



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGURANGAN KERUGIAN JATUH TEKANAN DENGAN
MENGUNAKAN BIOPOLIMER (CAIRAN LENDIR BELUT)
PADA TANGKI AIR HARIAN KAPAL**

SKRIPSI

**Indah Puspitasari
0806459210**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN
DEPOK
JUNI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGURANGAN KERUGIAN JATUH TEKANAN DENGAN
MENGUNAKAN BIOPOLIMER (CAIRAN LENDIR BELUT)
PADA TANGKI AIR HARIAN KAPAL**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**Indah Puspitasari
0806459210**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN
DEPOK
JUNI 2012**


HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Indah Puspitasari

NPM : 0806459210

Tanda Tangan :



Tanggal : 17 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Indah Puspitasari

NPM : 0806459210

Program Studi : Teknik Perkapalan

Judul Skripsi : Pengurangan Kerugian Jatuh Tekanan dengan Menggunakan Biopolimer (Cairan Lendir Belut) pada Tanki Air Harian Kapal

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Marcus Alberth Talahatu, MT

Penguji : Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Eng Msc

Penguji : Ir. Hadi Tresno Wibowo

Penguji : Dr. Ir. Sunaryo

Penguji : Ir. Mukti Wibowo

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 02 Juli 2012



KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah serta inayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat waktu. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Perkapalan pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Ir. M. A. Talahatu, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Sc., M.Eng., Ir. Sunaryo, Ph.D., Ir. Hadi Tresno Wibowo, Ir. Mukti Wibowo selaku dosen program studi Teknik Perkapalan yang telah menularkan ilmu dan pengalamannya.
3. Bapak Supriyadi, Ibu Titiek Setyowati, dan adikku Dyah Fitri Novita Sari, atas segala dukungan spiritual, moral dan materil yang diberikan tanpa hentinya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
4. Keluarga besar Bapak Abdul Djamil dan Sunarto yang telah membantu dari berbagai sisi selama meraih gelar S.T.
5. Gunawan, S.T, M.T. dan M.Baqi, S.T, M.T. selaku asisten dosen yang telah meluangkan waktu untuk melakukan asistensi.
6. Bapak Udiyono selaku laboran DTM FTUI yang telah membantu dalam berbagai perizinan serta peminjaman alat untuk keperluan pengambilan data skripsi.
7. Agus Julianto, sebagai abang, kawan, sahabat, teman, rekan seperjuangan selama meraih gelar S.T. dan dalam mengerjakan skripsi ini.
8. Dwi Laksono, Helmi Dadang, Hudi Wibowo, Pandu Nugraha, Aji Sokaroni yang telah membantu pada saat pengambilan data skripsi.
9. Ragil Tri Indrawati, S.T., Edwin Dwi Novianto, S.T., Stanley Nathan, S.T., Martinus Putra, Ratna Purnamasari selaku teman dan sahabat yang telah mendengarkan keluh kesah selama meraih gelar S.T.
10. Annisa Nurulianthi, sebagai teman yang memiliki mimpi yang sama.

11. Syir Asih Amanati, S.IP., Sylvia Ika, S.Pd., Bayu Suprayogo, A.Md., Eddy Kurniawan A.Md., sebagai sahabat-sahabat terbaik yang selalu memberikan semangat dan doa walaupun jarak yang jauh memisahkan.
12. Windi Sylvia, selaku hoobae terbaik yang selalu ada pada saat suka dan duka.
13. Kadek Ayu Dwiyanti Indrawati, S.E., Putri Efendi Radith, S.Ked., Rahmalia Fajri Setiani, S.T., Indri Agustina, S.S., Novita Distianni Latenia, Nurmeidah Arshielah, Gina Septiani Fujawati, teman-teman di dunia maya yang menjadi nyata di hati dan selalu memberikan dukungan.
14. Teman – teman jurusan Teknik Mesin dan Teknik Perkapalan, khususnya angkatan 2008 yang telah bersama – sama mengukir kisah perjalanan hidup di FT UI.
15. Teman – teman serta adik – adik Technique Informal School, yang telah memberikan saya pengalaman mengenai kehidupan yang sebenarnya.
16. Para sahabat dan semua pihak yang telah membantu dalam bentuk doa yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Akhir kata, semoga Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah disebutkan di atas. Semoga skripsi ini membawa manfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Juni 2012

Indah Puspitasari

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Indah Puspitasari
NPM : 0806459210
Program Studi : Teknik Perkapalan
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

