



UNIVERSITAS INDONESIA

**KARAKTERISTIK NANOFLUIDA CAMPURAN MULTI WALLED CARBON
NANOTUBE PADA ALIRAN PIPA KAPILER VERTIKAL**

SKRIPSI

FAJAR EKA SETIAWAN

0405080106

FAKULTAS TEKNIK

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN

DEPOK

JUNI 2010

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Fajar Eka Setiawan

NPM : 0405080106

Tanda Tangan :

Tanggal : 21 Juni 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Fajar Eka Setiawan

NPM : 0405080106

Program Studi : Teknik Perkapalan

Judul Skripsi : Karakteristik Nanofluida Campuran MultiWalled Carbon Nanotube Pada Aliran Pipa Kapiler Vertikal

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof.Dr.Ir. Yanuar, MSc, MEng (.....)

Penguji 1 : Dr. Sunaryo (.....)

Penguji 2 : Ir. Marcus A. Talahatu , MT (.....)

Penguji 3 : Ir. Hadi Tresno Wibowo (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 28 Juni 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Perkapalan pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai dengan penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada :

- (1). Prof. Yanuar selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- (2). Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan baik dukungan moral maupun material.
- (3). Dendi Rahmat, Dinda Srikandi, dan Alfi Syahriyani yang telah membantu saya dalam proses penulisan skripsi ini.
- (4). Dosen-dosen teknik perkapalan yang telah membimbing saya di jurusan ini.
- (5). Keluarga besar Departemen Teknik Mesin FTUI.
- (6). Keluarga Besar IMM FTUI2007, MPM FTUI 2008, DPM UI 2009.
- (6) Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan teknologi ke depan.

Depok, 21 Juni 2010

Penulis

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

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

Nama : Fajar Eka Setiawan

NPM : 0405080106

Program Studi : Teknik Perkapalan

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Karakteristik Nanofluida Campuran MultiWalled Carbon Nanotube Pada Aliran Pipa Kapiler Vertikal

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data(database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya,

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 12 Juli 2010

Yang menyatakan

(Fajar Eka Setiawan)

ABSTRAK

Nama : Fajar Eka Setiawan
Program Studi : Teknik Perkapalan
Judul : Karakteristik Nanofluida Campuran Nanofluida MultiWalled Carbon Nano Tube Pada Aliran Pipa Kapiler Vertikal.

Kerugian Tekanan dalam pipa tergantung dari viskositasnya. Viskositas tidak hanya dipengaruhi oleh temperatur tetapi juga dipengaruhi oleh substansi isi dalam fluidanya. Penelitian ini penting untuk memahami karakteristik aliran dalam fluida. Tujuan dari riset ini adalah untuk menganalisis efek dari campuran air dengan penambahan Multiwalled Carbon Nanotube dengan konsentrasi 1% dan 4%. Dengan menggunakan pipa kapiler, hubungan antara head dan debit ditampilkan dengan jelas, dimana aliran dalam pipa 650 x 2 dengan head 0.85 meter. Fenomena ini harus diteliti lebih lanjut dimana peningkatan viskositas tidak hanya diikuti oleh degradasi dari kapasitas aliran.

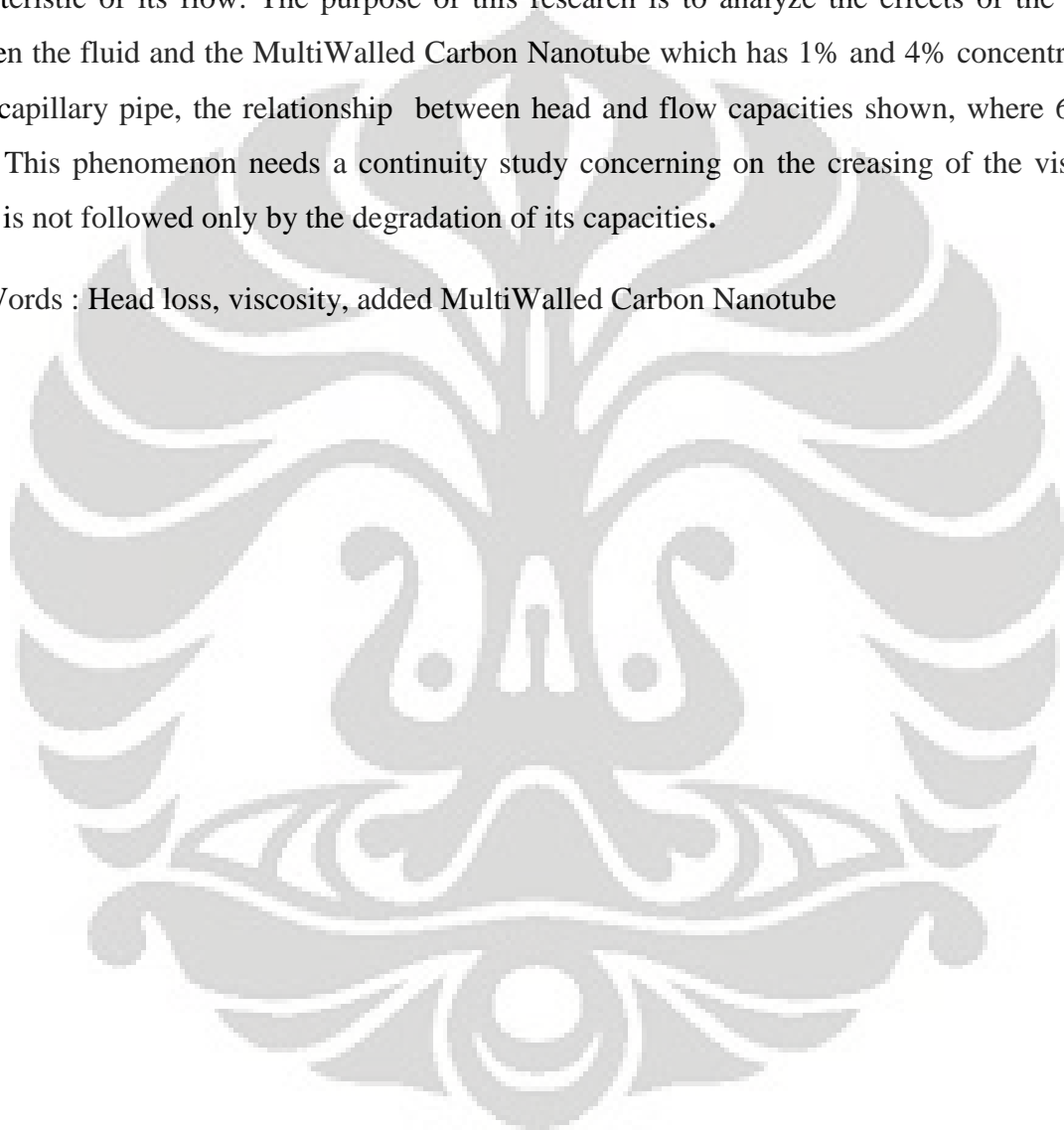
Kata Kunci :

Head Loss, viskositas, penambahan Multiwalled carbon nano tube.

ABSTRACT

The head loss in pipe depends on its viscosity. The viscosity is influenced by not only temperature, but also substances of its fluid. The research is important to do in order to know the characteristic of its flow. The purpose of this research is to analyze the effects of the mixing between the fluid and the MultiWalled Carbon Nanotube which has 1% and 4% concentrate. By using capillary pipe, the relationship between head and flow capacities shown, where 650 x 2 pipes. This phenomenon needs a continuity study concerning on the creasing of the viscosity which is not followed only by the degradation of its capacities.

Key Words : Head loss, viscosity, added MultiWalled Carbon Nanotube



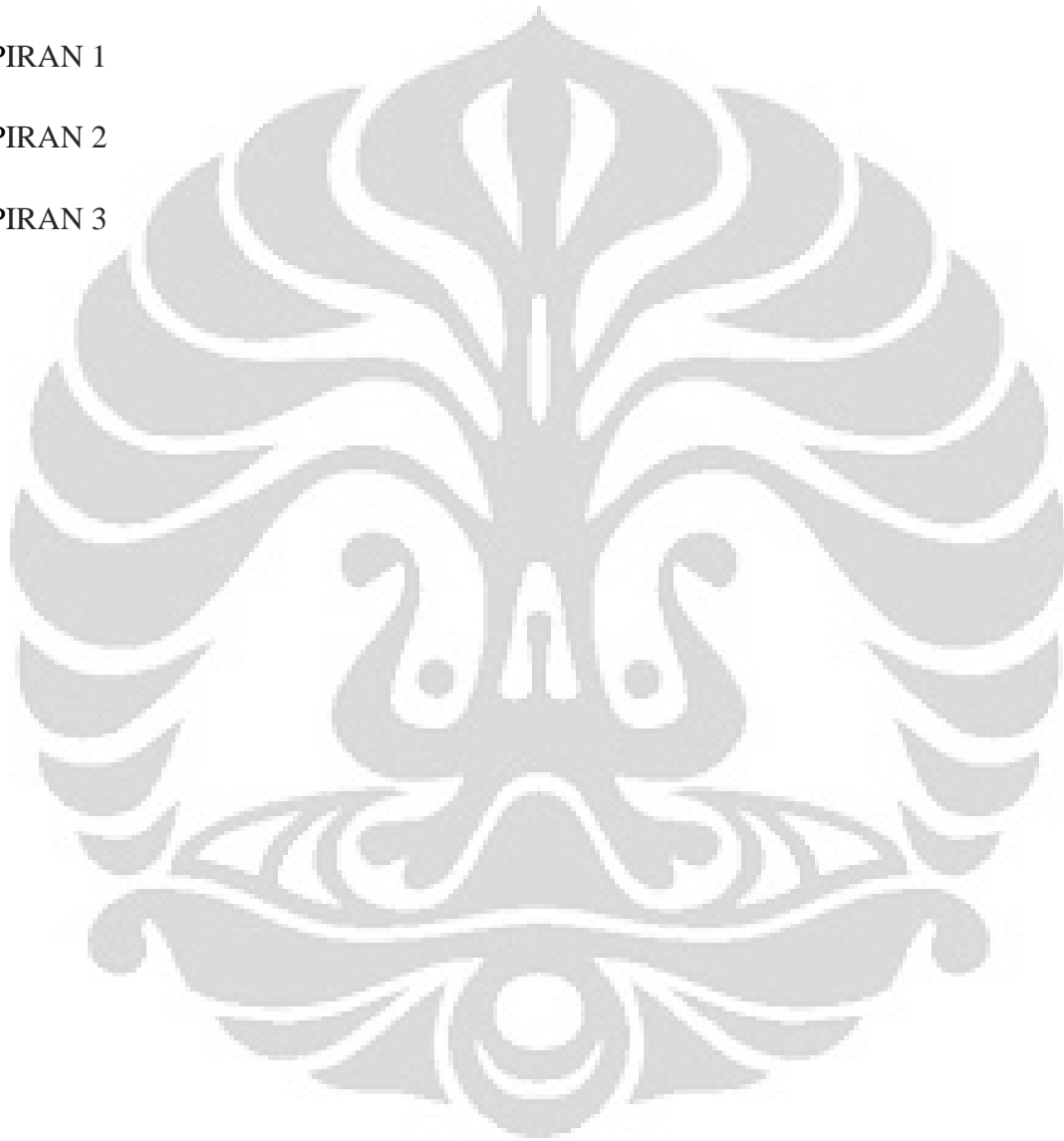
DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|---------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS | ii |
| LEMBAR PENGESAHAN | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS | v |
| ABSTRAK | vi |
| ABSTRACT | vii |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 LATAR BELAKANG | 1 |
| 1.2 PERMASALAHAN | 2 |
| 1.3 PEMBATASAN MASALAH | 2 |
| 1.4 TUJUAN PENULISAN | 3 |
| 1.5 METODOLOGI PENELITIAN | 3 |
| 1.6 SISTEMATIKA PENULISAN | 3 |
| BAB II DASAR TEORI | 5 |
| 2.1 FLUIDA NEWTONIAN DAN NON-NEWTONIAN | 6 |
| 2.2 VISKOSITAS | 6 |

