

**PENGUJIAN KEMAMPUAN PERPINDAHAN KALOR
NANOFLUIDA Al_2O_3 – AIR PADA SISTEM
PENDINGIN ALAT ELEKTRONIK**

SKRIPSI

oleh

EDVAN GANA SENJAYA

04 04 02 0258



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008

**EXPERIMENT OF HEAT TRANSFER NANOFUIDS
AL₂O₃ – WATER FOR AN ELECTRONIC LIQUID
COOLING SYSTEM**

SKRIPSI

oleh

EDVAN GANA SENJAYA

04 04 02 0258



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008

**PENGUJIAN KEMAMPUAN PERPINDAHAN KALOR
NANOFLUIDA Al_2O_3 – AIR PADA SISTEM
PENDINGIN ALAT ELEKTRONIK**

SRIPSI

oleh

EDVAN GANA SENJAYA

04 04 02 0258



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

PENGUJIAN KEMAMPUAN PERPINDAHAN KALOR NANOFLUIDA AL₂O₃ – AIR PADA SISTEM PENDINGIN ALAT ELEKTRONIK

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada program studi S1 Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 1 Juli 2008

Edvan Gana Senjaya

NPM. 04 04 02 0258

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul :

PENGUJIAN KEMAMPUAN PERPINDAHAN KALOR NANOFUIDA AL₂O₃ – AIR PADA SISTEM PENDINGIN ALAT ELEKTRONIK

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada program studi S1 Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia dan disetujui untuk diajukan dalam sidang ujian skripsi.

Depok, 1 Juli 2008

Dosen Pembimbing

Dr – ing Ir. Nandy Putra

NIP. 132 128 630

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

Dr – ing Ir. Nandy Putra

selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesaidengan baik.

Edvan Gana Senjaya
NPM 0404020258
Departemen Teknik Mesin

Dosen Pembimbing
Dr – ing. Ir. Nandy Putra

**PENGUJIAN KEMAMPUAN PERPINDAHAN KALOR NANOFLLUIDA
AL₂O₃ – AIR PADA SISTEM PENDINGIN ALAT ELEKTRONIK**

ABSTRAK

Sistem pendingin pada microprosesor diperalatan elektronik amat penting untuk menjaga kinerja dan umur dari alat tersebut. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja nanofluida Al₂O₃-air sebagai pendingin dalam peralatan elektronik dan membandingkan hasilnya dengan kinerja pendingin menggunakan air. Pengujian dilakukan dengan memberikan pemanasan menggunakan plat pemanas yang dapat diandaikan sebagai prosesor pada komputer, temperatur yang dihasilkan dikondisikan seperti yang terdapat pada prosesor sebenarnya.

Hasil pengujian menunjukkan indikasi peningkatan kemampuan perpindahan panas dibandingkan fluida air. Peningkatan perpindahan kalor untuk nanofluida Al₂O₃ – air sangat dipengaruhi oleh konsentrasi, temperatur kerja dan laju aliran yang digunakan. Hasil pengujian menunjukkan nanofluida dengan konsentrasi 4% mampu meningkatkan koefisien konveksi lebih besar dibandingkan dengan nanofluida dengan konsentrasi 1%. Untuk nanofluida 4% mampu memberikan peningkatan bilangan Nusselt hingga 65% dibandingkan dengan air.

Kata Kunci : Nanofluida, Nanopartikel, Sestem pendingin komponen elektronik, bilangan Nusselt, perpindahan kalor.

Edvan Gana Senjaya
NPM 0404020258

Mechanical Department Engineering

Counsellor

Dr – ing. Ir. Nandy Putra

**EXPERIMENT OF HEAT TRANSFER NANOFLUIDS Al_2O_3 – WATER
FOR AN ELECTRONIC LIQUID COOLING SYSTEM**

ABSTRACT

Cooling system for microprocessor in electronic devices is very important to maintains it's performance. This research has been conducted concerning to knows the behavior and heat transfer enhancement of a particular nanofluid, Al_2O_3 nanoparticle – water mixture, for electronic cooling system and the result will be compared with the behavior of water cooling system. Plate heater used for replace a processor that gives heat and temperature observed by thermocouples.

Experimental result have indicated significant heat transfer enhancement compared with water. Heat transfer enhancement for nanofluids Al_2O_3 – water depend on concentration of nanoparticle, working temperature, and mass flow rate. Experimental results have clearly shown that nanofluid with 4% particle volume concentration provides higher convection coefficients than the ones of nanofluid with 1% particle volume concentration. For nanofluid with 4% particle volume concentration provides higher Nusselt number as much as 65% compared to that base fluid.

Keywords : Nanofluid, Nanoparticle, Electronic Cooling, Nusselt number, Heat Transfer.

DAFTAR ISI

	Halaman
JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
PERSETUJUAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SIMBOL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. PERUMUSAN MASALAH	3
1.3. TUJUAN PENELITIAN	3
1.4. PEMBATASAN MASALAH	3
1.5. METODOLOGI PENELITIAN	4
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. KONSEP NANOFUIDA	6
2.2. PERKEMBANGAN NANOFUIDA	7

2.2.1. Konduktivitas Termal Nanofluida Sebagai Fungsi Ukuran Partikel	9
2.2.1.1. Persamaan Hamilton-Crosser	10
2.2.2. Konduktivitas Termal Nanofluida Sebagai Fungsi Temperatur	11
2.3. MENGUKUR KONDUKTIVITAS TERMAL PADA NANOFLUIDA	12
2.3.1. Transient Hot-Wire Method	12
2.3.2. Temperature Oscilation Method	16
2.4. PERPINDAHAN KALOR KONVEKSI PADA NANOFLUIDA	19
2.4.1. Konveksi Paksa	21
2.5. PEMBUATAN NANOFLUIDA	23
2.5.1. Metode Satu Langkah	25
2.5.2. Metode Dua Langkah	26
BAB III PROSEDUR PENGUJIAN AIR DAN NANOFLUIDA PADA SISTEM PENDINGIN ALAT ELEKTRONIK	28
3.1. ALAT PENGUJI	29
3.2. PRINSIP KERJA	34
3.2.1. Persiapan Alat Uji	34
3.2.2. Prosedur Pengujian	35
BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA	37
4.1. FLUIDA KERJA AIR	37
4.2. FLUIDA KERJA NANOFLUIDA	38
4.3. LANGKAH PERHITUNGAN DAN PENGOLAHAN DATA	39
4.3.1. Pengujian Dengan Input Daya 78,12 Watt	41
4.3.2. Pengujian Dengan Input Daya 132,03 Watt	43
4.3.3. Pengujian Dengan Input Daya 200 Watt	45
4.3.4. Pengujian Dengan Input Daya 282,031 Watt	47
4.3.5. Perbandingan Koefisien Konvesi Nanofluida	49

4.4. PERBANDINGAN DENGAN PENELITIAN YANG TELAH ADA	51
BAB V KESIMPULAN	53
DAFTAR ACUAN	54
LAMPIRAN	57



DAFTAR GAMBAR

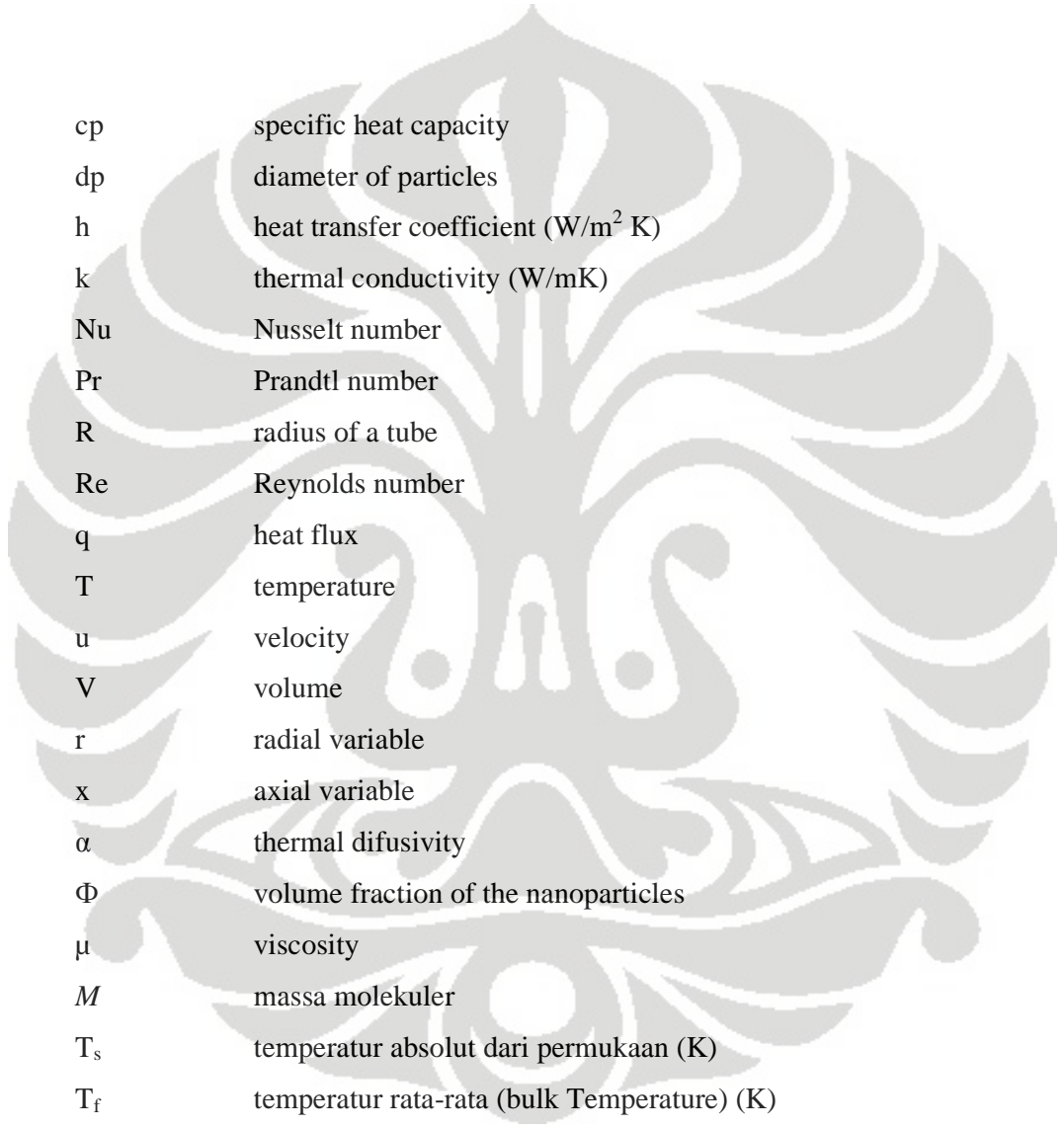
Gambar 2.1	Poto TEM Dari penggumpalan bubuk nano partikel	12
Gambar 2.2	Instalasi dari transient hot wire	13
Gambar 2.3	Alat transient hot wire	14
Gambar 2.4	Sirkuit Elektrik Dari Alat <i>Transient Hot Wire</i>	15
Gambar 2.5	Akurasi Pengukuran Dari <i>Transient Hot Wire</i>	16
Gambar 2.6	Alat pengujian	17
Gambar 2.7	Konstruksi dari test cell	17
Gambar 2.8	Osilasi temperatur yang dicatat oleh Das, dkk (2003)	18
Gambar 2.9	Poto TEM dari nanopartikel yang terdispersi	24
Gambar 3.1	Skema Percobaan	29
Gambar 3.2	Water Block	29
Gambar 3.3	Water Block dan Plat Pemanas yang telah diisolasi dengan polyeurethane	30
Gambar 3.4	Pompa dan Water Tank	31
Gambar 3.5	Radiator	31
Gambar 3.6	Software VisiDAQ sebagai tampilan digital dikomputer	32
Gambar 3.7	Data Acquisition	33
Gambar 3.8	Voltage Regulator	33
Gambar 3.9	Skema alat uji	34
Gambar 4.1	Grafik temperatur terhadap waktu untuk pengambilan data	38
Gambar 4.2	Diagram alir perhitungan	39
Gambar 4.3	Grafik perbandingan bilangan Nusselt dan Reynold input daya 78.12 watt	42
Gambar 4.4	Grafik perbandingan Temperatur dan laju aliran pada pengujian input daya 78.12 Watt	43
Gambar 4.5	Grafik perbandingan bilangan Nusselt dan Reynold	

input daya 132,03 Watt	44
Gambar 4.6 Grafik perbandingan Temperatur dan Laju aliran pada pengujian input daya 132,03 Watt	45
Gambar 4.7 Grafik perbandingan bilangan Nusselt dan Reynold input daya 200 Watt	46
Gambar 4.8 Grafik perbandingan Temperatur dan laju aliran pada pengujian input daya 200 Watt	46
Gambar 4.9 Grafik perbandingan bilangan Nusselt dan Reynold input daya 282.031 Watt	47
Gambar 4.10 Grafik perbandingan Temperatur dan laju aliran pada pengujian input daya 282.031 Watt	48
Gambar 4.11 Grafik perbandingan koefisien konvensi terhadap laju aliran pada pengujian input 78.12 Watt	49
Gambar 4.12 Grafik perbandingan koefisien konvensi terhadap laju aliran pada pengujian input 132.03 Watt	50
Gambar 4.13 a. Perbandingan laju aliran dengan temperatur block hasil penelitian Cong et.al [21], b. Grafik Temperatur dan Laju Aliran penelitian saat ini	51
Gambar 4.14 a. Perbandingan bilangan Nusselt dan Reynold pada penelitian Cong et al[21], b, Perbandingan bilangan Nusselt dan Reynold pada penelitian yang dilakukan saat ini	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Konduktivitas termal dari beberapa material	7
Tabel 2.2	Perbandingan antara mikropartikel dengan nanopartikel	9
Tabel 3.1	Variasi tegangan dan flow rate	35
Tabel 4.1	Sifat nanofluida pada fraksi volum 1%	38
Tabel 4.2	Sifat nanofluida pada fraksi volum 4%	39
Tabel 4.3	Contoh data	40
Tabel 4.4	Hasil pengujian dengan tegangan input 50 volt	41
Tabel 4.5	Hasil pengujian dengan tegangan input 65 Volt	43
Tabel 4.6	Hasil pengujian dengan tegangan input 80 Volt	45
Tabel 4.7	Hasil pengujian dengan tegangan input 95 Volt	47

DAFTAR SIMBOL



c_p	specific heat capacity
d_p	diameter of particles
h	heat transfer coefficient ($\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$)
k	thermal conductivity (W/mK)
Nu	Nusselt number
Pr	Prandtl number
R	radius of a tube
Re	Reynolds number
q	heat flux
T	temperature
u	velocity
V	volume
r	radial variable
x	axial variable
α	thermal difusivity
Φ	volume fraction of the nanoparticles
μ	viscosity
M	massa molekuler
T_s	temperatur absolut dari permukaan (K)
T_f	temperatur rata-rata (bulk Temperature) (K)
T_w	temperatur wall (K)
m	massa (kg)
ρ	massa jenis
L	tebal benda dimana terdapat gradient temperatur (m)
q_y	tingkat kalor akibat konduksi pada suatu area (W)

A	luas permukaan (m^2)
\dot{Q}_c	Laju pelepasan Kalor (kW/m^2)
V	laju aliran fluida (m^3/s),



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Teknologi merupakan suatu hasil karya manusia yang terus berkembang. Perkembangan teknologi saat ini menuju pada komputerisasi, dimana berbagai macam kegiatan manusia dibantu dengan komputer atau suatu sistem agar lebih praktis dan mudah. Dalam pengaturan sistem komputer tersebut tidak lepas dari suatu komponen utama yang tidak dapat diabaikan yaitu *microprocessors* sebagai suatu alat untuk mengatur atau dapat dikatakan sebagai otak dalam sistem komputer atau suatu sistem otomatis.

Penggunaan *microprocessor* terdapat pada alat-alat elektronik dimana *microprocessors* ini digunakan sebagai media penyimpan perintah untuk melakukan fungsi dari alat elektronik tersebut. Pada penggunaan yang lebih tinggi, *microprocessors* digunakan pada komputer, dimana *microprocessors* ini lebih dikenal dengan *processors*. Dalam penggunaannya, *microprocessor* maupun *processors* menghasilkan panas yang harus dilepaskan pada lingkungan. Hal ini memerlukan *thermal management* yang baik pada alat elektronik dan komputer. Pada alat elektronik panas yang dihasilkan tidak terlalu besar sehingga tidak diperlukan alat lain sebagai bagian dari *thermal management*, sedangkan pada komputer panas yang dapat dihasilkan bisa mencapai 80°C sehingga memerlukan alat bantu lain untuk menjaga temperatur *processors* tetap pada suhu 35-40°C. Hal ini dikarenakan kinerja *processors* akan optimal pada temperatur 35-40°C.

Alat yang banyak digunakan saat ini berupa *heat sink* dimana menggunakan pendingin udara. *Heat sink* bekerja dengan menggunakan prinsip aliran udara, dimana udara dilewatkan pada *processors* untuk menangkap panas yang dihasilkan dan kemudian membuangnya ke lingkungan. Namun penggunaan udara sebagai pendingin masih menimbulkan berbagai kendala sehingga temperatur yang diinginkan tidak tercapai. Kendala tersebut seperti koefisien perpindahan panas udara kecil, sehingga tidak dapat menangkap panas dengan

baik, *heat sink* yang digunakan sering kali kotor karena udara yang ditiupkan kotor sehingga banyak *fouling* terjadi dan berakibat pada tertahannya perpindahan panas.

Thermal management yang baik dirasakan sangat penting pada penggunaan komputer tingkat tinggi seperti superkomputer yang banyak digunakan pada suatu *main server* suatu internet atau komputer yang harus menyala 24 jam pada suatu perusahaan. *Thermal management* yang dilakukan bukan hanya untuk membuang panas yang tidak diperlukan namun juga menjaga temperatur *processor* agar tetap stabil beserta beberapa komponen lainnya. Oleh karena itu diperlukan alat penukar kalor yang lebih efektif dan lebih efisien.

Penemuan nanomaterial sebagai media pembawa kalor yang baik memberikan solusi yang cukup baik. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan nanomaterial yang disuspensikan pada fluida cair, dimana *nanomaterial* ini dimasukkan kedalam air atau sejenisnya untuk meningkatkan termal konduktivitas dari cairan tersebut. Pengembangan lebih lanjut telah dilakukan oleh berbagai ilmuwan didunia dimana nanofluida ini digunakan untuk mendinginkan *processors* pada koputer.

Pada penelitian yang akan dilakukan, penulis menggunakan *nanomaterial* berupa Al_2O_3 dan menggunakan air sebagai fluida cair. Percobaan akan melakukan modifikasi pada kadar Al_2O_3 yang disuspensikan kedalam air, agar mendapatkan sifat-sifat *thermal*-nya. Alat ini akan menggunakan pompa kecil untuk memompakan air dan mengalirkannya melalui *processor* untuk menangkap panas yang dihasilkan *processors* tersebut. Untuk mendinginkan air, alat ini menggunakan pendingin udara dengan menggunakan *fan* untuk meniupkan udara dari lingkungan. Hasil dari alat ini diharapkan dapat diaplikasikan pada komputer yang sesungguhnya bukan hanya pada penggunaan komputer tingkat tinggi seperti super komputer, namun juga pada komputer *dekstop* yang biasa digunakan pada rumah tangga. Oleh karena latar belakang diatas maka penulis melakukan penelitian dengan judul **“Pengujian Kemampuan Perpindahan Kalor Nanofluida Al_2O_3 – Air Pada Sistem Pendingin Alat Elektronik”**

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Pada alat pendingin komputer yang sudah ada ternyata hasil pendinginan belumlah maksimal. Alat yang akan diteliti menggunakan nanofluida sebagai media pembawa panas. Nanofluida yang digunakan diatur kadarnya dan akan dilihat sifat termal seperti koefisien perpindahan panasnya, temperatur pada *processors*. Untuk mensirkulasikan nanofluida tersebut menggunakan pompa kecil, sedangkan *processor* digantikan dengan plat yang dipanaskan dan diatur temperaturnya sehingga sama dengan temperatur yang dihasilkan *processors* yang sesungguhnya. Sistem sirkulasi yang digunakan yaitu sistem sirkulasi tertutup yang menggunakan pipa-pipa untuk mengalirkan *nanofluid* dan untuk mendinginkan *nanofluid* yang telah mengalir melalui *processor* digunakan *air cooler radiator* untuk mendinginkannya.

1.3. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini yaitu melakukan karakterisasi sifat-sifat penggunaan *nanofluida* sebagai pendingin komponen elektronik dan komputer dengan kadar nanopartikel yang berbeda disuspensikan kedalam air.

1.4. PEMBATAAN MASALAH

1. Pengambilan data dilakukan pada dua macam variasi kadar *nanopartikel* dalam air, yaitu; 1%, 4% .
2. Pengujian dilakukan menggunakan Al_2O_3 sebagai nanopartikel dan menggunakan air sebagai *base fluid* (fluida cair)
3. Pengujian dilakukan pada variasi daya pada plat pemanas, yaitu; 78,12 watt, 132,03 watt, 200 watt dan 282,031 watt
4. Pengujian ini dilakukan dengan variasi laju aliran berkisar 0.004-0.012 kg/s.
5. Analisa aliran fluida pada bagian dalam ruang pendinginan tidak dibahas secara mendetail.

