



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KARAKTERISTIK ALIRAN LUMPUR LAPINDO DENGAN  
VISCOMETER: FANN35 MODEL 35SA**

**TUGAS AKHIR**

**GOMGOM SIMANJUNTAK**

**0706198530**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**DEPOK**

**DESEMBER 2009**

**50**

**Universitas Indonesia**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KARAKTERISTIK ALIRAN LUMPUR LAPINDO DENGAN  
VISCOMETER: FANN35 MODEL 35SA**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**GOMGOM SIMANJUNTAK**

**0706198530**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**DEPOK**

**DESEMBER 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Gomgom Simanjuntak

NPM : 0706198530

Tanda Tangan :

Tanggal : 22 Desember 2009

**HALAMAN PENGESAHAN**

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Gomgom Simanjuntak  
NPM : 0706198530  
Program studi : Teknik Mesin  
Judul skripsi : Karakteristik Aliran Lumpur Lapindo Dengan  
Viscometer: Fann35 Viscometer model 35SA

**Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**

**DEWAN PENGUJI**

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Eng, MSc. (.....)  
Penguji : Dr. Ir. Sunaryo (.....)  
Penguji : Ir. MA Talahatu MT (.....)  
Penguji : Ir Hadi Tresno Wibowo (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 22 Desember 2009

## 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 Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Prof. Dr. Ir. Yanuar M.Eng, Msc. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Ir. Wahyu Nirbito MSME selaku pembimbing akademik.
- (3) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
- (4) 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 ilmu.

Depok, 22 Desember 2009

Penulis

**Universitas Indonesia**

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

---

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

Nama : Gomgom Simanjuntak

NPM : 0706198530

Program Studi : Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

demikian 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 ALIRAN LUMPUR LAPINDO DENGAN VISCOMETER:  
FANN35 MODEL 35SA**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 22 Desember 2009

Yang menyatakan

**Universitas Indonesia**

( Gomgom Simanjuntak )

## ABSTRAK

Nama : GOMGOM SIMANJUNTAK  
Program Studi : TEKNIK MESIN  
Judul : KARAKTERISTIK ALIRAN LUMPUR LAPINDO DENGAN  
VISCOMETER Fann35 MODEL 35SA

Pengujian viskositas fluida tertentu sangat perlu dilakukan baik oleh pihak akademisi maupun industri. Pihak akademisi dan industri seharusnya saling bekerjasama dan mendukung dalam hal ini. Untuk pengukuran viskositas sendiri menggunakan suatu alat yang bersifat histerisis, yang artinya pada setiap pengukuran akan didapat hasil yang berbeda. Untuk mengatasi perbedaan hasil ini, maka alat ukur tersebut harus di kalibrasi terlebih dahulu.

Adapun target atau tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dengan jelas sifat-sifat atau karakteristik aliran lumpur Lapindo dengan suatu alat pengukur viskositas dengan viskometer koaksial yaitu Viscometer Fann35 model 35SA. Dari model aliran dan sifat-sifat aliran yang didapat, maka perlakuan atau treatment terhadap lumpur Lapindo ini bisa ditentukan dengan tepat Hal ini akan sangat berguna dalam penanganan Lumpur tersebut.

Dari hasil pengujian, akan didapatkan tegangan geser (*shear stress*) dan gradien kecepatan (*shear strain*). *Shear stress* dapat dibaca langsung pada alat uji. sebagai akibat dari torsi yang terjadi antara bob dan silinder alat uji dan di transmisikan kedalam bentuk shear stress oleh sebuah spring yang sangat presisi

Dari hasil penelitian, fluida uji termasuk ke dalam golongan fluida *Non-Newtonian* model *pseudoplastic* (plastik semu) atau shear thinning, karena Nilai viskositas semu untuk fluida uji akan menurun seiring bertambahnya nilai gradien kecepatan.

Kata kunci :

Non-Newtonian Fluid, koaksial viskometer, kekentalan sesaat, Lumpur Lapindo; pseudoplastic, shear thinning

**ABSTRACT**

Name : GOMGOM SIMANJUNTAK  
Study Program : MECHANICAL ENGINEERING  
Title : FLOW CHARACTERISTIC OF LAPINDO MUD BY USING  
VISCOMETER Fann35 MODEL 35SA

Fluids viscosity measurement is very important, either by the scientist or the industrial act. This instrument will have a hysteric effect, which means the result of the measurement will not stabilize for each test. And calibration should be conducted to avoid this.

The purpose of this experiment is to clearly identify the characteristic and properties of flow of lapindo mud by using coaxial viscometer: viscometer fann35 model 35SA. By the model of the flow, the treatment for this mud will be easy taken.

From the experiment, both shear stress and shear strain will be shown. Shear stress will be read directly, caused by creating torque on the bob which is transmitted to a precision spring.

From the experiment it can be concluded that the Lapindo mud is a non-Newtonian fluid and pseudoplastic model or shear thinning, as the apparent viscosity value of the mud will decrease while the velocity gradient increases.

Key words:

Non-Newtonian Fluid, coaxial viscometer, apparent viscosity, Lapindo mud, shear stress, pseudo plastic, shear thinning



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....	ii
PENGESAHAN .....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH .....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	v
ABSTRAK .....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
<b>1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
LATAR BELAKANG .....	1
TUJUAN PENELITIAN .....	2
BATASAN MASALAH .....	2
METODOLOGI PENELITIAN .....	2
SISTEMATIKA PENULISAN .....	3
<b>2. DASAR TEORI</b> .....	<b>5</b>
2.1 FLUIDA .....	5
2.2 VISKOSITAS .....	5
2.3 KLASIFIKASI FLUIDA .....	7
2.3.1. Fluida Newtonian .....	8
2.3.2. Fluida Non-Newtonian .....	8
2.3.3. <i>Power Law Index</i> .....	12

2.4 VISKOMETER KOAKSIAL .....	13
<b>3. DISKRIPSI ALAT UJI DAN PROSES PENGUJIAN .....</b>	<b>16</b>
3.1 PERALATAN PENGUJIAN .....	16
3.2 CARA KERJA ALAT .....	20
3.3 LOKASI PENGUJIAN .....	21
3.4 PROSEDUR PENGUJIAN .....	21
3.5 TAHAP PENGUJIAN .....	22
3.5.1. Tahap Kalibrasi .....	22
3.5.2. Tahap Pengambilan Data .....	23
<b>4. PERHITUNGAN DAN ANALISA DATA .....</b>	<b>14</b>
4.1. PERHITUNGAN .....	24
4.1.1 Pengujian dengan specific gravity 1.14 .....	25
4.1.2 Pengujian dengan specific gravity 1.16 .....	29
4.1.3 Pengujian dengan specific gravity 1.176 .....	33
4.1.4 Pengujian dengan specific gravity 1.188 .....	37
4.1.5 Pengujian dengan specific gravity 1.2 .....	41
4.1.6 Pengujian dengan specific gravity 1.212 .....	44
4.2. ANALISA DATA .....	48
<b>5. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>50</b>
5.1. KESIMPULAN .....	50
5.2. SARAN .....	50
<b>DAFTAR ACUAN</b>	
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel.4.1. Data hasil pengujian lumpur dengan sg 1.14 .....	25
Tabel.4.2. Data hasil pengujian lumpur dengan sg 1.14 unit SI .....	25
Tabel.4.3. Data hasil perhitungan nilai viskositas sesaat untuk larutan lumpur dengan sg 1.14 .....	28
Tabel.4.4. Data hasil pengujian lumpur dengan sg 1.16 .....	29
Tabel.4.5. Data hasil pengujian lumpur dengan sg 1.16 unit SI .....	29
Tabel.4.6. Data hasil perhitungan nilai viskositas sesaat untuk larutan lumpur dengan sg 1.16 .....	32
Tabel.4.7. Data hasil pengujian lumpur dengan sg 1.176 .....	33
Tabel.4.8. Data hasil pengujian lumpur dengan sg 1.176 unit SI .....	33
Tabel.4.9. Data hasil perhitungan nilai viskositas sesaat untuk larutan lumpur dengan sg 1.176 .....	36
Tabel.4.10. Data hasil pengujian lumpur dengan sg 1.188 .....	37

Tabel.4.11. Data hasil pengujian lumpur dengan sg 1.188 unit SI .....	37
Tabel.4.12. Data hasil perhitungan nilai viskositas sesaat untuk larutan lumpur dengan sg 1.188 .....	40
Tabel.4.13. Data hasil pengujian lumpur dengan sg 1.2 .....	41
Tabel.4.14. Data hasil pengujian lumpur dengan sg 1.2 unit SI .....	41
Tabel.4.15. Data hasil perhitungan nilai viskositas sesaat untuk larutan lumpur dengan sg 1.2 .....	43
Tabel.4.16. Data hasil pengujian lumpur dengan sg 1.212 .....	44
Tabel.4.17. Data hasil pengujian lumpur dengan sg 1.212 unit SI .....	45
Tabel.4.18. Data hasil perhitungan nilai viskositas sesaat untuk larutan lumpur dengan sg 1.212 .....	47

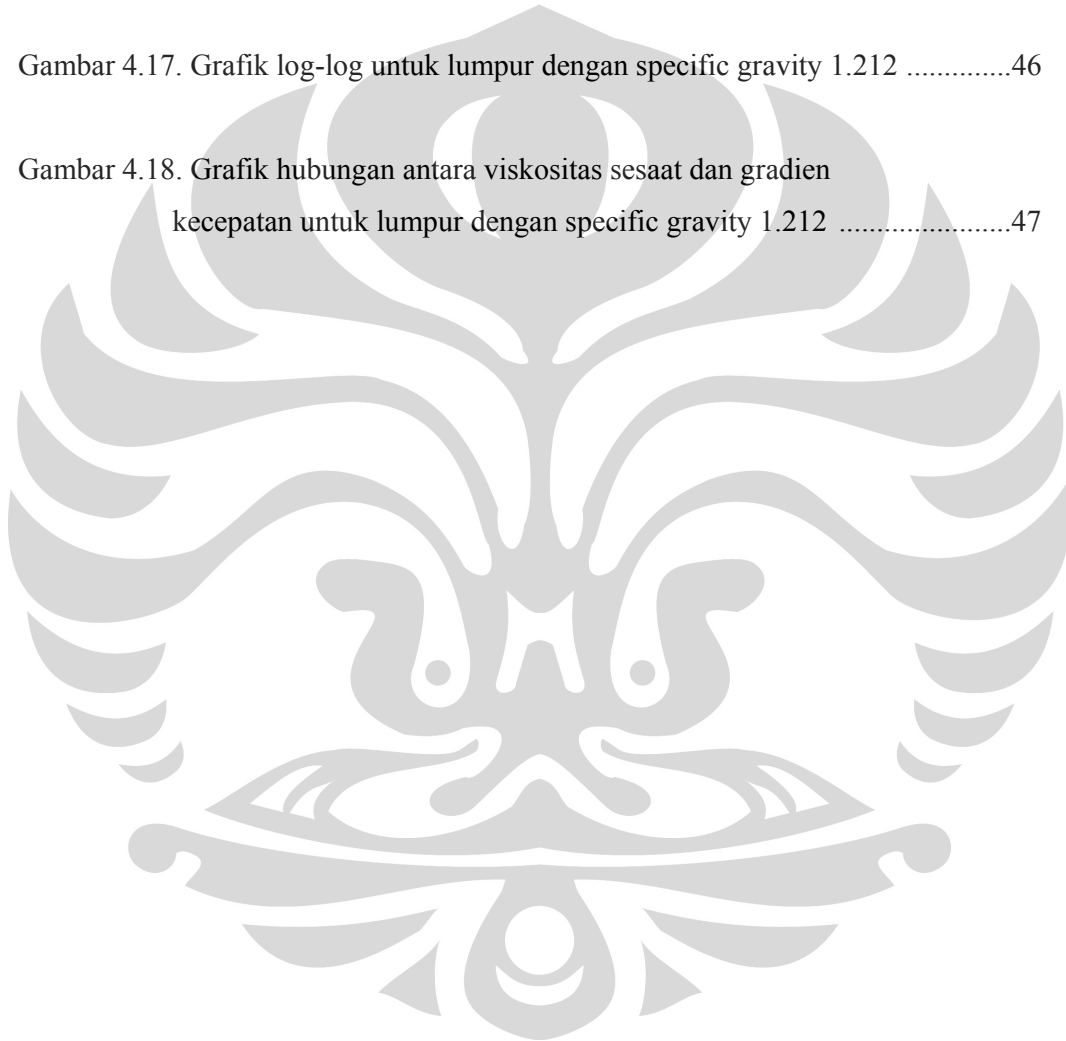


## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Prinsip dasar aliran viskos .....	6
Gambar 2.2. Distribusi Kecepatan <i>pseudoplastics fluid</i> pada pipa .....	9
Gambar.2.3 Kurva aliran hubungan antara shear stress dan gradien kecepatan.....	10
Gambar 2.4 Hubungan <i>shear rate</i> dan <i>shear stress</i> pada <i>thixotropic</i> dan <i>rheopectic</i> .....	11
Gambar.2.5 Kurva aliran hubungan antara <i>apparent viscosity</i> dan gradien kecepatan .....	11
Gambar 2.6. Silinder Putar koaksial (Koaksial Viskometer) .....	13
Gambar 3.1. Viscometer <i>Fann35</i> model 35SA .....	19
Gambar 4.1. Grafik hubungan antara tegangan geser dan gradient kecepatan untuk specific gravity lumpur 1.14 .....	26