| | |
|---|----|
| 2.3 DENSITAS | 7 |
| 2.4 VISKOSITAS KINEMATIK..... | 7 |
| 2.5 REYNOLDS NUMBER..... | 10 |
| 2.6 ALIRAN FLUIDA INCOMPRESSIBLE di DALAM PIPA | 11 |
| 2.6.1 PERSAMAAN-PERSAMAAN GERAK UNTUK FLUIDA VISKOS | 11 |
| 2.6.2 PENURUNAN PERSAMAAN NAVER-STOKES UNTUK ALIRAN SERAGAM PIPA BUNJAR DATAR..... | 12 |
| 2.7 NANOFUIDA | 15 |
| 2.7.1 PERSIAPAN NANOFUIDA..... | 15 |
| 2.8 NANOKARBON | 16 |
| 2.8.1 DEFINISI NANOKARBON | 16 |
| 2.8.1.a KARBON NANOTUBE..... | 18 |
| 2.8.1.b JENIS KARBON NANOTUBE | 19 |
| 2.8.1.c SIFAT FISIK KARBON NANOTUBE..... | 19 |
| BAB III PERALATAN DAN PROSEDUR PENGUJIAN | 23 |
| 3. 1 GARIS BESAR PENGUJIAN..... | 23 |
| 3.1.1 PARAMETER-PARAMETER YANG DITENTUKAN | 23 |
| 3.1.2 KOMPONEN-KOMPONEN ALAT | 23 |
| 3.2 DESKRIPSI ALAT..... | 24 |
| 3.2.1 TABUNG..... | 24 |

| | |
|--|----|
| 3.2.2 PIPA KAPILER..... | 25 |
| 3.2.3 RESERVOIR | 25 |
| 3.2.4 GELAS UKUR | 26 |
| 3.2.5 TIMBANGAN | 26 |
| 3.2.6 PENCATAT WAKTU..... | 26 |
| 3.2.7 KERANGKA PENYANGGA | 26 |
| 3.3 PRINSIP KERJA ALAT..... | 27 |
| 3.4 PROSEDUR PENGUJIAN..... | 28 |
| 3.4.1 LOKASI PENGUJIAN..... | 28 |
| 3.4.2 FLUIDA KERJA | 28 |
| 3.4.3 PERSIAPAN SEBELUM PENGUJIAN..... | 28 |
| 3.4.5 PENGUJIAN..... | 29 |
| 3.4.6 HASIL PENGUJIAN..... | 29 |
| BAB IV DATA DAN ANALISIS | 30 |
| 4.1 PENGOLAHAN DATA | 30 |
| 4.1.1 SUMBER DATA..... | 30 |
| 4.1.2 MENENTUKAN VOLUME AIR | 30 |
| 4.1.3 MENENTUKAN VISKOSITAS AIR | 31 |
| 4.1.4 MENENTUKAN DEBIT AIR..... | 31 |
| 4.1.5 MENENTUKAN KECEPATAN AIR..... | 31 |
| 4.2 ANALISIS | 31 |

| | |
|-------------------------------|----|
| 4.2.1 ANALISIS KESALAHAN..... | 31 |
| 4.2.2 ANALISIS HASIL..... | 33 |
| BAB V KESIMPULAN..... | 36 |
| DAFTAR REFERENSI..... | 37 |
| LAMPIRAN 1 | |
| LAMPIRAN 2 | |
| LAMPIRAN 3 | |



DAFTAR GAMBAR

Halaman

| | |
|---|----|
| GAMBAR II.1 Perubahan Bentuk Akibat Gaya Geser | 5 |
| GAMBAR II.2 Profil Aliran Laminar | 9 |
| GAMBAR II.3 Jenis Karbon Nanotube..... | 18 |
| GAMBAR II.4 Tabel Penelitian Terdahulu Mengenai CNT..... | 21 |
| GAMBAR III.1 Tabung..... | 24 |
| GAMBAR III.2 Pipa Kapiler..... | 25 |
| GAMBAR III.3 Reservoir | 26 |
| GAMBAR III.4 Kerangka Penyangga..... | 27 |
| GAMBAR IV.1 Grafik Debit vs Head Pipa 650 x 2 | 33 |
| GAMBAR IV.2 Grafik Reynolds Number vs Head Pipa 650 x 2 | 34 |

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Beberapa tahun belakangan ini, banyak penelitian mengenai nanoteknologi. Salah satunya ialah mengenai nanofluida. Aplikasi nano fluida banyak dapat diaplikasikan pada beberapa aplikasi teknologi pendingin. Hal ini berkaitan dengan eksperimen yang dibutuhkan pada beberapa aplikasi teknologi pendingin berupa kebutuhan mengenai sistem pemindahan kalor yang kecil. Untuk itu berbagai penelitian dilakukan untuk menemukan media penghantaran kalor yang baru yaitu dengan mencampurkan partikel logam yang memiliki sifat termal yang baik dengan fluida cair. Hal ini dilatarbelakangi oleh meningkatnya kebutuhan akan penghantaran kalor yang lebih baik dan disertai penghematan ruang.

Pengembangan penelitian yang dilakukan beberapa tahun belakangan ini adalah dengan menambah partikel nano berupa karbon, logam maupun logam oksida kedalam fluida dasar untuk memperbaiki kinerja pemindahan kalor baik pada permasalahan konduktifitas termal maupun konveksi termalnya. Partikel nano memiliki banyak bentuk, mulai dari berbentuk bola, silinder hingga lembaran. Karbon partikel nano berbentuk silinder disebut karbon nanotube. Salah satu tipe dari karbon ini ialah *Multi-Walled Carbon Nanotubes* (MWCNT) yang memiliki banyak dinding atau lapisan pada konfigurasi tunggal. Larutan partikel berukuran sangat kecil ke dalam fluida dasar dimana partikel ini tetap tersuspensi secara permanen kedalam fluida dasarnya akibat adanya gerakan Brownian dari partikel nano tersebut. Penelitian-penelitian terhadap nanofluida yang telah dilakukan oleh para peneliti menunjukkan bahwa fluida ini memiliki potensi untuk memenuhi kebutuhan karena kelebihan-kelebihan yang dimilikinya. Dari penelitian yang telah dilakukan oleh Choi (1995), Lee et al. (1995), dan Nandy (2002) menunjukkan bahwa nanofluida memiliki sifat konduktifitas termal yang lebih tinggi dibandingkan air. Sehingga bila nanofluida diterapkan sebagai media pada alat penukar kalor (*heat exchanger*), maka akan meningkatkan efisiensi alat tersebut.

Penelitian lebih lanjut mutlak harus dilakukan untuk dapat mengaplikasikan fluida secara efektif dan efisien. Salah satu penelitian itu adalah tentang pengaruh penambahan partikel nano terhadap viskositas air maupun terhadap aliran ketika nanofluida dialirkan melalui sebuah pipa. Hal ini penting karena dengan adanya penambahan partikel yang dilarutkan dalam air, akan diteliti apakah akan terjadi perubahan viskositas air maupun alirannya. Dan jika terjadi perubahan, maka akan dianalisis dengan pendekatan konsep mekanika fluida mengapa hal itu bisa terjadi.

Untuk melaksanakan penelitian tersebut, digunakan alat *capillary tube viscometer*. Dimana akan didapatkan nilai viskositas nanofluida dan hubungan antara debit dan *head* untuk tiap fluida dalam selang waktu yang relatif sama.

I.2 Permasalahan

Dengan adanya suatu partikel MWCNT berukuran nanometer yang terlarut di dalam air, maka ada perlunya penelitian dan analisis tentang pengaruh penambahan partikel nano MWCNT terhadap viskositas air maupun airnya di dalam pipa.

I.3 Pembatasan Masalah

Dalam proses eksperimental ini penulis menggunakan beberapa batasan masalah, diantaranya adalah :

- Fluida yang digunakan adalah air DI dan campuran air DI dengan partikel MWCNT dengan konsentrasi 1% dan 4% terhadap volume.
- Timbangan yang digunakan adalah timbangan elektronik AND SK – 5001 dengan beban maksimum 5 kg dan memiliki tingkat ketelitian 1.
- Pipa kapiler \varnothing 2 mm panjang 650 mm.
- Pencatat waktu dengan menggunakan jam tangan casio yang bisa berfungsi sebagai *stopwatch* dengan tingkat ketelitian 0.01 detik.
- Pengujian dilakukan untuk 6 variasi *head* dari 850 mm dengan pengurangan 30 mm untuk tiap *head*.

- Temperatur diasumsikan konstan pada temperature kamar (28°C).
- Dikarenakan ukuran pipa kapiler yang digunakan relative kecil maka pada pipa kapiler tersebut tidak diinstalasikan sebuah manometer untuk mengukur *pressure drop* yang terjadi pada pipa kapiler tersebut.
- Pengujian ini memakai pendekatan persamaan (II.4) yang menyatakan hubungan antara viskositas kinematik, debit, dan suatu bilangan yang menyatakan konstanta alat (Munson, et al , 1998).

I.4 Tujuan Penulisan.

Tujuan dari skripsi ini adalah untuk menganalisis pengaruh penambahan partikel nano partikel nano MWCNT dengan konsentrasi berbeda terhadap viskositas air maupun sifat alirannya ketika nanofluida tersebut dialirkan melalui sebuah pipa.

I.5 Metodologi Penelitian

Dalam melakukan penelitian terhadap ini penulis melakukan metodologi sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Berupa penelusuran pustaka melalui literature seperti buku, diskusi, hasil penelitian dan internet.

2. Pembuatan Alat

Berupa pembuatan dan perakitan alat uji tersebut.

3. Pengambilan Data

Berupa proses pengambilan data sesuai dengan prosedur untuk fluida air dan campuran dengan MWCNT dengan konsentrasi yang bervariasi.

I.6 Sistematika Penulisan

BAB I : PENDAHULUAN

Berisikan Latar Belakang, permasalahan, pembatasan masalah, tujuan penulisan, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II : DASAR TEORI

Mengulas dasar teori tentang fluida dan sifat-sifat dasarnya, aliran fluida *incompressible* di dalam pipa, *Multi Wall Carbon Nanotube*(MWCNT), dan nanofluida secara umum.

BAB III : PERALATAN DAN PROSEDUR PENGUJIAN

Membahas mengenai komponen dan tahapan dalam perakitannya, skema alat, dan prosedur pengujian untuk mendapatkan data yang diinginkan.

BAB IV : Data DAN ANALISIS

Mengulas mengenai tentang cara pengolahan data sehingga menghasilkan plot grafik dan disertai penyajian analisis terhadap grafik tersebut.

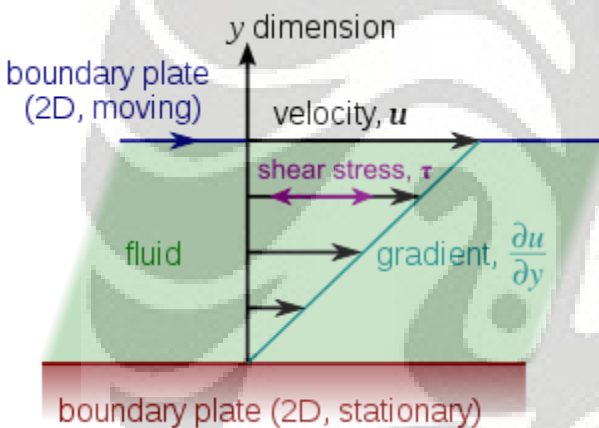
BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi Kesimpulan terhadap hasil yang didapat dari seluruh kegiatan penelitian serta saran ke depan untuk memperbaiki ataupun melengkapi penelitian.

BAB II

DASAR TEORI

Mekanika fluida merupakan bidang ilmu yang sangat penting di berbagai area keteknikan. Mekanika fluida sendiri didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari tentang sifat-sifat fluida yang bergerak. Ilmu perreayasaan tentang mekanika fluida telah dikembangkan melalui pemahaman mengenai sifat-sifat fluida, penerapan hukum-hukum dasar mekanika dan termodinamika, dan percobaan-percobaan yang teratur. Sedangkan Fluida secara khusus didefinisikan sebagai zat yang berdeformasi terus menerus selama dipengaruhi tegangan geser. Gaya geser adalah komponen gaya yang menyinggung permukaan, dan jika gaya ini dibagi dengan luas permukaan tersebut dinamakan tegangan geser rata-rata pada permukaan tersebut.



