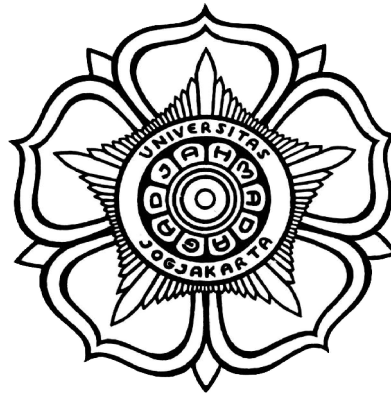


SKRIPSI

**KARAKTERISTIK REDAMAN *SHOCK ABSORBER* DENGAN
FLUIDA MRF-122EG DI BAWAH BEBAN *IMPACT* PADA
MEDAN MAGNET INTENSITAS RENDAH**

Nomor Soal : TKM 4403 / II-2013/2014 / MAB / 38 / 01 / 25.11 / 2013



Disusun oleh:

AANG WISNUGRAHA

09/280214/TK/34674

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS GADJAH MADA
YOGYAKARTA**

2014

PENGESAHAN

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
guna memperoleh gelar **SARJANA**
di Program Studi Teknik Mesin
Jurusan Teknik Mesin dan Insustri Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada
Yogyakarta

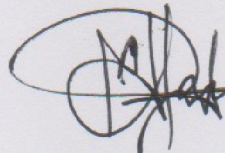
Di susun oleh:

Nama: Aang Wisnugraha

NIM: 09/280214/TK/34674

Disetujui untuk diuji,

Dosen Pembimbing



Acc pendadaran
25/4/2019.

M. Agung Bramantya, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D.


NIP. 19810322 200801 1 008

SURAT PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali secara tertulis disebutkan sumbernya dalam naskah dan daftar pustaka.

Yogyakarta, 21 April 2014




Aang Wisnugraha

NASKAH SOAL TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : Aang Wisnugraha
Nomor Mahasiswa : 09/280214/TK/34674
Program Studi : Teknik Mesin
Modul : Konversi Energi
Nomor Soal : TKM 4403 / II-2013/2014 / MAB / 38 / 01 / 25.11 / 2013
Judul : Karakteristik Redaman *Shock Absorber* Dengan Fluida
MRF-122EG Dibawah Beban *Impact* dan Medan Magnet
Intensitas Rendah

Yogyakarta, 25 November 2013

Dosen Pembimbing



M. Agung Bramantya, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D.

NIP. 19810322 200801 1 008

HALAMAN PERSEMBAHAN

*“Genius is 1% inspiration and 99% perspiration. Nothing can replace hard work.
Luck is something that happens when opportunity meets with readiness.”-*

Thomas A. Edison

“yang bapak tinggalkan pada mu hanya ilmu bukan segudang harta.” H. Suwandi

Tulisan ini ku persembahkan untuk,

H. Suwandi dan Hj. Nurhayati.

*Karena membanggakan mereka adalah bentuk kebahagiaan tertinggi di dunia.
Orang tua yang selalu memberikan contoh terbaik buat anak-anaknya, selalu
membimbing dengan sepenuh hati dan membesarkan anak-anaknya dengan
penuh kasih sayang.*

Serta M. Umar Sanusi , adik yang menjadi saudara satu-satunya.

Calon istri dan calon anak ku kelak.

*Walau sebatas bayang semu untuk waktu ini, tetapi tak ada bayang tanpa sosok di
depannya. Bayang yang menjadi salah satu motivasi terbesar untuk menjalani
hidup kedepannya.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis sanjungkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas kekuatan, petunjuk, berkah, dan izin Dia-lah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Karakteristik Redaman *Shock Absorber* Dengan Fluida MRF-122EG di bawah Beban *Impact* dan Medan Magnet Intensitas Rendah”. Skripsi ini dibuat sebagai syarat mendapatkan gelar Sarjana Strata Satu untuk Prodi Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

Banyak pengalaman berharga baik itu kepuasan saat menyelesaikan suatu hal, maupun ketika ada masalah dan kendala yang membuat tugas akhir ini terasa sulit. Namun demikian, pada masa penyelesaian tugas akhir dan penulisan skripsi ini penulis banyak mendapat bantuan, ide, petunjuk, dorongan semangat, dan bimbingan dari berbagai pihak sehingga akhirnya penulis dapat menyelesaikannya semaksimal mungkin. Pada kesempatan ini penulis tak lupa menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Ir. Jamasri, Ph.D, selaku ketua Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
2. Prof. Dr.-Ing, Ir. Harwin Saptoadi, MSE. Selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
3. M. Agung Bramantya, S.T., M.T., M.Eng, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Skripsi atas segala ilmu, bimbingan, arahan, bantuan, kritik, dan juga pengalaman yang diberikan selama pengerjaan tugas akhir.
4. Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA. selaku Dosen Pembimbing Akademik atas bimbingannya dalam urusan perkuliahan serta cerita inspirasi luar biasa.
5. Seluruh dosen, staf pengajar, dan karyawan Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada atas ilmu dan bantuannya selama penulis berkuliah.

6. Bapak Suwandi dan Ibu Nurhayati, orang tua yang selalu memberikan yang terbaik untuk anaknya ini, motivasi, dorongan semangat, doa, materi, nasihat hidup maupun spiritual, dan semuanya.
7. Ferdian Azmi, Fikri Makhluf, Wenang Suprayogi, Rakryan yang membantu dalam pengambilan data percobaan.
8. Gusti Priandaru, Habdhimas Tunjung, Mahardeka Dias, Haryo Rialino, Dian Agung, Agung Mulianto, Zulfikar Rahman, Sidiq Setya, Sidik Febri, Anam Bahrul dan Harry Suhartadi yang selalu memberikan keceriaan, teman cerita dan semangat berjuang.
9. Teman-teman PAKSIMA KMTM UGM atas alatnya, ide dan sarannya, pengalaman dan bantuan yang tidak ternilai.
10. Teman-teman Teknik Mesin 2009 dan teman-teman KMTM, alasan penulis merasa nyaman dan bersemangat terus kuliah, teman seperjuangan demi cita-cita, pengalaman luar biasa bisa menjadi bagian dari keluarga ini.
11. Seluruh pihak yang membantu dari awal pelaksanaan penelitian hingga penyusunan laporan tugas akhir yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis sadar skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, untuk itu kritik dan saran membangun sangat penulis harapkan untuk memperbaiki penulisan-penulisan selanjutnya. Akhir kata, penulis sampaikan selamat membaca. Semoga apa yang penulis paparkan dalam naskah skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca sekalian. Terima kasih.

DAFTAR ISI

SKRIPSI	i
PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN	iii
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xiv
INTISARI	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1Latar Belakang.....	1
1.2Rumusan Masalah.....	3
1.3Batasan Masalah	3
1.4Tujuan Penelitian	3
1.5Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
BAB III LANDASAN TEORI	15
3.1Fluida	15
3.2Fluida <i>Newtonian</i>	15
3.3Fluida <i>Non-Newtonian</i>	16
3.4 <i>Magnetorheological Fluid</i>	18
3.5 Mode Penggunaan <i>MR Fluid</i>	21
3.6Keelektromagnetan	23
3.7 <i>Restriction Orifice</i>	25
3.8 <i>Shock Absorber</i>	26
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	28

4.1 Objek Penelitian.....	28
4.2 Skema Alat Penelitian.....	29
4.3 Peralatan Pengujian.....	30
4.4 Alat Uji Penelitian	35
4.5 Validasi Alat Ukur.....	36
4.6 Tahapan Penelitian.....	38
4.6.1 Model Penelitian	39
4.6.2 Flow Chart Penelitian	40
BAB V HASIL dan PEMBAHASAN	42
5.1 Karakteristik Piston <i>Displacement</i>	43
5.2 Karakteristik kecepatan piston.....	50
5.3 Karakteristik Tekanan <i>MR Fluid</i>	57
BAB VI PENUTUP	63
6.1 Kesimpulan	63
6.2 Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	65
DAFTAR LAMPIRAN.....	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jarak turunnya piston terhadap perubahan medan magnet pada beberapa ketinggian dijatuhkannya beban seberat 3,68 kg (a) dan 5,35 kg (b) (Isnikurniawan, 2011).....	6
Gambar 2.2 Perubahan kecepatan piston turun terhadap jarak piston (Isnikurniawan, 2011).....	7
Gambar 2.3 Perubahan jarak piston terhadap waktu pada beberapa medan magnet dengan diameter dalam <i>orifice</i> 7,1 mm (a) dan 8,6 mm (b) (Moroka, 2011)	8
Gambar 2.4 <i>Peak</i> Asselerasi piston terhadap perubahan medan magnet (Moroka, 2011).....	9
Gambar 2.5 Skema <i>MR Damper</i> (Pokaad, 2011).....	9
Gambar 2.6 <i>Hard Point</i> dalam kecepatan redaman (a) dan gaya yang ditransmisikan (b) terhadap waktu selama <i>impact load</i> (Pokaad, 2011)	10
Gambar 2.7 MR damper configurations; (a) double-ended damper with a single-stage piston; (b) mono-tube damper with a double-stage piston.....	11
Gambar 2.8 Comparison of the accumulator model with experimental data.....	12
Gambar 2.9 The measured performance curve of MR damper.....	13
Gambar 2.10 The MR damper system.	14
Gambar 3.1 Laju deformasi dan <i>shear stress</i> pada fluida (Som-Biswas,1998)	16
Gambar 3.2 Tegangan vs regangan geser fluida <i>Bingham</i> (www.wikipedia.com)17	
Gambar 3.3 Perubahan <i>Magnetorheological Fluid</i> : (a) belum ada medan magnet; (b) medan magnet diberikan; (c) ikatan partikel besi terbentuk (Gonzalves,2005)	18
Gambar 3.4 Elemen fluida akibat pengaruh tegangan geser (Mazlan, 2008)	19
Gambar 3.5 Ilustrasi pola aliran MRF dalam valve mode (Mazlan, 2008)	22
Gambar 3.6 Profil kecepatan aliran Fluida pada <i>valve mode</i> (Mazlan, 2008).....	22
Gambar 3.7 Bentuk Solenoida sederhana (a) tanpa inti, (b) berinti.	24
Gambar 3.8 Profil tekanan fluida saat melewati <i>orificeflowmeter</i> (kiri) dan <i>restrictionorifice</i> (kanan) (inkontrol.wordpress.com)	26
Gambar 3.9 Perbedaan bentuk penampang <i>orifice flowmeter</i> (kiri) dan <i>restrictionorifice</i> (kanan) (inkontrol.wordperss.com)	26
Gambar 3. 10 Prinsip kerja shock absorber (www.howstuffworks.com).....	27
Gambar 4.1 Skema Alat Penelitian.....	29

Gambar 4.2 Rangka alat penelitian.....	30
Gambar 4.3 Shock absorber.....	31
Gambar 4.4 Sistem Pembebanan pada alat.....	33
Gambar 4.5 Elektromagnet berinti.....	34
Gambar 4.6 Regulator DC.....	34
Gambar 4.7 Sistem Sensor.....	35
Gambar 4.8 Sistem kerja sensor <i>ultrasonic</i> (Prasetio, 2012).....	36
Gambar 5.1 Pola ikatan partikel dalam pengaruh medan magnet arah tegak lurus shock absorber.....	42
Gambar 5.2 Displacement piston vs waktu dengan beban (a) 3,4 kg, (b) 5 kg, (c) 6,6 kg, (d) 8,2 kg.....	44
Gambar 5.3 Profil kecepatan fluida pada valve mode (Mazlan, 2008).....	46
Gambar 5.4 Perubahan ikatan partikel <i>MR Fluid</i> ketika diberi tekanan pada medan tegak lurus pipashock absorber.....	46
Gambar 5.5 Fluida mengalir melewati <i>orifice</i>	48
Gambar 5.6 Tiga region Displacement per kejadian.....	49
Gambar 5.7 Kecepatan piston terhadap waktu pada beban (a) 3,4 kg, (b) 5 kg, (c) 6,6 kg, (d) 8,2 kg.....	51
Gambar 5.8 Tiga region kecepatan per kejadian.....	54
Gambar 5.9 Skematik aliran fluida saat merespon adanya medan magnet (Goncalves, 2005).....	56
Gambar 5.10 Displacement piston vs waktu dengan beban 3,4 kg(a), 5 kg(b), 6,6 kg(c), 8,2 kg(d).....	59
Gambar 5.11 Tiga region tekanan per kejadian.....	60
Gambar 5.12 Karakteristik <i>yield stress</i> dan shear rate untuk kenaikan medan magnet (Prasetio, 2012).....	62

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. <i>Typical Properties</i> dari MRF-122EG (Lord.com)	28
Tabel 4.2 Pengukuran tekanan dan hasil <i>output</i> pada PC	36
Tabel 4.3 Data pengukuran sensor jarak.....	37
Tabel 4.4 Model variasi penelitian dengan fluida <i>Magnetorheological</i> pada <i>Shock Absorber</i>	39
Tabel 4.5 Model variasi penelitian dengan fluida asli <i>Shock Absorber</i>	40

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 DATA BEBAN 3,4 KG dan MEDAN MAGNET 0 mT	67
LAMPIRAN 2 DATA BEBAN 3,6 KG dan MEDAN MAGNET 24 mT	68
LAMPIRAN 3 DATA BEBAN 3,6 KG dan MEDAN MAGNET 56 mT	69
LAMPIRAN 4 DATA BEBAN 3,6 KG dan MEDAN MAGNET 100 mT	70
LAMPIRAN 5 DATA BEBAN 3,6 KG dan FLUIDA ASLI	71
LAMPIRAN 6 DATA BEBAN 5 KG dan MEDAN MAGNET 0 mT.....	72
LAMPIRAN 7 DATA BEBAN 5 KG dan MEDAN MAGNET 24 mT.....	73
LAMPIRAN 8 DATA BEBAN 5 KG dan MEDAN MAGNET 5,6 mT	74
LAMPIRAN 9 DATA BEBAN 5 KG dan MEDAN MAGNET 100 mT	75
LAMPIRAN 10 DATA BEBAN 5 KG dan FLUIDA ASLI	76
LAMPIRAN 11 DATA BEBAN 6,6 KG dan MEDAN MAGNET 0 mT	77
LAMPIRAN 12 DATA BEBAN 6,6 KG dan MEDAN MAGNET 24 mT	78
LAMPIRAN 13 DATA BEBAN 6,6 KG dan MEDAN MAGNET 56 mT	79
LAMPIRAN 14 DATA BEBAN 6,6 KG dan MEDAN MAGNET 100 mT	80
LAMPIRAN 15 DATA BEBAN 6,6 KG dan FLUIDA ASLI	81
LAMPIRAN 16 DATA BEBAN 8,2 KG dan MEDAN MAGNET 0 mT	82
LAMPIRAN 17 DATA BEBAN 8,2 KG dan MEDAN MAGNET 24 mT	83
LAMPIRAN 18 DATA BEBAN 8,2 KG dan MEDAN MAGNET 56 mT	84
LAMPIRAN 19 DATA BEBAN 8,2 KG dan MEDAN MAGNET 100 mT	85
LAMPIRAN 20 DATA BEBAN 8,2 KG dan FLUIDA ASLI	86

DAFTAR NOTASI

A	: Luas Alas (m^2)
A_p	: Luas efektif saluran aliran (m^2)
B	: Densitas flux magnet (mT)
B_0	: Medan magnet pada pusat solenoida (mT)
c	: Koefisien Redaman (N. s/m)
ΔP	: <i>Pressure Drop</i> (kPa)
F	: Gaya (N)
G	: Modulus fluida kompleks
I	: kuat arus listrik (A)
L	: Panjang solenoida (m)
N	: Jumlah lilitan dalam solenoida
P	: Tekanan (kPa)
PV	: Viskositas Plastis
R	: Radius (m)
V	: Volume (m^3)
YP	: Yield point
dx	: Selisih jarak (m)
m	: Massa (kg)
t	: Waktu (s)
u	: Velocity of the particles
ν	: Viskositas kinematika
w	: Berat ($kg.m/s^2$)
x	: Jarak perpindahan
y	: Shear strain
$\dot{\gamma}$: Shear strain rate

- $\bar{\delta}$: Ketebalan plug nondimensional
- $\frac{\delta u}{\delta y}$: Gradien kecepatan fluida
- η_r : Viskositas Relatif pada suspensi
- δ : Ketebalan plug
- η : Viskositas
- μ : Permeabilitas benda
- μ_o : Permeabilitas ruang hampa = $4\pi \cdot 10^{-7} \text{Wb/amp.M}$
- ρ : Densitas fluida (kg/m^3)
- τ : Shear stress
- τ_y : Yield Stress

INTISARI

Magnetorheological Fluid adalah salah satu fluida pintar yang propertinya dapat berubah tergantung lingkungan yang mempengaruhinya. Perubahan fase menunjukkan adanya perubahan viskositas yang dipengaruhi medan magnet. Ikatan antar partikel akan terbentuk sesuai arah medan magnet yang dapat dibuat dengan mensiasati elektromagnetnya. Kelebihan dari *MR Fluid* adalah *dynamic yield strength* yang dapat diubah ketika ada pengaruh medan magnet sehingga banyak aplikasinya seperti *shock absorber*, *damper*, dll. Dalam penelitian kali ini akan dibahas lebih lanjut mengenai pengaruh arah medan magnet terhadap karakteristik *MR Fluid* ketika fluida ini diberi beban *impact* dengan beberapa variasi medan magnet dan beban. Selain itu pada penelitian ini akan lebih konsentrasi pada percobaan dengan medan magnet intensitas rendah. Karakteristik *MR Fluid* akan diteliti dengan menampilkan perubahan jarak piston, kecepatan piston, dan tekanan yang terjadi pada alat penelitian ketika adanya gaya *impact* yang diberikan ke sistem.

Penelitian dilakukan dengan fluida MRF-122EG yang dimasukkan ke dalam *shock absorber* yang diberi beban *impact* lewat piston dengan panjang *stroke* 80 mm. *Orifice* berupa piston *shock absorber* dipasang di dalamnya dan elektromagnet dengan luas area yang terpengaruh medan magnet berada tepat di luar *orifice*. Beban *impact* sebesar 3,4 kg, 5 kg, 6,6 kg, 8,2 kg dijatuhkan dari *loader* dengan ketinggian 500 mm dari titik tertinggi piston. Medan magnet yang digunakan dalam penelitian adalah medan magnet dengan arah tegak lurus pipa yang dibuat dengan menyusun dua solenoida berinti mengapit *shock absorber*. Medan magnet yang digunakan pada penelitian ini mempunyai intensitas 0 mT – 100 mT. Pemaparan fenomena dan analisis karakteristik *MR Fluid* yang terjadi menggunakan data dari sensor jarak SRF04 dan sensor tekanan MPX 5100 DP yang langsung disambungkan ke PC.

Hasilnya adalah redaman pada *shock absorber* meningkat seiring besarnya arus yang diberikan. Hal tersebut dapat terbaca dari kecepatan setelah *impact* yang semakin rendah dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai titik terjauh semakin lama. Perbandingan redaman antara *shock absorber* sebelum pergantian fluida dengan *shock absorber* dengan fluida MRF-122EG terlihat jauh berbeda dari segi kecepatan dan waktu.

Kata kunci: *Magnetorheological Fluid*, redaman, medan magnet intensitas rendah, pembebanan *impact*.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dewasa ini sangat cepat terjadi. *Smart Fluids* (fluida pintar) adalah salah satu fenomena dalam penelitian abad 20, karena memiliki *properties* yang sangat unik. Fluida ini dapat disebut sebagai fluida pintar karena mampu menyesuaikan diri terhadap lingkungan yang mempengaruhinya, seperti yang ditulis Nguyen dan Choi dalam bukunya tahun 2012. Berbagai macam Fluida yang termasuk fluida pintar diantaranya *ferrofluid* atau *magnetic fluid*, *Electrorheological Fluid* (ERF), dan *Magnetorheological Fluid* (MRF). MRF merupakan suspensi padat dengan partikel berukuran *micrometer* pada sebuah fluida yang akan memadat ketika diberi medan magnet dan kembali mencair ketika medan magnet tersebut dihilangkan. Perubahan fase ini menunjukkan adanya perubahan viskositas pada fluida *Magnetorheological* ketika ada medan magnet karena kandungan partikel besi yang membentuk ikatan. Kelebihan dari fluida *Magnetorheological* adalah *dynamic yield strength* yang dapat diubah-ubah. Selain itu viskositas fluida *Magnetorheological* dapat diatur pada *range* yang lebar tanpa begitu terpengaruh oleh temperatur.

Willis M. Winslow berhasil menemukan fluida dengan efek ER pada 1942 dan sejak saat itu banyak sekali penelitian yang dilakukan untuk mengetahui efek apa saja yang dapat dihasilkan. Kemudian fluida *Magnetorheological* ditemukan oleh Jacob Rabinow pada tahun 1948. Penelitian ini juga makin berkembang, yang bertujuan untuk mendapatkan *properties* yang cocok digunakan ke dalam aplikasi nyatanya. Peralatan yang mampu dikontrol dengan adanya fluida ini mulai didesain dan dikembangkan untuk berbagai kebutuhan sehingga lebih efektif. Mulai dari diaplikasikan pada pengaturan aktif (*active control*) getaran atau redaman getaran dan *shock absorber* pada kendaraan, mentransfer gaya torsi

(*transfer of torque*), peredam getaran pada rumah saat terjadi gempa bumi, sampai pemanfaatannya untuk alat kedokteran yang didesain khusus seperti redaman pada kaki palsu. Peredaman getaran menggunakan fluida *Magnetorheological* mulai diminati karena kemampuan redamnya yang dapat disesuaikan dengan getaran yang diterima.

Berbagai penelitian terhadap aplikasi *Magnetorheological Fluid* dengan berbagai kasus dan pendekatan telah banyak dilakukan di negara-negara maju. Salah satunya adalah penggunaan *Magnetorheological Fluid* untuk meredam *impact* pada *shock absorber*. Namun, di beberapa negara berkembang seperti Indonesia belum banyak dilakukan penelitian yang membahas secara mendalam mengenai *Magnetorheological Fluid* termasuk aplikasinya. Sedangkan di dunia perkembangan material pintar ini sudah sampai pada tingkat yang cukup tinggi. Bahkan aplikasinya dalam kehidupan pun sudah terhitung banyak. Dari latar belakang tersebut munculah beberapa pertanyaan seberapa besar pengaruh fluida ini terhadap karakteristik redaman *shock absorber*.

Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian mengenai karakteristik redaman *shock absorber* dengan fluida MRF-122EG dibawah beban *impact* dan medan magnet intensitas rendah perlu dilakukan. Medan magnet ditentukan dari *coil* atau pembuat medan magnetnya. Dalam penelitian kali ini akan dibahas lebih lanjut mengenai karakteristik redaman *shock absorber* dengan fluida MRF-122EG dibawah beban *impact* dan medan magnet intensitas rendah dengan beberapa variasi medan magnet dan beban. Karakteristik *Magnetorheological Fluid* untuk redaman *shock absorber* akan diteliti dengan menampilkan jarak piston, kecepatan piston, dan tekanan yang terjadi pada alat penelitian ketika adanya gaya *impact* pada fluida ini.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh besar medan magnet terhadap fluida *Magnetorheological* dalam menahan beban *impact* pada *shock absorber*?
2. Bagaimana pengaruh besar medan magnet pada *displacement* dan kecepatan piston yang terjadi karena adanya gaya *impact*?
3. Bagaimana pengaruh redaman *shock Absorber* yang telah diberi fluida *magnetorheological*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dan asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Gesekan pada rel sistem pembebanan diabaikan.
2. Partikel besi dalam fluida dianggap merata.
3. Pengaruh lingkungan sekitar diabaikan dan tidak terjadi perpindahan kalor.
4. Medan magnet yang dihasilkan oleh elektromagnet merata dan hanya bekerja pada luas area seksi uji, untuk pengaruh di luar itu diabaikan.
5. Getaran pada sensor jarak akibat gaya *impact* diabaikan dan hanya terjadi penambahan jarak.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh medan magnet terhadap redaman *shock absorber* dengan fluida *Magnetorheological* di bawah gaya *impact*.
2. Mengetahui adanya redaman yang dihasilkan *Magnetorheological Fluid* saat diberi beban *impact* melalui jarak dan kecepatan turunnya beban *impact* yang diberikan.
3. Mengetahui seberapa besar perbedaan redaman yang dihasilkan *shock absorber* kendaraan bermotor sebelum dan sesudah diberi *Magnetorheological Fluid*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

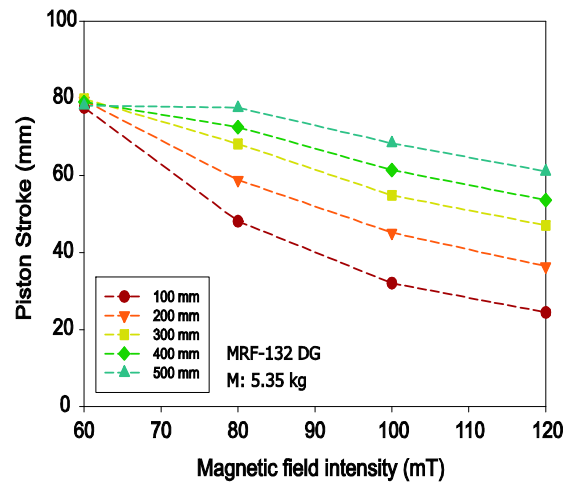
1. Menambah literatur penelitian dalam bidang fluida *Magnetorheological*.
2. Memperoleh karakteristik redamanshock absorber menggunakan *MagnetorheologicalFluid* dilihat dari besar medan magnet yang digunakan, dan kecepatan turun dari piston.

BAB II

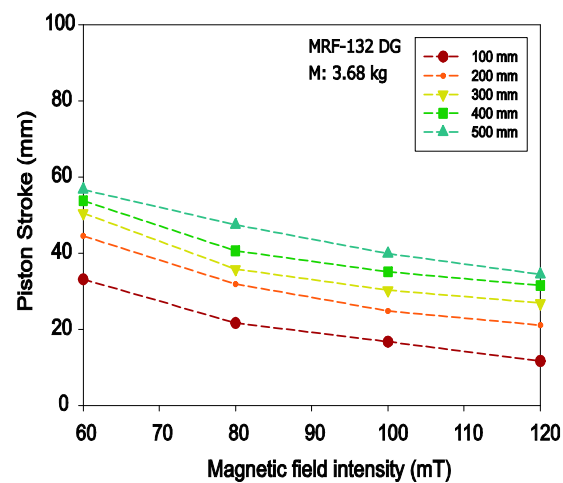
TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian mengenai *Magnetorheological Fluids* semakin banyak dilakukan dewasa ini. Kurniawan dkk (2011). Penelitian ini membahas tentang efek dari medan magnet pada *MR Fluid* di bawah beban *impact* pada beberapa variasi ketinggian dan beban yang dijatuhkan. Penelitian dilakukan dengan menggunakan pipa-U yang dipasang piston rod sebagai penerima beban *impact*. Sensor laser dipasang sebagai pembaca jarak perpindahan posisi piston sebelum dan sesudah terjadinya gaya *impact*.

Pengujian dilakukan dengan menjatuhkan beban seberat 3,68 kg dan 5,35 kg dari ketinggian 100, 200, 300, 400, dan 500 mm. Medan magnet yang digunakan ke sistem menggunakan elektromagnet yang divariasikan intensitasnya menggunakan *power supply* sehingga medan magnet terbentuk sebesar 60, 80, 100, dan 120 mT. Perubahan *variable* tersebut akan mempengaruhi jarak tempuh piston dan kecepatan turunnya piston. Grafik hubungan pengaruh medan magnet terhadap jarak perpindahan dan kecepatan piston saat diberi beban *impact* dapat dilihat pada gambar 2.1.



(a)



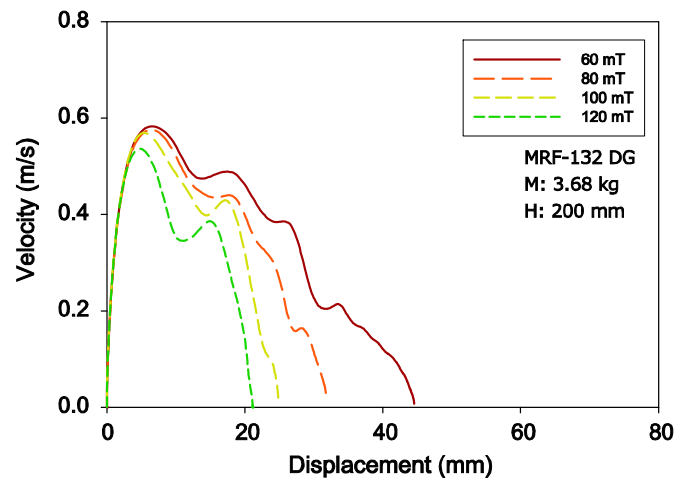
(b)

Gambar 2.1 Jarak turunnya piston terhadap perubahan medan magnet pada beberapa ketinggian dijatuhkannya beban seberat 3,68 kg (a) dan 5,35 kg (b)

(Isnikurniawan, 2011)

Gambar 2.1. (a) menunjukkan panjang *stroke* piston semakin kecil seiring bertambahnya medan magnet dan semakin kecil pula dengan berkurangnya ketinggian dijatuhkannya beban. Hal ini juga terlihat pada Gambar 2.1. (b), tetapi penurunan mulai terjadi saat medan magnet sebesar 80 mT. Pada medan magnet 60 mT, panjang *stroke* piston mencapai maksimum yang berarti medan magnet 60

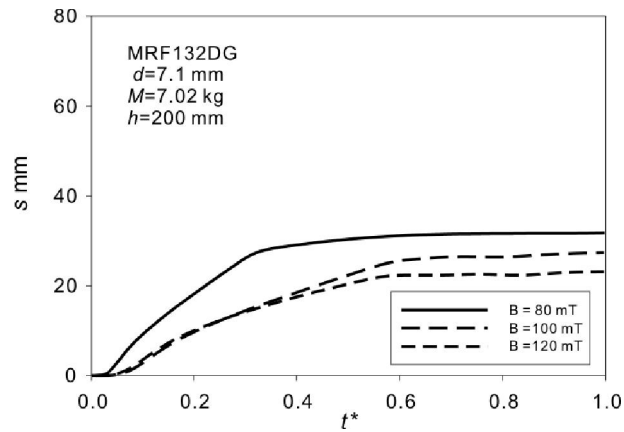
mT tidak cukup kuat untuk menahan tekanan dari beban 5,35 kg. Berdasarkan hasil pengujian ini disimpulkan bahwa perubahan medan magnet mempengaruhi tahanan *MR Fluid* terhadap beban *impact*.