PENGURANGAN KERUGIAN JATUH TEKANAN DENGAN MENGUNAKAN BIOPOLIMER (CAIRAN LENDIR BELUT) PADA TANGKI AIR HARIAN KAPAL

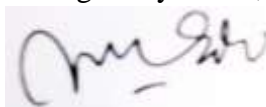
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juni 2012

Yang menyatakan,



(Indah Puspitasari)

vii

ABSTRAK

Nama : Indah Puspitasari
Program Studi : Teknik Perkapalan
Judul Skripsi : Pengurangan Kerugian Jatuh Tekanan dengan Menggunakan Biopolimer (Cairan Lendir Belut) pada Tangki Harian Kapal

Penghematan penggunaan energi pada teknologi pemompaan tanki air harian kapal merupakan suatu topik yang menarik dan sangat penting untuk dikaji. Viskositas, jenis fluida dan kecepatan alir merupakan beberapa komponen yang mempengaruhi pemakaian energi. Penggunaan fluida yang alami seperti biopolymer untuk mengurangi kerugian jatuh tekanan merupakan suatu hal yang dibutuhkan untuk saat ini karena dapat memperlambat terjadinya *global warming*. Penggunaan lendir belut sebagai biopolymer untuk mengurangi penggunaan energi pada penggunaan pompa merupakan hal yang baru. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mencari kondisi optimal pengoperasian dimana nilai kerugian jatuh tekanan dapat sekecil mungkin. Pada kecepatan tertentu diharapkan nilai kerugian jatuh tekanan paling optimal sehingga akan mengurangi konsumsi energi. Pengukuran kerugian jatuh tekanan di dalam pipa uji dengan diameter $D = 1$ inch menggunakan alat ukur manometer. Pemberian variasi kecepatan alir serta variasi bentuk pipa uji yang digunakan akan memberikan perbedaan pada nilai viskositas dan shear rate yang dihasilkan pada aliran fluida uji yang dapat dikaji dalam penelitian ini. Dari hasil percobaan didapat bahwa penggunaan lender belut dapat mengurangi *drag reduction* sekitar 18% sehingga dapat mengurangi penggunaan energi pompa pada tangki kapal.

Kata kunci: tanki harian kapal, jatuh tekanan, viskositas, *shear rate*, manometer, belut, biopolymer.

ABSTRACT

Name : Indah Puspitasari
Study Program : Naval Architecture
Title : Pressure Drop losses with Biopolymer (eel slime fluids)
On Daily Water Tanks of Ships

Energy saving in pumping technology on daily water tanks of ships is an interesting topic and very important to be studied. Viscosity, fluid type and flow rate are some components that affect energy consumption. The use of such natural biopolymer fluid to reduce pressure drop losses is a necessary thing for now because it can slow the global warming. The use of slime eel as a biopolymer for reducing energy use on the use of pumps is a new thing. The purpose of this research is to find optimal operating conditions where the pressure drop losses can be as small as possible. At a certain speed is expected to value the loss of most optimal pressure drop that will reduce energy consumption. The measurement mechanism of pressure drop losses is using a pipe with diameter $D = 1$ inch and using a manometer gauge. Provision of flow rate variations and variations in the test tube shape will make a difference in the viscosity and shear rate generated in the test fluid flow can be assessed in this study. From the experimental results obtained that the use of eel lender can reduce the drag reduction of about 18% and can reduce the energy use for pumps on tank vessels.

Keywords: daily tank vessel, pressure drop, viscosity, shear rate, manometer, eel, biopolymer.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vii
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GRAFIK.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
2.2 Tujuan Penulisan.....	2
3.3 Metode Penelitian.....	2
4.4 Batasan Masalah.....	3
5.5 Metodologi Penulisan.....	3
6.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Definisi Fluida.....	5
2.2 Klasifikasi Fluida.....	5
2.2.1 Fluida Newtonian.....	5
2.2.2 Fluida Non-Newtonian.....	6
2.2.3 Power Law Index.....	11
2.3 Aliran Fluida.....	12
2.4 Sifat-sifat Fluida.....	13
2.4.1 Density.....	13
2.4.2 Viskositas.....	14
2.4.3 Bilangan Reynolds.....	14