Gambar II.1 Perubahan bentuk akibat gaya geser

Pada gambar II.1 suatu zat ditempatkan di antara dua buah plat sejajar dengan jarak-antara yang kecil dan yang sedemikian luasnya sehingga keadaan pada tepi-tepi plat dapat diabaikan. Plat bawah terpasang tetap, dan suatu gaya P dikenakan pada plat atas, yang mengerahkan tegangan geser P/A pada zat apapun yang terdapat di antara plat-plat tersebut. A adalah luas plat atas. Bila gaya P menyebabkan plat atas bergerak dengan suatu kecepatan, maka kita akan dapat menyimpulkan bahwa zat diantara kedua plat tersebut adalah suatu fluida. Fluida yang langsung bersentuhan dengan suatu batas benda padat mempunyai kecepatan yang sama dengan batas itu, yaitu pada batas tidak terdapat gelinciran.

$$\tau = \mu \left(\frac{du}{dy} \right) \dots \dots \dots (II.1)$$

Persamaan di atas menunjukkan bahwa tegangan geser (τ)

Yang bekerja pada suatu permukaan berbanding lurus dengan suatu konstanta viskositas fluida (μ) dan perubahan kecepatan terhadap jarak perubahan yang terjadi $\left(\frac{du}{dy} \right)$. Dalam kondisi seperti di atas, hubungan antara tegangan geser dan laju perubahan bentuk sudut untuk aliran fluida satu dimensi.

II. 1 Fluida Newtonian dan Non- Newtonian

Fluida ditinjau dari tegangan geser yang dihasilkan maka fluida dapat dikelompokkan dalam dua yaitu fluida *Newtonian* dan *Non-Newtonian*. Pada fluida Newtonian terdapat hubungan yang linier antara besarnya tegangan geser yang terjadi dan laju perubahan bentuk yang diakibatkan. Hal ini dapat diartikan bahwa viskositas fluida (μ) konstan. Sedangkan pada fluida non-Newtonian terdapat hubungan yang tidak linier antara besarnya tegangan geser yang terjadi dan laju perubahan bentuknya. Hal ini diilustrasikan dengan jelas pada gambar II.2.

Plastik ideal mempunyai tegangan tertentu seperti peristiwa *yielding* sebelum menghasilkan hubungan linier yang konstan antara tegangan geser dan laju perubahan bentuknya. Yang termasuk plastik ideal adalah pasta gigi dan *mayonnaise*. Suatu zat tiksotropik seperti tinta cetak, mempunyai viskositas yang tergantung pada perubahan bentuk sudut zat langsung sebelumnya dan mempunyai kecenderungan mengental bila tidak bergerak. Gas dan cairan encer cenderung bersifat fluida Newton, sedangkan hidrokarbon berantai panjang yang kental lebih cenderung bersifat sebagai fluida non-Newtonian.

II.2 Viskositas

Viskositas (μ) sering disebut juga viskositas dinamik atau viskositas mutlak, merupakan sifat fluida yang mendasari diberikannya tahanan terhadap tegangan geser oleh fluida tersebut. Di antara semua sifat-sifat fluida, viskositas mendapatkan perhatian yang terbesar dalam telaahan tentang aliran fluida. Persamaan (II.1) menyatakan bahwa viskositas berbanding lurus dengan tegangan geser.

Viskositas sangat sensitive terhadap perubahan temperature. Kenyataan menegaskan bahwa viskositas gas meningkat seiring dengan meningkatnya temperature, tetapi hal itu berlaku sebaliknya untuk cairan. Hubungan berkebalikan tersebut disebabkan perbedaan penyebab viskositas pada dua fluida di atas. Tahanan suatu cairan terhadap tegangan geser tergantung pada kohesinya. Kohesi merupakan penyebab utama viskositas dalam cairan. Terlebih lagi pada eksperimental ini menggunakan pipa kapiler, sehingga kohesi diprediksikan akan banyak memegang peranan dalam aliran fluida.

Cairan dengan susunan molekul yang relative lebih rapat, mempunyai gaya-gaya kohesi yang relative lebih besar pula. Kohesi berkurang dengan naiknya temperature sehingga menurunkan viskositas. Sedangkan pada gas, sebagian besar tahanan terhadap tegangan geser merupakan akibat dari perpindahan momentum molecular. Semakin naik temperature, maka gerakan partikel gas semakin tak baraturan sehingga meningkatkan transfer momentum molekularnya. Jadi viskositas gas bebrbanding lurus dengan temperature.

II.3 Densitas

Densitas (ρ) atau kerapatan suatu fluida didefinisikan sebagai massanya per volume satuan.

$$\rho = \frac{m}{v} \dots \dots \dots (II.2)$$

Secara umum dapat disimpulkan bahwa air memiliki densitas yang cenderung turun dengan naiknya temperature.. Pergerakan nilai densitas cenderung naik sebelum mencapai temperature 4°C. Pada temperatur ini, air memiliki nilai densitas yang tertinggi dibandingkan pada temperature lainnya. Untuk temperature lebih dari 4 °C, nilai densitas air cenderung untuk turun. Keanehan inilah yang disebut dengan anomali air.

II. 4 Viskositas Kinematik

Viskositas kinematik (μ) didefinisikan sebagai perbandingan antara viskositas dinamik (ν) dengan kerapatan massa (ρ).

$$v = \frac{\mu}{\rho} \dots\dots\dots(\text{II.3})$$

Pada alat *capillary tube viscometer* ini, viskositas kinematik merupakan suatu variable yang bisa didapatkan dari persamaan :

$$v = \frac{K}{Q} \dots\dots\dots(\text{II.4})$$

(Munson, et al., 1998)

Nilai K merupakan konstanta untuk alat tersebut, sedangkan variabel Q didapatkan dari percobaan. Sehingga dengan menggunakan fluida air yang telah diketahui viskositas kinematiknya dari referensi, maka kita akan mendapatkan nilai konstanta alat (K). Lalu dengan menggunakan persamaan (II.4) untuk fluida yang berbeda, kita akan mendapatkan nilai viskositas kinematik dari fluida tersebut. Perlu diketahui bahwa persamaan (II.4) hanya berlaku untuk aliran yang sudah berkembang penuh.

Viskositas kinematik yang didapatkan tadi bisa digunakan dalam banyak penerapan, misalnya dalam bilangan Reynolds yang tanpa dimensi untuk suatu aliran fluida.

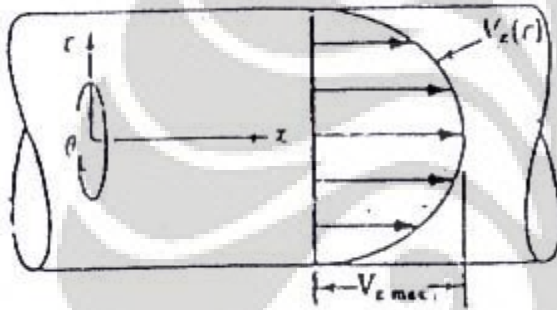
$$Re = \frac{\mu D}{v} \dots\dots\dots(\text{II.5})$$

Bilangan Reynolds digunakan untuk menentukan sifat pokok aliran, apakah laminar atau turbulen, serta posisi relatifnya pada skala yang menunjukkan pentingnya secara relatif kecenderungan turbulen terhadap kecenderungan laminar. Reynoldds menemukan bahwa selalu menjadi laminar bila kecepatannya diturunkan sedemikian hingga nilai Re lebih kecil daripada 2000. Inilah bilangan Reynolds kritis bawah untuk aliran pipa yang penting artinya dalam praktek. Aliran akan berubah dari laminar menjadi turbulen dalam daerah bilangan Reynolds dari 2000 sampai 4000(Streeter, V.L., 1996). Diatas nilai 4000 akan menghasilkan aliran turbulen dan intensitas turbulensi meningkat seiring meningkatnya bilangan Reynolds.

Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan, atau lamina-lamina, dengan satu lapisan meluncur secara lancer pada lapisan yang bersebelahan dengan saling tukar momentum secara molecular saja(Streeter, V.L., 1996).

Kecenderungan ke arah ketidakstabilan dan turbulensi diredam habis oleh gaya-gaya geser viskos yang memberikan tahanan terhadap gerakan relative lapisan-lapisan fluida yang bersebelahan.

Meskipun fakta-fakta dari aliran fluida biasanya dapat dimunculkan dengan eksperimen, pendekatan analisis terhadap masalahnya juga penting untuk dimengerti mekanisme dari alirannya. Untuk mekanisme sebuah fluida real, yang terdiri dari aplikasi hukum-hukum fisika dasar yang dihasilkan juga dengan eksperimen, sehingga penggunaan teori murni sendiri jarang dalam lingkup ini.



Gambar II.2 Aliran Laminar

(Sumber Reuben M. Olson & Steven J. Wright, 1993)

Dari gambar di atas, analisis aliran laminar pada sebuah jalur pipa dapat dimulai dengan memunculkan fakta-fakta bahwa :

1. Kecepatan maksimum pada sumbu pipa dan tidak ada kecepatan pada dinding(kondisi tidak tergelincir).
2. Distribusi simetris tegangan geser dan kecepatan.
3. Distribusi linier tegangan geser dalam fluida.
4. Tegangan geser dalam fluida sesuai persamaan $\tau = \mu \frac{du}{dy}$

Aliran turbulen mempunyai karakteristik gerakan partikel-partikel fluida yang sangat tidak beraturan, dengan saling tukar momentum dalam arah melintang yang ekstrim. Seperti telah dijelaskan di atas bahwa sifat pokok aliran ini ditentukan oleh besarnya bilangan Reynolds. Memang setiap kita membicarakan sifat aliran suatu fluida maka tidak akan pernah lepas dari bilangan tak berdimensi ini.

II. 5 Reynolds Number

Analisis lebih lanjut terhadap persamaan (II.5) tentang bilangan Reynolds, dapat dijelaskan bahwa untuk nilai Re yang besar atau dengan kata lain semua suku dalam pembilang adalah besar dibandingkan penyebut, ini secara tidak langsung menyatakan adanya fluida yang meluas, kecepatan yang tinggi, kerapatan yang besar, viskositas yang sangat kecil, atau gabungan hal-hal ekstrim ini. Suku-suku pembilang mempunyai kaitan dengan gaya lembam, atau gaya yang disebabkan oleh percepatan atau perlambatan fluida. Suku penyebut adalah penyebab gaya geser viskos. Jadi parameter bilangan Reynolds juga dapat dipandang sebagai perbandingan gaya lembam terhadap gaya viskos. Re yang besar menunjukkan aliran yang sangat turbulen dengan kerugian yang sebanding dengan kuadrat kecepatan. Turbulensi dapat berskala kecil, yang terdiri dari sejumlah besar pusaran-pusaran kecil yang cepat mengubah energi mekanik menjadi kerugian melalui kerja viskos atau dapat berskala besar, seperti vortex-vorteks serta putaran-putaran yang besar disungai atau hampasan udara. Pusaran-pusaran besar membangkitkan pusaran-pusaran yang lebih kecil, yang pada akhirnya menciptakan turbulensi berskala kecil. Aliran turbulen dapat dipandang sebagai aliran halus serta lancar, mungkin seragam, dengan aliran sekunder yang terbangkitkan pada aliran tersebut. Aliran turbulen berskala kecil mempunyai fluktuasi-fluktuasi kecil kerapatan yang terjadi dengan frekuensi yang tinggi (Streeter, V.L., 1996).

Sebenarnya kekasaran permukaan dinding pipa tidak mempengaruhi nilai *pressure drop* pada aliran laminar (Streeter, V.L., 1996). Hal ini dapat diterangkan dengan adanya selaput laminar pada dinding pipa. Nilai ketebalan selaput ini berbanding terbalik dengan bilangann Reynolds. Untuk daerah bilangan Reynolds yang masih dalam batasan aliran laminar, selaput tersebut menutup tonjolan kekasaran yang berukuran kecil seara relatif sempurna sehingga mengakibatkan pipa seolah-olah memiliki factor gesekan

yang sama dengan gaktor gesekan pipa licin. Untuk bilangan Reynolds yang lebih besar, tonjolan-tonjolan kasar menembus selaput lamnar, dan tiap tonjolan mengakibatkan turbulensi ekstra yang memperbesar *pressure drop*. Sedangkan untuk aliran yang sangat turbulen, tebal selaput tersebut dapat diabaikan dalam perbandingan dengan tinggi tonjolan kekasaran, dan tiap tonjolan akan berakibat pada turbulensi sepenuhnya.