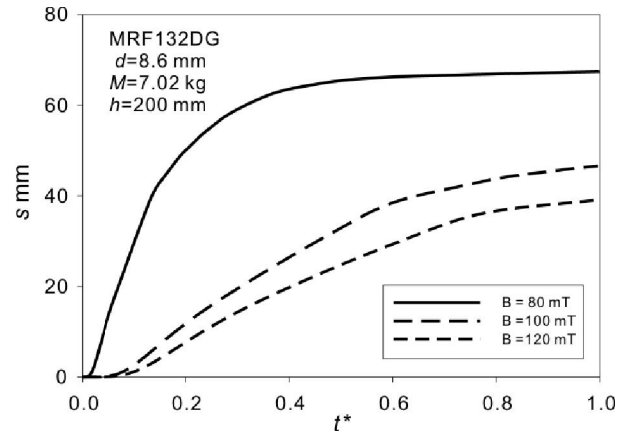
Gambar 2.2 Perubahan kecepatan piston turun terhadap jarak piston
(Isnikurniawan, 2011)

Gambar 2.2. menunjukkan perubahan kecepatan terhadap perubahan jarak piston pada beberapa medan magnet dengan beban 3,68 kg dijatuhkan dari ketinggian 200 mm. Kecepatan turunnya piston semakin berkurang seiring besarnya medan magnet yang mempengaruhinya.

Penelitian Morokadkk (2011). Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pipa U dan piston rod sebagai penerima beban *impact*. Penurunan jarak piston direkam dengan sensor dan hasilnya juga digunakan untuk mendapatkan kecepatan dan percepatan turunnya piston.



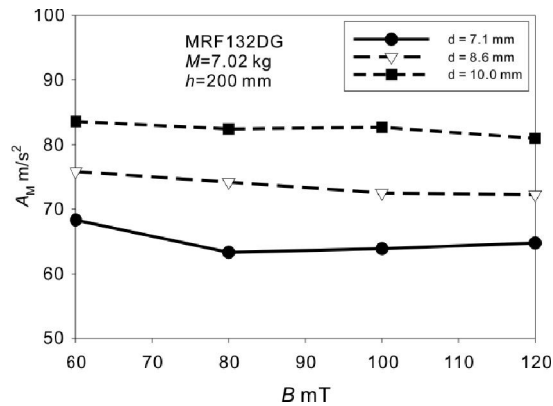
(a)



(b)

Gambar 2.3 Perubahan jarak piston terhadap waktu pada beberapa medan magnet dengan diameter dalam *orifice* 7,1 mm (a) dan 8,6 mm (b) (Moroka, 2011)

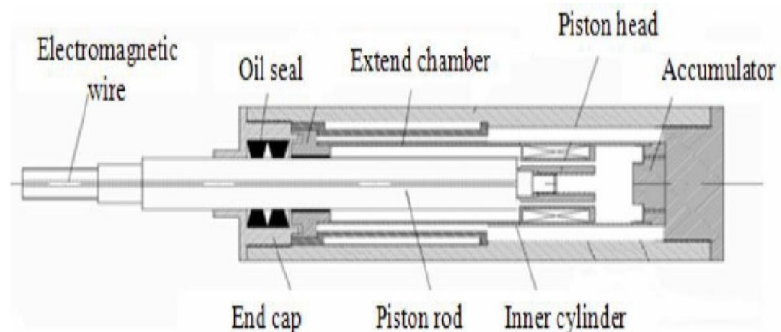
Pada penelitian ini panjang piston rod maksimum adalah 80 mm. Gambar 2.3 menunjukkan bahwa turunnya piston tidak sampai jarak maksimum, hal ini berarti *yield stress* yang meningkat saat adanya medan magnet mempengaruhi *MR Fluid* cukup kuat untuk menahan piston tetap diam. Diameter *orifice* mempengaruhi turunnya piston, semakin besar diameter *orifice* semakin jauh turunnya piston.



Gambar 2.4 *Peak* Asselerasi piston terhadap perubahan medan magnet
(Moroka, 2011)

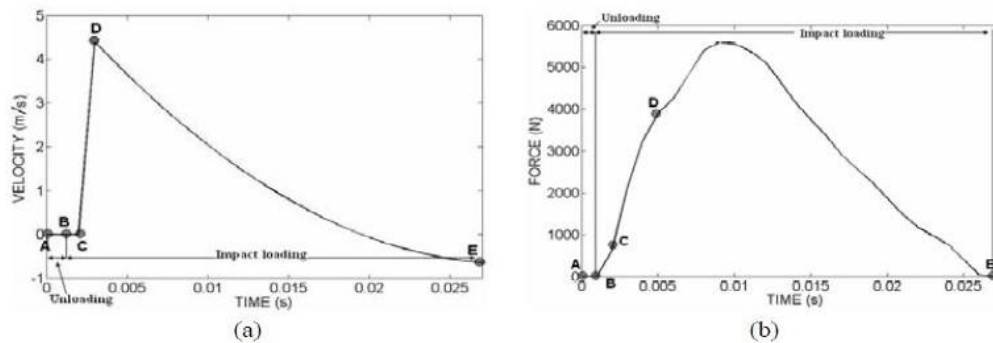
Penelitian yang dilakukan Moroka (2011) ini juga berkonsentrasi ke akselerasi penurunan piston. Setelah mengetahui dari data bahwa akselerasi penurunan mempunyai *peak*, grafik yang ditampilkan adalah pengaruh medan magnet terhadap *peak* akselerasi piston. Hasilnya dapat dilihat pada gambar bahwa *peak* akselerasi piston tidak terpengaruh perubahan medan magnet.

Penelitian Pokaad dkk (2011). Penelitian menggunakan *MR Fluid* tipe RD-8040-1 yang diproduksi Lord.co. Penelitian berupa simulasi yang mengaplikasikan variasi medan magnet untuk meningkatkan tahanan *MR Fluid* saat diberi beban *impact*.



Gambar 2.5 Skema *MR Damper* (Pokaad, 2011)

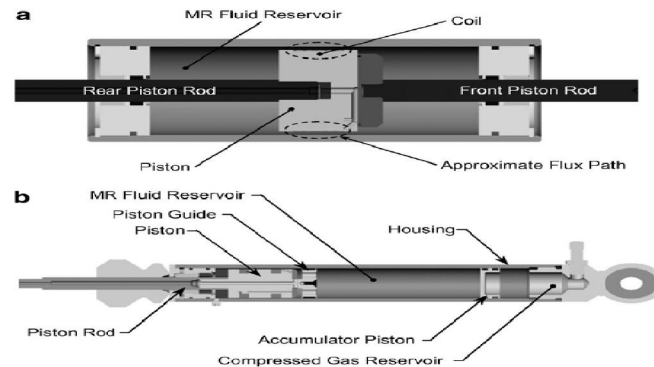
Berdasarkan percobaan yang dilakukan, data eksperimental didapat dan ditampilkan dalam grafik. Grafik yang ada menunjukkan bahwa terdapat tiga daerah kunci pada proses pembebanan *impact* dengan beban bandul pendulum 25 kg yang dilakukan terhadap MR damper yaitu *fluid locking region*, *positive acceleration*, dan *negative acceleration*. Grafik yang menunjukkan tiga daerah tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 *Hard Point* dalam kecepatan redaman (a) dan gaya yang ditransmisikan (b) terhadap waktu selama *impact* load (Pokaad, 2011)

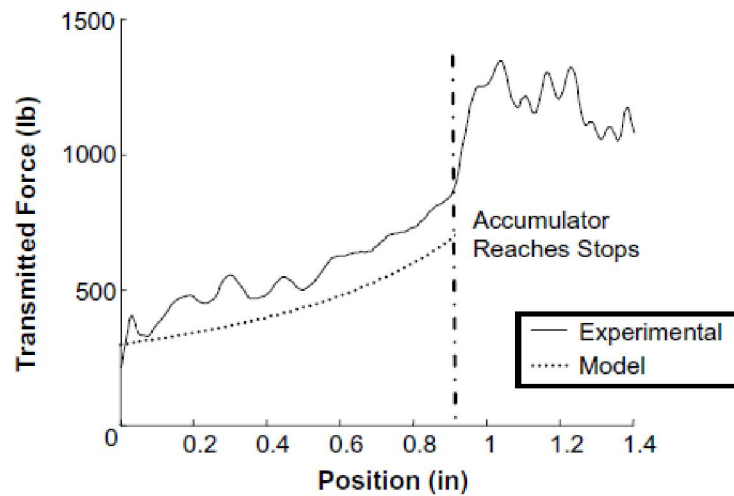
Tahap awal terjadinya *impact* (B-C), gaya yang ditransmisikan akibat beban *impact* mulai meningkat, tetapi kecepatan masih sama atau *damper* tidak bergerak. Hal ini dikarenakan *MR Fluid* tidak mengalir melalui celah damper yang memungkinkan piston dapat masuk *housing*. Fenomena ini dianggap sebagai *Fluid locking region*. MR damper mulai bergerak setelah melewati 0,002 detik dan mencapai kecepatan maksimum pada detik ke 0,005 (C-D). Hal ini disebabkan gaya eksternal telah menguasai gaya inersia fluida, yang mana fenomena ini disebut *positive acceleration region*. *Negative acceleration region* terjadi karena *accumulator* memberikan gaya reaksi melawan damper. *Accumulator* menekan damper pada arah berlawanan dengan gaya eksternal dari pendulum, akibatnya gaya terbesar yang ditransmisikan terjadi bukan saat kecepatan maksimum, tetapi sesaat setelah kecepatan maksimum itu tercapai.

Norris (2007) dalam penelitiannya. Studi ini memberikan sebuah analisis eksperimental peredam *magnetorheological* ketika mereka dikenakan dampak dari beban kejut. Terdapat lima titik ketinggian penjatuhan beban diselidiki yaitu, 12, 24, 48, 72 dan 96 inci. Dari 5 titik tersebut didapat kecepatan mulai dari 86, 127, 182, 224 dan 260 inci/s masing-masing ketinggian nya.



Gambar 2.7 MR damper configurations; (a) double-ended damper with a single-stage piston; (b) mono-tube damper with a double-stage piston (Norris, 2007)

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan didapatkan hasil dua konfigurasi peredam menunjukkan karakteristik kekuatan-perpindahan yang berbeda selama impuls pembebanan. Untuk *single stage* tersebut, peredam ganda, kekuatan puncak terjadi dekat awal dampak pembebanan. Sebaliknya, dua-tahap, mono-tabung peredam tidak mencapai kekuatan puncak sampai setelah akumulator nitrogen keluar dari belakang. Untuk memverifikasi perilaku ini, model teori akumulator berasal dan dibandingkan dengan data eksperimen. Kekuatan puncak tidak tergantung pada arus dipasok ke damper, seperti kasus pada kecepatan rendah. Fenomena ini diduga merupakan hasil dari inersia fluida mencegah cairan dari percepatan cukup cepat untuk mengakomodasi perpindahan piston cepat. Dengan demikian, kekuatan puncak terutama disebabkan fluida kompresi, daripada hambatan aliran terkait dengan melewati cairan melalui katup MR.



Gambar 2.8 *Comparison of the accumulator model with experimental data*
(Norris, 2007).

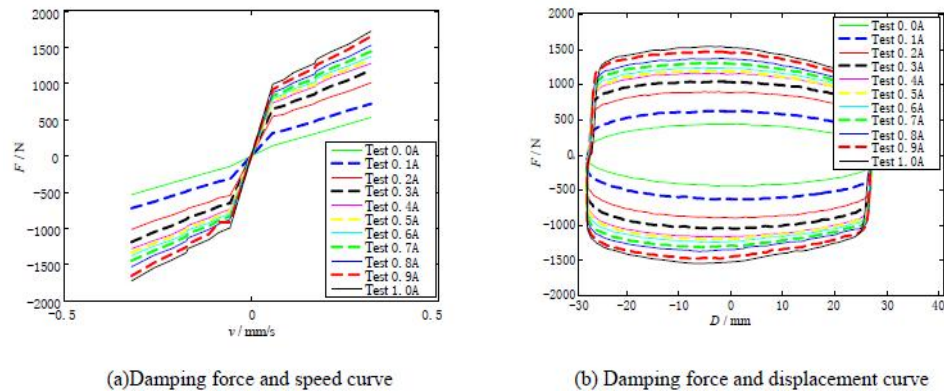
Gambar 2.8, kasus uji dari 127 masuk / s dampak kecepatan dan 4 A dipasang ke peredam MR, ditunjukkan pada Gambar diatas. Perbedaan antara kekuatan akumulator teoritis dan gaya eksperimental dihipotesiskan terjadi karena kekuatan terkait dengan geser cairan MR.

Hal ini, bagaimanapun, mengakui bahwa pengujian tambahan dan pemodelan dari dua konfigurasi peredam diperlukan untuk lebih memahami hubungan yang disajikan di sini. Publikasi di masa mendatang akan mencakup pemodelan tambahan dan hasil.

Fengchen dkk (2012). Dalam studi ini membahas tentang penggunaan MRF sebagai *damper* pada mobil. Sampel yang digunakan adalah sepotong suspensi kendaraan dan pengujian diproses berdasarkan parameter desain sebelumnya dalam percobaan dan ditunjukkan pada Gambar 1.

Kinerja peredam, termasuk kekuatan-perpindahan kurva, kurva gaya-kecepatan dan beberapa disesuaikan dan seterusnya diuji dengan *fatigue testing machine*. frekuensi 1Hz, 1.5Hz dan 2.0Hz diberikan oleh *fatigue testing machine*, dan amplitudo getaran yang adalah 32mm. Dalam kondisi yang berbeda, di kisaran dari 0A sampai 1.0A arus searah itu dimasukkan ke MR *damper*. Data

eksperimen dikumpulkan pada interval 0.1A dan Hasil pengujian yang menunjukkan dalam Gbr.2.

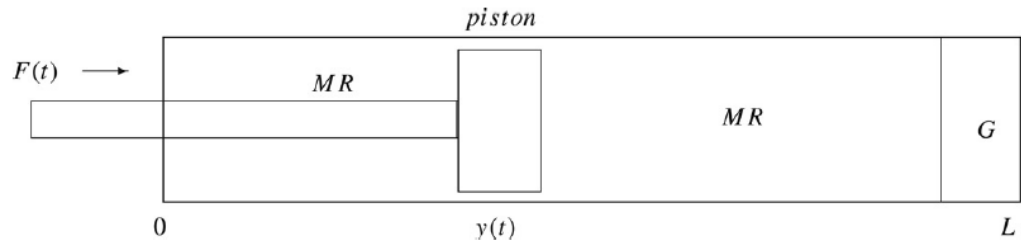


Gambar 2.9 *The measured performance curve of MR damper* (Fengchen, 2012).

Dalam percobaan, offset kekuatan yang berasal dari rongga penyimpanan energi telah dihapus selama pengolahan data. Seperti dapat dilihat, peredam MR menunjukkan pergeseran awal yang jelas. Dengan peningkatan kecepatan saat ini dan kekuatan redaman adalah dalam tren meningkat. Bagaimanapun, itu tidak penting dengan meningkatnya arus setelah 0.5A, bukan kinerja jenuh yang diperlihatkan. Hubungan antara gaya redaman, arus dan kecepatan MR peredam yang dibutuhkan harus dilengkapi untuk kontrol getaran dan analisis simulasi.

Magnetic sirkuit dan desain struktur yang optimal terpadu MRF. Beberapa parameter struktur dan parameter sirkuit magnetik secara bersamaan dirancang pada waktu yang sama dan itu dengan efisiensi tinggi. Tekanan gas dalam rongga penyimpanan energi langsung mempengaruhi kekuatan Bias awal, rasio yang dapat diatur dan perlawanan maksimal damper. Oleh karena itu, nilai tekanan yang dibutuhkan untuk benar-benar ensured. Applying metode kuadrat terkecil agar sesuai dengan hubungan antara gaya redaman dan saat ini dan kecepatan adalah cara yang baik untuk menggambarkan kinerja peredam.

Bajkowski dkk (2007). Dalam studi ini membahas tentang dasar – dasar ilmu untuk menggunakan MRF sebagai *shock absorber*. Pada gambar 1 terdapat bentuk umum penggunaan MRF sebagai *shock absorber*.



Gambar 2.10 The MR damper system (Bajkowski, 2007).

Sebuah model dari peredam hidrolik diisi dengan cairan MR, gesekan diperhitungkan, dibangun, dianalisis, dan dinumerik simulasi. Hubungan konstitutif yang menggambarkan ketergantungan koefisien viskositas dan gesekan terikat pada medan magnet (melalui arus) dan pada suhu diasumsikan secara umum. Adanya solusi yang unik telah dibuktikan dengan menggunakan teorema Cauchy-Lipschitz. Sebuah skema numerik untuk masalah itu digunakan di mana gesekan *multivalued* grafik digantikan dengan *piecewise linear* atau *a piecewise constant approximation*. Algoritma numerik bekerja dengan baik di beberapa daerah dalam parameter ruang dan buruk pada orang lain. Ditemukan bahwa gesekan yang besar ini menyebabkan ketidakstabilan numerik.

Tahap selanjutnya dari penelitian ini berurusan dengan proses yang dinamis, di mana istilah inersia dalam persamaan gerak piston dipertahankan. Hal ini penting dalam situasi di mana pasukan diterapkan besar dan bervariasi dengan cepat. Tujuannya adalah untuk mengetahui strategi pengendalian, dengan mengendalikan viskositas fluida, sehingga untuk mengoptimalkan respon sistem. Selain itu, percobaan sedang dalam proses algoritma numerik dikembangkan dan akan digunakan sebagai identifikasi parameter system.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Fluida

Fluida adalah zat yang berderfomasi terus menerus selama dipengaruhi suatu tegangan geser material. Partikelnya tidak serapat benda padat, gaya tarik menarik antar partikelnya juga tidak sekuat benda padat. Ketika dikenakan gaya luar, benda padat akan berusaha mempertahankan bentuk dasarnya, sedang fluida akan mengikuti gaya yang diberikan. Bentuk fluida juga tidak stabil, yaitu mengikuti tempatnya sberada. Fluida mempunyai beberapa karakteristik yang disebut sifat dasar fluida, yaitu *density* (massa jenis), massa spesisfik, volume spesisfik, gravitasi spesisfik, dan juga viskositas. Berdasarkan karakteristik diatas maka klasifikasi perilaku fluida dibagi menjadi fluida *newtonian* dan fluida *non-newtonian*.

3.2 Fluida *Newtonian*

Fluida *Newtonian* adalah fluida yang memiliki kurva *shear stress* berbanding lurus secara linier dengan gradien kecepatannya. Contoh umum dari fluida *Newtonian* adalah air. Fluida *Newtonian* adalah fluida yang mengikuti hukum Newton tentang aliran dan dapat dituliskan dengan persamaan berikut ini.

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (3.1)$$

Dimana :

τ = Tegangan geser pada fluida

μ = Viskositas fluida

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

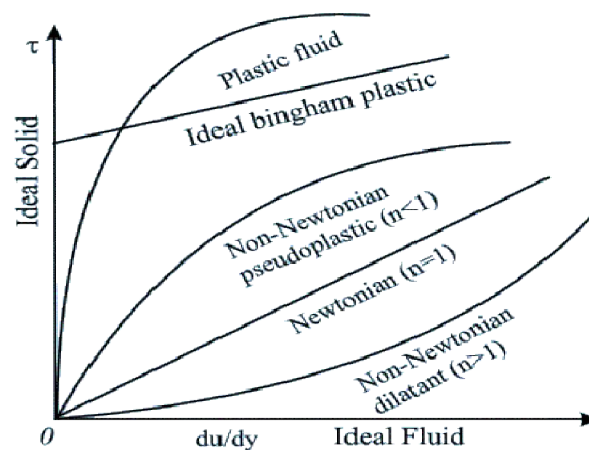
Viskositas dari fluida *Newtonian* tidak terpengaruh waktu maupun *shear rate*, sedangkan harga dari viskositas dari Fluida *Newtonian* tersebut akan berubah ketika dikenai temperatur dan tekanan.

3.3 Fluida *Non-Newtonian*

Fluida *non-Newtonian* adalah fluida yang tidak tahan terhadap tegangan geser, gradient kecepatan, dan temperatur. Fluida jenis ini tidak mempunyai gradient *shear rate* dan *shear stress* yang linier. Perubahan viskositasnya tergantung pada laju tegangan geser yang bekerja. Dengan kata lain viskositas adalah fungsi dari waktu, dapat dituliskan:

$$\mu = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\gamma/\Delta t} = \text{tidak linier} \quad (3.2)$$

Fluida *non-Newtonian* adalah fluida yang mengalami perubahan viskositas ketika terdapat gaya yang bekerja pada fluida tersebut atau fluida yang memiliki sifat dimana perbandingan antara tegangan geser yang bekerja terhadap laju deformasi berlangsung tak linear. Hal tersebut menyebabkan fluida non-Newtonian tidak memiliki viskositas yang konstan. Hubungan antara *Shear stress* dan laju deformasi pada Fluida dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1 Laju deformasi dan *shear stress* pada fluida (Som-Biswas, 1998)

Fluida *Bingham* adalah salah satu dari pendekatan fluida model fluida *non-Newtonian*. Viskositas dari fluida *Bingham* sangat bergantung pada *shear stress* dari fluida tersebut. Ketika mencapai titik *yield stress* tertentu, Fluida *Bingham* akan mengalir dengan perbandingan *shear stress* dan laju deformasi yang linier. Persamaan untuk model Fluida Bingham ini dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\tau = YP + PV(y). \quad (3.3)$$

Dimana :

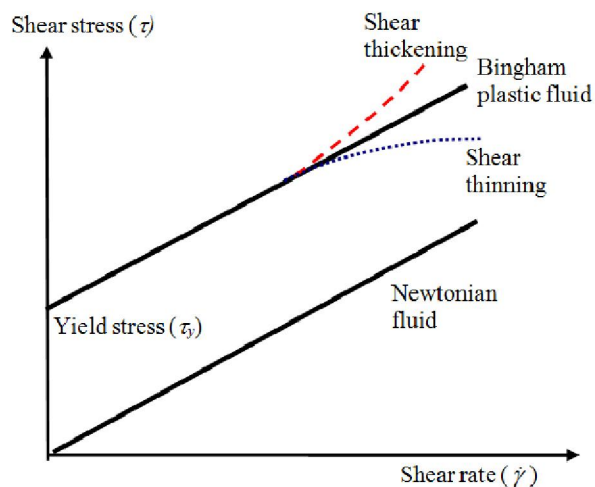
τ = Shear Stress (tegangan geser)

y = *Shear rate* (laju pergeseran)

YP = *Yield point* (titik luluh)

PV = *Plastic Viscosity* (viskositas plastis)

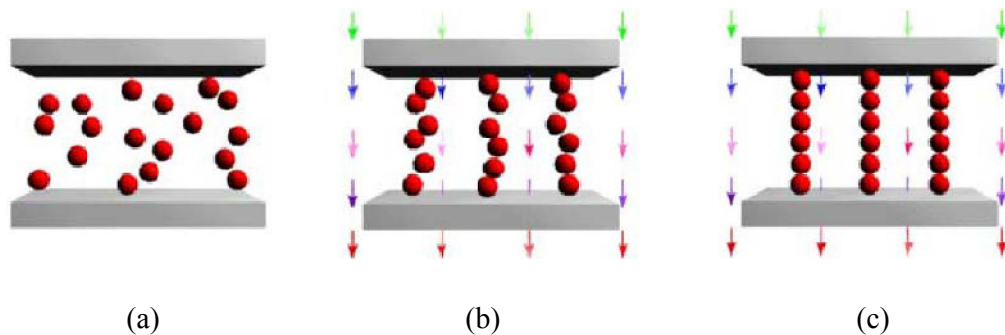
Plastic Viscosity adalah kemiringan dari garis *shear rate*, sedangkan *yield point* adalah titik yang harus dicapai (*threshold stress*) sebelum terjadinya *shear rate*. Hubungan perilaku *shear stress* dan laju deformasi Fluida Bingham dibandingkan dengan Fluida Newtonian dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Tegangan vs regangan geser fluida *Bingham*(Som-Biswas,1998)

3.4 Magnetorheological Fluid

Magnetorheological fluid adalah salah satu tipe fluida pintar yang merupakan *magnetic field responsive fluid*. *Magnetorheological fluid* mempunyai *yield stress* yang bervariasi menyesuaikan dengan kondisi lingkungan. Komposisi dari fluida ini secara umum adalah fluida pembawa (*carrier liquid*), *surfactant*, dan partikel *magnetic* permeable berukuran *micro* yang tersebar di seluruh fluida pembawanya yang mempengaruhi viskositas *magnetorheological fluid*. MRF tersusun atas 20-40 persen partikel besi berdiameter 3-10 mikron yang tersuspensi di dalam fluida pembawanya (LORD,2013). Fasanya dapat berubah secara cepat dari fluida cair menjadi semi solid atau plastis tergantung dari medan magnet di sekitarnya. Perubahan *yield stress* dan viskositas dari MRF tersebut sangat cepat hanya dengan mevariasikan intensitas medan magnet. Perubahan struktur MRF dapat dilihat pada Gambar 3.3.

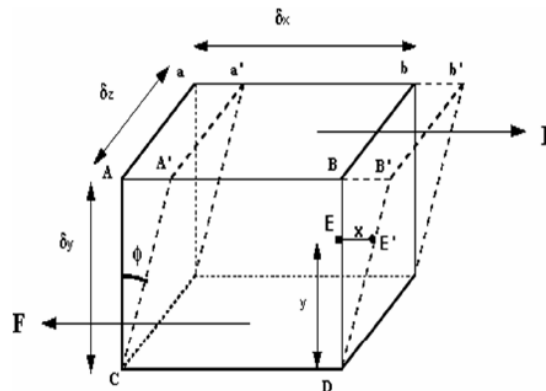


Gambar 3.3 Perubahan *Magnetorheological Fluid*: (a) belum ada medan magnet; (b) medan magnet diberikan; (c) ikatan partikel besi terbentuk (Gonzalves,2005)

Partikel besi akan bergerak secara bebas ketika tidak terdapat medan magnet. Selanjutnya partikel besi tersebut akan mulai merapat membentuk ikatan ketika medan magnet mulai dikenakan ke sistem. Kerapatan dan arah susunan dari partikel besi tersebut bergantung kepada medan magnet yang dikenakan pada sistem. Ikatan yang terbentuk pada partikel besi akan menghambat pergerakan dari fluida sehingga *yield stress* dari MRF akan semakin besar. Besar dan kecilnya

yield stress atau pun viskositas dari MRF ini tergantung daripada besar kecilnya medan magnet yang diberikan.

Pada banyak kasus, efek dari *magnetorheological* fluid didekati dengan menggunakan persamaan *Bingham*. Modifikasi dari persamaan *Bingham* atau kombinasi persamaan *Bingham* dengan persamaan lain seperti kekentalan dan gaya gesekan *Coulomb* dapat juga digunakan untuk mendeskripsikan sifat dari *magnetorheological fluid*. Pembelajaran mengenai *rheological* telah mengungkapkan konsep dari *yield stress* yang dinamis. Gambar 3.4 merupakan konsep dasar dari tegangan geser saat gaya diberikan ke fluida.



Gambar 3.4 Elemen fluida akibat pengaruh tegangan geser(Mazlan, 2008)

Saat tegangan geser F terjadi pada bagian atas dari sebuah elemen, tegangan geser dapat dikalkulasikan dengan membagi gaya dengan luas penampang yang mana sama dengan gaya per unit luas.

$$\text{Shear stress ,} \quad \tau = \frac{F}{\text{luas penampang}} \quad (3.4)$$

$$\text{Dengan luas penampang} = \delta x \cdot \delta y$$

Regangan geser adalah deformasi yang disebabkan oleh tegangan geser yang dapat diukur berdasarkan besar dari sudut ϕ . Nilai ϕ akan konstan bila terjadi pada benda padat dan dengan gaya yang konstan. Tetapi pada kondisi cair, nilai ϕ meningkat sesuai dengan lamanya tegangan diberikan walaupun dengan gaya yang relatif konstan.

Sedangkan untuk partikel kecil yang berpindah dari E ke E' sepanjang x karena tegangan geser, deformasi yang terjadi dapat ditulis dengan :

$$\text{Shear strain,} \quad \gamma = \frac{x}{y} \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} \text{Laju shear strain,} \quad \dot{\gamma} &= \frac{y}{t} = \frac{x}{ty} = \frac{x}{t} \frac{1}{y} \\ &= \frac{u}{y} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Dimana $\frac{x}{t} = u$ adalah kecepatan dari partikel di E. Tegangan geser berbanding lurus dengan regangan geser, maka :

$$\tau = \cos n \cdot \tan t \cdot \frac{u}{y} \quad (3.7)$$

$\frac{u}{y}$ adalah perubahan kecepatan ke arah y, atau gradient kecepatan dan dapat ditulis dalam bentuk differensial $\frac{du}{dy}$. Dan konstantanya disebut dengan viskositas dinamis dari fluida η . Maka tegangan geser dapat dituliskan menjadi :

$$\tau = \frac{du}{dy} \text{ atau } \eta \dot{\gamma} \quad (3.8)$$

persamaan 3.8 adalah persamaan untuk fluida *Newtonian*.

