termal dari berbagai material	18
Tabel 3.1	Spesifikasi Nanopartikel Alumina (Al_2O_3)	32
Tabel 4.1	Data Hasil Pengujian Massa Jenis	36
Tabel 4.2	Data Hasil Pengujian Viskositas	37
Tabel 4.3	Data Hasil Pengujian Konduktivitas Termal	38



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Skema saat fluida mengalir	7
Gambar 2.2	Nilai viskositas dari beberapa fluida	9
Gambar 2.3	Salah satu jenis <i>Capillary viscometers</i>	11
Gambar 2.4	<i>Redwood viscometers</i>	13
Gambar 2.5	<i>Falling ball viscometer</i>	15
Gambar 2.6	<i>Pycnometer</i>	17
Gambar 2.7	<i>Hydrometer</i>	17
Gambar 2.8	Batas konduktivitas termal dalam berbagai keadaan dari benda pada temperatur dan tekanan normal	18
Gambar 2.9	Skema diagram <i>transient-hot wire</i> untuk fluida	21
Gambar 2.10	<i>Steady state parallel plate</i>	22
Gambar 3.1	<i>Magnetic Stirrer</i>	25
Gambar 3.2	<i>Beaker Glass</i>	25
Gambar 3.3	<i>Thermocontroller</i>	26
Gambar 3.4	Piknometer	26
Gambar 3.5	Timbangan elektrik	27
Gambar 3.6	Ostwald viscometer	27
Gambar 3.7	Konduktivitas meter	28
Gambar 3.8	<i>Stopwatch</i>	28
Gambar 3.9	<i>Ball pipet</i>	29
Gambar 3.10	Termometer	29
Gambar 3.11	<i>Power Supply</i>	30
Gambar 3.12	Data Logger	30
Gambar 3.13	Laptop	31
Gambar 3.14	Instalasi Pengujian Penelitian Viskositas	31
Gambar 3.15	Instalasi Penelitian Pengujian Konduktivitas termal	32
Gambar 3.16	Diagram alir penelitian	35
Gambar 4.1	hubungan prosentase massa nanopartikel dan temperatur nanofluida terhadap massa jenis nanofluida	41

Gambar 4.2	hubungan prosentase massa nanopartikel dan temperatur nanofluida terhadap viskositas nanofluida	42
Gambar 4.3	hubungan prosentase massa nanopartikel dan temperatur nanofluida terhadap konduktivitas termal nanofluida	43



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1.	Data pengujian massa jenis
Lampiran 2.	Data pengujian viskositas
Lampiran 3.	Data pengujian konduktivitas termal



RINGKASAN

Mochammad Wildan, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2013, *Pengaruh Variasi Prosentase Massa Nanopartikel dan Temperatur Nanofluida Terhadap Fluid Properties Nanofluida H₂O-Al₂O₃*, Dosen Pembimbing: Nurkholis Hamidi dan Lilis Yuliati.

Dengan semakin berkembangnya kompetisi global, industri membutuhkan fluida pendingin dengan konduktivitas termal yang lebih tinggi dari yang ada sekarang. Tetapi, kebanyakan fluida pendingin memiliki konduktivitas termal yang rendah, sehingga peningkatan kemampuan pendinginan dalam sektor industri dibatasi oleh rendahnya konduktivitas termal dari fluida. Upaya yang dilakukan untuk meningkatkan konduktivitas termal dari fluida pendingin yaitu dengan cara menggunakan nanofluida. Tujuan dari nanofluida sendiri adalah untuk mendapatkan karakteristik termal setinggi-tingginya dengan kemungkinan konsentrasi sekecil-kecilnya.

Dalam penelitian ini, untuk meningkatkan karakteristik dari nanofluida, terdapat banyak variabel yang harus diteliti lebih lanjut. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai prosentase massa nanopartikel Al₂O₃ (0,25%; 0,5%; 0,75%; 1%) dan temperatur nanofluida H₂O-Al₂O₃ (40°C, 50°C, 60°C) yang dapat mempengaruhi karakteristik nanofluida, meliputi massa jenis, viskositas dan konduktivitas termal. Untuk pengukuran massa jenis, digunakan piknometer dengan prinsip mencari massa dari nanofluida dalam volume tertentu sehingga dapat diketahui nilai dari massa jenis. Untuk viskositas, menggunakan Ostwald *viscometers*, dengan direndam pada air yang dipanaskan. Prinsip yang digunakan adalah dengan mencari waktu alir nanofluida dalam pipa kapiler sehingga dapat diketahui viskositasnya. Untuk konduktivitas termal, menggunakan konduktivitas meter, dengan prinsip mengalirkan panas pada kondisi temperature *steady*, sehingga didapatkan nilai dari konduktivitas termal.

Hasil dari penelitian ini yaitu pada temperatur yang sama, penambahan prosentase massa nanopartikel meningkatkan massa jenis, viskositas dan konduktivitas termal nanofluida. Pada prosentase massa yang sama, peningkatan temperatur nanofluida membuat massa jenis dan viskositas dari nanofluida menurun, sedangkan konduktivitas termal nanofluida cenderung naik. Massa jenis tertinggi sebesar 1,00 g/cm³ yaitu pada prosentase 1% dan temperatur 40°C, konduktivitas termal tertinggi sebesar 0,7263 W/m.°C yaitu pada prosentase massa 1% dan temperatur 60°C, serta viskositas tertinggi sebesar 0,978 cP yaitu pada prosentase massa 1% dan temperatur 40°C.

Kata kunci: nanofluida, temperatur, konduktivitas termal, massa jenis, viskositas

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam rangka meningkatkan efisiensi peralatan perpindahan panas, konduktivitas termal dari fluida pendingin memiliki peran yang sangatlah penting. Tetapi, kebanyakan fluida pendingin seperti air, oli, campuran etilen glikol, merupakan fluida pendingin yang memiliki konduktivitas termal yang rendah. Dengan semakin berkembangnya kompetisi global, industri membutuhkan fluida pendingin dengan konduktivitas termal yang lebih tinggi dari yang ada sekarang. Tetapi, peningkatan kemampuan pendinginan dibatasi oleh rendahnya konduktivitas termal dari fluida pendingin konvensional.

Dalam suhu ruang, diketahui bahwa konduktivitas termal logam cair lebih tinggi dibandingkan fluida pendingin konvensional. Misalnya, konduktivitas termal tembaga 700 kali lebih tinggi dibandingkan dengan air dan 3000 kali lebih tinggi dibandingkan dengan oli. Sehingga para ilmuwan mengasumsikan bahwa konduktivitas termal fluida pendingin yang mengandung partikel logam lebih tinggi bila dibandingkan dengan fluida pendingin konvensional. Faktanya, beberapa penelitian mengenai konduktivitas termal dari fluida yang mengandung partikel logam telah dilakukan, sejak penelitian yang dilakukan oleh Maxwell 100 tahun yang lalu. Tetapi, semua penelitian tersebut dengan partikel logam yang berukuran milimeter atau mikrometer. Masalah utama dengan larutan yang mengandung partikel berukuran milimeter atau mikrometer adalah partikel tersebut cepat mengendap (Choi, 1998).

Perkembangan akhir-akhir ini tentang teknologi material, memungkinkan untuk memproduksi partikel berukuran nanometer yang dapat mengatasi permasalahan-permasalahan dari partikel berukuran milimeter dan mikrometer. Fluida dasar yang dicampur dengan partikel logam berukuran nanometer agar dapat mengubah karakteristik dari fluida dasar disebut dengan nanofluida. Teknologi nano yang modern dapat membuat material dengan ukuran partikel di bawah 50 nm. Semua partikel nano dengan konduktivitas termal yang tinggi dapat digunakan sebagai zat aditif dalam nanofluida. Partikel nano yang biasanya digunakan dalam nanofluida yaitu, partikel logam (Cu, Al, Fe, Au, Ag, dan lain-lain) dan partikel non-logam (Al_2O_3 , CuO, Fe_3O_4 , TiO_2 , SiC, *carbon nanotube*, dan lain-lain). Media dasar dari nanofluida yang biasa digunakan adalah air, etilen glikol, oli, *acetone*, *decene*, dan lain-lain (Duan, 2012).

Sejak adanya konsep nanofluida, potensi dari nanofluida dalam aplikasi perpindahan panas telah menarik banyak perhatian. Sampai sekarang, banyak penelitian tentang nanofluida yang telah dilakukan. Beberapa aplikasi dari nanofluida yang dikembangkan adalah sebagai media pendingin dalam komponen elektrik, mesin transportasi dan mesin pada industri-industri serta sebagai pemanas dalam gedung.

Mintsa *et al.*, (2008) meneliti tentang pengaruh variasi temperatur nanofluida terhadap konduktivitas termal, dengan menggunakan nanopartikel Al_2O_3 dan CuO pada fluida dasar air. Hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa dengan variasi temperatur antara $20\text{-}40^\circ\text{C}$, terdapat peningkatan konduktivitas termal sebesar 15%.

Duan, (2012) melakukan penelitian tentang sifat dari nanofluida $\text{H}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3$ yang meliputi konduktivitas termal, viskositas dan tegangan permukaan. Penelitian ini mengamati pengaruh variasi temperatur, konsentrasi volume dan ukuran partikel terhadap sifat nanofluida $\text{H}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3$. Hasilnya menunjukkan bahwa dengan adanya kenaikan temperatur sebesar $15\text{-}55^\circ\text{C}$, terdapat peningkatan konduktivitas termal sebesar 15% sampai 34%, tetapi viskositas dari nanofluida menurun. Dan pada peningkatan konsentrasi volume sebesar 1-5%, terdapat peningkatan konduktivitas termal sebesar 6% sampai 20% dan viskositasnya juga terdapat peningkatan sebesar 20% sampai 61%.

Sampai saat ini, penelitian yang seringkali dilakukan mengenai karakteristik nanofluida adalah tentang aplikasi nanofluida bila digunakan fluida pendingin, tetapi masih banyak aplikasi lain yang dapat memanfaatkan penggunaan nanofluida, misalnya sebagai fluida pemanas. Sehingga dibutuhkan penelitian lebih lanjut dari karakteristik nanofluida dengan temperatur di atas suhu kamar.

Untuk meningkatkan karakteristik dari nanofluida, terdapat banyak variabel yang harus diteliti lebih lanjut. Sehingga, untuk penelitian mengenai aplikasi-aplikasi dari nanofluida, sebelumnya harus mengetahui karakteristik dari nanofluida terlebih dahulu. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai prosentase massa nanopartikel Al_2O_3 dan temperatur nanofluida $\text{H}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3$ yang dapat mempengaruhi karakteristik nanofluida yang meliputi massa jenis, viskositas dan konduktivitas termal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan suatu permasalahan yaitu: Bagaimana pengaruh variasi temperatur nanofluida dan prosentase massa nanopartikel terhadap karakteristik nanofluida $H_2O-Al_2O_3$?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menjawab rumusan masalah diatas dan menghindari agar permasalahan tidak meluas, maka dalam penelitian ini perlu dilakukan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Temperatur lingkungan konstan, sebesar 25-28°C
2. Prosentase massa nanopartikel yang digunakan adalah 0,25%; 0,5%; 0,75% dan 1%
3. *Fluid properties* yang dicari adalah viskositas, densitas dan konduktivitas termal.
4. Kecepatan pengadukan konstan, sebesar 500 rpm
5. Pengambilan data dilakukan pada kondisi *steady state*

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur nanofluida dan prosentase massa nanopartikel terhadap karakteristik nanofluida $H_2O-Al_2O_3$.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat dijadikan bahan referensi bagi dunia ilmu pengetahuan terutama mahasiswa khususnya teknik mesin untuk melakukan penelitian selanjutnya, terutama mengenai peningkatan karakteristik nanofluida.
2. Media yang membantu pengembangan teknologi nanofluida.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Mintsu, *et al.* (2008) meneliti pengaruh variasi temperatur terhadap konduktivitas termal menggunakan nanofluida $\text{H}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3$ dan $\text{H}_2\text{O}-\text{CuO}$. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan temperatur antara 20-40°C pada nanofluida $\text{H}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3$ dan $\text{H}_2\text{O}-\text{CuO}$. Hasil penelitian yang dilakukan menyimpulkan bahwa dalam peningkatan temperatur dari 20°C sampai 40°C, nanofluida $\text{H}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3$ dan $\text{H}_2\text{O}-\text{CuO}$ menunjukkan peningkatan konduktivitas termal sebesar 15%. Bila dibandingkan dengan air distilasi, pada peningkatan temperatur dari 20°C sampai 40°C, konduktivitas termal air distilasi meningkat sebesar 5%. Dengan adanya penambahan nanopartikel, menunjukkan peningkatan konduktivitas termal yang lebih baik pada temperatur yang sama bila dibandingkan tanpa menggunakan nanopartikel.

Duan, (2012) melakukan penelitian tentang karakteristik termal dari nanofluida $\text{H}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3$ meliputi konduktivitas termal, viskositas dan tegangan permukaan. Penelitian ini memvariasikan temperatur, konsentrasi volume dan ukuran partikel terhadap nanofluida $\text{H}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3$. Pada temperatur dari 15°C sampai 55°C, terdapat peningkatan konduktivitas termal sebesar 15% sampai 34%, tetapi viskositas dari nanofluida menurun. Pada peningkatan konsentrasi volume dari 1% sampai 5%, terdapat peningkatan konduktivitas termal sebesar 6% sampai 20% dan viskositasnya juga terdapat peningkatan sebesar 20% sampai 61%. Pada ukuran partikel sebesar 10 nm, 25 nm dan 35 nm, konduktivitas termal dari nanofluida menurun drastis dengan semakin kecil ukuran partikelnya, dan viskositas dari nanofluida menurun dengan semakin besar ukuran partikelnya dan mencapai nilai yang hampir konstan di akhir.