Efek dari perbedaan kedua jenis sifat aliran terhadap penelitian ini adalah besarnya gesekan yang terjadi antara fluida dengan pipa kapiler. Tetapi pengaruh ini hanya berlaku untuk aliran turbulen.

II.6 Aliran Fluida Incompressible di Dalam Pipa

II.6.1 Persamaan-persamaan gerak untuk fluida viskos.

Sebuah elemen fluida yang tidak viskos menerima dua buah gaya-body force dan gaya tekanan(Pressure force) pada permukaannya. Gaya tekanan adalah gaya yang berasal dari tekanan termodinamik. Elemen fluida pada fluida viskos yang bergerak mengalami gaya permukaan tambahan, yaitu gaya-gaya tekanan dialami oleh fluida tidak viskos yang bergerak.

Dengan mensubstitusi persamaan untuk kecepatan, tegangan geser, dan tegangan normal akan menghasilkan persamaan gerak lengkap untuk fluida viskos yang bergerak. Persamaan ini disebut persamaan Navier-Stokes. Untuk fluida dengan viskositas konstan dan aliran tak mampu mampat, persamaan itu menjadi

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right) + \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) + \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right) \right) = \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right) + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right) + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right) \right) = \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right) + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right) + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right) \right) = \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right)$$

(II.6)

Perbandingan dengan persamaan-persamaan Euler memperlihatkan bahwa persamaan Navier-Stokes terdapat suku-suku tambahan yang memperhitungkan efek-efek viskos.

Dalam sistem kordinat polar silinder (r, θ, z) , persamaan Navier-Stokes menjadi

$$\begin{aligned}
 & \rho \left(\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} - \frac{v_\theta^2}{r} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} \right) \\
 & = -\frac{\partial p}{\partial r} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{v_r}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_r}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} \right) + \rho F_r \\
 & \rho \left(\frac{\partial v_\theta}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} - \frac{v_r v_\theta}{r} + v_z \frac{\partial v_\theta}{\partial z} \right) \\
 & = -\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_\theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial r} - \frac{v_\theta}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial z^2} \right) + \rho F_\theta \\
 & \rho \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_z}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) \\
 & = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) + \rho F_z
 \end{aligned}$$

(II.7)

Solusi pemecahan persamaan-persamaan Navier-Stokes tidak linier secara eksak baru tersedia untuk beberapa kasus saja. Terutama untuk aliran-aliran yang steady, seragam yang berdimensi dua atau memiliki simetri radial atau aliran-aliran dengan geometri yang sangat sederhana. Pemecahan yang agak kasar juga dapat diperoleh untuk situasi aliran-aliran sederhana yang lain misalnya aliran disekitar bola jika suku-suku tidak nol tertentu dalam persamaan Navier-Stokes diabaikan.

II.6.2 Penurunan persamaan Navier-Stokes untuk aliran seragam pipa bundar datar

Asumsi :

- Aliran Steady

$$\frac{\partial}{\partial t} = 0$$

- Aliran simetrik

$$\frac{\partial}{\partial \theta} = 0$$

- Aliran seragam

$$\frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$$

- Aliran sejajar dengan dinding pipa

$$v_r = 0$$

- Gradien tekanan diketahui sebagai tetapan

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \text{tetapan}$$

Berdasarkan asumsi di atas maka persamaan menjadi

$$0 = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial r} \right)$$

$$-\frac{dp}{dz} + \mu \left[\frac{r}{r} \left(r \frac{dv_z}{dr} \right) \right] = 0$$

$$\left(-\frac{dp}{dz} \right) r dr + \mu d \left(r \frac{dv_z}{dr} \right) = 0$$

$$\left(-\frac{dp}{dz} \right) \frac{r^2}{2} + \mu r \frac{dv_z}{dr} + A \tag{II.8}$$

$$\frac{dv_z}{dr} \Big|_{r=0} = 0$$

$$\left(-\frac{dp}{dz} \right) \frac{0}{2} + \mu(0)(0) + A = 0 \Rightarrow A = 0$$

Persamaan menjadi :

$$\left(-\frac{dp}{dz} \right) \frac{r^2}{2} + \mu r \frac{dv_z}{dr} = 0$$

$$\left(-\frac{dp}{dz} \right) \frac{r}{2} + \mu dv_z = 0$$

$$\left(-\frac{dp}{dz}\right)\frac{r^2}{2} + \mu v_z + B = 0$$

$$v_z \Big|_{r=R} = 0$$

$$\left(-\frac{dp}{dz}\right)\frac{R^4}{4} + \mu v_z + B = 0 \Rightarrow B = -\left(-\frac{dp}{dz}\right)\frac{R^4}{4}$$

Persamaan menjadi :

$$\left(-\frac{dp}{dz}\right)\frac{r^2}{4} + \mu v_z - \left(-\frac{dp}{dz}\right)\frac{R^4}{4} = 0 \rightarrow v_z = \frac{R^2 - r^2}{4\mu} \left(-\frac{dp}{dz}\right) \dots\dots\dots(\text{II.9})$$

$$Q = \int_0^R u 2\pi r dr = 2\pi \left(-\frac{dp}{dz}\right) \int_0^R \left(\frac{R^2 - r^2}{4\mu}\right) r dr \dots\dots\dots(\text{II.10})$$

$$Q = \frac{2\pi}{\mu} \left(-\frac{dp}{dz}\right) \int_0^R (R^2 r - r^3)$$

$$Q = \frac{2\pi}{\mu} \left(-\frac{dp}{dz}\right) \left(\frac{2R^4}{8}\right) = \frac{\pi R^4}{8\mu} \left(-\frac{dp}{dz}\right)$$

$$u = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi R^2} = \frac{\pi R^4}{\pi R^2 8\mu} \left(-\frac{dp}{dz}\right)$$

$$u = \frac{(1/2D)^2}{8\mu} \left(-\frac{dp}{dz}\right)$$

$$u = \frac{D^2}{32\mu} \left(-\frac{dp}{dz}\right) \dots\dots\dots(\text{II.11})$$

$dp = \Delta p$ = perubahan tekanan

$dz = L$ = perubahan jarak sumbu z pada gambar

Persamaan menjadi :

$$u = \frac{D^2}{32\mu} \left(\frac{\Delta p}{L}\right) \Rightarrow \Delta p = \frac{32\mu u L}{D^2} \dots\dots\dots(\text{II.12})$$

Dengan mengalikan kedua ruas dengan luas penampang pipa didapat :

$$Q = \frac{\Delta p \pi D^4}{128\mu L} \dots\dots\dots(\text{II.13})$$

II.7 Nanofluida

Secara umum nanofluida terdiri dari dua material dasar pembentuknya yaitu partikel nano sebagai zat tercampur dan fluida dasar sebagai pelarut. Partikel nano yang dimaksudkan di sini adalah partikel logam, *Carbon Nanotube*(CNT), dan oksida logam yang memiliki ukuran kurang dari 100 nanometer. Pencampuran ini bertujuan untuk menghasilkan fluida dengan koefisien perpindahan kalor yang lebih baik daripada fluida dasarnya. Logam atau oksida logam yang banyak diteliti oleh para ahli diantaranya ya adalah AL_2O_3 , CuO, dan partikel logam murni Cu. Sedangkan untuk karbon yang sering digunakan untuk penelitian adalah CNT yang berukuran nano.

Telah dilakukan beberapa penelitian terhadap peningkatan konduktifitas termal dari nanofluida, dari hasil yang sudah diperoleh dapat dilihat bahwa penelitian yang tidak mengikuti pola peningkatan konduktifitas termal pada fluida dengan partikel berukuran besar. Penyebab dari peningkatan performa fluida ini antara lain (Putra, N.S.D.,2002) :

1. Partikel yang tercampur di dalam fluida dasar meningkatkan luas permukaan dan kapasitas kalor dari fluida.
2. Partikel dalam ukuran nano meningkatkan efektifitas konduktifitas termal fluida.
3. Interaksi dan tumbukan antar partikel, fluida, dan permukaan yang dilaluinya meningkat.
4. Fluktuasi pencampuran dan turbulensi dari fluida meningkat.
5. Pencampuran partikel berukuran nano ini membuat gradient temperature dari fluida menjadi kecil.

Dengan menggunakan material berukuran nanometer, partikel ini mengalami gerak Brownian sehingga ketika fluida dalam keadaan diam, partikel ini terdistribusi merata dengan adanya gaya apung(buoyancy), sehingga sedimentasi atau pengendapan dapat diperkecil.

II.7.1 Persiapan Nanofluida

Fluida dapat dikatakan sebagai nanofluida apabila partikel dalam ukuran nanometer tercampur di dalam fluida sebagai koloid. Oleh karena itu diperlukan cara khusus dalam mempersiapkan nanofluida sebelum digunakan untuk aplikasi maupun penelitian.

Sangat sedikit sekali literature yang menerangkan cara pembuatan nanopartikel, antara lain partikel yang dikeluarkan oleh Choi dan Nandy. Choi menggunakan dua cara dalam pembuatan nanofluida, yaitu teknik *single step* dan *two step* (Putra, N.S.D., 2002). Pada *single step*, nano partikel dibuat dan dicampurkan ke dalam fluida dasar secara bersamaan, teknik ini sesuai untuk pembuatan nano partikel logam. Pada teknik *two step*, pembuatan nano partikel dan pencampuran partikel tersebut dengan fluida dasar dibuat terpisah, teknik sesuai untuk pembuatan nanofluida dengan partikel nano oksida. Permasalahan yang sering terjadi dalam pencampuran partikel nano dengan fluida dasarnya adalah terjadinya penggumpalan dari partikel nano tersebut sehingga ukuran dari partikel yang tercampur menjadi lebih besar. Penggumpalan ini harus dihindari atau perlu perlakuan khusus untuk menghancurkan penggumpalan tersebut. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan alat Ultrasonikasi untuk mencampur partikel nano dalam fluida dasar, hasilnya cukup memuaskan, penggumpalan yang terjadi pada saat pencampuran biasa dapat dihilangkan setelah dilakukan penggetaran ultrasonic. Dalam persiapan nanofluida perlu diperhatikan densitas dari partikel nano tersebut dikarenakan untuk mendapatkan perbandingan campuran yang tepat. Pada penelitian-penelitian sebelumnya digunakan persen volume dalam menentukan konsentrasi campuran. Volume partikel nano ditentukan dengan menggunakan densitas sebenarnya dari partikel nano dan massanya (dengan mengabaikan massa udara yang terperangkap didalamnya).

II.8 Nanokarbon

II.8.1 Definisi Nanokarbon

Nanokarbon didefinisikan sebagai material karbon yang diproduksi dengan ukuran dan struktur berskala nanometer. Material karbon yang paling dikenal adalah intan dan grafit. Intan memiliki karbon dengan empat ikatan sp^3 membentuk susunan tiga

dimensi yang simetris dan tersusun rapat. Sedangkan grafit memiliki karbon dengan tiga ikatan sp² membentuk susunan dua dimensi berupa lembaran tersusun dari ikatan heksagonal atom-atom karbon sp³.

Selain kedua jenis bentuk alotropik karbon di atas, ditemui juga bentuk alotropik karbon berukuran nanometer, yaitu:

1. *Fullerene* atau *buckminsterfullerene* atau *bucky ball*, yaitu lembaran grafit yang membentuk bola (Gambar (a)). *Fullerene* terdiri dari karbon-karbon sp² dan sp³.

Contohnya adalah C₆₀, yaitu *fullerene* yang terdiri dari 12 cincin pentana dan 20 cincin heksana.

2. *Carbon onions* terdiri dari lapisan grafit yang konsentrik seperti bola (*quasispherical*) dan seperti pada Gambar (b).