Sedangkan untuk fluida non-*Newtonian* dengan tegangan geser (τ) diatas tegangan luluhnya (τ_y), persamaannya dapat menggunakan persamaan fluida *Bingham* :

$$\tau = \tau_y + \eta \dot{\gamma} \quad \tau > \tau_y \quad (3.9)$$

Di bawah tegangan luluh, material bersifat viscoelastisitas seperti yang ditunjukkan dengan persamaan 3.10 :

$$\tau = G\gamma \quad \tau < \tau_y \quad (3.10)$$

Dimana G adalah modulus fluida kompleks. Bila tegangan geser (τ) dan regangan geser ($\dot{\gamma}$) diketahui, viskositas kinematis (ν) dapat dihitung dengan,

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (3.11)$$

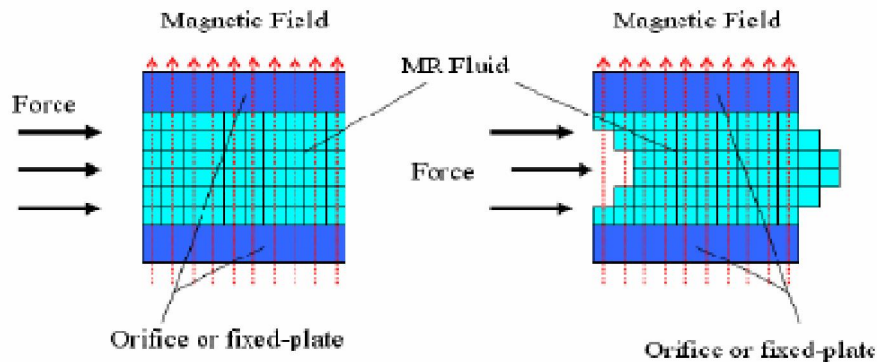
dengan ρ adalah massa jenis dari fluida dan η adalah viskositas dinamis.

3.5 Mode Penggunaan *MR Fluid*

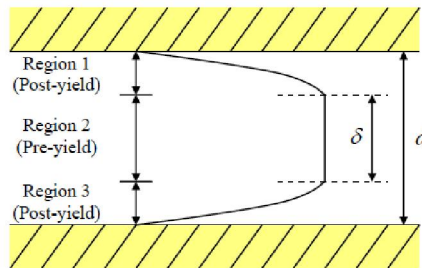
Dalam penelitian yang dilakukan penulis, MRF akan terpengaruh oleh gaya luar berupa gaya yang dihasilkan oleh beban *impact* dan medan magnet. Secara umum peralatan *MR fluid* menggunakan salah satu dari tiga mode dasar tergantung dari fungsi sistem. Mode tersebut adalah *valve mode*, *shear mode*, dan *squeeze mode* yang merupakan sebagai fungsi respon dari gaya luar seperti yang terjadi pada penelitian penulis.

Pada penelitian yang dilakukan oleh penulis akan digunakan *valve mode*. *Valve mode* merupakan mode dimana *MR fluid* mengalir diantara pelat tak bergerak atau melewati *orifice* akibat tekanan yang diberikan. Gambar 3.5 menunjukkan bagaimana ilustrasi fluida bergerak didalam celah antara dua

lempeng. Sedangkan Gambar 3.6 menggambarkan bagaimana profil kecepatan dari aliran fluida didalam *valve mode*.



Gambar 3.5 Ilustrasi pola aliran MRF dalam valve mode (Mazlan, 2008)



Gambar 3.6 Profil kecepatan aliran Fluida pada *valve mode* (Mazlan, 2008)

Profil kecepatan fluida bingham *plastic* pada *valvemode* terdapat tiga region utama yaitu *Post-yield (region 1)*, *Pre-yield (region 2)*, dan *Post-yield (region 3)* dengan *gradient* kecepatan sama dengan 0 pada bagian plug (δ). Kenaikan medan magnet akan menaikkan ketebalan *pre-yield* yang mana membuat tekanan aliran pada dinding pipa makin meningkat sehingga *pressure drop* pun meningkat. Ketahanan terhadap tekanan yang tinggi pada *valvemode* membuatnya digunakan dalam berbagai alat seperti *dampers*, dan aktuator lainnya.

Nilai dari *Pressure Drop* (Pa) dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta P = \frac{F}{A_p} = \frac{12\eta L_\alpha A_p v_p}{bd^3(1 - \bar{\delta})^2(1 + \frac{\bar{\delta}}{2})}, \quad (3.12)$$

Keterangan :

F = gaya yang diberikan (N)

A_p = area efektif dari saluran (m^2)

η = *differential post yield viscosity* (Pa.s)

L_α = panjang aktif saluran (m)

v_p = kecepatan *cylinder head* (ms^{-1})

b = pertengahan lingkaran annulus dari *MR fluid* (m)

d = selisih jarak (m)

$\bar{\delta}$ = ketebalan *plug nondimensional*, sama dengan $\frac{\delta}{d}$

Apabila nilai $\bar{\delta} = 0$, maka fluida tersebut adalah fluida Newtonian.

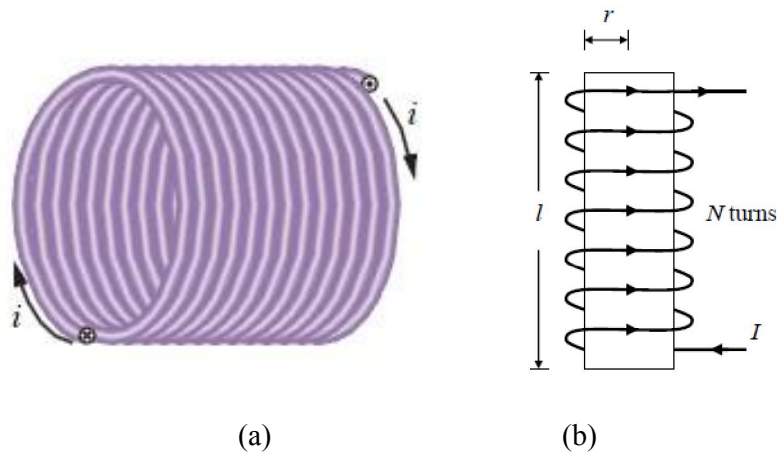
3.6 Keelektromagnetan

Keelektromagnetan dapat digambarkan berupa hubungan antara arus listrik dengan sifat kemagnetan benda. Perubahan medan magnet akan menghasilkan gaya elektrostatis, dan demikian pula dengan arus listrik yang mengalir pada kawat akan menghasilkan medan magnet. Hukum yang menjelaskan mengenai besar *magnetic flux* pada rangkaian tertutup terhadap arus yang melewatinya adalah Hukum Ampere, dituliskan pada persamaan 3.13

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_o \sum I, \quad (3.13)$$

dengan μ_o merupakan *relative permeability*.

Pada percobaan kali ini penulis menggunakan solenoida tanpa inti seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7. Solenoida adalah rangkaian yang berupa gulungan kawat kecil sangat panjang membentuk lingkaran yang dapat menghasilkan medan magnet. Gulungan yang dibentuk dapat dililit pada sebuah *core*(inti) atau pun tidak. Medan magnet yang dihasilkan mempunyai sifat yang sama dengan magnet batang atau magnet pada umumnya dan biasanya panjang gulungan solenoida tersebut dapat sangat panjang dibandingkan dengan diameter lingkarannya.



Gambar 3.7 Bentuk Solenoida sederhana (a) tanpa inti, (b) berinti. (Mazlan, 2008)

Besarnya medan magnet disumbu pusat (titik O) Solenoida dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.14

$$B_0 = \frac{\mu_0 N I}{l} \quad (3.14)$$

Keterangan :

B_0 = Medan magnet pada pusat solenoida (Tesla, T atau Weber/m², Wb/m²),

μ_0 = permeabilitas material di tengah lilitan (N/m²),

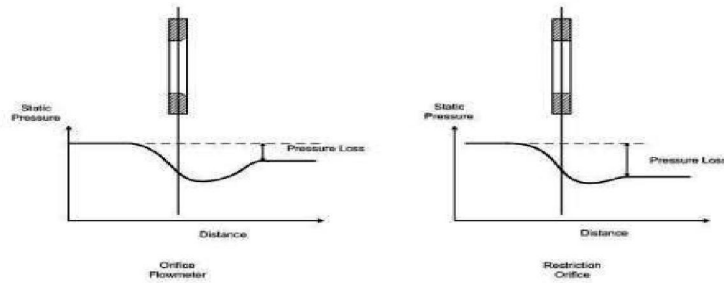
N = Jumlah lilitan kawat dalam solenoida

I = Besar arus yang mengalir pada lilitan (A)

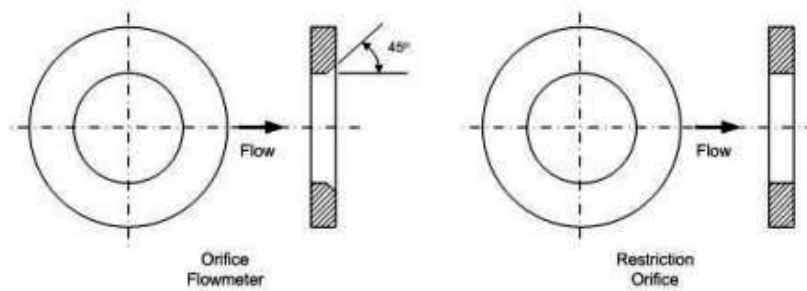
l = panjang lilitan solenoida (m)

3.7 Restriction Orifice

Restriction orifice adalah jenis *orifice* yang penggunaannya untuk menurunkan tekanan suatu aliran secara permanen. *Restriction orifice* berbeda dengan *orifice flowmeter* yang umumnya digunakan untuk mengukur kecepatan suatu aliran. *orifice flowmeter* didesain untuk aliran dalam *subsonic velocity* yang digunakan untuk menjamin keakurasian pengukuran aliran, sedangkan *restriction orifice* selalu didesain untuk aliran dalam *sonic velocity* untuk menjamin adanya *choked flow*. Fungsi utama dari *restriction orifice* adalah untuk membatasi aliran (*limiting flow*), sedangkan fungsi pembatasan tekanan (*limiting pressure*) dari *restriction orifice* merupakan konsekuensi dari relasi antara *pressure drop* dan *flowrate*. *Restriction orifice* memiliki bentuk lubang yang lurus dengan ketebalan plat tertentu, hal tersebut menyebabkan terjadinya tekanan yang hilang antara *upstream* dan *downstream* secara permanen cukup besar. Disaat melewati *restriction orifice*, aliran fluida akan dalam keadaan *choked flow* atau tercekik. Fenomena *choked flow* adalah hal yang penting pada *restriction orifice* dimana terjadinya *mass flowrate* yang terjaga tetap konstan meskipun *downstream pressure*-nya turun cukup besar karena aliran bekerja pada keadaan *sonic velocity*.



Gambar 3.8 Profil tekanan fluida saat melewati *orifice flowmeter* (kiri) dan *restriction orifice* (kanan) (inkontrol.wordpress.com)



(Gambar diatas tidak untuk diskala)

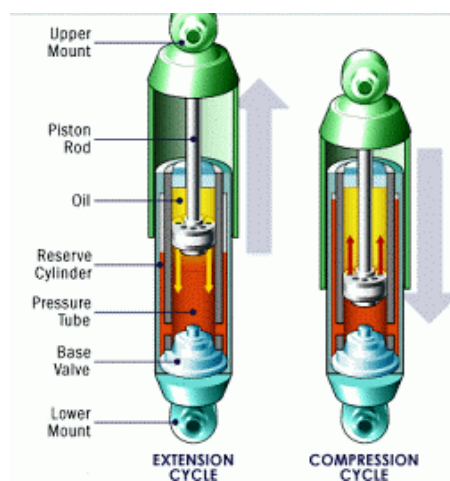
Gambar 3.9 Perbedaan bentuk penampang *orifice flowmeter* (kiri) dan *restriction orifice* (kanan) (inkontrol.wordpress.com)

3.8 Shock Absorber

Shock Absorber adalah alat yang digunakan untuk meredam getaran yang disebabkan oleh *impact* atau lainnya. Desain suatu *shock absorber* harus dapat menyerap atau menghilangkan energi. Karena itu ketika mendesain atau memilih sebuah peredam kejut harus memperhitungkan ke mana energi yang diserap akan pergi. Umumnya, dalam kebanyakan desain, energi kinetik yang diterima akan diubah ke dalam panas di dalam cairan kental (fluida).

Aplikasi dari *shock absorber* sudah sangat luas dan merupakan komponen yang penting dalam berbagai peralatan industri modern, antara lain dalam suspensi kendaraan bermotor, roda pendaratan pesawat terbang, jembatan, dan lain sebagainya. *Shock absorber* ini merupakan komponen yang sangat penting, tanpa adanya *shock absorber* kendaraan dapat terlempar karena keadaan jalan yang bergelombang.

Prinsip kerja *shock absorber* adalah dengan mengalirkan fluida melalui *orifice* yang terdapat pada piston *head shock absorber* tersebut. Saat *shock absorber* ditekan (*compression*) karena gaya osilasi dari pegas suspensi, maka gerakan yang terjadi adalah *shock absorber* mengalami pemendekan ukuran. Pada saat inilah piston bergerak turun ke bawah. Fluida yang berada di bawah piston akan naik ke ruang di atas piston melalui lubang yang ada pada piston. Sedangkan pada saat *shock absorber* ditarik (*extension*) piston di dalam tabung akan bergerak dari bawah naik ke atas. Gerakan naik piston ini membuat fluida yang berada di atas piston menjadi tertekan. Fluida tersebut akan mencari jalan keluar, maka fluida tersebut akan mendorong katup pada saluran *orifice* untuk membuka dan fluida akan keluar atau turun ke bawah melalui saluran yang ada pada *orifice*. Karena saluran *orifice* yang kecil, maka fluida tersebut akan terhambat, disinilah peredaman tersebut terjadi.



Gambar 3. 10 Prinsip kerja shock absorber (www.howstuffworks.com)

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Objek Penelitian

Pada penelitian ini fluida yang digunakan adalah MRF-122 EG. Fluida *Magnetorheological* ini diproduksi oleh LORD Corporation (USA). Fluida MRF-122EG berbasis pada *hydrocarbonMagnetorheological* yang diformulasikan untuk sistem *control*.

Tabel 4.1. *Typical Properties* dari MRF-122EG (Lord.com)

<i>Appearance</i>	Dark Gray Liquid
<i>Viscosity, Pa-s @ 40°C (104°F) Calculated as slope 500-800 sec⁻¹</i>	0.022 - 0.062
<i>Density, g/cm³ (lb/gal)</i>	2.28 (2.48)
<i>Solids Content by Weight, %</i>	72
<i>Flash Point, °C (°F)</i>	>150 (>302)
<i>Operating Temperature, °C (°F)</i>	-40 to +130 (-40 to +266)

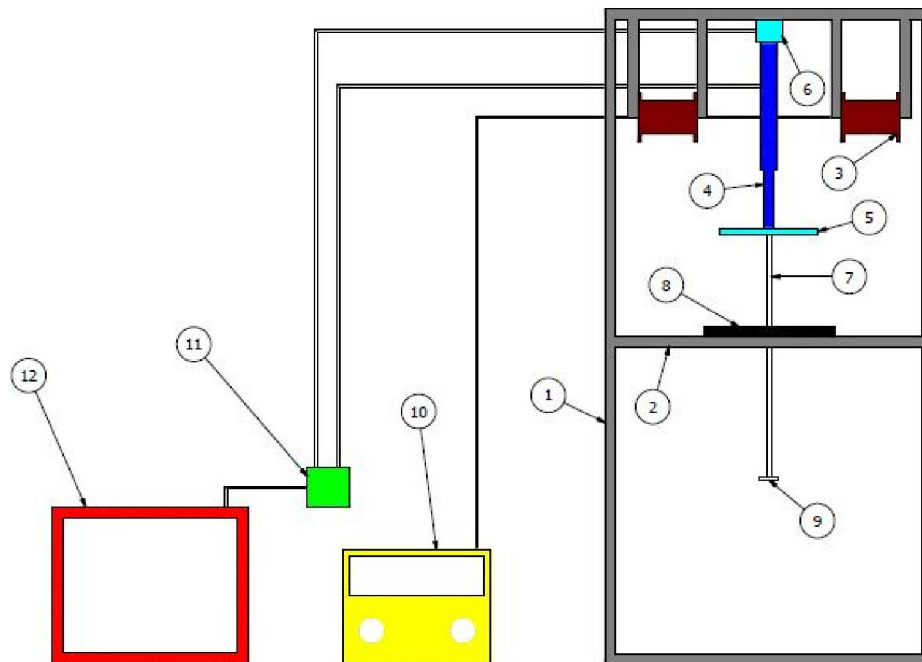
Komponen MRF-122EG terdiri dari :

Carrier liquid : mineral oil, synthetic hydrocarbon oil, silicone oil

Magnetic partikel : carbonyl iron, iron/cobalt alloys, nickel alloys

Zat aditif : suspending agents, thixotropic, anti-wear and anti-corrosion additives, friction modifiers.

4.2 Skema Alat Penelitian



Gambar 4.1 Skema Alat Penelitian

- | | |
|--------------------------|----------------------------|
| 1. Rangka | 8. Beban |
| 2. Rel Beban | 9. Pengait |
| 3. Elektromagnetik | 10. Regulator DC |
| 4. <i>Shock Absorber</i> | 11. <i>Microcontroller</i> |
| 5. <i>Polyfoam</i> | 12. Laptop / PC |
| 6. Sensor Jarak (SRF) | |
| 7. Penarik | |

4.3 Peralatan Pengujian

Peralatan pengujian merupakan peralatan yang digunakan dalam proses pengambilan data. Peralatan pengujian seperti yang terdapat pada skema alat uji akan dijelaskan dengan lebih detail sebagai berikut:

a. Rangka Alat



Gambar 4.2 Rangka alat penelitian

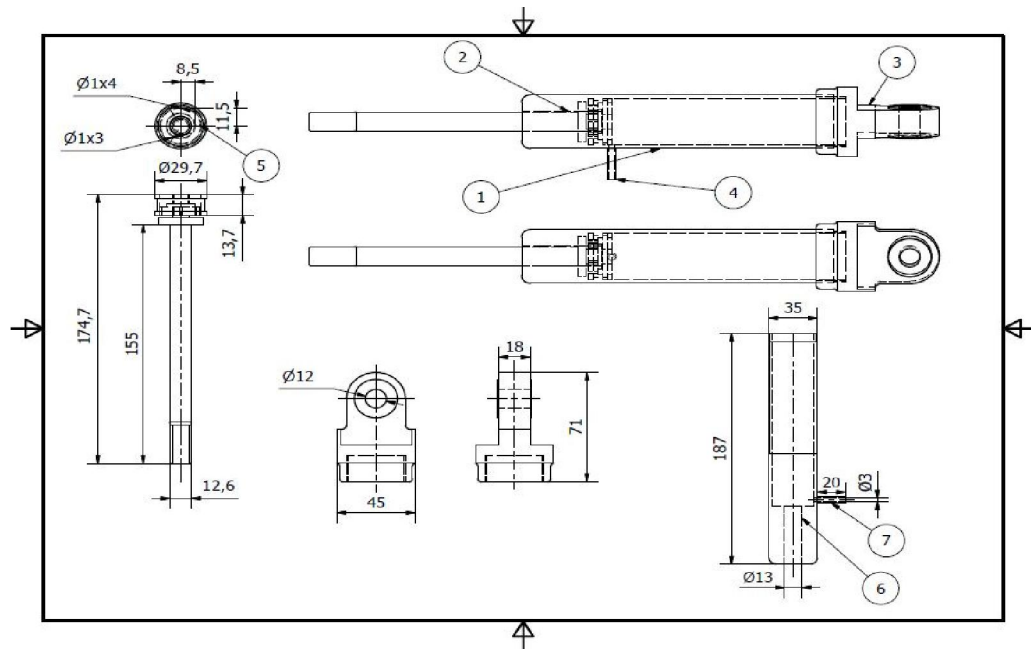
Rangka alat terbuat dari besi *hollow* persegi berukuran 3 cm x 3 cm dengan tebal 1,5 mm yang disusun menjadi rangka dengan dimensi total 100 cm x 60 cm x 150 cm.

b. *Shock Absorber*

Pada penelitian ini digunakanlah *shock absorber* bermerk Yoshimura yang lazim ditemukan dipasaran. Alasan penggunaan *shock absorber* ini karena *shock absorber* ini desain awalnya dapat dibongkar-pasang sehingga

memudahkan peneliti untuk mengganti cairan *Magnetorheological Fluid* (MRF) tanpa mengubah desain awal dari *shock absorber* tersebut dan *shock absorber* jenis ini sangat trend di pasaran. Pada pengujian kali ini menggunakan dua buah *Shock Absorber* yang di dalamnya telah berisi masing-masing dengan fluida asli dari *Absorber* tersebut dan fluida *Magnetorheological Fluid* (MRF) tanpa mengubah desain awal dari *shock absorber* itu dan kedua fluida *shock absorber* tersebut diisi sebanyak 70ml.





(c)

Gambar 4.3(a)Shock absorber Part (b)Shock absorber assembly (c)gambar teknik shock absorber

1. Casingshock absorber
2. Piston
3. Tutup shock absorber
4. Saluran sensor tekanan
5. Orifice
6. Seal Sock absorber

Shock absorber ini didesain dengan diameter piston 30mm, tujuh buah orifice dengan diameter 1mm yang berada pada sekeliling piston dan panjang langkah 80mm.

c. Sistem Pembebanan

Sistem pembebanan adalah bagian tempat beban diletakkan yang bisa bergerak turun dengan lancar karena terdapat roller sliding pada sisi-sinya.

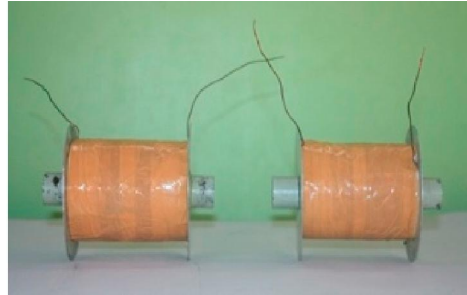
Roller sliding dibuat menggunakan *roller bearing* yang dipasang pada besi *hollow*, yang kemudian dipasang pada besi *vertical* dari rangka sehingga akan mengarahkan jatuhnya beban agar tetap lurus. Sistem pembebanan terdiri dari *roller sliding*, plat besi, besi *hollow* melintang, dan baut untuk tempat beban. Sistem pembebanan sendiri mempunyai berat 1 kg dengan koefisien gesek. Pada penelitian ini digunakan empat variasi berat pembebanan, yaitu dengan berat 2,4 kg, 4 kg, 5,6 kg, 7,2 kg. Sehingga beban total dengan sistem pembebanan adalah 3,4 kg, 5 kg, 6,6 kg, 8,2 kg.



Gambar 4.4 Sistem Pembebanan pada alat

d. Elektromagnet

Penelitian ini menggunakan jenis elektromagnet dengan dua solenoid yang masing-masing ujungnya menghimpit *shock absorber* tempat *orifice* berada. Solenoid ini mempunyai *core* berupa baja lunak diameter 30 mm, ketebalan lilitan 18 mm dan panjang lilitan 100 mm. Elektromagnet ini menghasilkan medan magnet dengan arah tegak lurus *shock absorber*.



Gambar 4.5 Elektromagnet berinti

e. Regulator DC

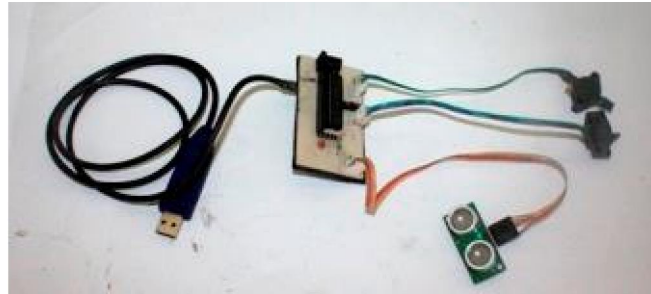
Regulator DC pada penelitian ini digunakan untuk memberikan arus listrik menuju elektromagnet sehingga elektromagnet dapat menghasilkan medan magnet. Besarnya arus yang dialirkan menuju elektromagnet untuk menghasilkan medan magnet berbeda-beda disesuaikan dengan jenis elektromagnetnya. Perbandingan besar arus dan medan magnet yang dihasilkan dihitung secara teoritis dengan rumus dan disesuaikan dengan perhitungan manual menggunakan gauss meter.



Gambar 4.6 Regulator DC

f. Sistem Sensor

Sistem sensor pada penelitian ini terdiri dari *microcontroller*, dua sensor tekanan, satu sensor *ultrasonic* serta satu LCD sebagai *display* dari sensor. Sistem sensor bekerja dengan *supply* 5 volt. Data dari sensor pada sistem ini akan langsung dikirim ke laptop menggunakan kabel data yang terpasang sehingga memudahkan dalam pengambilan data.



Gambar 4.7 Sistem Sensor

4.4 Alat Uji Penelitian

Alat uji penelitian merupakan alat atau sensor yang secara langsung digunakan untuk mengambil data pada setiap percobaan untuk mendapatkan karakteristik *MR Fluid*. Peralatan ini terdiri dari:

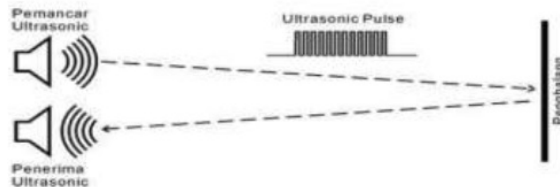
a. Sensor Tekanan

Percobaan yang dilakukan ini menggunakan sensor tekanan MPX 5100 dengan range 0-100 kPa berjumlah dua buah. Sensor tekanan ini dipasang sebelum dan sesudah *orifice* untuk mengetahui besar tekanan pada posisi tersebut. Pemasangan sensor menggunakan selang yang disambungkan langsung menuju *shock absorber*.

Sensor MPX 5100 DP ini menggunakan *transducer* elemen tunggal, ideal untuk *Microcontroller-Based System*, dengan maksimum *error* 2,5% dan suhu kompensasi antara -40 – 125 °C.

b. Sensor Jarak

Sensor jarak yang digunakan pada penelitian kali ini adalah SRF-04. Sensor ini merupakan sensor *ultrasonic* yang dapat mengukur jarak antara 3 cm – 300 cm. Cara kerja sensor jarak ini dapat dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 4.8 Sistem kerja sensor *ultrasonic* (Prasetio, 2012)

Transmitter mengirimkan gelombang *ultrasonic* dengan kecepatan tertentu yang akan memantul ketika menabrak benda. Lama waktu yang dibutuhkan dari *transmitter* mengirim gelombang sampai gelombang diterima kembali akan dihitung sehingga didapat jarak dari bendanya.

4.5 Validasi Alat Ukur

Validasi alat ukur dilakukan untuk mengetahui kondisi alat ukur dan alat uji dapat berfungsi dengan baik atau tidak. Peralatan yang membutuhkan validasi adalah sebagai berikut:

a. Sensor Tekanan

Sensor tekanan divalidasi dengan cara melakukan percobaan pengukuran tiga kali dan dibandingkan antara tekanan *real* dengan pembacaan ADC (*analog digital converter*) pada sensor. Sensor akan memberikan *output* tegangan dari 0 sampai 5 volt pada *microcontroller* sesuai dengan tekanan yang diterima. Proses pengecekan dilakukan dengan memberikan variasi tekanan dengan tensimeter dan melihat perubahan dari pembacaan sensor pada PC. Tekanan validasi diukur menggunakan satuan mmHg.

Tabel 4.2 Pengukuran tekanan dan hasil *output* pada PC

No.	Tensimeter	Seharusnya	Terbaca
-----	------------	------------	---------

1.	20	20	21
2.	20	20	20
3.	20	20	18
4.	40	40	40
5.	40	40	39
6.	40	40	42
7.	100	100	99
8.	100	100	100
9.	100	100	100

Data pembacaan sensor menunjukkan kondisi sensor dalam keadaan baik. *Error* yang ada tidak melebihi 2,5% atau *error* yang terbaca kurang lebih satu, jadi tetap aman dan dapat dikatakan valid.

2. Sensor Jarak

Sensor SRF 04 yang digunakan sudah dalam satuan centimeter. Validasi sensor jarak dilakukan dengan pengukuran konvensional dan juga menyesuaikan cara kerja sensor. Pembacaan sensor akan berubah mengikuti perubahan posisi benda yang terbaca pada sensor. Perubahan posisi benda akan dikonversi menjadi data digital yang akan ditampilkan langsung ke laptop. Pada tabel di bawah ini ditampilkan pembacaan sensor dan pengukuran konvensional pada jarak 53 cm. *Error* dari sensor yang terbaca didapat jarak rata-rata 20,04 tidak lebih dari satu sentimeter dari perhitungan konvensional maka masih dapat dikatakan valid.