1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan studi literatur sesuai dengan pokok bahasan yang berhubungan dengan penelitian seperti : membaca teori konduksi dan konveksi, jurnal – jurnal tentang penelitian nanofluida.
2. Memodifikasi alat yang sudah ada.
3. Melakukan Kalibrasi alat ukur yaitu termokopel. Dengan thermometer air raksa sebagai pembanding
4. Menguji alat percobaan dengan cara menjalankan sirkulasi air siklus tertutup yaitu dari bak penampungan *nanofluid* dialirkan oleh pompa ke *flowmeter* kemudian ke alat uji melalui *air cooler radiator* dan kembali ke bak penampungan,
5. Melakukan pengujian dengan variasi kadar *nanomaterial*, kecepatan aliran dan temperatur *processors*.
6. Melakukan pengambilan data, pengolahan data dan analisa data dari pengujian – pengujian yang dilakukan dan membuat kesimpulan akhir dari keseluruhan kegiatan penelitian.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan skripsi ini dilakukan menurut urutan bab - bab sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bagian ini berisi latar belakang yang melandasi penulisan skripsi (tugas akhir); perumusan masalah; tujuan penelitian; pembatasan masalah; metodologi penelitian; dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan teori – teori yang mendasari penelitian ini. Dasar teori yang menyangkut: teori perpindahan panas, teori dasar Nanofluida terapan. Dasar teori ini di kutip dari beberapa buku, *paper* dan *website* internet tentang termoelektrik

BAB III PROSEDUR PENGUJIAN AIR DAN NANOFUIDA DALAM PENDINGINAN ELEKTRONIK

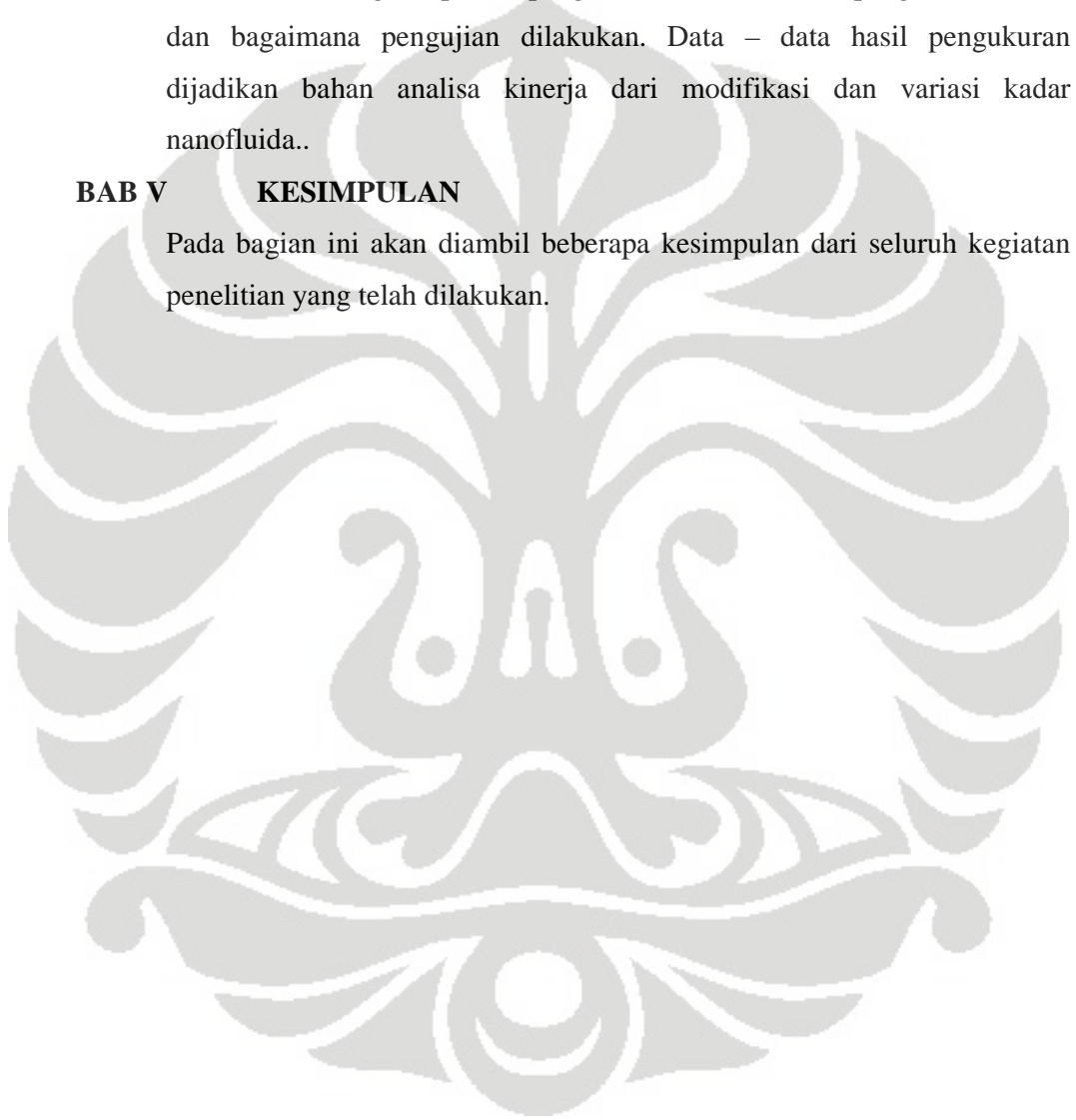
Bab ini berisi penjelasan secara lengkap tentang modifikasi alat, variasi nenofluida dan kalibrasi termokopel.

BAB IV ANALISA DATA PENGUJIAN

Bab ini menerangkan proses pengambilan data, variasi pengambilan data dan bagaimana pengujian dilakukan. Data – data hasil pengukuran dijadikan bahan analisa kinerja dari modifikasi dan variasi kadar nanofluida..

BAB V KESIMPULAN

Pada bagian ini akan diambil beberapa kesimpulan dari seluruh kegiatan penelitian yang telah dilakukan.



BAB II

TINJUAN PUSTAKA

2.1 KONSEP NANOFLUIDA

Perpindahan kalor adalah proses yang sangat penting di berbagai industri. Sudah menjadi sifatnya bahwa fluida konvensional yang digunakan untuk memindahkan kalor buang memiliki konduktivitas termal yang rendah. Hal ini menjadi keterbatasan industri untuk meningkatkan efisiensi.

Sudah lebih dari seabad lebih sejak *Maxwell* (1881) [1], para peneliti dan insinyur terus berusaha mengatasi keterbatasan ini dengan mendispersikan partikel berukuran mili ataupun mikro ke dalam fluida. Tetapi, tetap saja partikel tersebut masih terlalu besar untuk dapat berkombinasi dengan fluida dalam meningkatkan konduktivitas termal secara signifikan. Lagipula, bila dialirkan ke dalam pipa kecil, fluida tersebut akan menyumbat alirannya.

Konsep dan kemunculan dari nanofluida sangat berkaitan erat dengan *trend* miniaturasi dan teknologi nano itu sendiri. Sebagai akibat dari meningkatnya persaingan global, maka banyak industri mengembangkan fluida baru untuk menghantar kalor dimana konduktivitas termalnya lebih baik dibanding fluida biasa yang ada sekarang ini.

Seperti kita ketahui, pada temperatur ruang, logam dalam bentuk solid memiliki nilai konduktivitas termal yang lebih tinggi dibandingkan fluida. Sebagai contoh, kita dapat melihat Tabel 2.1, konduktivitas termal dari tembaga pada temperatur ruang adalah sekitar 3000 kali lebih besar dari minyak mesin, dan 700 kali lebih tinggi dari air. Dan konduktivitas termal cairan metalik lebih tinggi dari cairan non-metalik. Dari hal tersebut, dapat ditarik kesimpulan bahwa konduktivitas termal fluida dimana telah didispersikan partikel padatan metalik di dalamnya tentunya akan lebih baik dibandingkan fluida konvensional.

Tabel 2.1 Konduktivitas termal dari beberapa material

Jenis Material	Contoh Material	Nilai k (W/m.K) ^a
Padatan Metalik	Perak	429
	Tembaga	401
	Aluminium	237
Padatan Non-Metalik	Intan	3300
	Carbon Nanotubes	3000
	Silikon	148
	Alumina (Al ₂ O ₃)	40
Cairan Metalik	Sodium pada 644K	72.3
Cairan Non-Metalik	Air	0.613
	Ethylene Glycol	0.253
	Minyak mesin	0.145

^aPada temperatur 300 K

Sumber: Halaman 9 dari buku *Nanofluids: Science and Technology* karangan Sarit K. Das, dkk terbitan Wiley 2007

2.2 PERKEMBANGAN NANOFLUIDA

Proses pemanasan atau pendinginan fluida sering digunakan dan merupakan kebutuhan utama dalam industri, energy, transportasi serta bidang elektronika. Sifat termal dari fluida kerja memegang peran penting dalam upaya efisiensi energi dalam upaya efisiensi energi pada peralatan perpindahan kalor. Fluida pemindah kalor konvensional seperti air, *ethylene glycol*, dan minyak pelumas mesin secara umum, memiliki sifat perpindahan kalor yang lebih rendah jika kita bandingkan dengan benda padat penghantar kalor. Walaupun perkembangan dan riset terdahulu telah dilakukan, kebanyakan dari penelitian berfokus pada persyaratan perpindahan kalor pada industri, sementara peningkatan utama dalam kemampuan perpindahan kalor dari fluida sangat kurang. Sebagai akibatnya, suatu usaha dibutuhkan untuk mengembangkan suatu

strategi baru untuk meningkatkan efisiensi perpindahan kalor dari fluida konvensional tersebut.

Perkembangan nano teknologi dewasa ini telah mengarah pada kelas fluida baru dan agak khusus, disebut nanofluida, yang memiliki potensi besar untuk aplikasi pada alat-alat perpindahan kalor. istilah nanofluida berarti dua campuran fase dimana fase kontinu biasanya cairan dan fase yang terdispersi terdiri dari nanopartikel padat yang sangat halus, berukuran umumnya lebih kecil dari 100nm. Nanopartikel yang didispersikan pada fluida dengan jumlah yang relatif sedikit dan terdispersi secara merata akan meningkatkan *thermal properties* dari fluida dasar yang digunakan.

Choi (1995)[2] merupakan orang yang pertama kali menggunakan istilah nanofluida dan menggunakan fluida cair dengan nanopartikel tersuspensi didalamnya. Setelah *Choi* [2] memperkenalkan nanofluida ini, banyak dari *scientist* dan *engineer* yang meneliti dan mengembangkan potensi yang dimiliki nanofluida ini. Perkembangan yang dilakukan bukan hanya dengan meneliti sifat-sifat nanofluida tetapi juga mengembangkan peratan yang dapat menggunakan naofluida sebagai fluida kerja atau dapat disebut sebagai *next generation coolant* seperti *smart coolant* untuk komputer dan *safe coolant* untuk reactor nuklir.

Dengan ukurannya yang begitu kecil, maka nanopartikel memiliki keistimewaan seperti:

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

Tabel 2.2 Perbandingan antara 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: Halaman 11 dari buku *Nanofluids: Science and Technology* karangan Sarit K. Das, dkk terbitan Wiley 2007

2.2.1 Konduktivitas Termal Nanofluida Sebagai Fungsi Ukuran Partikel

Pertikel CuO dan Al₂O₃ berukuran nanometer dicampur dengan fluida cair diantaranya air dan *ethyleneglycol*. Dari hasil penelitian diperoleh peningkatan termal konduktivitas sebesar 20%. Peningkatan konduktivitas termal sekitar 60% dapat dicapai untuk nanofluida terdiri dari air dan volume 5% nanopartikel CuO Eastman, et.al.[3] peningkatan termal konduktivitas sebesar 40% untuk penambahan 0.3% partikel Cu dalam *ethyleneglycil Eastman et.el* 1997[3]. Xuan dan Li (2000) [4], menjelaskan suatu prosedur untuk menyiapkan nanofluida dengan menggunakan peralatan *hot wire* untuk mengukur konduktivitas termal nanofluida dengan nanopartikel bubuk tembaga yang tersuspensi. Pertama mereka menemukan bahwa kenaikan termal konduktivitas adalah linier dan mereka menajadikan penelitian *Hamilton-Crosser* (1962)[5] sebagai perbandingannya. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa konduktivitas termal baik nanofluida air dan *ethyleneglycol* jauh lebih besar dari yang sudah diperkirakan oleh Hamilton-Crosser. Kesimpulan dari eksperimen mengejutkan karena sangat jauh berbeda untuk nanofluida Al₂O₃. Untuk diingat bahwa termal konduktivitas dari Al₂O₃ dan

CuO tidak jauh berbeda, dan rata-rata ukuran partikel Al₂O₃ sebesar 38nm dan CuO sebesar 24nm. Kesimpulan yang diambil mengarahkan pada perbedaan ukuran yang terdapat antara keduanya.

2.2.1.1 Persamaan Hamilton-Crosser

Teori klasik tentang konduktivitas termal fluida dengan partikel solid yang tersuspensi di dalamnya berasal dari *Maxwell* (1881)[1], yang mengasumsikan bentuk partikel homogen berbentuk bulat. Teori ini kemudian dimodifikasi untuk partikel tidak bulat oleh *R.L.Hamilton dan O.K Crosser* (1961)[5] untuk rasio konduktivitas termal material padat terhadap air lebih dari 100. Persamaan tersebut dinyatakan dalam bentuk :

$$k_{eff} = k_o \frac{k_p + (n-1)k_o - (n-1)\varepsilon(k_o - k_p)}{k_p + (n-1)k_o + \varepsilon(k_o + k_p)} \quad (2.1)$$

Dimana k_{eff} konduktivitas efektif dari nanofluida, k_p konduktivitas partikel, k_o konduktivitas fluida dasar, ε merupakan fraksi volume dari partikel dan n factor bentuk dari partikel:

$$n = \frac{3}{\psi} \quad (2.2)$$

Dimana ψ kebulatan dari partikel. Berdasarkan model ini, mereka membandingkan eksperimen mereka, dimana menunjukkan kesesuaian dengan model untuk nanofluida Al₂O₃ pada air dan *ethyleneglycol*.

Hasil yang didapat menunjukkan bahwa konduktivitas termal baik nanofluida air dan *ethyleneglycol* jauh lebih besar dari yang sudah diperkirakan oleh Hamilton-Crosser.

Kemudian dikonfirmasi kembali oleh *Wasp* (1977)[6] sebagai ekspresi alternative untuk menghitung konduktivitas termal efektif campuran padat-cair. Persamaan tersebut ditulis sebagai berikut :

$$\frac{k_{eff}}{k_f} = \frac{k_p + 2k_f - 2\phi(k_f - k_p)}{k_p + 2k_f + \phi(k_f - k_p)} \quad (2.3)$$

Dengan ϕ fraksi volum didefinisikan sebagai :

$$\phi = \frac{V_p}{V_f + V_p} = m \frac{\pi}{6} d^3 \quad (2.4)$$

Dengan m adalah jumlah partikel per unit volum dan d merupakan diameter rata-rata partikel.

Saat ini rumus yang ada untuk menentukan konduktivitas termal suatu fluida yang partikel terdispersinya berukuran sangat kecil adalah persamaan *Hamilton-Crosser* dinyatakan dalam bentuk sebagai berikut :

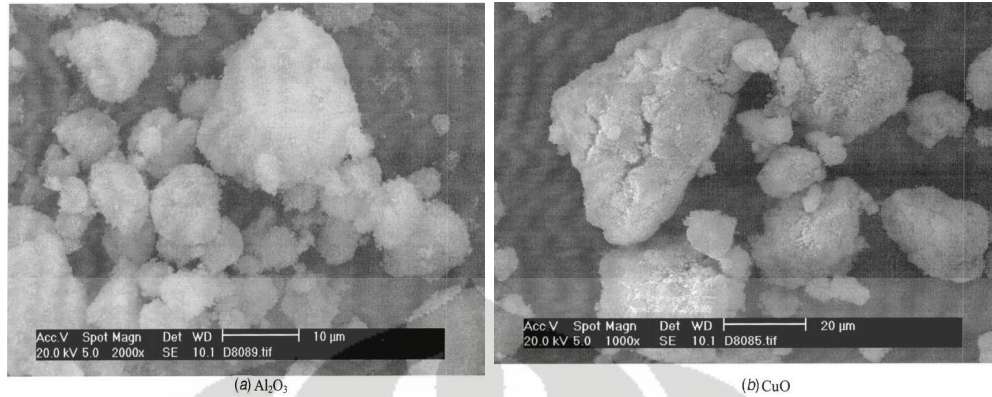
$$\frac{k_{eff}}{k_f} = \frac{k + 2 - 2\phi(1 - k)}{k + 2 + \phi(1 - k)} \quad (2.5)$$

Dengan k adalah rasio perbandingan antara konduktivitas kalor partikel solid terhadap konduktivitas kalor fluida dasarnya $k = k_p/k_f$.

2.2.2 Konduktivitas Termal Nanofluida Sebagai Fungsi Temperatur

Lebih lanjut *Das, et.al*(2003)[7], melakukan pengukuran diffusifitas termal dan konduktivitas termal pada nanofluida dengan nanopartikel CuO dan Al₂O₃ sebagai bahan suspensinya sebagai fungsi temperatur. Pernyataan ini menjadi titik awal pekerjaan yang menunjukkan dengan jelas tentang pernyataan *Lee, et.al*(1999)[8], mereka menemukan kesamaan karakteristik Al₂O₃ yang dijelaskan oleh *Hamilton-Crosser* (1962)[5], karena perbedaan besar partikel antara Al₂O₃ dan CuO memberikan dorongan kepada *Das et.al* (2003)[7] untuk berfikir bahwa ada hubungan temperatur dengan ukuran partikel yang menyebabkan pergerakan partikel yang menunjukkan *nanobehavior*. Cara satu-satunya untuk menegaskan hipotesis ini yaitu dengan mengadakan perhitungan dengan menggunakan temperatur yang berbeda.

Mereka menggunakan teknik *transient temperature oscillation* untuk menunjukkan bahwa eksperimen dilakukan dengan menggunakan partikel yang sama dengan *Lee et.al* (1999)[8]. Partikel yang didispersikan dengan *ultrasonic vibration* ditunjukkan pada gambar 3. Mereka menghitung konduktivitas termal pada temperature antara 21 dan 55 °C.



Gambar 2.1 Foto TEM Dari pengumpulan bubuk nano partikel (Das et. Al [7])

2.3 MENGUKUR KONDUKTIVITAS TERMAL PADA CAIRAN

Konduktivitas termal merupakan salah satu faktor terpenting dalam perpindahan panas, dan nanofluid menjadi unggul dalam perpindahan panas karena memiliki konduktivitas termal lebih besar dari fluida biasa. Hal ini dapat diketahui setelah dilakukan percobaan terhadap berbagai kombinasi dari fluida dan nano partikel. Berikut ini akan dijelaskan dua metode yang umum digunakan dalam pengukuran konduktivitas termal, yaitu *temperature oscillation methods* dan *transient methods*.

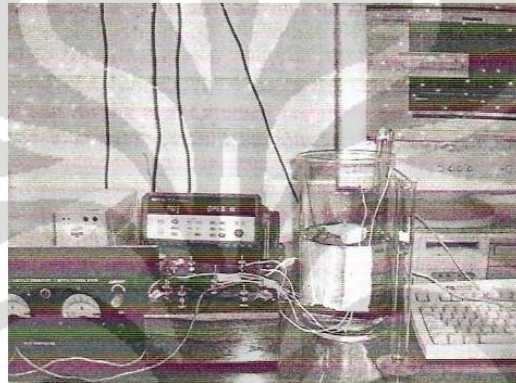
Sebenarnya terdapat satu metode lagi dalam pengukuran konduktivitas termal, yaitu *steady-state methods*, tetapi *steady-state methods* terdapat beberapa kelemahan seperti panas yang hilang tidak dapat diketahui, tingkat akurasi tidak menentu, dan adanya konveksi natural yang akan mempengaruhi nilai konduktivitas. Hal ini membuat *steady-state methods* tidak umum digunakan dalam pengukuran konduktivitas termal. Sehingga untuk lebih akurat dalam mengukur konduktivitas termal lebih baik menggunakan *transient methods* yang akan dijelaskan lebih lanjut lagi.

2.3.1 Transient Hot-Wire Method¹

Metode ini merupakan metode yang paling umum digunakan. Dalam metode ini kawat metal yang tipis digunakan sebagai sumber panas dan sensor

¹ Sarit K.das. Nanofluids – Science and Technology. 2008. John Wiley & Sons. Inc.

temperatur. Kawat tersebut kemudian ditaruh di dalam fluida yang akan diukur konduktivitas termalnya. Lalu arus listrik dialirkan ke kabel untuk memanaskan fluida. Lalu semakin tinggi konduktivitas termal dari fluida tersebut maka akan semakin rendah kenaikan suhu dari kawat metal tersebut. Percobaan ini dilakukan dalam jangka waktu antara 2 – 8 detik, karena waktu percobaan sangat cepat maka konveksi natural tidak sempat terjadi. Lalu dengan adanya alat elektronik yang lebih presisi untuk melakukan percobaan ini maka data yang didapatkan akan lebih akurat.



Gambar 2.2 Instalasi dari transient hot wire (*Petel et.al* [20])

Metode ini disebut transient karena kalor diberikan seketika pada saat kawat mendapatkan kalor. Persamaan dari metode ini menggunakan *specific solution* dari *Fourier's Law* untuk *radial transient heat conduction*.