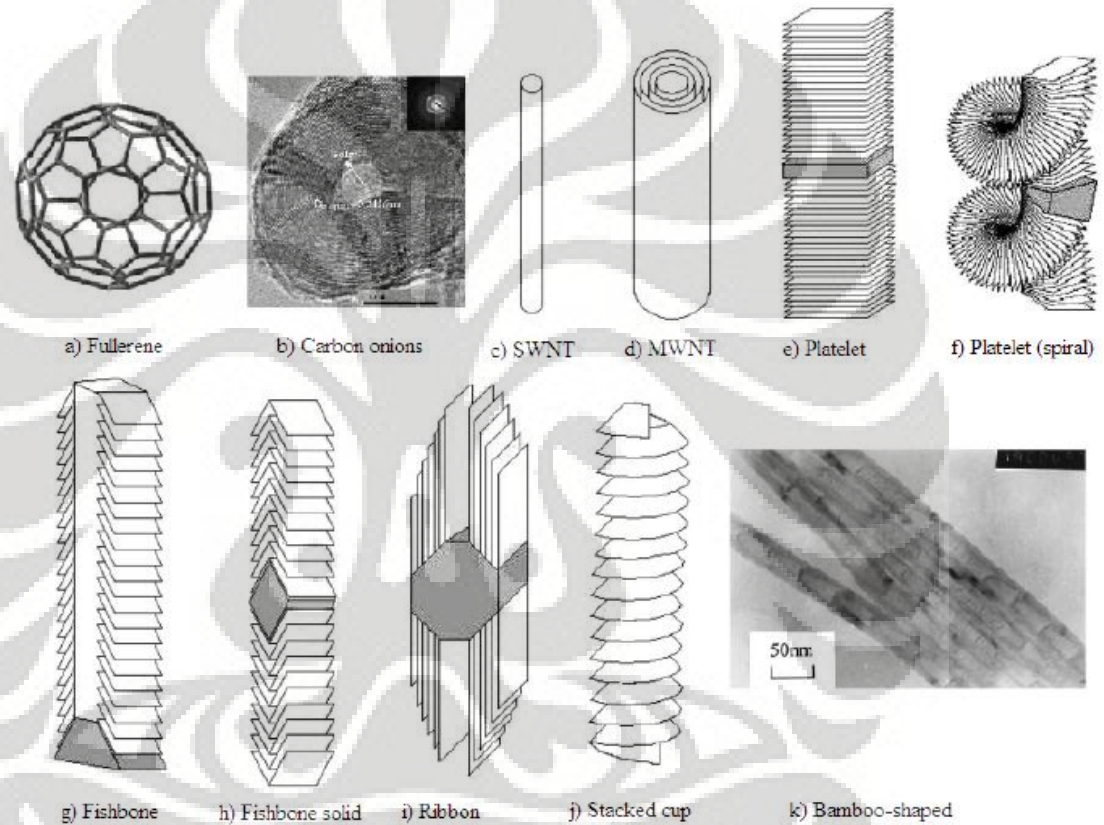
3. Karbon nanofilamen adalah nanokarbon berbentuk filamen. Secara umum, karbon nanofilamen terdiri dari karbon nanofiber (CNF) dan karbon nanotubes (CNT). Bentuk-bentuk nanofilamen secara umum adalah:

a. Karbon nanotubes (CNT) berbentuk pipa, merupakan lapisan grafit yang berbentuk silinder (pipa). CNT dapat berupa *single-walled carbon nanotubes* (SWNT) yang hanya terdiri satu lapis lembaran grafit seperti pada Gambar (c), maupun *multi-walled carbon nanotubes* (MWNT) yang terdiri dari berlapis-lapis lembaran grafit yang konsentrik seperti pada Gambar (d). CNT.

b. *Platelet carbon nanofiber*, berupa lapisan grafit kecil yang tegak lurus dengan arah aksial fiber seperti pada Gambar (e). Nanofiber ini harus memiliki hidrogen atau atom lainnya dalam jumlah tak terbatas untuk stabilisasi piringan (*plate*). *Platelet carbon nanofiber* dapat pula berbentuk spiral (Gambar (f)). Biasanya, partikel padatan berada pada bagian tengah fiber.

c. *Fishbone carbon nanofibers*, dimana lapisan grafit memiliki kemiringan dari sumbu aksialnya. Seperti platelet, juga dibutuhkan hidrogen untuk menstabilkan bagian ujungnya. *Fishbone carbon nanofibers* dapat berinti kosong (*hollow core*) maupun berinti padatan (*solid core*) seperti pada Gambar 1(g) dan (h).

- d. *Ribbon carbon nanofibers* berupa lapisan grafit yang lurus dan tidak tergulung yang posisinya sejajar dengan sumbu aksial fiber (Gambar (i)).
- e. *Stacked cup carbon nanofibers* berupa lapisan spiral grafit yang kontiniu sepanjang sumbu aksial fiber (Gambar (j)).
- f. *Bamboo-shaped carbon filament*, berbentuk seperti bambu, dimana banyak terdapat ruang kosong dan *joint-joint* seperti yang terlihat pada Gambar (k).



Gambar 1. Beragam struktur nanokarbon [Chen, 2001, Rao, 2001, He, 2006, Gullon, 2006]

II.3 jenis karbon nanotube

II.8.1.a Karbon Nanotube

Karbon nanotube ditemukan pertama kali oleh Sumio Iijima pada tahun 1991. Karbon nanotube merupakan lembaran grafit yang membentuk tube/silinder. Lembaran grafit ini tersusun dari ikatan heksagonal atom-atom karbon sp^3 .

II.8.1.b Jenis karbon nanotube

Karbon nanotube secara umum dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu :

1. Single-Walled Carbon Nanotube (SWNT)

Jenis karbon nanotube berdiameter antara 0.4 nm dan 2.5 nm dengan panjang beberapa mikrometer sampai beberapa milimeter. Karbon nanotube jenis SWNT memiliki sifat-sifat yang lebih unggul daripada bentuk MWNT, namun untuk memperoleh karbon jenis ini tidaklah mudah. Karena diameternya yang sangat kecil, karbon jenis ini banyak diaplikasikan sebagai *hydrogen storage* untuk *fuel cell*.

2. Multi-Walled Carbon Nanotube (MWNT)

Karbon nanotube jenis ini merupakan SWNT yang tersusun secara aksial konsentris dengan jarak antara SWNT yang satu dengan yang lainnya sebesar 0.34 nm (gambar 1b) . Jumlah lapisan yang terdapat MWNT bervariasi dari dua sampai beberapa puluh lapisan, sehingga memungkinkan diameter eksternalnya mencapai 100 nm. Meskipun harganya tidak semahal harga SWNT yaitu sebesar €15-50/kg MWNT, karbon nanotube jenis ini memiliki banyak aplikasi yang tak kalah dengan SWNT.

II.8.1.C Sifat fisik karbon nanotube

Karbon nanotube memiliki banyak sifat fisik yang unggul sehingga produk karbon nanotube banyak dimanfaatkan dalam dunia industri untuk digunakan dalam berbagai aplikasi.

Sifat-sifat yang dimiliki oleh karbon nanotube

, antara lain :

- Memiliki kekuatan mekanis yang besar.

Karbon nanotube jenis SWNT memiliki kekuatan tensil sebesar 50-100 GPa dan bilangan modulus Young sebesar sebesar 1-2 TPa. Sedangkan karbon nanotube jenis MWNT memiliki kekuatan tensile dan modulus Young masingmasing sebesar 11-63GPa dan 270-950Gpa

- Memiliki konduktivitas elektronik yang besar.

Penambahan karbon nanotube dalam konsentrasi rendah ke bahan plastik dapat memberikan efek konduktivitas elektrik. Hal ini memungkinkan pengerjaan *electrostatic painting* dalam proses pelapisan *sparepart* otomotif.

- Memiliki ratio panjang terhadap diameter yang tinggi sehingga memungkinkan aplikasi karbon nanotube sebagai bahan komposit.

-

1. Ultrasonikasi

Dalam reaksi kimia, panas dan cahaya memberikan masukan energi bagi reaksi. Begitu pula dengan energi suara, juga dapat memberikan efek bagi reaksi kimia. Suara merambat melalui gelombang mekanik. Frekuensi gelombang yang masih dapat didengar oleh telinga kita adalah antara 1 Hz hingga 16 kHz. Gelombang suara yang frekuensinya di atas 16kHz, disebut dengan ultrasonik. Ultrasonikasi dengan intensitas tinggi dapat mengeksitasi dan memberikan efek yang besar. Pada tekanan dan suhu yang cukup tinggi dapat membuat kondisi yang ekstrim untuk reaksi kimia yang meningkatkan reaktivitas komponen. Gelombang kejut yang dihasilkan oleh gelombang suara dapat memperbesar tumbukan berkecepatan tinggi diantara partikel padatan yang tersuspensi yang mengakibatkan terbentuknya butiran individual yang lebih kecil. Selain itu, ultrasonikasi juga bias mengagglomerasikan partikel.

2. Guar Gam (Getah Latex)

Dalam jurnalnya "The Effect of Additives on Fluid Friction", J.W Hoyt menyebutkan bahwa *Guar Gum* adalah *polysaccharide* kompleks yang diturunkan dari *Cyamopsis tetragonolobus*, yaitu sebuah tanaman karet (getah karet) yang sering dijadikan makanan tambahan dan bahan pengental. Dalam teknologi perminyakan, getah alami ini dipakai sebagai bahan pengikat pasir dalam pengeboran yang membuktikan bahwa guar gum memiliki gesekan lebih rendah daripada air. Guar gum menjadi populer disamping karena harganya yang murah dan mudah didapat, guar gum juga memiliki gaya geser yang tinggi.

3. Penelitian yang telah dilakukan mengenai pemindahan kalor

A. Penelitian terdahulu mengenai Konveksi termal pada CNT

Hanya sedikit paper yang menulis terkait permasalahan ini. Kebanyakan memokuskan pada logam oksida partikel nano. Beberapa paper mengenai penelitian konveksi termal diantaranya ialah Faulkner et al(Springer, 2004) yang melaporkan bahwa peningkatan pemindahan di saluran mikro pada Re(22-17) yang sangat rendah dan konsentrasi volume partikel diantara 1,1-4,4 vol%. Ding et al(Int. J. Heat Mass Transfer 49 2006) melaporkan bahwa peningkatan pemindahan kalor pada Re menengah(800-1200) dan konsentrasi volume yang kecil (0,05vol%). Dan penelitian yang dilakukan Paritosh Garg(Int.J Heat Mass Transfer 52 2009), yang menghasilkan penguatan maksimal untuk koefisien pemindahan kalor ialah 32% pada Re 600±100, untuk MWCNT yang didispersi pada air DI.

II.4 Penelitian terdahulu mengenai Konduktifitas termal pada CNT.

| No. | Peneliti | Tahun | Deskripsi | Hasil |
|-----|---|-------|---|--|
| 1. | M.J. Assael, C.F. Chen, I. Metaxa, W.A. Wakeham, | 2004 | - Penggunaan metode kimia dengan asam -Penggunaan ultrasonikasi -fluida dasar air | Merusak nanotube sehingga mengurangi distribusi aspek rasio pada nanotube |
| 2. | D. Wen, Y. Ding | 2004 | - Menggunakan ultrasonikasi - Menggunakan surfaktan sodium dodecyl benzene sulfonate(SDBS) - Fluida dasar air | Gagal pada temperature tinggi |
| 3. | Choi et al | 2001 | - Fluida dasar minyak SHYNTHETIC POLY(Alfa-Ofelin | peningkatan konduktif termal sebesar 160% per 1.0vol% nanotubes dalam minyak |
| | Xie et al | | - Fluida dasar air, | 20% untuk 1% nanotubes didalam |

| | | | | |
|--|--------------|--|--|---|
| | | | ETHYLENE GLYCOL dan DECENE | DECENE per volume |
| | Assael et al | | SDS, CTAB dan NANOSPERSE AQ sebagai DISPERSANT | ialah 38% untuk 0.6% CNT didalam air per volume |
| | Ding et al | | GA sebagai dispersant | peningkatan) yang dilaporkan ialah 79% dari 1wt% MWCNT dalam air. |

Berdasarkan data penelitian mengenai konduktifitas dan juga konveksi termal pada CNT nanofluida. Setidaknya kita lihat bahwa dibutuhkannya metode yang lebih efisien dalam meningkatkan kinerja termal cairan nanofluida yang ditambahkan CNT. Untuk itu dalam penelitian ini penggabungan metode fisika dan kimia dengan menggunakan ultrasonikasi dan surfaktan akan coba dilakukan untuk memenuhi tujuan yaitu peningkatan kinerja termal baik secara konduksi maupun konveksi dari hasil penelitian ini.