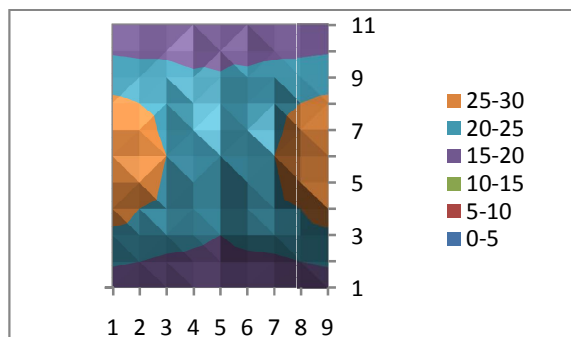
Tabel 4.3 Data pengukuran sensor jarak

No.	Konvensional	Tetap	Berubah
1.	20	20,00	20,05
2.	20	20,00	20,09
3.	20	20,00	20,12
4.	20	20,00	19,95
5.	20	20,00	19,99

6.	20	20,00	20,02
7.	20	20,00	20,05
8.	20	20,00	20,06

3. Elektromagnet

Pengukuran besar medan magnet pada elektromagnet ini menggunakan gauss meter. Pengukuran yang dilakukan juga termasuk menghitung medan magnet pada titik-titik tertentu sehingga didapat distribusi medan magnet yang jelas pada luas area yang menjadi seksi uji dari penelitian. Distribusi arah dan besar medan magnet pada luas area tersebut dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 4.9 Distribusi medan magnet 24 mT tampak depan medan magnet arah sejajar (Ferdian, 2013)

4.6 Tahapan Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam mempersiapkan alat dan pengambilan data dapat dituliskan sebagai berikut:

1. Persiapan alat dan bahan
2. Instalasi *Shock Absorber* pada rangka
3. Memasang Elektromagnet pada Instalasi *Shock Absorber*
4. Hidupkan sistem sensor dan sambungkan pada laptop
5. Hubungkan sensor tekanan pada selang dan sensor jarak pada posisinya.

6. Naikkan posisi piston ke titik atas
7. Pasang beban pada sistem pembebanan
8. Hidupkan Regulator dan atur arus sesuai variable yang telah ditentukan
9. Jatuhkan beban *impact*
10. Pengambilan data pengujian langsung masuk ke laptop dan siap diolah
11. Mengolah data hasil pengujian
12. Pengolahan data keseluruhan dan pembahasan

Penelitian ini menggunakan empat variasi medan magnet yaitu 0mT, 28 mT, 56 mT, dan 100 mT dengan empat beban yaitu 3,4 kg, 5 kg, 6,6 kg, 8,2 kg. dengan fluida *Magnetorheological* pada *Shock Absorber*. Penelitian selanjutnya menggunakan fluida asli *Shock Absorber* tersebut dengan beban yang sama lalu keduanya dibandingkan. Pengambilan data dilakukan untuk keseluruhan *variable* dengan masing-masing *variable* dilakukan minimal sepuluh kali percobaan pengambilan data agar didapat data yang benar-benar valid.

4.6.1 Model Penelitian

Terdapat 20 model penelitian yang dilakukan untuk pengambilan data, yaitu:

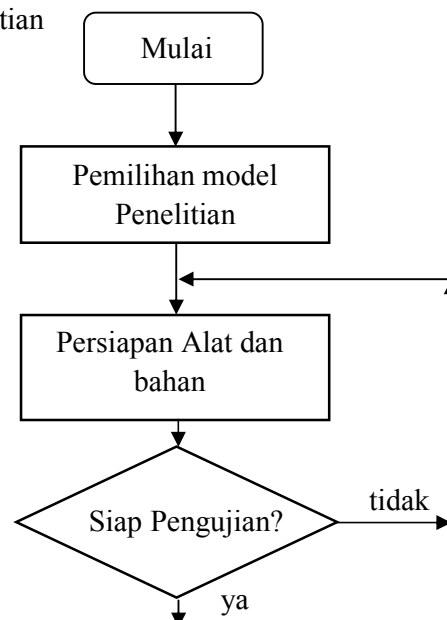
Tabel 4.4 Model variasi penelitian dengan fluida *Magnetorheological* pada *Shock Absorber*

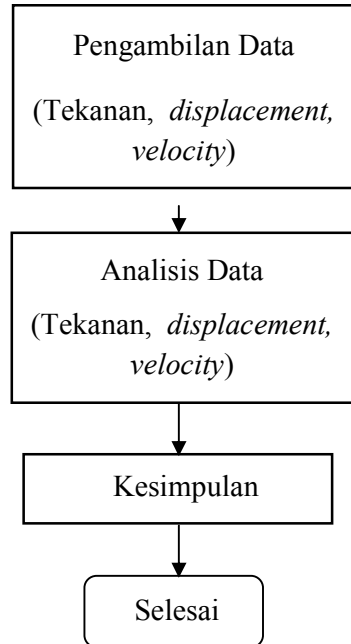
No	Beban 3,4 kg	Beban 5 kg	Beban 6,6 kg	Beban 8,2 kg
1.	0 mT	0 mT	0 mT	0 mT
2.	24 mT	24 mT	24 mT	24 mT
3.	56 mT	56 mT	56 mT	56 mT
4.	100 mT	100 mT	100 mT	100 mT

Tabel 4.5 Model variasi penelitian dengan fluida asli *Shock Absorber*

No	Beban 3,4 kg	Beban 5 kg	Beban 6,6 kg	Beban 8,2 kg
1.	0 mT	0 mT	0 mT	0 mT

4.6.2 Flow Chart Penelitian



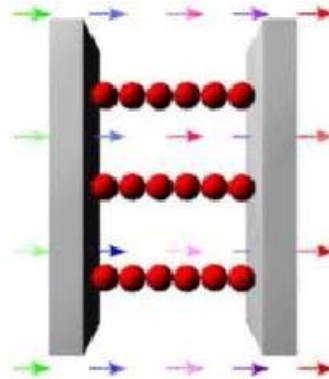


BAB V

HASIL dan PEMBAHASAN

Pembahasan mengenai karakteristik redaman *shock absorber* dengan fluida MRF-122 EG dan fluida asli *shock absorber* pada beberapa variasi medan magnet dilakukan setelah data hasil percobaan didapatkan. Data hasil percobaan akan diolah menjadi grafik agar memudahkan dalam penjelasan dan visualisasi hasil percobaan. Berdasarkan grafik yang ada akan dianalisis lebih mendalam mengenai pengaruh variabel-variabel yang ada terhadap karakteristik *MR Fluid*.

Penelitian ini akan berfokus pada pengaruh arah medan magnet tegak lurus pipa, yang secara teori pengaruhnya dapat dilihat pada gambar berikut:

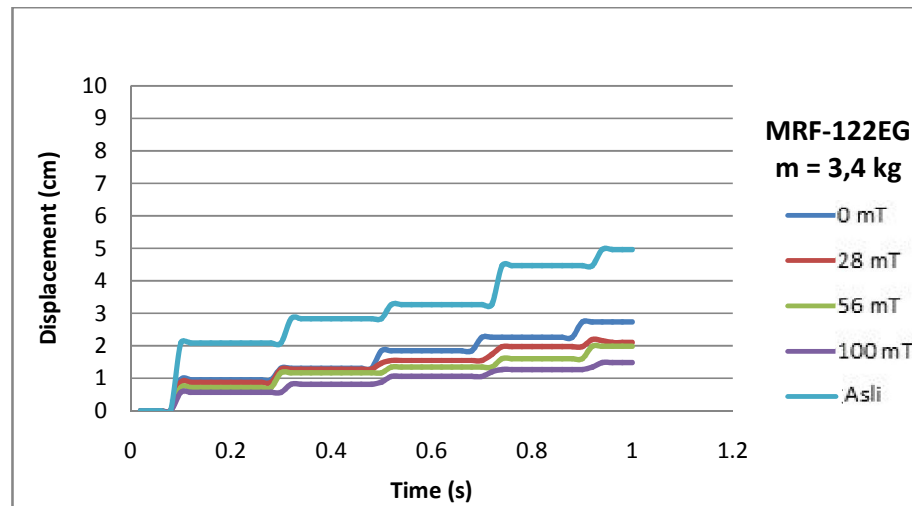


Gambar 5.1 Pola ikatan partikel dalam pengaruh medan magnet arah tegak lurus *shock absorber* (Gonzalves, 2005)

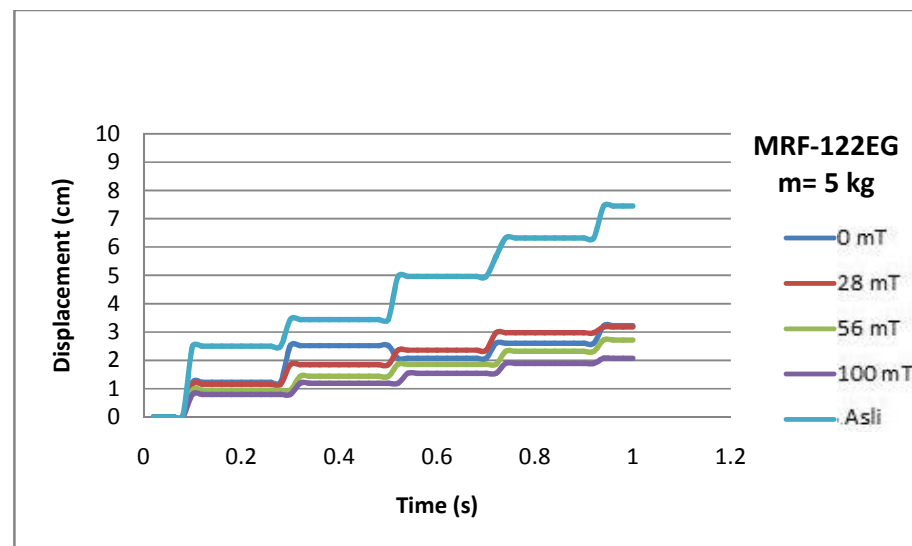
Gambar 5.1 menunjukkan ikatan partikel akan menyesuaikan arah medan magnetnya. Arah ikatan ini akan mempengaruhi bagaimana *MR Fluid* melawan gaya *impact* yang diberikan pada percobaan yang dilakukan ini. Pengaruh besarnya medan magnet yang diaplikasikan pada *MR Fluid* dan beban yang diberikan juga akan menjadi pembahasan pada penelitian kali ini.

5.1 Karakteristik Piston *Displacement*

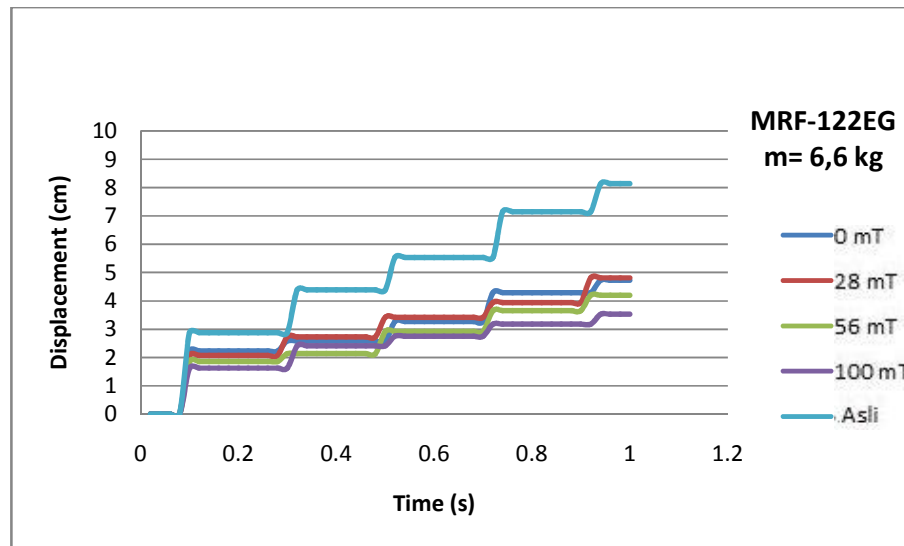
Berdasarkan data hasil percobaan, berikut grafik *displacement* piston terhadap waktu untuk dua jenis arah medan magnet:



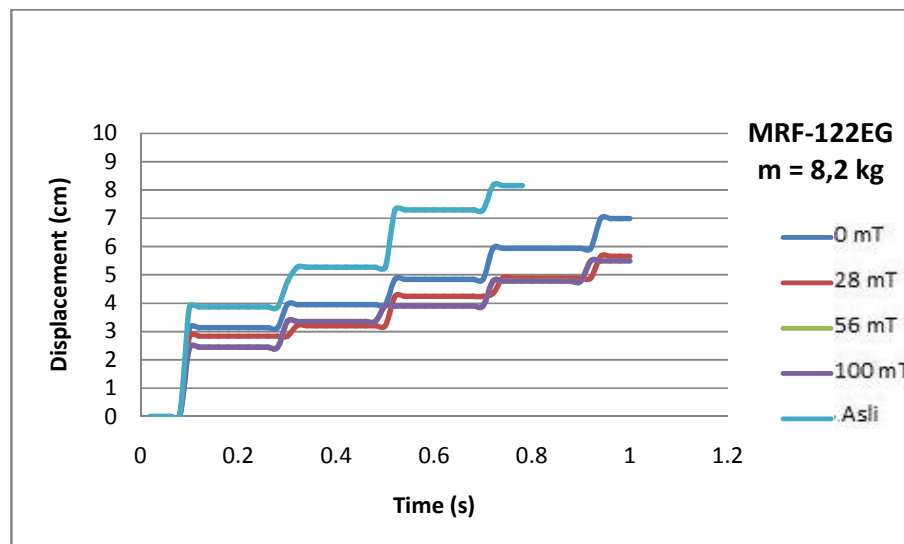
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 5.2 *Displacement* piston vs waktu dengan beban 3,4 kg(a), 5 kg(b), 6,6 kg(c), 8,2 kg(d)

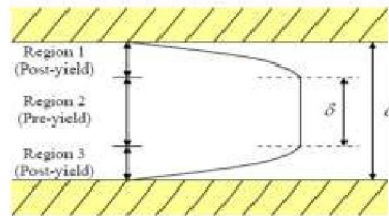
Gambar 5.2 menunjukkan perubahan *displacement* piston terhadap waktu tempuh untuk massa 3,4 kg(a), 5 kg(b), 6,6 kg(c), 8,2 kg(d) yang dijatuhkan dari ketinggian 50 cm. Panjang maksimum *displacement* piston pada percobaan ini

adalah 8 cm dan pengambilan *sample* grafik dari waktu nol detik hingga satu detik. Dari gambar 5.2 dapat dilihat bahwa grafik menunjukkan pola seperti tangga, hal ini disebabkan oleh sensor jarak yang kurang presisi dalam pembacaan data jarak piston atau adanya *delay* saat *input* data ke dalam komputer. Tetapi kita dapat melihat perubahan jarak piston melalui puncak setiap anak tangga. Dapat diketahui bahwa untuk setiap beban yang dijatuhkan dan medan magnet yang diberikan dalam satu detik menggambarkan grafik yang identik hanya saja adanya perbedaan waktu tempuhnya. Untuk satu detik pertama, *shock absorber* sebelum pergantian fluida mengalami peningkatan jarak terjauh dan *shock absorber* dengan fluida MRF-122EG mengalami penurunan jarak yang lebih rendah sebanding dengan intensitas medan magnet yang diberikan. Maka semakin tinggi medan magnet yang diberikan, redaman yang dihasilkan pun akan meningkat.

Perubahan jarak tempuh dan durasi mencapai titik terjauh yang tampak pada hasil dan grafik menunjukkan kekuatan *MR Fluid* dalam menahan beban *impact* meningkat seiring peningkatan medan magnet. Kekuatan dalam menahan beban ini menunjukkan adanya perubahan viskositas dari *MR Fluid* yang meningkat sehingga meningkatkan kekuatan *shear stress* fluidanya. Kekuatan dalam menahan beban *impact* juga dibantu oleh adanya *orifice* pada sistem. Perubahan luas area mengalirnya fluida dari 30mm (diameter dalam pipa) menjadi 1 mm (diameter *orifice*) membuat *MR Fluid* semakin sulit dalam bergerak. Hal-hal yang mempengaruhi perbedaan *displacement* untuk perbedaan besar medan magnet pada beberapa variasi beban adalah sebagai berikut:

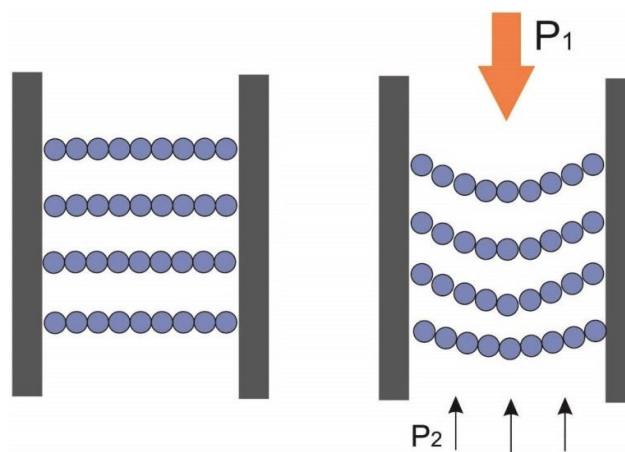
1. Ikatan antar partikel besi

Medan magnet membuat perbedaan yang mencolok pada ikatan rantai partikel besi dalam *MR Fluid*. Perbedaan ini akan berpengaruh terhadap profil kecepatan akibat gesekan antar partikel dari *MR Fluid* yang menyebabkan perbedaan *displacement* piston.



Gambar 5.3 Profil kecepatan fluida pada valve mode (Mazlan, 2008)

Gambar 5.3 menunjukkan bahwa gaya gesek yang terjadi pada setiap *layer* partikel fluida akan membuat perbedaan dalam profil kecepatan. Pada ikatan partikel besi yang tegak lurus, gesekan yang terjadi pada partikel akibat beban *impact* akan mendorong fluida dan partikel besi yang terikat turun, tetapi tidak memotong ikatan partikel utama. Partikel dan ikatannya yang sejajar akan termampatkan karena masing-masing ikatan akan memberikan perlawanan sehingga partikel tidak hanya turun ke bawah, tetapi juga ada beberapa partikel yang akan bergeser ke samping dan mengganggu ikatan partikel lain sehingga meningkatkan gesekan antar partikel. Visualisasi gerakan partikel ketika diberi beban *impact* dapat dilihat pada gambar 5.4.



Gambar 5.4 Perubahan ikatan partikel *MR Fluid* ketika diberi tekanan pada medan magnet tegak lurus *pipashock absorber*

Gambar 5.4 menunjukkan hal yang terjadi pada medan magnet tegak lurus pipa, karena ikatan yang menahan beban *impact* berada tegak lurus sehingga kekuatan ikatan antar partikel sangat dipengaruhi besarnya medan magnet.

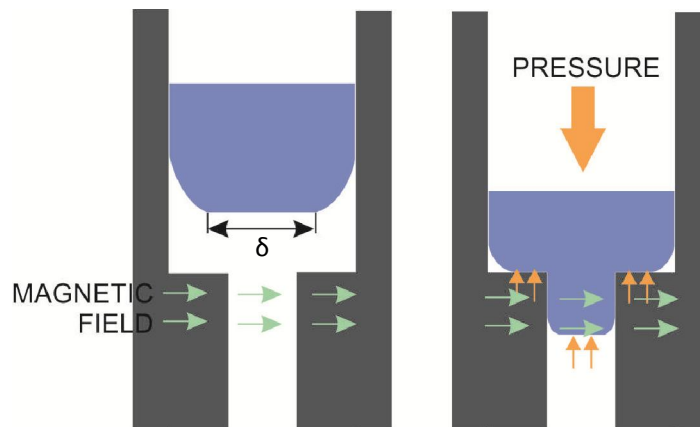
2. Viskositas

Viskositas *MR Fluid* meningkat seiring bertambahnya medan magnet yang mempengaruhinya. Kenaikan viskositas menyebabkan kenaikan *yield stress* sehingga *MR Fluid* dapat menahan beban yang lebih besar ditunjukkan dengan menurunnya *displacement* piston seiring kenaikan medan magnet.

MR Fluid ketika dipengaruhi medan magnet akan menyerupai fluida Bingham yang mana membutuhkan tekanan yang cukup besar melebihi *yield stress*-nya untuk membuat fluida mengalir. Pada percobaan ini gaya luar yang diberikan merupakan gaya *impact* dengan beban 3,4 kg(a), 5 kg(b), 6,6 kg(c), 8,2 kg(d) yang dijatuhkan dari ketinggian 50 cm. *Impact* akan terjadi ketika beban menabrak piston sehingga mendorong piston turun.

3. Orifice

Orifice yang dipakai pada penelitian membuat luas area yang harus dilewati fluida semakin menyempit. Medan magnet yang kemudian berpusat pada *orifice* membuat partikel besi pada *MR Fluid* tertarik ke dinding-dinding sehingga menyebabkan penyempitan daerah pada *orifice*. Penyempitan ini berakibat pada berkurangnya luas area yang dapat dilewati fluida sehingga meningkatkan tahanan *MR Fluid* terhadap tekanan.



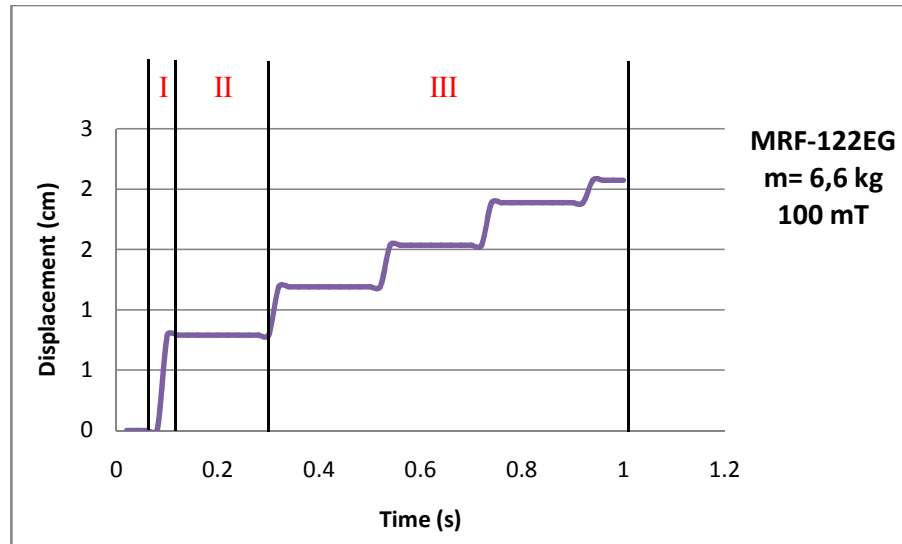
Gambar 5.5 Fluida mengalir melewati *orifice*

Gambar 5.5 menunjukkan fluida yang mengalir sebelum dan saat melewati *orifice* pada percobaan dengan medan magnet tegak lurus pipa. Berdasarkan gambar, dapat dilihat pada bagian di atas *orifice* fluida tidak masuk melewati *orifice* dan bagian atas *orifice* akan menekan balik sehingga menyebabkan tahanan *MR Fluid* terhadap tekanan meningkat. Bagian di dalam *orifice* juga meningkat dalam sisi ikatan karena ikatan yang lebih pendek lebih sulit untuk terpotong

Pada medan magnet arah tegak lurus, fluida yang mengalir saat melewati *orifice* mempunyai profil kecepatan yang umum seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Daerah *pre-yield* meningkat seiring kenaikan medan magnet. Daerah *pre-yield* yang kecil saat medan magnet lemah membuatnya dapat diteruskan secara lebih sempurna melewati *orifice*. Beda dengan ketika daerah *pre-yield* relatif besar dibanding diameter *orifice*, yang mana daerah *pre-yield* akan tertahan sebagian dan membuat ikatan lebih sulit terputus akibat tekanan.

Pembahasan mengenai perubahan *displacement* akan dibagi menjadi tiga bagian untuk melihat perubahan tekanan setiap kondisi. Kondisi I adalah saat beban *impact* menyentuh atau menabrak piston set atau pada waktu 0.02 detik. Kondisi II adalah sesaat setelah *impact* terjadi, piston berhenti beberapa saat. Pokaad (2011) menyebutnya sebagai *Fluid Locking Region*. Kondisi III adalah

saat piston bergerak hingga panjang maksimum. Pembagian kondisi perubahan tekanan dapat dilihat pada gambar 5.5 di bawah.



Gambar 5.6 Tiga region *Displacement* per kejadian

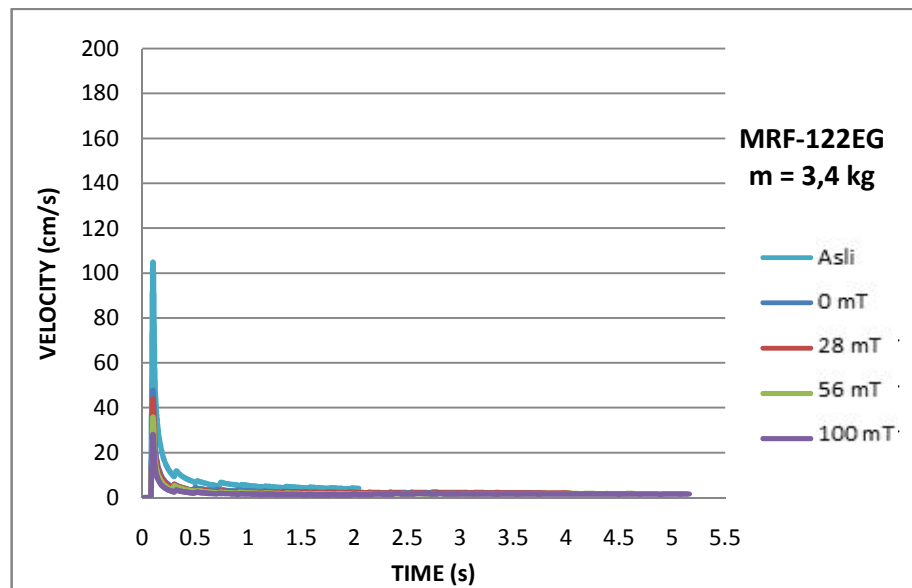
Kondisi I pada gambar 5.6 menunjukkan jarak piston yang naik dengan sangat cepat untuk semua variasi beban dan medan magnet. Hal ini menunjukkan bahwa jarak piston saat kondisi I atau sesaat setelah *impact* terjadi sangat tinggi.

Kondisi II merupakan kondisi dimana piston mulai diam beberapa saat setelah terkena *impact*. Saat setelah terjadi *impact*, Pokaad (2011) menyebutnya sebagai *Fluid Locking Region* atau saat gaya eksternal menguasai inersia fluida. Sehingga piston diam seketika sebelum mulai bergerak kembali. Hal ini dapat dilihat dari gambar 5.5 yang menunjukkan jarak yang tetap tetapi waktu yang terus meningkat. Durasi bertahannya jarak piston dalam waktu tertentu menunjukkan redaman yang dihasilkan oleh fluida MRF-122EG.

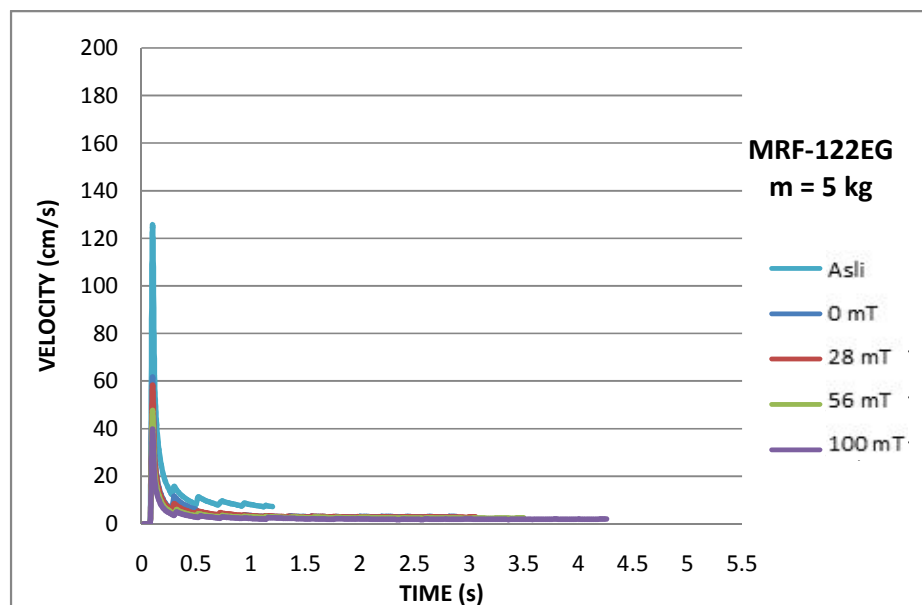
Kondisi III merupakan kondisi dimana piston terus bergerak menuju titik terendah piston dengan mengulang kondisi pertama dan kondisi kedua. Jarak piston memanjang hingga jarak 28 cm dengan waktu tertentu.