Pada penelitian yang akan dilakukan, penulis menggunakan berbagai variasi temperatur dari nanofluida dan prosentase massa nanopartikel dengan massa nanofluida tetap, kemudian menganalisisnya untuk didapatkan karakteristik nanofluida yang meliputi: densitas, viskositas dan konduktivitas termal.

2.2 Nanofluida

Perpindahan panas merupakan salah satu proses yang penting dalam berbagai industri. Dalam pengembangan fluida untuk mendapatkan perpindahan panas yang efisien, konduktivitas termal dari fluida memiliki peran yang sangat penting.

Konduktivitas termal yang buruk dari suatu fluida memberikan keterbatasan pada perpindahan panas.

Dalam suhu ruang, diketahui bahwa konduktivitas logam cair lebih tinggi dibandingkan fluida pendingin konvensional seperti air, etilen glikol, atau oli yang dapat dilihat pada Tabel 2.1. Misalnya, konduktivitas tembaga 700 kali lebih tinggi dibandingkan dengan air dan 3000 kali lebih tinggi dibandingkan dengan oli. Sehingga para ilmuwan mengasumsikan bahwa konduktivitas termal fluida pendingin yang mengandung partikel logam lebih tinggi bila dibandingkan dengan fluida pendingin konvensional. Upaya-upaya peningkatan kemampuan perpindahan panas yang dilakukan, dibatasi oleh konduktivitas termal fluida yang sangat rendah, seperti air, minyak dan etilen glikol. Lebih dari satu abad sejak Maxwell (1873), para ilmuwan dan insinyur telah melakukan berbagai penelitian untuk menyelesaikan permasalahan tersebut dengan menambahkan partikel berukuran milimeter atau mikrometer dalam fluida dasarnya. Tetapi, masalah terbesar yang dihadapi adalah cepatnya terjadi pengendapan dari partikel tersebut dalam fluida.

Tabel 2.1 Nilai konduktivitas termal dari beberapa material

Material		Thermal Conductivity (W/m · K) ^a
Metallic solids	Silver	429
	Copper	401
	Aluminum	237
Nonmetallic solids	Diamond	3300
	Carbon nanotubes	3000
	Silicon	148
	Alumina (Al ₂ O ₃)	40
	Sodium at 644 K	72.3
Metallic liquids	Water	0.613
Nonmetallic liquids	Ethylene glycol	0.253
	Engine oil	0.145

Sumber: Choi, *et al.* (2008:9)

Nanofluida merupakan sebuah inovasi baru dalam bidang rekayasa fluida dengan mencampur material berukuran nano dalam fluida dasarnya. Dengan kata lain, nanofluida adalah larutan yang mengandung bahan berukuran nano. Nanofluida merupakan sistem dua fase dengan satu fase (fase padat) dalam fase lainnya (fase cair). Nanofluida dibuat dengan menambahkan nanopartikel dengan ukuran rata-rata dibawah 100 nm dalam fluida dasar, misalnya air, oli, etilen glikol. Tujuan dari nanofluida sendiri adalah untuk

mendapatkan karakteristik termal setinggi-tingginya dengan kemungkinan konsentrasi sekecil-kecilnya (Das, *et al.* 2008).

Teknologi nano yang modern dapat membuat material dengan ukuran partikel di bawah 50 nm. Semua partikel nano dengan konduktivitas termal yang tinggi dapat digunakan sebagai zat aditif dalam nanofluida. Partikel nano yang biasanya digunakan dalam nanofluida yaitu, partikel logam (Cu, Al, Fe, Au, Ag, dan lain-lain) dan partikel non-logam (Al_2O_3 , CuO, Fe_3O_4 , TiO_2 , SiC, *carbon nanotube*, dan lain-lain). Media dasar dari nanofluida yang biasa digunakan adalah air, *etilen glikol*, oli, *acetone*, *decene*, dan lain-lain.

Material yang digunakan untuk fluida dasar dan nanopartikel memiliki banyak perbedaan. Untuk memperoleh nanofluida yang stabil dan konduktif, terdapat dua metode yang bisa digunakan, yaitu *two-step method* dan *one-step method*. Kedua metode ini banyak digunakan untuk membuat nanopartikel tidak mengalami pengendapan terlalu cepat.

1. *Two-step method*

Two-step method merupakan metode yang seringkali digunakan untuk menyiapkan nanofluida. Nanopartikel, *nanofibers*, *nanotubes* atau material nano lainnya yang digunakan dalam metode ini adalah dalam bentuk serbuk. Kemudian, serbuk berukuran nano tersebut dicampur ke dalam fluida dengan bantuan pengaduk magnet, pengaduk ultrasonic, *high-shear mixing*, *homogenizing* dan *ball milling*. *Two-step method* merupakan metode paling ekonomis untuk memproduksi nanofluida dalam skala besar, karena teknik sintesis serbuk nano telah diproduksi dalam skala industri.

2. *One-step method*

Untuk mengurangi pengendapan dari nanopartikel, Choi et al. mengembangkan metode *one-step physical vapor condensation* untuk menyiapkan nanofluida Cu/*etilen glikol*. Proses dari *one-step* terdiri dari pembuatan dan pendispersian partikel dalam fluida dasarnya secara simultan. Metode *one-step physical* tidak dapat digunakan untuk membuat nanofluida dalam skala besar dan harga yang dibutuhkan sangat mahal, jadi metode *one-step chemical* semakin berkembang penggunaannya. Zhu et al. memperkenalkan metode *one-step chemical* yang digunakan untuk membuat nanofluida tembaga dengan mengurangi $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dengan $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dalam *etilen glikol* di bawah *microwave irradiation*. Tetapi, ada beberapa kelemahan untuk metode *one-step*, yaitu adanya

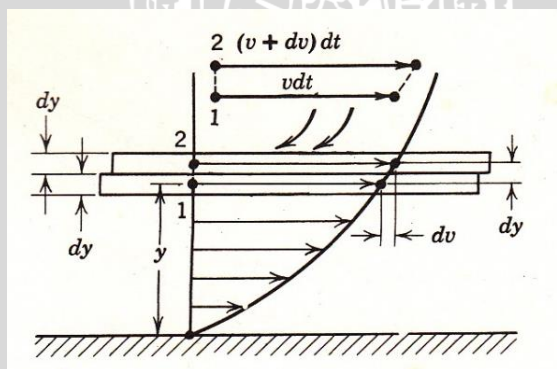
residu dari reaktan yang tertinggal dalam nanofluida dikarenakan reaksi yang tidak sempurna atau tidak stabil.

Sejak adanya konsep nanofluida sekitar satu dekade yang lalu, potensi dari nanofluida dalam aplikasi perpindahan panas telah menarik banyak perhatian. Sampai sekarang, telah banyak jurnal-jurnal yang melakukan penelitian tentang nanofluida. Beberapa aplikasi dari nanofluida yang dikembangkan adalah sebagai media pendingin dalam komponen elektrik, mesin transportasi dan mesin pada industri-industri serta sebagai pemanas dalam gedung.

2.3 Sifat Fisik Fluida

2.3.1 Viskositas

Viskositas merupakan salah satu karakteristik dari fluida. Viskositas didefinisikan sebagai kemampuan suatu fluida untuk menahan gerakan internal fluida dari satu lapisan fluida ke lapisan fluida setelahnya, seperti pada Gambar 2.1. Dimensi dari viskositas dinamik diperoleh dari definisi sebagai $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ atau $\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$. Satuan yang sering digunakan untuk viskositas adalah Poise. Untuk air, viskositas pada temperatur 20°C adalah sekitar 1 cP. Dari semua karakteristik fluida, viskositas memiliki peran yang sangat penting dalam permasalahan aliran fluida. Distribusi kecepatan aliran, ketahanan aliran, semua dikontrol oleh viskositas.



Gambar 2.1 Skema saat fluida mengalir
Sumber: Vennard dan Street (1976:15)

Persamaan dasar dari viskositas:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \quad (2.1)$$

dengan:

τ = tegangan geser

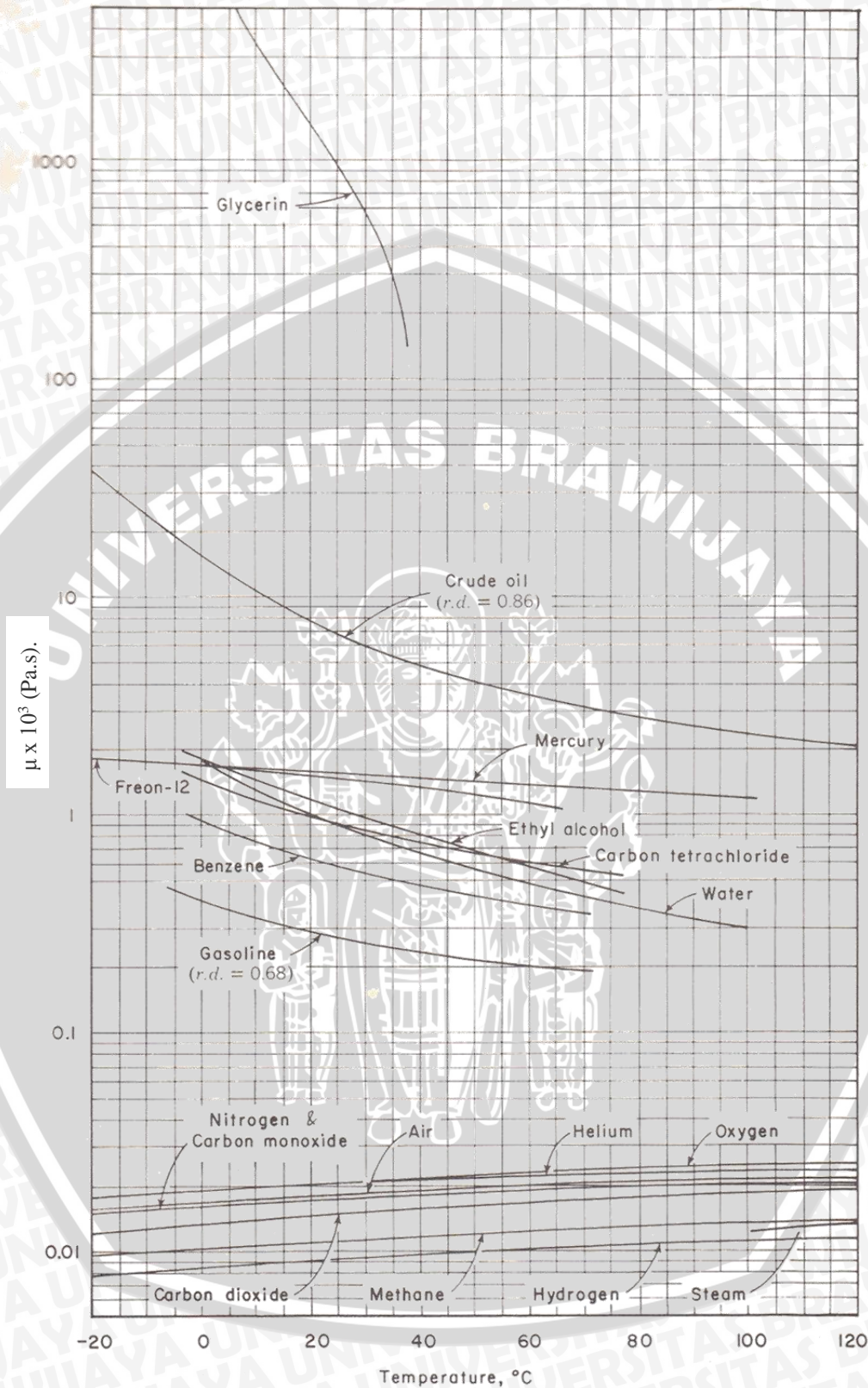
μ = viskositas

$\frac{dv}{dy}$ = perubahan kecepatan terhadap jarak

Sumber: Vennard dan Street (1976)

Hal tersebut disebabkan adanya kohesi antar molekul dalam fluida. Viskositas dari fluida dapat dipengaruhi oleh faktor tekanan dan temperatur. Untuk kebanyakan fluida, viskositas lebih dipengaruhi oleh adanya perubahan temperatur, tetapi, tidak terlalu dipengaruhi oleh tekanan sampai tekanan yang tinggi dicapai. Air merupakan pengecualian, karena viskositasnya turun dengan meningkatnya tekanan pada temperatur konstan. Dalam beberapa prakteknya, faktor tekanan dapat diabaikan.

Dalam fluida cair, perubahan momentum yang disebabkan oleh adanya aktivitas molekul sangatlah kecil bila dibandingkan dengan gaya kohesi antar molekul, dan tegangan geser serta viskositas nilainya tergantung pada besarnya gaya kohesi yang menyebabkan molekul yang bersebelahan memiliki posisi yang relatif tetap satu dengan yang lain untuk menahan gerakan relatif. Oleh karena itu, gaya tersebut semakin berkurang seiring dengan kenaikan temperatur, sehingga viskositas dari fluida cair semakin menurun dengan adanya peningkatan temperatur (Gambar 2.2).