Gambar 4.2. Grafik log-log untuk specific gravity lumpur 1.14 .....	27
Gambar 4.3. Grafik hubungan antara viskositas sesaat dan gradien kecepatan untuk specific gravity lumpur 1.14 .....	28
Gambar 4.4. Grafik hubungan antara tegangan geser dan gradient kecepatan larutan lumpur dengan specific gravity 1.16 .....	30
Gambar 4.5. Grafik log-log untuk lumpur dengan specific gravity 1.16 .....	31
Gambar 4.6. Grafik hubungan antara viskositas sesaat dan gradien kecepatan untuk lumpur dengan specific gravity 1.16 .....	32
Gambar 4.7. Grafik hubungan antara tegangan geser dan gradient kecepatan larutan lumpur dengan specific gravity 1.176 .....	34
Gambar 4.8. Grafik log-log untuk lumpur dengan specific gravity 1.176 .....	35
Gambar 4.9. Grafik hubungan antara viskositas sesaat dan gradien kecepatan untuk lumpur dengan specific gravity 1.176 .....	36
Gambar 4.10. Grafik hubungan antara tegangan geser dan gradient kecepatan larutan lumpur dengan specific gravity 1.188 .....	38
Gambar 4.11. Grafik log-log untuk lumpur dengan specific gravity 1.188 .....	39
Gambar 4.12. Grafik hubungan antara viskositas sesaat dan gradien kecepatan untuk lumpur dengan specific gravity 1.188 .....	40
Gambar 4.13. Grafik hubungan antara tegangan geser dan gradient kecepatan larutan lumpur dengan specific gravity 1.2 .....	42
Gambar 4.14. Grafik log-log untuk lumpur dengan specific gravity 1.2 .....	43

Gambar 4.15. Grafik hubungan antara viskositas sesaat dan gradien kecepatan untuk lumpur dengan specific gravity 1.2 .....	44
Gambar 4.16. Grafik hubungan antara tegangan geser dan gradient kecepatan larutan lumpur dengan specific gravity 1.212 .....	45
Gambar 4.17. Grafik log-log untuk lumpur dengan specific gravity 1.212 .....	46
Gambar 4.18. Grafik hubungan antara viskositas sesaat dan gradien kecepatan untuk lumpur dengan specific gravity 1.212 .....	47



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Fluida memiliki peranan yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Fluida bila diperlakukan dengan baik, maka bisa memberikan daya guna yang baik pula bagi kehidupan manusia. Akan tetapi bila aliran fluida sudah tidak terkontrol, juga bisa memberikan dampak yang merugikan terhadap manusia. Ada beberapa hal dari fluida yang harus kita ketahui agar kita tahu perlakuan yang terbaik untuk fluida tersebut, seperti viskositas (kekentalan), komposisi, density, sifat fluida, dll.

Banyak contoh kejadian yang disebabkan oleh fluida dan kita belum mengetahui perlakuan terbaiknya. Salah satunya kejadian nya di Negara kita. Yaitu meluapnya Lumpur panas dari dalam perut bumi yang disebabkan oleh aktivitas pemboran minyak dan gas bumi yang di operasikan oleh Lapindo Brantas Inc, yang beroperasi di daerah Sidoarjo.. Sampai saat ini kita masih belum benar-benar mengetahui perlakuan (treatment) terbaik untuk lumpur tersebut, seperti sistem transportasi, sistem pengumpulannya, sistem pemisahannya, dan lain-lain. Dengan kita mempelajari viskositas dari lumpur tersebut, maka kita dapat menentukan sistem transportasi terbaik untuk lumpur lapindo ini.

Fluida secara umum dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu fluida Newtonian dan fluida Non-Newtonian yang mempunyai sifat yang sangat berbeda. Untuk fluida Newtonian viskositasnya tidak mengalami perubahan ketika ada gaya yang bekerja padanya, viskositas fluida ini akan mengalami perubahan jika terjadi perubahan temperatur. Sementara fluida Non-Newtonian akan mengalami perubahan viskositas ketika terdapat gaya yang bekerja pada fluida tersebut, fluida Non-Newtonian tidak tahan terhadap tegangan geser (*shear stress*), kekentalan fungsi dari waktu, gradien kecepatan (*shear strain*) dan temperatur. Energi yang diperlukan untuk memindahkan fluida ini sangat besar, begitu pula dengan bentuk daripada pipa



penyalurnya, dengan pipa spiral diharapkan tidak terjadi pengendapan pada saat fluida dialirkan dalam kecepatan rendah.

Kekentalan dan sifat fluida saat mengalir sangat penting untuk diketahui agar kita dapat menentukan kebutuhan energi yang diperlukan dan dapat menentukan jenis alat transportasi (pompa atau kompresor) terbaik yang akan digunakan untuk fluida tersebut.

Ada banyak cara untuk mengukur kekentalan (viskositas) fluida, seperti viskometer pipa kapiler, viskometer Saybolt (banyak digunakan di industri), dan rotational viscometer (cone and plate viscometer, parallel plate viscometer, coaxial rotational viscometer). Viskometer-viskometer tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, dan jenis fluida yang akan diukur kekentalannya juga bisa menjadi pertimbangan untuk menggunakan salah satu dari viskometer tersebut.

## **1.2. TUJUAN PENELITIAN**

Penelitian yang akan dilakukan dengan alat viskometer koaksial silinder: Fann 35 Viscometer model 35SA bertujuan untuk mengetahui karakter aliran (sifat-sifat) dari suatu jenis fluida dan kekentalan aliran nya. Juga membuat perubahan kurva aliran larutan lumpur lapindo dengan variasi konsentrasi larutan, sehingga kita dapat melakukan perlakuan (*treatment*) terbaik terhadap fluida tersebut.

## **1.3. BATASAN MASALAH**

Penelitian yang akan dilakukan hanya untuk larutan lumpur lapindo untuk mengetahui model fluida nya.

## **1.4. METODE PENELITIAN**

Penelitian yang akan dilakukan menggunakan alat viskometer koaksial silinder putar dengan fluida larutan lumpur Lapindo. Penelitian ini menggunakan variasi kecepatan dari 0.9 rpm sampai 600 rpm untuk mendapatkan torsi dari silinder dalam yang akan dibuat kurva aliran (*flow curve*) fluidanya dengan membandingkan nilai tegangan geser dan gradien kecepatan.

Metode pengujian yang dilakukan adalah dengan studi eksperimen (pengambilan data) di Laboratorium Drilling Fluid, Asia Pacific Regional Lab. PT M-I Indonesia. Yang berlokasi di Jln TB Simatupang no 41. Jakarta Selatan. Penulis juga melakukan studi literatur dari buku-buku referensi terkait dan jurnal-jurnal yang berkaitan dengan penelitian ini.

Dengan membandingkan grafik hubungan antara tegangan geser dan gradien kecepatan dari larutan Lumpur Lapindo dengan grafik model fluida yang sudah ada (*Newtonian fluid, bingham, pseudoplastic, dilatant*).

### 1.5. SISTEMATIKA PENULISAN

Tugas akhir yang berjudul “Karakteristik Aliran Lumpur Lapindo Dengan Viscometer: Fann35 Viscometer model 35SA” ini, disusun dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

1. Bab I Pendahuluan

Merupakan bab yang memuat tentang latar belakang masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

2. Bab II Landasan Teori

Dalam bab ini berisi penjelasan teori-teori yang berkaitan dengan tugas akhir ini.

3. Bab III Deskripsi Alat dan Proses Pengujian

Pada bab ini berisi tentang penjelasan dan gambar dari alat tugas akhir, juga proses pengujian dan pengambilan data.

4. Bab IV Pengolahan dan Analisa Data

Bab ini memuat proses pengolahan dan analisa data untuk diketahui model dari fluida uji, dalam hal ini adalah larutan lumpur engetahuimodel dari fluida uji, nantinya kita dapat menentukan perlakuan terbaik untuk fluida tersebut.

## 5. Bab V Penutup

Merupakan bagian yang berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan saran-saran yang dibutuhkan untuk perbaikan dan pengembangan dari alat koaksial silinder putar.



## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1. FLUIDA

Fluida adalah zat-zat yang mampu mengalir dan menyesuaikan diri dengan bentuk wadah tempatnya. Bila berada dalam keseimbangan, fluida tidak dapat menahan gaya tangensial atau gaya geser.

Fluida dapat digolongkan ke dalam cairan atau gas. Perbedaan-perbedaan utama antara cairan dan gas adalah (a) cairan praktis tak kompresibel, sedangkan gas kompresibel dan seringkali harus diperlakukan demikian dan (b) cairan mengisi volume tertentu dan mempunyai permukaan-permukaan bebas sedangkan gas dengan massa tertentu mengembang sampai mengisi seluruh bagian wadah tempatnya.

Fluida memiliki sifat tidak menolak terhadap perubahan bentuk dan kemampuan untuk mengalir (atau umumnya kemampuannya untuk mengambil bentuk dari wadah mereka). Sifat ini biasanya dikarenakan sebagai fungsi dari ketidakmampuan fluida terhadap tegangan geser (*shear stress*) dalam ekuilibrium statik. Konsekuensi dari sifat ini adalah Hukum Pascal yang menekankan pentingnya tekanan dalam mengkarakterisasi bentuk fluida.

Fluida diklasifikasikan sebagai fluida Newton (*Newtonian Fluid*) atau fluida bukan Newton (*Non-Newtonian Fluid*). Dalam fluida Newton terdapat hubungan yang linier antara besarnya tegangan geser yang diterapkan dan laju perubahan bentuk yang diakibatkan. Dalam fluida bukan Newton terdapat hubungan tak linier antara besarnya tegangan geser yang diterapkan dan laju perubahan bentuk sudut.

#### 2.2. VISKOSITAS

Viskositas dapat dinyatakan sebagai tahanan aliran fluida yang merupakan gesekan antara molekul – molekul cairan satu dengan yang lain. Viskositas juga merupakan suatu ukuran ketahanan sebuah fluida terhadap deformasi atau perubahan

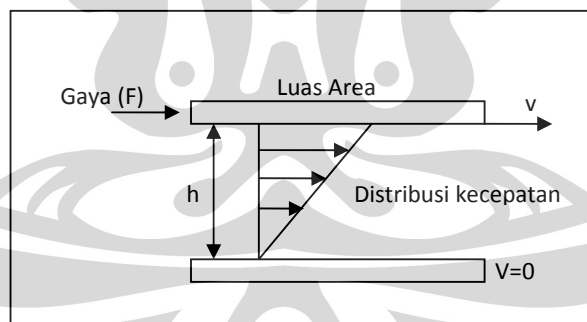
bentuk. Viskositas suatu gas bertambah dengan naiknya temperature karena makin besarnya aktivitas molekuler ketika temperature meningkat.

Pada zat cair, jarak antar molekul jauh lebih kecil dibanding pada gas, sehingga kohesi molekuler akan kuat sekali. Peningkatan temperature mengurangi kohesi molekuler, dan ini diwujudkan berupa berkurangnya viskositas fluida. Suatu jenis cairan yang mudah mengalir, dapat dikatakan memiliki viskositas yang rendah, dan sebaliknya bahan – bahan yang sulit mengalir dikatakan memiliki viskositas yang tinggi.

Pada hukum aliran viskos, Newton menyatakan hubungan antara gaya-gaya mekanika dari suatu aliran viskos sebagai : Geseran dalam ( viskositas ) fluida adalah konstan sehubungan dengan gesekannya.

Hubungan tersebut berlaku untuk fluida Newtonian, dimana perbandingan antara tegangan geser ( $\tau$ ) dengan kecepatan geser ( $\gamma$ ) nya konstan. Parameter inilah yang disebut dengan viskositas.

Aliran viskos dapat digambarkan dengan dua buah bidang sejajar yang dilapisi fluida tipis diantara kedua bidang tersebut.



Gambar 2.1. Prinsip dasar aliran viskos

Suatu bidang permukaan bawah yang tetap dibatasi oleh lapisan fluida setebal sejajar dengan suatu bidang permukaan atas yang bergerak seluas A. Jika bidang bagian atas itu ringan, yang berarti tidak memberikan beban pada lapisan fluida dibawahnya, maka tidak ada gaya tekan yang bekerja pada lapisan fluida. Suatu gaya  $F$  dikenakan pada bidang bagian atas yang menyebabkan bergerakinya bidang atas dengan kecepatan konstan  $v$ , maka fluida dibawahnya akan membentuk suatu lapisan

– lapisan yang saling bergeseran. Setiap lapisan tersebut akan memberikan tegangan geser ( $\tau$ ) sebesar  $F/A$  yang seragam, dengan kecepatan lapisan fluida yang paling atas sebesar  $v$  dan kecepatan lapisan fluida paling bawah sama dengan nol. Maka kecepatan geser ( $\gamma$ ) pada lapisan fluida di suatu tempat pada jarak  $y$  dari bidang tetap, dengan tidak adanya tekanan fluida menjadi:

$$\gamma = \frac{du}{dy} \dots\dots\dots(1)$$

Pada fluida newtonian perbandingan antara besaran kecepatan geser dan tegangan geser adalah konstan.

$$\tau = \mu \cdot \gamma = \mu \left( \frac{du}{dy} \right) \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

$\tau$  = Tegangan geser pada fluida

$\mu$  = Viscositas Fluida

$\frac{du}{dy}$  = Gradien kecepatan fluida

Dengan menggunakan satuan internasional ; N, m<sup>2</sup>, m, m/s untuk gaya, luas area, panjang dan kecepatan, maka besaran viskositas dapat dinyatakan dengan :

$$\mu = \frac{\tau}{\gamma} = \frac{\frac{N}{m^2}}{\frac{m}{s \cdot m}} = \frac{N \cdot s}{m^2} = Pa \cdot s$$

Satuan Pa.s dirasakan terlalu besar dalam prakteknya, maka digunakan satuan mPa.s, yang lebih dikenal sebagai cP atau centipoises<sup>[1]</sup>

$$1 \text{ Pa.s} = 1000 \text{ mPa.s} = 1000 \text{ cP}$$

$$1 \text{ P} = 100 \text{ Cp}$$

### 2.3. KLASIFIKASI FLUIDA

Fluida dapat diklasifikasikan menjadi beberapa bagian, tetapi secara garis besar fluida dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian yaitu :

### 2.3.1 FLUIDA NEWTONIAN

Fluida Newtonian adalah suatu jenis fluida yang memiliki kurva *shear stress* dan gradien kecepatan yang linier, yang digolongkan ke dalam fluida ini antara lain : air, udara, ethanol, benzena, dsb. Fluida Newtonian akan terus menerus mengalir sekalipun terdapat gaya yang bekerja pada fluida, karena viskositas fluida ini tidak berubah ketika terdapat gaya yang bekerja pada fluida tersebut, viskositas akan berubah jika terjadi perubahan temperatur.