5.2 Karakteristik kecepatan piston

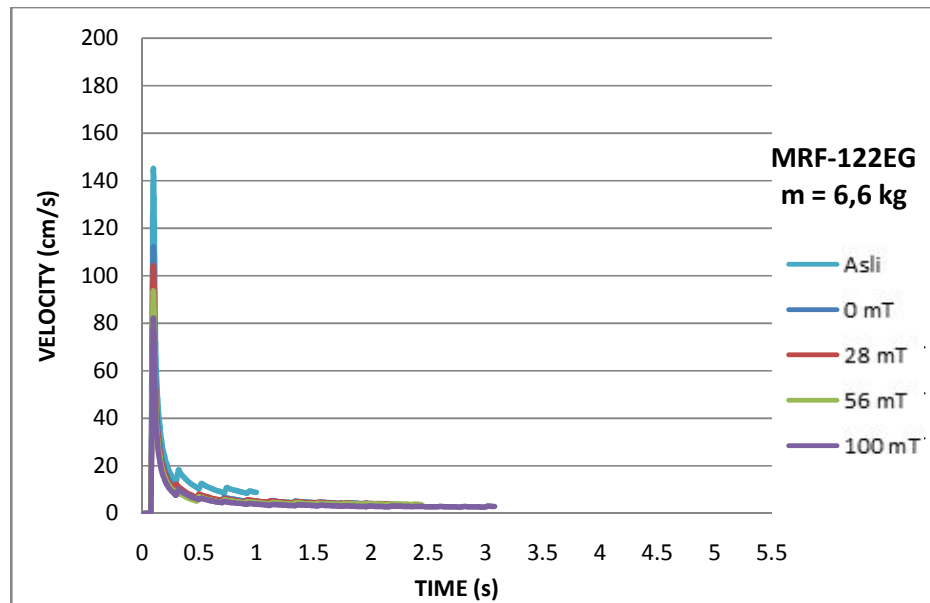
Data hasil percobaan untuk setiap variasi medan magnet dan setiap variasi beban pada *shock absorber* diperoleh dan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai kecepatan turunnya piston setiap percobaan. Grafik perubahan kecepatan piston terhadap waktu dapat dilihat pada gambar 5.7 berikut:



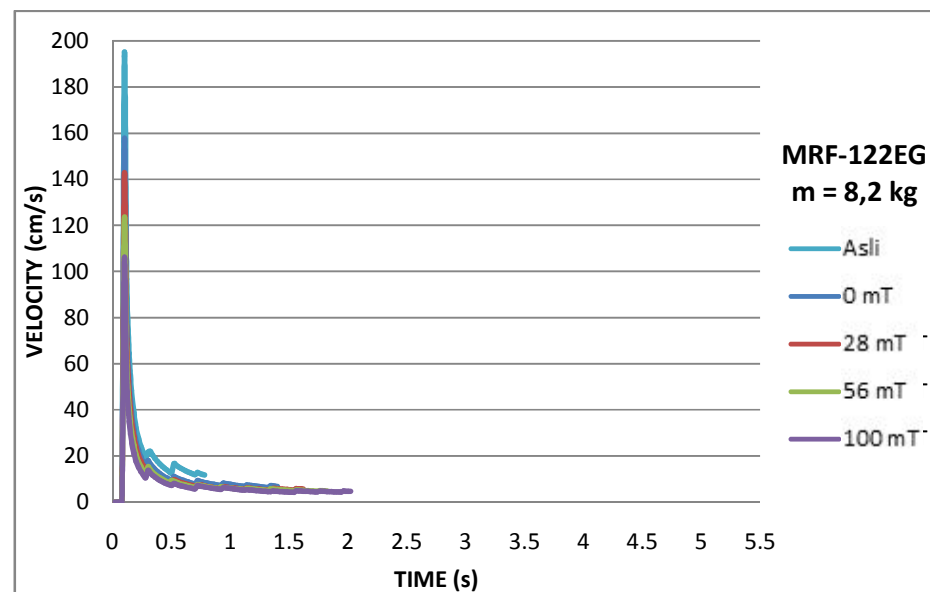
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 5.7 Kecepatan piston terhadap waktu pada beban 3,4 kg (a), 5 kg (b), 6,6 kg (c), 7,2 kg (d)

Gambar 5.7 menunjukkan grafik perubahan kecepatan piston terhadap waktu. Metode pengolahan data :

$$V = \frac{\Delta S}{t}$$

$$\Delta S = S - S_0$$

Dimana :

V = Kecepatan

ΔS = Perubahan jarak

t = Waktu

S = Jarak

S_0 = Jarak awal

Gambar 5.7 (a) menunjukkan perbedaan kecepatan untuk empat perbedaan variasi arus medan magnet saat diberi beban 3,4 kg. Hasil menunjukkan bahwa pada detik awal kecepatan naik dengan signifikan kemudian turun secara perlahan sampai piston berhenti. Kecepatan yang naik secara tiba-tiba tersebut disebabkan beban *impact* ketika pertama kali menabrak piston set. Perbedaan ketinggian kecepatan awal menunjukkan adanya redaman dari *MR Fluid* yang meningkat seiring meningkatnya medan magnet. Redaman ini juga berpengaruh terhadap durasi turunnya piston sampai kecepatan piston menjadi nol atau piston berhenti. Kecepatan setelah kenaikan secara tiba-tiba tersebut juga menunjukkan perbedaan pada variasi medan magnet. Kenaikan medan magnet membuat kecepatan turun terus berkurang meskipun *trend* menunjukkan ada beberapa titik yang fluktuatif.

Pengaruh perbedaan variasi medan magnet untuk beban 3,4 kg menunjukkan bahwa *shock absorber* sebelum penggantian fluida di dalamnya memiliki kecepatan yang tertinggi dan memiliki durasi waktu tersingkat dibandingkan dengan *shock absorber* yang telah diisi oleh fluida MRF-122EG. Dari data di atas dapat kita lihat bahwa kecepatan piston dan durasi waktu berbanding terbalik dengan variasi medan magnet. Karakteristik kecepatan piston

yang sama ditunjukkan oleh fluida asli dengan fluida MRF-122EG setelah *impact*, hanya durasi lamanya piston menuju titik terendahlah yang berbeda. Perbedaan lain terjadi saat medan magnet diberikan, dimana kecepatan *shock absorber* setelah *impact* terjadi lebih lambat dan *smooth* hingga menuju titik terendah, sehingga menghasilkan redaman yang baik.

Gambar 5.7 (b) menunjukkan perbedaan kecepatan untuk dua jenis fluida di dalam *shock absorber* dengan medan magnet pada beberapa intensitas ketika diberi beban 5 kg. Hasil menunjukkan bahwa pada detik awal kecepatan naik dengan signifikan kemudian turun secara perlahan sampai piston berhenti sama seperti pada saat beban 3,4 kg.

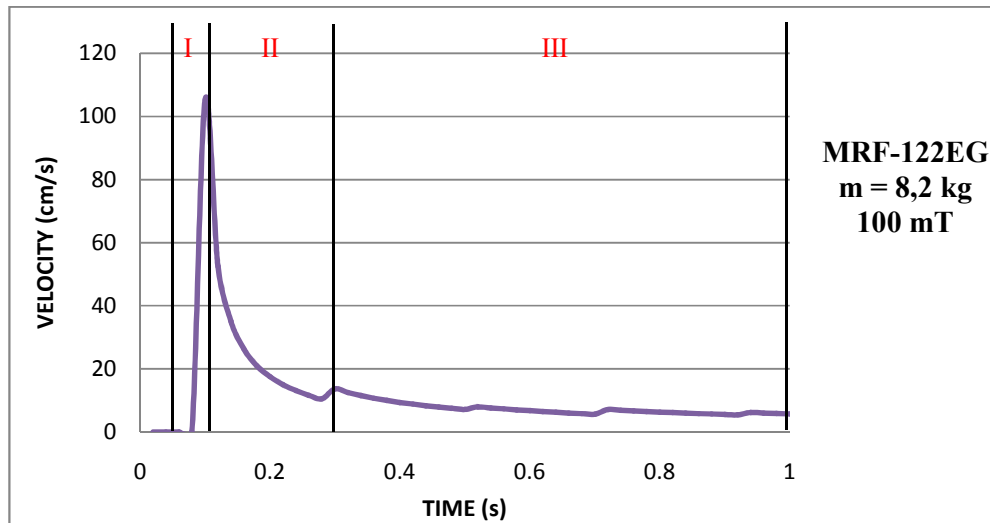
Gambar 5.7 (c) menunjukkan perbedaan kecepatan untuk dua jenis fluida di dalam *shock absorber* dengan medan magnet pada beberapa intensitas ketika diberi beban 6,6 kg. Hasil menunjukkan bahwa pada detik awal kecepatan naik dengan signifikan kemudian turun secara perlahan sampai piston berhenti sama seperti pada saat beban 3,4 kg.

Gambar 5.7 (d) menunjukkan perbedaan kecepatan untuk dua jenis fluida di dalam *shock absorber* dengan medan magnet pada beberapa intensitas ketika diberi beban 8,2 kg. Hasil menunjukkan bahwa pada detik awal kecepatan naik dengan signifikan kemudian turun secara perlahan sampai piston berhenti sama seperti pada saat beban 3,4 kg.

Dari grafik-grafik pada gambar 5.7 menjelaskan bahwa redaman *shock absorber* dengan fluida MRF-122EG adalah yang terbaik dibandingkan dengan *shock absorber* sebelum pergantian fluida di dalamnya dengan durasi waktu yang lebih lama, kecepatan piston saat *impact* yang lebih lambat, serta menghasilkan kurva yang lebih *smooth* setelah *impact* karena peningkatan kecepatan piston tidak terlalu tinggi.

Pembahasan mengenai kecepatan piston akan dibagi menjadi tiga bagian untuk melihat perubahan tekanan setiap kondisi. Kondisi I adalah saat beban

impact menyentuh atau menabrak piston set atau pada waktu 0.02 detik. Kondisi II adalah sesaat setelah *impact* terjadi, piston mengalami penurunan kecepatan karena adanya *Fluid Locking Region*. Kondisi III adalah saat piston bergerak hingga panjang maksimum. Pembagian kondisi perubahan tekanan dapat dilihat pada gambar 5.8 di bawah.



Gambar 5.8 Tiga region kecepatan per kejadian

Kondisi I pada gambar 5.8 menunjukkan kecepatan piston yang naik dengan sangat cepat dari kondisi diam untuk semua variasi beban dan medan magnet. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan piston saat kondisi I atau sesaat setelah *impact* terjadi sangat tinggi. Semakin tinggi medan magnet yang di berikan maka kecepatan piston saat terjadinya *impact* semakin rendah. Tinggi rendahnya kecepatan saat *impact* ini mempengaruhi redaman yang dihasilkan pada setiap variasi beban dan medan magnet.

Kondisi II pada gambar 5.8 merupakan kondisi dimana piston mengalami penurunan kecepatan setelah terkena *impact*. Saat setelah terjadi *impact* piston mengalami penurunan kecepatan hingga titik tertentu lalu kecepatan kembali naik, untuk grafik kecepatan titik terendah sebelum naik kembali itu disebut sebagai *Fluid Locking Region* atau saat gaya eksternal menguasai inersia fluida. Sehingga

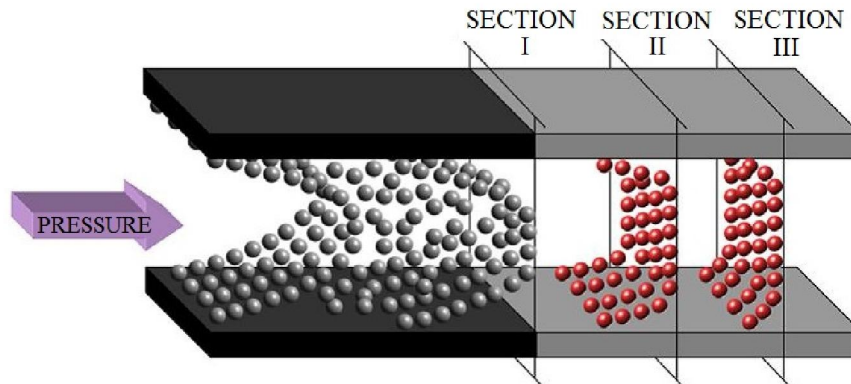
piston mengalami peningkatan kecepatan seketika setelah mengalami perlambatan. Hal ini dapat dilihat dari gambar 5.8 kondisi II yang menunjukkan grafik naik setelah grafik turun.

Kondisi III merupakan kondisi dimana piston terus bergerak menuju titik terendah piston dengan mengulang kondisi pertama dan kondisi kedua. Jarak piston memanjang hingga jarak 8 cm dengan waktu tertentu.

Perubahan kecepatan turun piston dan durasi sampai piston berhenti yang tampak pada hasil dan grafik menunjukkan kekuatan *MR Fluid* dalam menahan beban *impact* meningkat seiring peningkatan medan magnet. Kekuatan dalam menahan beban ini menunjukkan adanya perubahan viskositas dari *MR Fluid* yang meningkat sehingga meningkatkan kekuatan *shear stress* fluidanya. Selain itu adanya *orifice* juga membantu dalam hal menurunkan kecepatan seperti halnya yang terjadi pada *displacement* piston. Mengenai adanya fluktuasi dalam perubahan kecepatan yang terjadi setelah kecepatan maksimum saat *impact* dapat terjadi selain karena sensitifitas sensor juga karena pengaruh tahanan *MR Fluid*. Hal-hal yang mempengaruhi perbedaan kecepatan untuk perbedaan arah medan magnet dan besar medan magnet pada beberapa variasi beban adalah sebagai berikut:

1. Medan magnet dan ikatan antar partikel

Perbedaan kecepatan turunnya piston sangat dipengaruhi adanya medan magnet yang diberikan. Keberadaan medan magnet dan juga ikatan antar partikel ini berpengaruh terhadap profil kecepatan aliran pada *shock absorber*, terutama pada bagian yang terkena medan magnet atau dapat disebut region aktif pada *valve mode*. Saat fluida melewati region aktif, terjadi transisi dari aliran Newtonian menjadi aliran fluida bingham akibat adanya medan magnet. Respon *MR Fluid* terhadap medan magnet hanya dalam waktu *millisecond*. Fluida yang mengalir pada *shock absorber* sebelum dan saat melewati region aktif dapat diilustrasikan dengan gambar di bawah.



Gambar 5.9 Skematik aliran fluida saat merespon adanya medan magnet
(Goncalves, 2005)

Gambar 5.9 memberikan ilustrasi mengenai transisi profil kecepatan saat sebelum ada medan magnet sampai saat melewati daerah dengan pengaruh medan magnet. Saat tidak ada medan magnet, fluida akan seperti fluida Newtonian pada umumnya, yaitu partikel bergerak secara acak dan profil kecepatan berbentuk *parabolic*. Saat fluida mencapai *section I*, medan magnet mulai mempengaruhi profil kecepatan. Transisi dari fluida Newtonian menuju fluida Bingham terjadi mulai *section I* ini dimana profil kecepatan yang tadinya *parabolic* mulai menjadi *flat* di ujung profil. Pada saat fluida mencapai *section II*, ikatan antar partikel semakin jelas terlihat, tetapi pada bagian ini *yield stress* belum maksimal, hanya sekitar 70 % seperti yang dikatakan Goncalvez (2005) pada bukunya. Ketika fluida mencapai *section III* ikatan yang terbentuk dan *yield stress* terbentuk secara maksimal, yang mana hal itu akan menahan dengan lebih baik tekanan yang datang sehingga kecepatan turunnya piston akan semakin kecil seiring naiknya medan magnet yang membuat ikatan semakin meningkat.

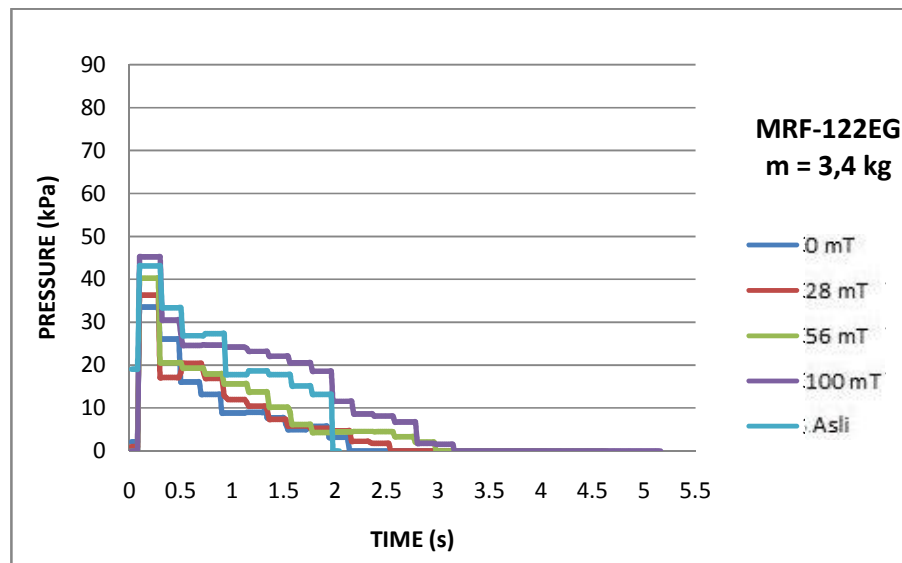
2. Viskositas

Viskositas berpengaruh terhadap tahanan *MR Fluid* saat menerima beban *impact* karena viskositas berpengaruh terhadap naiknya *shear stress*. *Shear stress* selain mempengaruhi *displacement* juga mempengaruhi kecepatan turunnya piston.

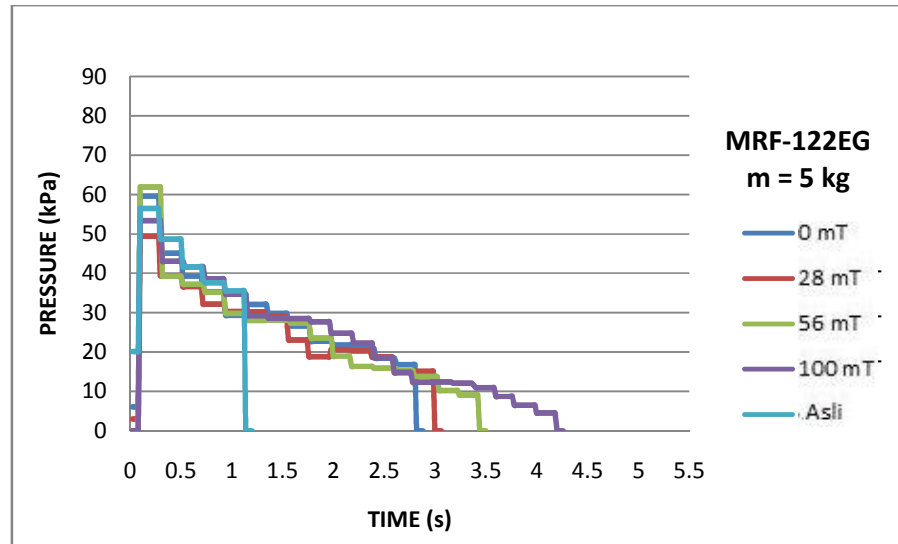
5.3 Karakteristik Tekanan *MR Fluid*

Perubahan tekanan *MR Fluid* saat dilakukan pembebanan *impact* dapat diamati berdasarkan data yang terekam pada sensor tekanan MPX 5100 DP. Penelitian ini menggunakan sensor tekanan yang dipasang 2 cm sebelum titik terendah piston. Pembahasan akan dilakukan dengan mengamati perubahan tekanan saat terjadinya *impact* hingga piston berhenti bergerak atau mencapai titik terjauhnya.

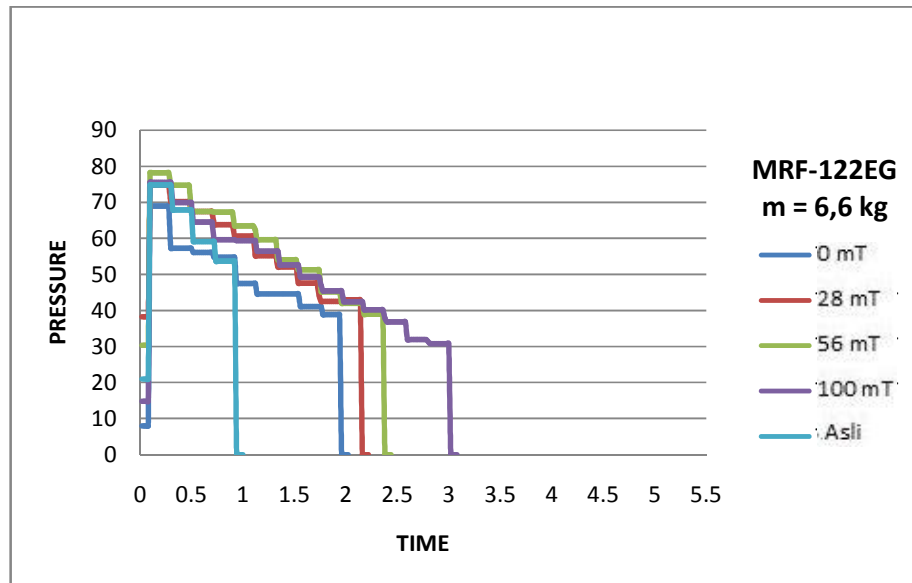
Grafik perubahan tekanan akibat gaya *impact* pada beberapa variasi medan magnet dapat dilihat pada gambar 5.10 di bawah.



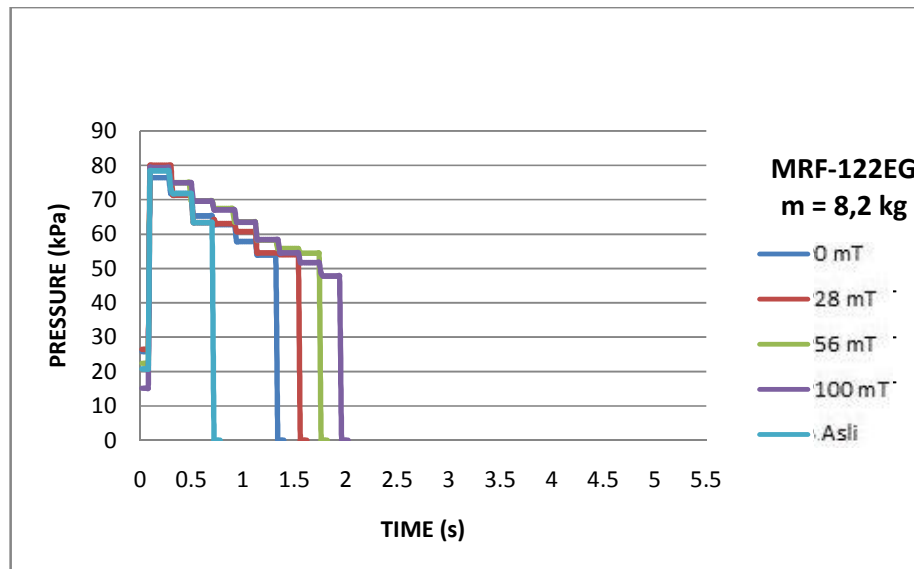
(a)



(b)



(c)



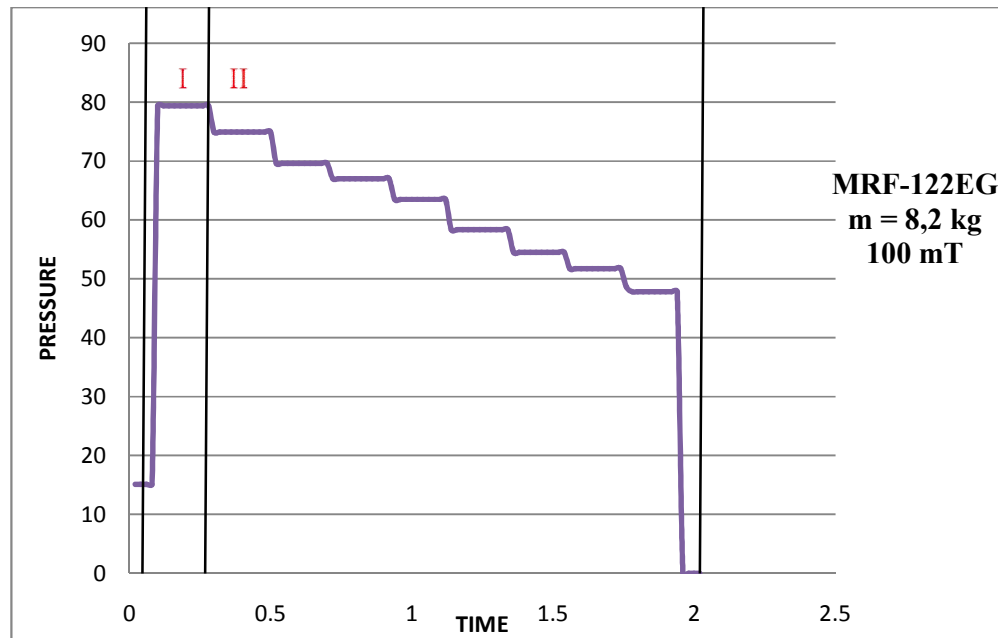
(d)

Gambar 5.10 *Displacement* piston vs waktu dengan beban 3,4 kg(a), 5 kg(b), 6,6 kg(c), 8,2 kg(d)

Gambar 5.10 menunjukkan perubahan tekanan yang terjadi di dalam shock absorber terhadap waktu tempuh untuk beban 3,4 kg(a), 5 kg(b), 6,6 kg(c), 8,2 kg(d) yang dijatuhkan dari ketinggian 50 cm. Peningkatan tekanan terjadi sesaat setelah *impact* lalu tekanan akan turun secara perlahan. Tekanan yang dihasilkan setelah *impact* untuk semua variasi beban dan medan magnet tidak terlalu mencolok. Untuk *shock absorber* dengan fluida MRF-122EG dengan beberapa variasi medan magnet mengalami penurunan tekanan yang konstan hingga jarak terjauh dari piston sebelum tekanan turun hingga nol. Untuk *shock absorber* sebelum pergantian fluida di dalamnya mengalami penurunan tekanan hingga nol dengan waktu yang lebih cepat. Saat tekanan turun tidak ada redaman yang terjadi maka, *shock absorber* dengan fluida MRF-122EG memiliki redaman yang baik karena membutuhkan waktu yang lebih lama sebelum tekanan menjadi nol.

Pembahasan mengenai perubahan tekanan akan dibagi menjadi tiga bagian untuk melihat perubahan tekanan setiap kondisi. Kondisi I adalah saat beban *impact* menyentuh atau menabrak piston atau pada waktu 0.02 detik. Kondisi II

adalah sesaat setelah *impact* terjadi. Kondisi III adalah saat piston telah berhenti. Pembagian kondisi perubahan tekanan dapat dilihat pada gambar 5.11 di bawah.



Gambar 5.11 Tiga region tekanan per kejadian

Kondisi I pada gambar 5.11 menunjukkan tekanan yang naik dengan sangat cepat untuk semua variasi medan magnet. Hal ini menunjukkan bahwa tekanan saat kondisi I atau saat *impact* terjadi sangat tinggi. Saat terjadi *impact*, Pokaad (2011) menyebutnya sebagai *Fluid Locking Region* atau saat gaya eksternal menguasai inersia fluida. Sehingga tekanan yang terbaca pada sensor tekanan sangat tinggi.

Kondisi II merupakan kondisi dimana piston mulai bergerak setelah terkena *impact*. Tekanan turun secara simultan pada kondisi ini dimana besar tekanan tergantung medan magnet. Hal ini dapat dilihat dari gambar 5.11 yang menunjukkan tekanan sedikit turun tetapi tetap terjaga seiring bertambahnya waktu tempuh. Tekanan pada kondisi II turun meskipun hanya sedikit dengan kenaikan medan magnet yang mempengaruhinya. Karena adanya *Fluid Locking Region* tekanan akan tetap dalam waktu beberapa milidetik sebelum piston

kembali bergerak. Perbedaan yang signifikan tampak pada durasi bertahannya tekanan tinggi tersebut. Tekanan yang relatif tinggi tersebut adalah saat terjadi penurunan piston sampai piston berhenti. Durasi bertahannya tekanan menunjukkan lamanya piston turun atau sejalan dengan kecepatan turunnya piston.

Kondisi III merupakan kondisi dimana tekanan pada kondisi ini turun secara signifikan hingga titik terjauh. Kondisi dimana tekanan tetap bertahan tinggi meskipun piston telah berhenti bergerak adalah keadaan dimana fluida tidak dapat mengalir melalui *orifice*. Tekanan yang turun secara signifikan adalah bentuk redaman yang dihasilkan, redaman hilang seketika saat tekanan menunjukkan angka nol atau fluida telah bebas mengalir melalui *orifice*.

Perubahan tekanan pada setiap variasi beban menunjukkan trend hasil yang relative sama. Hal ini terjadi karena jenis ikatan yang terbentuk akibat medan magnet mempunyai reaksi ketika diberi beban. Hal-hal yang mempengaruhi perbedaan tekanan untuk besar medan magnet pada beberapa variasi beban adalah sebagai berikut:

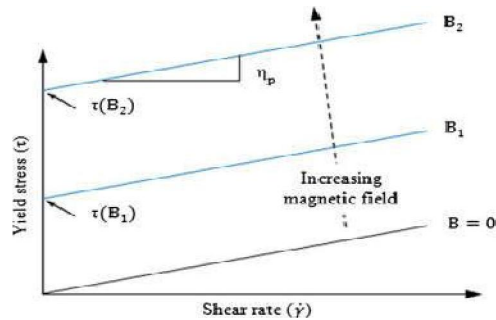
1. Ikatan antar partikel

Ikatan antar partikel saat diberi medan magnet menunjukkan perbedaan cukup signifikan. Terlihat dari tekanan yang terjaga lebih lama dan waktu hingga mencapai titik terjauh yang lebih lama menunjukkan bahwa saat fluida MRF-122EG diberi medan magnet ikatan antar partikel akan menjaga tekanan lebih lama sebelum tekanan menjadi nol.

2. Viskositas

Viskositas *MR Fluid* merupakan penjabaran *yield point*. *Yield point* merupakan nilai tegangan luluh yang harus dicapai agar fluida dapat mulai mengalir. Tekanan luar yang diberikan harus melebihi *yield point* agar fluida dapat mengalir. *Yield point* sebanding dengan viskositas yang mana semakin meningkat dengan peningkatan medan magnet yang mempengaruhinya. Medan

magnet akan membentuk ikatan antar partikel pada *MR Fluid* yang mana partikel ini akan menghasilkan gaya van der waals sehingga nilai tekanan agar fluida dapat mengalir semakin meningkat. Sesuai dengan teori tentang *MR Fluid* yang diklasifikasikan sebagai fluida Bingham dimana nilai tegangan geser dihubungkan dengan nilai dari *yield point* untuk membuat fluida tersebut mulai mengalir.