Gambar 2.2 Nilai viskositas dari beberapa fluida
 Sumber: Vennard dan Street (1976:19)

Viskositas nanofluida merupakan salah satu parameter yang penting dalam aliran fluida. Tetapi, dari beberapa data yang telah terkumpul, menunjukkan tidak adanya model

teoritis yang berhasil untuk memprediksi viskositas nanofluida yang akurat sampai saat ini. Beberapa metode teoritis telah digunakan untuk memperkirakan viskositas dari suspensi partikel. Hampir semua rumus diturunkan dari hasil penemuan Einstein (1906), yang berdasarkan dari asumsi kekentalan linier fluida yang mengandung partikel. Rumus Einstein dapat digunakan hanya untuk partikel dengan *volume fractions* yang rendah, kurang dari 0,01. Kurang dari nilai tersebut, tidak dapat dipastikan viskositas yang efektif dari suatu larutan. Setelah itu, banyak penelitian yang menyempurnakan dari rumus tersebut. Brinkman (1952) telah melanjutkan rumus Einstein pada penggunaan konsentrasi partikel dalam ukuran sedang. Lundgren (1967) meneliti tentang rumus menggunakan deret Taylor. Batchelor (1977) mempertimbangkan efek gerak Brownian dari partikel dalam tegangan bulk. Hampir tidak ada model yang dapat memprediksi viskositas dari nanofluida dalam jarak yang luas dari fraksi volume nanopartikel sejauh ini. Menurut hubungan ini, viskositas efektif dari nanofluida tergantung pada viskositas dari fluida dasar dan konsentrasi dari partikel, dimana penelitian eksperimental menunjukkan bahwa temperatur, diameter partikel dan jenis nanopartikel dapat memberikan efek pada viskositas efektif nanofluida. Pemahaman yang baik dari karakteristik nanofluida merupakan hal yang penting sebelum nanofluida digunakan dalam aplikasi perpindahan panas. Faktor-faktor yang mempengaruhi viskositas meliputi konsentrasi, ukuran nanopartikel, temperatur nanofluida, laju regangan, dan lain-lain. Sehingga, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengetahui viskositas dari nanofluida.

Teori-teori yang dikembangkan untuk memprediksi viskositas harus dicek dengan data eksperimen. Alat ukur yang digunakan untuk mengukur viskositas zat cair diklasifikasikan menjadi beberapa kategori:

1. *Capillary viscometers*

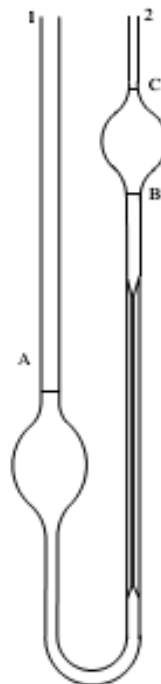
Capillary viscometers merupakan alat ukur viskositas yang sering digunakan untuk mengukur viskositas dari cairan Newtonian. Viscometer ini sangat mudah dalam pengoperasiannya, hanya membutuhkan sedikit volume dari sampel cairan, mengontrol temperatur mudah dan tidaklah mahal. Dalam *capillary viscometers*, laju aliran volumetrik dari cairan yang mengalir melewati pipa kapiler diukur, biasanya dengan mencatat waktu yang dibutuhkan untuk volume cairan yang telah ditentukan seberapa besar, yang melewati dua tanda berbeda. Cairan tersebut mengalir melewati pipa kapiler dengan adanya pengaruh gravitasi atau gaya dari luar. Dalam alat ukur yang menggunakan gaya dari luar, cairan tersebut dipaksa melewati pipa kapiler

dalam pertimbangan waktu dan penurunan tekanan dalam pipa kapiler diukur. *Capillary viscometers* dapat menyediakan perhitungan langsung dari viskositas dari laju alir, tekanan dan dimensi-dimensi yang lain dari alat ukur. Tetapi, kebanyakan *capillary viscometers* harus dikalibrasi terlebih dahulu dengan satu atau lebih cairan yang diketahui viskositasnya untuk mendapatkan nilai viskositas yang konstan dari cairan tersebut. Komponen-komponen penting dari *capillary viscometers* adalah:

- a. Reservoir cair
- b. Pipa kapiler yang diketahui ukurannya
- c. Alat untuk mengukur dan mengontrol tekanan
- d. Alat untuk mengukur laju alir
- e. Thermostat untuk mendapatkan temperatur yang diinginkan

Beberapa tipe dari *capillary viscometers*, dan salah satunya dapat dilihat pada Gambar 2.3, telah didesain dengan beberapa variasi dari komponen-komponen di atas dan diklasifikasikan menjadi beberapa kategori, yaitu:

- a. *Modified Ostwald viscometers*
- b. *Suspended-level viscometers*
- c. *Reverse-flow viscometers*



Gambar 2.3 Salah satu jenis *Capillary viscometers*
Sumber: Viswanath, *et al.* (2007:16)

Persamaan yang digunakan dalam *capillary viscometers* adalah:

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{\rho_1 t_1}{\rho_2 t_2} \quad (2.2)$$

dengan:

μ_1 : viskositas fluida 1 (cP)

μ_2 : viskositas fluida 2 (cP)

ρ_1 : massa jenis fluida 1 (g/cm³)

ρ_2 : massa jenis fluida 2 (g/cm³)

t_1 : waktu yang ditempuh fluida 1 (s)

t_2 : waktu yang ditempuh fluida 2 (s)

Sumber: Yadav (2010)

2. *Orifice viscometers*

Orifice viscometers lebih banyak digunakan oleh industri minyak karena penggunaannya yang mudah. *Orifice viscometers* bagian utamanya terdiri dari *reservoir*, *orifice* dan *receiver*. Panjang dari *orifice* tidak lebih dari 10 kali diameternya. Walaupun desain konsep *orifice viscometers* awalnya berdasarkan hukum Hagen-Poiseuille, desain aktualnya tidak dapat memenuhi hukum tersebut. Kerugian akibat gesekan pada titik masuk *orifice* merupakan fungsi dari rasio luas penampang dari *cup* ke *orifice*, kecepatan fluida, dan bentuk dari titik masuk *orifice*. Karena alasan tersebut, waktu *efflux* tidak lagi proporsi terhadap viskositas. Waktu yang diukur untuk aliran dari sampel yang volumenya telah ditentukan, melewati *orifice* dan waktu *efflux* diambil sebagai pengukuran viskositas.

Metode pengoperasian dari berbagai jenis *orifice viscometers* sama. Cairan sampel dituangkan dalam wadah dengan temperatur dijaga konstan dengan *water bath* atau *oil bath*. Sampel tersebut dimasukkan dalam wadah sampai ketinggian tertentu dan sampel tersebut akan naik temperturnya dari rendaman sampai temperatur yang diinginkan. Setelah itu, katup di dasar wadah dibuka dan waktu yang dibutuhkan sampel cairan dengan volume yang telah ditentukan melewati *orifice* diukur.

Viskositas dihitung menggunakan rumus empirik yang berbeda untuk tiap alat dan memiliki persamaan umum sebagai berikut:

$$v = \frac{\eta}{\rho} = kt - \frac{K}{t} \quad (2.3)$$

dengan:

t = viscometer second (s)

k = konstanta spesifik

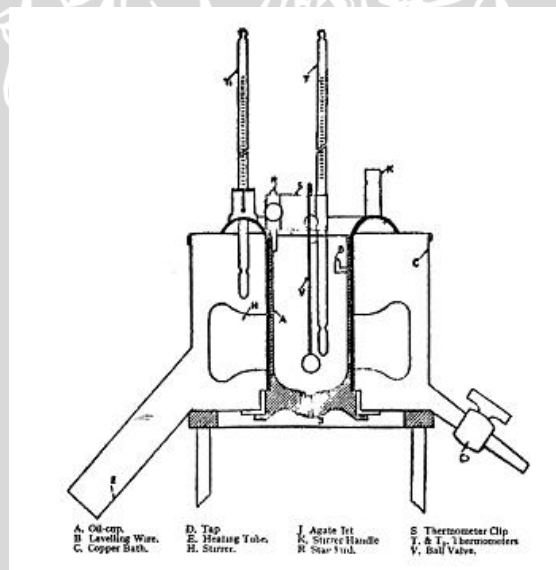
K = konstanta spesifik

Sumber: Viswanath, *et al.* (2007)

Orifice viscometers yang paling banyak digunakan oleh industri minyak adalah:

- a. *Redwood viscometer*
- b. *Engler viscometer*
- c. *Saybolt viscometer*
- d. *Ford viscosity cup viscometer*
- e. *Shell viscosity cup viscometer*
- f. *Zahn viscometer*

Salah satu jenis *orifice viscometers* dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 *Redwood viscometers*

Sumber: Viswanath, *et al.* (2007:48)

3. *Rotational viscometers*

Rotational viscometer beroperasi pada prinsip pengukuran kecepatan rotasi dari benda berbentuk padat dalam media yang kental berdasarkan aplikasi dari kekuatan atau torsi yang diketahui untuk memutar benda tersebut

dengan kecepatan sudut yang pasti. Meskipun *rotational viscometers* lebih rumit daripada jenis kapiler selama operasi dan sering kurang akurat untuk cairan Newtonian, alat tersebut memiliki beberapa keunggulan yang membuat menarik terutama untuk mempelajari sifat aliran bebas bahan Newtonian. Beberapa keuntungannya adalah: pengukuran pada kondisi *steady*, beberapa pengukuran dengan sampel yang sama pada laju geser yang berbeda, dan tidak ada variasi dalam laju geser dalam sampel selama pengukuran.

4. *Falling ball viscometers*

Dalam *falling ball viscometers*, benda padat dibiarkan jatuh dibawah gaya gravitasi melewati media yang kental. Setelah beberapa lama, benda padat tersebut akan mencapai kecepatan akhir dimana gaya gravitasi dengan ketahanan kekentalan dari suatu fluida sama. Dengan mengukur kecepatan akhir dari benda padat yang jatuh, viskositas dari suatu fluida dapat ditentukan. Walaupun benda padat dengan berbagai bentuk dapat digunakan, bentuk bola lebih disarankan karena lebih sederhana dalam menurunkan rumus teorinya. Sistem dari *falling ball viscometer* ditunjukkan pada Gambar 2.5, dimana bola dijatuhkan ke fluida homogen. Jika gerak dari bola sangat lambat, inersianya dapat diabaikan. Dalam kondisi tersebut, dan asumsikan bahwa media fluida memiliki perpanjangan yang tak terbatas, ketahanan kekentalan terhadap pergerakan bola dengan kecepatan v sama dengan gaya gerak karena perbedaan massa jenis antara bola dan fluida. Hal ini disebut juga dengan hukum Stoke's, yaitu:

$$6 \pi r \eta v = \frac{4}{3} \pi r^3 (\sigma - \rho) g \quad (2.4)$$

dengan:

η : viskositas fluida (cP)

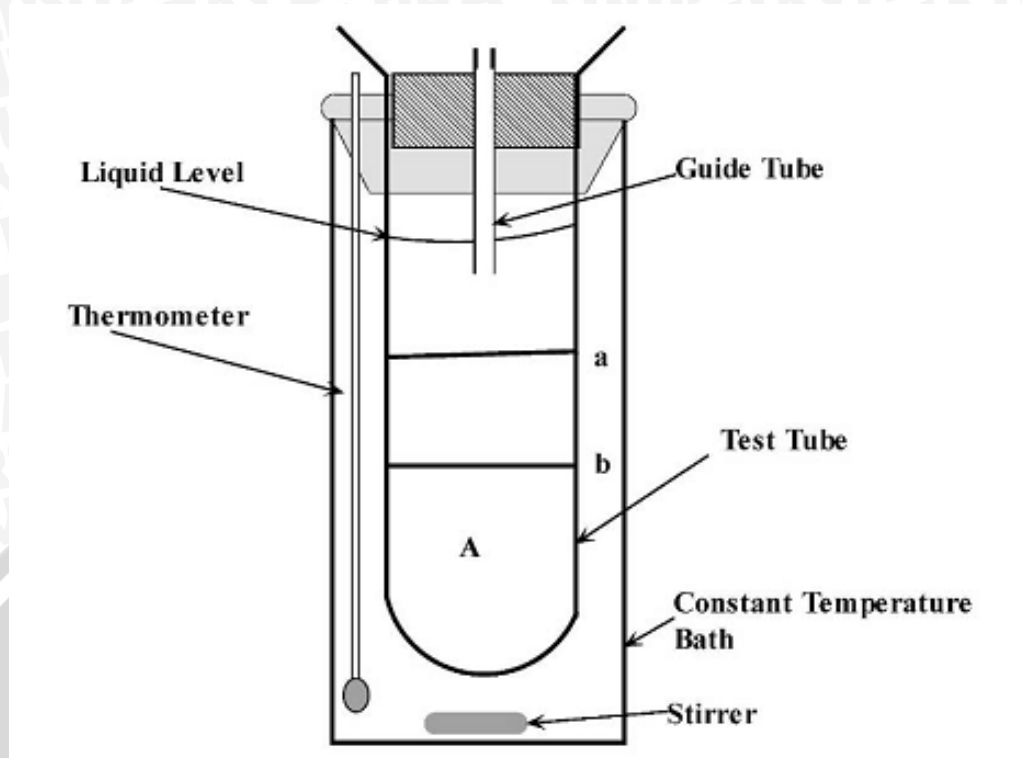
ρ : massa jenis fluida (kg/m^3)