Sebuah fluida Newtonian didefinisikan sebagai [fluida](#) yang [tegangan gesernya](#) berbanding lurus secara linier dengan [gradien kecepatan](#) pada arah [tegak lurus](#) dengan bidang geser. Definisi ini memiliki arti bahwa fluida newtonian akan mengalir terus tanpa dipengaruhi gaya-gaya yang bekerja pada fluida. Sebagai contoh, air adalah fluida Newtonian karena air memiliki properti fluida sekalipun pada keadaan diaduk. Dengan kata lain fluida Newtonian adalah fluida yang mengikuti hukum Newton tentang aliran dan dapat dituliskan dengan persamaan berikut ini.

### 2.3.2. FLUIDA NON-NEWTONIAN

Fluida Non-Newtonian adalah fluida yang tidak tahan terhadap tegangan geser (*shear stress*), *gradient* kecepatan (*shear rate*) dan temperatur. Dengan kata lain kekentalan (viskositas) merupakan fungsi daripada waktu. Fluida Non-Newtonian ini tidak mengikuti hukum Newton tentang aliran.

Bila [fluida non-Newtonian](#) diaduk, akan tersisa suatu "lubang". Lubang ini akan terisi seiring dengan berjalannya waktu. Sifat seperti ini dapat teramati pada material-material seperti puding. Peristiwa lain yang terjadi saat fluida non-Newtonian diaduk adalah penurunan viskositas yang menyebabkan fluida tampak "lebih tipis" (dapat dilihat pada [cat](#)). Ada banyak tipe fluida non-Newtonian yang kesemuanya memiliki properti tertentu yang berubah pada keadaan tertentu. Sebagai

contoh dari fluida Non-Newtonian ini antara lain : cat, minyak pelumas, lumpur, darah, obat-obatan cair, bubur kertas, dsb.

Berikut ini ada beberapa model pendekatan untuk fluida Non-Newtonian:

a. *Bingham plastic*

*Bingham plastic* adalah suatu model pendekatan fluida Non-Newtonian dimana viscositasnya akan sangat tergantung pada *shear stress* dari fluida tersebut, dimana semakin lama viscositasnya akan menjadi konstan.

Persamaan untuk model *Bingham plastic* ini ditunjukkan oleh persamaan berikut

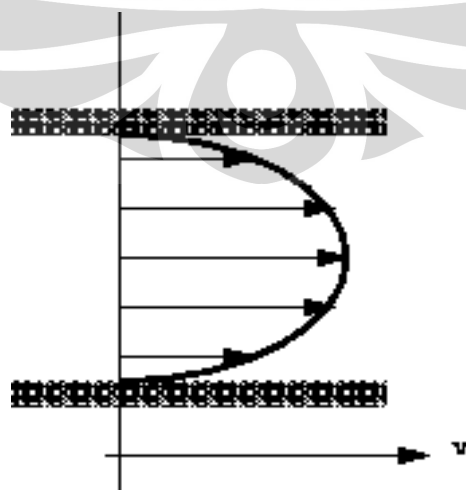
ini: 
$$\tau = \tau_y + \mu_p \frac{du}{dy} \dots \dots \dots (3)$$

b. *Pseudoplastic*

*Pseudoplastic* adalah suatu model pendekatan fluida Non-Newtonian dimana viscositasnya cenderung menurun tetapi *shear stress* dari fluida ini akan semakin meningkat. contoh fluida ini adalah vinil acetate/vinylpyrrolidone co-polymer (PVP/PA).

Persamaan untuk model ini ditunjukkan sebagai berikut ini :

$$\tau = K \left( \frac{du}{dy} \right)^n, n < 1 \dots \dots \dots (4)$$





Gambar 2.2. Distribusi Kecepatan *pseudoplastics fluid* pada pipa

c. *Dilatant*

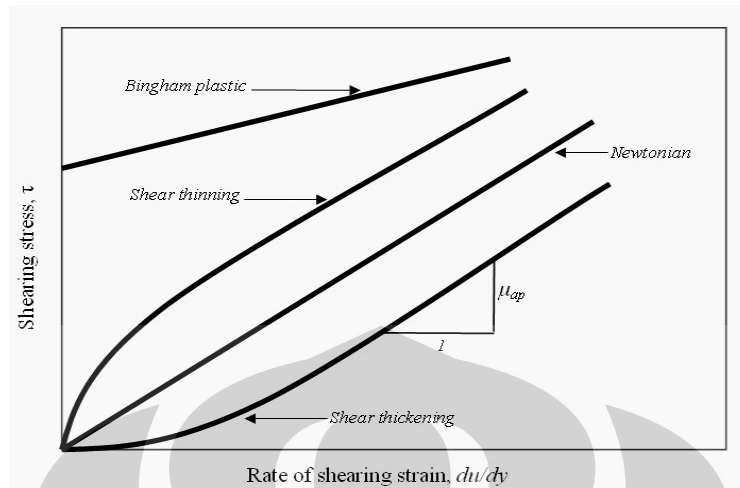
*Dilatant* adalah suatu model pendekatan fluida Non-Newtonian dimana viscositas dan shear stress dari fluida ini akan cenderung mengalami peningkatan. contoh dari fluida jenis ini adalah pasta

Persamaan untuk model ini ditunjukkan sebagai berikut ini :

$$\tau = K \left( \frac{du}{dy} \right)^n, n > 1 \dots \dots \dots (5)$$

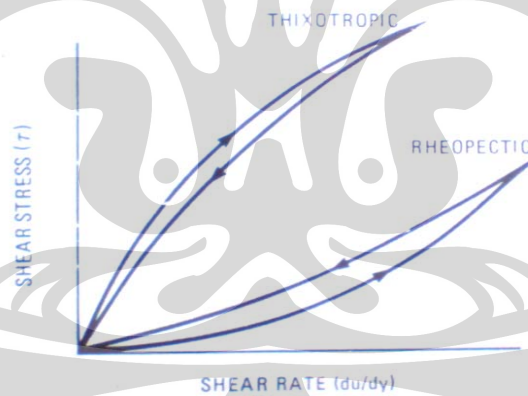
Penggolongan lainnya untuk fluida Non-Newtonian berdasarkan sifat histerisis nya adalah :

- a. *Thixotropic (Shear thining)*, fluida dimana viscositasnya seolah-olah semakin lama semakin berkurang meskipun laju gesernya tetap. Apabila terdapat gaya yang bekerja pada fluida ini maka viscositasnya akan menurun contoh fluida ini adalah cat, campuran tanah liat (clay) dan berbagai jenis jel.
- b. *Rheopectic (shear thickening)*, adalah fluida yang viskositasnya seolah-olah makin lama makin besar. Sebagai contoh adalah minyak pelumas dimana viscositasnya akan bertambah besar saat minyak pelumas tersebut mengalami guncangan. Dalam hal ini fluida rheopectic jika ada suatu gaya yang bekerja padanya maka viskositas fluida ini akan bertambah.



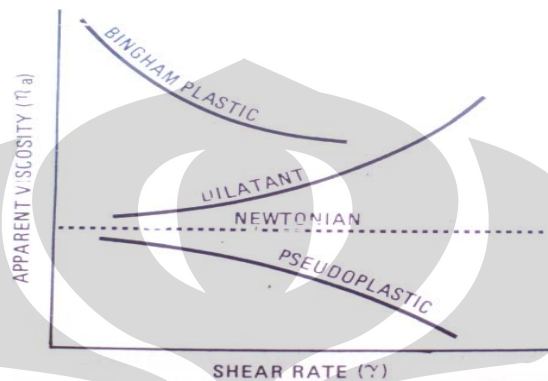
Gambar 2.3. Kurva aliran hubungan antara shear stress dan gradien kecepatan

Kurva dibawah ini akan menunjukkan hubungan tegangan geser (shear stress) dengan gradien kecepatan (shear rate) pada fluida thixotropic dan rheotropic



Gambar 2.4. Hubungan *shear rate* dan *shear stress* pada *thixotropic* dan *rheopectic*

Apabila dilihat dari hubungan antara fungsi viscositas dan shear rate pada fluida thixotropic dan rheotropic, maka dapat digambarkan pada diagram dibawah ini



Gambar.2.5. Kurva aliran hubungan antara *apparent viscosity* dan gradien kecepatan

Pada fluida Non-Newtonian secara umum hubungan tegangan geser (*shear stress*) dan gradien kecepatan (*shear rate*) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\tau = K \left( \frac{du}{dy} \right)^n = K(\gamma)^n \dots\dots\dots(6)$$

Dimana :

K = Indeks konsistensi

n = Indeks perilaku aliran (power law Index)

$du / dy = \gamma$  = Laju aliran

$\tau$  = Tegangan geser

Dengan :

$$\tau = \frac{D\Delta P}{4L} \dots\dots\dots(7)$$

$$\gamma = \frac{8V}{D} \dots\dots\dots(8)$$

### 2.3.3. POWER LAW INDEX

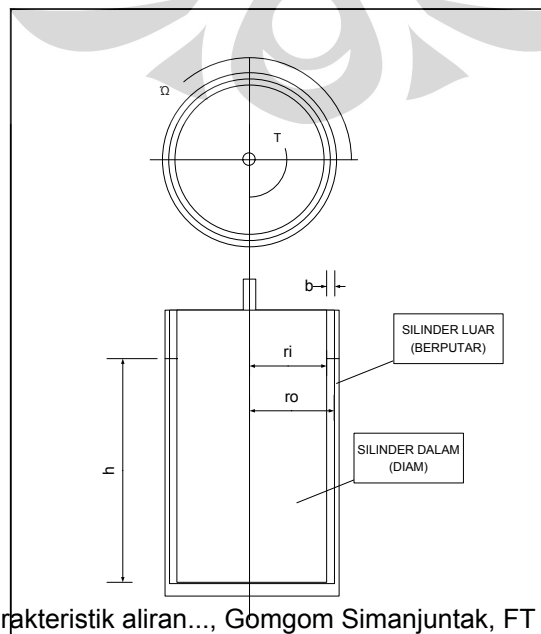
Dari nilai tegangan geser (shear stress) dan laju aliran dari fluida tersebut maka power law index (n) dapat diketahui dari persamaan berikut ini :

$$n = \frac{\text{Log} \frac{\tau_1}{\tau_2}}{\text{Log} \frac{\gamma_1}{\gamma_2}} \dots\dots\dots(9)$$

### 2.4 VISCOMETER SILENDER KOAKSIAL (Coaxial cylinder viscometer)

Viskometer merupakan peralatan yang digunakan untuk mengukur viskositas suatu fluida. Model viskometer yang umum digunakan berupa viskometer peluru jatuh, tabung ( pipa kapile ) dan sistem rotasi.

Prinsip dasar dari viscometer silinder koaksial dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 2.6. Silinder Putar koaksial (Koaksial Viskometer)

Material (fluida) ditempatkan di antara dua silinder, dimana silinder yang satu dapat diputar pada kecepatan putar yang diinginkan, dan silinder yang lain akan menghasilkan torsi yang dapat kita ukur besarnya. Variasi dari kecepatan putar dan torsi yang dihasilkan dapat menginterpretasikan hubungan antara tegangan geser (shear stress) dan regangan geser (shear of rate). Viskometer jenis ini akan membentuk *the end effect* di dasar dari kedua silinder. Dengan perancangan alat yang baik maka *the end effect* ini akan dapat di perkecil, tetapi tidak dapat di hilangkan sama sekali.

Viskometer silinder koaksial dibuat berdasarkan 2 standar, system Searle dimana silinder bagian dalam berputar dengan silinder bagian luar diam dan system Couette dimana bagian luar silinder yang diputar sedangkan bagian dalam silinder diam<sup>[2]</sup>. Fluida yang akan diukur ditempatkan pada celah diantara kedua silinder. Persamaan matematis untuk menghitung viskositas diturunkan dari hukum newton tentang aliran viskos.

Silinder dalam dengan jari – jari  $r_i$  dan tinggi  $h$  berputar dengan kecepatan sudut konstan ( $\omega$ ) pada silinder luar dengan jari – jari  $r_o$ . Gaya ( $F$ ) yang bekerja terhadap fluida pada jarak  $r$  diantara kedua silinder menghasilkan tegangan geser ( $\tau$ ) pada fluida sebesar :

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{T/r_o}{2\pi.r_o.h} = \frac{T}{2\pi.r_o^2.h} \dots\dots\dots(10)$$

$T$  merupakan torsi yang bekerja pada fluida yang merupakan hasil kali antara gaya ( $F$ ) yang diberikan oleh putaran silinder dalam dengan jarak fluida dari pusat silinder ( $r$ ). Kecepatan geser dapat dinyatakan sebagai :

$$\gamma = \frac{du}{dy} = \frac{2.\pi.r_d.n}{60.b} \dots\dots\dots(11)$$

Hubungan antara kecepatan geser dengan tegangan geser menghasilkan persamaan viskositas untuk fluida newtonian sebagai <sup>[3]</sup>:

$$\mu = \frac{\tau}{\gamma} = \frac{T/2.\pi.r_o^2.h}{2.\pi.r_i.n/60.b}$$

$$\mu = \frac{15.T.b}{\pi^2.r_o^2.r_i.h.n} \dots\dots\dots(12)$$

dimana :

$\mu$  : viskositas absolut ( $N.s/m^2$ )

$n$  : jumlah putaran silinder luar (rpm)

$h$  : tinggi silinder (m)

$r_i$  : diameter silinder dalam (m)

$r_o$  : diameter silinder luar (m)

$T$  : torsi (N.m)



## BAB III

### DISKRIPSI ALAT DAN PROSES PENGUJIAN

#### 3.1 PERALATAN PENGUJIAN

1. Penampang fluida (mud cup) berbentuk seperti tabung yang terbuat dari bahan logam. Yang mempunyai ukuran dimensi: diameter 60 mm, tinggi: 90 mm.
2. Alat yang digunakan untuk melakukan pengetasan adalah ***Fann 35 Rheometer, model 35SA.***

Dimensi dari alat ini adalah:

- tinggi: 38.6 cm
- lebar: 15.24 cm,
- panjang: 26.5 cm

yang menggunakan motor sebagai alat penggerakannya. Spesifikasinya adalah :

- Motor AC
- Voltage: 115V
- Frequency: 50 HZ
- Putaran: 750/1500 RPM

3. Sistem transmisi yang digunakan adalah dengan roda gigi. Ada 8 buah roda gigi yang dipakai untuk transmisi putaran. Dengan diameter yang berbeda dan fungsi yang berbeda.
4. menggunakan kapasitor dengan kapasitas 6  $\mu$ F.
5. Putaran yang dihasilkan diatur oleh tiga alat. Yaitu *switch, shift rod assy dan Gear box lever.*

Switch mempunyai 2 (dua) posisi, yaitu posisi depan dan belakang.