Gambar 5.12 Karakteristik *yield stress* dan *shear rate* untuk kenaikan medan magnet (Prasetio, 2012)

Gambar 5.12 menunjukkan karakteristik kenaikan *yield stress* ketika medan magnet meningkat. Pada kondisi dimana tidak ada medan magnet, karakteristik fluida adalah sama dengan fluida Newtonian. Sedangkan ketika medan magnet diberikan, ada *yield stress* atau *yield point* yang harus dicapai untuk membuat fluida mengalir. Berdasarkan ilustrasi karakteristik fluida *MR Fluid* pada gambar 5.12 keadaan tekanan yang naik setiap kenaikan medan magnet adalah sesuai karena kenaikan *yield stress*.

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan data hasil penelitian dan analisis yang dilakukan, karakteristik Magnetorheological Fluid pada arah medan magnet yang berbeda dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. *Displacement* piston dan kecepatan piston berbanding terbalik dengan kenaikan medan magnet.
2. Semakin besar medan magnet yang diberikan maka akan semakin tinggi *Shock Absorber* dengan fluida *Magnetorheological* dapat meredam beban *impact*. Hal tersebut dapat terlihat dari *displacement* yang lebih rendah dan kecepatan turunnya piston yang lebih lambat
3. *Shock Absorber* dengan fluida *Magnetorheological* dapat meredam beban *impact* lebih tinggi dari pada *Shock Absorber* dengan fluida asli (oli *Shock Absorber*). Hal itu dapat diketahui dari kecepatan piston yang rendah, *displacement* yang lebih rendah, besarnya tekanan dan lamanya piston *Shock Absorber* bergerak turun.

6.2 Saran

Penelitian yang telah dilakukan ini mempunyai beberapa kekurangan yang diharapkan dapat diperbaiki untuk penelitian selanjutnya. Selain itu ada beberapa hal yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya. Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan sensor tekanan MPX 5100 DP dengan nilai maksimum 100 kPa, dan tekanan *peak* masih belum terbaca dengan akurat. Penelitian selanjutnya jika menginginkan untuk mengetahui tekanan *peak* disarankan menggunakan sensor tekanan dengan nilai

maksimum yang lebih tinggi dan sistem sensor dengan bit yang lebih besar meskipun data relatif kurang halus.

2. Pemasangan sensor tekanan menggunakan selang kecil yang dihubungkan pada *Shock Absorber*. Hal ini dapat menimbulkan endapan fluida *Magnetorheological*, sehingga membuat sensor kurang akurat. Lebih baik jika kedepannya sensor tekanan langsung terhubung dengan *Shock Absorber* tanpa penggunaan selang.
3. Penelitian tentang arah medan magnet sangat dipengaruhi elektromagnet dan distribusi medan magnetnya. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan pengaruh medan magnet dengan luas area distribusi medan magnet yang lebih kecil atau pun lebih besar.
4. Pada penelitian yang akan datang diharapkan untuk menggunakan *Shock Absorber* dengan fluida *Magnetorheological* yang dipadukan dengan gas untuk menahan beban *impact*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ferdian, A.I., 2013, Pengaruh Arah Medan Magnet Terhadap Karakteristik Fluida Bermagnet Dibawah Beban *Impact* pada Medan Magnet Intensitas Rendah, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Goncalves, F.D., 2005, *Characterizing the Behavior of Magnetorheological Fluids at High Velocities and High Shear Rates*, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia.
- Gibbs, K., 2010, www.schoolphysics.co.uk, diakses tanggal 27 Juni 2013
- Google Image, [giffile], <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/imgmag/sol3.gif>, diakses tanggal 27 Juni 2013
- Google Image, [pngfile],
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6b/Bingham2a.svg/302px-Bingham2a.svg.png>, diakses tanggal 6 Juli 2013
- Google Image, [giffile],
http://www.efunda.com/formulae/fluids/images/Manometer_A.gif, diakses tanggal 21 Juli 2013
- Google Image, [pngfile],
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/ba/Laminar_shear_flow.svg/320px-Laminar_shear_flow.svg.png, diakses tanggal 26 Juni 2013
- Isnikurniawan, A., Moroka, Y., Ohba, H., and Sawada, T., 2011, *Experimental investigation into the effect of a magnetic field on magnetorheological*

fluids under an impact load, Department of Mechanical Engineering, Keio University, Japan.

Mazlan, S.A., 2008, *The Behaviour of Magnetorheological Fluids in Squeeze Mode*, Dublin City University, Ireland.

Moroka, Y., Isnikurniawan, A., Ohba, H., Kaneko, H., and Sawada, T., 2003, *Effect of Uniform Magnetic Field on Magnetorheological Fluid under an Impact Load*, International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics 18, 1–41.

Nguyen, Q.H. and Choi, S.B., 2012, *Optimal Design Methodology of Magnetorheological Fluid Based Mechanism*, licencee InTech, Korea.

Prasetio, D., 2012, *Karakterisasi Magnetorheological Fluids tipe 122-EG terhadap Penggunaan Variasi Ukuran Diameter Dalam pada Orifice dibawah Beban Impact dan Pengaruh Medan Magnet*, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Pungki, A.Y.P., 2014, *Analisis Karakteristik Shock Absorber yang memakai Smart Fluid Dengan Eksitasi Sinusoidal*, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Som, S.K. and Biswas, G., 1998, *Fluids Mechanics and Fluid Machines*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.

Weby, 2008, inkontrol.wordpress.com, diakses tanggal 21 Juli 2013

Young, H.D. and Freedman, R.A., 2012, *Sears and Zemansky's university physics: with modern physics. 13th ed.*, Pearson Education, Inc., San Francisco.

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 DATA BEBAN 3,4 KG dan MEDAN MAGNET 0 mT

No.	Time (s)	Data 1		Data 2		Data 3		Data rata-rata		Pressure (kPa)	Disp. (cm)	velocity (cm/s)
		P1	D1	P1	D1	P1	D1	pressure	distance			
1	0,02	19,00	20,06	15,00	20,06	13,00	20,06	15,67	20,06	2,09	0,00	0,00
2	0,04	19,00	20,06	15,00	20,06	13,00	20,06	15,67	20,06	2,09	0,00	0,00
3	0,06	19,00	20,06	15,00	20,06	13,00	20,06	15,67	20,06	2,09	0,00	0,00
4	0,08	19,00	20,06	15,00	20,06	13,00	20,06	15,67	20,06	2,09	0,00	0,00
5	0,10	257,00	20,95	207,00	21,19	290,00	20,88	251,33	21,01	33,51	0,95	47,33
6	0,12	257,00	20,95	207,00	21,19	290,00	20,88	251,33	21,01	33,51	0,95	23,67
7	0,14	257,00	20,95	207,00	21,19	290,00	20,88	251,33	21,01	33,51	0,95	15,94
8	0,16	257,00	20,95	207,00	21,19	290,00	20,88	251,33	21,01	33,51	0,95	11,96
9	0,18	257,00	20,95	207,00	21,19	290,00	20,88	251,33	21,01	33,51	0,95	9,57
10	0,20	257,00	20,95	207,00	21,19	290,00	20,88	251,33	21,01	33,51	0,95	7,97
11	0,22	257,00	20,95	207,00	21,19	290,00	20,88	251,33	21,01	33,51	0,95	6,83
12	0,24	257,00	20,95	207,00	21,19	290,00	20,88	251,33	21,01	33,51	0,95	5,98
13	0,26	257,00	20,95	207,00	21,19	290,00	20,88	251,33	21,01	33,51	0,95	5,31
14	0,28	257,00	20,95	207,00	21,19	290,00	20,88	251,33	21,01	33,51	0,95	4,78
15	0,30	237,00	21,36	127,00	21,47	222,00	21,26	195,33	21,36	26,04	1,30	5,97
16	0,32	237,00	21,36	127,00	21,47	222,00	21,26	195,33	21,36	26,04	1,30	5,47
17	0,34	237,00	21,36	127,00	21,47	222,00	21,26	195,33	21,36	26,04	1,30	5,05
18	0,36	237,00	21,36	127,00	21,47	222,00	21,26	195,33	21,36	26,04	1,30	4,69
19	0,38	237,00	21,36	127,00	21,47	222,00	21,26	195,33	21,36	26,04	1,30	4,38
20	0,40	237,00	21,36	127,00	21,47	222,00	21,26	195,33	21,36	26,04	1,30	4,10
21	0,42	237,00	21,36	127,00	21,47	222,00	21,26	195,33	21,36	26,04	1,30	3,86
22	0,44	237,00	21,36	127,00	21,47	222,00	21,26	195,33	21,36	26,04	1,30	3,65
23	0,46	237,00	21,36	127,00	21,47	222,00	21,26	195,33	21,36	26,04	1,30	3,46
24	0,48	237,00	21,36	127,00	21,47	222,00	21,26	195,33	21,36	26,04	1,30	3,28
25	0,50	136,00	21,95	98,00	22,22	127,00	21,53	120,33	21,90	16,04	1,84	4,40
26	0,52	136,00	21,95	98,00	22,22	127,00	21,53	120,33	21,90	16,04	1,84	4,20
27	0,54	136,00	21,95	98,00	22,22	127,00	21,53	120,33	21,90	16,04	1,84	4,02
28	0,56	136,00	21,95	98,00	22,22	127,00	21,53	120,33	21,90	16,04	1,84	3,85
29	0,58	136,00	21,95	98,00	22,22	127,00	21,53	120,33	21,90	16,04	1,84	3,70
30	0,60	136,00	21,95	98,00	22,22	127,00	21,53	120,33	21,90	16,04	1,84	3,56
31	0,62	136,00	21,95	98,00	22,22	127,00	21,53	120,33	21,90	16,04	1,84	3,43
32	0,64	136,00	21,95	98,00	22,22	127,00	21,53	120,33	21,90	16,04	1,84	3,30
33	0,66	136,00	21,95	98,00	22,22	127,00	21,53	120,33	21,90	16,04	1,84	3,19
34	0,68	136,00	21,95	98,00	22,22	127,00	21,53	120,33	21,90	16,04	1,84	3,08
35	0,70	82,00	22,60	86,00	22,46	128,00	21,88	98,67	22,31	13,16	2,25	3,65

LAMPIRAN 2 DATA BEBAN 3,4 KG dan MEDAN MAGNET 24 mT

No.	Time (s)	Data 1		Data 2		Data 3		Data rata-rata		Pressure (kPa)	Disp. (cm)	velocity (cm/s)
		P1	D1	P1	D1	P1	D1	pressure	distance			
1	0,02	12,00	20,12	0,00	20,02	10,00	20,06	7,33	20,07	0,98	0,00	0,00
2	0,04	12,00	20,12	0,00	20,02	10,00	20,06	7,33	20,07	0,98	0,00	0,00
3	0,06	12,00	20,12	0,00	20,02	10,00	20,06	7,33	20,07	0,98	0,00	0,00
4	0,08	12,00	20,12	0,00	20,02	10,00	20,06	7,33	20,07	0,98	0,00	0,00
5	0,10	327,00	20,92	248,00	20,95	242,00	20,95	272,33	20,94	36,31	0,87	43,50
6	0,12	327,00	20,92	248,00	20,95	242,00	20,95	272,33	20,94	36,31	0,87	21,75
7	0,14	327,00	20,92	248,00	20,95	242,00	20,95	272,33	20,94	36,31	0,87	14,50
8	0,16	327,00	20,92	248,00	20,95	242,00	20,95	272,33	20,94	36,31	0,87	10,88
9	0,18	327,00	20,92	248,00	20,95	242,00	20,95	272,33	20,94	36,31	0,87	8,70
10	0,20	327,00	20,92	248,00	20,95	242,00	20,95	272,33	20,94	36,31	0,87	7,25
11	0,22	327,00	20,92	248,00	20,95	242,00	20,95	272,33	20,94	36,31	0,87	6,21
12	0,24	327,00	20,92	248,00	20,95	242,00	20,95	272,33	20,94	36,31	0,87	5,44
13	0,26	327,00	20,92	248,00	20,95	242,00	20,95	272,33	20,94	36,31	0,87	4,83
14	0,28	327,00	20,92	248,00	20,95	242,00	20,95	272,33	20,94	36,31	0,87	4,35
15	0,30	107,00	21,26	160,00	21,50	117,00	21,26	128,00	21,34	17,07	1,27	5,77
16	0,32	107,00	21,26	160,00	21,50	117,00	21,26	128,00	21,34	17,07	1,27	5,29
17	0,34	107,00	21,26	160,00	21,50	117,00	21,26	128,00	21,34	17,07	1,27	4,88
18	0,36	107,00	21,26	160,00	21,50	117,00	21,26	128,00	21,34	17,07	1,27	4,54
19	0,38	107,00	21,26	160,00	21,50	117,00	21,26	128,00	21,34	17,07	1,27	4,23
20	0,40	107,00	21,26	160,00	21,50	117,00	21,26	128,00	21,34	17,07	1,27	3,97
21	0,42	107,00	21,26	160,00	21,50	117,00	21,26	128,00	21,34	17,07	1,27	3,74
22	0,44	107,00	21,26	160,00	21,50	117,00	21,26	128,00	21,34	17,07	1,27	3,53
23	0,46	107,00	21,26	160,00	21,50	117,00	21,26	128,00	21,34	17,07	1,27	3,34
24	0,48	107,00	21,26	160,00	21,50	117,00	21,26	128,00	21,34	17,07	1,27	3,18
25	0,50	157,00	21,53	137,00	21,81	117,00	21,26	137,00	21,53	18,27	1,46	3,48
26	0,52	157,00	21,53	137,00	21,81	165,00	21,50	153,00	21,61	20,40	1,54	3,51
27	0,54	157,00	21,53	137,00	21,81	165,00	21,50	153,00	21,61	20,40	1,54	3,36
28	0,56	157,00	21,53	137,00	21,81	165,00	21,50	153,00	21,61	20,40	1,54	3,22
29	0,58	157,00	21,53	137,00	21,81	165,00	21,50	153,00	21,61	20,40	1,54	3,09
30	0,60	157,00	21,53	137,00	21,81	165,00	21,50	153,00	21,61	20,40	1,54	2,97
31	0,62	157,00	21,53	137,00	21,81	165,00	21,50	153,00	21,61	20,40	1,54	2,86
32	0,64	157,00	21,53	137,00	21,81	165,00	21,50	153,00	21,61	20,40	1,54	2,76
33	0,66	157,00	21,53	137,00	21,81	165,00	21,50	153,00	21,61	20,40	1,54	2,66
34	0,68	157,00	21,53	137,00	21,81	165,00	21,50	153,00	21,61	20,40	1,54	2,57
35	0,70	157,00	21,53	137,00	21,81	165,00	21,50	153,00	21,61	20,40	1,54	2,49

LAMPIRAN 3 DATA BEBAN 3,4 KG dan MEDAN MAGNET 56 mT

No.	Time (s)	Data 1		Data 2		Data 3		Data rata-rata		Pressure (kPa)	Disp. (cm)	velocity (cm/s)
		P1	D1	P1	D1	P1	D1	pressure	Distance			
1	0,02	0,00	20,06	0,00	20,02	0,00	20,12	0,00	20,07	0,00	0,00	0,00
2	0,04	0,00	20,06	0,00	20,02	0,00	20,12	0,00	20,07	0,00	0,00	0,00
3	0,06	0,00	20,06	0,00	20,02	0,00	20,12	0,00	20,07	0,00	0,00	0,00
4	0,08	0,00	20,06	0,00	20,02	0,00	20,12	0,00	20,07	0,00	0,00	0,00
5	0,10	475,00	20,74	225,00	20,88	205,00	20,72	301,67	20,78	40,22	0,71	35,50
6	0,12	475,00	20,74	225,00	20,88	205,00	20,72	301,67	20,78	40,22	0,71	17,75
7	0,14	475,00	20,74	225,00	20,88	205,00	20,72	301,67	20,78	40,22	0,71	11,83
8	0,16	475,00	20,74	225,00	20,88	205,00	20,72	301,67	20,78	40,22	0,71	8,87
9	0,18	475,00	20,74	225,00	20,88	205,00	20,72	301,67	20,78	40,22	0,71	7,10
10	0,20	475,00	20,74	225,00	20,88	205,00	20,72	301,67	20,78	40,22	0,71	5,92
11	0,22	475,00	20,74	225,00	20,88	205,00	20,72	301,67	20,78	40,22	0,71	5,07
12	0,24	475,00	20,74	225,00	20,88	205,00	20,72	301,67	20,78	40,22	0,71	4,44
13	0,26	475,00	20,74	225,00	20,88	205,00	20,72	301,67	20,78	40,22	0,71	3,94
14	0,28	475,00	20,74	225,00	20,88	205,00	20,72	301,67	20,78	40,22	0,71	3,55
15	0,30	150,00	21,36	157,00	21,12	155,00	21,22	154,00	21,23	20,53	1,16	5,29
16	0,32	150,00	21,36	157,00	21,12	155,00	21,22	154,00	21,23	20,53	1,16	4,85
17	0,34	150,00	21,36	157,00	21,12	155,00	21,22	154,00	21,23	20,53	1,16	4,47
18	0,36	150,00	21,36	157,00	21,12	155,00	21,22	154,00	21,23	20,53	1,16	4,15
19	0,38	150,00	21,36	157,00	21,12	155,00	21,22	154,00	21,23	20,53	1,16	3,88
20	0,40	150,00	21,36	157,00	21,12	155,00	21,22	154,00	21,23	20,53	1,16	3,64
21	0,42	150,00	21,36	157,00	21,12	155,00	21,22	154,00	21,23	20,53	1,16	3,42
22	0,44	150,00	21,36	157,00	21,12	155,00	21,22	154,00	21,23	20,53	1,16	3,23
23	0,46	150,00	21,36	157,00	21,12	155,00	21,22	154,00	21,23	20,53	1,16	3,06
24	0,48	150,00	21,36	157,00	21,12	155,00	21,22	154,00	21,23	20,53	1,16	2,91
25	0,50	150,00	21,36	157,00	21,12	155,00	21,22	154,00	21,23	20,53	1,16	2,77
26	0,52	133,00	21,57	153,00	21,33	147,00	21,33	144,33	21,41	19,24	1,34	3,05
27	0,54	133,00	21,57	153,00	21,33	147,00	21,33	144,33	21,41	19,24	1,34	2,91
28	0,56	133,00	21,57	153,00	21,33	147,00	21,33	144,33	21,41	19,24	1,34	2,79
29	0,58	133,00	21,57	153,00	21,33	147,00	21,33	144,33	21,41	19,24	1,34	2,68
30	0,60	133,00	21,57	153,00	21,33	147,00	21,33	144,33	21,41	19,24	1,34	2,58
31	0,62	133,00	21,57	153,00	21,33	147,00	21,33	144,33	21,41	19,24	1,34	2,48
32	0,64	133,00	21,57	153,00	21,33	147,00	21,33	144,33	21,41	19,24	1,34	2,39
33	0,66	133,00	21,57	153,00	21,33	147,00	21,33	144,33	21,41	19,24	1,34	2,31
34	0,68	133,00	21,57	153,00	21,33	147,00	21,33	144,33	21,41	19,24	1,34	2,23
35	0,70	133,00	21,57	153,00	21,33	147,00	21,33	144,33	21,41	19,24	1,34	2,16

LAMPIRAN 4 DATA BEBAN 3,4 KG dan MEDAN MAGNET 100 mT

No.	Time (s)	Data 1		Data 2		Data 3		Data rata-rata		Pressure (kPa)	Disp. (cm)	velocity (cm/s)
		P1	D1	P1	D1	P1	D1	pressure	distance			
1	0,02	0,00	20,06	0,00	20,06	0,00	20,06	0,00	20,06	0,00	0,00	0,00
2	0,04	0,00	20,06	0,00	20,06	0,00	20,06	0,00	20,06	0,00	0,00	0,00
3	0,06	0,00	20,06	0,00	20,06	0,00	20,06	0,00	20,06	0,00	0,00	0,00
4	0,08	0,00	20,06	0,00	20,06	0,00	20,06	0,00	20,06	0,00	0,00	0,00
5	0,10	474,00	20,71	319,00	20,47	224,00	20,67	339,00	20,62	45,20	0,56	27,83
6	0,12	474,00	20,71	319,00	20,47	224,00	20,67	339,00	20,62	45,20	0,56	13,92
7	0,14	474,00	20,71	319,00	20,47	224,00	20,67	339,00	20,62	45,20	0,56	9,28
8	0,16	474,00	20,71	319,00	20,47	224,00	20,67	339,00	20,62	45,20	0,56	6,96
9	0,18	474,00	20,71	319,00	20,47	224,00	20,67	339,00	20,62	45,20	0,56	5,57
10	0,20	474,00	20,71	319,00	20,47	224,00	20,67	339,00	20,62	45,20	0,56	4,64
11	0,22	474,00	20,71	319,00	20,47	224,00	20,67	339,00	20,62	45,20	0,56	3,98
12	0,24	474,00	20,71	319,00	20,47	224,00	20,67	339,00	20,62	45,20	0,56	3,48
13	0,26	474,00	20,71	319,00	20,47	224,00	20,67	339,00	20,62	45,20	0,56	3,09
14	0,28	474,00	20,71	319,00	20,47	224,00	20,67	339,00	20,62	45,20	0,56	2,78
15	0,30	474,00	20,71	319,00	20,47	224,00	20,67	339,00	20,62	45,20	0,56	2,53
16	0,32	205,00	20,95	237,00	20,78	244,00	20,88	228,67	20,87	30,49	0,81	3,38
17	0,34	205,00	20,95	237,00	20,78	244,00	20,88	228,67	20,87	30,49	0,81	3,12
18	0,36	205,00	20,95	237,00	20,78	244,00	20,88	228,67	20,87	30,49	0,81	2,89
19	0,38	205,00	20,95	237,00	20,78	244,00	20,88	228,67	20,87	30,49	0,81	2,70
20	0,40	205,00	20,95	237,00	20,78	244,00	20,88	228,67	20,87	30,49	0,81	2,53
21	0,42	205,00	20,95	237,00	20,78	244,00	20,88	228,67	20,87	30,49	0,81	2,38
22	0,44	205,00	20,95	237,00	20,78	244,00	20,88	228,67	20,87	30,49	0,81	2,25
23	0,46	205,00	20,95	237,00	20,78	244,00	20,88	228,67	20,87	30,49	0,81	2,13
24	0,48	205,00	20,95	237,00	20,78	244,00	20,88	228,67	20,87	30,49	0,81	2,03
25	0,50	205,00	20,95	237,00	20,78	173,00	21,09	205,00	20,94	27,33	0,88	2,10
26	0,52	185,00	21,19	195,00	21,05	173,00	21,09	184,33	21,11	24,58	1,05	2,39
27	0,54	185,00	21,19	195,00	21,05	173,00	21,09	184,33	21,11	24,58	1,05	2,28
28	0,56	185,00	21,19	195,00	21,05	173,00	21,09	184,33	21,11	24,58	1,05	2,19
29	0,58	185,00	21,19	195,00	21,05	173,00	21,09	184,33	21,11	24,58	1,05	2,10
30	0,60	185,00	21,19	195,00	21,05	173,00	21,09	184,33	21,11	24,58	1,05	2,02
31	0,62	185,00	21,19	195,00	21,05	173,00	21,09	184,33	21,11	24,58	1,05	1,94
32	0,64	185,00	21,19	195,00	21,05	173,00	21,09	184,33	21,11	24,58	1,05	1,88
33	0,66	185,00	21,19	195,00	21,05	173,00	21,09	184,33	21,11	24,58	1,05	1,81
34	0,68	185,00	21,19	195,00	21,05	173,00	21,09	184,33	21,11	24,58	1,05	1,75
35	0,70	185,00	21,19	195,00	21,05	173,00	21,09	184,33	21,11	24,58	1,05	1,69

LAMPIRAN 5DATA BEBAN 3,4 KG dan FLUIDA ASLI

No.	Time (s)	Data 1		Data 2		Data 3		Data rata-rata		Pressure (kPa)	Disp. (cm)	velocity (cm/s)
		P1	D1	P1	D1	P1	D1	pressure	distance			
1	0,02	142,00	20,09	140,00	20,09	147,00	20,09	143,00	20,09	19,07	0,00	0,00
2	0,04	142,00	20,09	140,00	20,09	147,00	20,09	143,00	20,09	19,07	0,00	0,00
3	0,06	142,00	20,09	140,00	20,09	147,00	20,09	143,00	20,09	19,07	0,00	0,00
4	0,08	142,00	20,09	140,00	20,09	147,00	20,09	143,00	20,09	19,07	0,00	0,00
5	0,10	456,00	21,40	279,00	22,57	235,00	22,53	323,33	22,17	43,11	2,08	103,83
6	0,12	456,00	21,40	279,00	22,57	235,00	22,53	323,33	22,17	43,11	2,08	51,92
7	0,14	456,00	21,40	279,00	22,57	235,00	22,53	323,33	22,17	43,11	2,08	34,61
8	0,16	456,00	21,40	279,00	22,57	235,00	22,53	323,33	22,17	43,11	2,08	25,96
9	0,18	456,00	21,40	279,00	22,57	235,00	22,53	323,33	22,17	43,11	2,08	20,77
10	0,20	456,00	21,40	279,00	22,57	235,00	22,53	323,33	22,17	43,11	2,08	17,31
11	0,22	456,00	21,40	279,00	22,57	235,00	22,53	323,33	22,17	43,11	2,08	14,83
12	0,24	456,00	21,40	279,00	22,57	235,00	22,53	323,33	22,17	43,11	2,08	12,98
13	0,26	456,00	21,40	279,00	22,57	235,00	22,53	323,33	22,17	43,11	2,08	11,54
14	0,28	456,00	21,40	279,00	22,57	235,00	22,53	323,33	22,17	43,11	2,08	10,38
15	0,30	456,00	21,40	279,00	22,57	235,00	22,53	323,33	22,17	43,11	2,08	9,44
16	0,32	304,00	22,67	257,00	22,91	190,00	23,19	250,33	22,92	33,38	2,83	11,81
17	0,34	304,00	22,67	257,00	22,91	190,00	23,19	250,33	22,92	33,38	2,83	10,90
18	0,36	304,00	22,67	257,00	22,91	190,00	23,19	250,33	22,92	33,38	2,83	10,12
19	0,38	304,00	22,67	257,00	22,91	190,00	23,19	250,33	22,92	33,38	2,83	9,44
20	0,40	304,00	22,67	257,00	22,91	190,00	23,19	250,33	22,92	33,38	2,83	8,85
21	0,42	304,00	22,67	257,00	22,91	190,00	23,19	250,33	22,92	33,38	2,83	8,33
22	0,44	304,00	22,67	257,00	22,91	190,00	23,19	250,33	22,92	33,38	2,83	7,87
23	0,46	304,00	22,67	257,00	22,91	190,00	23,19	250,33	22,92	33,38	2,83	7,46
24	0,48	304,00	22,67	257,00	22,91	190,00	23,19	250,33	22,92	33,38	2,83	7,08
25	0,50	304,00	22,67	257,00	22,91	190,00	23,19	250,33	22,92	33,38	2,83	6,75
26	0,52	164,00	22,94	220,00	23,60	220,00	23,53	201,33	23,36	26,84	3,27	7,42
27	0,54	164,00	22,94	220,00	23,60	220,00	23,53	201,33	23,36	26,84	3,27	7,10
28	0,56	164,00	22,94	220,00	23,60	220,00	23,53	201,33	23,36	26,84	3,27	6,81
29	0,58	164,00	22,94	220,00	23,60	220,00	23,53	201,33	23,36	26,84	3,27	6,53
30	0,60	164,00	22,94	220,00	23,60	220,00	23,53	201,33	23,36	26,84	3,27	6,28
31	0,62	164,00	22,94	220,00	23,60	220,00	23,53	201,33	23,36	26,84	3,27	6,05
32	0,64	164,00	22,94	220,00	23,60	220,00	23,53	201,33	23,36	26,84	3,27	5,83
33	0,66	164,00	22,94	220,00	23,60	220,00	23,53	201,33	23,36	26,84	3,27	5,63
34	0,68	164,00	22,94	220,00	23,60	220,00	23,53	201,33	23,36	26,84	3,27	5,44
35	0,70	164,00	22,94	220,00	23,60	220,00	23,53	201,33	23,36	26,84	3,27	5,27