σ : massa jenis bola (kg/m^3)

r : jari-jari bola (kg)

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

Sumber: Viswanath, et al. (2007)



Gambar 2.5 *Falling ball viscometer*
 Sumber: Viswanath, et al. (2007:73)

2.3.3 Massa Jenis

Massa jenis didefinisikan sebagai massa fluida per unit volume. Nilai dari massa jenis tergantung pada jumlah molekul per unit volume. Bila temperatur semakin tinggi, maka aktivitas molekul dan ruang kosong antar molekul bertambah, menyebabkan sedikit molekul yang berada dalam suatu volume yang berada dalam fluida sehingga massa jenis berkurang dengan adanya penambahan temperatur. Bila diberikan tekanan yang besar, maka jumlah molekul dalam skala besar dapat dipaksa untuk berada dalam volume suatu fluida yang diberi tekanan sehingga massa jenisnya bertambah. Massa jenis memiliki dimensi kg/m^3 dalam satuan SI atau lb/ft^3 dalam satuan British. Rumus untuk massa jenis adalah:

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{2.5}$$

dengan:

ρ = massa jenis (kg/m^3)

m = massa (kg)

V = volume (m^3)

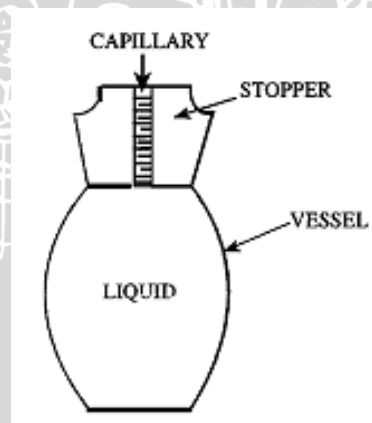
Sumber: Vennard dan Street (1976)

Dalam beberapa aplikasi terkini, massa jenis dari suatu produk didapatkan dengan menggunakan teknik *sampling*. Dalam pengukurannya, terdapat dua konsep dasar, yaitu *static density measurements* dan *dynamic (on-line) density measurements*. Metode tersebut berdasarkan prinsip fisika yang berbeda. Dalam beberapa kasus, penggunaannya sendiri dan karakteristik dari tiap proses menentukan metode terbaik yang dapat digunakan. Pada umumnya, metode statis yang banyak dikembangkan dikarenakan murah dan lebih akurat.

Pengaplikasiannya sendiri, terdapat beberapa metode dan alat yang digunakan untuk mengukur massa jenis dari suatu fluida, yaitu:

1. *Pycnometric densitometers*

Pycnometers merupakan alat statis, yang dibuat dengan volume yang telah ditetapkan, dan dapat diisi dengan cairan sampel. Massa jenis dari fluida dapat diukur dengan menimbang sampel. Bentuk sederhana dari *pycnometers* dapat dilihat pada Gambar 2.6. Cara menggunakan *pycnometer* awalnya dengan menimbang berat *pycnometer* kosong, kemudian diisi dengan air distilasi untuk menentukan volume dari *pycnometer*. Lalu, *pycnometer* diisi dengan fluida sampel dan ditimbang. Massa jenis dari fluida sampel ditentukan dengan membagi massa fluida tersebut dengan volume *pycnometer*.

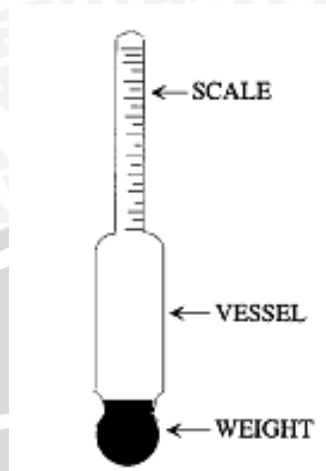


Gambar 2.6 *Pycnometer*
Sumber: Eren (2000)

2. *Hydrometers*

Hydrometers merupakan alat yang sering dipakai untuk mengukur massa jenis dari suatu fluida. Spesifikasi dan prosedur penggunaannya dijelaskan di ISO 387. Prinsip *buoyancy* digunakan sebagai teknik utama dari

pengoperasiannya. Volume dari massa yang telah ditetapkan diubah menjadi perubahan jarak linear seperti pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Hydrometer
Sumber: Eren (2000)

2.3.3 Konduktivitas Termal

Dalam fisika, konduktivitas termal, k , merupakan karakteristik kemampuan suatu material untuk menghantarkan panas. Konduktivitas termal diukur dalam satuan watt/K.m dan rumusnya adalah:

$$k = \frac{q}{A \cdot \Delta T / L} \quad (2.8)$$

dengan:

k = konduktivitas termal (W/m.K)

q = kalor (W)

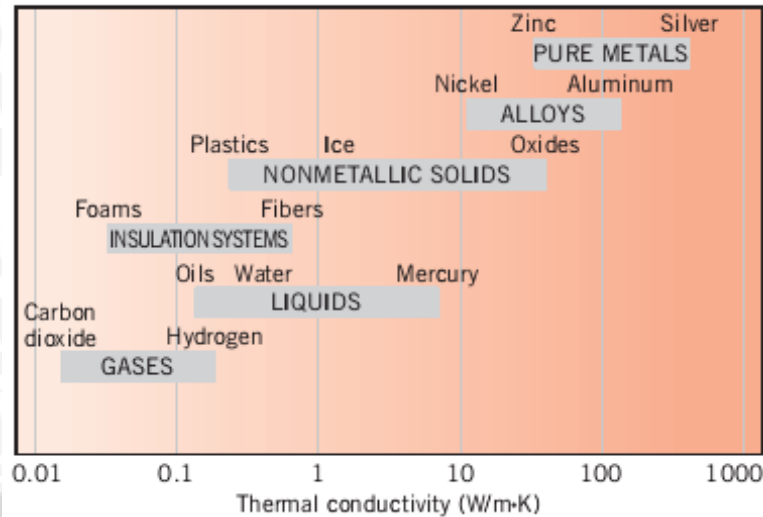
A = luas penampang (m²)

ΔT = perubahan temperatur (K)

L = panjang (m)

Sumber: Incropera, *et al.* (2011)

Umumnya, konduktivitas termal dari benda padat lebih besar dari cairan, dan cairan lebih besar daripada gas. Seperti pada Gambar 2.8, konduktivitas termal dari benda padat sekitar 4 kali dari gas. Pada Tabel 2.2 menunjukkan nilai konduktivitas termal dari beberapa material.



Gambar 2.8 batas konduktivitas termal dalam berbagai keadaan dari benda pada temperatur dan tekanan normal

Sumber: Incropera, *et al.* (2011:71)

Tabel 2.2 Nilai konduktivitas termal dari berbagai material

Thermal conductivities of some materials at room conditions	
Material	Thermal conductivity, W/m · K
Diamond	2300
Silver	429
Copper	401
Gold	317
Aluminium	237
Iron	80.2
Mercury (ℓ)	8.54
Glass	1.4
Brick	0.72
Water (ℓ)	0.613
Human skin	0.37
Wood (oak)	0.17
Helium (g)	0.152
Soft rubber	0.13
Glass fiber	0.043
Air (g)	0.026
Urethane, rigid foam	0.026

Sumber: Cengel dan Boles (2006)

Sejak penelitian yang dilakukan oleh Maxwell (1892), telah banyak penelitian yang mengembangkan dari model tersebut oleh beberapa peneliti, yaitu Hamilton dan

Crosser (1962), Bruggeman (1935), serta Xuan dan Li (2000) untuk memprediksi konduktivitas termal efektif dari larutan dengan asumsi partikel padat yang berada di fluida dasar terdispersi dengan baik. Model dari Maxwell telah dikembangkan untuk menentukan konduktivitas termal efektif dari suspensi *liquid-solid* untuk konsentrasi volumetrik yang rendah dari partikel bulat. Model ini dapat diaplikasikan pada suspensi *liquid-solid* homogen dengan konsentrasi volume rendah dengan dispersi yang acak dan partikel bulat yang sama. Untuk partikel selain bulat, konduktivitas termal dari nanofluida tergantung tidak hanya pada fraksi volume partikel, tetapi juga pada bentuk partikel. Hamilton dan Crosser (1962) memodifikasi model dari Maxwell untuk menentukan konduktivitas termal dari partikel selain bulat dengan menggunakan faktor ukuran untuk konduktivitas termal efektif dari campuran dua komponen. Model Hamilton-Crosser mempertimbangkan penggumpalan nanopartikel. Untuk partikel bulat, model Hamilton-Crosser sama dengan model Maxwell. Dalam model Bruggeman, pendekatan rata-rata di lapangan digunakan untuk menganalisa interaksi antara partikel yang terdistribusi secara acak. Model dari Xuan dan Li (2000) tidak terspesifikasi untuk partikel dengan berbagai bentuk. Tetapi, model klasik tidak dapat digunakan untuk memprediksi konduktivitas termal yang tinggi dari nanofluida. Hal ini dikarenakan model tersebut tidak mempertimbangkan efek dari ukuran partikel, lapisan *interfacial* pada permukaan partikel, dan gerak Brownian dari partikel. Akhir-akhir ini, Yu dan Choi (2003) menggunakan model Maxwell yang dimodifikasi untuk menentukan efek dari lapisan nano dengan mengganti konduktivitas termal partikel padat menjadi konduktivitas termal partikel padat yang dimodifikasi, berdasarkan teori media efektif. Model tersebut dapat memperkirakan adanya lapisan nano yang sangat tipis dengan ketebalan kurang dari 10 nm. Yui dan Choi (2004) menggunakan model Hamilton-Crosser yang dimodifikasi dengan memperhitungkan lapisan *interfacial* partikel cair untuk partikel selain bulat. Model tersebut dapat memprediksi konduktivitas termal dari *carbon nanotube* dalam nanofluida minyak dengan baik. Tetapi, model tersebut tidak dapat digunakan untuk memprediksi sifat nonlinear dari konduktivitas termal efektif nanofluida logam dan oksida.

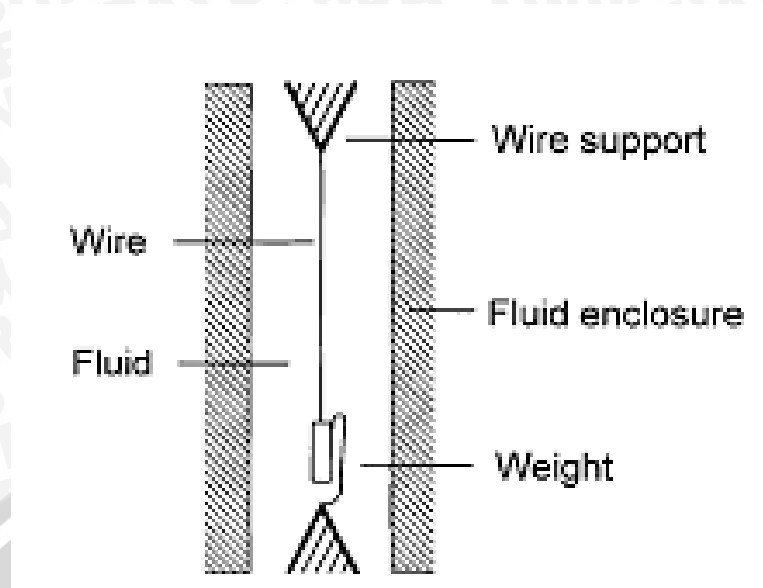
Walaupun banyak model telah dikembangkan, tidak ada model secara teoritis yang ada untuk memprediksi konduktivitas termal dari nanofluida secara umum sampai sekarang. Hal ini dikarenakan lebih banyak data eksperimental yang diperlukan seperti pengaruh dari ukuran dan bentuk nanopartikel, ketahanan kontak antara nanopartikel dengan fluida dasarnya, gerak Brownian atau pengaruh penggumpalan partikel.

Konduktivitas termal dari nanofluida telah banyak dilakukan penelitiannya. Teknik utama yang digunakan untuk mengetahui nilai konduktivitas termal adalah metode *transient hot wire* (THW), teknik getaran temperatur (*oscillation temperature*), dan metode *steady-state-parallel-plate*.

1. Metode *transient hot wire* (THW)

Diantara metode tersebut, yang paling sering digunakan adalah metode THW. Sejak kebanyakan nanofluida merupakan penghantar panas, modifikasi *hot-wire cell* dengan sistem elektrik telah diteliti oleh Nagasaka dan Nagashima (1981). Dalam teknik ini, konduktivitas termal suatu material ditentukan dengan melihat perubahan temperatur pada kawat tipis metalik, seperti pada Gambar 2.9, setelah diberikan tegangan pada kawat tersebut. Tegangan yang diberikan pada kawat, memberikan hasil dalam pembentukan *heat flux* dari fluida yang hampir konstan. Dengan kawat dikelilingi oleh sampel material, hal ini menghasilkan temperatur dari material meningkat seiring dengan waktu. Kawat tersebut berfungsi sebagai sensor temperatur dan seiring dengan hambatan yang berubah, perubahan temperatur pada kawat dievaluasi dan hal tersebut berhubungan dengan konduktivitas termal dari sekeliling material.