Shift rod assy mempunyai 3 (tiga) posisi yaitu: bawah, tengah dan atas.

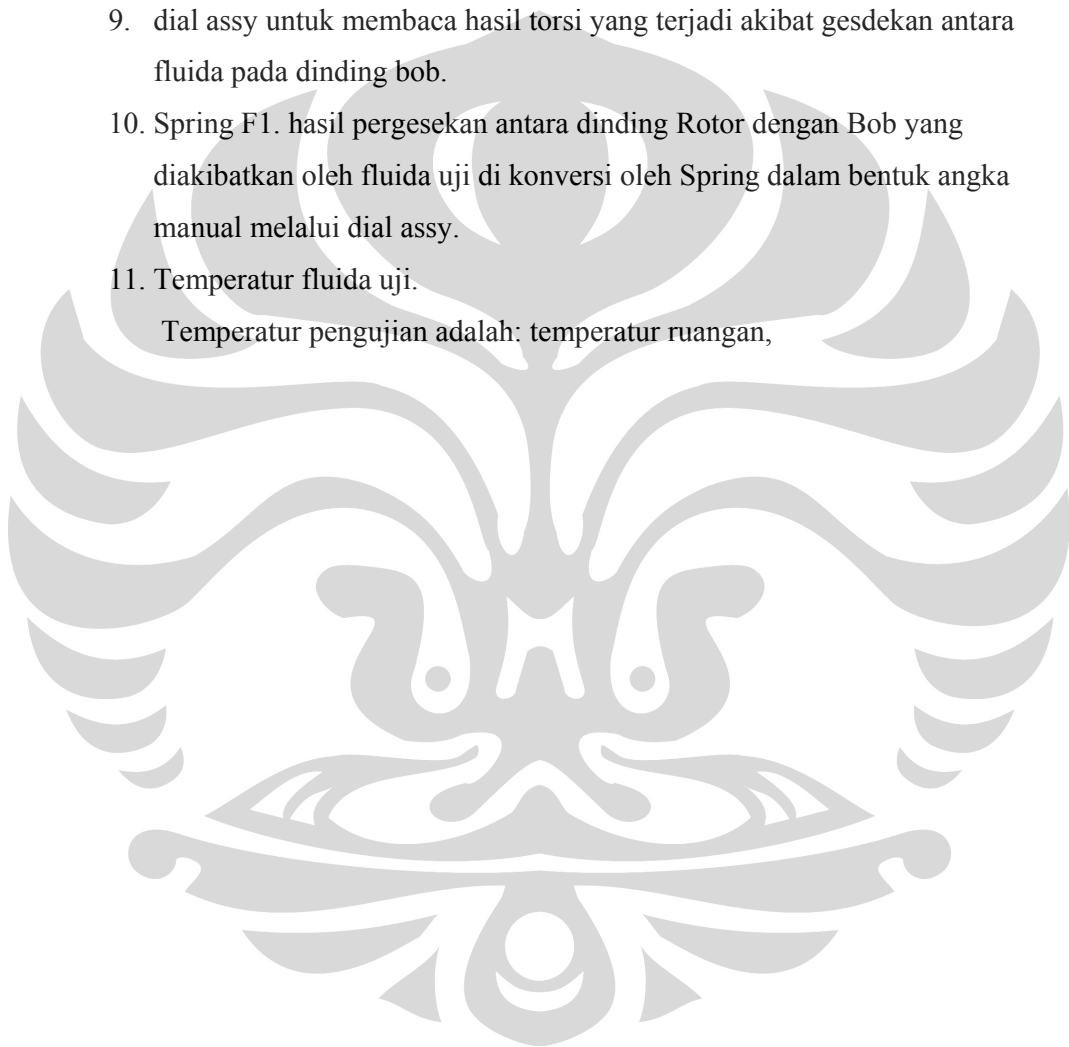


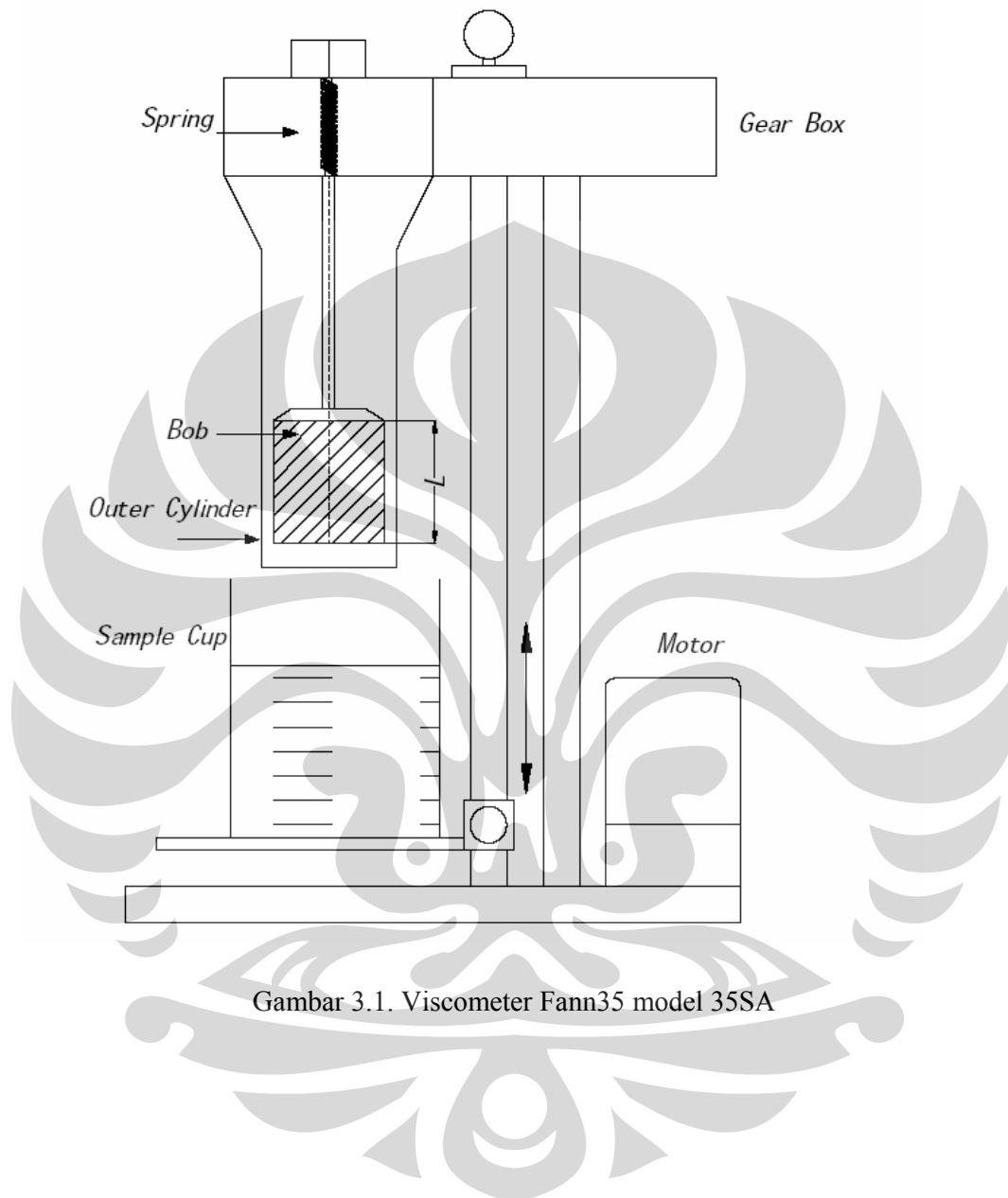
Gear box lever mempunyai 2 (dua) posisi, yaitu posisi depan dan belakang

Komposisi putarannya adalah sebagai berikut:

- jika gear box lever di posisikan ke arah depan dan switch di posisikan ke arah depan:
  - a. shift rod assy pada posisi bawah maka putaran nya adalah 600 rpm
  - b. shift rod assy pada posisi atas maka putaran nya adalah 200 rpm
  - c. shift rod assy pada posisi tengah maka putaran nya adalah 6 rpm.
- Jika jika gear box lever di posisikan ke arahdepan dan switch di posisikan ke belakang :
  - a. shift rod assy pada posisi bawah maka putaran nya adalah 300 rpm
  - b. shift rod assy pada posisi atas maka putaran nya adalah 100 rpm
  - c. shift rod assy pada posisi tengah maka putaran nya adalah 3 rpm
- jika gear box lever di posisikan ke arah belakang dan switch di posisikan ke arah depan:
  - d. shift rod assy pada posisi bawah maka putaran nya adalah 180 rpm
  - e. shift rod assy pada posisi atas maka putaran nya adalah 60 rpm
  - f. shift rod assy pada posisi tengah maka putaran nya adalah 1.8 rpm.
- Jika jika gear box lever di posisikan ke arah belakang dan switch di posisikan ke belakang :
  - d. shift rod assy pada posisi bawah maka putaran nya adalah 90 rpm
  - e. shift rod assy pada posisi atas maka putaran nya adalah 30 rpm

- f. shift rod assy pada posisi tengah maka putaran nya adalah 0.9 rpm
6. Bob. Dihubungkan oleh bob shaft ke dial assy. Mempunyai r:1,7245 cm dan panjang 3.8 cm
  7. Rotor. Media yang bergesekan dengan fluida uji. Mempunyai r 1,8415 cm.
  8. stage, untuk memposisikan fluida uji.
  9. dial assy untuk membaca hasil torsi yang terjadi akibat gesdekan antara fluida pada dinding bob.
  10. Spring F1. hasil pergesekan antara dinding Rotor dengan Bob yang diakibatkan oleh fluida uji di konversi oleh Spring dalam bentuk angka manual melalui dial assy.
  11. Temperatur fluida uji.  
Temperatur pengujian adalah: temperatur ruangan,





Gambar 3.1. Viscometer Fann35 model 35SA

### 3.2. CARA KERJA ALAT (FANN 35SA)

1. Sebelum alat dioperasikan, ada baiknya diperhatikan terlebih dahulu tegangan masuk yang diperlukan oleh alat tsb. Apakah 110V atau 220V.
2. Setelah dihubungkan ke tegangan AC, Alat siap untuk digunakan.
3. jika switch (terletak di sebelah kanan bawah) diposisikan pada posisi normal (tengah) maka rotor tidak akan berputar atau diam.
4. untuk mendapatkan putaran Rotor, switch di posikan ke depan atau kebelakang.
5. ada 12 (dua belas putaran (RPM) yang dihasilkan oleh alat uji sesuai dengan pabrikannya. Ke 12 putaran ini diatur oleh switch dengan mengatur jumlah voltage. Dan Shift rod assy.

Putaran yang yang dihasilkan adalah:

- 600 rpm
- 300 rpm
- 200 rpm
- 180 rpm
- 100 rpm
- 90 rpm
- 60 rpm
- 30 rpm
- 6 rpm
- 3 rpm
- 1.8 rpm
- 0.9 rpm

RPM	gear box lever	viscometer gear knob	motor switch
600	kiri	bawah	kiri
300	kiri	bawah	kanan
200	kiri	atas	kiri
180	kanan	bawah	kiri
100	kiri	atas	kanan
90	kanan	bawah	kanan
60	kanan	atas	kiri
30	kanan	atas	kanan
6	kiri	tengah	kiri
3	kiri	tengah	kanan
1.8	kanan	tengah	kiri
0.9	kanan	tengah	kanan

6. Setelah pengetesan selesai, posisi switch di kembalikan ke tengah untuk memnghentikan putaran.
- 7.

### 3.3. LOKASI PENGUJIAN

Lokasi pengujian dilakukan di Laboratorium Drilling Fluid, Asia Pacific Regional Lab. PT M-I Indonesia. Yang berlokasi di Jln TB Simatupang no 41. Jakarta Selatan.

### 3.4. PROSEDUR PENGUJIAN

Prosedur kerja alat pengujian adalah sebagai berikut:

Motor adalah penggerak utama dan awal. Putaran Motor akan diteruskan melalui transmisi roda gigi bawah. Dan akan di transmisikan selanjutnya ke sistem roda gigi utama penggerak yang berada di bagian atas dengan menggunakan flex coupling.

Dari flex coupling putaran akan di trasmisikan ke roda gigi penggerak utama. Pada roda gigi penggerak utama inilah di tentukan jenis putaran atau rpm dengan menaikkan Shift Rod Ass'y.

Dari system roda gigi penggerak utama ini juga lanjutan putaran dari motor akan di transmisikan ke rotor shaft yang terhubung langsung dengan menggunakan roda gigi juga. Di dalam rotor shaft terinstal dial shaft. Dan pada dial ini juga terdapat bob. Jadi bob berada di dalam rotor. Jika bob inilah nantinya bergerak sebagai dial atau pembacaan akibat dari gesekan antara fluida uji dengan rotor.

### **3.5. TAHAP PENGUJIAN**

#### **3.5.1. TAHAP KALIBRASI**

Sebelum di lakukan pengujian terhadap fluida, ada baiknya alat uji di kali basi terlebih dahulu untuk mendapatkan hasil yang akurat. Pada viscometer jenis ini, kalibarsinya di lakukan dengan menggunakan calibration fluids (*Fluida kalibrasi*).