Untuk persamaan konduksi kalor pada koordinat Cartesian adalah :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.6)$$

Lalu dengan mengintegrasikan persamaan di atas pada sisi z maka akan didapatkan persamaan distribusi temperatur seperti berikut :

$$T = \frac{q'}{4\pi k} \ln \frac{4kt}{r^2 \rho c_p} - \frac{\gamma q}{4\pi k} \quad (2.7)$$

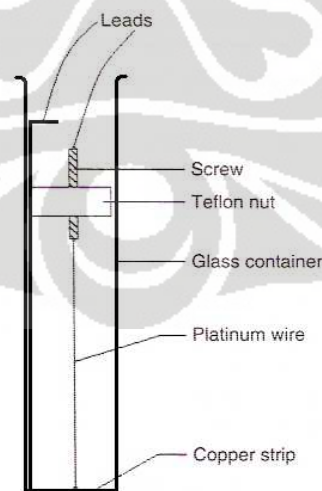
Dengan q adalah kalor yang diberikan per satuan waktu per satuan panjang dalam W/m dan k adalah nilai konduktivitas dari fluida dalam W/mK, dan jika

temperatur pada saat waktu t_1 dan t_2 bernilai T_1 dan T_2 , maka persamaannya menjadi :

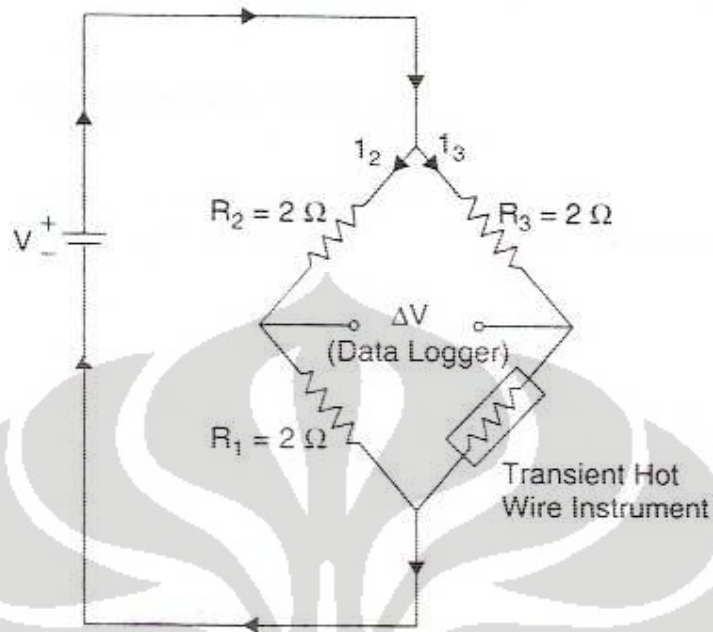
$$k = \frac{q}{4\pi(T_2 - T_1)} \ln \frac{t_2}{t_1} \quad (2.8)$$

Bentuk dari alat percobaan akan ditunjukkan pada gambar 2.3, kawat diletakkan sepanjang sumbu axis, yang nantinya akan dikelilingi oleh fluida yang akan diukur konduktivitas termalnya. Karena kawat tersebut akan digunakan sebagai pemanas dan sensor temperatur maka biasanya digunakan kawat berbahan platinum. Platinum memiliki *electrical resistivity* sebesar $1.06 \times 10^{-7} \Omega\text{m}$ (pada temperatur 20°C) yang lebih besar dari metal lainnya, dan mempunyai *temperature coefficient of resistance* sebesar $0.0003925 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (untuk platinum murni) yang juga lebih besar dari metal lainnya. Lalu karena kawat tersebut akan digunakan sebagai sumber panas, maka diameter yang digunakan sekitar $100 \mu\text{m}$.

Karena Percobaan ini hanya berlangsung sekitar 2 – 8 detik maka jumlah kalor yang mengalir ke fluida sangat kecil (maksimum 0.75 J), maka besar diameter dari wadah tidak boleh terlalu besar, sehingga data yang diambil menjadi akurat. Kawat tersebut kemudian disambungkan ke *cooper screw* menjadi satu dan *cooper string* pada ujung yang satunya. Baik *screw* maupun *string* yang disambungkan harus cukup tebal sehingga *electrical resistance* menjadi kecil.

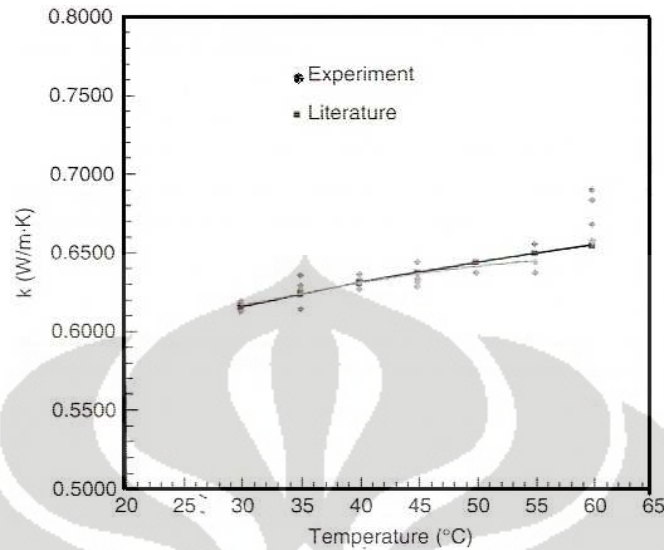


Gambar 2.3 Alat transient hot wire (Petel et.al [20])



Gambar 2.4 Sirkuit Elektrik Dari Alat *Transient Hot Wire* (Petel et.al [20])

Sirkuit elektrik dari alat percobaan ini dibuat menjadi jembatan *wheatstone* (Gambar 2.4) karena kawat akan digunakan sebagai sumber panas dan sensor temperatur. Variable *voltage source* digunakan sebagai sumber listrik. Lalu sirkuit elektrik tersebut dihubungkan ke *data acquisition system* yang dihubungkan ke komputer, yang akan menampilkan data-data yang didapatkan dari percobaan seperti besar resistor, tegangan yang diberikan, beda tegangan di sepanjang jembatan, waktu, dan temperatur. Data-data tersebut kemudian diolah menggunakan persamaan yang telah disebutkan sebelumnya untuk mendapatkan nilai konduktivitas termal dari fluida tersebut.



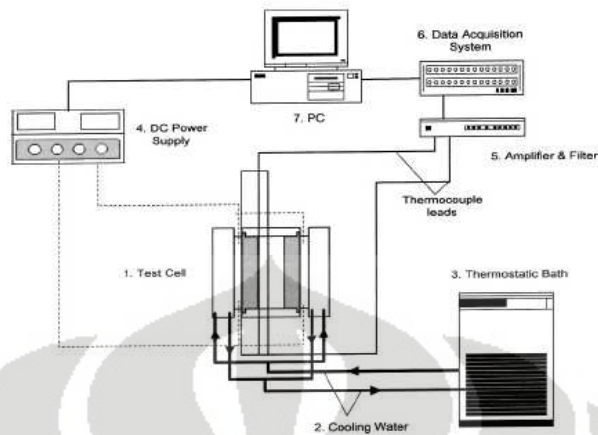
Gambar 2.5 Akurasi Pengukuran Dari *Transient Hot Wire* (Petel et.al [20])

2.3.2 Temperature Oscillation Method²

Prinsip dasar dari percobaan ini adalah menunjukkan osilasi temperatur di dalam *cylindrical liquid volume*. Pengukuran dari konduktivitas termal didasarkan pada persamaan energi untuk konduksi. Persamaan tersebut diterapkan dengan asumsi fluida yang diuji isotropic dan *thermophysical properties* seragam dan konstan terhadap waktu di seluruh bagian specimen. Dan pada saat pengujian fluida yang akan diuji diapit oleh dua *reference layer*, yang nantinya akan dihitung osilasi temperaturnya untuk menghitung konduktivitas termal dari fluida uji.

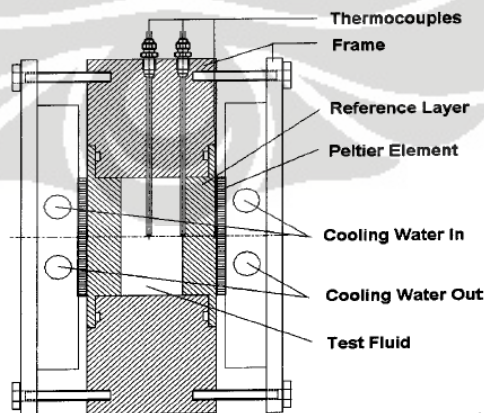
Susunan dari perangkat untuk melakukan uji ini antara lain *fabricated test cell* (1), yang akan didinginkan oleh *cooling water* (2) kedua ujungnya dihubungkan ke *thermostatic bath*. Untuk sumber listriknya diperlukan *DC power supply* (4) yang akan dihubungkan ke *elemen peltier* yang ada pada *test cell*. Temperatur dari fluida uji akan diterima oleh *thermocouples* di *test cell*, yang hasilnya akan diterima dan diteruskan oleh *amplifier* dan *filter* (5). Hasil dari *amplifier* dan *filter* diterima oleh *data acquisition system* (6) yang akan mengolah data lebih lanjut lagi dan ditampilkan ke komputer (7). Hasil dari temperatur fluida uji dipengaruhi oleh kontrol *cooling water* dari *thermostatic bath*.

² Sarit K.das. Nanofluids – Science and Technology. 2008. John Wiley & Sons. Inc.



Gambar 2.6. Alat pengujian (*Das et. Al [7]*)

Bentuk dari *test cell* adalah *flat cylindrical cell*, yang axisnya ditempatkan secara horisontal. Frame dari *cell* ini dibuat dari bahan poly (*oxymethylene*) yang akan berfungsi sebagai *layer* isolasi pertama. Bagian utama dari *test cell* terdiri dari lubang berukuran 40 mm yang akan diisi oleh fluida uji, dua plat diujungnya yang diapit oleh elemen peltier dan *water cooler*. Lubang pada bagian utama ini ditutup oleh *disk type reference material* berukuran diameter 40 mm dan tebal 15 mm di kedua sisinya. Ukuran dari tempat fluida uji berdiameter 40 mm dengan tebal 8 mm. Temperatur akan diukur di tiga tempat, yaitu di persinggungan antara elemen peltier dan *reference layer*, persinggungan antara *reference layer* dan fluida uji, dan di tengah bidang axis dari fluida uji. Untuk itu digunakan Ni-CrNi *thermocouples* berdiameter 0.1 mm yang digunakan di tempat persinggungan dan yang berdiameter 0.5 mm yang digunakan di tengah bidang axis fluida uji.

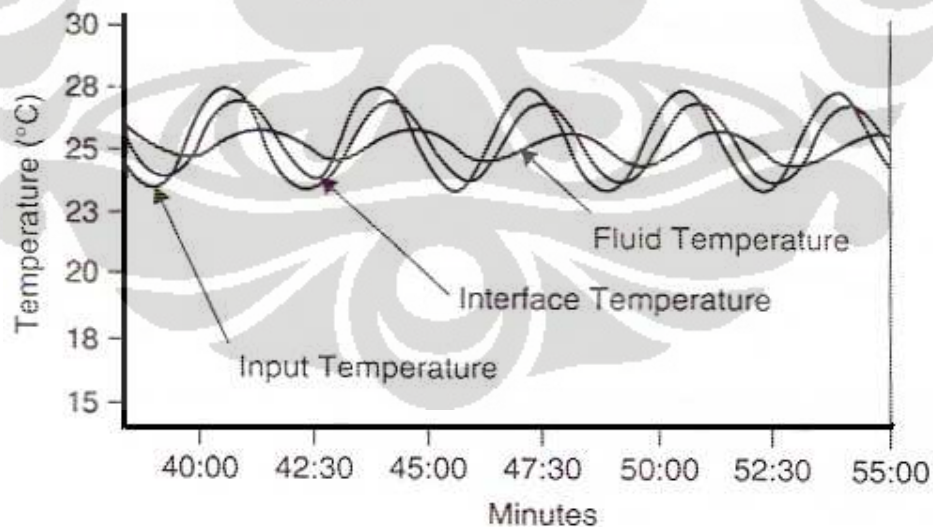


Gambar 2.7 Konstruksi dari test cell (*Das et. Al [7]*)

Temperatur dari reference material diosilasi suhunya oleh *eleven* peltier berukuran 40 mm x 40 mm. Tujuan dari osilasi temperatur ini adalah :

- Amplitudo dari osilasi dijaga agar tetap kecil (± 1.5 K) sehingga properties dari fluida uji tidak berubah dan tidak terjadi *natural convection*. Amplitudo juga dijaga agar tidak turun terlalu jauh agar tingkat akurasi dari pengukuran tidak berubah. Nilai dari Grashof number adalah 850, yang nilainya di bawah batas *natural convection*.
- Amplitudo yang kecil dan pengaturan yang akurat dari rata-rata osilasi temperatur, menjamin test pada *conducting fluid* dilakukan pada temperatur yang diinginkan.

Sebagai contoh, sebuah osilasi temperatur direkam setelah *steady oscillation* tercapai. Pada contoh grafik ini terlihat bahwa osilasi temperatur yang dihasilkan oleh elemen peltier bentuknya berubah saat melewati reference material, dan menjadi berubah lebih banyak lagi ketika mencapai titik tengah dari fluida uji. Berdasarkan prinsip yang telah dijelaskan sebelumnya, hasil ini memungkinkan untuk menghitung *thermal diffusivity* yang akurat dengan mengetahui amplitudo dari osilasi termal pada selubung (persinggungan fluida uji dengan reference material) sampai titik tengah fluida uji.



Gambar 2.8. Osilasi temperatur yang dicatat oleh Das, dkk (2003)[7]

Dengan cara ini juga densitas dari fluida uji dapat diukur dan specific heat dari fluida uji dapat dihitung dengan :

$$C_{p,nf} = \frac{m_s C_{p,s} + m_w C_{p,w}}{m_s + m_w} \quad (2.9)$$

Dan thermal conductivity dari fluida uji dapat dihitung dengan :

$$k_{nf} = \alpha_{nf} \rho_{nf} C_{p,nf} \quad (2.10)$$

2.4 PERPINDAHAN KALOR KONVEKSI PADA NANOFLUIDA

Banyak penelitian yang telah membahas tentang termal konduktivitas pada nanofluida. Sedangkan untuk penelitian tentang perpindahan kalor konveksi ternyata masih sedikit dan sampai sekarangpun masih berlanjut. *Nandy et. al.*(2003)[9] membahas tentang konveksi bebas pada nanofluida didalam silinder horizontal yang dipanaskan pada satu ujung dan ujung lainnya didinginkan. Hasil yang didapat menunjukkan fluida ini berbeda karakter dari *slurry* pada umumnya. Dalam proses perpindahan kalor pendidihan, nanofluida juga diteliti, seperti yang dilakukan oleh *Das, et.al.* (2003)[7] yaitu proses *pool boiling* dalam nanofluida air- Al_2O_3 dan mengindikasikan bahwa nanopartikel mempengaruhi karakteristik proses pendidihan fluida. sementara *Xuan dan Quang Li* (2003)[11] juga melakukan percobaan untuk menyelidiki perpindahan kalor konveksi dan karakteristik aliran dari nanofluida didalam tabung. Peningkatan koefisien perpindahan kalor konveksi nanofluida seiring dengan laju aliran dan juga fraksi volume nanopartikel sementara koefisien perpindahan kalornya lebih besar dari fluida dasarnya (air) pada laju aliran yang sama.

Kemudian *Louis Gosselin et.al*(2004)[12], mengkombinasikan disipasi energy dan perpindahan kalor untuk mengoptimalkan aliran pada nanofluida. Penelitian dilakukan pada lapisan aliran turbulen dan laminar, dan sasarannya adalah untuk memaksimalkan perpindahan kalor yang lepas dari sebuah plat panas dengan nanofluida. *Nandy et.al* (2004)[10] melakukan eksperimen perpindahan kalor konveksi paksa pada nanofluida dengan nanopartikel Al_2O_3 , pengukuran koefisien perpindahan kalor ini dengan menggunakan alat perpindahan kalor pipa

ganda dalam susunan tipe aliran berlawanan. Hasil pengukuran menunjukkan peningkatan nilai koefisien konveksi untuk nenofluida konsentrasi 1% sebesar 6-10% dan konsentrasi 4% sebesar 7-17%. Hal ini juga pernah diprediksi oleh *Nandy*,[10] dan diperkuat dengan penelitian lanjutannya yang menunjukkan peningkatan koefisien perpindahan kalor sebesar 6%-8% pada konsentrasi 1-4% dalam jangkauan temperature 40°C-60°C.

Aliran suatu partikel padat dengan fluida biasa disebut dengan aliran partikulat (*particulate flow*). Nanopartikel sebagai partikel padat dalam nanofluida merupakan aliran partikulat sehingga akan terpengaruhi karakteristik-karakteristik aliran partikulat seperti.

- *Thermoporesis*, suatu partikel padat yang tersuspensikan dalam fluida akan mengalami gaya yang arahnya berlawanan dengan gradien kenaikan temperatur. Beberapa studi penelitiannya dilakukan oleh *Talbot*, *dkk* (1980)[13], *Yamamoto* dan *Ishihara* (1988)[14]. Berikut adalah rumus gaya thermoporesis pada suatu partikel.

$$F_T = -D_T \frac{1}{m_p T} \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.11)$$

Dimana

$$D_T = \frac{6\pi\mu^2 C_s (K_r + 2.18K_r)}{\rho(1+3 \times 1.14K_r)(1+2K_r+4.36K_r)} \quad (2.12)$$

D_T = koefisien difusi termoforik

K_r = rasio antara konduktivitas termal fluida dengan partikel

m_p = massa partikel

C_s = 1.17

μ = viskositas fluida

Tetapi rumus di atas dibangun berdasarkan suspensi partikel padat dalam gas ideal, tentunya perlu modifikasi bila digunakan dalam suspensi partikel padat dalam liquid seperti nanofluida.

- *Shear Lift Force*, gaya angkat partikel yang diakibatkan adanya gaya gesar pada suspensinya.

$$\vec{F} = \frac{2Kv^{1/2}\rho d_{ij}}{\rho_p d_p (d_{kl} d_{kl})^{1/4}} (\vec{v} - \vec{v}_p) \quad (2.13)$$

Dimana $K = 2.594$ dan d_{ij} adalah *deformation tensor*. Disebut juga *Saffman's Lift Force*

- Gerak Brownian, sangat terkait erat dengan efek temperatur pada konduktivitas, dan diyakini bahwa konveksi yang terjadi akibat gerak Brownian yang dialami nanopartikel adalah alasan utama mengapa konduktivitas termal nanofluida begitu meningkatnya.
- Efek Soret dan Dufour, efek ini menjelaskan bahwa bila suatu campuran (mixture) diberikan suatu gradien temperatur, maka komponen-komponen dari mixture tersebut akan terpisah, menghasilkan gradien konsentrasi yang lajunya sebanding dengan gradien temperatur.

2.4.1 Konveksi Paksa

Perpindahan kalor secara konveksi sangat terkait erat dengan viskositas dari fluida suspensinya. Berbicara mengenai viskositas nanofluida maka akan timbul pertanyaan. Apakah nanofluida merupakan fluida Newtonian atau yang terjadi hanyalah proses *shear thinning* tipis pada suspensinya.

Penelitian mengenai konveksi nanofluida pertama kali dilakukan oleh Pak dan Cho (1998)[15], dengan objek nanopartikelnya adalah $\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ (13 nm) dan TiO_2 (27 nm) Hasil dari penelitian itu antara lain:

- Suspensi tersebut bersifat fluida Newtonian pada fraksi volum partikel yang sangat kecil, dan akan menunjukkan perilaku *shear*

thinning (yaitu turunnya viskositas dengan laju gesernya) ketika fraksi volum partikelnya dinaikkan.

- Nanofluida $\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ basis air menunjukkan perilaku shear thinning pada volum partikel 3 %, sedangkan nanofluida TiO_2 menunjukkan shear thinning pada volum partikel 10 %.
- Kenaikan temperatur menyebabkan viskositas nanofluida akan menurun.
- Meningkatnya viskositas, tentunya akan menaikkan *pressure drop* akibat friksi. Dengan kata lain, kenaikan koefisien perpindahan kalor nanofluida akan disertai naiknya *pressure drop* friksi. Sehingga perlu penambahan *pumping power* agar dapat mengatasi *pressure drop* yang terjadi.
- *Pumping power* dengan kecepatan aliran yang konstan menyebabkan penurunan koefisien perpindahan kalor sebanyak 12 %.

Namun, Xuan dan Li (2003)[11] mengemukakan hal yang berbeda, mereka menemukan bahwa dengan kecepatan yang sama yang dilakukan pada penelitian Pak dan Cho[15], *pumping power* dengan kecepatan aliran konstan sebenarnya menyebabkan kenaikan koefisien perpindahan kalor sebanyak 40 %. Mereka melihat bahwa bila fluida basisnya didesain dengan baik, maka sebenarnya kenaikan koefisien perpindahan kalor akan tercapai sesuai yang diinginkan. Pada penelitian Pak dan Cho[15], kenaikan viskositas yang besar menyebabkan turbulensi berkurang, dan pada akhirnya mengurangi *heat transfer*-nya. Xuan dan Li[11] juga menyimpulkan bahwa penggunaan persamaan Dittus Boelter dengan modifikasi sesuai dengan nanofluidanya adalah tidak cukup tepat untuk menjelaskan konveksi pada nanofluida. Karena nanofluida tidak dapat dianggap sebagai fluida single, dan dalam nanofluida banyak efek-efek spesial yang terjadi seperti gravitasi, gerak Brownian, gaya *drag* pada partikel, dan difusi. Akhirnya, mereka mencoba membuat persamaan yang mengkorelasikan perpindahan kalor nanofluida dalam pipa seperti di bawah ini.

Untuk aliran laminar:

$$Nu = 0.4328(1 + 11.285 \varepsilon_p^{0.754} Pe_d^{0.218}) Re^{0.333} Pr^{0.4} \quad (2.14)$$

Untuk aliran turbulen:

$$Nu = 0.0059(1 + 7.6286 \varepsilon_p^{0.6886} Pe_d^{0.001}) Re^{0.9238} Pr^{0.4} \quad (2.15)$$

Dimana, $Pe_d = \frac{u_p d_p}{\alpha_p}$, merupakan bilangan Peclet dari partikel. α_p adalah difusivitas termal dan ε_p adalah fraksi volum partikel.

Percobaan lainnya yaitu penelitian oleh Das, et.al (2003)[7] yang mengukur viskositas NP-Al₂O₃ dengan basis air. Hasilnya menunjukkan viskositas adalah besaran yang independen terhadap laju geser (*shear rate*).

Percobaan-percobaan yang telah disebutkan di atas menunjukkan bahwa banyak variasi viskositas yang terjadi dalam nanofluida.