Kelebihan dari metode ini adalah hampir tidak ada perpindahan panas secara konveksi yang terjadi, sehingga dapat diabaikan. Prinsip pengukuran dari metode THW, berdasarkan perhitungan perbedaan temperatur disekitar hot wire sebagai sumber garisnya. Tegangan yang konstan dialirkan ke kawat untuk menaikkan temperaturnya. Panas yang diberikan pada kawat, meningkatkan temperatur dari kawat dan juga nanofluida. Peningkatan temperatur ini tergantung pada konduktivitas termal nanofluida dimana *hot wire* terdapat di tengahnya. Sehingga, nilai konduktivitas termal dari fluida dapat ditentukan.



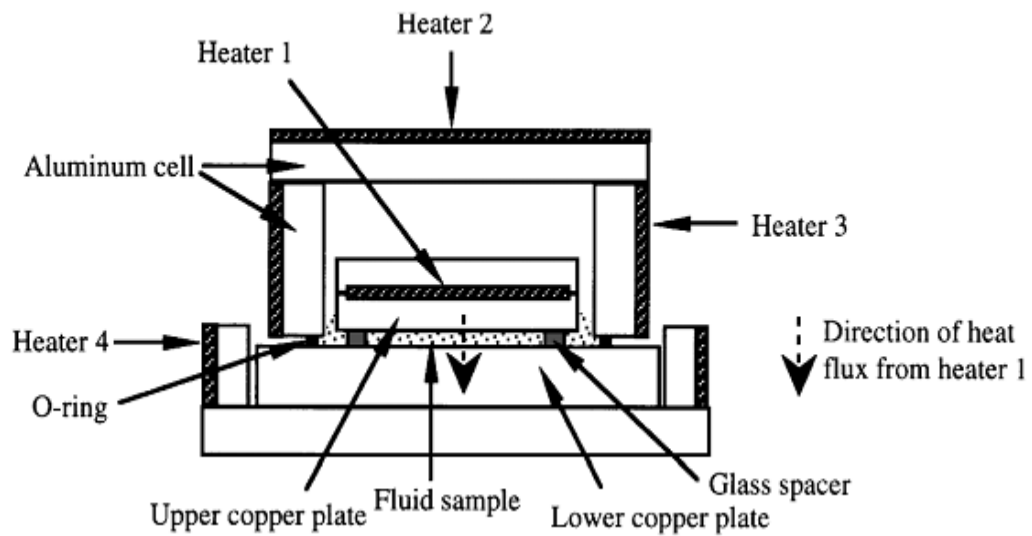
Gambar 2.9 Skema diagram *transient-hot wire* untuk fluida
Sumber: Wakeham and Assael (2000)

2. Metode *steady-state-parallel-plate*

Alat ukur untuk metode *steady-state-parallel-plate* dapat dibuat berdasarkan desain dari Challoner dan Powell (1956). Metode *steady-state-parallel-plate* membutuhkan untuk mengukur peningkatan temperatur dengan tepat pada tiap termokopel. Perbedaan dalam pembacaan temperatur harus diminimalisir saat termokopel dalam temperatur yang sama. Pada metode ini, diasumsikan tidak ada panas yang hilang dari fluida ke lingkungan sekitar. Dan hal tersebut merupakan tantangan untuk mengontrol dimana tidak ada panas yang hilang ke lingkungan dari fluida.

Gambar 2.10 menunjukkan alat dari *steady state parallel plate* sesuai desain dari Challoner dan Powell (1956). Sampel fluida diletakkan di antara pelat tembaga, dan permukaan dari cairan sedikit lebih tinggi daripada permukaan bawah dari pelat tembaga bagian atas. Dua pelat 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 pelat tembaga bagian atas ke pelat tembaga bagian bawah. *Heater 4* digunakan untuk menyeimbangkan kesamaan temperatur pada pelat tembaga bagian bawah. *Heater 2* dan *3* digunakan untuk meningkatkan temperatur dari aluminium cell untuk menghilangkan kerugian akibat konveksi dan radiasi dari pelat tembaga bagian atas.



Gambar 2.10 Steady state parallel plate
Sumber: Choi, *et al.* (1999)

Konduktivitas termal fluida dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$k_e = \frac{k_h \cdot A_h - k_{sp} \cdot A_{sp}}{A_h - A_g} \quad (2.9)$$

dengan:

k_{sp} : konduktivitas termal *glass spacers* (W/m.K)

A_{sp} : luas penampang *glass spacers* (m²)

A_h : luas penampang pelat heater (m²)

k_h : konduktivitas termal heater (W/m.K)

k_e : konduktivitas termal fluida (W/m.K)

Sumber: Choi, *et al.* (1999)

2.4 Hipotesis

Dengan adanya variasi prosentase massa nanopartikel Al₂O₃ pada fluida dasar air, serta adanya variasi temperatur pada nanofluida, maka akan mempengaruhi massa jenis, viskositas dan konduktivitas termal nanofluida. Ketika prosentase massa nanopartikel meningkat, menyebabkan adanya penambahan partikel dalam fluida dasar, sehingga massa dari fluida akan bertambah dalam volume yang tetap, sehingga massa jenis, viskositas dan konduktivitas termal nanofluida akan meningkat. Ketika temperatur meningkat, maka partikel-partikel dalam nanofluida akan bergerak secara acak dan jarak antar partikel akan semakin jauh akibat adanya kalor yang diberikan sehingga jumlah

partikel dalam volume yang tetap akan berkurang, mengakibatkan densitas dan viskositas nanofluida menurun, sedangkan konduktivitas termal nanofluida akan meningkat.



BAB III

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. Obyek tersebut akan diambil datanya pada tahapan-tahapan tertentu yang akan menghasilkan beberapa data yang bisa dibandingkan. Dalam penelitian ini menggunakan nanofluida dengan nanopartikel Al_2O_3 . Prosentase massa nanopartikel yang dipakai sebesar 0,25%; 0,5%; 0,75% dan 1%. Pengukuran yang dilakukan untuk menentukan nilai viskositas, massa jenis serta konduktivitas termal bila dibandingkan dengan fluida dasarnya (air).

3.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan bulan Mei sampai Juli di Laboratorium Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, dan Bengkel Otomotif, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Politeknik Malang.

3.2 Variabel Penelitian

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

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti harganya dapat diubah-ubah dengan metode tertentu untuk mendapatkan nilai variabel terikat dari obyek penelitian, sehingga dapat diperoleh hubungan antara keduanya. Variabel bebasnya adalah besarnya temperatur nanofluida yang divariasikan, yaitu 40°C, 50°C dan 60°C serta prosentase massa nanopartikel, sebesar 0,25%; 0,5%; 0,75% dan 1%

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas dan diketahui setelah penelitian dilakukan. Variabel terikatnya adalah viskositas, massa jenis dan konduktivitas termal.

3. Variabel terkontrol

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

- Temperatur lingkungan, sebesar 25-28°C

- Kecepatan pengadukan sebesar 500 rpm

3.3 Alat-Alat Penelitian:

1. *Magnetic stirrer*

Magnetic stirrer 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: Italy

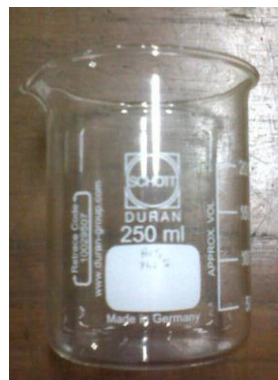
Putaran: 60-1500 rpm



Gambar 3.1 *Magnetic Stirrer*

2. *Beaker Glass*

Beaker glass merupakan alat yang digunakan sebagai wadah fluida.



Gambar 3.2 *Beaker glass*

3. *Thermocontroller*

Thermocontroller merupakan alat yang digunakan untuk memanaskan fluida dengan suhu yang dapat diatur sesuai dengan keinginan.



Gambar 3.3 *Thermocontroller*

4. Piknometer

Piknometer merupakan alat yang digunakan untuk menentukan massa jenis dari nanofluida. Cara menggunakan piknometer adalah awalnya dengan menimbang berat piknometer kosong, kemudian diisi dengan air distilasi untuk menentukan volume dari piknometer. Lalu, piknometer diisi dengan nanofluida dan ditimbang. Massa jenis dari nanofluida ditentukan dengan membagi massa fluida tersebut dengan volume piknometer.



Gambar 3.4 Piknometer

5. Timbangan elektrik

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

Type: JA5003B electronic balance

Tegangan: AC 100-240 V

Frekuensi: 50/60 Hz

Daya: 12 W

Ketelitian: 0,001

Kapasitas: 500 gram



Gambar 3.5 Timbangan elektrik

6. *Ostwald viscometer*

Ostwald viscometer merupakan alat untuk mengukur viskositas dari fluida.



Gambar 3.6 Ostwald viscometer

7. Konduktivitas meter

Konduktivitas meter merupakan alat yang digunakan untuk mengukur nilai dari konduktivitas termal fluida. Cara penggunaannya adalah nanofluida diletakkan

di antara pelat tembaga, dan permukaan dari cairan sedikit lebih tinggi daripada permukaan bawah dari pelat tembaga bagian atas. Dua pelat tembaga tersebut dipisahkan oleh tiga kaca *spacers*. Untuk mengontrol temperatur sekitar agar tidak mempengaruhi nanofluida, nanofluida tersebut diletakkan dalam ruang yang diisolasi, yang terbuat dari aluminium.

Saat pengujian, heater 1 menyediakan *heat flux* dari pelat tembaga bagian atas ke pelat tembaga bagian bawah. Pemanas bagian atas digunakan untuk menyeimbangkan kesamaan temperatur pada pelat tembaga bagian bawah. Pemanas bagian samping digunakan untuk meningkatkan temperatur dari aluminium cell untuk menghilangkan kerugian akibat konveksi dan radiasi dari pelat tembaga bagian atas



Gambar 3.7 Konduktivitas meter

8. *Stopwatch*

Stopwatch merupakan alat yang digunakan untuk mengukur waktu.



Gambar 3.8 *Stopwatch*

9. *Ball pipet*

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



Gambar 3.9 *Ball pipet*

10. Termometer

Termometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur temperatur fluida.



Gambar 3.10 Termometer

11. *Power Supply*

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



Gambar 3.11 *Power supply*

12. *Data Logger*

Data Logger merupakan alat untuk membaca dan menyimpan informasi hasil pengukuran yang kemudian disambungkan pada komputer sehingga dapat dipantau secara mendetail. Data logger yang digunakan adalah tipe USB TC-08 *Thermocouple* dengan spesifikasi sebagai berikut:

Number of channels (per TC-08)	: 8
Conversion time	: 100 ms
Temperature accuracy	: Sum of $\pm 0.2\%$ of reading and $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$
Voltage accuracy	: Sum of $\pm 0.2\%$ of reading and $\pm 10\text{ }\mu\text{V}$
Overload protection	: $\pm 30\text{ V}$
Maximum common mode voltage	: $\pm 7.5\text{ V}$
Input impedance	: $2\text{ M}\Omega$
Input range (voltage)	: $\pm 70\text{ mV}$
Resolution	: 20 bits
Noise free resolution	: 16.25 bits
Thermocouple types supported	: B, E, J, K, N, R, S, T
Input connectors	: Miniature thermocouple