Prosedurnya :

- Tuangkan Fluida kalibrasi pada cup sesuai dengan ukuran. Tempatkan pada stage di viscometer, naikan cup hingga sebageian rotor tenggelam di dalam cup yang telah terisi fluida kalibrasi hingga mencapai tanda garis pada rotor.
- Lakukan pengetesan pada 600rpm, dan 300rpm.
- Siapkan termometer digital kapasitas 2 (*dua*) desimal.
- Di saat pengetesan 600rpm, masukkan probe termometer untuk mengukur temperatur dari fluida pada kalibrasi tersebut.
- Catat temperatur yg telah di tunjukkan oleh termometer dan juga hasil pengetesan pada 600rpm yang di tunjukan oleh jarum penunjuk pada dial.

- Setelah itu lakukan lagi pengetesan pada 300rpm.
- Lihat viskositas yang di tunjukkan oleh temperatur fluida kalibrasi yang di dapat pada tabel viskositas fluida kalibrasi dari manufacturnya dan bandingkan terhadap hasil pembacaan 300rpm tersebut.
- Maksimum penyimpangan viskositas adalah +/- 2.
- Untuk hasil pengetesan 600rpm, hasil yang di tunjukkan oleh dial pembacaan di bagi dengan 1,98. Di mana hasil bagi tersebut di bandingkan dengan harga viskositas yang di tunjukkan oleh fluida kalibrasi tadi. Penyimpangannya juga tidak boleh +/-2.

*(Prosedur kalibrasi ini sesuai dengan Standart WOI Internal Perusahaan).*

### **3.5.2. TAHAP PENGAMBILAN DATA**

1. Bersihkan seluruh permukaan silinder dalam dan luar.
2. lalu masukkan fluida uji ke dalam thermo cup. Untuk pengetesan pada room temperatur, heater switch tidak dinyalakan.
3. posisikan thermocup yang telah diisi oleh fluida uji hingga permukaan fluida uji menyentuh batas garis pada rotor.
4. nyalakan viscometer dengan mengubah posisi switch ke depan atau ke belakang, akibat putaran rotor, maka akan terjadi gesekan antara dinding rotor dengan fluida, dan juga bob. Bob ini akan mengkonversikan torsi yang terjadi menjadi dalam bentuk angka yang ditunjukkan oleh jarum (pointer) secara manual. Hasilnya inilah yang didapat sebagai tegangan geser ( $\sigma$ ).
5. untuk mendapatkan teg geser pada setiap rpm yang ditentukan, bisa dilakukan dengan mengubah rpm nya sesuai dengan cara yang telah di beritahukan sebelumnya.
6. Olah dan analisa data

## BAB IV

### PERHITUNGAN DAN ANALISA DATA

#### 5.1 PERHITUNGAN

Pengujian yang dilakukan menggunakan beberapa konsentrasi larutan, antara lain larutan lumpur Lapindo dengan konsentrasi specific gravity (sg) 1.14, 1.164, 1.176, 1.188, 1.2, 1.212, 1.236. Untuk mendapatkan konsentrasi-konsentrasi larutan tersebut, didapat dengan cara mengurangi kadar air yang ada dalam Larutan lumpur tersebut dengan mengeringkan lumpur tersebut beberapa lama, sehingga kadar air nya berkurang.

- Variasi putaran silinder luar viscometer.

RPM	gear box lever	viscometer gear knob	motor switch
600	kiri	bawah	kiri
300	kiri	bawah	kanan
200	kiri	atas	kiri
180	kanan	bawah	kiri
100	kiri	atas	kanan
90	kanan	bawah	kanan
60	kanan	atas	kiri
30	kanan	atas	kanan
6	kiri	tengah	kiri
3	kiri	tengah	kanan
1.8	kanan	tengah	kiri
0.9	kanan	tengah	kanan



### 5.1.1 Larutan Lumpur Lapindo dengan specific gravity (sg) 1.14

Pengujian yang dilakukan dengan specific gravity (sg) larutan lumpur 1.14 menghasilkan data sebagai berikut:

RPM	Shear stress (lbf/100 ft <sup>2</sup> )
600	17
300	13
200	12
180	11
100	10
90	9
60	8
30	7
6	6
3	5
1.8	5

Tabel.4.1. Data hasil pengujian lumpur dengan sg 1.14

Karena unit satuan diatas masih dalam bentuk unit saruan dari manufactur nya (Amerika), maka bila di ubah ke dalam satuan Internasional, maka data nya akan seperti tabel dibawah:

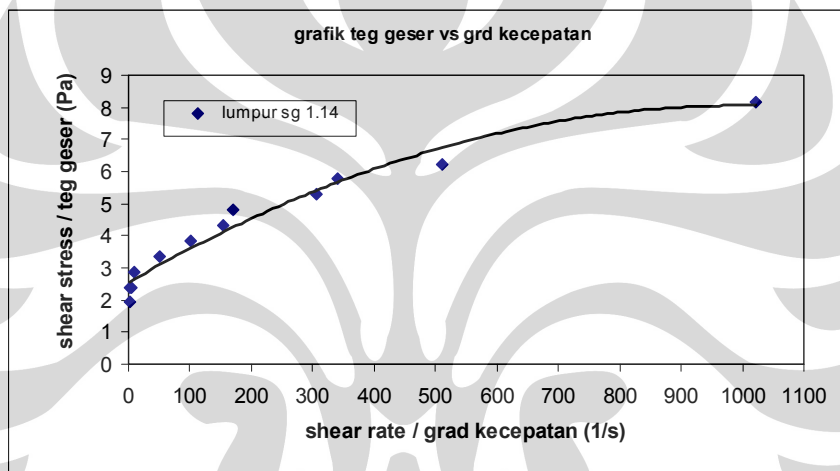
RPM	1/s	dial reading (deflection) (shear stress)	
		(lbf/100 ft <sup>2</sup> )	Pascal (Pa)
600	1021.8	17	8.16
300	510.9	13	6.24
200	340.6	12	5.76
180	306.54	11	5.28
100	170.3	10	4.8
90	153.27	9	4.32
60	102.18	8	3.84
30	51.09	7	3.36
6	10.22	6	2.88

3	5.11	5	2.4
1.8	3.07	5	2.4

Tabel.4.2. Data hasil pengujian lumpur dengan sg 1.14 unit SI

Dari data diatas, hasil pembacaan (dial reading) dari alat adalah langsung nilai shear stress nya ( $\tau$ )

Setelah nilai tegangan geser dan gradien kecepatan didapat, maka dibuat grafik hubungan antara tegangan geser dan gradien kecepatan untuk larutan lumpur dengan specific gravity 1.14



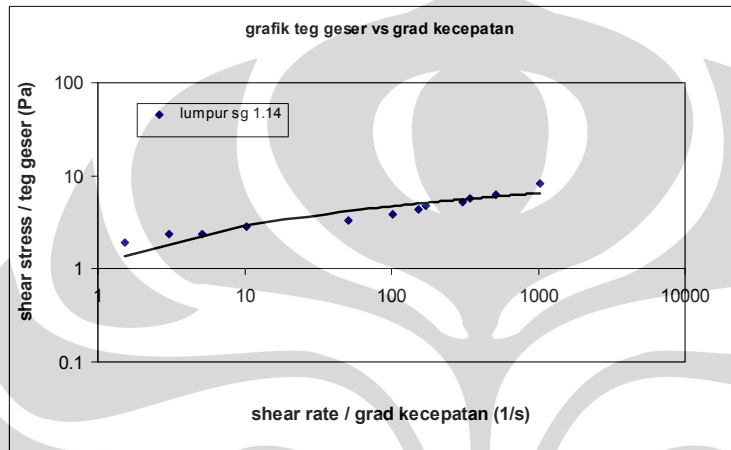
Gambar 4.1 Grafik Hubungan Tegangan Geser vs Gradien Kecepatan untuk larutan lumpur dengan specific gravity 1.14

Untuk mendapatkan nilai  $n$  pada larutan dengan specific gravity 1.14 kita dapat menggunakan grafik log-log pada kurva aliran di atas atau dengan metoda perhitungan.

#### A. Nilai kemantapan aliran (*Power Law Index*) untuk larutan dengan sg 1.14

$$n = \frac{\log \frac{\tau_1}{\tau_2}}{\log \frac{\gamma_1}{\gamma_2}}$$

$$n = \frac{\log \frac{5,76}{5,28}}{\log \frac{340,60}{306,54}} = 0,826$$



Gambar 4.2 Grafik log-log untuk larutan lumpur dengan sg 1.14

B. Perhitungan nilai viskositas sesaat untuk larutan lumpur dengan sg 1.14

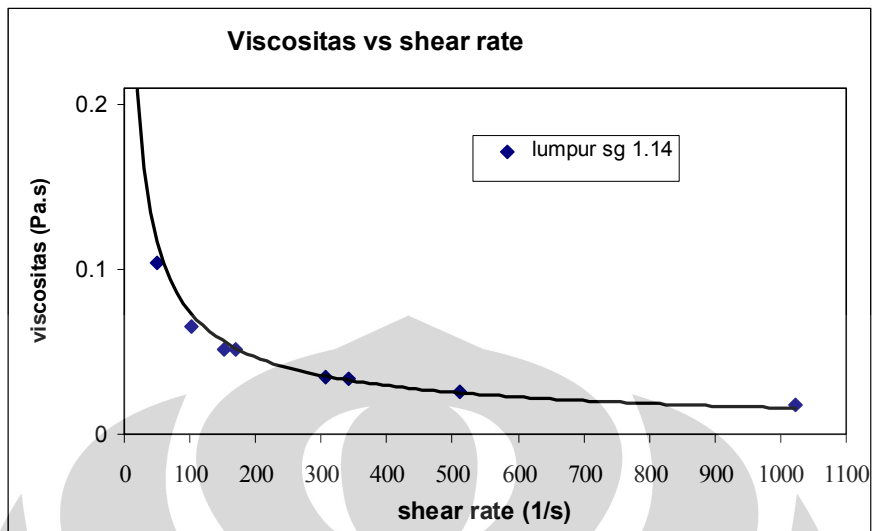
$$\eta = \left( \frac{\tau}{\gamma} \right)^n$$

$$\eta = \left( \frac{5,76}{340,6} \right)^{0,826}$$

$$\eta = 0,033837 Pa.s$$

Tabel 4.3. Data hasil perhitungan nilai viskositas sesaat untuk larutan lumpur dengan sg 1.14

RPM	1/s	dial reading (deflection) (shear stress)		log $\tau_1/\tau_2$	log $\gamma_1/\gamma_2$	n	$\eta$
		(lbf/100 ft <sup>2</sup> )	Pascal (Pa)				
600	1021.8	17	8.16	0.117	0.301	0.387	0.01815
300	510.9	13	6.24	0.035	0.176	0.197	0.02583
200	340.6	12	5.76	0.038	0.046	0.826	0.03384
180	306.54	11	5.28	0.041	0.255	0.162	0.03436
100	170.3	10	4.8	0.046	0.046	1	0.0517
90	153.27	9	4.32	0.051	0.176	0.29	0.0517
60	102.18	8	3.84	0.058	0.301	0.193	0.06565
30	51.09	7	3.36	0.067	0.699	0.096	0.10446
6	10.22	6	2.88	0.079	0.301	0.263	0.34956
3	5.11	5	2.4	0	0.222	0	0.53414
1.8	3.07	5	2.4	0.097	0.301	0.322	0.81619



Gambar 4.3. Grafik hubungan antara viskositas sesaat dan gradien kecepatan untuk lumpur dengan sg 1.14

### 5.1.2 Larutan Lumpur Lapindo dengan specific gravity (sg) 1.16

Pengujian yang dilakukan dengan specific gravity (sg) larutan lumpur 1.16 menghasilkan data sebagai berikut:

RPM	Shear stress (lbf/100 ft <sup>2</sup> )
600	24
300	14
200	13
180	12
100	11
90	10
60	9
30	8
6	8
3	7
1.8	6

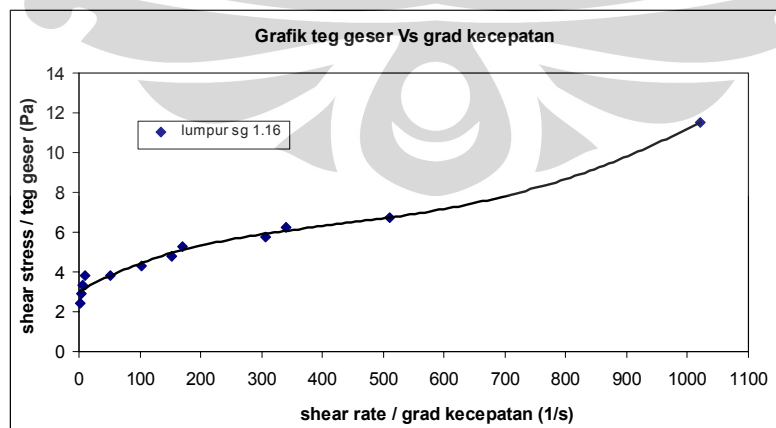
Tabel.4.4. Data hasil pengujian lumpur dengan sg 1.16

Setelah di ubah ke satuan Internasional, maka data seperti tabel dibawah

RPM	1/s	dial reading (deflection) (shear stress)	
		(lbf/100 ft <sup>2</sup> )	Pascal (Pa)
600	1021.8	24	11.52
300	510.9	14	6.72
200	340.6	13	6.24
180	306.54	12	5.76
100	170.3	11	5.28
90	153.27	10	4.8
60	102.18	9	4.32
30	51.09	8	3.84
6	10.22	8	3.84
3	5.11	7	3.36
1.8	3.07	6	2.88

Tabel.4.5. Data hasil pengujian lumpur dengan sg 1.16 unit SI

Seperti hal nya untuk lumpur sg 1.14, Setelah nilai tegangan geser dan gradien kecepatan didapat, maka dibuat grafik hubungan antara tegangan geser dan gradien kecepatan untuk larutan lumpur dengan specific gravity 1.16