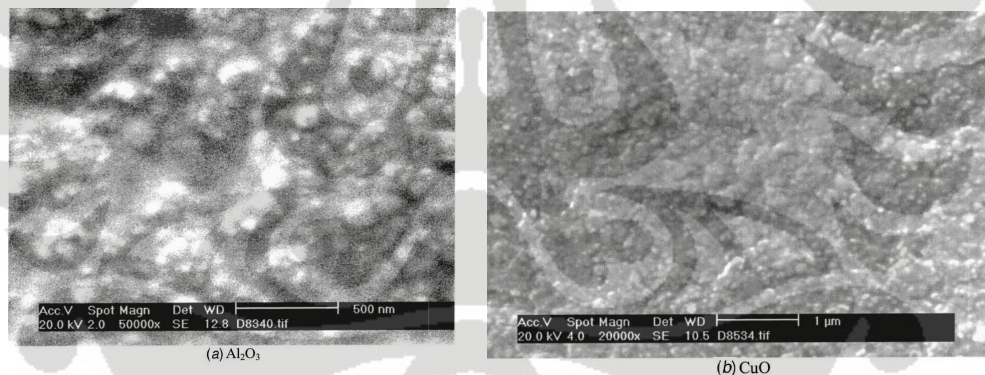
2.5 PEMBUATAN NANOFLUIDA

Partikel-partikel dalam ukuran nanometer pada fluida menyebabkan meningkatnya interaksi dan tumbukkan antara partikel, fluida dan permukaan yang dilaluinya, adanya fluktuasi pencampuran dan turbulensi dari fluida yang meningkat serta gradient temperature dari fluida yang mengecil. Partikel nano ini mengalami gerak Brownian sehingga ketika fluida dalam keadaan diam, partikel ini terdistribusi merata dengan gaya apung (*buoyancy*) sehingga tidak terjadi sedimentasi.

Dalam pencampuran nanopartikel pada fluida dasar, sangat sedikit literature yang menjelaskannya. Penelitian-penelitian dari Leboratorium Nasional Argonne, menjelaskan ada dua teknik pencampuran nanofluida yaitu teknik pertama, nano partikel dibuat dan decampurkan ke dalam fluida dasar secara bersamaan dan teknik kedua, pembuatan nano partikel dan pencampuran partikel tersebut dilakukan terpisah. Akan tetapi kedua teknik tersebut memperoleh hasil yang baik hanya untuk partikel nano oksida dan tidak untuk partikel nano logam.

Untuk mencari hasil yang lebih baik Das,et.al[7], melakukan pencampuran menggunakan *ultrasonic vibration* yang menghasilkan campuran dimana partikel nano dapat terdispersi dengan baik pada campuran yang terlihat pada gambar 4. Dalam persiapannya nanofluida ini perlu diperhatikan densitas dari partikel nano untuk mendapatkan perbandingan campuran yang tepat. Putra et.al(2002)[16] melakukan pencampuran menggunakan *ultrasonic vibration* yang menghasilkan campuran yang partikel nanonya terdispersi dengan baik. Karakteristik yang terbentuk tergantung dengan fraksi volume dari partikel yang dicampurkan. Pada penelitian ini, digunakan konsentrasi volume sebesar 1% dan 4% nanopartikel Al_2O_3 berukuran kurang lebih 32 nm.

Pada penelitian-penelitian sebelumnya digunakan persentase volum untuk menentukan konsentrasi campuran. Volum partikel ditentukan dengan menggunakan densitas sebenarnya dari partikel nano dan massanya dengan mengabaikan massa udara yang tertangkap didalamnya. Pencampuran partikel nano kedalam fluida dasar mengakibatkan pembentukan karakteristik baru terhadap fluida yang dihasilkan, karakteristik yang terbentuk tergantung dengan fraksi volume partikel yang dicampurkan.



Gambar 2.9 Foto TEM dari nanopartikel yang terdispersi (Das et. al [7])

Secara garis besar, untuk menghasilkan nanofluida, setidaknya ada 2 metode dasar yang dikembangkan yakni:

1. Metode *single step*, dimana proses pembuatan nanopartikel dan pendispersiannya ke dalam fluida dilakukan secara sekaligus dalam satu tahapan di dalam *base fluid*-nya

2. Metode *two step*, dimana proses pembuatan nanopartikel dan pendispersiannya ke dalam fluida tidak dilakukan secara sekaligus dalam tempat yang sama (di *base fluid*-nya). Proses pembuatan nanopartikel dan proses pendispersiannya adalah proses yang terpisah.

Untuk nanopartikel, biasanya 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 untuk base fluid-nya, digunakan fluida-fluida seperti:

- Air
- *Ethylene glycol*
- Minyak dan pelumas
- *Bio-fluids*

2.5.1 Metode Satu Langkah

Metode satu langkah maksudnya adalah membuat partikel nano yang langsung kemudian langsung didispersikan ke fluida dasarnya.

Teknik reduksi kimia

Ada beberapa eksperimen yang dilakukan untuk membuat nanofluida metode satu langkah, antara lain dilakukan oleh *Liu et al*[16] untuk meningkatkan konduktivitas termal dari air 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 partikel nano tembaga.

Copper acetate ($\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$) digunakan sebagai bahan baku yang direndam air deionized. 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 dengan suhu 0°C dan dibiarkan mengendap, kemudian dicuci dengan air deionized untuk membersihkan kotoran. Fraksi volum partikel nano Cu dalam larutan dibawah 0,2 vol %

Eksperimen yang dilakukan oleh *Zhu et.al*[17], dengan mereduksi $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dengan $\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dalam ethylene glycole dengan iradiasi gelombang mikro. Nanofluida yang stabil dan tidak menggumpal dapat dihasilkan dengan metode ini. Hasilnya juga menunjukkan bahwa penambahan $\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dan adanya iradiasi gelombang mikro sangat mempengaruhi laju reaksi dan properties dari partikel nano Cu.

2.5.2 Metode Dua Langkah

Banyak dilakukan dalam sintesa nanofluida dengan menggunakan nano powder yang banyak diproduksi oleh industri secara komersil. Dengan metode ini, partikel nano dibuat dan dilarutkan dalam fluida dasar. Biasanya peralatan ultrasonik digunakan mendispersikan partikel dan mengurangi penggumpalan dari partikel.

Selain *Das et.al* [7] dan *Putra et.al*(2002)[16] yang telah diuraikan sebelumnya, beberapa peneliti lain juga menggunakan metode ini antara lain:

Murshed et.al[18]. menggunakan ultrasonic dismembrator yang digunakan selama 8-10 jam untuk membuat campuran yang bagus dengan fraksi volum yang berbeda dari nanopartikel TiO_2 kedalam fluida dasar (deionized water). Diperlukan surfactant untuk membuat partikel benar-benar terlarut. Surfactant Oleic acid dan centyltrimethylammoniumbromide (CTAB) digunakan untuk membuat larutan yang stabil dan terdispersi dengan baik tanpa mengganggu sifat termofisika dan sifat perpindahan panas karena surfactant yang dipakai sangat kecil (persentasi volumenya 0,01-0,02%).

Xuan et.al,[11] juga menggunakan teknik yang sama untuk menyiapkan nanofluida. Dengan metode ini nanofluida didapat dengan mencampur langsung bubuk partikel nano dengan fluida dasar yang cukup praktis prosesnya larutan yang mengandung 2 samapi 5% volum partikel nano dengan fluida dasar air dan minyak. Larutan dicampur dengan menggunakan *ultrasonic vibrator* selama 10 jam.

Hong et.al[19] menggunakan bubuk Fe nanocrystalline yang disintesa dengan proses kondensasi gas menggunakan besi carbonyl (FeCO_5) sebagai pelarut dalam aliran helium atmosfer. Nanofluida disiapkan dengan prosedur 2 langkah untuk mendispersikan nano pertikel dalam ethylene glycole. Untuk membuat cairan tersebut benar-benar larut digunakan alat *ultrasonic cell disrupter*. Memperoleh hasil yang paling bagus pada 0,55% volum. Dengan meletakkan dalam ultrasonic cell disrupter selama 50 menit sonfikasi.

Kondensasi gas memiliki kelebihan dibandingkan dengan teknik yang lain karena partikel dapat dibuat dengan keadaan yang lebih bersih dan permukaannya dapat dindari dari pelapisan yang tidak dikehendaki. Namum, partikel yang diproduksi dengan teknik ini sering terjadi penggumpalan, dimana penggumpalan ini dapat dipecahkan menjadi kelompok yang lebih kecil dengan memberikan energi dalam jumlah yang kecil.

BAB III

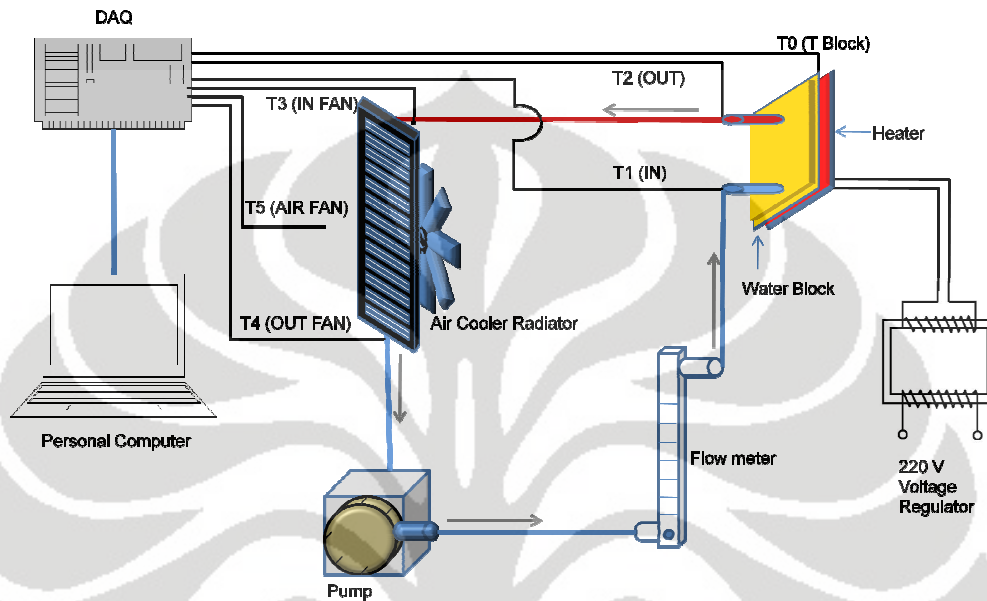
PROSEDUR PENGUJIAN AIR DAN NANOFLLUIDA PADA SISTEM PENDINGIN ALAT ELEKTRONIK

Perkembangan teknologi informatikan saat ini dirasakan sangat pesat khususnya dalam perkembangan dan peningkatan kinerja prosesor dalam komputer. Namun seiring dengan peningkatan kecepatan yang sangat *significant* ini, termal managemen dalam suatu sistem komputer juga harus ikut berkembang. Termal menegemen konvensional yang digunakan yaitu menggunakan *heat sinks* dan fluida pendingin berupa udara. Perkembangan yang dilakukan saat ini yaitu dengan penggantian media pendingin berupa udara menjadi air bahkan penambahan partikel nano yang merupakan aplikasi terbaru dalam bidang nanopartikel. Dengan adanya perkembangan dan masalah dalam termal management dalam pendinginan prosesor computer ini penulis mengangkat hal ini menjadi studi yang perlu diteliti dan dikembangkan. Dimana percobaan yang akan dilakukan dengan menggunakan nanofluida sebagai media pendingin.

Panas yang dihasilkan oleh prosesor dapat mencapai 78°C(intel.com [20]). Dimana panas yang dihasilkan ditransfer secara konduksi kekomponen dan bagian lain dan secara konveksi dan radiasi ke lingkungan sekitar prosesor. Dengan panas yang sangat tinggi ini, penggunaan air sebagai fluida pendingin dapat menjadi alternative yang cukup baik karena diketahui bahwa transfer panas dari air lebih efektif 100 kali lipat dari pada udara. Hal ini disebabkan koefisien dari transfer panas konveksi dari logam ke air sekitar 100 kali lebih tinggi dari udara.

Pendinginan pada komputer tidak dapat dilakukan seperti pendinginan pada benda yang tidak memiliki sumber panas, sehingga pendinginan menggunakan air tidak dapat mencapai temperatur terendah dari temperature air tersebut pada kondisi ruang karena pada komputer terdapat sumber panas yang terus menerus atau kita menghilangkan temperatur 100 kali lipat dari udara sehingga penggunaan air diharapkan temperatur prosesor mencapai temperature ideal untuk bekerja dengan optimal. Beberapa percobaan akan dilakukan dengan laju aliran dan kadar nano partikel yang berbeda. Kapasitas pendinginan nanofluida akan dibandingkan

dengan pendinginan menggunakan air, sehingga dapat diambil kesimpulan tentang hasil kerja dari nanofluida. Dibawah ini gambar skematik dari pengujian nanofluida sebagai sistem pendingin untuk computer;

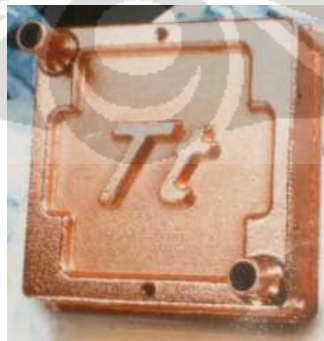


Gambar 3.1 Skema Percobaan

3.1 ALAT PENGUJI

a. *Water Block*

Block ini terbuat dari tembaga dengan ukuran panjang, lebar dan tinggi masing-masing 58mm x 58mm x 35mm dilengkapi dengan *connector* untuk selang berukuran 6,4 mm dan 9,5 mm. Didalam *block* terdapat rongga yang digunakan sebagai jalannya fluida untuk mengalir dan mengambil panas dari *Heater*.



Gambar 3.2 Water Block

b. Plat Pemanas (*Heater*)

Dalam pengujian ini menggunakan plat pemanas dengan ukuran 38 mm x 38 mm x 2 mm yang pemanasannya dapat diatur oleh voltage regulator. Plat pemanas ini ditempelkan langsung dengan *water block* dan diantara plat pemanas dan *water block* diberikan *heat sink compound* untuk mengisi celah antara lapisan. Kedua plat ini dijepit dan diisolasi menggunakan *polyurethane* sebagai isolasi sekelilingnya, sehingga diharapkan panas yang berasal dari plat pemanas akan memanaskan *water block* saja dan tidak terjadi perpindahan panas ke lingkungan sebagai *heat lost*.



Gambar 3.3 Water Block dan Plat Pemanas yang telah diisolasi dengan polyurethane

d. *Flow Meter*

Flow meter digunakan untuk mengatur aliran massa dari pompa yang digunakan menuju *water block*. *Flow meter* yang digunakan menggunakan satuan gram/second dengan referensi air (H_2O) dan dalam percobaan ini menggunakan variasi aliran 4 gr/s, 6 gr/s, 8 gr/s, 10 gr/s dan 12 gr/s.

e. Pompa Fluida

Pompa fluida ini menggunakan pompa buatan Thermaltake tipe P500 CL-W0103 yang memang dikhususkan untuk pompa pendingin komputer dilengkapi dengan *liquid tank* dan sensor ketinggian air didalamnya. Pompa yang digunakan mampu mengalirkan air dengan *flow rate* 500L/h.



Gambar 3.4 Pompa dan Water Tank

f. Radiator

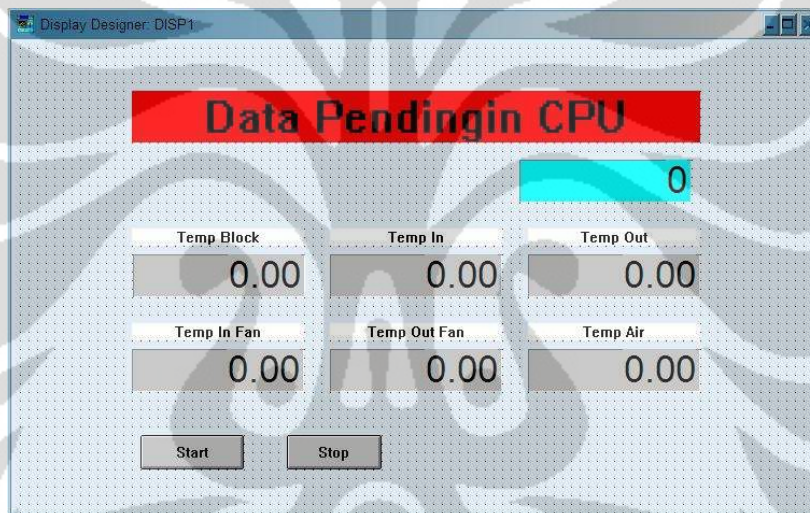
Pengujian ini menggunakan radiator khusus yang digunakan untuk system pendinginan menggunakan fluida air pada komputer yang sudah cukup banyak dipasaran. Dalam pengujian ini menggunakan radiator merek Aqua T.M.G.Series- TMG1 P/N :CL-W0071 buatan Thermaltake. Radiator ini berukuran 12 cm dengan dilengkapi *fan* 1300 – 2400 rpm. Pada pengujian menggunakan kecepatan *fan* 2400 rpm yaitu dengan mengatur *fan speed controller* dengan kecepatan penuh.



Gambar 3.5 Radiator

g. Data Aquisisi

Data akuisisi (DAQ) yang digunakan untuk pembacaan perbedaan tegangan pada termokopel adalah ADAM 4018+ 8 *channel* dan penguat tegangannya menggunakan ADAM 4520. Untuk menggunakan DAQ ini memerlukan kabel RS 232 untuk menghubungkan DAQ dengan komputer dan mengimput data yang diambil setiap detiknya. Penggunaan DAQ ini juga didukung dengan menggunakan software tambahan untuk memberikan tampilan dalam bentuk digital dikomputer. Software yang digunakan dapat berupa Visual Basic atau VisiDAQ. Dalam percobaan menggunakan VisiDAQ. Tampilan pada software ini sudah dalam temperature sehingga tidak lagi dilakukan konversi tegangan menjadi temperatur.



Gambar 3.6 Software VisiDAQ sebagai tampilan digital dikomputer

Kalibrasi dilakukan dengan tujuan mendapatkan temperatur yang terbaca oleh *thermocouple* dan menyamakan temperatur tersebut dengan thermometer air raksa sebagai referensi. Kalibrasi dilakukan dengan mengambil data temperatur yang dicatat oleh DAQ pada temperatur 50°C sampai 30°C. Data yang tercatat kemudian diolah menjadi sebuah grafik yang kemudian didapat persamaan matematis grafik yang menunjukkan penyimpangan yang terjadi pada *thermocouple*.



Gambar 3.7 Data Acquisition

h. *Thermocouple*

Thermocouple yang digunakan adalah *thermocouple* tipe K yang diletakkan diantara *heater* dan *water block*, sisi masuk dan keluar *water block* dan radiator dan pada sisi masuk dan keluar udara sebagai pendingin air.

i. Pengatur Tegangan

Untuk mengatur tegangan digunakan *voltage regulator* AC standar yang dapat memberikan tegangan 10 volt sampai 250 volt. Tegangan yang diberikan pada percobaan ini bervariasi antara 50, 65, 80 dan 95 Volt.



A

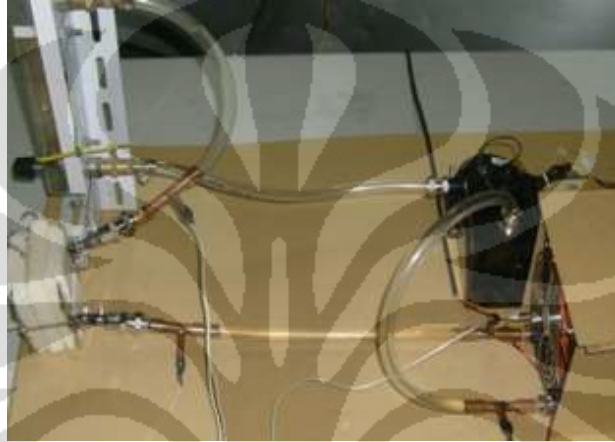


B

Gambar 3.8 Voltage Regulator

j. Fluida Kerja

Percobaan ini menggunakan air destilasi atau air yang telah dimurnikan atau air *aquades* sebagai *base fluid* dan menggunakan partikel nano Al_2O_3 yang memiliki massa jenis 66.7 gr/L. Percobaan menggunakan variasi nanofluida 1% dan 4%. Sebagai perbandingan percobaan ini menguji dan membandingkan kinerja air *aquades*, nanofluida 1% dan nanofluida 4%.



Gambar 3.9 Skema alat uji

3.2 PRINSIP KERJA

Pada percobaan sistem pendinginan menggunakan air ini dapat dikatakan relatif simpel dan menggunakan sirkulasi tertutup karena fluida yang digunakan hanya kita putar dalam sistem saja. Dalam percobaan hendaknya dilakukan berdasarkan prosedur sebagai berikut:

3.2.1 Persiapan Alat Uji

Pada gambar 3.1 kita dapat melihat pompa untuk mensirkulasikan air dengan dilengkapi dengan tempat penyimpanan fluida (*water tank*). Air disalurkan oleh pompa ke sistem dengan menggunakan selang berukuran 9.5 mm dengan konektor yang telah tersedia paket dari produsen pompa tersebut. Air dari pompa ini mengalir menuju *flow meter* untuk mengatur aliaran fluida yang akan masuk pada *water block*.

Pada bagian masuk (T1) dan keluar (T2) *water block* diletakan *thermocouple* untuk mengetahui temperatur yang masuk dan keluar *water block*. Pada bagian dasar *water block* terdapat plat pemanas (*heater*) yang dikondisikan seperti prosesor pada komputer. Antara *water block* dan plat pemanas diberikan

heat sink compound dan diletakkan *thermocouple* (T0) untuk mengetahui temperatur *water block*. Untuk sekeliling *water block* dan plat pemanas diisolasi dengan menggunakan *polyurethane* dengan tebal 10mm diharapkan agar tidak ada panas yang terbuang ke lingkungan.