LAMPIRAN 6 DATA BEBAN 5 KG dan MEDAN MAGNET 0 mT

No.	Time (s)	Data 1		Data 2		Data 3		Data rata-rata		Pressure (kPa)	Disp. (cm)	velocity (cm/s)
		P1	D1	P1	D1	P1	D1	pressure	distance			
1	0,02	53,00	20,06	43,00	20,06	39,00	20,06	45,00	20,06	6,00	0,00	0,00
2	0,04	53,00	20,06	43,00	20,06	39,00	20,06	45,00	20,06	6,00	0,00	0,00
3	0,06	53,00	20,06	43,00	20,06	39,00	20,06	45,00	20,06	6,00	0,00	0,00
4	0,08	53,00	20,06	43,00	20,06	39,00	20,06	45,00	20,06	6,00	0,00	0,00
5	0,10	502,00	21,16	445,00	21,26	393,00	21,43	446,67	21,28	59,56	1,37	61,17
6	0,12	502,00	21,16	445,00	21,26	393,00	21,43	446,67	21,28	59,56	1,37	30,58
7	0,14	502,00	21,16	445,00	21,26	393,00	21,43	446,67	21,28	59,56	1,37	20,39
8	0,16	502,00	21,16	445,00	21,26	393,00	21,43	446,67	21,28	59,56	1,37	15,29
9	0,18	502,00	21,16	445,00	21,26	393,00	21,43	446,67	21,28	59,56	1,37	12,23
10	0,20	502,00	21,16	445,00	21,26	393,00	21,43	446,67	21,28	59,56	1,37	10,19
11	0,22	502,00	21,16	445,00	21,26	393,00	21,43	446,67	21,28	59,56	1,37	8,74
12	0,24	502,00	21,16	445,00	21,26	393,00	21,43	446,67	21,28	59,56	1,37	7,65
13	0,26	502,00	21,16	445,00	21,26	393,00	21,43	446,67	21,28	59,56	1,37	6,80
14	0,28	502,00	21,16	445,00	21,26	393,00	21,43	446,67	21,28	59,56	1,37	6,12
15	0,30	434,00	21,60	379,00	21,78	201,00	24,36	338,00	22,58	45,07	4,30	11,45
16	0,32	434,00	21,60	379,00	21,78	201,00	24,36	338,00	22,58	45,07	4,30	10,50
17	0,34	434,00	21,60	379,00	21,78	201,00	24,36	338,00	22,58	45,07	4,30	9,69
18	0,36	434,00	21,60	379,00	21,78	201,00	24,36	338,00	22,58	45,07	4,30	9,00
19	0,38	434,00	21,60	379,00	21,78	201,00	24,36	338,00	22,58	45,07	4,30	8,40
20	0,40	434,00	21,60	379,00	21,78	201,00	24,36	338,00	22,58	45,07	4,30	7,88
21	0,42	434,00	21,60	379,00	21,78	201,00	24,36	338,00	22,58	45,07	4,30	7,41
22	0,44	434,00	21,60	379,00	21,78	201,00	24,36	338,00	22,58	45,07	4,30	7,00
23	0,46	434,00	21,60	379,00	21,78	201,00	24,36	338,00	22,58	45,07	4,30	6,63
24	0,48	434,00	21,60	379,00	21,78	201,00	24,36	338,00	22,58	45,07	4,30	6,30
25	0,50	434,00	21,60	379,00	21,78	201,00	24,36	338,00	22,58	45,07	4,30	6,00
26	0,52	289,00	22,19	292,00	22,29	302,00	21,91	294,33	22,13	39,24	1,85	4,70
27	0,54	289,00	22,19	292,00	22,29	302,00	21,91	294,33	22,13	39,24	1,85	4,50
28	0,56	289,00	22,19	292,00	22,29	302,00	21,91	294,33	22,13	39,24	1,85	4,31
29	0,58	289,00	22,19	292,00	22,29	302,00	21,91	294,33	22,13	39,24	1,85	4,14
30	0,60	289,00	22,19	292,00	22,29	302,00	21,91	294,33	22,13	39,24	1,85	3,98
31	0,62	289,00	22,19	292,00	22,29	302,00	21,91	294,33	22,13	39,24	1,85	3,83
32	0,64	289,00	22,19	292,00	22,29	302,00	21,91	294,33	22,13	39,24	1,85	3,70
33	0,66	289,00	22,19	292,00	22,29	302,00	21,91	294,33	22,13	39,24	1,85	3,57
34	0,68	289,00	22,19	292,00	22,29	302,00	21,91	294,33	22,13	39,24	1,85	3,45
35	0,70	289,00	22,19	292,00	22,29	302,00	21,91	294,33	22,13	39,24	1,85	3,34

LAMPIRAN 7 DATA BEBAN 5 KG dan MEDAN MAGNET 24 mT

No.	Time (s)	Data 1		Data 2		Data 3		Data rata-rata		Pressure (kPa)	Disp. (cm)	velocity (cm/s)
		P1	D1	P1	D1	P1	D1	pressure	Distance			
1	0,02	0	20,06	42	20,02	24	20,06	22,00	20,05	2,93	0,00	0,00
2	0,04	0	20,06	42	20,02	24	20,06	22,00	20,05	2,93	0,00	0,00
3	0,06	0	20,06	42	20,02	24	20,06	22,00	20,05	2,93	0,00	0,00
4	0,08	0	20,06	42	20,02	24	20,06	22,00	20,05	2,93	0,00	0,00
5	0,1	382	21,22	388	21,26	339	21,14	369,67	21,21	49,29	1,16	57,83
6	0,12	382	21,22	388	21,26	339	21,14	369,67	21,21	49,29	1,16	28,92
7	0,14	382	21,22	388	21,26	339	21,14	369,67	21,21	49,29	1,16	19,28
8	0,16	382	21,22	388	21,26	339	21,14	369,67	21,21	49,29	1,16	14,46
9	0,18	382	21,22	388	21,26	339	21,14	369,67	21,21	49,29	1,16	11,57
10	0,2	382	21,22	388	21,26	339	21,14	369,67	21,21	49,29	1,16	9,64
11	0,22	382	21,22	388	21,26	339	21,14	369,67	21,21	49,29	1,16	8,26
12	0,24	382	21,22	388	21,26	339	21,14	369,67	21,21	49,29	1,16	7,23
13	0,26	382	21,22	388	21,26	339	21,14	369,67	21,21	49,29	1,16	6,43
14	0,28	382	21,22	388	21,26	339	21,14	369,67	21,21	49,29	1,16	5,78
15	0,3	339	21,67	274	21,81	273	22,19	295,33	21,89	39,38	1,84	8,36
16	0,32	339	21,67	274	21,81	273	22,19	295,33	21,89	39,38	1,84	7,67
17	0,34	339	21,67	274	21,81	273	22,19	295,33	21,89	39,38	1,84	7,08
18	0,36	339	21,67	274	21,81	273	22,19	295,33	21,89	39,38	1,84	6,57
19	0,38	339	21,67	274	21,81	273	22,19	295,33	21,89	39,38	1,84	6,13
20	0,4	339	21,67	274	21,81	273	22,19	295,33	21,89	39,38	1,84	5,75
21	0,42	339	21,67	274	21,81	273	22,19	295,33	21,89	39,38	1,84	5,41
22	0,44	339	21,67	274	21,81	273	22,19	295,33	21,89	39,38	1,84	5,11
23	0,46	339	21,67	274	21,81	273	22,19	295,33	21,89	39,38	1,84	4,84
24	0,48	339	21,67	274	21,81	273	22,19	295,33	21,89	39,38	1,84	4,60
25	0,5	339	21,67	274	21,81	273	22,19	295,33	21,89	39,38	1,84	4,38
26	0,52	260	22,15	297	22,36	265	22,7	274,00	22,40	36,53	2,35	5,35
27	0,54	260	22,15	297	22,36	265	22,7	274,00	22,40	36,53	2,35	5,12
28	0,56	260	22,15	297	22,36	265	22,7	274,00	22,40	36,53	2,35	4,90
29	0,58	260	22,15	297	22,36	265	22,7	274,00	22,40	36,53	2,35	4,71
30	0,6	260	22,15	297	22,36	265	22,7	274,00	22,40	36,53	2,35	4,53
31	0,62	260	22,15	297	22,36	265	22,7	274,00	22,40	36,53	2,35	4,36
32	0,64	260	22,15	297	22,36	265	22,7	274,00	22,40	36,53	2,35	4,20
33	0,66	260	22,15	297	22,36	265	22,7	274,00	22,40	36,53	2,35	4,06
34	0,68	260	22,15	297	22,36	265	22,7	274,00	22,40	36,53	2,35	3,92
35	0,7	260	22,15	297	22,36	265	22,7	274,00	22,40	36,53	2,35	3,80

LAMPIRAN 8 DATA BEBAN 5 KG dan MEDAN MAGNET 5,6 mT

No.	Time (s)	Data 1		Data 2		Data 3		Data rata-rata		Pressure (kPa)	Disp. (cm)	velocity (cm/s)
		P1	D1	P1	D1	P1	D1	pressure	Distance			
1	0,02	0	20,06	0	20,02	0	20,06	0,00	20,05	0,00	0,00	0,00
2	0,04	0	20,06	0	20,02	0	20,06	0,00	20,05	0,00	0,00	0,00
3	0,06	0	20,06	0	20,02	0	20,06	0,00	20,05	0,00	0,00	0,00
4	0,08	0	20,06	0	20,02	0	20,06	0,00	20,05	0,00	0,00	0,00
5	0,1	529	20,78	411	21,36	451	20,85	463,67	21,00	61,82	0,95	47,33
6	0,12	529	20,78	411	21,36	451	20,85	463,67	21,00	61,82	0,95	23,67
7	0,14	529	20,78	411	21,36	451	20,85	463,67	21,00	61,82	0,95	15,78
8	0,16	529	20,78	411	21,36	451	20,85	463,67	21,00	61,82	0,95	11,83
9	0,18	529	20,78	411	21,36	451	20,85	463,67	21,00	61,82	0,95	9,47
10	0,2	529	20,78	411	21,36	451	20,85	463,67	21,00	61,82	0,95	7,89
11	0,22	529	20,78	411	21,36	451	20,85	463,67	21,00	61,82	0,95	6,76
12	0,24	529	20,78	411	21,36	451	20,85	463,67	21,00	61,82	0,95	5,92
13	0,26	529	20,78	411	21,36	451	20,85	463,67	21,00	61,82	0,95	5,26
14	0,28	529	20,78	411	21,36	451	20,85	463,67	21,00	61,82	0,95	4,73
15	0,3	529	20,78	411	21,36	451	20,85	463,67	21,00	61,82	0,95	4,30
16	0,32	321	21,4	271	21,78	291	21,26	294,33	21,48	39,24	1,43	5,96
17	0,34	321	21,4	271	21,78	291	21,26	294,33	21,48	39,24	1,43	5,50
18	0,36	321	21,4	271	21,78	291	21,26	294,33	21,48	39,24	1,43	5,11
19	0,38	321	21,4	271	21,78	291	21,26	294,33	21,48	39,24	1,43	4,77
20	0,4	321	21,4	271	21,78	291	21,26	294,33	21,48	39,24	1,43	4,47
21	0,42	321	21,4	271	21,78	291	21,26	294,33	21,48	39,24	1,43	4,21
22	0,44	321	21,4	271	21,78	291	21,26	294,33	21,48	39,24	1,43	3,97
23	0,46	321	21,4	271	21,78	291	21,26	294,33	21,48	39,24	1,43	3,76
24	0,48	321	21,4	271	21,78	291	21,26	294,33	21,48	39,24	1,43	3,58
25	0,5	321	21,4	271	21,78	291	21,26	294,33	21,48	39,24	1,43	3,40
26	0,52	281	21,81	271	22,19	284	21,71	278,67	21,90	37,16	1,85	4,21
27	0,54	281	21,81	271	22,19	284	21,71	278,67	21,90	37,16	1,85	4,03
28	0,56	281	21,81	271	22,19	284	21,71	278,67	21,90	37,16	1,85	3,86
29	0,58	281	21,81	271	22,19	284	21,71	278,67	21,90	37,16	1,85	3,71
30	0,6	281	21,81	271	22,19	284	21,71	278,67	21,90	37,16	1,85	3,56
31	0,62	281	21,81	271	22,19	284	21,71	278,67	21,90	37,16	1,85	3,43
32	0,64	281	21,81	271	22,19	284	21,71	278,67	21,90	37,16	1,85	3,31
33	0,66	281	21,81	271	22,19	284	21,71	278,67	21,90	37,16	1,85	3,20
34	0,68	281	21,81	271	22,19	284	21,71	278,67	21,90	37,16	1,85	3,09
35	0,7	281	21,81	271	22,19	284	21,71	278,67	21,90	37,16	1,85	2,99

LAMPIRAN 9DATA BEBAN 5 KG dan MEDAN MAGNET 100 mT

No.	Time (s)	Data 1		Data 2		Data 3		Data rata-rata		Pressure (kPa)	Disp. (cm)	velocity (cm/s)
		P1	D1	P1	D1	P1	D1	pressure	distance			
1	0,02	0	20,06	0	20,06	0	20,09	0,00	20,07	0,00	0,00	0,00
2	0,04	0	20,06	0	20,06	0	20,09	0,00	20,07	0,00	0,00	0,00
3	0,06	0	20,06	0	20,06	0	20,09	0,00	20,07	0,00	0,00	0,00
4	0,08	0	20,06	0	20,06	0	20,09	0,00	20,07	0,00	0,00	0,00
5	0,1	503	20,71	374	20,85	324	21,02	400,33	20,86	53,38	0,79	39,50
6	0,12	503	20,71	374	20,85	324	21,02	400,33	20,86	53,38	0,79	19,75
7	0,14	503	20,71	374	20,85	324	21,02	400,33	20,86	53,38	0,79	13,17
8	0,16	503	20,71	374	20,85	324	21,02	400,33	20,86	53,38	0,79	9,87
9	0,18	503	20,71	374	20,85	324	21,02	400,33	20,86	53,38	0,79	7,90
10	0,2	503	20,71	374	20,85	324	21,02	400,33	20,86	53,38	0,79	6,58
11	0,22	503	20,71	374	20,85	324	21,02	400,33	20,86	53,38	0,79	5,64
12	0,24	503	20,71	374	20,85	324	21,02	400,33	20,86	53,38	0,79	4,94
13	0,26	503	20,71	374	20,85	324	21,02	400,33	20,86	53,38	0,79	4,39
14	0,28	503	20,71	374	20,85	324	21,02	400,33	20,86	53,38	0,79	3,95
15	0,3	503	20,71	374	20,85	324	21,02	400,33	20,86	53,38	0,79	3,59
16	0,32	328	21,09	329	21,26	310	21,43	322,33	21,26	42,98	1,19	4,96
17	0,34	328	21,09	329	21,26	310	21,43	322,33	21,26	42,98	1,19	4,58
18	0,36	328	21,09	329	21,26	310	21,43	322,33	21,26	42,98	1,19	4,25
19	0,38	328	21,09	329	21,26	310	21,43	322,33	21,26	42,98	1,19	3,97
20	0,4	328	21,09	329	21,26	310	21,43	322,33	21,26	42,98	1,19	3,72
21	0,42	328	21,09	329	21,26	310	21,43	322,33	21,26	42,98	1,19	3,50
22	0,44	328	21,09	329	21,26	310	21,43	322,33	21,26	42,98	1,19	3,31
23	0,46	328	21,09	329	21,26	310	21,43	322,33	21,26	42,98	1,19	3,13
24	0,48	328	21,09	329	21,26	310	21,43	322,33	21,26	42,98	1,19	2,98
25	0,5	328	21,09	329	21,26	310	21,43	322,33	21,26	42,98	1,19	2,83
26	0,52	328	21,09	329	21,26	310	21,43	322,33	21,26	42,98	1,19	2,70
27	0,54	321	21,43	322	21,67	293	21,71	312,00	21,60	41,60	1,53	3,33
28	0,56	321	21,43	322	21,67	293	21,71	312,00	21,60	41,60	1,53	3,19
29	0,58	321	21,43	322	21,67	293	21,71	312,00	21,60	41,60	1,53	3,07
30	0,6	321	21,43	322	21,67	293	21,71	312,00	21,60	41,60	1,53	2,95
31	0,62	321	21,43	322	21,67	293	21,71	312,00	21,60	41,60	1,53	2,84
32	0,64	321	21,43	322	21,67	293	21,71	312,00	21,60	41,60	1,53	2,74
33	0,66	321	21,43	322	21,67	293	21,71	312,00	21,60	41,60	1,53	2,64
34	0,68	321	21,43	322	21,67	293	21,71	312,00	21,60	41,60	1,53	2,56
35	0,7	321	21,43	322	21,67	293	21,71	312,00	21,60	41,60	1,53	2,47

LAMPIRAN 10 DATA BEBAN 5 KG dan FLUIDA ASLI

No.	Time (s)	Data 1		Data 2		Data 3		Data rata-rata		Pressure (kPa)	Disp. (cm)	velocity (cm/s)
		P1	D1	P1	D1	P1	D1	pressure	Distance			
1	0,02	165	20,06	149	20,02	138	20,02	150,67	20,03	20,09	0,00	0,00
2	0,04	165	20,06	149	20,02	138	20,02	150,67	20,03	20,09	0,00	0,00
3	0,06	165	20,06	149	20,02	138	20,02	150,67	20,03	20,09	0,00	0,00
4	0,08	165	20,06	149	20,02	138	20,02	150,67	20,03	20,09	0,00	0,00
5	0,1	430	22,53	422	22,43	418	22,6	423,33	22,52	56,44	2,49	124,50
6	0,12	430	22,53	422	22,43	418	22,6	423,33	22,52	56,44	2,49	62,25
7	0,14	430	22,53	422	22,43	418	22,6	423,33	22,52	56,44	2,49	41,50
8	0,16	430	22,53	422	22,43	418	22,6	423,33	22,52	56,44	2,49	31,13
9	0,18	430	22,53	422	22,43	418	22,6	423,33	22,52	56,44	2,49	24,90
10	0,2	430	22,53	422	22,43	418	22,6	423,33	22,52	56,44	2,49	20,75
11	0,22	430	22,53	422	22,43	418	22,6	423,33	22,52	56,44	2,49	17,79
12	0,24	430	22,53	422	22,43	418	22,6	423,33	22,52	56,44	2,49	15,56
13	0,26	430	22,53	422	22,43	418	22,6	423,33	22,52	56,44	2,49	13,83
14	0,28	430	22,53	422	22,43	418	22,6	423,33	22,52	56,44	2,49	12,45
15	0,3	345	23,6	383	23,08	366	23,74	364,67	23,47	48,62	3,44	15,65
16	0,32	345	23,6	383	23,08	366	23,74	364,67	23,47	48,62	3,44	14,35
17	0,34	345	23,6	383	23,08	366	23,74	364,67	23,47	48,62	3,44	13,24
18	0,36	345	23,6	383	23,08	366	23,74	364,67	23,47	48,62	3,44	12,30
19	0,38	345	23,6	383	23,08	366	23,74	364,67	23,47	48,62	3,44	11,48
20	0,4	345	23,6	383	23,08	366	23,74	364,67	23,47	48,62	3,44	10,76
21	0,42	345	23,6	383	23,08	366	23,74	364,67	23,47	48,62	3,44	10,13
22	0,44	345	23,6	383	23,08	366	23,74	364,67	23,47	48,62	3,44	9,56
23	0,46	345	23,6	383	23,08	366	23,74	364,67	23,47	48,62	3,44	9,06
24	0,48	345	23,6	383	23,08	366	23,74	364,67	23,47	48,62	3,44	8,61
25	0,5	345	23,6	383	23,08	366	23,74	364,67	23,47	48,62	3,44	8,20
26	0,52	344	24,73	297	25,32	296	24,91	312,33	24,99	41,64	4,96	11,27
27	0,54	344	24,73	297	25,32	296	24,91	312,33	24,99	41,64	4,96	10,78
28	0,56	344	24,73	297	25,32	296	24,91	312,33	24,99	41,64	4,96	10,33
29	0,58	344	24,73	297	25,32	296	24,91	312,33	24,99	41,64	4,96	9,91
30	0,6	344	24,73	297	25,32	296	24,91	312,33	24,99	41,64	4,96	9,53
31	0,62	344	24,73	297	25,32	296	24,91	312,33	24,99	41,64	4,96	9,18
32	0,64	344	24,73	297	25,32	296	24,91	312,33	24,99	41,64	4,96	8,85
33	0,66	344	24,73	297	25,32	296	24,91	312,33	24,99	41,64	4,96	8,55
34	0,68	344	24,73	297	25,32	296	24,91	312,33	24,99	41,64	4,96	8,26
35	0,7	344	24,73	297	25,32	296	24,91	312,33	24,99	41,64	4,96	7,99

LAMPIRAN 11 DATA BEBAN 6,6 KG dan MEDAN MAGNET 0 mT

No.	Time (s)	Data 1		Data 2		Data 3		Data rata-rata		Pressure (kPa)	Disp. (cm)	velocity (cm/s)
		P1	D1	P1	D1	P1	D1	pressure	distance			
1	0,02	53	20,06	60	20,06	66	20,06	59,67	20,06	7,96	0,00	0,00
2	0,04	53	20,06	60	20,06	66	20,06	59,67	20,06	7,96	0,00	0,00
3	0,06	53	20,06	60	20,06	66	20,06	59,67	20,06	7,96	0,00	0,00
4	0,08	53	20,06	60	20,06	66	20,06	59,67	20,06	7,96	0,00	0,00
5	0,10	588	22,16	516	22,31	447	22,38	517,00	22,28	68,93	2,22	111,17
6	0,12	588	22,16	516	22,31	447	22,38	517,00	22,28	68,93	2,22	55,58
7	0,14	588	22,16	516	22,31	447	22,38	517,00	22,28	68,93	2,22	37,06
8	0,16	588	22,16	516	22,31	447	22,38	517,00	22,28	68,93	2,22	27,79
9	0,18	588	22,16	516	22,31	447	22,38	517,00	22,28	68,93	2,22	22,23
10	0,20	588	22,16	516	22,31	447	22,38	517,00	22,28	68,93	2,22	18,53
11	0,22	588	22,16	516	22,31	447	22,38	517,00	22,28	68,93	2,22	15,88
12	0,24	588	22,16	516	22,31	447	22,38	517,00	22,28	68,93	2,22	13,90
13	0,26	588	22,16	516	22,31	447	22,38	517,00	22,28	68,93	2,22	12,35
14	0,28	588	22,16	516	22,31	447	22,38	517,00	22,28	68,93	2,22	11,12
15	0,30	469	22,39	391	22,67	428	22,84	429,33	22,63	57,24	2,57	11,70
16	0,32	469	22,39	391	22,67	428	22,84	429,33	22,63	57,24	2,57	10,72
17	0,34	469	22,39	391	22,67	428	22,84	429,33	22,63	57,24	2,57	9,90
18	0,36	469	22,39	391	22,67	428	22,84	429,33	22,63	57,24	2,57	9,19
19	0,38	469	22,39	391	22,67	428	22,84	429,33	22,63	57,24	2,57	8,58
20	0,40	469	22,39	391	22,67	428	22,84	429,33	22,63	57,24	2,57	8,04
21	0,42	469	22,39	391	22,67	428	22,84	429,33	22,63	57,24	2,57	7,57
22	0,44	469	22,39	391	22,67	428	22,84	429,33	22,63	57,24	2,57	7,15
23	0,46	469	22,39	391	22,67	428	22,84	429,33	22,63	57,24	2,57	6,77
24	0,48	469	22,39	391	22,67	428	22,84	429,33	22,63	57,24	2,57	6,43
25	0,50	469	22,39	391	22,67	428	22,84	429,33	22,63	57,24	2,57	6,13
26	0,52	372	23,46	451	23,39	439	23,15	420,67	23,33	56,09	3,27	7,44
27	0,54	372	23,46	451	23,39	439	23,15	420,67	23,33	56,09	3,27	7,12
28	0,56	372	23,46	451	23,39	439	23,15	420,67	23,33	56,09	3,27	6,82
29	0,58	372	23,46	451	23,39	439	23,15	420,67	23,33	56,09	3,27	6,55
30	0,60	372	23,46	451	23,39	439	23,15	420,67	23,33	56,09	3,27	6,29
31	0,62	372	23,46	451	23,39	439	23,15	420,67	23,33	56,09	3,27	6,06
32	0,64	372	23,46	451	23,39	439	23,15	420,67	23,33	56,09	3,27	5,85
33	0,66	372	23,46	451	23,39	439	23,15	420,67	23,33	56,09	3,27	5,64
34	0,68	372	23,46	451	23,39	439	23,15	420,67	23,33	56,09	3,27	5,46
35	0,70	372	23,46	451	23,39	439	23,15	420,67	23,33	56,09	3,27	5,28

LAMPIRAN 12 DATA BEBAN 6,6 KG dan MEDAN MAGNET 24 mT

No.	Time (s)	Data 1		Data 2		Data 3		Data rata-rata		Pressure (kPa)	Disp. (cm)	velocity (cm/s)
		P1	D1	P1	D1	P1	D1	pressure	distance			
1	0,02	301	20,02	274	20,06	286	20,02	287,00	20,03	38,27	0,00	0,00
2	0,04	301	20,02	274	20,06	286	20,02	287,00	20,03	38,27	0,00	0,00
3	0,06	301	20,02	274	20,06	286	20,02	287,00	20,03	38,27	0,00	0,00
4	0,08	301	20,02	274	20,06	286	20,02	287,00	20,03	38,27	0,00	0,00
5	0,1	578	22,02	546	22,19	556	22,08	560,00	22,10	74,67	2,07	103,33
6	0,12	578	22,02	546	22,19	556	22,08	560,00	22,10	74,67	2,07	51,67
7	0,14	578	22,02	546	22,19	556	22,08	560,00	22,10	74,67	2,07	33,94
8	0,16	578	22,02	546	22,19	556	22,08	560,00	22,10	74,67	2,07	25,46
9	0,18	578	22,02	546	22,19	556	22,08	560,00	22,10	74,67	2,07	20,67
10	0,2	578	22,02	546	22,19	556	22,08	560,00	22,10	74,67	2,07	17,22
11	0,22	578	22,02	546	22,19	556	22,08	560,00	22,10	74,67	2,07	14,55
12	0,24	578	22,02	546	22,19	556	22,08	560,00	22,10	74,67	2,07	12,73
13	0,26	578	22,02	546	22,19	556	22,08	560,00	22,10	74,67	2,07	11,48
14	0,28	578	22,02	546	22,19	556	22,08	560,00	22,10	74,67	2,07	10,33
15	0,3	518	22,7	523	22,84	539	22,74	526,67	22,76	70,22	2,73	12,27
16	0,32	518	22,7	523	22,84	539	22,74	526,67	22,76	70,22	2,73	11,25
17	0,34	518	22,7	523	22,84	539	22,74	526,67	22,76	70,22	2,73	10,50
18	0,36	518	22,7	523	22,84	539	22,74	526,67	22,76	70,22	2,73	9,75
19	0,38	518	22,7	523	22,84	539	22,74	526,67	22,76	70,22	2,73	9,00
20	0,4	518	22,7	523	22,84	539	22,74	526,67	22,76	70,22	2,73	8,44
21	0,42	518	22,7	523	22,84	539	22,74	526,67	22,76	70,22	2,73	8,03
22	0,44	518	22,7	523	22,84	539	22,74	526,67	22,76	70,22	2,73	7,58
23	0,46	518	22,7	523	22,84	539	22,74	526,67	22,76	70,22	2,73	7,11
24	0,48	518	22,7	523	22,84	539	22,74	526,67	22,76	70,22	2,73	6,75
25	0,5	481	23,39	519	23,53	518	23,43	506,00	23,45	67,47	3,42	8,14
26	0,52	481	23,39	519	23,53	518	23,43	506,00	23,45	67,47	3,42	7,77
27	0,54	481	23,39	519	23,53	518	23,43	506,00	23,45	67,47	3,42	7,37
28	0,56	481	23,39	519	23,53	518	23,43	506,00	23,45	67,47	3,42	7,06
29	0,58	481	23,39	519	23,53	518	23,43	506,00	23,45	67,47	3,42	6,84
30	0,6	481	23,39	519	23,53	518	23,43	506,00	23,45	67,47	3,42	6,58
31	0,62	481	23,39	519	23,53	518	23,43	506,00	23,45	67,47	3,42	6,28
32	0,64	481	23,39	519	23,53	518	23,43	506,00	23,45	67,47	3,42	6,05
33	0,66	481	23,39	519	23,53	518	23,43	506,00	23,45	67,47	3,42	5,90
34	0,68	481	23,39	519	23,53	518	23,43	506,00	23,45	67,47	3,42	5,70
35	0,7	481	23,39	519	23,53	518	23,43	506,00	23,45	67,47	3,42	5,47

LAMPIRAN 13 DATA BEBAN 6,6 KG dan MEDAN MAGNET 56 mT

No.	Time (s)	Data 1		Data 2		Data 3		Data rata-rata		Pressure (kPa)	Disp. (cm)	velocity (cm/s)
		P1	D1	P1	D1	P1	D1	pressure	Distance			
1	0,02	233	20,12	235	20,02	214	20,09	227,33	20,08	30,31	0,00	0,00
2	0,04	233	20,12	235	20,02	214	20,09	227,33	20,08	30,31	0,00	0,00
3	0,06	233	20,12	235	20,02	214	20,09	227,33	20,08	30,31	0,00	0,00
4	0,08	233	20,12	235	20,02	214	20,09	227,33	20,08	30,31	0,00	0,00
5	0,1	583	21,78	591	21,98	585	22,05	586,33	21,94	78,18	1,86	92,83
6	0,12	583	21,78	591	21,98	585	22,05	586,33	21,94	78,18	1,86	46,42
7	0,14	583	21,78	591	21,98	585	22,05	586,33	21,94	78,18	1,86	30,94
8	0,16	583	21,78	591	21,98	585	22,05	586,33	21,94	78,18	1,86	23,21
9	0,18	583	21,78	591	21,98	585	22,05	586,33	21,94	78,18	1,86	18,57
10	0,2	583	21,78	591	21,98	585	22,05	586,33	21,94	78,18	1,86	15,47
11	0,22	583	21,78	591	21,98	585	22,05	586,33	21,94	78,18	1,86	13,26
12	0,24	583	21,78	591	21,98	585	22,05	586,33	21,94	78,18	1,86	11,60
13	0,26	583	21,78	591	21,98	585	22,05	586,33	21,94	78,18	1,86	10,31
14	0,28	583	21,78	591	21,98	585	22,05	586,33	21,94	78,18	1,86	9,28
15	0,3	563	22,05	556	22,5	562	22,08	560,33	22,21	74,71	2,13	9,68
16	0,32	563	22,05	556	22,5	562	22,08	560,33	22,21	74,71	2,13	8,88
17	0,34	563	22,05	556	22,5	562	22,08	560,33	22,21	74,71	2,13	8,19
18	0,36	563	22,05	556	22,5	562	22,08	560,33	22,21	74,71	2,13	7,61
19	0,38	563	22,05	556	22,5	562	22,08	560,33	22,21	74,71	2,13	7,10
20	0,4	563	22,05	556	22,5	562	22,08	560,33	22,21	74,71	2,13	6,66
21	0,42	563	22,05	556	22,5	562	22,08	560,33	22,21	74,71	2,13	6,26
22	0,44	563	22,05	556	22,5	562	22,08	560,33	22,21	74,71	2,13	5,92
23	0,46	563	22,05	556	22,5	562	22,08	560,33	22,21	74,71	2,13	5,61
24	0,48	563	22,05	556	22,5	562	22,08	560,33	22,21	74,71	2,13	5,33
25	0,5	496	23,56	491	23,05	531	22,39	506,00	23,00	67,47	2,92	6,95
26	0,52	496	23,56	491	23,05	531	22,39	506,00	23,00	67,47	2,92	6,64
27	0,54	496	23,56	491	23,05	531	22,39	506,00	23,00	67,47	2,92	6,35
28	0,56	496	23,56	491	23,05	531	22,39	506,00	23,00	67,47	2,92	6,08
29	0,58	496	23,56	491	23,05	531	22,39	506,00	23,00	67,47	2,92	5,84
30	0,6	496	23,56	491	23,05	531	22,39	506,00	23,00	67,47	2,92	5,62
31	0,62	496	23,56	491	23,05	531	22,39	506,00	23,00	67,47	2,92	5,41
32	0,64	496	23,56	491	23,05	531	22,39	506,00	23,00	67,47	2,92	5,21
33	0,66	496	23,56	491	23,05	531	22,39	506,00	23,00	67,47	2,92	5,03
34	0,68	496	23,56	491	23,05	531	22,39	506,00	23,00	67,47	2,92	4,87
35	0,7	496	23,56	491	23,05	531	22,39	506,00	23,00	67,47	2,92	4,71