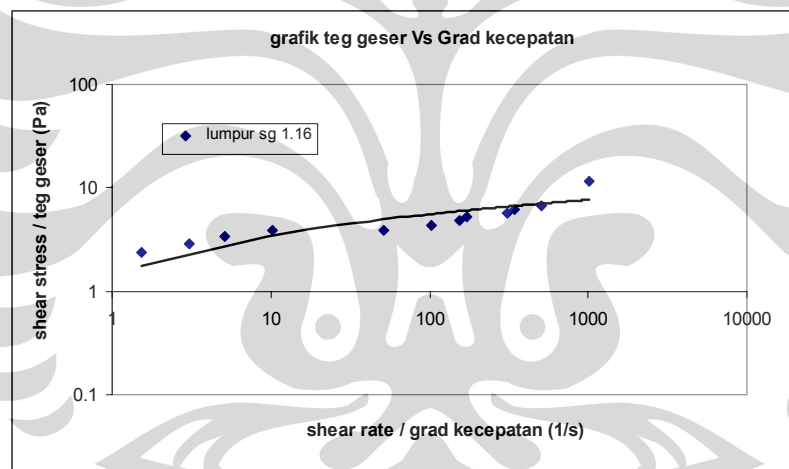


Gambar 4.4. Grafik Hubungan Tegangan Geser vs Gradien Kecepatan untuk larutan lumpur dengan specific gravity 1.16

A. Nilai kemantapan aliran (*Power Law Index*) untuk larutan dengan sg 1.16

$$n = \frac{\log \frac{\tau_1}{\tau_2}}{\log \frac{\dot{\gamma}_1}{\dot{\gamma}_2}}$$

$$n = \frac{\log \frac{11.52}{6.72}}{\log \frac{1021.8}{510.9}} = 0.776$$



Gambar 4.5. Grafik log-log untuk larutan lumpur dengan sg 1.16

B. Perhitungan nilai viskositas sesaat untuk larutan lumpur dengan sg 1.16

$$\eta = \left( \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \right)^n$$

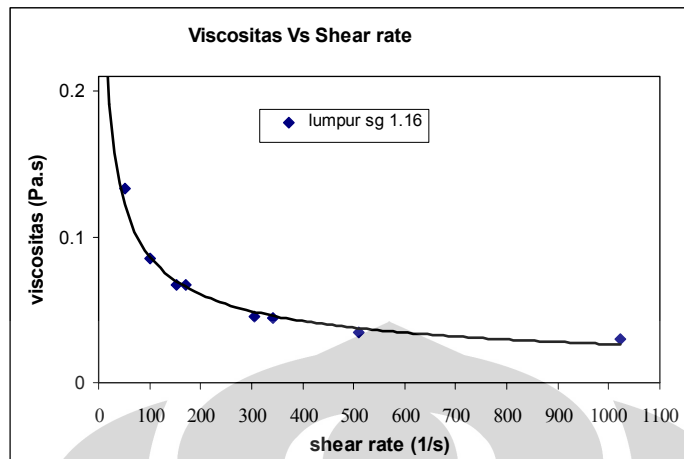
$$\eta = \left( \frac{11.52}{1021.8} \right)^{0.777}$$

$$\eta = 0,03024 Pa.s$$

Tabel 4.6. Data hasil perhitungan nilai viskositas sesaat untuk larutan lumpur dengan sg 1.16

RPM	1/s	dial reading (deflection) (shear stress)		log $\tau_1/\tau_2$	log $\gamma_1/\gamma_2$	n	$\eta$
		(lbf/100 ft <sup>2</sup> )	Pascal (Pa)				
600	1021.8	24	11.52	0.234	0.301	<b>0.7776</b>	0.03024
300	510.9	14	6.72	0.032	0.176	0.1828	0.03411
200	340.6	13	6.24	0.035	0.046	0.7597	0.04417
180	306.54	12	5.76	0.038	0.255	0.148	0.04505
100	170.3	11	5.28	0.041	0.046	0.9046	0.06657
90	153.27	10	4.8	0.046	0.176	0.2599	0.0671
60	102.18	9	4.32	0.051	0.301	0.1699	0.0848
30	51.09	8	3.84	0	0.699	0.0000	0.13282
6	10.22	8	3.84	0.058	0.301	0.1926	0.46609
3	5.11	7	3.36	0.067	0.222	0.3018	0.72118
1.8	3.07	6	2.88	0.079	0.301	0.263	0.9525





Gambar 4.6. Grafik hubungan antara viskositas sesaat dan gradien kecepatan untuk lumpur dengan sg 1.16

### 5.1.3 Larutan Lumpur Lapindo dengan specific gravity (sg) 1.176

Pengujian yang dilakukan dengan specific gravity (sg) 1.16 menghasilkan data sebagai berikut:

RPM	Shear stress (lbf/100 ft <sup>2</sup> )
600	27
300	16
200	14
180	13
100	12
90	11
60	10
30	9
6	7
3	7
1.8	6

dilakukan dengan specific gravity (sg) 1.16 menghasilkan data sebagai berikut:

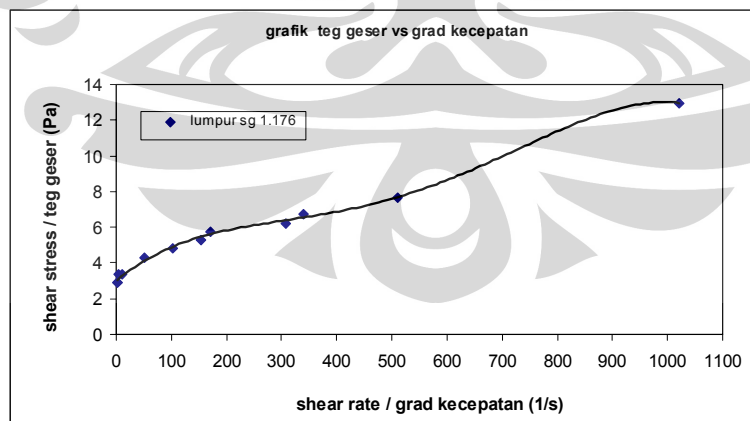
Tabel.4.7. Data hasil pengujian lumpur dengan sg 1.176

Setelah di ubah ke satuan Internasional, maka data seperti tabel dibawah

RPM	1/s	dial reading (deflection) (shear stress)	
		(lbf/100 ft <sup>2</sup> )	Pascal (Pa)
600	1021.8	27	12.96
300	510.9	16	7.68
200	340.6	14	6.72
180	306.54	13	6.24
100	170.3	12	5.76
90	153.27	11	5.28
60	102.18	10	4.8
30	51.09	9	4.32
6	10.22	7	3.36
3	5.11	7	3.36
1.8	3.07	6	2.88

Tabel.4.8. Data hasil pengujian lumpur dengan sg 1.176 unit SI

Seperti hal nya untuk lumpur sg 1.14 dan 1.16, Setelah nilai tegangan geser dan gradien kecepatan didapat, maka dibuat grafik hubungan antara tegangan geser dan gradien.

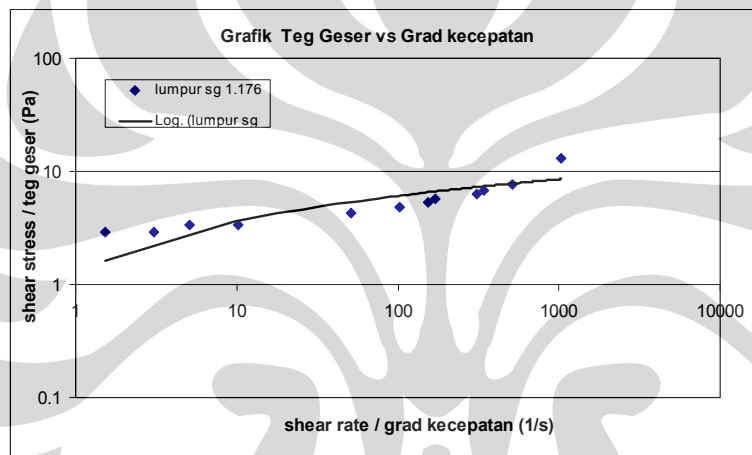


Gambar 4.7. Grafik Hubungan Tegangan Geser vs Gradien Kecepatan untuk larutan lumpur dengan specific gravity 1.176

A. Perhitungan nilai  $n$  (*Power Law Index*) untuk larutan dengan sg 1.176

$$n = \frac{\log \frac{\tau_1}{\tau_2}}{\log \frac{\gamma_1}{\gamma_2}}$$

$$n = \frac{\log \frac{12.96}{7.68}}{\log \frac{1021.80}{510.90}} = 0.754$$



Gambar 4.8. Grafik log-log untuk larutan lumpur dengan sg 1.176

B. Perhitungan nilai viskositas sesaat untuk larutan lumpur dengan sg 1.176

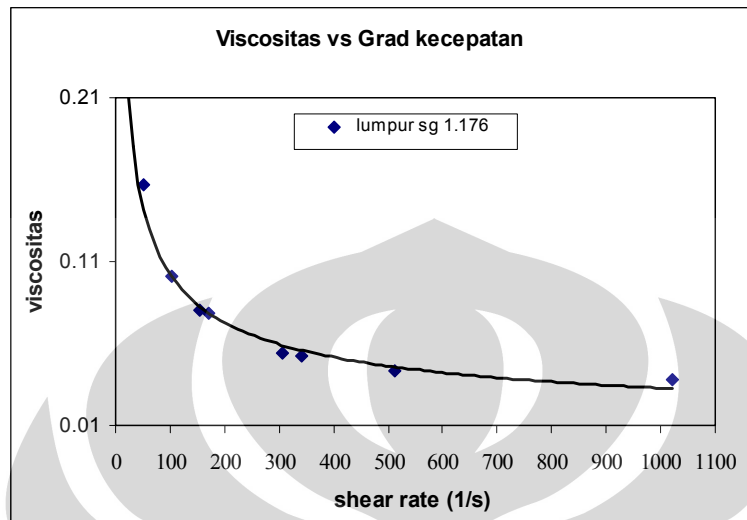
$$\eta = \left( \frac{\tau}{\gamma} \right)^n$$

$$\eta = \left( \frac{12.96}{1021.8} \right)^{0.754}$$

$$\eta = 0,03779 Pa.s$$

Tabel 4.9. Data hasil perhitungan nilai viskositas sesaat untuk larutan lumpur dengan  $sg$  1.76

RPM	1/s	dial reading (deflection) (shear stress)		log $\tau_1/\tau_2$	log $\gamma_1/\gamma_2$	n	$\eta$
		(lbf/100 ft <sup>2</sup> )	Pascal (Pa)				
600	1021.8	27	12.96	0.2270	0.3010	<b>0.7549</b>	0.0378
300	510.9	16	7.68	0.0580	0.1760	0.3293	0.0429
200	340.6	14	6.72	0.0320	0.0460	0.7034	0.0526
180	306.54	13	6.24	0.0350	0.2550	0.1362	0.0539
100	170.3	12	5.76	0.0380	0.0460	0.8258	0.0789
90	153.27	11	5.28	0.0410	0.1760	0.2351	0.0800
60	102.18	10	4.8	0.0460	0.3010	0.1520	0.1009
30	51.09	9	4.32	0.1090	0.6990	0.1562	0.1568
6	10.22	7	3.36	0.0000	0.3010	0.0000	0.4342
3	5.11	7	3.36	0.0670	0.2220	0.3018	0.7303
1.8	3.07	6	2.88	0.0000	0.3010	0.0000	0.9543



Gambar 4.9. Grafik hubungan antara viskositas sesaat dan gradien kecepatan untuk lumpur dengan sg 1.176

#### 5.1.4 Larutan Lumpur Lapindo dengan specific gravity (sg) 1.188

Pengujian yang dilakukan dengan specific gravity (sg) larutan lumpur 1.188 menghasilkan data sebagai berikut:

RPM	Shear stress (lbf/100 ft <sup>2</sup> )
600	30
300	18
200	17
180	16
100	15
90	14
60	13
30	12
6	11
3	10
1.8	9

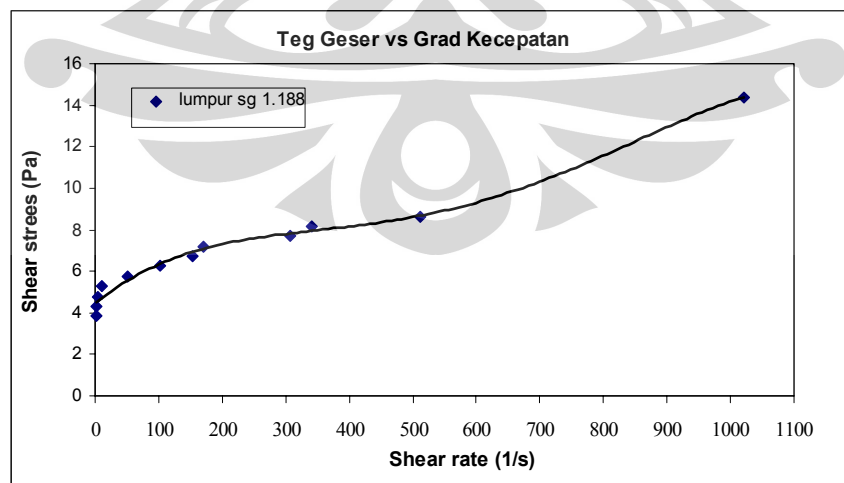
Tabel.4.10. Data hasil pengujian lumpur dengan sg 1.188

Setelah di ubah ke satuan Internasional, maka data seperti tabel dibawah

RPM	1/s	dial reading (deflection) (shear stress)	
		(lbf/100 ft <sup>2</sup> )	Pascal (Pa)
600	1021.8	30	14.4
300	510.9	18	8.64
200	340.6	17	8.16
180	306.54	16	7.68
100	170.3	15	7.2
90	153.27	14	6.72
60	102.18	13	6.24
30	51.09	12	5.76
6	10.22	11	5.28
3	5.11	10	4.8
1.8	3.07	9	4.32

Tabel.4.11. Data hasil pengujian lumpur dengan sg 1.188 unit SI

Seperti hal nya untuk lumpur sg 1.14 dan 1.16, 1.76, Setelah nilai tegangan geser dan gradien kecepatan didapat, maka dibuat grafik hubungan antara tegangan geser dan gradien.