Fluida yang telah melewati *water block* diharapkan akan membawa panas dari *heater* dan fluida ini didinginkan dengan menggunakan radiator dengan dilengkapi fan pendingin. Pada sisi masuk (T3) dan keluar (T4) radiator ini juga daiberikan *thermocouple*. Pada sisi keluar fan dibuat *ducting*, hal ini dilakukan agar dapat mengukur temperatur udara yang keluar dari radiator tanpa terganggu oleh udara lingkungan. Pengukuran temperatur udara pada *ducting* ini dengan cara memasang *thermocouple* dibagian atas *ducting* sampai masuk tengah-tengah rongga *ducting*. Setelah fluida melewati radiator dan didinginkan fluida kembali masuk ke tangki penyimpanan.

3.2.2 Prosedur Pengujian

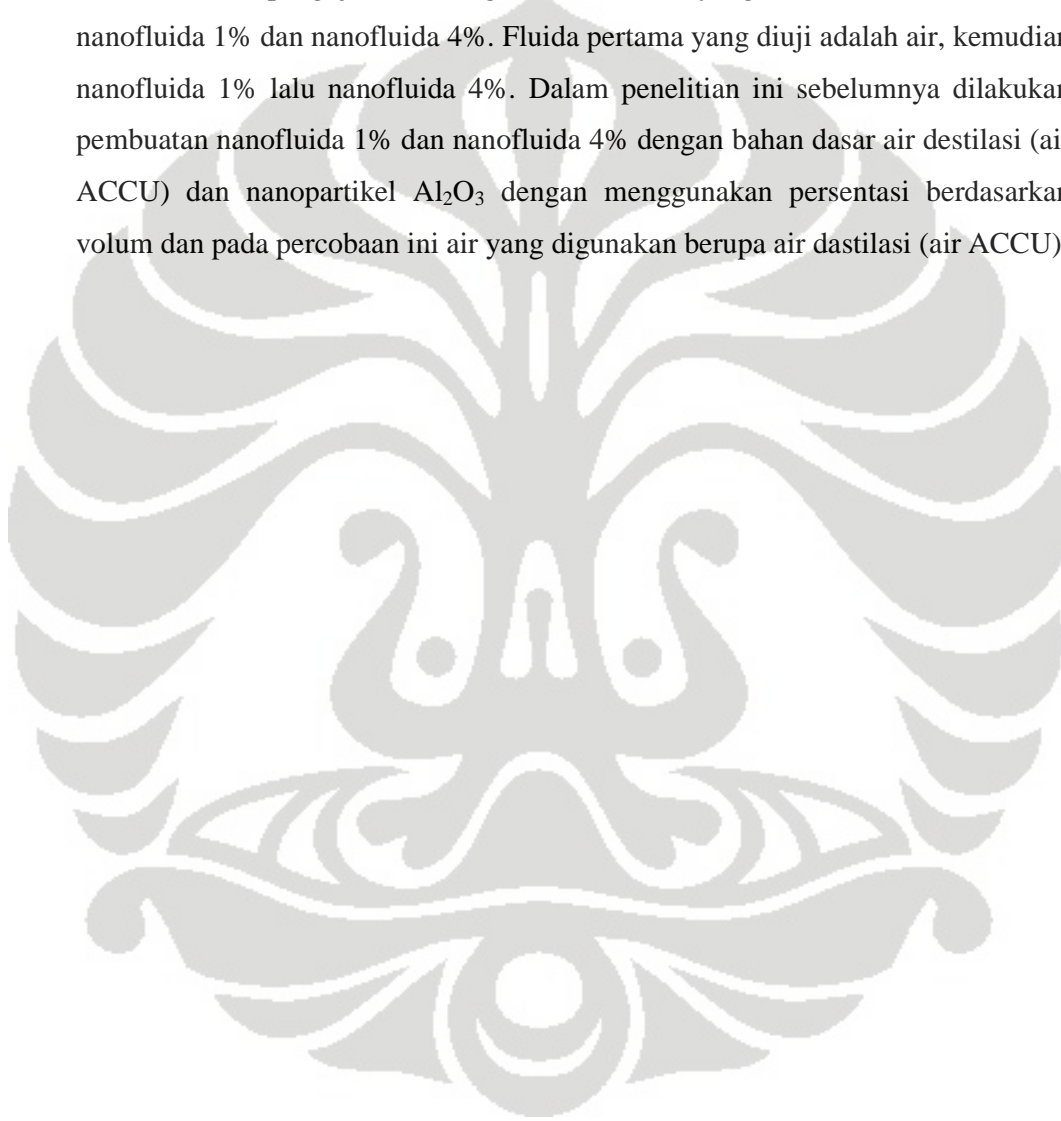
Untuk alat uji ini dilakukan pengujian dengan variasi data seperti pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Variasi tegangan dan flow rate

	Variasi Tegangan			
Flow rate	50	65	80	95
4 gr/s	T0,T1,T2,T3,T4, dan T5	T0,T1,T2,T3,T4, dan T5	T0,T1,T2,T3,T4, dan T5	T0,T1,T2,T3,T4, dan T5
6 gr/s	T0,T1,T2,T3,T4, dan T5	T0,T1,T2,T3,T4, dan T5	T0,T1,T2,T3,T4, dan T5	T0,T1,T2,T3,T4, dan T5
8 gr/s	T0,T1,T2,T3,T4, dan T5	T0,T1,T2,T3,T4, dan T5	T0,T1,T2,T3,T4, dan T5	T0,T1,T2,T3,T4, dan T5
10 gr/s	T0,T1,T2,T3,T4, dan T5	T0,T1,T2,T3,T4, dan T5	T0,T1,T2,T3,T4, dan T5	T0,T1,T2,T3,T4, dan T5
12 gr/s	T0,T1,T2,T3,T4, dan T5	T0,T1,T2,T3,T4, dan T5	T0,T1,T2,T3,T4, dan T5	T0,T1,T2,T3,T4, dan T5

Pengambilan data dilakukan disaat temperatur T_o telah stabil. Sebelum pengambilan data, pompa dinyalakan terlebih dahulu untuk mengalirkan fluida ke sistem lalu plat pemanas dinyalakan. Pengkondisian ini dipantau hingga temperatur plat pemanas sudah relatif konstan baru dilakukan pengambilan data selama 2 menit.

Dalam pengujian ini digunakan fluida yang terdiri dari fluida air, nanofluida 1% dan nanofluida 4%. Fluida pertama yang diuji adalah air, kemudian nanofluida 1% lalu nanofluida 4%. Dalam penelitian ini sebelumnya dilakukan pembuatan nanofluida 1% dan nanofluida 4% dengan bahan dasar air destilasi (air ACCU) dan nanopartikel Al_2O_3 dengan menggunakan persentasi berdasarkan volum dan pada percobaan ini air yang digunakan berupa air dastilasi (air ACCU).



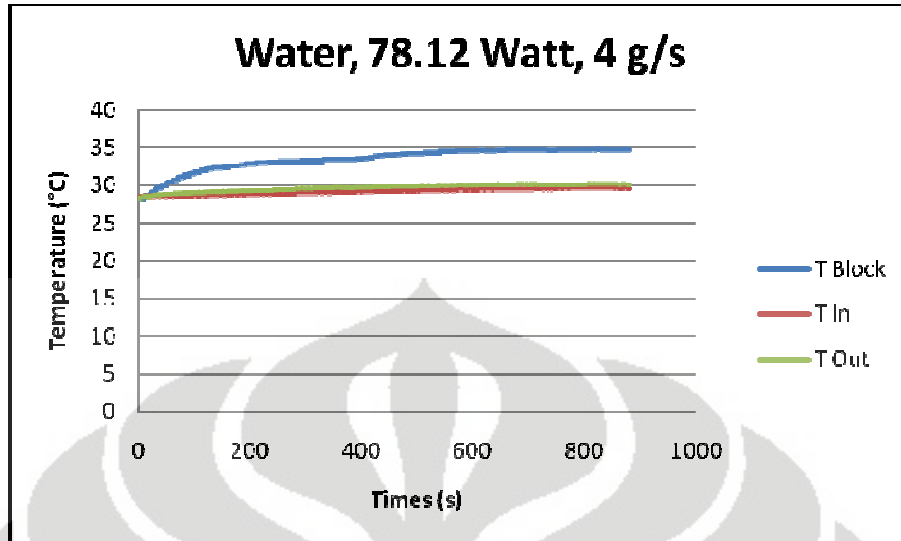
BAB IV

PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA

Dalam penelitian ini, tahap pertama yang dilakukan adalah pengambilan data air sebagai referensi kemudian menyusul pengambilan data nanofluida. Dalam pengolahan data, hasil percobaan direpresentasikan dengan menggunakan bilangan *Nusselt* dan *Reynolds*. Kedua bilangan ini dihitung berdasarkan temperatur rata-rata fluida pada *water block*.

4.1 FLUIDA KERJA AIR

Fluida kerja air yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan *distilled water* atau air yang sudah dimurnikan (air ACCU). Data dengan fluida kerja air diperoleh dengan memvariasikan tegangan input yang masuk untuk plat pemanas dengan *voltage regulator* yaitu 50 volt, 65 volt, 80 volt dan 95 volt sehingga didapat daya setiap tegangan dengan cara mengalikan tiap tegangan dengan arus yang masuk ke plat pemanas dengan hambatan yang dimiliki plat pemanas sebesar 32 ohm. Daya masing-masing yaitu 78,12 watt, 132,03 watt, 200 watt dan 282,031 watt. Pemanasan plat pemanas dilakukan sekitar 10 menit untuk setabil dengan fluida pendingin telah dinyalakan hal ini berdasarkan kondisi jika alat ini langsung digunakan sebagai pendingin peralatan elektronik khususnya komputer. Data yang diambil setelah 10 menit penyalaan atau temperatur plat pemanas stabil dan data diambil selama 2 menit (Grafik 4.1). Adapun variasi aliran massa yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 4 gr/s, 6 gr/s, 8 gr/s, 10 gr/s dan 12 gr/s. Pengambilan data dengan berbagai variasi daya dan aliran massa bertujuan untuk dapat merepresentasikan sifat-sifat termal dari pengujian ini di banyak titik. Setelah data didapat, dicari sifat-sifat termal air pada tabel A.6 *Thermophysical Properties of Saturated Water*[22].



Gambar 4.1 Grafik temperatur terhadap waktu untuk pengambilan data

4.2 FLUIDA KERJA NANOFLUIDA

Penelitian ini menggunakan nanopartikel Al_2O_3 - *distilled water* dengan fraksi volum 1% dan 4% dengan sebelumnya melakukan persiapan dan pembuatan nanofluida. Adapun variasi penelitian untuk nanofluida ini sama dengan variasi menggunakan air. Hal ini bertujuan agar hasil penelitian berupa bilangan *Reynold*, *Nusselt* dan temperatur dapat dibandingkan dengan fluida kerja air pada kondisi yang relative sama.

Dalam penelitian ini, sifat-sifat nanofluida ditentukan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh *Nandy et al* [9]. Seperti yang dapat dilihat dari tabel berikut;

Tabel 4.1 Sifat nanofluida pada fraksi volum 1%

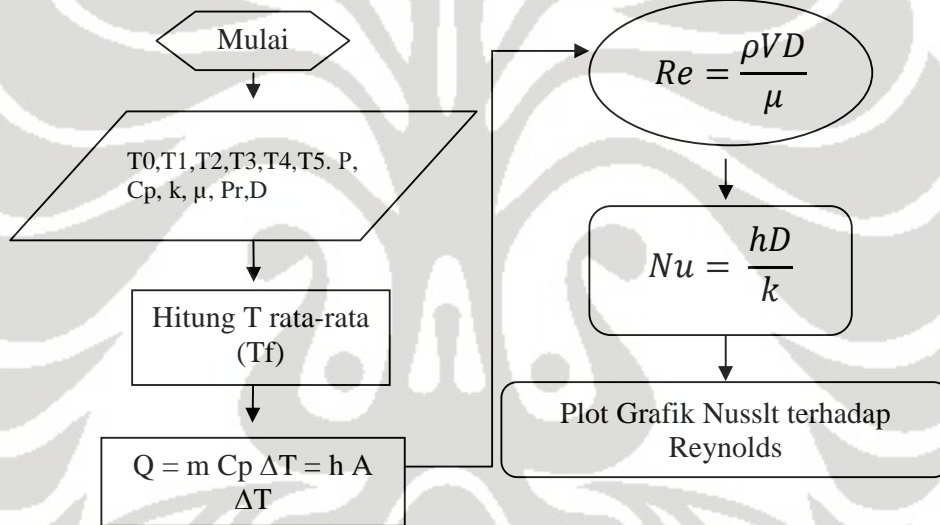
T (K)	ρ (kg/m^3)	$\mu \times 10^{-4}$ Pa.s	$\alpha (10^{-7})$ m/s^2	k (W/m C)	Cp (KJ/Kg)
294	1024	10.91	1.39	0.58	4.075
309	1020	7.915	1.64	0.68	4.065
324	1014	6.063	1.87	0.77	4.061

Tabel 4.2 Sifat nanoluida pada fraksi volum 4%

T (K)	ρ (kg/m ³)	$\mu \times 10^{-4}$ Pa.s	$\alpha (10^{-7})$ m/s ²	k (W/m C)	Cp (KJ/Kg)
294	1177	13.970	1.540	0.620	3.421
309	1173	10.170	1.830	0.740	3.447
324	1167	8.154	2.170	0.870	3.384

Untuk mencari sifat-sifat nanofluida dengan konsentrasi dengan konsentrasi dan temperature yang berada diantara data yang ada pada tabel, maka dapat dilakukan interpolasi linier.

Diagram alur pengambilan data dan perhitungan untuk daya yang konstan



Gambar 4.2 Diagram alir perhitungan

4.3 LANGKAH PERHITUNGAN DAN PENGOLAHAN DATA

Data yang telah diambil kemudian dihitung dan diolah. Langkah pertama dalam pengolahan data adalah menetapkan kesetimbangan energi, dimana energi yang di konveksikan oleh fluida sama dengan energi yang bangkitkan

$$Q = \dot{m}C_p\Delta T_1 = hA\Delta T_f \quad (4.1)$$

Dimana

$$\Delta T_1 = (T_2 - T_1) \quad (4.2)$$

$$\Delta T_f = T_0 - \left(\frac{T_1 + T_2}{2}\right) \quad (4.3)$$

Kita ketahui $\left(\frac{T_1+T_2}{2}\right)$ merupakan temperatur rata-rata fluida yang berada pada *water block*. dari persamaan diatas kita dapat memperoleh nilai koefisien perpindahan kalor konveksi dan akhirnya akan mendapatkan nilai *Reynold* dan *Nusselt* dengan rumus:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (4.4)$$

$$Nu = \frac{h D}{k} \quad (4.5)$$

Nilai k , μ , ρ dan C_p dapat diperoleh dari tabel sifat termal dari fluida. Berikut adalah contoh perhitungan data

Tabel 4.3 Contoh data

Mass flow	Tagangan	T Block (T _o)	T In Block (T ₁)	T out Block (T ₂)	T in Radiator	T out Radiator
0.004	50	34.81	29.647	30.114	29.978	29.485

Temperatur Rata-rata Masuk dan keluar block

$$\frac{T_1+T_3}{2} = \frac{30.114+29.647}{2} = 29,8805$$

Kita dapat meperoleh sifat-sifat fluida pada temperature 29,8805 °C atau 303.0305 K dengan melihat pada tebel A6 buku *Fundamental of Heat and Mass Transfer*, Incroperra [22]

$$C_p = 4178,37 \text{ J/Kg K}$$

$$k = 0.617243 \text{ W/m K}$$

$$\rho = 995.8055 \text{ Kg/m}^2$$

$$\mu = 802.8754 \cdot 10^{-6} \text{ N.s/m}^2$$

q Dihitung dari persamaan 4.1

$$q = \dot{m} C_p \Delta T$$

Untuk Aliran Massa 0.004 Kg/s dan C_p pada temperature 303.0305

$$q = 0.004 \text{ (kg/s)} \cdot 4178.37 \text{ (J/kg.K)} \cdot (34.81-29.647)$$

$$q = 7.805195 \text{ J/s}$$

Dengan h dapat dihitung dengan hokum Newton tentang pendinginan

$$q = h A \Delta T_f$$

$$h = \frac{q}{A \Delta T_f}$$

dimana :

$$\Delta T_f = T_0 - \left(\frac{T_1+T_2}{2}\right)$$

A = Luas permukaan yang bersentuhan dengan heater

$$D = 40\text{mm}$$

Maka :

$$A = 3,14 \times 0,25 \times 0,04^2 = 0,001256 \text{ m}^2$$

$$h = \frac{7.805195}{0.001256 (34.81 - 29.8805)} = 1260.641$$

Kemudian menghitung Reynolds number dengan persamaan 4.4

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

Dimana V didapat dengan

$$Q = \dot{m} / \rho$$

$$Q = 0,004 \text{ (kg/s)} / 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0,000004 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,000004}{0,25 \times 3,14 \times (0,0064)^2} = 0,124403 \text{ m/s}$$

D = 0,0064 m merupakan diameter dari lubang cube yang digunakan

$$V = 0,124403 \text{ m/s}$$

Maka:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{995.8055 \times 0.124403 \times 0.04}{802.8754 \times 10^{-6}} = 6171.869$$

Dan Nusselt Number didapat dari persamaan 4.5

$$Nu = \frac{hD}{k} = \frac{1260.641 \times 0.04}{0.617243} = 81.69496$$

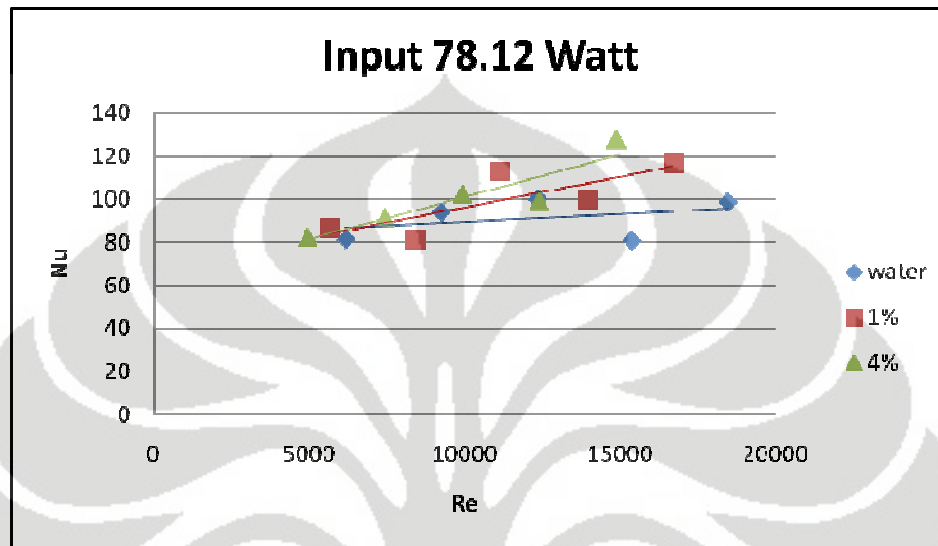
4.3.1 Pengujian Dengan Input Daya 78,12 Watt

Berdasarkan hasil pengambilan data dan pengolahan data, maka diperoleh hasil bilangan Reynold dan bilangan Nusselt sebagai berikut:

Tabel 4.4 Hasil pengujian dengan tegangan input 50 volt

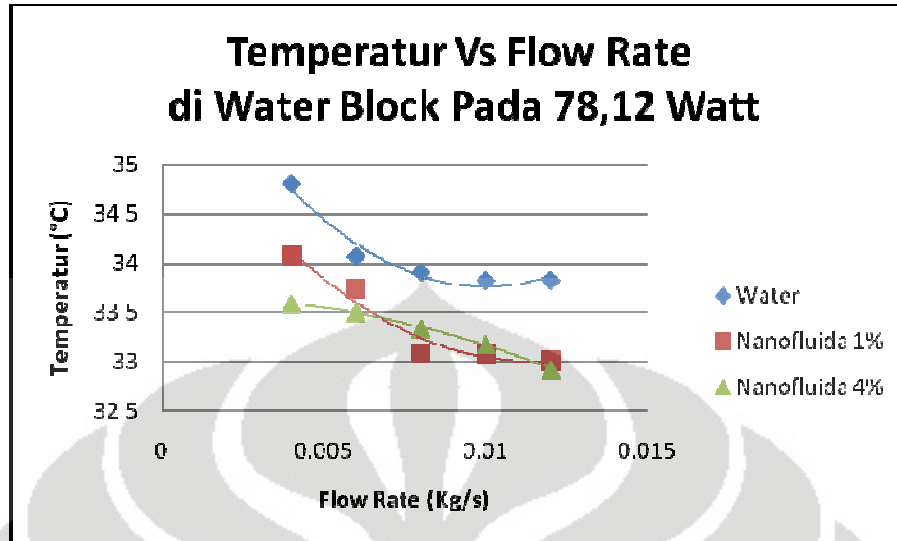
Air		Nanofluida 1%		Nanofluida 4%	
Re	Nu	Re	Nu	Re	Nu
6171.8695	81.694964	5654.0617	86.603158	4949.0698	82.60624
9242.6475	94.217383	8452.0597	81.33709	7435.9921	91.764988
12353.999	100.29893	11135.833	113.05849	9922.9882	102.68443
15379.074	80.945866	13978.996	99.60252	12393.452	99.435669
18485.101	98.999887	16717.837	116.77157	14872.142	127.76618

Jika ditunjukkan dalam bentuk grafik, maka diperoleh hasil sebagai berikut;



Gambar 4.3 Grafik perbandingan bilangan Nusselt dan Reynold input daya 78.12 Watt

Dari kondisi diatas dimana tegangan yang diberikan adalah 50 volt dan tahanan pada plat pemanas sebesar 32 ohm, dicapai temperatur tertinggi sebesar 33.582 °C pada permukaan *water block* yang dipanaskan. Pada grafik dapat dilihat pada bilangan Reynold yang rendah dengan temperatur yang rendah pula berkisar 30 °C nanofluida tidak begitu berpengaruh. Hal ini ditunjukkan dengan nilai bilangan Nusselt yang relative hampir sama dengan nilai bilangan Nusselt air. Namun, seiring dengan meningkatnya nilai bilangan Reynold, nilai bilangan Nusselt juga ikut meningkat. Hal ini juga dapat menunjukkan bahwa seiring meningkatnya turbulensi pada nanofluida maka kemampuan perpindahan kalornya juga ikut bertambah.