BAB III

PERALATAN DAN PROSEDUR PENGUJIAN

III.I Garis Besar Pengujian

Seperti yang telah dijelaskan pada bab terdahulu bahwa pengujian ini untuk meneliti dan menganalisis pengaruh penambahan partikel nano Multi Walled Carbon Nanotube (MWCNT) terhadap viskositas air dan debit alirannya. Fluida ini akan dialirkan melalui *capillary tube viscometer* yang dijaga konstan *head* – nya kemudian diukur debit alirannya dalam selang waktu yang relatif sama. Selain itu akan di cari nilai viskositas dari nanofluida 1% dan 4% dengan pendekatan persamaan (II.3 dan II.4).

III.1.1 Parameter-parameter yang Ditentukan

Pada pengujian ini parameter-parameter yang ditentukan adalah :

- Head
Head yang dimaksudkan di sini adalah ketinggian permukaan fluida di dalam tabung diukur dari tanah. Untuk pengujian ini, digunakan variasi 6 *head* dengan ketinggian maksimum 850 mm dengan pengurangan 30 mm untuk tiap *head* berikutnya.
- Waktu
Untuk setiap *head* dilakukan pengujian sebanyak 5 kali dengan masing-masing pengujian sekitar 10 detik.
- Temperatur
Temperatur lingkungan diasumsikan konstan pada temperature kamar sebesar 28 derajat celsius.

III.1.2 Komponen-komponen Alat

Pada pengujian ini digunakan peralatan yang relative sederhana dan jumlahnya juga relative sedikit. Hal ini tentu saja dengan pertimbangan efisiensi tetapi diusahakan tanpa

mengganggu proses dan tujuan penelitian ini. KOmponen-komponen yang menjadi penyusun *capillary tube viscometer* ini adalah :

1. Tabung
2. Pipa kapiler
3. Reservoir
4. Gelas ukur
5. Timbangan
6. Pencatat waktu
7. Kerangka penyangga

III.2 Deskripsi Alat

Pada pengujian ini sesuai dengan komponen yang tertera di atas yang kemudian disusun sesuai dengan kebutuhan pengujian. Untuk lebih jelasnya fungsi masing-masing dari komponen yang menyusun rangkaian alat pengujian ini dapat dilihat dari subbab bab di bawah ini.

III.2.1 Tabung

Tabung ini terbuat dari kaca dan digunakan sebagai tempat fluida yang akan dialirkan melalui pipa kapiler.



III.2.2 Pipa Kapiler

Pipa kapiler adalah pipa yang memiliki diameter dalam yang relative sangat kecil dan mampu menghasilkan efek kapilaritas. Seperti telah disampaikan pada pembatasan masalah di atas, penelitian ini menggunakan pipa kapiler yang terbuat dari bahan alumunium dengan diameter dalam dan panjang berturut-turut 2 mm dan panjang 650mm. Pada salah satu ujung pipa kapiler diberi gabus dengan tujuan mempermudah pemasangannya pada tabung. Lalu pipa kapiler ini dipasang pada bagian bawah tabung dan diberi seal untuk mencegah terjadinya kebocoran yang akan menimbulkan kerugian(*losses*).



III.2.3. Reservoir

Reservoir ini terbuat dari plastic dan digunakan untuk menampung fluida yang akan diteliti. *Reservoir* ini digunakan untuk menyuplai fluida ke tabung sehingga diharapkan *head* pada tabung tersebut akan terjaga konstan dengan adanya lubang yang akan mengeluarkan fluida jika suplai yang diberikan berlebihan. Untuk mempermudah mengatur volume aliran, maka pada *reservoir* tersebut dipasang kran sebagai katup pengontrol aliran. Pada sambungan antara kran dan *reservoir* diberi *seal* untuk mencegah kebocoran. Lalu *reservoir* ini diletakkan

di tempat yang lebih tinggi daripada tabung dengan bantuan pipa untuk mengalirkan fluida ke dalam tabung.



III.2.4 Gelas ukur

Gelas Ukur yang dimaksudkan di sini bukanlah gelas yang memiliki standar ukuran volume yang telah dikalibrasi. Tetapi hanya gelas plastik yang bisa didapatkan dari wadah bekas air mineral. Gelas ini digunakan untuk menampung fluida yang keluar dari pipa kapiler dalam selang waktu yang ditentukan kemudian akan ditimbang.

III.2.5 Timbangan

Timbangan yang digunakan pada penelitian ini adalah timbangan elektronik AND SK-5001 dengan beban maksimum 5 kg dan memiliki tingkat ketelitian 1. Fungsi dari timbangan ini adalah untuk mengukur massa fluida yang dikeluarkan oleh pipa kapiler dalam selang waktu yang ditentukan. Sehingga dari massa yang telah didapatkan, kita dapat mengetahui volume, kecepatan, debit aliran, dan sebagainya.

III.2.6 Pencatat Waktu

Seperti yang telah tertulis pada pembatasan masalah di atas, pencatat waktu yang digunakan adalah jam tangan Casio yang bisa berfungsi sebagai *stopwatch* dengan tingkat ketelitian 0.01 detik.

III.2.7 Kerangka Penyangga

Kerangka terbuat dari besi yang dirakit sedemikian rupa dengan baut sebagai tempat meletakkan sebagian besar alat-alat yang digunakan pada penelitian ini.

Semua komponen tersebut di atas kemudian dirakit sedemikian rupa sehingga menjadi *capillary tube viscometer*. Proses perakitan yang relatif mudah dilakukan yaitu



1. Pemasangan pipa kapiler pada bagian bawah tabung yang telah dilubangi kemudian diberi *seal*, dalam hal ini adalah lilin untuk mencegah kebocoran antara tabung dan pipa kapiler.
2. Meletakkan tabung ke dalam cincin pemegang yang terdapat pada kerangka penyangga.
3. Meletakkan *reservoir* di tempatnya yaitu tempat yang lebih tinggi dari tabung untuk mengalirkan suplai fluida ke dalam tabung. Pada pengujian ini, penyangga dibuat sedemikian rupa sehingga terdapat tiang yang dapat mengikat *reservoir* di atas tabung.
4. Memasang selang yang diatur dengan katup yang menghubungkan *reservoir* dengan tabung untuk mengalirkan fluida.
5. Meletakkan wadah penampung di bawah pipa kapiler untuk menampung fluida yang keluar dari pipa kapiler.

III.3 Prinsip Kerja Alat

Alat ini menggunakan prinsip kerja aliran fluida melalui pipa kapiler yang di posisikan vertikal. Fluida pada alat ini bersirkulasi mulai dari reservoir, tabung, pipa kapiler, dan gelas ukur. Head pada tabung dijaga konstan sebagai factor pembanding dengan debit yang keluar dari pipa kapiler. Debit aliran pada alat penelitian ini sangat dipengaruhi oleh gravitasi, head, panjang pipa, diameter pipa, kecepatan aliran, densitas fluida, dan viskositas fluida. Analisis lebih lanjut dari kondisi ini akan menghasilkan hubungan antara viskositas kinematik dan debit aliran seperti ditunjukkan pada persamaan (II.4). Nilai K dapat ditentukan dengan pengujian terhadap fluida standar yaitu air, yang sudah diketahui viskositas kinematiknya dan debit alirannya didapatkan dari pengujian tersebut. Setelah nilai K didapatkan, dengan menggunakan alat yang sama kita menggunakan fluida lain untuk mengetahui debit aliran. Sehingga dengan menggunakan kembali persamaan (II.4) kita dapat menemukan nilai viskositas kinematik fluida tersebut.

III.4 Prosedur Pengujian

III.4.1 Lokasi Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menggunakan peralatan yang telah dijelaskan sebelumnya dan berlokasi di asrama beastudi etos Jakarta, Pondok Cina Depok. Lokasi ini dipilih dikarenakan proses pengambilan data yang cukup banyak dan harus dilakukan secara terus –menerus untuk menghindari rusaknya properties fluida yang akan diuji.

III.4.2 FLuida kerja

Fluida kerja yang digunakan pada pengujian ini adalah air murni, nanofluida dengan konsentrasi 1% dan nanofluida dengan konsentrasi 4%.

III.4.3 Persiapan Sebelum Pengujian

Sebelum pengujian dilaksanakan, hal-hal yang harus dilakukan terlebih dahulu adalah :

1. Memastikan timbangan bekerja dengan baik dan menimbang gelas ukur dan menjadikan nilai tersebut sebagai nol(zero absolute).
2. Memasang alat seperti telah dijelaskan sebelumnya.
3. Mengisi tabung dan reservoir dengan fluida yang akan diuji.
4. Memastikan tidak ada kebocoran pada sambungan yang telah diberi seal.

5. Mengatur bukaan kran reservoir untuk menjaga kestabilan sirkulasi fluida.

III. 4.5 Pengujian

Langkah-langkah pengujian selanjutnya adalah :

1. Meletakkan gelas ukur dibawah pipa kapiler selama kurang lebih 10 detik.
2. Menimbang gelas ukur yang sudah terisi oleh fluida tadi.
3. Mencatat nilai yang tertera pada timbangan tersebut.
4. Mencatat waktu yang tersedia di stopwatch.
5. Langkah ini dilakukan sebanyak 5 kali untuk masing-masing lubang untuk meminimalisasi kesalahan.
6. Jadi total data yang di dapat pada pengujian ini adalah $5*6*3 = 48$ data.

III.4.6 Hasil Pengujian

Setelah pengujian terhadap fluida selesai, maka berhasil didapatkan data seperti lampiran A dan grafik yang ditampilkan pada bab IV.

BAB IV

DATA DAN ANALISIS

IV.1 Pengolahan Data

Pada pengolahan data ini, data yang dibutuhkan adalah data berupa densitas air (ρ_{air}), massa air (m_{air}), viskositas kinematik air (ν_{air}), dan waktu (t). Dari data tersebut kemudian dapat dicari besaran-besaran lain untuk air, nanofluida 1% maupun nanofluida 4%. Densitas dan viskositas air didapatkan dari literature, sedangkan massa dan waktu didapatkan dari pengujian. Tetapi data yang relatif penting adalah debit aliran tiap fluida yang akan dibandingkan dengan head yang diberikan dan kemudian diplot dalam grafik. Pada pembacaan grafik dapat dilihat kecenderungan yang kemudian dianalisis mengenai pengaruh penambahan partikel nano MWCNT pada air. Untuk lebih jelasnya akan dibahas contoh pengolahan yang ingin dicapai pada pengujian ini.

IV.1.1 Sumber Data

Pada pengolahan data ini, data yang diambil adalah data yang berhasil diambil pada saat pengujian yaitu data pengujian terhadap air, nanofluida 1%, dan nanofluida 4% dengan berbagai variasi head. Namun pada pengolahan data ini hanya berupa contoh salah satu data yang diambil dari beberapa pengujian yang telah dilakukan. Untuk itu, datanya adalah pada saat kondisi head = 850 mm dengan pipa aluminium panjang 650 mm dan \varnothing 3 mm. Dan untuk lengkapnya hasil pengolahan data dapat dilihat pada lampiran A.

IV.1.2 Menentukan Volume Air (V_{air})

Dari literature diketahui $\rho_{air} = 997 \text{ kg/m}^3$ dan dari pengujian didapatkan $m_{air} = 16 \text{ gr}$. Maka :

$$V_{air} = \frac{m_{air}}{\rho_{air}} = \frac{0.016}{997} = 1,605 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

IV.1.3 Menentukan Viskositas Air(μ_{air})

Dari literatur didapatkan $v_{air} = 8.64 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$. Maka :

$$\mu_{air} = \rho_{air} \times v_{air} = 997 \times 0.864 \times 10^{-6} = 8.62 \times 10^{-4} \text{ kg/ms}$$

IV.1.4 Menentukan Debit Air(Q_{air})

Dari pengujian didapatkan waktu rata-rata sebesar 10,092 detik. Maka :

$$Q_{air} = \frac{V_{air}}{t} = \frac{1.605 \times 10^{-5}}{10.092} = 1.6 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

IV.1.5 Menentukan Kecepatan Air(u_{air})

Diameter dalam pipa diketahui sebesar 2 mm. Maka luas penampang pipa adalah :

$$\frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14 \times (2 \times 10^{-3})^2}{4} = 3.14 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$u_{air} = \frac{Q_{air}}{A} = \frac{1.59 \times 10^{-6}}{3.14 \times 10^{-6}} = 0.506 \text{ m/s}$$

IV.1.6 Menentukan Reynolds Number Air(Re)

$$Re = \frac{u_{air} \times D}{\nu_{air}} = \frac{0.506 \times 2 \times 10^{-3}}{1.605 \times 10^{-5}} = 63.052$$

IV.2 Analisis

Pada bagian ini akan dibahas tentang analisis kesalahan seperti kesalahan sistematika dan kesalahan hasil pengukuran, serta analisis hasil berupa grafik antara head yang diberikan pada debit aliran.