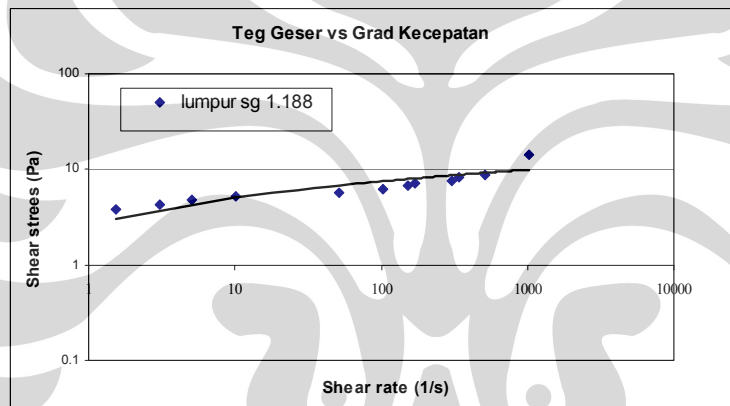


Gambar 4.10 Grafik Hubungan Tegangan Geser vs Gradien Kecepatan untuk larutan lumpur dengan specific gravity 1.188

A. Perhitungan nilai  $n$  (*Power Law Index*) untuk larutan dengan sg 1.188

$$n = \frac{\log \frac{\tau_1}{\tau_2}}{\log \frac{\gamma_1}{\gamma_2}}$$

$$n = \frac{\log \frac{14.4}{8.64}}{\log \frac{1021.80}{510.90}} = 0.737$$



Gambar 4.11. Grafik log-log untuk larutan lumpur dengan sg 1.188

B. Perhitungan nilai viskositas sesaat untuk larutan lumpur dengan sg 1.188

$$\eta = \left( \frac{\tau}{\gamma} \right)^n$$

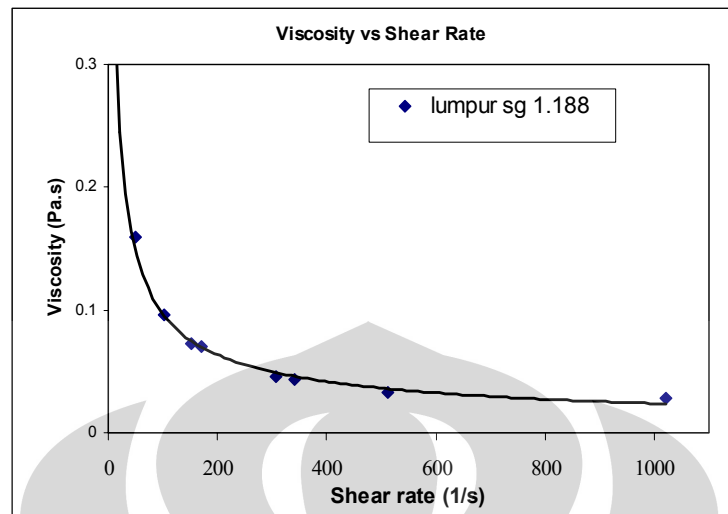
$$\eta = \left( \frac{14.4}{1021.8} \right)^{0.737}$$

$$\eta = 0,02787 Pa.s$$

RPM	1/s	dial reading (deflection) (shear stress)		log $\tau_1/\tau_2$	log $\gamma_1/\gamma_2$	$n$	$\eta$
		(lbf/100 ft <sup>2</sup> )	Pascal (Pa)				
600	1021.8	30	14.4	0.222	0.301	<b>0.737</b>	0.02787
300	510.9	18	8.64	0.025	0.176	0.141	0.03248
200	340.6	17	8.16	0.026	0.046	0.575	0.04352
180	306.54	16	7.68	0.028	0.255	0.11	0.04519
100	170.3	15	7.2	0.03	0.046	0.655	0.07014
90	153.27	14	6.72	0.032	0.176	0.183	0.07231
60	102.18	13	6.24	0.035	0.301	0.115	0.09552
30	51.09	12	5.76	0.038	0.699	0.054	0.15986
6	10.22	11	5.28	0.041	0.301	0.138	0.57431
3	5.11	10	4.8	0.046	0.222	0.206	0.94894
1.8	3.07	9	4.32	0.051	0.301	0.17	1.334

Tabel 4.12. Data hasil perhitungan nilai viskositas sesaat untuk larutan lumpur dengan sg 1.88





Gambar 4.12. Grafik hubungan antara viskositas sesaat dan gradien kecepatan untuk lumpur dengan sg 1.188

### 5.1.5 Larutan Lumpur Lapindo dengan specific gravity (sg) 1.2

Pengujian yang dilakukan dengan specific gravity (sg) larutan lumpur 1.2 menghasilkan data sebagai berikut:

RPM	Shear stress (lbf/100 ft <sup>2</sup> )
600	34
300	21
200	18
180	17
100	16
90	15
60	14
30	13
6	12
3	11
1.8	9

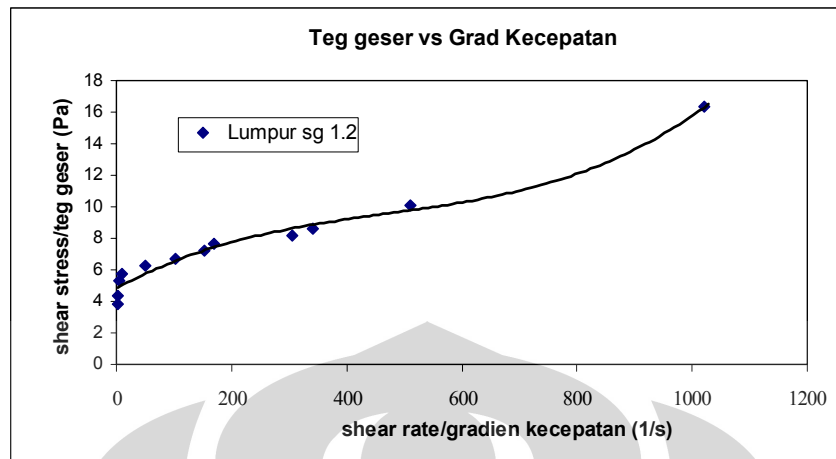
Tabel.4.13. Data hasil pengujian lumpur dengan sg 1.12

Setelah di ubah ke satuan Internasional, maka data seperti tabel dibawah

RPM	1/s	dial reading (deflection) (shear stress)	
		(lbf/100 ft <sup>2</sup> )	Pascal (Pa)
600	1021.8	34	16.32
300	510.9	21	10.08
200	340.6	18	8.64
180	306.54	17	8.16
100	170.3	16	7.68
90	153.27	15	7.2
60	102.18	14	6.72
30	51.09	13	6.24
6	10.22	12	5.76
3	5.11	11	5.28
1.8	3.07	9	4.32

Tabel.4.14. Data hasil pengujian lumpur dengan sg 1.2 unit SI

Seperti halnya untuk lumpur sg 1.14 dan 1.16, 1.76, 1.88 Setelah nilai tegangan geser dan gradien kecepatan didapat, maka dibuat grafik hubungan antara tegangan geser dan gradien.

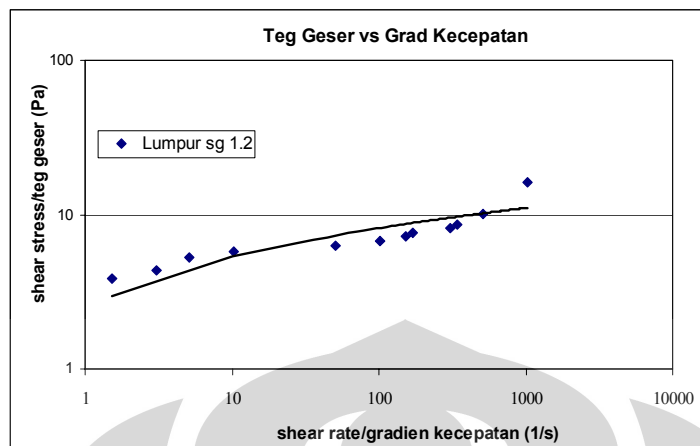


Gambar 4.13. Grafik Hubungan Tegangan Geser vs Gradien Kecepatan untuk larutan lumpur dengan specific gravity 1.2

A. Perhitungan nilai  $n$  (*Power Law Index*) untuk larutan dengan sg 1.2

$$n = \frac{\log \frac{\tau_1}{\tau_2}}{\log \frac{\gamma_1}{\gamma_2}}$$

$$n = \frac{\log \frac{16.32}{10.8}}{\log \frac{1021.80}{510.90}} = 0.7$$



Gambar 4.14. Grafik log-log untuk larutan lumpur dengan sg 1.2

B. Perhitungan nilai viskositas sesaat untuk larutan lumpur dengan sg 1.2

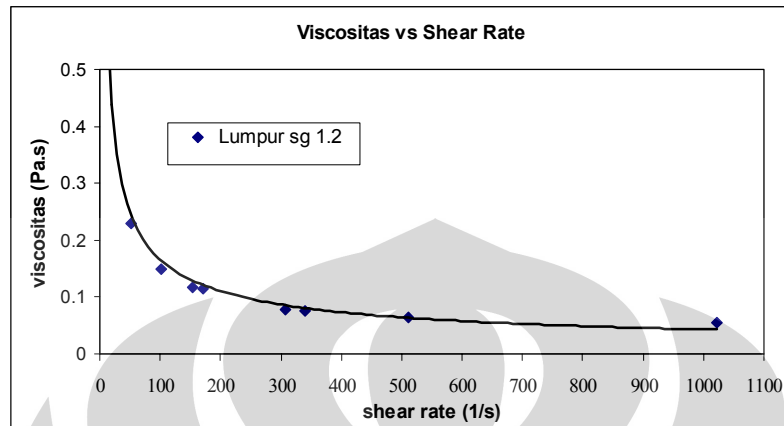
$$\eta = \left( \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \right)^n$$

$$\eta = \left( \frac{16.32}{1021.8} \right)^{0.7}$$

$$\eta = 0,05525 Pa.s$$

Tabel 4.15. Data hasil perhitungan nilai viskositas sesaat untuk larutan lumpur dengan sg 1.2

RPM	1/s	dial reading (deflection) (shear stress)		log $\tau_1/\tau_2$	log $\dot{\gamma}_1/\dot{\gamma}_2$	n	$\eta$
		(lbf/100 ft <sup>2</sup> )	Pascal (Pa)				
600	1021.8	34	16.32	0.209	0.301	<b>0.7</b>	0.05525
300	510.9	21	10.08	0.067	0.176	0.38	0.06406
200	340.6	18	8.64	0.025	0.046	0.543	0.07638
180	306.54	17	8.16	0.026	0.255	0.103	0.079
100	170.3	16	7.68	0.028	0.046	0.613	0.11426
90	153.27	15	7.2	0.03	0.176	0.17	0.11757
60	102.18	14	6.72	0.032	0.301	0.107	0.1488
30	51.09	13	6.24	0.035	0.699	0.05	0.22951
6	10.22	12	5.76	0.038	0.301	0.126	0.66948
3	5.11	11	5.28	0.087	0.222	0.393	1.02331
1.8	3.07	9	4.32	0.051	0.301	0.17	1.27145



Gambar 4.15. Grafik hubungan antara viskositas sesaat dan gradien kecepatan untuk lumpur dengan sg 1.2

### 5.1.6 Larutan Lumpur Lapindo dengan specific gravity (sg) 1.212

Pengujian yang dilakukan dengan specific gravity (sg) larutan lumpur 1.2 menghasilkan data sebagai berikut:

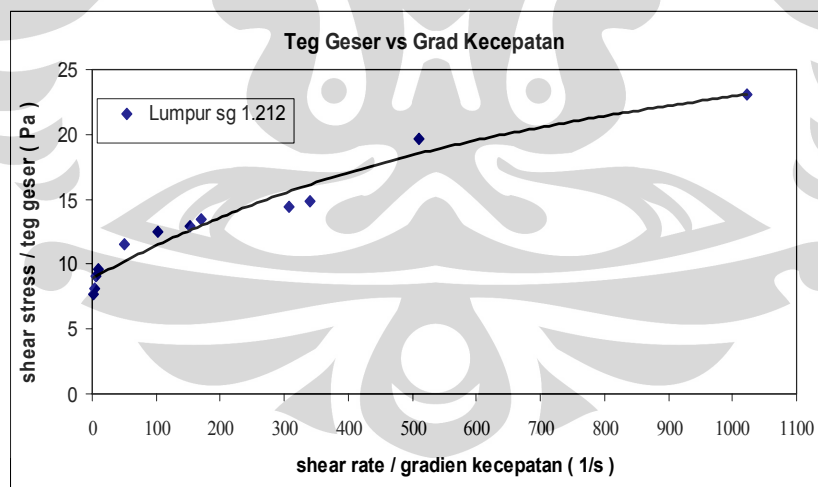
RPM	Shear stress (lbf/100 ft <sup>2</sup> )
600	48
300	41
200	31
180	30
100	28
90	27
60	26
30	24
6	20
3	19
1.8	17

Tabel.4.16. Data hasil pengujian lumpur dengan sg 1.212

RPM	1/s	dial reading (deflection) (shear stress)	
		(lbf/100 ft <sup>2</sup> )	Pascal (Pa)
600	1021.8	48	23.04
300	510.9	41	19.68
200	340.6	31	14.88
180	306.54	30	14.4
100	170.3	28	13.44
90	153.27	27	12.96
60	102.18	26	12.48
30	51.09	24	11.52
6	10.22	20	9.6
3	5.11	19	9.12
1.8	3.07	17	8.16

Tabel.4.17. Data hasil pengujian lumpur dengan sg 1.212 unit SI

Seperti halnya untuk lumpur sg 1.14 dan 1.16, 1.76, 1.88, 1.2, Setelah nilai tegangan geser dan gradien kecepatan didapat, maka dibuat grafik hubungan antara tegangan geser dan gradien.