Gambar 4.4 Grafik perbandingan Temperatur dan Laju Aliran pada pengujian input daya 78.12 Watt

Pada gambar 4.4 dapat dilihat penurunan perbandingan temperatur pada *water block* terhadap laju aliran untuk tiap-tiap fluida kerja yang digunakan. Dari grafik dapat dilihat bahwa penggunaan nanofluida menghasilkan temperatur yang lebih rendah jika kita bandingkan dengan menggunakan air namun pada penggunaan nanofluida 1% dan nanofluida 4% tidak terjadi perbedaan temperatur yang cukup signifikan, hal ini dapat dikarenakan nilai bilangan Reynold yang tidak jauh berbeda dan dapat juga dikarenakan tidak terdapat perbedaan temperatur yang terlalu tinggi di dalam fluida sehingga fungsi dari nanopartikel yang jauh lebih banyak pada nanofluida 4% belum maksimal. Hal ini seperti dikatakan oleh *Das et al* [7] bahwa konduktivitas termal nanofluida sebagai fungsi temperatur.

4.3.2 Pengujian Dengan Input Daya 132.03 Watt

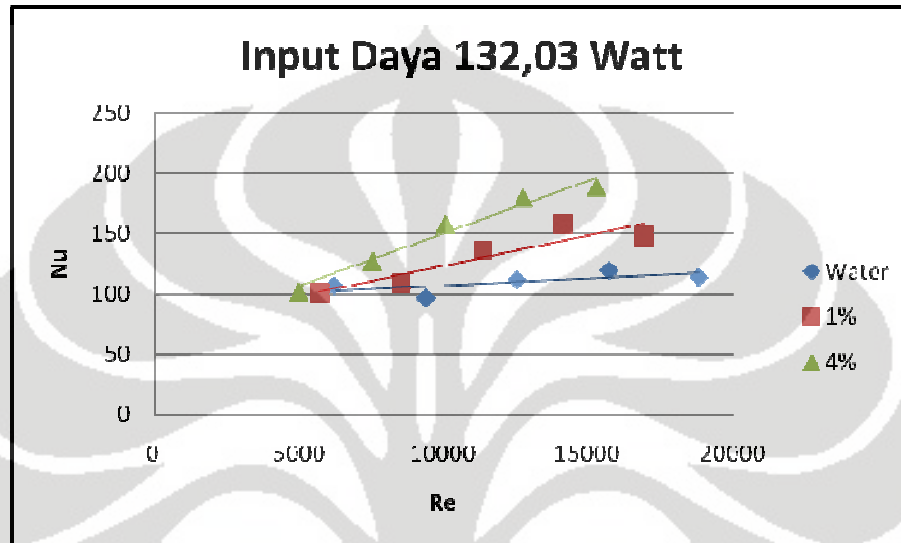
Berdasarkan hasil pengambilan data dan pengolahan data, maka diperoleh hasil bilangan Reynold dan bilangan Nusselt sebagai berikut:

Tabel 4.5 Hasil pengujian dengan tegangan input 65 Volt

Air		Nanofluida 1%		Nanofluida 4%	
Re	Nu	Re	Nu	Re	Nu
6233.478	106.60007	5718.0806	100.31882	5012.5827	102.06971
9405.065	96.26895	8539.5791	108.34486	7550.6929	126.9975

12550.682	111.56613	11364.377	135.98985	10059.12	157.34795
15728.054	119.36066	14115.325	157.79159	12733.109	179.02525
18826.023	113.7922	16919.107	147.48142	15266.553	188.645

Jika ditunjukkan dalam bentuk grafik, maka diperoleh hasil sebagai berikut;

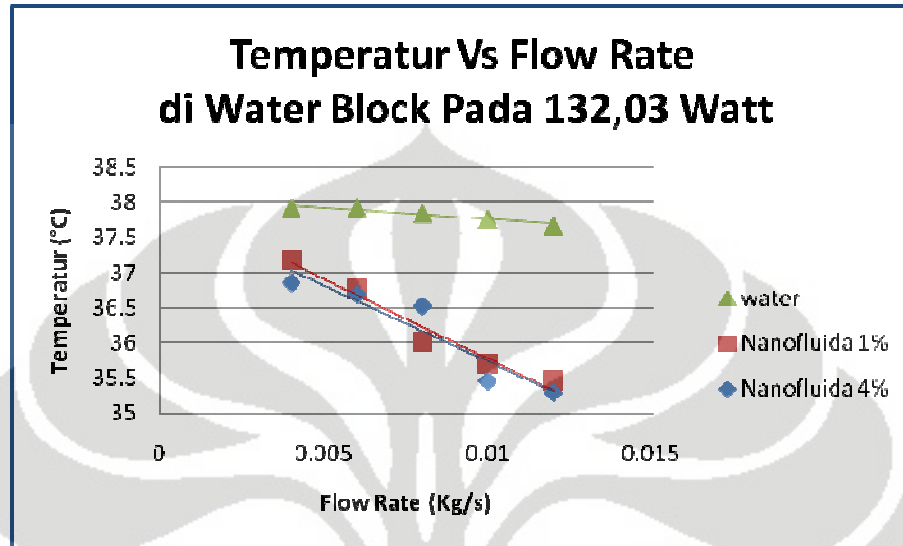


Gambar 4.5 Grafik Perbandingan bilangan Nusselt dan Reynold, input daya 132,03 Watt

Pada pengujian dengan tegangan input 65 volt dan tahanan 32 ohm, diperoleh hasil yang lebih linier dibandingkan dengan pengujian menggunakan input tegangan 50 volt. Hal ini dapat terjadi karena temperatur yang sudah mulai meningkat dengan meningkatnya daya yang diberikan yang mempengaruhi kerja dari nenofluida. Temperatur maksimum yang didapat untuk nenofluida 4% pada laju aliran 0.012 Kg/s adalah 35.301°C sedangkan pada penggunaan air 37.677°C. Sehingga jelas dapat dilihat didalam grafik nilai nanofluida 4% memiliki nilai bilangan Nusselt yang jauh lebih tinggi dari air yaitu 65.8% lebih besar dari air pada laju aliran 0.012 kg/s. Dari grafik juga dapat dilihat semakin besar laju aliran maka semakin besar nilai Nusselt. Hal ini menunjukkan bahawa kerja nanofluida juga dipengaruhi oleh laju aliran yang akhirnya menyebabkan keacakkan aliran.

Pada gambar 4.6 kita melihat kerja nanofluida yang cukup besar menghasilkan penurunan temperatur *water block* dengan semakin besarnya laju aliran yang digunakan. Hal ini memperkuat pernyataan seblumnya dimana kinerja

nanofluida dipengaruhi oleh laju aliran yang digunakan. Semakin besar penggunaan laju aliran semakin besar keacakan yang terjadi maka semakin besar bilangan Nusseltnya.



Gambar 4.6 Grafik perbandingan Temperatur dan laju aliran pada pengujian input daya 132.03 Watt

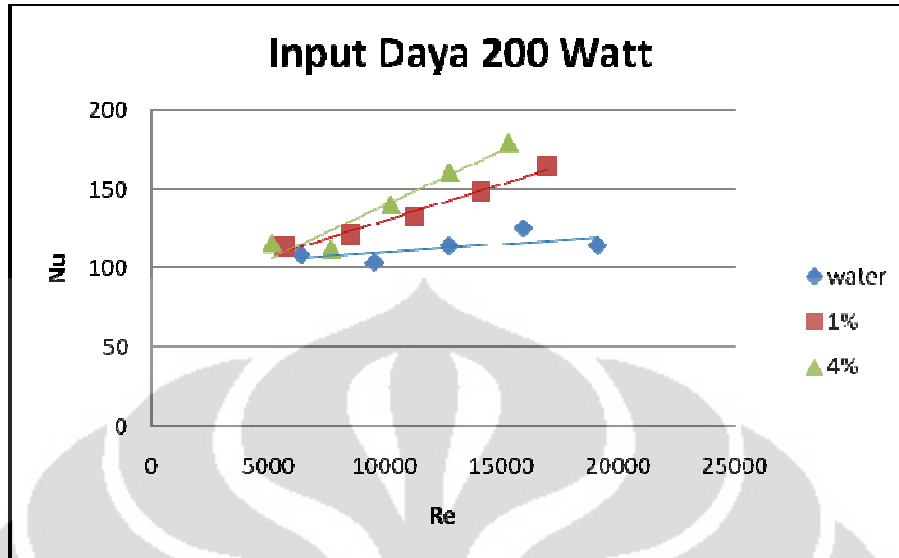
4.3.3 Pengujian Dengan Input Daya 200 Watt

Berikut adalah hasil pengujian dengan daya input 200 Watt

Tabel 4.6 Hasil pengujian dengan tegangan input 80 Volt

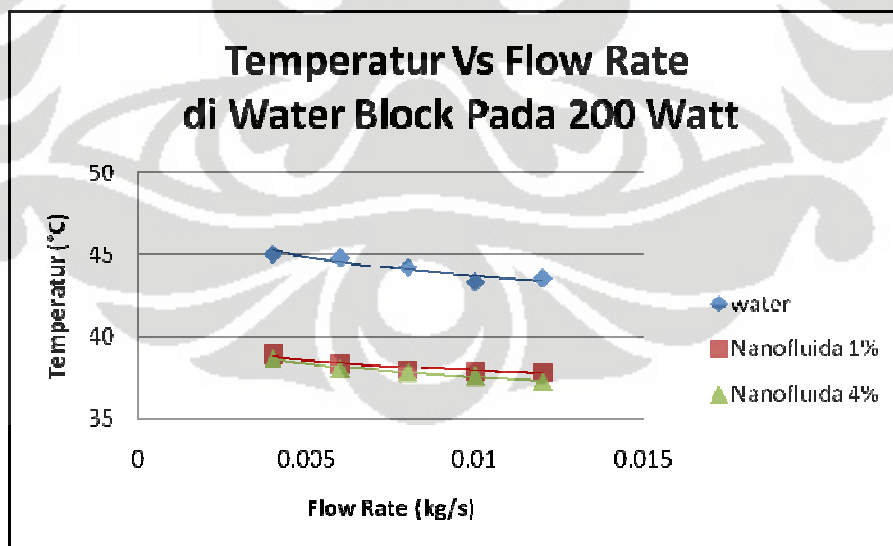
Air		Nanofluida 1%		Nanofluida 4%	
Re	Nu	Re	Nu	Re	Nu
6382.3409	108.54026	5673.5519	113.60399	5149.4579	115.9595
9524.7892	103.62756	8488.4522	121.38763	7679.2188	112.42905
12732.254	114.08128	11298.575	132.34815	10230.194	140.38548
15915.145	125.1862	14136.395	148.9631	12754.85	160.8432
19098.174	114.3629	16955.114	164.91678	15292.764	179.17852

Jika ditunjukkan dalam bentuk grafik, maka diperoleh hasil sebagai berikut;



Gambar 4.7 Grafik perbandingan bilangan Nusselt dan Reynold input daya 200 Watt

Sama hal dengan dua grafik sebelumnya, gambar 4.7 menunjukkan bilangan Nusselt dan Reynold. Bilangan Nusselt untuk nanofluida 4% tetap menunjukkan kinerja yang lebih bagus jika dibandingkan dengan nanofluida 1% dan air. Dari grafik menunjukkan pada kondisi maksimum nanofluida 4% menunjukkan peningkatan sebesar 56.68% terhadap air dan 8.6% jika dibandingkan dengan nanofluida 1%.



Gambar 4.8 Grafik perbandingan Temperatur dan laju aliran pada pengujian input daya 200 Watt

Pada grafik perbandingan Temperatur dan laju aliran menunjukkan karakteristik yang tidak jauh berbeda dengan grafik sebelumnya, terdapat perbedaan dimana pada grafik sebelumnya perbedaan penggunaan nanofluida 1% dan 4% menghasilkan penurunan temperature pada *water block* yang hanya berbeda 1-2 °C jika dibandingkan dengan fluida air, maka pada grafik ini dapat dilihat perbedaan yang cukup besar yaitu berkisar 6°C sampai dengan 6.4°C untuk nanofluida 4% dan berkisar 5°C sampai dengan 5.2°C untuk nanofluida 1%.

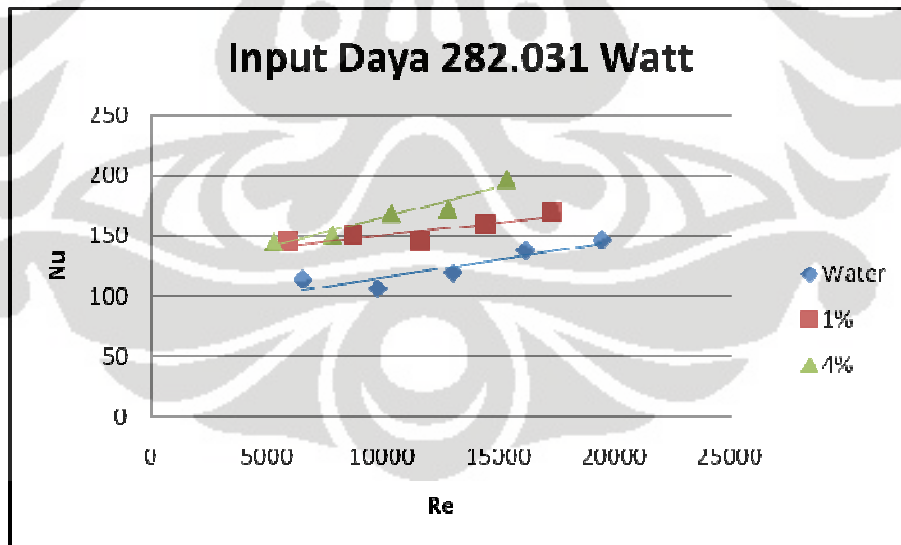
4.3.4 Pengujian Dengan Input Daya 282.031 Watt

Berikut adalah hasil pengujian dengan daya input 282.031 Watt

Tabel 4.7 Hasil pengujian dengan tegangan input 95 Volt

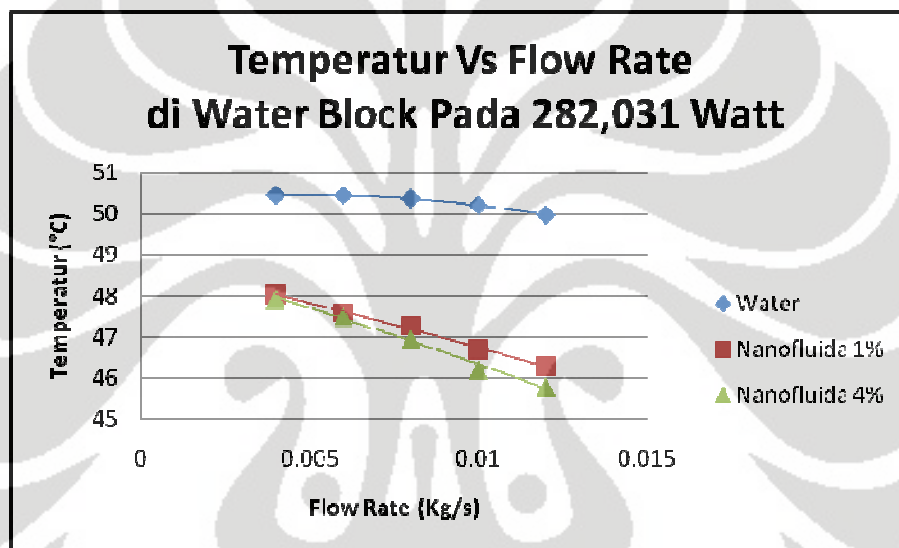
Air		Nanofluida 1%		Nanofluida 4%	
Re	Nu	Re	Nu	Re	Nu
6553.6148	113.48609	5916.3943	144.61138	5273.7819	144.78626
9778.9862	106.00677	8715.6126	150.63472	7786.3082	150.79331
13029.07	119.2002	11600.263	144.7413	10327.673	168.44716
16153.375	137.88045	14457.984	158.95491	12782.552	171.97093
19441.795	146.25222	17319.236	170.08469	15318.73	196.12741

Jika ditunjukkan dalam bentuk grafik, maka diperoleh hasil sebagai berikut;



Gambar 4.9 Grafik perbandingan bilangan Nusselt dan Reynold input daya 282.031 Watt

Demikian halnya dengan input daya 282.031 W, nanofluida dengan konsisten menunjukkan kinerja yang baik dibandingkan dengan menggunakan air. Dari grafik dapat dilihat pada bilangan Reynold yang rendah bilangan Nusselt lebih besar dari nilai bilangan Nusselt air. Hal ini jauh berbeda jika kita bandingkan dengan 3 grafik perbandingan bilangan Nusselt dan Reynold sebelumnya, dimana nilai bilangan Nusselt relatif sama untuk nanofluida maupun air pada nilai bilangan Reynold yang rendah. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan kinerja nanofluida dengan seiring peningkatan temperature kerjanya.



Gambar 4.10 Grafik perbandingan Temperatur dan laju aliran pada pengujian input daya 282.031 Watt

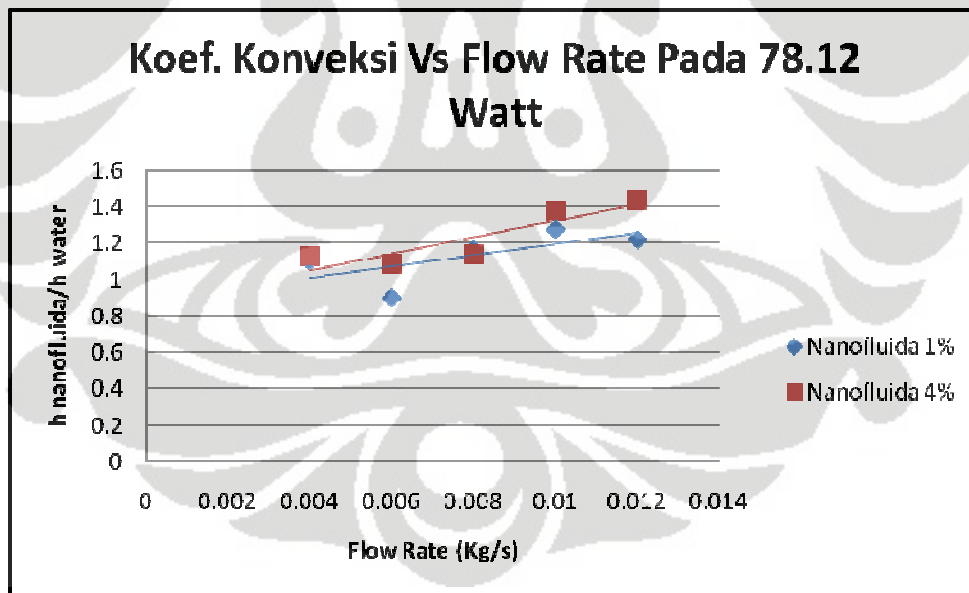
Grafik perbandingan Temperatur dan laju aliran menunjukkan karakteristik yang tidak jauh berbeda dengan grafik sebelumnya. Perbedaan kinerja nanofluida 1% dengan nanofluida 4% terlihat jelas pada laju aliran yang besar. Dimana perbedaan temperatur cukup besar jika dibandingkan dengan laju aliran yang lebih kecil. Jika kinerja pendinginan nanofluida kita bandingkan dengan air jelas terlihat perbedaan penurunan temperatur *water block* antara air dan nanofluida serta penggunaan laju aliran yang besar juga semakin menaikkan kinerja nanofluida sedangkan pada air tidak begitu berpengaruh.

Pada proses pemanasan pada temperatur yang lebih tinggi, dengan diberikannya tegangan yang lebih besar, diperoleh hasil dimana temperatur pada *water block* akan lebih rendah pada penggunaan nanofluida 4% dan didukung

dengan penggunaan laju aliran yang lebih besar. Dengan penggunaan laju aliran yang lebih besar dapat meningkatkan bilangan Nusselt. Peningkatan temperatur yang diberikan ternyata juga memberikan peningkatan bilangan Nusselt. Peningkatan bilangan Nusselt ini terjadi dikarenakan adanya peningkatan koefisien konveksi yang disebabkan oleh peningkatan kalor yang diserap oleh sistem tersebut dan penurunan perbedaan temperatur pada dinding *water block*.

Adanya kenaikan dari bilangan Nusselt pada nanofluida menunjukkan adanya peningkatan kemampuan fluida menghantarkan kalor yang lebih baik. Menurut teori yang dikemukakan oleh *Kebllinski* [23], kenaikan ini disebabkan oleh gerakan Brownian dari nanopartikel, adanya lapisan pada tingkat molekul antara permukaan cairan dan molekul yang menyebabkan molekul atau partikel-partikel berukuran nano ini menjadi mudah sekali bergerak acak yang akibat dari gerakan acak ini semakin sering terjadi tumbukkan dan akibatnya meningkatkan koefisien perindahan kalor yang dimiliki oleh fluida tersebut.