IV.2.1 Analisis Kesalahan

1. Kesalahan sistematika

Kesalahan sistematika adalah kesalahan yang ditimbulkan oleh alat ukur terutama oleh kemampuan baca alat ukur itu sendiri. Alat yang sangat rentan terhadap kesalahan sistematika pada pengujian ini adalah timbangan. Berubah-ubahnya nilai yang diberikan sehingga mengharuskan mengambil keputusan yang relative subjektif. Apalagi pada pengujian ini termasuk pengujian yang berskala relative kecil dalam arti parameter-parameter yang ditentukan relative kecil, misalnya selang waktu yang hanya 10 detik untuk tiap pengambilan data. Padahal variasi nilai yang diberikan oleh timbangan berselisih 1 gram, yang berpengaruh terhadap hasil akhir setelah dilakukan proses pengolahan data.

2. Kesalahan Hasil Pengukuran

Kesalahan hasil pengukuran dapat dilihat dari simpangan baku yang dihasilkan dari data yang diambil, dimana data yang diambil merupakan data yang diambil secara berulang-ulang bukan merupakan data tunggal yaitu data yang diambil hanya sekali. Pada bagian ini akan dibahas kesalahan hasil pengukuran yang ditunjukkan dengan simpangan baku dari viskositas kinematik nanofluida 1 % dan nanofluida 4 %, dimana data tersebut ditentukan dengan menggunakan persamaan (II.4) yang menghubungkan debit dengan viskositas kinematik dan konstanta alat. Debit sendiri merupakan data yang diambil secara berulang-ulang. Berikut ini akan ditampilkan simpangan baku dari hasil perhitungan viskositas kinematik untuk nanofluida 1 % dan nanofluida 4 %.

Adapun rumus dari simpangan baku tersebut adalah seperti dibawah ini :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \text{ dimana } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Dimana : $\sigma = \text{simpangan baku}$

$x_i = \text{data ke } - i$

$\bar{x} = \text{rata-rata data}$

$n = \text{jumlah data}$

Dari rumus di atas maka simpangan baku yang didapatkan adalah :

$$\text{Nanofluida 1\%} = 3.0974 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{Nanofluida 4\%} = 2.592 \cdot 10^{-6}$$

Dari simpangan baku yang didapatkan makadengan rumus $\frac{Kt}{g}$ dapat ditentukan kesalahan relatifnya yaitu :

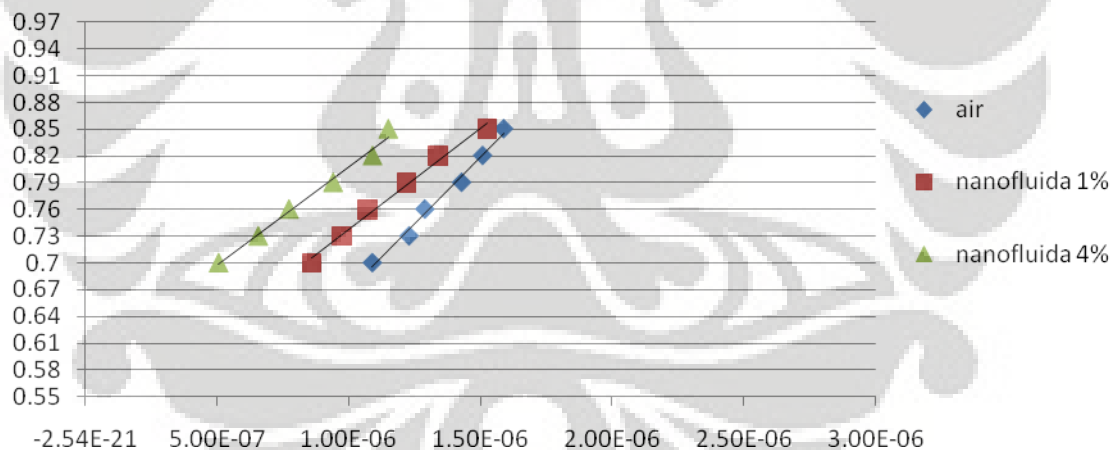
$$\text{Nanofluida 1\%} = 0.77 \%$$

$$\text{Nanofluida 4\%} = 0.29 \%$$

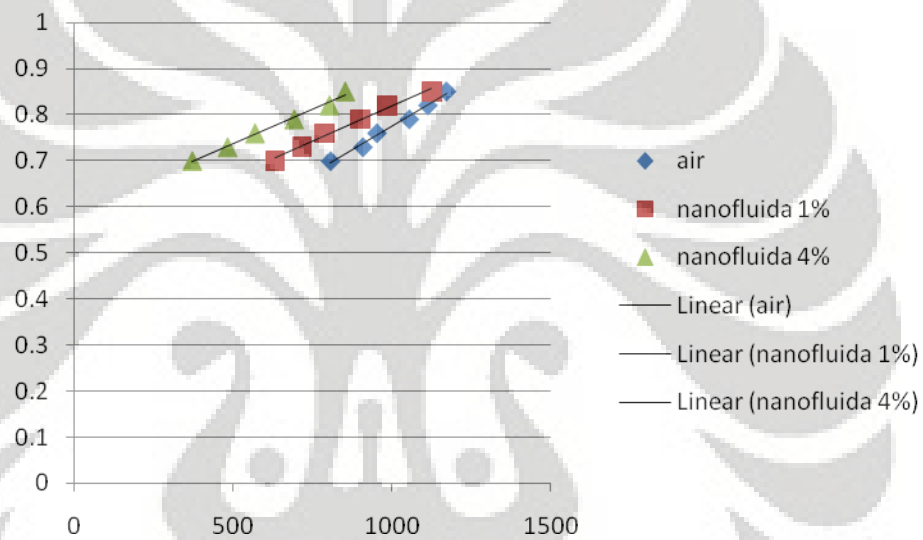
Kesalahan ini dianalisis dikarenakan campuran nanofluida yang kurang homogeny, sehingga terjadi penggumpalan yang mempengaruhi pola debit aliran. Sifat partikel nano yang memiliki daya apung merupakan salah satu faktor penyebab kesalahan ini. Karena gaya apung ini, partikel nano menggumpal di sekitar permukaan reservoir.

IV.2.2 Analisis Hasil

Setelah melakukan beberapa pengujian, penulis melakukan beberapa analisis terhadap hasil yang didapatkan yaitu hubungan antara head dan debit. Berikut ini akan ditampilkan grafik debit terhadap head untuk pipa kapiler 650 mm yang digunakan dalam pengujian.



Gambar IV.1 Grafik Head vs Debit Pipa 650x2



Gambar IV.1 Grafik Head vs Reynold Number Pipa 650x2

Analisis grafik akan dibagi menjadi beberapa bagian berdasarkan variabel pengujian.

1. Pengaruh head terhadap debit

Pada grafik diatas terlihat jelas bahwa semakin besar head yang diberikan maka debit aliran fluida yang terjadi semakin besar pula. Ini sesuai dengan persamaan (II.13) yang menyatakan hubungan yang berbanding lurus antara debit(Q) dan head loss(). Head loss disini semakin besar jika penambahan ketinggian semakin besar pula, jadi secara langsung akan meningkatkan debit debit aliran fluida.

2. Pengaruh Head terhadap Reynold Number

Pada grafik di atas terlihat bahwa semakin besar head yang diberikan maka Reynolds number akan semakin besar pula. Ini terlihat di semua jenis fluida baik air, nanofluida 1 % dan juga nanofluida 4%. Ini sesuai dengan hubungan antara debit, kecepatan air dan juga Reynold Number dimana semua berbanding lurus. Maka semakin besar Debit yang pada analisis head terhadap debit bernilai semakin besar maka selanjutnya akan mempengaruhi kecepatan fluida dan besarnya Reynold number yang akan semakin besar pula.

3. Pengaruh viskositas terhadap debit

Dari grafik di atas terlihat selisih debit yang relative kecil antara nanofluida 1% dan air. Hal ini disebabkan oleh perbedaan nilai viskositas yang tidak begitu besar antara nanofluida dan air. Ini berbeda dengan grafik pada nanofluida 1% dan nanofluida 4 % yang menunjukkan selisih debit yang cukup signifikan. Hal ini disebabkan oleh perbedaan nilai viskositas yang cukup besar dari kedua nanofluida tersebut. Sehingga hal ini menegaskan persamaan (II.13) yang menyatakan hubungan keterbalikkan antara debit dan viskositas.



BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah melakukan serangkaian pengujian dan analisis, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil percobaan dengan menggunakan pipa kapiler 650x22, hubungan head dan kapasitas dapat dilihat dengan jelas bahwa nanofluida 1% lebih mendekati fluida air dibandingkan dengan nanofluida 4%.
2. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh diameter terhadap fluida ini untuk mengetahui pengaruh diameter terhadap fenomena ini.

DAFTAR REFERENSI

1. Streeter, V . L.,”*Mekanika Fluida*”, Jakarta : Erlangga, 1996
2. Yanuar. “*Kurva Aliran Dengan Pipa Kapiler*” Proceeding Seminar Nasional ke 13, KPTU FT UGM. Juni 2007. p. 4 – 55.
3. Munson, B. R., Young, D. F., Okiishi, T. H.,”*Fundamental of Fluid Mechanics*”, New York : John Willey & Sons inc.,1998
4. Putra, Nandy, et al.,2002,”*Pool Boiling Characteristics of Nanofluids*”, Elsevier Science Ltd.,pp.851-862
5. Sofyan, Ahmad, Skripsi : “*Efek Penambahan Partikel Pada Aliran Air Terhadap Koefisien Gesek Pada Pipa Diameter 8 mm*”, Depok : Fakultas Teknik Universitas Indonesia