Gambar 3.12 *Data logger*

13. Laptop

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

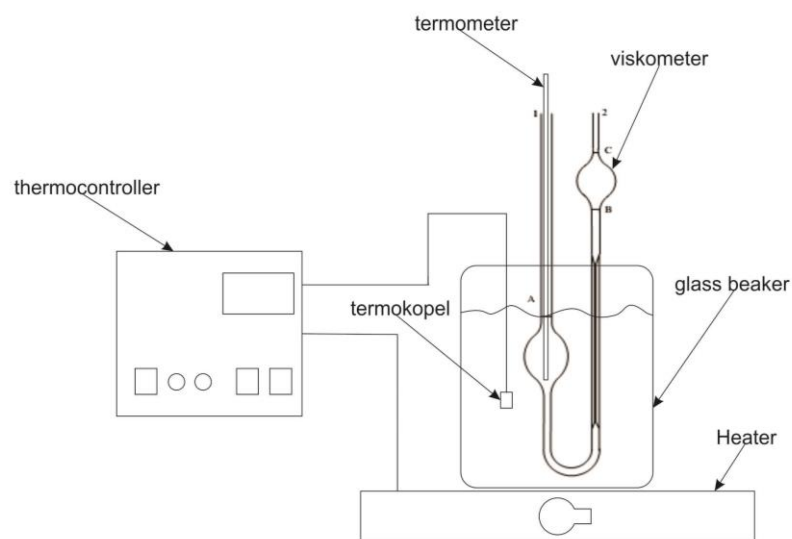


Gambar 3.13 Laptop

3.4 Skema Instalasi Alat Penelitian

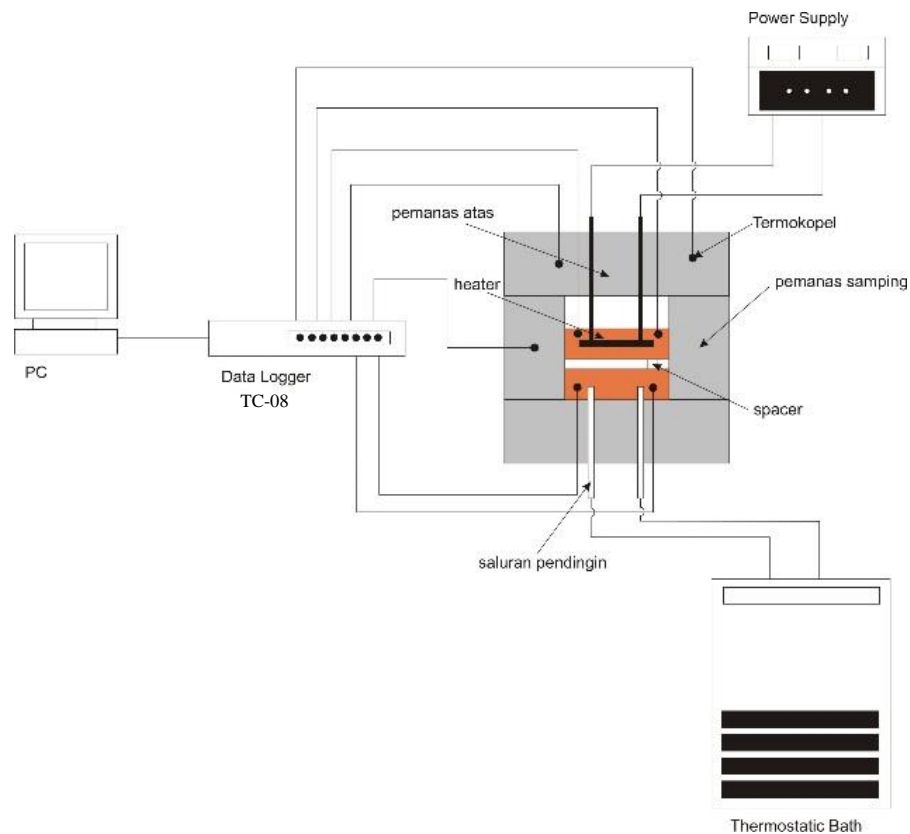
Alat-alat penelitian tersebut disusun seperti gambar 3.14 dan 3.15 di bawah ini:

a. Instalasi penelitian viskositas



Gambar 3.14 Instalasi Pengujian Penelitian Viskositas

b. Instalasi penelitian konduktivitas termal



Gambar 3.15 Instalasi Penelitian Pengujian Konduktivitas termal

3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan meliputi:

1. Persiapan nanofluida

Tabel 3.1 Spesifikasi Nanopartikel Alumina (Al_2O_3)

<i>Specification</i>	<i>Value</i>
<i>Type</i>	Alumina UPC818F
<i>Appearance</i>	White powder
<i>Purity</i>	$\pm 99\%$
<i>Grain Size (nm)</i>	20
<i>Density (g/cm^3)</i>	3,95
<i>Spesific surface area (m^2/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 baik 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 permukaan katalis untuk mempertahankan kestabilan suspensi terhadap sedimentasi juga perlu diperhatikan. Untuk mencari hasil yang lebih baik, peneliti sebelumnya menggunakan *ultrasonic vibration* yang menjamin dihasilkan 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.

Karena keterbatasan alat modern seperti *ultrasonic vibrator* maka untuk pencampuran nanofluida penulis menggunakan alat pengaduk *magnetic stirrer*. Setelah menentukan perbandingan massa nanopartikel dengan air, kemudian diaduk dengan alat tersebut hingga partikel tersuspensi merata. Ini dapat dilihat dengan tidak adanya endapan. Pada penelitian ini proses pencampuran dengan pengaduk *magnetic stirrer* dilakukan selama 5 menit.

2. Pengambilan data

Langkah-langkah pengambilan data dalam penelitian ini:

a. Pengukuran densitas

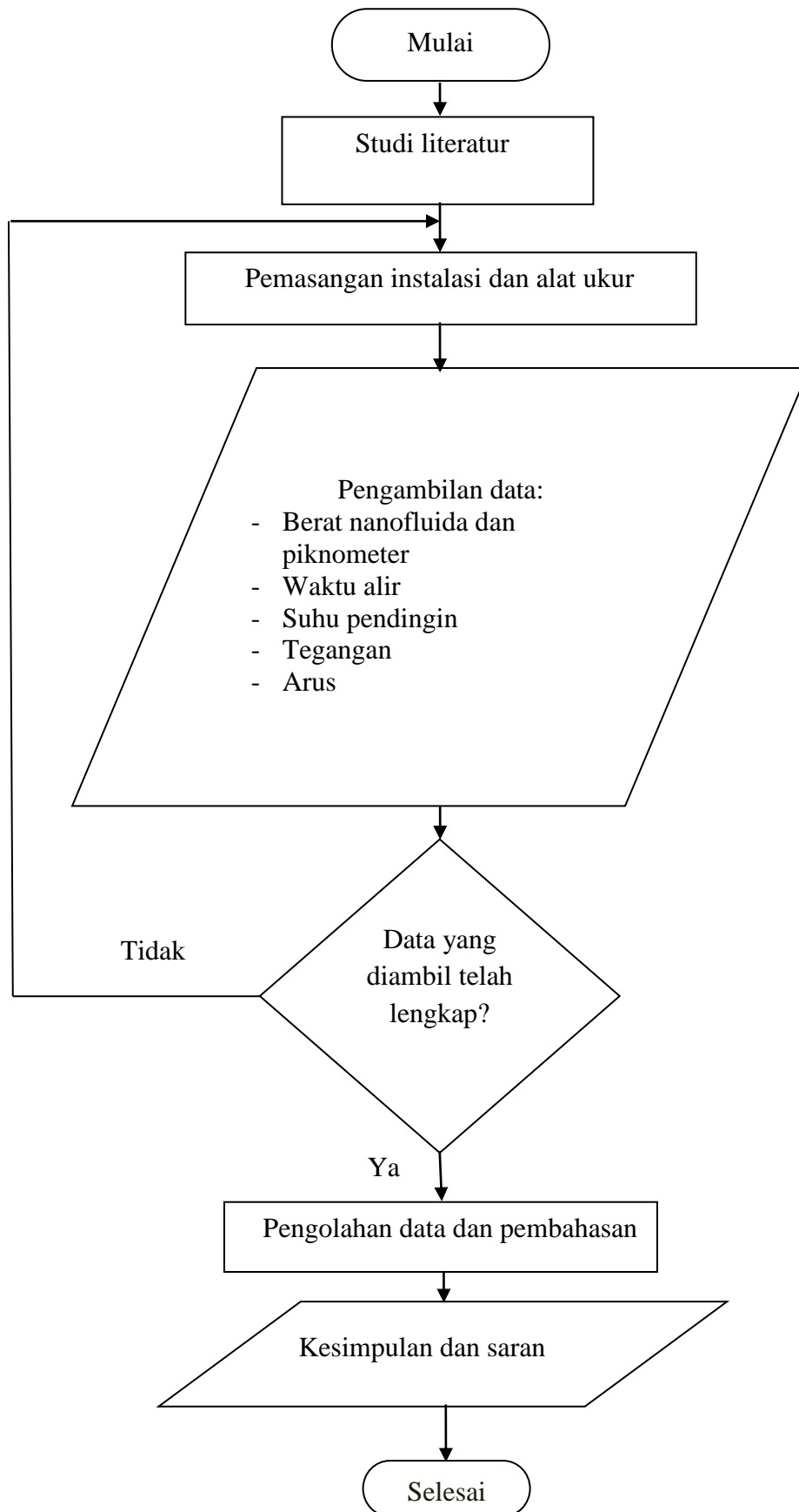
1. Mempersiapkan nanofluida dengan prosentase massa nanopartikel sebesar 0,25%
2. Memanaskan nanofluida sampai suhu 40°C
3. Memasukkan nanofluida dalam piknometer sampai tidak ada udara yang terjebak
4. Menimbang piknometer yang telah diisi nanofluida
5. Mencatat data hasil penimbangan
6. Mengulang langkah 2-5 dengan variasi temperatur sebesar 50°C dan 60°C
7. Mengulang langkah 2-6 dengan variasi prosentase massa nanopartikel sebesar 0,5%; 0,75%; 1%

b. Pengukuran viskositas

1. Mempersiapkan nanofluida dengan prosentase massa nanopartikel sebesar 0,25%
2. Memasukkan nanofluida dalam Ostwald viscometer

3. Memanaskan nanofluida dalam *Ostwald viscometer* dengan direndam menggunakan air panas sampai temperatur 40°C
 4. Menghisap nanofluida pada ujung *viscometer* menggunakan *ball pipet* sampai pada garis bagian atas (titik C pada gambar 3.14)
 5. Menghitung waktu yang dibutuhkan nanofluida dari garis bagian atas (titik C pada gambar 3.14) sampai garis bagian bawah (titik B pada gambar 3.14)
 6. Mencatat waktu alir nanofluida
 7. Mengulang langkah 2-6 dengan variasi temperatur sebesar 50°C dan 60°C
 8. Mengulang langkah 2-7 dengan variasi prosentase massa nanopartikel sebesar 0,5%; 0,75%; 1%
- c. Pengukuran konduktivitas termal
1. Mempersiapkan nanofluida dengan prosentase massa nanopartikel sebesar 0,25%
 2. Memasukkan nanofluida dalam konduktivitas meter
 3. Mengatur arus dan tegangan yang dibutuhkan pada tiap *heater* sampai temperatur 40°C
 4. Menunggu temperatur *heater* pada 40°C sampai kondisi *steady*
 5. Mencatat hasil pengukuran
 6. Mengulang langkah 2-5 dengan variasi temperatur sebesar 50°C dan 60°C
 7. Mengulang langkah 2-6 dengan variasi prosentase massa nanopartikel sebesar 0,5%; 0,75%; 1%

3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.16 Diagram alir penelitian

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

Pengambilan data dilakukan dengan variasi prosentase massa nanopartikel sebesar 0,25%; 0,5%; 0,75%; 1% dan temperatur nanofluida sebesar 40°C, 50°C, 60°C.

Untuk masing-masing variasi dilakukan 3 kali pengambilan data.

Data penelitian yang didapat sebagai berikut:

a. Data penelitian massa jenis

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Massa Jenis

Berat piknometer kosong: 33,695 gram		
Volume piknometer: 24,604 cm ³		
prosentase massa nanopartikel	temperatur (°C)	berat nanofluida dan piknometer (gram)
0%	40	58,035
	50	57,932
	60	57,814
0,25%	40	58,19
	50	58,1
	60	58,004
0,50%	40	58,242
	50	58,143
	60	58,03
0,75%	40	58,276
	50	58,169
	60	58,088
1%	40	58,3
	50	58,209
	60	58,124

b. Data penelitian viskositas

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Viskositas

Massa jenis air pada temperatur kamar: 0,997 g/cm ³		
Viskositas air pada temperatur kamar: 0,89		
Waktu alir air pada temperatur kamar: 104 s		
prosentase massa nanopartikel	temperatur (°C)	waktu (s)
0%	40	98
	50	83
	60	75
0,25%	40	103
	50	90
	60	85
0,50%	40	106
	50	94
	60	90
0,75%	40	110
	50	100
	60	97
1%	40	114
	50	100
	60	102

c. Data penelitian konduktivitas termal

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Konduktivitas Termal

Luas penampang pelat heater: 0,006361725 m ²				
Luas penampang spacer: 0,0000642075 m ²				
Tinggi spacer: 0,0019 m				
Konduktivitas termal spacer: 1,05 W/m.°C				
prosentase massa nanopartikel	temperatur heater (°C)	Temperatur pendingin (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)
0%	40	38,02	6,2	0,67
	50	46,5	8,4	0,89
	60	54,79	10,3	1,1
0,25%	40	38,08	6,2	0,67
	50	46,60	8,4	0,89
	60	54,925	10,3	1,1
0,50%	40	38,11	6,2	0,67
	50	46,65	8,4	0,89
	60	55	10,3	1,1
0,75%	40	38,13	6,2	0,67
	50	46,69	8,4	0,89
	60	55,1	10,3	1,1
1%	40	38,15	6,2	0,67
	50	46,75	8,4	0,89
	60	55,3	10,3	1,1

4.2 Perhitungan Data

Perhitungan data dilakukan untuk mendapatkan nilai yang diperlukan untuk menentukan *fluid properties* dari nanofluida. Berikut adalah contoh perhitungan dari hasil pengujian dengan prosentase massa nanopartikel sebesar 0,25% dan variasi temperatur 40°C.

a. Perhitungan massa jenis nanofluida

Data yang diketahui:

- Berat piknometer, $m_p = 33,695$ gram
- Volume piknometer, $V_p = 24,604$ cm³

- Berat nanofluida dan piknometer, $m_{tot} = 58,19$ gram

Proses perhitungan

- Menentukan berat nanofluida

$$m_{nf} = m_{tot} - m_P$$

$$m_{nf} = 58,19 - 33,695$$

$$m_{nf} = 24,495 \text{ gram}$$

- Menentukan massa jenis nanofluida

$$\rho_{nf} = \frac{m_{nf}}{V_p}$$

$$\rho_{nf} = \frac{24,495}{24,604}$$

$$\rho_{nf} = 0,99557 \text{ g/cm}^3$$

- b. Perhitungan viskositas nanofluida

Data yang diketahui:

- Waktu alir nanofluida, $t_{nf} = 103$ s
- Massa jenis air pada temperatur kamar, $\rho_a = 0,997 \text{ g/cm}^3$
- Viskositas air pada temperatur kamar, $\mu_a = 0,89$
- Waktu alir air pada temperatur kamar, $t_a = 104$ s

Proses perhitungan:

- Menentukan viskositas nanofluida

$$\mu_{nf} = \frac{\rho_{nf} \cdot t_{nf} \cdot \mu_a}{t_a \cdot \rho_a}$$

$$\mu_{nf} = \frac{0,99557 \cdot 103 \cdot 0,89}{104 \cdot 0,997}$$

$$\mu_{nf} = 0,88018$$

- c. Perhitungan konduktivitas termal nanofluida

Data yang diketahui:

- Konduktivitas termal spacer, $k_{sp} = 1,05 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$
- Luas penampang pelat heater, $A_h = 0,006361725 \text{ m}^2$
- Luas penampang spacer, $A_{sp} = 0,0000642075 \text{ m}^2$
- Tinggi heater, $l_h = 0,0019 \text{ m}$
- Temperatur heater, $T_h = 40^\circ\text{C}$
- Temperatur pendingin, $T_p = 38,08^\circ\text{C}$
- Tegangan, $V = 6,2 \text{ Volt}$

- Arus, $I = 0,67$ Ampere

Proses perhitungan:

- Menentukan perbedaan temperatur

$$\Delta T = T_h - T_p$$

$$\Delta T = 40 - 38,08$$

$$\Delta T = 1,92^\circ\text{C}$$

- Menentukan kalor

$$q = V \cdot I$$

$$q = 6,2 \cdot 0,67$$

$$q = 4,154 \text{ Watt}$$

- Menentukan konduktivitas termal sistem

$$k_s = \frac{q \cdot l_h}{A_h \cdot \Delta T}$$

$$k_s = \frac{4,154 \cdot 0,0019}{0,00006361725 \cdot 1,92}$$

$$k_s = 0,464 \frac{\text{Watt}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$$

- Menentukan konduktivitas termal nanofluida

$$k_{nf} = \frac{(k_s \cdot A_h) - (k_{sp} \cdot A_{sp})}{(A_h - A_{sp})}$$

$$k_{nf} = \frac{(0,464 \cdot 0,00006361725) - (1,05 \cdot 0,0000642075)}{(0,00006361725 - 0,0000642075)}$$

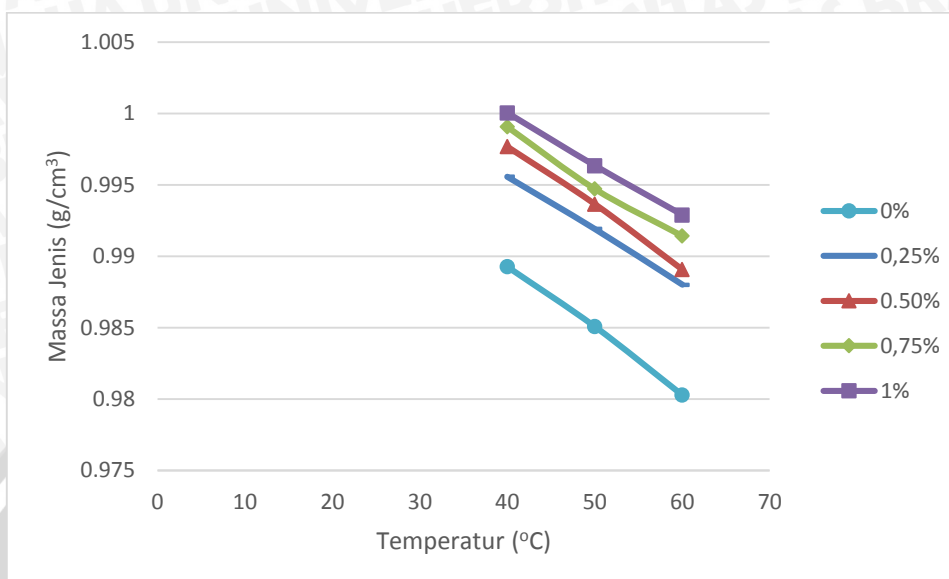
$$k_{nf} = 0,651 \frac{\text{Watt}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$$

4.3 Data Hasil Perhitungan

Data hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada tabel data hasil perhitungan pada lampiran 1.

4.4 Pembahasan

4.4.1 Grafik Pengaruh Prosentase Nanopartikel dan Temperatur Nanofluida terhadap Massa Jenis Nanofluida



Gambar 4.1 hubungan prosentase massa nanopartikel dan temperatur nanofluida terhadap massa jenis nanofluida

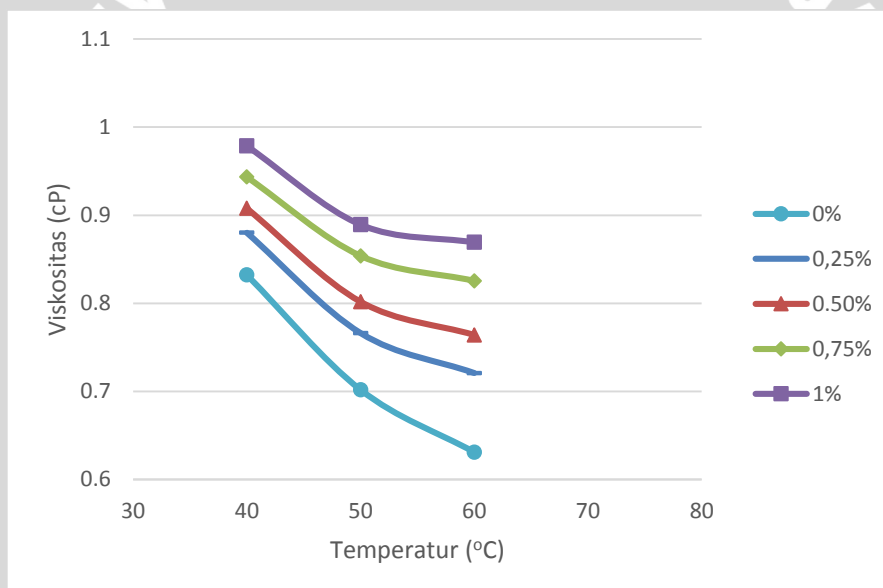
Pada gambar 4.1, menunjukkan grafik hubungan antara prosentase massa nanopartikel dan temperatur nanofluida terhadap massa jenis nanofluida, dengan prosentase massa nanopartikel sebesar 0,25%; 0,5%; 0,75% dan 1% serta temperatur nanofluida sebesar 40°C, 50°C dan 60°C. Pada gambar 4.1, massa jenis mulai dari prosentase massa sebesar 0,25%; 0,5%; 0,75% dan 1% serta temperatur nanofluida sebesar 40°C, 50°C dan 60 °C, menunjukkan adanya kecenderungan menurun. Semakin besar prosentase massa nanopartikel pada temperatur yang sama, maka semakin besar pula massa jenis nanofluida. Hal ini disebabkan adanya penambahan partikel dalam fluida dasarnya, yaitu air, sehingga meningkatkan massa dari fluida pada volume yang sama, dan menyebabkan massa jenis nanofluida meningkat. Semakin besar temperatur nanofluida pada prosentase massa nanopartikel yang sama, maka semakin rendah massa jenis nanofluida. Hal ini dikarenakan adanya penambahan kalor pada nanofluida sehingga jarak antar partikel-partikel dalam fluida akan semakin jauh, sehingga dalam volume yang sama, jumlah partikelnya akan berkurang, menyebabkan massa jenis nanofluida menurun.

Massa jenis nanofluida tertinggi yaitu sebesar 1,00 g/cm³ pada prosentase nanopartikel sebesar 1% dan temperatur 40°C. Sedangkan massa jenis nanofluida

terendah yaitu sebesar $0,988 \text{ g/cm}^3$ pada prosentase nanopartikel sebesar 0,25% dan temperatur 60°C .

Pada gambar 4.1 terdapat data massa jenis dari fluida air yang belum ditambah nanopartikel. Dapat dilihat bahwa pada temperatur yang sama, terdapat perbedaan massa jenis antara air tanpa ditambah nanopartikel dibandingkan air yang telah ditambah nanopartikel. Massa jenis air yang telah ditambah nanopartikel memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan air tanpa ditambah nanopartikel. Hal ini disebabkan adanya penambahan partikel pada air, sehingga massanya akan meningkat pada volume yang sama, sehingga massa jenis dari air akan meningkat dengan adanya penambahan nanopartikel.

4.4.2 Grafik Pengaruh Prosentase Nanopartikel dan Temperatur Nanofluida terhadap Viskositas Nanofluida



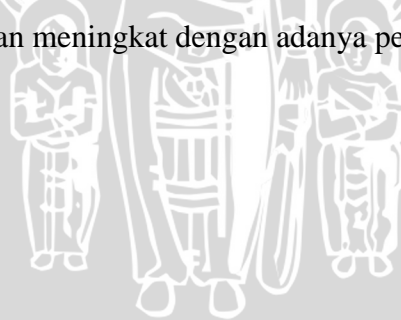
Gambar 4.2 hubungan prosentase massa nanopartikel dan temperatur nanofluida terhadap viskositas nanofluida

Pada gambar 4.2, menunjukkan grafik hubungan antara prosentase massa nanopartikel dan temperatur nanofluida terhadap viskositas nanofluida, dengan prosentase massa nanopartikel sebesar 0,25%; 0,5%; 0,75% dan 1% serta temperatur nanofluida sebesar 40°C , 50°C dan 60°C . Pada gambar 4.2, viskositas mulai dari prosentase massa sebesar 0,25%; 0,5%; 0,75% dan 1% serta temperatur nanofluida sebesar 40°C , 50°C dan 60°C , menunjukkan adanya kecenderungan menurun. Semakin besar prosentase massa nanopartikel pada temperatur yang sama, maka semakin besar pula viskositas nanofluida. Hal ini disebabkan adanya penambahan partikel dalam fluida

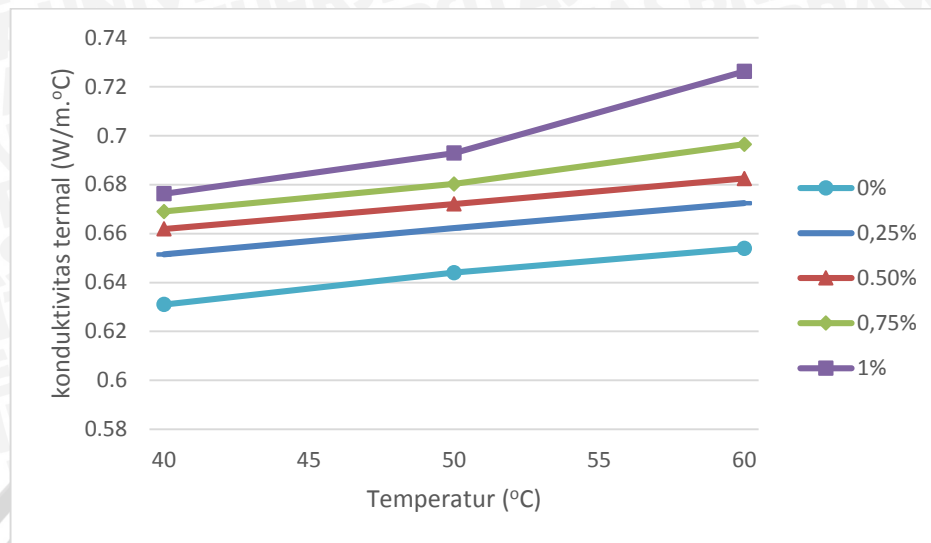
dasarnya, yaitu air, meningkatkan massa dari fluida pada volume yang sama, dan menyebabkan partikel-partikel yang bergesekan dengan permukaan benda semakin banyak, sehingga viskositas nanofluida meningkat. Semakin besar temperatur nanofluida pada prosentase massa nanopartikel yang sama, maka semakin rendah viskositas nanofluida. Hal ini dikarenakan adanya penambahan kalor pada nanofluida sehingga jarak antar partikel-partikel dalam fluida akan semakin jauh, sehingga dalam volume yang sama, jumlah partikelnya akan berkurang, menyebabkan partikel-partikel dalam nanofluida yang bergesekan dengan permukaan benda lebih sedikit, sehingga viskositas nanofluida menurun.

Viskositas nanofluida tertinggi yaitu sebesar 0,978 pada prosentase nanopartikel sebesar 1% dan temperatur 40°C. Sedangkan viskositas nanofluida terendah yaitu sebesar 0,721 pada prosentase nanopartikel sebesar 0,25% dan temperatur 60°C.

Pada gambar 4.2 terdapat data viskositas dari fluida air yang belum ditambah nanopartikel. Dapat dilihat bahwa pada temperatur yang sama, terdapat perbedaan viskositas antara air tanpa ditambah nanopartikel dibandingkan air yang telah ditambah nanopartikel. Viskositas air yang telah ditambah nanopartikel memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan air tanpa ditambah nanopartikel. Hal ini disebabkan adanya penambahan partikel pada air, sehingga massanya akan meningkat pada volume yang sama, menyebabkan lebih banyak partikel yang bergesekan dengan permukaan benda, sehingga viskositas dari air akan meningkat dengan adanya penambahan nanopartikel.