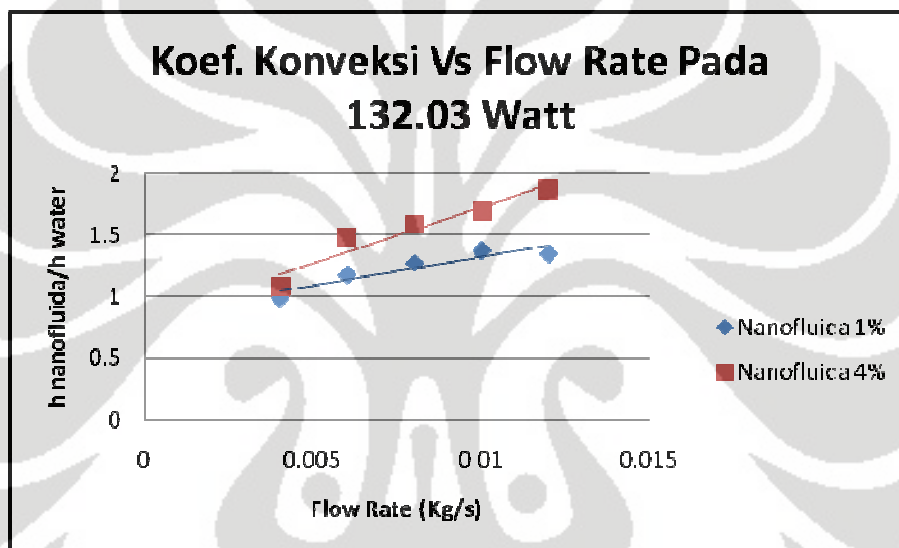
4.3.5 Perbandingan Koefisien Konveksi Nanofluida



Gambar 4.11 Grafik perbandingan koefisien konveksi terhadap laju aliran pada pengujian input 78.12 Watt

Grafik diatas menunjukkan bahwa penambahan nanopartikel pada fluida memberikan peningkatan nilai koefisien konveksi pada suatu fluida. Dalam grafik dapat lihat bahwa penambahan konsentrasi nanopartikel yang lebih besar

manghasilkan penambahan nilai koefisien konveksi yang cukup besar juga. Pada nanofluida 4% dengan laju aliran 0.012 kg/s didapat koefisien konveksi per koefisien konveksi air sebesar 1.13 dan nanofluida 1% sebesar 1.106, dari nilai ini dapat dikatakan bahwa nilai koefisien konveksi pada fluida yang disuspensikan nanopartikel dipengaruhi jumlah persentasi nanopartikel yang disuspensikan dan juga dipengaruhi oleh laju aliran. Grafik ini juga memperkuat pernyataan sebelumnya dimana laju aliran akan mempengaruhi perpindahan kalor yang terjadi. Hal ini dibuktikan dengan meningkatnya koefisien konveksi seiring dengan peningkatan laju alirannya.

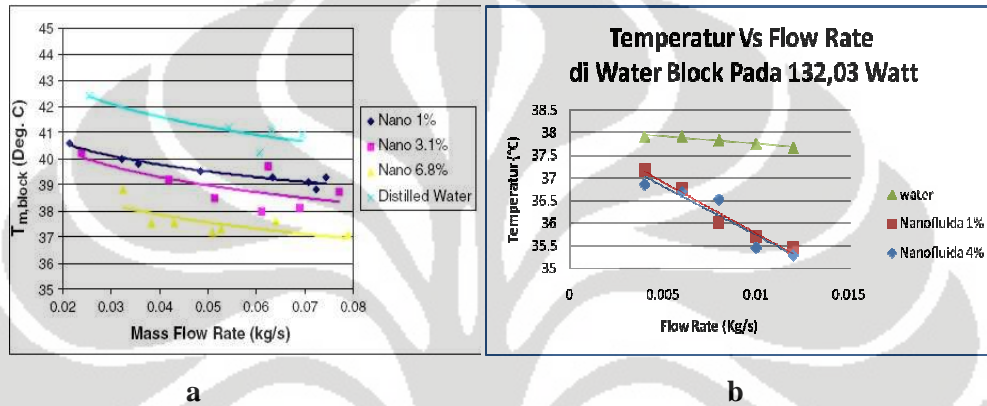


Gambar 4.12 Grafik perbandingan koefisien konveksi terhadap laju aliran pada pengujian input 132.03 Watt

Gambar 4.12 menunjukkan pemberian daya yang lebih besar dari grafik sebelumnya manghasilkan nilai perbandingan koefisien konveksi yang cukup besar juga. Peningkatan koefisien konveksi dari dua grafik diatas berkisar 10 – 30% untuk konsentrasi nanofluida 1% dan 12 – 70% untuk konsentrasi 4%. Hal ini telah di presiksi oleh Nandy et. Al [10]. Dari banyak hasil penelitian dapat disimpulkan hal utama yang menyebabkan peningkatan koefisien perpindahan kalor adalah adanya pergerakan partikel. Dengan semakin banyaknya nanopartikel yang terlarut didalam fluida, menyebabkan sering terjadi tumbukkan, dengan demikian perpindahan kalor yang terjadi lebih tinggi sesuai dengan kenaikan konsentrasi volume.

4.4 PERBANDINGAN DENGAN PENELITIAN YANG TELAH ADA

Beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya dapat menjadi perbandingan yang dapat dirujuk seperti penelitian yang telah dilakukan *Chong et.al* [21]. Dalam penelitian yang dilakukannya mereka melakukan penelitian pendinginan menggunakan nanofluida Al_2O_3 – air dengan komposisi 1%, 3.1% dan 6.8% dengan hasil yang dapat dibandingkan yaitu:



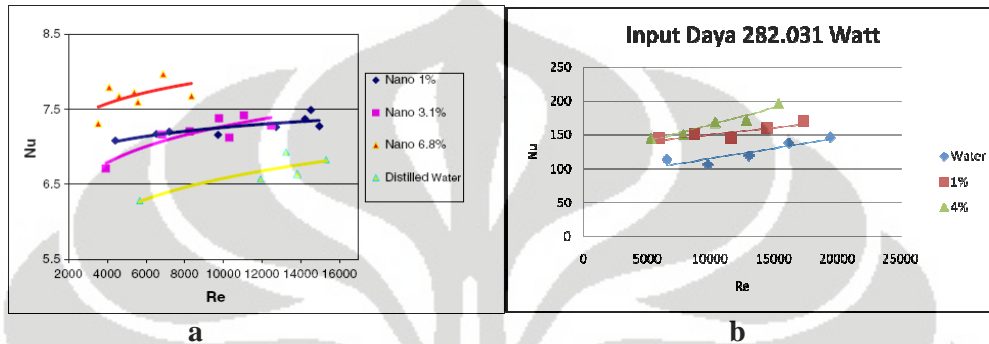
Gambar 4.13 a. Perbandingan laju aliran dengan temperatur block hasil penelitian Cong et.al [21], b. Grafik Temperatur dan Laju Aliran untuk perbandingan pada penelitian saat ini

Dari gambar diatas dapat dilihat penurunan temperatur yang dihasilkan pada laju aliran yang mereka (*Cong et.al*) gunakan. Temperatur cenderung menurun dengan meningkatnya laju aliran yang digunakan. Hal ini juga terjadi dengan hasil penelitian yang dilakukan saat ini. Dimana dapat dilihat pada gambar 4.13b perbandingan temperatur *water block* vs laju aliran pada tiap daya yang digunakan.

Hasil penelitian menunjukkan kecenderungan yang sama yaitu menurunnya temperatur *water block* dengan meningkatnya laju aliran yang digunakan. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan koefisien perpindahan panas dengan seiring meningkatnya laju aliran (*Cong et.al*[21]). Perbedaan yang ada hanya ditunjukkan pada penggunaan laju aliran massa yang digunakan, namun hal ini tidak menjadi kendala dikarenakan hasil yang didapat tetap menunjukkan karakteristik yang sejalan. Hal tersebut dapat benar-benar dilihat jika kita

bandingkan gambar 4.13a dengan gambar 4.13b atau dengan gambar 4.10, gambar 4.8 dan gambar 4.4

Pada perbandingan bilangan Nusselt dan Reynold yang digunakan pada penelitian yang dilakukan Cong et.al[21] juga memberikan kecenderungan yang sama dengan penelitian yang dilakukan. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.14a



Gambar 4.14 a. Perbandingan bilangan Nusselt dan Reynold pada penelitian Cong et al.[21], b. Perbandingan bilangan Nusselt dan Reynold pada penelitian yang dilakukan saat ini

Kedua grafik menunjukkan perbandingan bilangan Nusselt dan Reynold dimana menunjukkan kecenderungan yang relative sama. Dimana pada bilangan Reynold 5000 sampai 10000 kecenderungan nanofluida 1-4% memiliki nilai bilangan Nusselt yang relative tidak jauh berbeda. Namun jika dibandingkan dengan air. Bilangan Nusselt dari nanofluida sudah jauh diatas air.

Jadi dengan membandingkan hasil pepnelitian yang dilakukan dengan penelitian yang telah ada sebelumnya kita dapat melihat dengan jelas kinerja nanofluida memang sangat berpotensi menjadi fluida pendingin yang sangat bermanfaat untuk pendingin khususnya pendingin alat elektronik. Kedua penelitian yang dilakukan ini telah memberikan data hasil percobaan yang menunjukkan kinerja yang sejalan dan hasil yang konsisen dari kinerja nanofluida untuk pendingin alat elektronik.

BAB V

KESIMPULAN

Sesuai dengan tujuan penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengujian dapat diambil kesimpulan bahwa nanofluida dapat memindahkan kalor dengan lebih baik jika dibandingkan dengan fluida dasarnya yaitu air. Hal ini bisa dilihat dari perbandingan bilangan Nusselt terhadap Reynolds. Besarnya peningkatan bilangan Nusselt nanofluida terhadap air bervariasi pada setiap kondisi pengukuran tergantung dari temperatur, konsentrasi nanopartikel dan laju aliran yang digunakan.
2. Dengan peningkatan bilangan Nusselt, menunjukkan bahwa plat pemanas yang dikondisikan layaknya prosesor pada komputer akan memiliki temperatur yang lebih rendah jika dibandingkan dengan menggunakan air. Hal ini sejalan dari hasil penelitian yang menunjukkan bahwa temperatur pada *water block* untuk nanofluida 1% dan nanofluida 4% lebih rendah dibandingkan dengan temperatur *water block* yang menggunakan fluida air.
3. Dari hasil pengujian dapat dilihat, karakteristik dan sifat termal seperti koefisien perpindahan kalor konveksi nanofluida dipengaruhi oleh temperatur pemanasan yang diberikan, dimana kita ketahui bahwa nanofluida merupakan fungsi temperatur semakin besar temperatur maka nilai koefisien konveksinya akan semakin tinggi.
4. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa nilai koefisien juga dipengaruhi oleh laju aliran yang digunakan. Semakin tinggi laju aliran maka semakin besar nilai koefisien perpindahan kalornya. Hal ini dikarenakan partikel-partikel yang terdispersi akan lebih bergerak secara acak sehingga meningkatkan kerja dari partikel tersebut untuk mengantarkan panas dengan lebih baik.

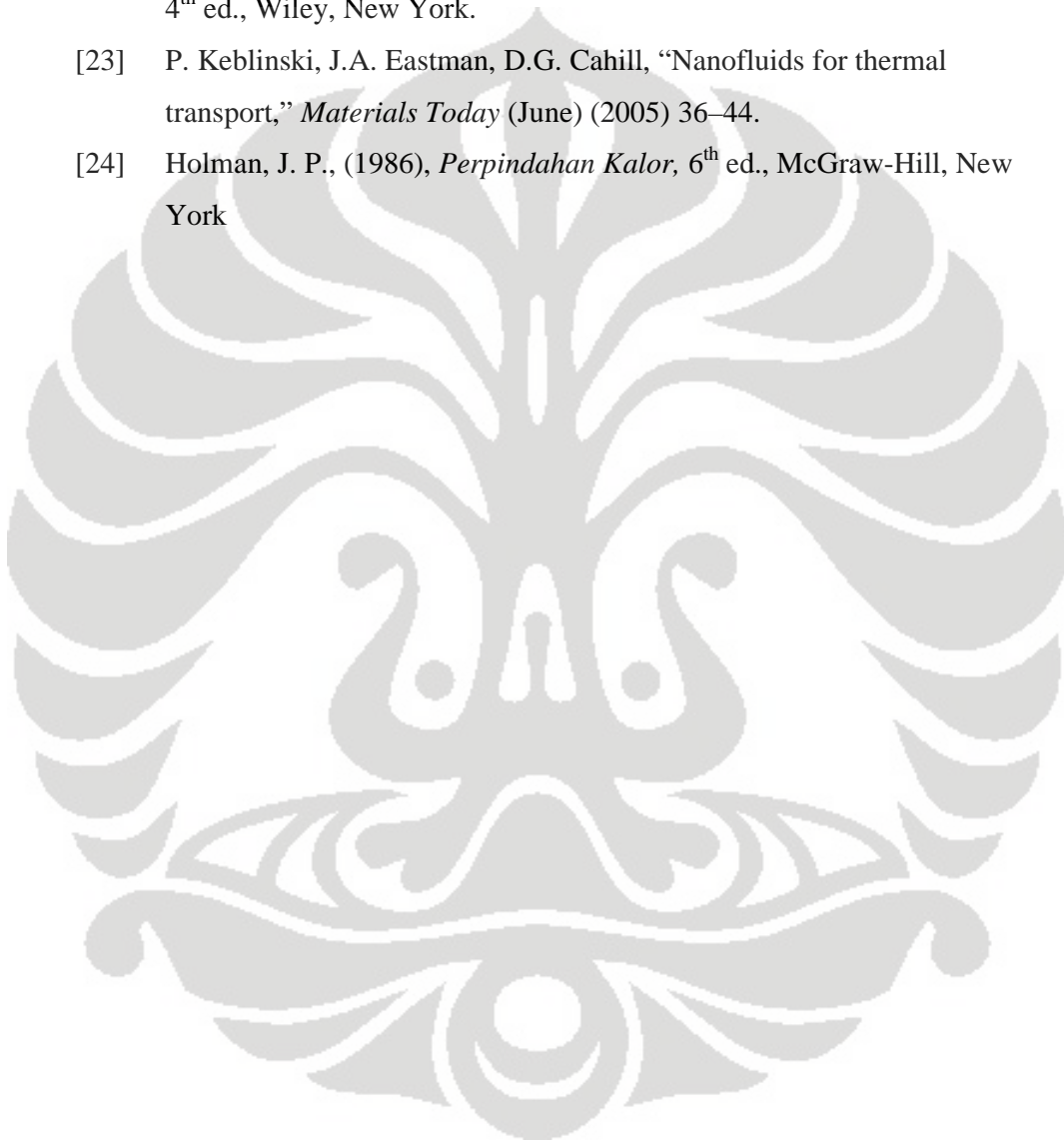
DAFTAR ACUAN

- [1] Maxwell, J. C., 1881, *A Treatise on Electrical and Magnetism*, 2nd Ed., 1, Clarendon Press, Oxford, U.K., pp. 435
- [2] Choi, U. S., 1995, "Enhancing Thermal Conductivity of Fluids With Nanoparticles," *Developments and Applications of Non-Newtonian Flows*, D. A. Siginer and H. P. Wang, eds., FED-vol. 231/MD-Vol. 66, ASME, New York, pp. 99–105.
- [3] Eastman, J. A., Choi, U. S., Li, S., Yu, W., and Thompson, L. J., 2001, "Anomalous Increase in Effective Thermal Conductivities of Ethylene Glycol-Based Nanofluids Containing Copper Nanoparticles," *Appl. Phys. Lett.*, **78**, pp. 718–720.
- [4] Xuan, Y., and Li, Q., 2000, "Heat Transfer Enhancement of Nanofluids," *Int. J. Heat Fluid Flow*, **21**, pp. 58–64.
- [5] Hamolton, R. L., and Crosser, O.K., 1962, "Thermal Conductivity of Heterogeneous Two Component systems," *I & EC Fundamentals*, 1(3), pp 187-191
- [6] Wasp, E. J., J. P Kenny, dan R.L. Gandhi (1977). "Solid – Liquid Slurry Pipeline Transportation, Series On Bulk Material Handling," *Trans. Tech. Publication*. Clausthal. Germany.
- [7] Das, S.K., Putra, N., Thiesen, P., Roetzel, W., "Temperature Dependence of Thermal Conductivity Enhancement for Nanofluid," *Journal of Heat Transfer* (AUGUST 2003), ASME, Vol. 125, pp 567-574
- [8] Lee, S., Choi, U. S., Li, S., and Eastman, J. A., 1999, "Measuring Thermal Conductivity of Fluids Containing Oxide Nanoparticles," *ASME J.Heat Transfer*, 121, pp. 280-289

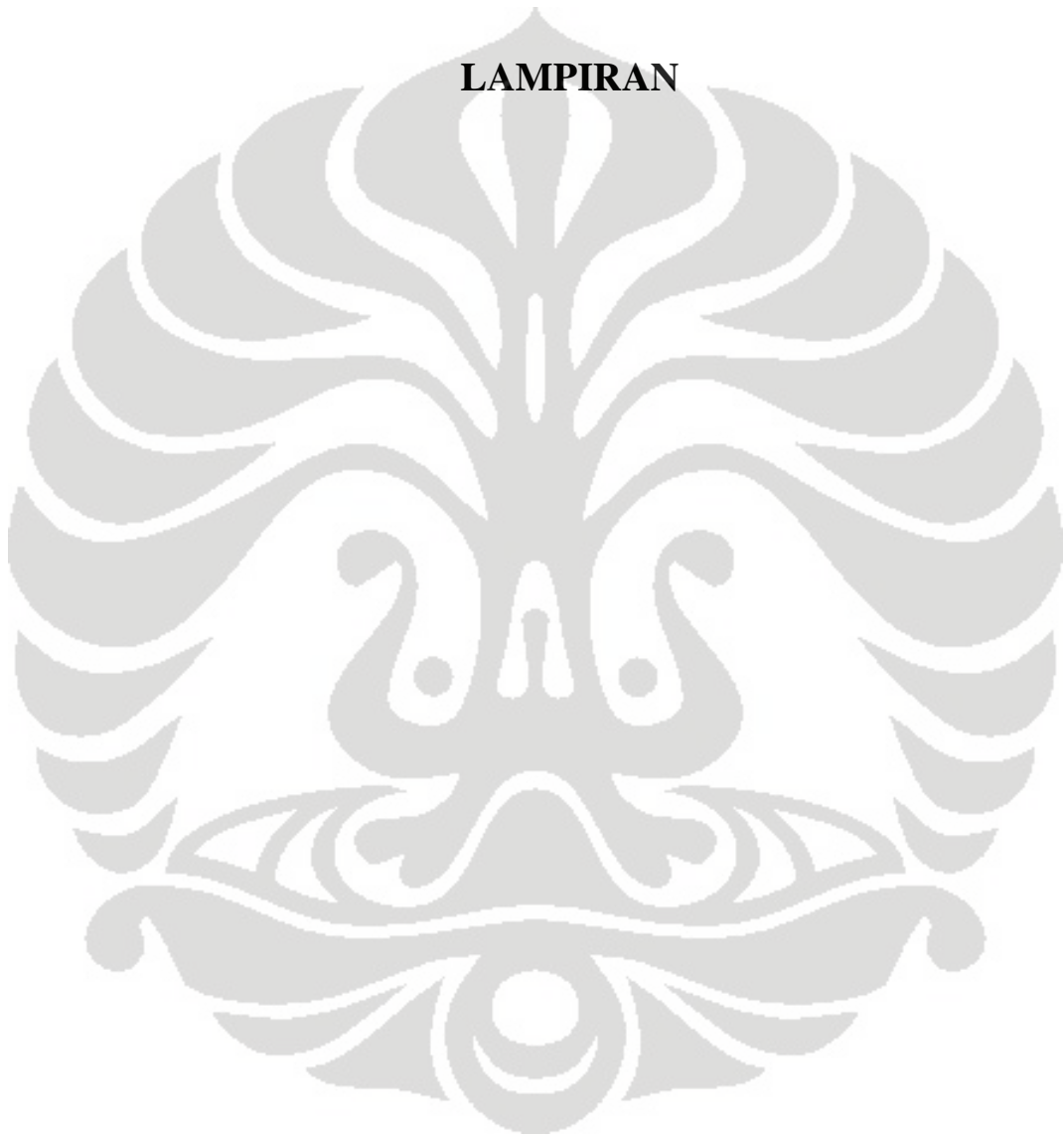
- [9] Putra Nandy, W. Roetzel, Sarit K. Das, "Natural Convection of Nanofluids," *Jurnal of Heat Transfer*, Vol. 39, Number 8-9 (2003), pp 775-784
- [10] Putra Nandy, S Maulana, Danardono, "Menentukan Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi Paksa Dengan Menggunakan Metode Wilson Plot," *Proceeding Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi*, 2005. UGM Yogyakarta, 25 Mei 2005
- [11] Xuan, Y., and Li, Q., 2000, "Heat Transfer Enhancement of Nanofluids," *Int. J. Heat Fluid Flow*, **21**, pp. 58–64.
- [12] Louis Gosselin, Alexandre K da Silva, "Combined Heat Transfer and Power Dissipation Optimization of Nanofluids Flow," *Applied Physics Letters*, Vol. 85, no. 18, (2004)
- [13] Talbot, L., R. K. Cheng, R. W. Schefer, and D. R. Willis (1980). "Thermophoresis of Particles In Heated Boundary Layer," *J. Fluid Mech*, 101: 737-758
- [14] Yamamoto, K, dan Y. Ishihara (1988), "Thermoporesis Of Spherical Particle in a Rarefied Gas of Transition Regime," *Phys. Fluids*, 31: 3618-3624.
- [15] B.C. Pak, Y.I. Cho," Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles, " *Experimental Heat Transfer* 11 (2) (1998) 151–170.
- [16] Liu, K. V., Choi, U. S., and Kasza, K. E., 1988, "Measurement of Pressure Drop and Heat Transfer in Turbulent Pipe Flows of Particulate Slurries," *Argonne National Laboratory Report*, ANL-88-15.
- [17] 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.
- [18] Mursed, S. M. S., K. C. Leong, dan C. Yang (2005), "Enhanced Thermal Conductivity of TiO₂ – Water Based Nanofluids," *Int. J. Therm. Sci.*,44;367-373
- [19] Hong, T. K., H. S. Yang, dan C. J. Choi, (2005), "Study of The Enhanced Thermal Conductivity of Fe Nanofluids," *J. Appl. Phys.*,97; 064311
- [20] AMD, "CPU Thermal Management" Advanced Micro Devices,