LAMPIRAN 14 DATA BEBAN 6,6 KG dan MEDAN MAGNET 100 mT

No.	Time (s)	Data 1		Data 2		Data 3		Data rata-rata		Pressure (kPa)	Disp. (cm)	velocity (cm/s)
		P1	D1	P1	D1	P1	D1	pressure	distance			
1	0,02	109	20,09	120	20,12	103	20,09	110,67	20,10	14,76	0,00	0,00
2	0,04	109	20,09	120	20,12	103	20,09	110,67	20,10	14,76	0,00	0,00
3	0,06	109	20,09	120	20,12	103	20,09	110,67	20,10	14,76	0,00	0,00
4	0,08	109	20,09	120	20,12	103	20,09	110,67	20,10	14,76	0,00	0,00
5	0,1	572	21,74	563	21,53	565	21,91	566,67	21,73	75,56	1,63	81,33
6	0,12	572	21,74	563	21,53	565	21,91	566,67	21,73	75,56	1,63	42,17
7	0,14	572	21,74	563	21,53	565	21,91	566,67	21,73	75,56	1,63	28,11
8	0,16	572	21,74	563	21,53	565	21,91	566,67	21,73	75,56	1,63	21,08
9	0,18	572	21,74	563	21,53	565	21,91	566,67	21,73	75,56	1,63	16,87
10	0,2	572	21,74	563	21,53	565	21,91	566,67	21,73	75,56	1,63	14,06
11	0,22	572	21,74	563	21,53	565	21,91	566,67	21,73	75,56	1,63	12,05
12	0,24	572	21,74	563	21,53	565	21,91	566,67	21,73	75,56	1,63	10,54
13	0,26	572	21,74	563	21,53	565	21,91	566,67	21,73	75,56	1,63	9,37
14	0,28	572	21,74	563	21,53	565	21,91	566,67	21,73	75,56	1,63	8,43
15	0,3	572	21,74	563	21,53	565	21,91	566,67	21,73	75,56	1,63	7,67
16	0,32	515	22,22	538	22,6	521	22,71	524,67	22,51	69,96	2,41	10,29
17	0,34	515	22,22	538	22,6	521	22,71	524,67	22,51	69,96	2,41	9,50
18	0,36	515	22,22	538	22,6	521	22,71	524,67	22,51	69,96	2,41	8,82
19	0,38	515	22,22	538	22,6	521	22,71	524,67	22,51	69,96	2,41	8,23
20	0,4	515	22,22	538	22,6	521	22,71	524,67	22,51	69,96	2,41	7,72
21	0,42	515	22,22	538	22,6	521	22,71	524,67	22,51	69,96	2,41	7,26
22	0,44	515	22,22	538	22,6	521	22,71	524,67	22,51	69,96	2,41	6,86
23	0,46	515	22,22	538	22,6	521	22,71	524,67	22,51	69,96	2,41	6,50
24	0,48	515	22,22	538	22,6	521	22,71	524,67	22,51	69,96	2,41	6,18
25	0,5	515	22,22	538	22,6	521	22,71	524,67	22,51	69,96	2,41	5,88
26	0,52	478	22,7	471	23,01	503	22,84	484,00	22,85	64,53	2,75	6,39
27	0,54	478	22,7	471	23,01	503	22,84	484,00	22,85	64,53	2,75	6,11
28	0,56	478	22,7	471	23,01	503	22,84	484,00	22,85	64,53	2,75	5,85
29	0,58	478	22,7	471	23,01	503	22,84	484,00	22,85	64,53	2,75	5,62
30	0,6	478	22,7	471	23,01	503	22,84	484,00	22,85	64,53	2,75	5,40
31	0,62	478	22,7	471	23,01	503	22,84	484,00	22,85	64,53	2,75	5,20
32	0,64	478	22,7	471	23,01	503	22,84	484,00	22,85	64,53	2,75	5,02
33	0,66	478	22,7	471	23,01	503	22,84	484,00	22,85	64,53	2,75	4,84
34	0,68	478	22,7	471	23,01	503	22,84	484,00	22,85	64,53	2,75	4,68
35	0,7	478	22,7	471	23,01	503	22,84	484,00	22,85	64,53	2,75	4,53

LAMPIRAN 15 DATA BEBAN 6,6 KG dan FLUIDA ASLI

No.	Time (s)	Data 1		Data 2		Data 3		Data rata-rata		Pressure (kPa)	Disp. (cm)	velocity (cm/s)
		P1	D1	P1	D1	P1	D1	pressure	Distance			
1	0,02	153	20,02	150	20,02	168	20,02	157,00	20,02	20,93	0,00	0,00
2	0,04	153	20,02	150	20,02	168	20,02	157,00	20,02	20,93	0,00	0,00
3	0,06	153	20,02	150	20,02	168	20,02	157,00	20,02	20,93	0,00	0,00
4	0,08	153	20,02	150	20,02	168	20,02	157,00	20,02	20,93	0,00	0,00
5	0,1	563	23,39	528	22,53	592	22,77	561,00	22,90	74,80	2,88	143,83
6	0,12	563	23,39	528	22,53	592	22,77	561,00	22,90	74,80	2,88	71,92
7	0,14	563	23,39	528	22,53	592	22,77	561,00	22,90	74,80	2,88	47,94
8	0,16	563	23,39	528	22,53	592	22,77	561,00	22,90	74,80	2,88	35,96
9	0,18	563	23,39	528	22,53	592	22,77	561,00	22,90	74,80	2,88	28,77
10	0,2	563	23,39	528	22,53	592	22,77	561,00	22,90	74,80	2,88	23,97
11	0,22	563	23,39	528	22,53	592	22,77	561,00	22,90	74,80	2,88	20,55
12	0,24	563	23,39	528	22,53	592	22,77	561,00	22,90	74,80	2,88	17,98
13	0,26	563	23,39	528	22,53	592	22,77	561,00	22,90	74,80	2,88	15,98
14	0,28	563	23,39	528	22,53	592	22,77	561,00	22,90	74,80	2,88	14,38
15	0,3	563	23,39	528	22,53	592	22,77	561,00	22,90	74,80	2,88	13,08
16	0,32	515	24,46	506	24,01	506	24,73	509,00	24,40	67,87	4,38	18,25
17	0,34	515	24,46	506	24,01	506	24,73	509,00	24,40	67,87	4,38	16,85
18	0,36	515	24,46	506	24,01	506	24,73	509,00	24,40	67,87	4,38	15,64
19	0,38	515	24,46	506	24,01	506	24,73	509,00	24,40	67,87	4,38	14,60
20	0,4	515	24,46	506	24,01	506	24,73	509,00	24,40	67,87	4,38	13,69
21	0,42	515	24,46	506	24,01	506	24,73	509,00	24,40	67,87	4,38	12,88
22	0,44	515	24,46	506	24,01	506	24,73	509,00	24,40	67,87	4,38	12,17
23	0,46	515	24,46	506	24,01	506	24,73	509,00	24,40	67,87	4,38	11,53
24	0,48	515	24,46	506	24,01	506	24,73	509,00	24,40	67,87	4,38	10,95
25	0,5	515	24,46	506	24,01	506	24,73	509,00	24,40	67,87	4,38	10,43
26	0,52	440	25,87	475	25,46	415	25,32	443,33	25,55	59,11	5,53	12,57
27	0,54	440	25,87	475	25,46	415	25,32	443,33	25,55	59,11	5,53	12,02
28	0,56	440	25,87	475	25,46	415	25,32	443,33	25,55	59,11	5,53	11,52
29	0,58	440	25,87	475	25,46	415	25,32	443,33	25,55	59,11	5,53	11,06
30	0,6	440	25,87	475	25,46	415	25,32	443,33	25,55	59,11	5,53	10,63
31	0,62	440	25,87	475	25,46	415	25,32	443,33	25,55	59,11	5,53	10,24
32	0,64	440	25,87	475	25,46	415	25,32	443,33	25,55	59,11	5,53	9,88
33	0,66	440	25,87	475	25,46	415	25,32	443,33	25,55	59,11	5,53	9,53
34	0,68	440	25,87	475	25,46	415	25,32	443,33	25,55	59,11	5,53	9,22
35	0,7	440	25,87	475	25,46	415	25,32	443,33	25,55	59,11	5,53	8,92

LAMPIRAN 16 DATA BEBAN 8,2 KG dan MEDAN MAGNET 0 mT

No.	Time (s)	Data 1		Data 2		Data 3		Data rata-rata		Pressure (kPa)	Disp. (cm)	velocity (cm/s)
		P1	D1	P1	D1	P1	D1	pressure	Distance			
1	0,02	186	20,12	198	20,06	198	19,99	194,00	20,06	25,87	0,00	0,00
2	0,04	186	20,12	198	20,06	198	19,99	194,00	20,06	25,87	0,00	0,00
3	0,06	186	20,12	198	20,06	198	19,99	194,00	20,06	25,87	0,00	0,00
4	0,08	186	20,12	198	20,06	198	19,99	194,00	20,06	25,87	0,00	0,00
5	0,10	583	23,63	572	23,36	565	22,57	573,33	23,19	76,44	3,13	156,33
6	0,12	583	23,63	572	23,36	565	22,57	573,33	23,19	76,44	3,13	78,17
7	0,14	583	23,63	572	23,36	565	22,57	573,33	23,19	76,44	3,13	52,11
8	0,16	583	23,63	572	23,36	565	22,57	573,33	23,19	76,44	3,13	39,08
9	0,18	583	23,63	572	23,36	565	22,57	573,33	23,19	76,44	3,13	31,27
10	0,20	583	23,63	572	23,36	565	22,57	573,33	23,19	76,44	3,13	26,06
11	0,22	583	23,63	572	23,36	565	22,57	573,33	23,19	76,44	3,13	22,33
12	0,24	583	23,63	572	23,36	565	22,57	573,33	23,19	76,44	3,13	19,54
13	0,26	583	23,63	572	23,36	565	22,57	573,33	23,19	76,44	3,13	17,37
14	0,28	583	23,63	572	23,36	565	22,57	573,33	23,19	76,44	3,13	15,63
15	0,30	500	24,63	569	23,87	546	23,53	538,33	24,01	71,78	3,95	17,95
16	0,32	500	24,63	569	23,87	546	23,53	538,33	24,01	71,78	3,95	16,46
17	0,34	500	24,63	569	23,87	546	23,53	538,33	24,01	71,78	3,95	15,19
18	0,36	500	24,63	569	23,87	546	23,53	538,33	24,01	71,78	3,95	14,11
19	0,38	500	24,63	569	23,87	546	23,53	538,33	24,01	71,78	3,95	13,17
20	0,40	500	24,63	569	23,87	546	23,53	538,33	24,01	71,78	3,95	12,34
21	0,42	500	24,63	569	23,87	546	23,53	538,33	24,01	71,78	3,95	11,62
22	0,44	500	24,63	569	23,87	546	23,53	538,33	24,01	71,78	3,95	10,97
23	0,46	500	24,63	569	23,87	546	23,53	538,33	24,01	71,78	3,95	10,39
24	0,48	500	24,63	569	23,87	546	23,53	538,33	24,01	71,78	3,95	9,88
25	0,50	500	24,63	569	23,87	546	23,53	538,33	24,01	71,78	3,95	9,40
26	0,52	482	25,52	501	24,77	487	24,42	490,00	24,90	65,33	4,84	11,01
27	0,54	482	25,52	501	24,77	487	24,42	490,00	24,90	65,33	4,84	10,53
28	0,56	482	25,52	501	24,77	487	24,42	490,00	24,90	65,33	4,84	10,09
29	0,58	482	25,52	501	24,77	487	24,42	490,00	24,90	65,33	4,84	9,69
30	0,60	482	25,52	501	24,77	487	24,42	490,00	24,90	65,33	4,84	9,31
31	0,62	482	25,52	501	24,77	487	24,42	490,00	24,90	65,33	4,84	8,97
32	0,64	482	25,52	501	24,77	487	24,42	490,00	24,90	65,33	4,84	8,65
33	0,66	482	25,52	501	24,77	487	24,42	490,00	24,90	65,33	4,84	8,35
34	0,68	482	25,52	501	24,77	487	24,42	490,00	24,90	65,33	4,84	8,07
35	0,70	482	25,52	501	24,77	487	24,42	490,00	24,90	65,33	4,84	7,81

LAMPIRAN 17 DATA BEBAN 8,2 KG dan MEDAN MAGNET 24 mT

No.	Time (s)	Data 1		Data 2		Data 3		Data rata-rata		Pressure (kPa)	Disp. (cm)	velocity (cm/s)
		P1	D1	P1	D1	P1	D1	pressure	Distance			
1	0,02	195	20,02	200	20,02	200	20,06	198,33	20,03	26,44	0,00	0,00
2	0,04	195	20,02	200	20,02	200	20,06	198,33	20,03	26,44	0,00	0,00
3	0,06	195	20,02	200	20,02	200	20,06	198,33	20,03	26,44	0,00	0,00
4	0,08	195	20,02	200	20,02	200	20,06	198,33	20,03	26,44	0,00	0,00
5	0,10	578	22,59	624	23,06	597	22,93	599,67	22,86	79,96	2,83	141,50
6	0,12	578	22,59	624	23,06	597	22,93	599,67	22,86	79,96	2,83	70,75
7	0,14	578	22,59	624	23,06	597	22,93	599,67	22,86	79,96	2,83	47,17
8	0,16	578	22,59	624	23,06	597	22,93	599,67	22,86	79,96	2,83	35,38
9	0,18	578	22,59	624	23,06	597	22,93	599,67	22,86	79,96	2,83	28,30
10	0,20	578	22,59	624	23,06	597	22,93	599,67	22,86	79,96	2,83	23,58
11	0,22	578	22,59	624	23,06	597	22,93	599,67	22,86	79,96	2,83	20,21
12	0,24	578	22,59	624	23,06	597	22,93	599,67	22,86	79,96	2,83	17,69
13	0,26	578	22,59	624	23,06	597	22,93	599,67	22,86	79,96	2,83	15,72
14	0,28	578	22,59	624	23,06	597	22,93	599,67	22,86	79,96	2,83	14,15
15	0,30	578	22,59	624	23,06	597	22,93	599,67	22,86	79,96	2,83	12,86
16	0,32	545	22,98	495	23,60	565	23,12	535,00	23,23	71,33	3,20	13,35
17	0,34	545	22,98	495	23,60	565	23,12	535,00	23,23	71,33	3,20	12,32
18	0,36	545	22,98	495	23,60	565	23,12	535,00	23,23	71,33	3,20	11,44
19	0,38	545	22,98	495	23,60	565	23,12	535,00	23,23	71,33	3,20	10,68
20	0,40	545	22,98	495	23,60	565	23,12	535,00	23,23	71,33	3,20	10,01
21	0,42	545	22,98	495	23,60	565	23,12	535,00	23,23	71,33	3,20	9,42
22	0,44	545	22,98	495	23,60	565	23,12	535,00	23,23	71,33	3,20	8,90
23	0,46	545	22,98	495	23,60	565	23,12	535,00	23,23	71,33	3,20	8,43
24	0,48	545	22,98	495	23,60	565	23,12	535,00	23,23	71,33	3,20	8,01
25	0,50	545	22,98	495	23,60	565	23,12	535,00	23,23	71,33	3,20	7,63
26	0,52	430	24,53	481	24,36	515	23,91	475,33	24,27	63,38	4,24	9,63
27	0,54	430	24,53	481	24,36	515	23,91	475,33	24,27	63,38	4,24	9,21
28	0,56	430	24,53	481	24,36	515	23,91	475,33	24,27	63,38	4,24	8,83
29	0,58	430	24,53	481	24,36	515	23,91	475,33	24,27	63,38	4,24	8,47
30	0,60	430	24,53	481	24,36	515	23,91	475,33	24,27	63,38	4,24	8,15
31	0,62	430	24,53	481	24,36	515	23,91	475,33	24,27	63,38	4,24	7,85
32	0,64	430	24,53	481	24,36	515	23,91	475,33	24,27	63,38	4,24	7,57
33	0,66	430	24,53	481	24,36	515	23,91	475,33	24,27	63,38	4,24	7,30
34	0,68	430	24,53	481	24,36	515	23,91	475,33	24,27	63,38	4,24	7,06
35	0,70	430	24,53	481	24,36	515	23,91	475,33	24,27	63,38	4,24	6,83

LAMPIRAN 18 DATA BEBAN 8,2 KG dan MEDAN MAGNET 56 mT

No.	Time (s)	Data 1		Data 2		Data 3		Data rata-rata		Pressure (kPa)	Disp. (cm)	velocity (cm/s)
		P1	D1	P1	D1	P1	D1	pressure	Distance			
1	0,02	173	20,09	174	20,02	158	20,02	168,33	20,04	22,44	0,00	0,00
2	0,04	173	20,09	174	20,02	158	20,02	168,33	20,04	22,44	0,00	0,00
3	0,06	173	20,09	174	20,02	158	20,02	168,33	20,04	22,44	0,00	0,00
4	0,08	173	20,09	174	20,02	158	20,02	168,33	20,04	22,44	0,00	0,00
5	0,10	592	22,47	591	22,61	589	22,36	590,67	22,48	78,76	2,44	122,50
6	0,12	592	22,47	591	22,61	589	22,36	590,67	22,48	78,76	2,44	61,25
7	0,14	592	22,47	591	22,61	589	22,36	590,67	22,48	78,76	2,44	40,83
8	0,16	592	22,47	591	22,61	589	22,36	590,67	22,48	78,76	2,44	30,63
9	0,18	592	22,47	591	22,61	589	22,36	590,67	22,48	78,76	2,44	24,50
10	0,20	592	22,47	591	22,61	589	22,36	590,67	22,48	78,76	2,44	20,42
11	0,22	592	22,47	591	22,61	589	22,36	590,67	22,48	78,76	2,44	17,50
12	0,24	592	22,47	591	22,61	589	22,36	590,67	22,48	78,76	2,44	15,31
13	0,26	592	22,47	591	22,61	589	22,36	590,67	22,48	78,76	2,44	13,61
14	0,28	592	22,47	591	22,61	589	22,36	590,67	22,48	78,76	2,44	12,25
15	0,30	586	23,46	546	23,70	556	23,01	562,67	23,39	75,02	3,35	15,27
16	0,32	586	23,46	546	23,70	556	23,01	562,67	23,39	75,02	3,35	14,00
17	0,34	586	23,46	546	23,70	556	23,01	562,67	23,39	75,02	3,35	12,92
18	0,36	586	23,46	546	23,70	556	23,01	562,67	23,39	75,02	3,35	12,00
19	0,38	586	23,46	546	23,70	556	23,01	562,67	23,39	75,02	3,35	11,20
20	0,40	586	23,46	546	23,70	556	23,01	562,67	23,39	75,02	3,35	10,50
21	0,42	586	23,46	546	23,70	556	23,01	562,67	23,39	75,02	3,35	9,88
22	0,44	586	23,46	546	23,70	556	23,01	562,67	23,39	75,02	3,35	9,33
23	0,46	586	23,46	546	23,70	556	23,01	562,67	23,39	75,02	3,35	8,84
24	0,48	586	23,46	546	23,70	556	23,01	562,67	23,39	75,02	3,35	8,40
25	0,50	545	23,74	524	24,42	499	23,67	522,67	23,94	69,69	3,90	9,32
26	0,52	545	23,74	524	24,42	499	23,67	522,67	23,94	69,69	3,90	8,89
27	0,54	545	23,74	524	24,42	499	23,67	522,67	23,94	69,69	3,90	8,51
28	0,56	545	23,74	524	24,42	499	23,67	522,67	23,94	69,69	3,90	8,15
29	0,58	545	23,74	524	24,42	499	23,67	522,67	23,94	69,69	3,90	7,83
30	0,60	545	23,74	524	24,42	499	23,67	522,67	23,94	69,69	3,90	7,53
31	0,62	545	23,74	524	24,42	499	23,67	522,67	23,94	69,69	3,90	7,25
32	0,64	545	23,74	524	24,42	499	23,67	522,67	23,94	69,69	3,90	6,99
33	0,66	545	23,74	524	24,42	499	23,67	522,67	23,94	69,69	3,90	6,75
34	0,68	545	23,74	524	24,42	499	23,67	522,67	23,94	69,69	3,90	6,52
35	0,70	545	23,74	524	24,42	499	23,67	522,67	23,94	69,69	3,90	6,31

LAMPIRAN 19 DATA BEBAN 8,2 KG dan MEDAN MAGNET 100 mT

No.	Time (s)	Data 1		Data 2		Data 3		Data rata-rata		Pressure (kPa)	Disp. (cm)	velocity (cm/s)
		P1	D1	P1	D1	P1	D1	pressure	Distance			
1	0,02	130	20,02	95	20,06	116	20,06	113,67	20,05	15,16	0,00	0,00
2	0,04	130	20,02	95	20,06	116	20,06	113,67	20,05	15,16	0,00	0,00
3	0,06	130	20,02	95	20,06	116	20,06	113,67	20,05	15,16	0,00	0,00
4	0,08	130	20,02	95	20,06	116	20,06	113,67	20,05	15,16	0,00	0,00
5	0,10	600	21,92	588	22,29	598	22,22	595,33	22,14	79,38	2,09	105,17
6	0,12	600	21,92	588	22,29	598	22,22	595,33	22,14	79,38	2,09	52,58
7	0,14	600	21,92	588	22,29	598	22,22	595,33	22,14	79,38	2,09	35,06
8	0,16	600	21,92	588	22,29	598	22,22	595,33	22,14	79,38	2,09	26,29
9	0,18	600	21,92	588	22,29	598	22,22	595,33	22,14	79,38	2,09	21,03
10	0,20	600	21,92	588	22,29	598	22,22	595,33	22,14	79,38	2,09	17,53
11	0,22	600	21,92	588	22,29	598	22,22	595,33	22,14	79,38	2,09	15,02
12	0,24	600	21,92	588	22,29	598	22,22	595,33	22,14	79,38	2,09	13,15
13	0,26	600	21,92	588	22,29	598	22,22	595,33	22,14	79,38	2,09	11,69
14	0,28	600	21,92	588	22,29	598	22,22	595,33	22,14	79,38	2,09	10,52
15	0,30	552	23,25	595	22,57	539	23,32	562,00	23,05	74,93	3,00	13,67
16	0,32	552	23,25	595	22,57	539	23,32	562,00	23,05	74,93	3,00	12,53
17	0,34	552	23,25	595	22,57	539	23,32	562,00	23,05	74,93	3,00	11,56
18	0,36	552	23,25	595	22,57	539	23,32	562,00	23,05	74,93	3,00	10,74
19	0,38	552	23,25	595	22,57	539	23,32	562,00	23,05	74,93	3,00	10,02
20	0,40	552	23,25	595	22,57	539	23,32	562,00	23,05	74,93	3,00	9,40
21	0,42	552	23,25	595	22,57	539	23,32	562,00	23,05	74,93	3,00	8,84
22	0,44	552	23,25	595	22,57	539	23,32	562,00	23,05	74,93	3,00	8,35
23	0,46	552	23,25	595	22,57	539	23,32	562,00	23,05	74,93	3,00	7,91
24	0,48	552	23,25	595	22,57	539	23,32	562,00	23,05	74,93	3,00	7,52
25	0,50	552	23,25	595	22,57	539	23,32	562,00	23,05	74,93	3,00	7,16
26	0,52	497	23,50	558	23,63	511	23,53	522,00	23,55	69,60	3,50	7,98
27	0,54	497	23,50	558	23,63	511	23,53	522,00	23,55	69,60	3,50	7,64
28	0,56	497	23,50	558	23,63	511	23,53	522,00	23,55	69,60	3,50	7,32
29	0,58	497	23,50	558	23,63	511	23,53	522,00	23,55	69,60	3,50	7,03
30	0,60	497	23,50	558	23,63	511	23,53	522,00	23,55	69,60	3,50	6,76
31	0,62	497	23,50	558	23,63	511	23,53	522,00	23,55	69,60	3,50	6,51
32	0,64	497	23,50	558	23,63	511	23,53	522,00	23,55	69,60	3,50	6,27
33	0,66	497	23,50	558	23,63	511	23,53	522,00	23,55	69,60	3,50	6,06
34	0,68	497	23,50	558	23,63	511	23,53	522,00	23,55	69,60	3,50	5,86
35	0,70	497	23,50	558	23,63	511	23,53	522,00	23,55	69,60	3,50	5,67

LAMPIRAN 20 DATA BEBAN 8,2 KG dan FLUIDA ASLI

No.	Time (s)	Data 1		Data 2		Data 3		Data rata-rata		Pressure (kPa)	Disp. (cm)	velocity (cm/s)
		P1	D1	P1	D1	P1	D1	pressure	Distance			
1	0,02	152	20,02	141	20,02	174	20,02	155,67	20,02	20,76	0,00	0,00
2	0,04	152	20,02	141	20,02	174	20,02	155,67	20,02	20,76	0,00	0,00
3	0,06	152	20,02	141	20,02	174	20,02	155,67	20,02	20,76	0,00	0,00
4	0,08	152	20,02	141	20,02	174	20,02	155,67	20,02	20,76	0,00	0,00
5	0,10	536	24,39	595	23,91	633	23,36	588,00	23,89	78,40	3,87	193,33
6	0,12	536	24,39	595	23,91	633	23,36	588,00	23,89	78,40	3,87	96,67
7	0,14	536	24,39	595	23,91	633	23,36	588,00	23,89	78,40	3,87	64,44
8	0,16	536	24,39	595	23,91	633	23,36	588,00	23,89	78,40	3,87	48,33
9	0,18	536	24,39	595	23,91	633	23,36	588,00	23,89	78,40	3,87	38,67
10	0,20	536	24,39	595	23,91	633	23,36	588,00	23,89	78,40	3,87	32,22
11	0,22	536	24,39	595	23,91	633	23,36	588,00	23,89	78,40	3,87	27,62
12	0,24	536	24,39	595	23,91	633	23,36	588,00	23,89	78,40	3,87	24,17
13	0,26	536	24,39	595	23,91	633	23,36	588,00	23,89	78,40	3,87	21,48
14	0,28	536	24,39	595	23,91	633	23,36	588,00	23,89	78,40	3,87	19,33
15	0,30	516	25,87	595	23,91	536	24,53	549,00	24,77	73,20	4,75	21,59
16	0,32	516	25,87	562	25,46	536	24,53	538,00	25,29	71,73	5,27	21,94
17	0,34	516	25,87	562	25,46	536	24,53	538,00	25,29	71,73	5,27	20,26
18	0,36	516	25,87	562	25,46	536	24,53	538,00	25,29	71,73	5,27	18,81
19	0,38	516	25,87	562	25,46	536	24,53	538,00	25,29	71,73	5,27	17,56
20	0,40	516	25,87	562	25,46	536	24,53	538,00	25,29	71,73	5,27	16,46
21	0,42	516	25,87	562	25,46	536	24,53	538,00	25,29	71,73	5,27	15,49
22	0,44	516	25,87	562	25,46	536	24,53	538,00	25,29	71,73	5,27	14,63
23	0,46	516	25,87	562	25,46	536	24,53	538,00	25,29	71,73	5,27	13,86
24	0,48	516	25,87	562	25,46	536	24,53	538,00	25,29	71,73	5,27	13,17
25	0,50	516	25,87	562	25,46	536	24,53	538,00	25,29	71,73	5,27	12,54
26	0,52	441	27,83	470	27,49	515	26,63	475,33	27,32	63,38	7,30	16,58
27	0,54	441	27,83	470	27,49	515	26,63	475,33	27,32	63,38	7,30	15,86
28	0,56	441	27,83	470	27,49	515	26,63	475,33	27,32	63,38	7,30	15,20
29	0,58	441	27,83	470	27,49	515	26,63	475,33	27,32	63,38	7,30	14,59
30	0,60	441	27,83	470	27,49	515	26,63	475,33	27,32	63,38	7,30	14,03
31	0,62	441	27,83	470	27,49	515	26,63	475,33	27,32	63,38	7,30	13,51
32	0,64	441	27,83	470	27,49	515	26,63	475,33	27,32	63,38	7,30	13,03
33	0,66	441	27,83	470	27,49	515	26,63	475,33	27,32	63,38	7,30	12,58
34	0,68	441	27,83	470	27,49	515	26,63	475,33	27,32	63,38	7,30	12,16
35	0,70	441	27,83	470	27,49	515	26,63	475,33	27,32	63,38	7,30	11,77