4.4.3 Grafik Pengaruh Prosentase Nanopartikel dan Temperatur Nanofluida terhadap Konduktivitas Termal Nanofluida



Gambar 4.3 hubungan prosentase massa nanopartikel dan temperatur nanofluida terhadap konduktivitas termal nanofluida

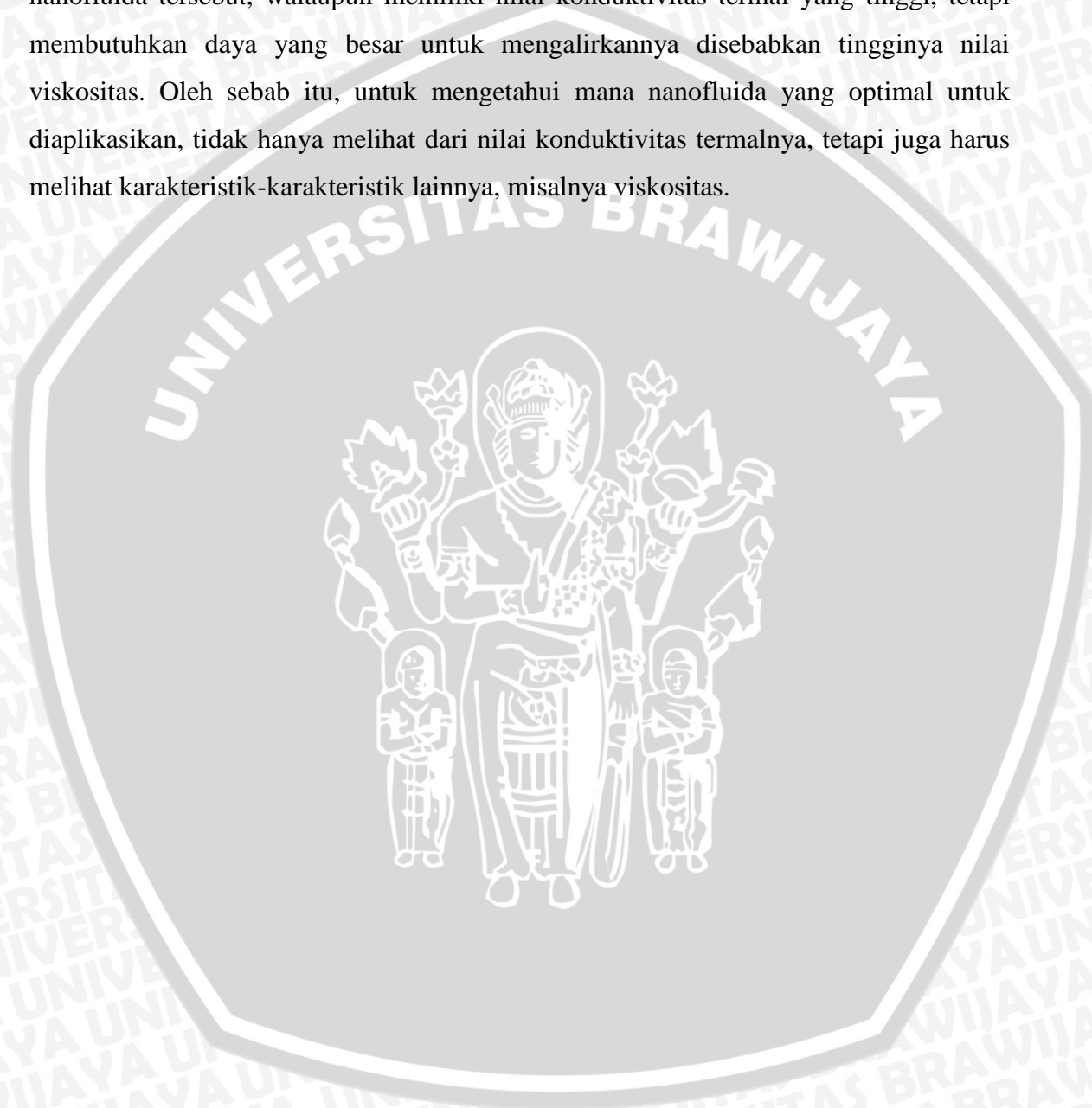
Dari gambar 4.3 terlihat bahwa dengan adanya peningkatan prosentase massa nanopartikel pada temperatur yang sama, maka semakin besar pula konduktivitas termal nanofluida. Hal ini disebabkan adanya penambahan partikel dalam fluida dasarnya, yaitu air, sehingga kemampuan fluida untuk menghantarkan panas lebih cepat. Semakin besar temperatur nanofluida pada prosentase massa nanopartikel yang sama, maka semakin tinggi konduktivitas termal nanofluida. Hal ini dikarenakan adanya penambahan kalor pada nanofluida sehingga pergerakan antar partikel-partikel dalam fluida akan semakin acak dan cepat, sehingga kemampuan fluida untuk menghantarkan panas lebih besar, sehingga konduktivitas termal nanofluida meningkat.

Konduktivitas termal nanofluida tertinggi yaitu sebesar $0,7263 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ pada prosentase nanopartikel sebesar 1% dan temperatur 60°C . Sedangkan konduktivitas termal nanofluida terendah yaitu sebesar $0,6515 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ pada prosentase nanopartikel sebesar 0,25% dan temperatur 40°C .

Pada gambar 4.3 terdapat data konduktivitas dari fluida air yang belum ditambah nanopartikel. Dapat dilihat bahwa pada temperatur yang sama, terdapat perbedaan konduktivitas termal antara air tanpa ditambah nanopartikel dibandingkan air yang telah ditambah nanopartikel. Konduktivitas termal air yang telah ditambah nanopartikel memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan air tanpa ditambah nanopartikel. Hal ini disebabkan adanya penambahan partikel pada air, sehingga massanya akan meningkat pada volume yang sama, menyebabkan lebih banyak partikel yang berada dalam fluida,

sehingga konduktivitas termal dari air akan meningkat dengan adanya penambahan nanopartikel.

Bila dilihat pada gambar 4.3 dan 4.2, konduktivitas termal nanofluida tertinggi terdapat pada prosentase massa nanopartikel sebesar 1% dan temperatur 60°C, tetapi juga memiliki nilai viskositas terbesar. Hal ini dapat mengakibatkan kerugian dalam nanofluida tersebut, walaupun memiliki nilai konduktivitas termal yang tinggi, tetapi membutuhkan daya yang besar untuk mengalirkannya disebabkan tingginya nilai viskositas. Oleh sebab itu, untuk mengetahui mana nanofluida yang optimal untuk diaplikasikan, tidak hanya melihat dari nilai konduktivitas termalnya, tetapi juga harus melihat karakteristik-karakteristik lainnya, misalnya viskositas.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada temperatur yang sama, penambahan prosentase massa nanopartikel meningkatkan massa jenis, viskositas dan konduktivitas termal nanofluida.
2. Pada prosentase massa yang sama, peningkatan temperatur nanofluida membuat massa jenis dan viskositas dari nanofluida menurun, sedangkan konduktivitas termal nanofluida naik.
3. Massa jenis nanofluida tertinggi yaitu sebesar $1,00 \text{ g/cm}^3$ pada prosentase nanopartikel sebesar 1% dan temperatur 40°C . Sedangkan massa jenis nanofluida terendah yaitu sebesar $0,988 \text{ g/cm}^3$ pada prosentase nanopartikel sebesar 0,25% dan temperatur 60°C
4. Viskositas nanofluida tertinggi yaitu sebesar 0,978 cP pada prosentase nanopartikel sebesar 1% dan temperatur 40°C . Sedangkan viskositas nanofluida terendah yaitu sebesar 0,721 cP pada prosentase nanopartikel sebesar 0,25% dan temperatur 60°C
5. Konduktivitas termal nanofluida tertinggi yaitu sebesar $0,7263 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ pada prosentase nanopartikel sebesar 1% dan temperatur 60°C . Sedangkan Konduktivitas termal nanofluida terendah yaitu sebesar $0,6515 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ pada prosentase nanopartikel sebesar 0,25% dan temperatur 40°C .

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya, dapat meneliti tentang pengaruh dari ukuran partikel serta pH pada temperatur yang semakin meningkat terhadap *fluid properties* dari nanofluida.
2. Agar suspensi nanofluida lebih terdispersi secara optimal, dapat menggunakan *surfactant*, sehingga hasil yang diperoleh lebih akurat.
3. Dalam pengukuran konduktivitas termal, dimensi spacer yang digunakan lebih diperkecil agar kalor dari heater dapat berpindah lebih banyak ke fluida.
4. Dalam pengukuran viskositas, setelah menggunakan viskometer, lebih baik direndam dahulu dengan asam kuat lebih lama agar tidak ada nanopartikel yang terendap dalam viskometer.

DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, Yunus A., dan Boles, Michael A., 2006. *Thermodynamics: An Engineering Approach*. New York. Mc Graw-Hill.
- Choi, S.U.S. 1998. *Nanofluid Technology: Current Status and Future Research*. United States. Argonne National Laboratory Technical Report.
- Choi, S.U.S., dkk. 1999. *Thermal Conductivity of Nanoparticle-Fluid Mixture*. Jurnal Thermofisika dan Perpindahan Panas. Vol. 13 No. 4.
- Choi, S.U.S., dkk. 2008. *Nanofluids, Science and Technology*. New Jersey. John Wiley & Sons Inc.
- Duan, Fei. 2012. *Thermal Property Measurement of Al₂O₃-Water Nanofluids*. Kroasia. Intech.
- Eren, Halit. 2000. *Density Measurement*. United States. CRC Press LLC.
- Hosseini, S. Sh., dkk. 2011. *A Review of Relations for Physical Properties of Nanofluids*. Jurnal Dasar dan Aplikasi Sains. 5(10):417-435.
- Incropera, F. P., dkk. 2011. *Fundamentals of Heat and Mass Transfers*. Edisi 7. United States. John Wiley & Sons.
- Mintsa, H.A., dkk. 2008. *New Temperature Dependent Thermal Conductivity Data for Water-Based Nanofluids*. Jurnal International Thermal Science. 48:363-371.
- Sridara, V., dan Satapathy, N. L. 2011. *Al₂O₃ Based Nanofluids: A Review*. Jurnal Nanoscale Research.
- Vennard, J.K., dan Street, R.L. 1976. *Elementary Fluid Mechanics SI Version*. Edisi 5. United States. John Wiley & Sons.
- Wakeham, W.A., dan Assael, J.M. 2000. *Thermal Conductivity Measurement*. United States. CRC Press LLC.
- Yadav, J.B., 2010. *Advanced Practical Physical Chemistry*. India. Khrisna Prakashan Media (P) Ltd.
- Yu, Wei., dkk. 2012. *Nanofluids*. Kroasia. Intech.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data pengujian massa jenis

prosentase massa nanopartikel	suhu (°C)	berat nanofluida (gram)	massa jenis nanofluida (g/cm ³)
0%	40	24,340	0,989277619
	50	24,237	0,985091276
	60	24,119	0,980295271
0,25%	40	24,495	0,995577456
	50	24,405	0,991919486
	60	24,309	0,988017652
0,50%	40	24,547	0,99769095
	50	24,448	0,993667183
	60	24,335	0,989074399
0,75%	40	24,581	0,99907285
	50	24,474	0,99472393
	60	24,393	0,991431757
1%	40	24,605	1,000048308
	50	24,514	0,996349694
	60	24,429	0,992894945

Lampiran 2. Data pengujian viskositas

prosentase massa nanopartikel	suhu (°C)	waktu (s)	viskositas nanofluida (cP)
0%	40	98	0,832157954
	50	83	0,70180438
	60	75	0,631073117
0,25%	40	103	0,880184644
	50	90	0,766267561
	60	85	0,720850391
0,50%	40	106	0,907744042
	50	94	0,801734015
	60	90	0,764069703
0,75%	40	110	0,943303294
	50	100	0,853815579
	60	97	0,825460069
1%	40	114	0,978559731
	50	104	0,889419486
	60	102	0,869290594

Lampiran 3. Data pengujian konduktivitas termal

prosentase massa nanopartikel	temperatur heater (°C)	Temperatur pendingin (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Konduktivitas termal sistem (W/m.°C)	Konduktivitas termal nanofluida (W/m.°C)
0%	40	38,02	6,2	0,67	4,154	0,646165794	0,651519386
	50	46,5	8,4	0,89	7,476	0,656703115	0,662199103
	60	54,79	10,3	1,1	11,33	0,666764646	0,672396601
0,25%	40	38,08	6,2	0,67	4,154	0,656422394	0,661914589
	50	46,60	8,4	0,89	7,476	0,666504654	0,672133095
	60	54,925	10,3	1,1	11,33	0,676766116	0,682533225
0,50%	40	38,11	6,2	0,67	4,154	0,663442954	0,669030021
	50	46,65	8,4	0,89	7,476	0,674559091	0,680296376
	60	55	10,3	1,1	11,33	0,690577669	0,696531421
0,75%	40	38,13	6,2	0,67	4,154	0,670615311	0,676299301
	50	46,69	8,4	0,89	7,476	0,68701249	0,692918064
	60	55,1	10,3	1,1	11,33	0,719963953	0,726314817
1%	40	38,15	6,2	0,67	4,154	0,626585013	0,631673999
	50	46,75	8,4	0,89	7,476	0,637940169	0,643182604
	60	55,3	10,3	1,1	11,33	0,649487635	0,654886116