<<http://www.amd.com>>

- [21] Cong T. N., Gilles R, Christian, Nicolas G, “Heat transfer enhancement using Al₂O₃–water nanofluid for an electronic liquid cooling system” *Applied Thermal Engineering* (2006) 27; 1501-1506
- [22] Incropera, F. P., dan D. P. DeWitt (1998), *Fundamental of Heat Transfer*, 4th ed., Wiley, New York.
- [23] P. Keblinski, J.A. Eastman, D.G. Cahill, “Nanofluids for thermal transport,” *Materials Today* (June) (2005) 36–44.
- [24] Holman, J. P., (1986), *Perpindahan Kalor*, 6th ed., McGraw-Hill, New York



LAMPIRAN



Lampiran 1 Hasil Perhitungan Data Pengujian Fluida Air

Mass flow	Tagangan	T Block	T In Block	T out Block	T in Radiator	T out Radiator	T Air Out	T Air	V	Q	h	Re	Nu
0.004	50	34.81	29.647	30.114	29.978	29.485	28.825	28.511	0.1244	7.8052	1260.641	6171.869	81.695
0.006	50	34.073	29.647	29.958	29.821	29.33	28.825	28.747	0.1866	7.7968	1453.618	9242.647	94.2174
0.008	50	33.909	29.804	30.036	29.9	29.64	28.904	28.432	0.2488	7.7551	1547.858	12354	100.299
0.01	50	33.827	29.647	29.801	29.586	29.485	28.825	28.589	0.311	6.4347	1248.638	15379.07	80.9459
0.012	50	33.827	29.725	29.879	29.743	29.64	28.825	28.589	0.3732	7.7216	1527.402	18485.1	98.9999
0.004	65	37.922	29.882	30.819	30.604	29.95	30.004	28.589	0.1244	15.66	1646.707	6233.478	106.6
0.006	65	37.922	30.353	30.897	30.761	30.259	29.926	28.589	0.1866	13.638	1488.041	9405.065	96.2689
0.008	65	37.84	30.432	30.897	30.761	30.414	29.611	28.432	0.2488	15.543	1724.646	12550.68	111.566
0.01	65	37.758	30.589	30.976	30.918	30.569	29.926	28.589	0.311	16.17	1845.631	15728.05	119.361
0.012	65	37.677	30.51	30.819	30.839	30.646	29.847	28.589	0.3732	15.493	1759.058	18826.02	113.792
0.004	80	45.048	30.589	32.307	32.092	30.646	30.319	28.668	0.1244	28.712	1680.847	6382.341	108.54
0.006	80	44.802	30.667	31.759	31.622	30.878	30.397	28.589	0.1866	27.375	1603.917	9524.789	103.628
0.008	80	44.229	30.903	31.759	31.622	31.033	30.947	28.511	0.2488	28.612	1766.187	12732.25	114.081
0.01	80	43.328	30.981	31.68	31.544	31.111	30.947	28.668	0.311	29.205	1938.11	15915.14	125.186
0.012	80	43.573	31.059	31.602	31.622	31.42	30.712	28.589	0.3732	27.225	1770.546	19098.17	114.363
0.004	95	50.453	31.609	33.951	33.58	31.807	31.498	28.668	0.1244	39.14	1763.256	6553.615	113.486
0.006	95	50.453	31.766	33.246	32.875	31.652	31.733	28.511	0.1866	37.101	1645.887	9778.986	106.007
0.008	95	50.371	31.845	33.09	32.64	31.73	31.733	28.511	0.2488	41.613	1850.547	13029.07	119.2
0.01	95	50.207	31.452	32.62	32.562	32.039	31.419	28.668	0.311	48.799	2138.173	16153.37	137.88
0.012	95	49.962	31.688	32.698	32.64	32.039	30.947	28.511	0.3732	50.637	2268.916	19441.79	146.252

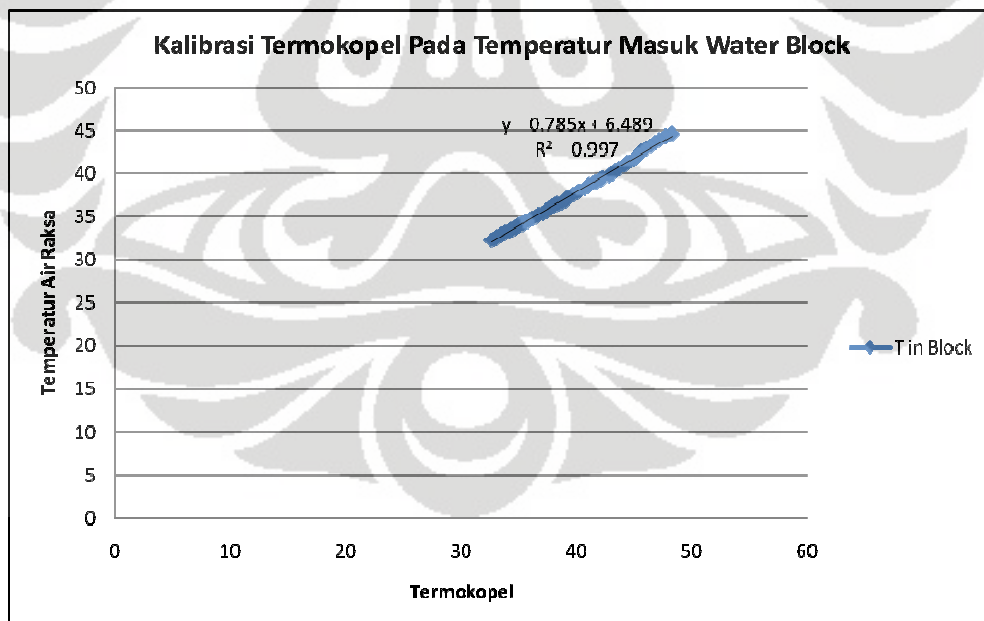
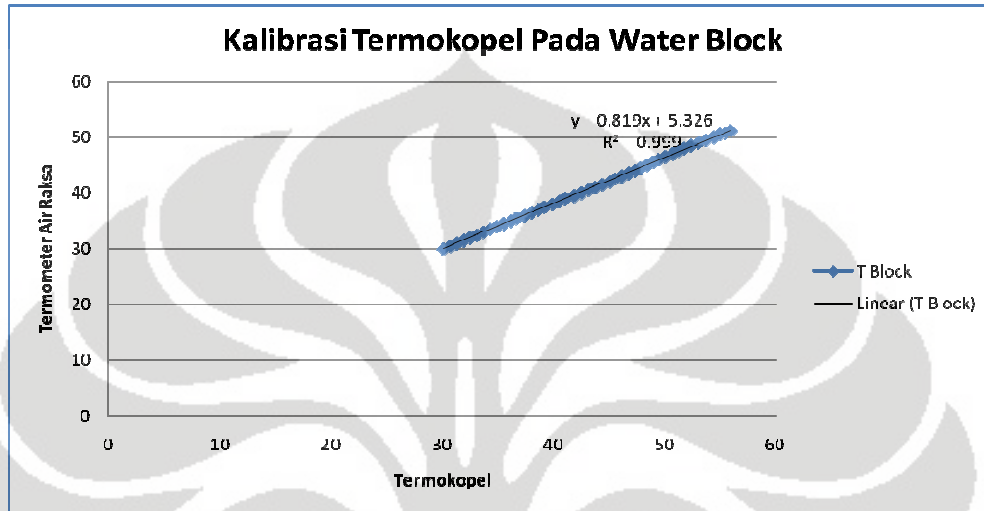
Lampiran 2 Hasil Perhitungan Data Pengujian Nanofluida Dengan Fraksi Volum 1%

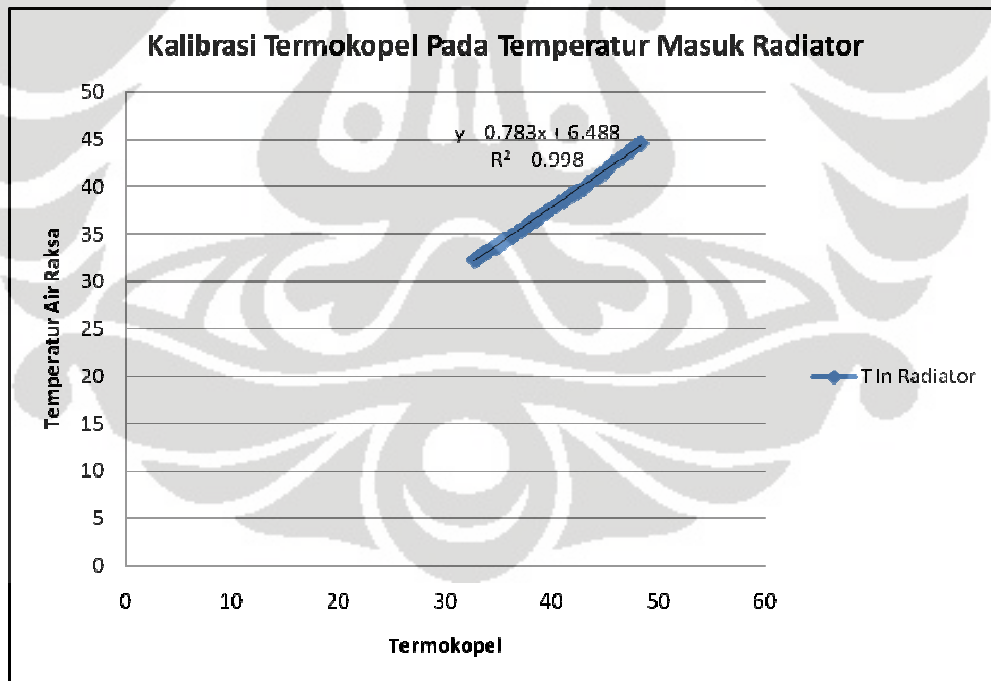
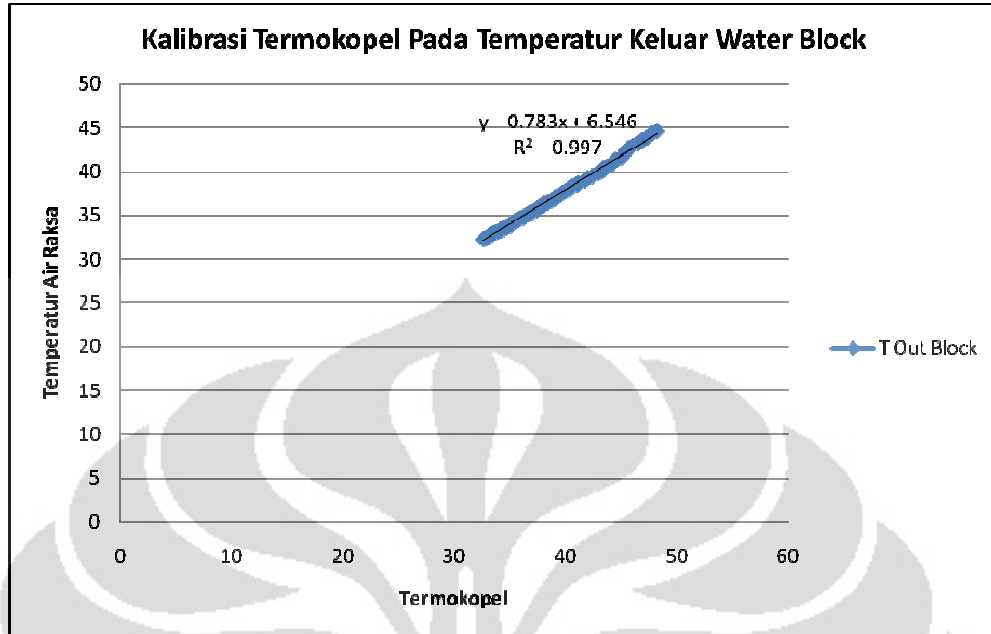
mass flow	Tagangan	T Block	T In Block	T out Block	T in Radiator	T out Radiator	T Air Out	T Air	V	Q	h	Re	Nu
0.004	50	34.073	30.274	30.662	30.448	29.64	28.982	29.14	0.1244	6.3144	1394.571	5654.062	86.6032
0.006	50	33.745	30.196	30.427	30.135	29.717	29.061	29.14	0.1866	5.6392	1307.65	8452.06	81.3371
0.008	50	33.09	29.647	29.879	29.586	29.176	29.847	28.747	0.2488	7.5522	1807.297	11135.83	113.058
0.01	50	33.086	29.882	30.036	29.665	29.408	29.611	28.747	0.311	6.2661	1595.45	13979	99.6025
0.012	50	33.008	29.725	29.879	29.586	29.33	29.847	28.825	0.3732	7.5196	1867.411	16717.84	116.772
0.004	65	37.185	30.589	31.367	30.918	30.027	29.218	27.803	0.1244	12.66	1623.961	5718.081	100.319
0.006	65	36.776	30.51	31.05	30.761	30.027	29.218	27.803	0.1866	13.182	1750.311	8539.579	108.345
0.008	65	36.018	30.468	30.919	30.526	30.027	29.218	27.725	0.2488	14.679	2194.956	11364.38	135.99
0.01	65	35.711	30.196	30.612	30.213	29.717	29.69	28.747	0.311	16.926	2539.235	14115.33	157.792
0.012	65	35.465	30.196	30.508	30.213	29.717	29.768	28.747	0.3732	15.233	2372.042	16919.11	147.481
0.004	80	38.905	30.039	31.21	30.918	29.717	29.297	28.668	0.1244	19.057	1832.328	5673.552	113.604
0.006	80	38.25	30.118	30.897	30.604	29.872	29.454	28.825	0.1866	19.016	1955.504	8488.452	121.388
0.008	80	38.008	30.118	30.741	30.448	29.872	29.69	28.668	0.2488	20.278	2130.353	11298.58	132.348
0.01	80	37.926	30.196	30.748	30.369	29.872	29.926	28.825	0.311	22.459	2398.852	14136.4	148.963
0.012	80	37.857	30.196	30.702	30.291	29.795	30.004	28.825	0.3732	24.705	2655.133	16955.11	164.917
0.004	95	48.048	31.059	33.915	33.032	30.491	30.869	28.982	0.1244	46.464	2377.339	5916.394	144.611
0.006	95	47.586	30.689	32.698	31.701	30.569	30.476	28.904	0.1866	49.033	2456.438	8715.613	150.635
0.008	95	47.259	30.903	32.327	31.622	30.569	30.947	29.061	0.2488	46.341	2358.439	11600.26	144.741
0.01	95	46.686	30.878	32.092	31.622	30.878	31.026	28.982	0.311	49.384	2586.594	14457.98	158.955
0.012	95	46.276	30.878	31.936	31.544	30.878	30.947	28.982	0.3732	51.647	2765.492	17319.24	170.085

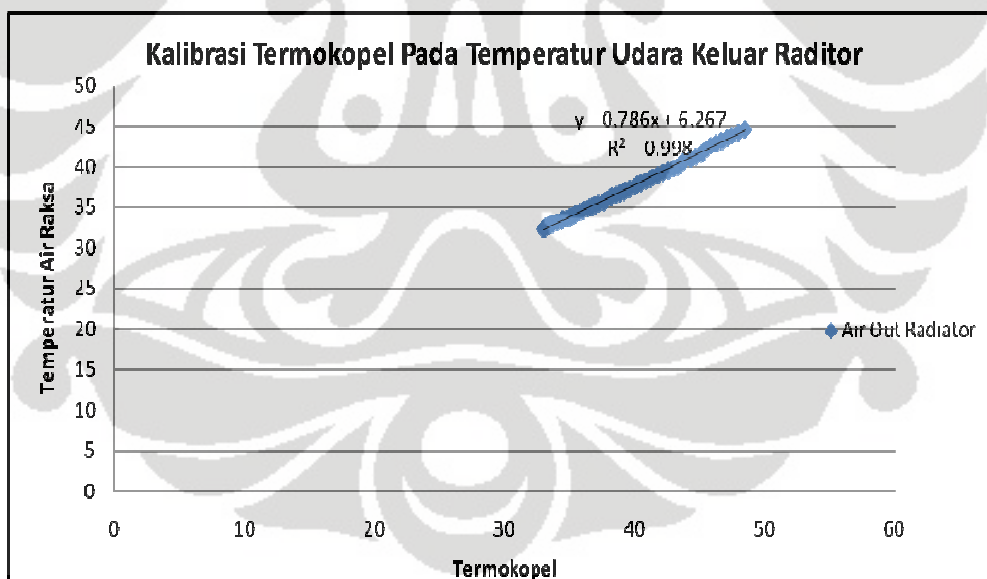
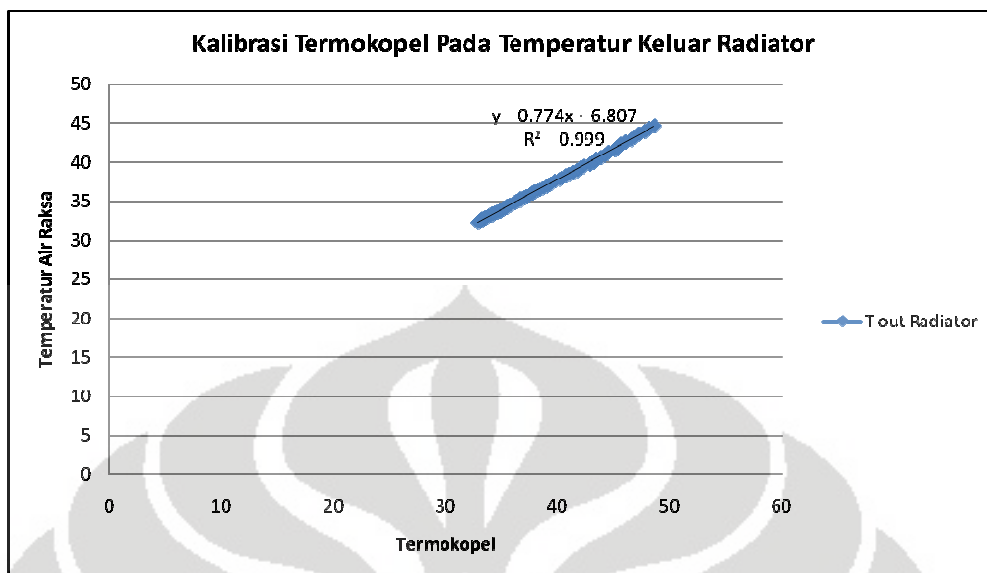
Lampiran 3 Hasil Perhitungan Data Pengujian Nanofluida Dengan Fraksi Volum 4%

mass flow	Tagangan	T Block	T In Block	T out Block	T in Radiator	T out Radiator	T Air Out	T Air	V	Q	h	Re	Nu
0.004	50	33.582	29.097	29.644	29.43	29.021	28.747	29.14	0.1244	7.5175	1421.166	4949.07	82.6062
0.006	50	33.5	29.254	29.644	29.586	29.176	28.825	29.14	0.1866	8.04	1580.175	7435.992	91.765
0.008	50	33.336	29.333	29.644	29.43	29.098	28.511	28.747	0.2488	8.5487	1769.017	9922.988	102.684
0.01	50	33.172	29.333	29.566	29.43	29.253	28.43	28.747	0.311	8.0057	1712.272	12393.45	99.4357
0.012	50	32.926	29.333	29.566	29.273	29.098	28.432	28.825	0.3732	9.6068	2200.121	14872.14	127.766
0.004	65	36.857	29.411	30.524	29.978	29.33	28.511	27.803	0.1244	15.301	1768.205	5012.583	102.07
0.006	65	36.694	29.725	30.602	30.839	30.104	28.825	27.803	0.1866	18.086	2205.019	7550.693	126.997
0.008	65	36.53	29.725	30.524	29.9	29.64	28.825	27.725	0.2488	21.97	2730.758	10059.12	157.348
0.01	65	35.465	30.432	30.976	30.604	29.95	28.747	28.747	0.311	18.703	3127.714	12733.11	179.025
0.012	65	35.301	30.432	30.897	30.526	29.95	28.668	28.747	0.3732	19.184	3294.289	15266.55	188.645
0.004	80	38.659	30.51	31.897	31.761	30.104	29.14	28.668	0.1244	19.079	2037.49	5149.458	115.96
0.006	80	38.086	30.51	31.367	30.918	30.182	27.803	28.825	0.1866	17.681	1969.498	7679.219	112.429
0.008	80	37.84	30.51	31.289	30.996	30.182	27.882	28.668	0.2488	21.428	2458.136	10230.19	140.385
0.01	80	37.595	30.432	31.132	30.918	30.259	27.882	28.825	0.311	24.068	2812.568	12754.85	160.843
0.012	80	37.267	30.432	31.054	30.839	30.104	27.961	28.825	0.3732	25.662	3131.79	15292.76	179.179
0.004	95	47.914	30.432	34.108	33.562	30.498	30.24	28.982	0.1244	50.593	2574.879	5273.782	144.786
0.006	95	47.505	30.274	32.855	32.701	30.274	30.476	28.904	0.1866	53.265	2660.431	7786.308	150.793
0.008	95	46.931	30.274	32.385	32.072	32.072	32.072	29.061	0.2488	58.081	2963.979	10327.67	168.447
0.01	95	46.194	30.039	31.723	31.309	30.414	29.454	28.982	0.311	57.902	3010.558	12782.55	171.971
0.012	95	45.785	30.039	31.602	31.231	30.337	29.454	28.982	0.3732	64.488	3431.072	15318.73	196.127

Lampiran 4 Hasil Kalibrasi Termokopel







Lampiran 5 Beberapa Grafik Pengambilan Data Pada Kondisi Steady State