Lampiran 1

Fluida :air

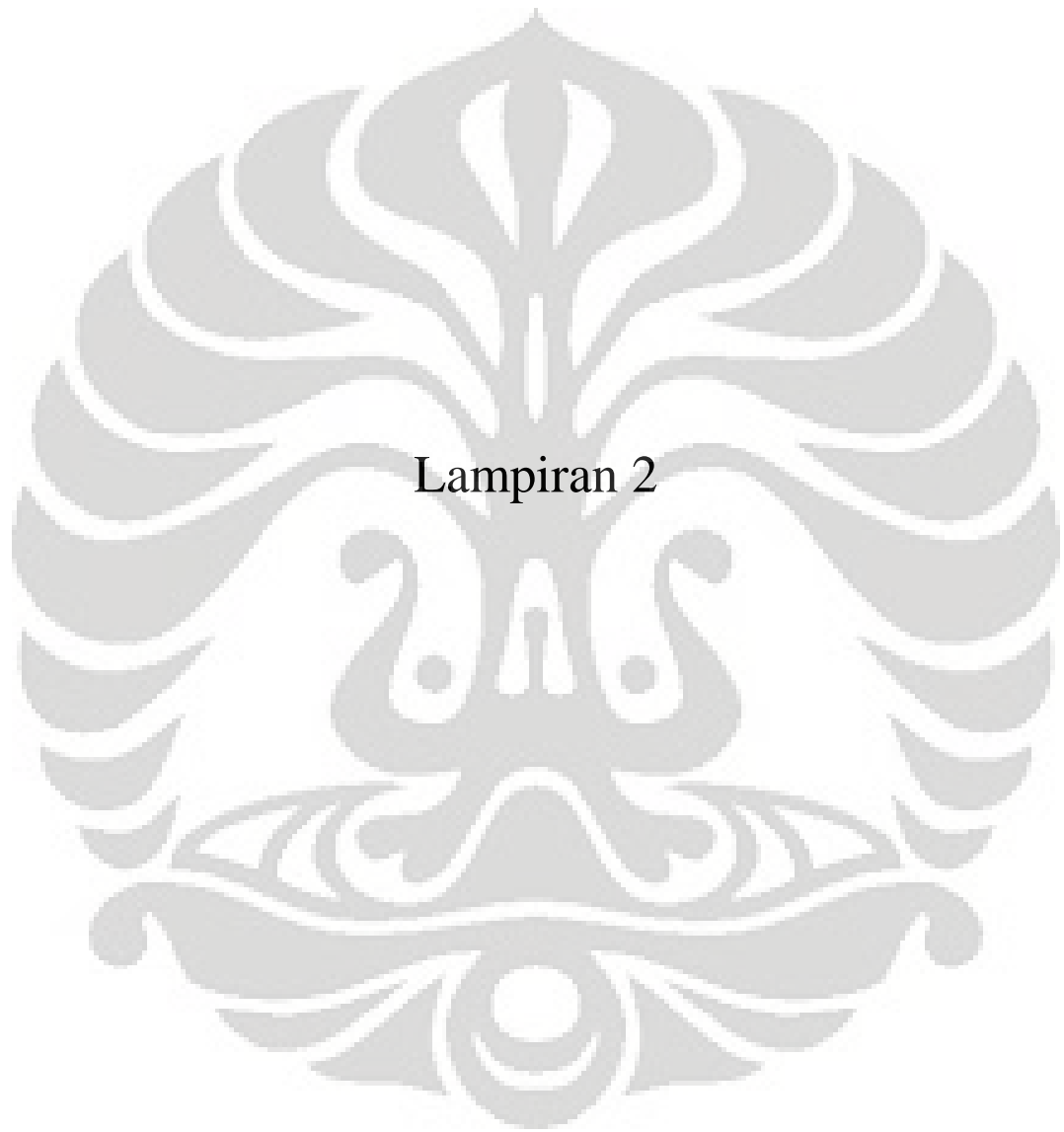
| | | | | | | |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Head(m) | 0.85 | 0.82 | 0.79 | 0.76 | 0.73 | 0.7 |
| Waktu rata2 | 10.128 | 10.026 | 10.132 | 10.128 | 10.11 | 10.03 |
| massa1 | 0.016 | 0.015 | 0.014 | 0.013 | 0.012 | 0.011 |
| massa2 | 0.016 | 0.015 | 0.014 | 0.013 | 0.012 | 0.011 |
| massa3 | 0.016 | 0.015 | 0.015 | 0.012 | 0.012 | 0.011 |
| massa4 | 0.015 | 0.015 | 0.014 | 0.014 | 0.013 | 0.011 |
| massa5 | 0.017 | 0.016 | 0.015 | 0.013 | 0.013 | 0.011 |
| massa rata-rata | 0.016 | 0.0152 | 0.0144 | 0.013 | 0.0124 | 0.011 |

Nanofluida 1%

| | | | | | | |
|-----------------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Head(m) | 0.85 | 0.82 | 0.79 | 0.76 | 0.73 | 0.7 |
| waktu rata-rata | 10.4 | 10.325 | 10.312 | 10.211 | 10.251 | 10.03 |
| massa1 | 0.016 | 0.014 | 0.013 | 0.011 | 0.01 | 0.009 |
| massa2 | 0.016 | 0.014 | 0.013 | 0.011 | 0.01 | 0.009 |
| massa3 | 0.016 | 0.014 | 0.013 | 0.012 | 0.011 | 0.009 |
| massa4 | 0.016 | 0.014 | 0.012 | 0.011 | 0.01 | 0.009 |
| massa5 | 0.016 | 0.014 | 0.013 | 0.011 | 0.01 | 0.009 |
| massa rata-rata | 0.016 | 0.014 | 0.0128 | 0.0112 | 0.0102 | 0.009 |

Nanofluida 4%

| | | | | | | |
|-----------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Head(m) | 0.85 | 0.82 | 0.79 | 0.76 | 0.73 | 0.7 |
| waktu rata-rata | 10.14 | 10.11 | 10.321 | 10.02 | 10.12 | 10.132 |
| massa 1 | 0.014 | 0.013 | 0.012 | 0.009 | 0.008 | 0.006 |
| massa2 | 0.014 | 0.013 | 0.012 | 0.009 | 0.008 | 0.005 |
| massa 3 | 0.013 | 0.013 | 0.011 | 0.01 | 0.008 | 0.006 |
| massa 4 | 0.014 | 0.013 | 0.01 | 0.009 | 0.007 | 0.007 |
| massa 5 | 0.014 | 0.013 | 0.011 | 0.009 | 0.008 | 0.006 |
| massa rata-rata | 0.0138 | 0.013 | 0.0112 | 0.0092 | 0.0078 | 0.006 |



Lampiran 2

Fluida : air

Pipa : 650 mm x 3mm

| | | | | | | |
|---|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Head(m) | 0.85 | 0.82 | 0.79 | 0.76 | 0.73 | 0.7 |
| Waktu(t) | 10.128 | 10.026 | 10.132 | 10.128 | 10.11 | 10.03 |
| Massa(m) | 0.016 | 0.0152 | 0.0144 | 0.013 | 0.0124 | 0.011 |
| Densitas(kg/m ³) | 997 | 997 | 997 | 997 | 997 | 997 |
| Viskositas kinematik(m ² /s) | 1.60481E-05 | 1.52E-05 | 1.44E-05 | 1.3E-05 | 1.24E-05 | 1.1E-05 |
| Volume (m ³) | 1.60481E-05 | 1.52E-05 | 1.44E-05 | 1.3E-05 | 1.24E-05 | 1.1E-05 |
| Viskositas (kg/ms) | 0.000861408 | 0.000861 | 0.000861 | 0.000861 | 0.000861 | 0.000861 |
| Debit (m ³ /s) | 1.59018E-06 | 1.51E-06 | 1.43E-06 | 1.29E-06 | 1.23E-06 | 1.09E-06 |
| Luas Penampang pipa (m ²) | 0.00000314 | 3.14E-06 | 3.14E-06 | 3.14E-06 | 3.14E-06 | 3.14E-06 |
| Kecepatan (U) | 0.506428262 | 0.481107 | 0.455785 | 0.411473 | 0.392482 | 0.348169 |
| Diameter pipa (m) | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| Reynolds number | 1172.287644 | 1113.673 | 1055.059 | 952.4837 | 908.5229 | 805.9478 |
| Konstanta alat | 2.55195E-11 | 2.3E-11 | 2.07E-11 | 1.68E-11 | 1.53E-11 | 1.21E-11 |

fluida : nanofluida 1%

pipa : 650 mm x 2 mm

| | | | | | | |
|---|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Head(m) | 0.85 | 0.82 | 0.79 | 0.76 | 0.73 | 0.7 |
| waktu (s) | 10.4 | 10.325 | 10.312 | 10.211 | 10.251 | 10.03 |
| massa (kg) | 0.016 | 0.014 | 0.0128 | 0.0112 | 0.0102 | 0.009 |
| Densitas(kg/m ³) | 1022.13 | 1022.13 | 1022.13 | 1022.13 | 1022.13 | 1022.13 |
| Viskositas kinematik(m ² /s) | 1.56536E-05 | 1.37E-05 | 1.25E-05 | 1.1E-05 | 9.98E-06 | 8.81E-06 |
| Volume (m ³) | 1.56536E-05 | 1.37E-05 | 1.25E-05 | 1.1E-05 | 9.98E-06 | 8.81E-06 |
| Viskositas (kg/ms) | 0.00088312 | 0.000883 | 0.000883 | 0.000883 | 0.000883 | 0.000883 |
| Debit (m ³ /s) | 1.52688E-06 | 1.34E-06 | 1.22E-06 | 1.07E-06 | 9.73E-07 | 8.59E-07 |
| Luas Penampang pipa (m ²) | 0.00000314 | 3.14E-06 | 3.14E-06 | 3.14E-06 | 3.14E-06 | 3.14E-06 |
| Kecepatan (U) | 0.4862679 | 0.425484 | 0.389014 | 0.340388 | 0.309996 | 0.273526 |
| Diameter pipa (m) | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| Reynolds number | 1125.62014 | 984.9176 | 900.4961 | 787.9341 | 717.5828 | 633.1613 |
| Konstanta alat | 2.39012E-11 | 1.83E-11 | 1.53E-11 | 1.17E-11 | 9.71E-12 | 7.56E-12 |

fluida :nanofluida 4%

pipa: 650 mm x 2mm

| | | | | | | |
|---|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Head(m) | 0.85 | 0.82 | 0.79 | 0.76 | 0.73 | 0.7 |
| waktu (s) | 10.14 | 10.11 | 10.321 | 10.02 | 10.12 | 10.132 |
| massa(kg) | 0.0138 | 0.013 | 0.0112 | 0.0092 | 0.0078 | 0.006 |
| Densitas(kg/m ³) | 1175.13 | 1175.13 | 1175.13 | 1175.13 | 1175.13 | 1175.13 |
| Viskositas kinematik(m ² /s) | 1.17434E-05 | 1.11E-05 | 9.53E-06 | 7.83E-06 | 6.64E-06 | 5.11E-06 |
| Volume (m ³) | 1.17434E-05 | 1.11E-05 | 9.53E-06 | 7.83E-06 | 6.64E-06 | 5.11E-06 |
| Viskositas (kg/ms) | 0.001015312 | 0.001015 | 0.001015 | 0.001015 | 0.001015 | 0.001015 |
| Debit (m ³ /s) | 1.15807E-06 | 1.09E-06 | 9.4E-07 | 7.72E-07 | 6.55E-07 | 5.04E-07 |
| Luas Penampang pipa (m ²) | 0.00000314 | 3.14E-06 | 3.14E-06 | 3.14E-06 | 3.14E-06 | 3.14E-06 |
| Kecepatan (U) | 0.368811246 | 0.347431 | 0.299325 | 0.245874 | 0.208459 | 0.160353 |
| Diameter pipa (m) | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| Reynolds number | 853.7297362 | 804.2382 | 692.8821 | 569.1532 | 482.5429 | 371.1868 |
| Konstanta alat | 1.35996E-11 | 1.21E-11 | 8.96E-12 | 6.04E-12 | 4.34E-12 | 2.57E-12 |





Lampiran 3

| Suhu °C | Berat Jenis N/mm ³ | Densitas Kg/m ³ | Viskositas (10 ⁻³) Ns/m ² | Viskositas Kinematik (10 ⁻⁶) m ² /s |
|------------|----------------------------------|-------------------------------|--|---|
| 0 | 9806 | 999.9 | 1.792 | 1.792 |
| 5 | 9807 | 1000 | 1.519 | 1.519 |
| 10 | 9804 | 999.7 | 1.308 | 1.308 |
| 15 | 9798 | 999.1 | 1.140 | 1.141 |
| 20 | 9789 | 998.2 | 1.005 | 1.007 |
| 25 | 9778 | 997.1 | 0.894 | 0.897 |
| 30 | 9764 | 995.7 | 0.801 | 0.804 |
| 35 | 9749 | 994.1 | 0.723 | 0.727 |
| 40 | 9730 | 992.2 | 0.656 | 0.661 |
| 45 | 9711 | 990.2 | 0.599 | 0.605 |
| 50 | 9690 | 988.1 | 0.549 | 0.556 |
| 55 | 9666 | 985.7 | 0.506 | 0.513 |
| 60 | 9642 | 983.2 | 0.469 | 0.477 |
| 65 | 9616 | 980.6 | 0.436 | 0.444 |
| 70 | 9589 | 977.8 | 0.406 | 0.415 |
| 75 | 9560 | 974.9 | 0.380 | 0.390 |
| 80 | 9530 | 971.8 | 0.357 | 0.367 |
| 85 | 9499 | 968.6 | 0.336 | 0.347 |
| 90 | 9466 | 965.3 | 0.317 | 0.328 |
| 95 | 9437 | 961.9 | 0.299 | 0.311 |
| 100 | 9399 | 958.4 | 0.284 | 0.296 |