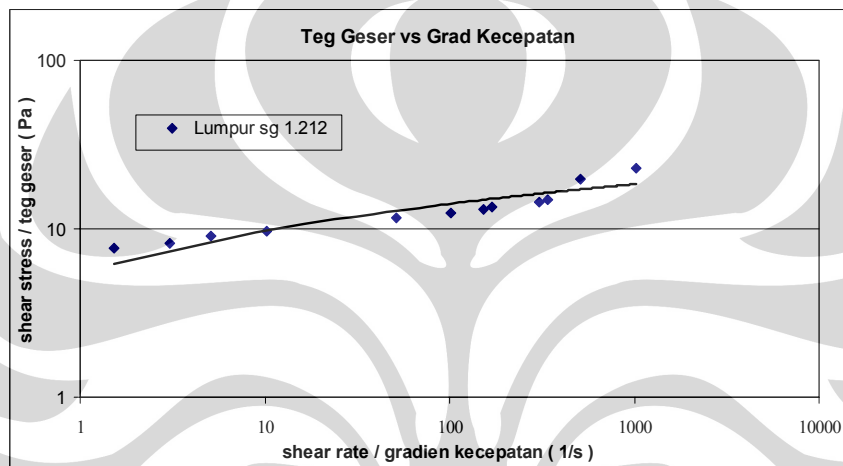


Gambar 4.16. Grafik Hubungan Tegangan Geser vs Gradien Kecepatan untuk larutan lumpur dengan specific gravity 1.2

A. Perhitungan nilai  $n$  (*Power Law Index*) untuk larutan dengan  $sg$  1.212

$$n = \frac{\log \frac{\tau_1}{\tau_2}}{\log \frac{\gamma_1}{\gamma_2}}$$

$$n = \frac{\log \frac{19.68}{14.88}}{\log \frac{510.9}{340.60}} = 0.69$$



Gambar 4.17. Grafik log-log untuk larutan lumpur dengan  $sg$  1.212

B. Perhitungan nilai viskositas sesaat untuk larutan lumpur dengan  $sg$  1.212

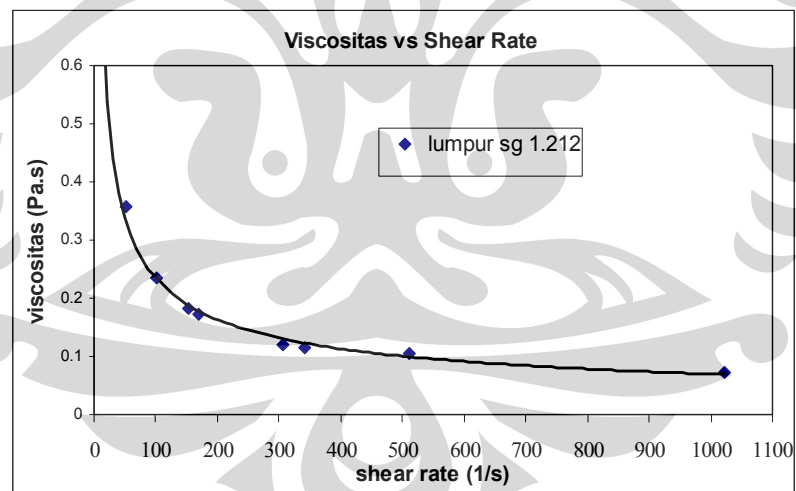
$$\eta = \left( \frac{\tau}{\gamma} \right)^n$$

$$\eta = \left( \frac{19.68}{510.90} \right)^{0.69}$$

$$\eta = 0,105712 Pa.s$$

Tabel 4.18. Data hasil perhitungan nilai viskositas sesaat untuk larutan lumpur dengan sg 1.212

RPM	1/s	dial reading (deflection) (shear stress)		log $\tau_1/\tau_2$	log $\gamma_1/\gamma_2$	n	$\eta$
		(lb/100 ft <sup>2</sup> )	Pascal (Pa)				
600	1021.8	48	23.04	0.068	0.301	0.23	0.07306
300	510.9	41	19.68	0.121	0.176	<b>0.69</b>	0.10571
200	340.6	31	14.88	0.014	0.046	0.31	0.1153
180	306.54	30	14.4	0.03	0.255	0.12	0.12123
100	170.3	28	13.44	0.016	0.046	0.35	0.1734
90	153.27	27	12.96	0.016	0.176	0.09	0.18186
60	102.18	26	12.48	0.035	0.301	0.12	0.23438
30	51.09	24	11.52	0.079	0.699	0.11	0.35781
6	10.22	20	9.6	0.022	0.301	0.07	0.95787
3	5.11	19	9.12	0.048	0.222	0.22	1.49157
1.8	3.07	17	8.16	0.026	0.301	0.09	1.96512

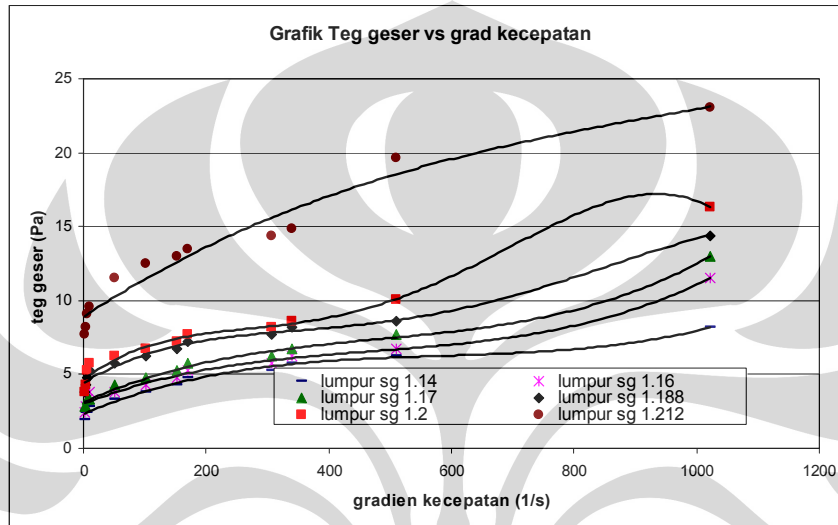


Gambar 4.18. Grafik hubungan antara viskositas sesaat dan gradien kecepatan untuk lumpur dengan sg 1.212



## 5.2 ANALISA DATA

Dari pengujian yang telah dilakukan terhadap fluida uji, telah didapat berbagai macam data dan grafik hubungan antara tegangan geser dan gradien kecepatan, juga hubungan antara viskositas sesaat dan gradien kecepatan, untuk fluida uji fluida uji dengan 6 variasi konsentrasi (specific gravity) fluida uji.

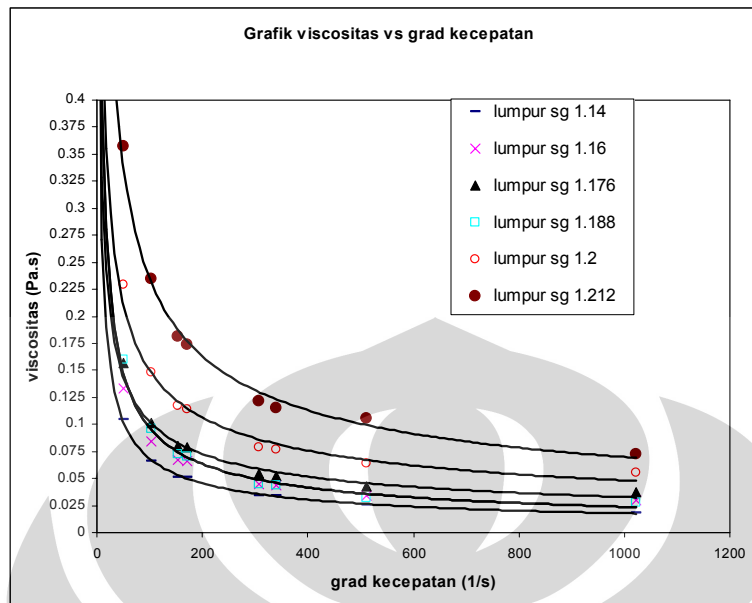


Gambar 4.19. Grafik hubungan antara tegangan geser dan gradien kecepatan untuk fluida uji pada berbagai konsentrasi .

Untuk larutan lumpur lapindo dengan konsentrasi specific gravity (sg) 1.14, 1.164, 1.176, 1.188, 1.2, 1.212, 1.236. Pada grafik shear strees terlihat semakin meningkat, sehingga cenderung mengikuti model pseudoplastic (plastik semu).

Dilihat dari grafik logaritmik log-log plot antara tegangan geser dengan gradien kecepatan membentuk sudut garis singgung kemiringan untuk menentukan nilai *Power Law Exponent*.

Perhitungan nilai *n power law index* ( $n$ ), untuk setiap konsentrasi yang diuji memiliki nilai  $n < 1$ , yang berarti termasuk fluida golongan *Non-Newtonian* model pseudoplastic (plastik semu). Model ini nilai kekentalan sesaatnya akan cenderung turun pada kenaikan gradien kecepatan, dan nilai tegangan gesernya akan naik seiring dengan kenaikan nilai gradien kecepatan



Gambar 4.20. Grafik hubungan antara viskositas sesaat dan gradien kecepatan untuk fluida air dan fluida uji pada berbagai konsentrasi larutan

Grafik 4.20 di atas menunjukkan hubungan antara nilai viskositas sesaat dengan gradien kecepatan. Dari grafik dapat kita lihat nilai viskositas Untuk larutan lumpur lapindo dengan konsentrasi specific gravity (sg) 1.14, 1.164, 1.176, 1.188, 1.2, 1.212, 1.236 tinggi nilai kekentalannya pada gradien kecepatan yang rendah, dan akan menurun seiring dengan kenaikan nilai gradien kecepatan. Karena adanya penurunan nilai kekentalan dari lumpur lapindo ini terhadap peningkatan kecepatan sudut, maka disebut fluida *Non-Newtonian*.

Lumpur lapindo ini termasuk fluida *Non-Newtonian* model *pseudoplastic* (plastik semu) atau golongan fluida *shear thinning* karena nilai kekentalan sesaatnya menurun terhadap kenaikan gradien kecepatan.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1. KESIMPULAN

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

1. Silinder putar koaksial dapat digunakan untuk membuat kurva aliran fluida yang nantinya dapat menentukan model dari suatu fluida, dan dapat menentukan nilai perubahan kekentalan fluida. Dari percobaan akan didapat nilai tegangan geser dan gradien kecepatan yang dianalisa dalam bentuk grafik. Nilai kekentalannya didapat dari perbandingan antara nilai tegangan geser dan gradien kecepatan.
2. Lumpur Lapindo tergolong ke dalam fluida *Non-Newtonian*. Ini dapat terlihat dari bentuk kurvanya pada grafik
3. Larutan lumpur Lapindo secara umum cenderung mengikuti model *pseudoplastic* atau *shear thinning*. Dan akan mengalami penurunan nilai kekentalan seiring dengan penambahan kecepatan.
4. Nilai *power law index* ( $n$ ) dapat ditentukan dengan dua cara, bisa dengan metoda grafik log-log atau dengan metoda perhitungan

#### 5.2. SARAN

1. Koaksial viscometer ini lebih cocok untuk pengujian viskositas pada fluida-fluida dengan nilai viskositas kekentalan yang tinggi.
2. Dengan menambahkan *cup* pemanas (*thermo cup*) viscositas berbagai fluida uji bisa di lakukakan untuk berbagai variasi temperature tertentu.

**DAFTAR ACUAN**

- [1] K. Watanabe, Takashi Akino (1999). *Drag Reduction in Laminar Flow Between Two Vertical Coaxial Cylinder*. Journal of Fluids Engineering, ASME.
- [2] Yanuar (2007). *Kurva Aliran Dengan Koaksial Silinder Putar*. Jurnal Teknologi. Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia.
- [3] Yanuar, Dian Sumantri (2007). *Pengujian Kekentalan Lumpur Dengan Koaksial Viskometer*. Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia
- [4] *Rheology technical bulletin*, Kelco Oil Field Group.
- [5] Yanuar, Hudi Susanto (2009). *Aliran diantara koaxial silinder vertical dengan wax coating*. Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia
- [6] R. Indra Wijaya ST (2006). *Perencanaan dan Pembuatan Alat Ukur Viskositas Oli Mesin pada kendaraan Bermotor Berbasis Teknologi FGGA Xilinx XC4010-XL*, Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi-LIPI, 2006

**DAFTAR PUSTAKA**

- Yanuar, (2007). *Kurva Aliran dengan Silinder Putar Koaksial*, Journal Teknologi, Jakarta, Juli 2007.
- R. Indra Wijaya ST (2006). *Perencanaan dan Pembuatan Alat Ukur Viskositas Oli Mesin pada kendaraan Bermotor Berbasis Teknologi FGGA Xilinx XC4010-XL*, Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi-LIPI, 2006
- Watanabe. K., Yanuar., and H Udagawa (1999). *Drag Reduction of Newtonian fluid in Circular pipe withy Highly Water Rapellant Wall*. Jurnal of Fluids Mechanic
- K. Watanabe, Takashi Akino (1999). *Drag Reduction in Laminar Flow Between Two Vertical Coaxial Cylinder*. Journal of Fluids Engineering, ASME.
- Yanuar, I Wayan Eka Kurniawan, “Hambatan Gesek Aliran LumpurLapindo dalam Pipa,” 2007.
- Watanabe. K.,Yanuar, Udagawa, H., 1997-5., *Drag Reduction of Newtonian Fluids in a circular pipe with Highly Water Repellent Walls*”. The 3<sup>rd</sup> international symposium on performance Enhancement for marine Aplications. Newport, Rhodeisland.