2.5	Persamaan Fluida.....	16
2.5.1	Laju Aliran Volume.....	16
2.5.2	Distribusi Kecepatan.....	16
2.6	Drag Reduction.....	17
2.7	Hukum Dinding.....	18
2.8	Instalasi Pipa Di Kapal.....	19
2.8.1	Sistem Instalasi Pipa Air Tawar.....	19
2.9	Belut Sebagai Additive.....	20
BAB 3 DESKRIPSI ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN.....		22
3.1	Rancangan Alat Uji.....	22
3.2	Peralatan Pendukung.....	23
3.2.1	Pompa Air.....	23
3.2.2	Manometer.....	24
3.2.3	Valve/Katup.....	24
3.2.4	Tangki Penampung Air.....	25
3.2.5	Termometer Air Raksa.....	25
3.2.6	Gelas Ukur.....	26
3.2.7	Timbangan Digital.....	26
3.2.8	Stopwatch.....	27
3.2.9	Pipa Penyalur.....	27
3.2.10	Pitot Tube.....	28
3.3	Kondisi Dalam Pengujian.....	28
3.4	Prosedur Pengambilan Data.....	29
3.5	Tahap Pengujian.....	30
BAB 4 PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA.....		31
4.1	Perhitungan Data.....	31
4.1.1	Perhitungan Data Menggunakan Air Murni.....	31
4.1.1.1	Perhitungan Perbedaan Tekanan untuk Air Murni.....	31
4.1.1.2	Perhitungan Debit (Q) dan Kecepatan Aliran Fluida...	32
4.1.1.3	Perhitungan Tegangan dan Regangan.....	33

4.1.1.4	Perhitungan Nilai Indeks Konsistensi Fluida (K).....	34
4.1.1.5	Perhitungan Bilangan Reynolds (Re)	35
4.1.1.6	Perhitungan Hukum Dinding Aliran Turbulen.....	36
4.1.1.7	Perhitungan Faktor Gesekan (f)	37
4.1.2	Perhitungan Data Menggunakan 250PPM Lendir Belut...	37
4.1.2.1	Perhitungan Perbedaan Tekanan untuk 250PPM.....	37
4.1.2.2	Perhitungan Debit (Q) dan Kecepatan Aliran Fluida...	38
4.1.2.3	Perhitungan Tegangan dan Regangan.....	40
4.1.2.4	Perhitungan Nilai Indeks Konsistensi Fluida (K).....	40
4.1.2.5	Perhitungan Bilangan Reynolds (Re)	41
4.1.2.6	Perhitungan Hukum Dinding Aliran Turbulen.....	42
4.1.2.7	Perhitungan Faktor Gesekan (f)	43
4.1.3	Perhitungan Data Menggunakan 300PPM Lendir Belut ...	44
4.1.3.1	Perhitungan Perbedaan Tekanan untuk 300PPM.....	44
4.1.3.2	Perhitungan Debit (Q) dan Kecepatan Aliran Fluida...	45
4.1.3.3	Perhitungan Tegangan dan Regangan.....	46
4.1.3.4	Perhitungan Nilai Indeks Konsistensi Fluida (K).....	47
4.1.3.5	Perhitungan Bilangan Reynolds (Re)	47
4.1.3.6	Perhitungan Hukum Dinding Aliran Turbulen.....	48
4.1.3.7	Perhitungan Faktor Gesekan (f)	49
4.1.4	Perhitungan Data Menggunakan 400PPM Lendir Belut...	50
4.1.4.1	Perhitungan Perbedaan Tekanan untuk 400PPM.....	50
4.1.4.2	Perhitungan Debit (Q) dan Kecepatan Aliran Fluida...	51
4.1.4.3	Perhitungan Tegangan dan Regangan.....	52
4.1.4.4	Perhitungan Nilai Indeks Konsistensi Fluida (K).....	53
4.1.4.5	Perhitungan Bilangan Reynolds (Re)	54
4.1.4.6	Perhitungan Hukum Dinding Aliran Turbulen.....	54
4.1.4.7	Perhitungan Faktor Gesekan (f)	55
4.1.5	Perhitungan Data Menggunakan 500PPM Lendir Belut ...	56
4.1.5.1	Perhitungan Perbedaan Tekanan untuk 500PPM.....	56
4.1.5.2	Perhitungan Debit (Q) dan Kecepatan Aliran Fluida...	57

4.1.5.3 Perhitungan Tegangan dan Regangan.....	58
4.1.5.4 Perhitungan Nilai Indeks Konsistensi Fluida (K).....	59
4.1.5.5 Perhitungan Bilangan Reynolds (Re)	60
4.1.5.6 Perhitungan Hukum Dinding Aliran Turbulen.....	61
4.1.5.7 Perhitungan Faktor Gesekan (f)	62
4.2 Perhitungan Drag Reduction.....	62
4.3 Analisis Data.....	64
BAB 5 PENUTUP	69
V.1. Kesimpulan.....	69
V.2. Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA	70
LAMPIRAN	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Hubungan shear stress – shear rate pada fluida non-newtonian.....	6
Gambar 2.2. Distribusi Kecepatan bingham plastic fluid pada pipa	7
Gambar 2.3. Kurva hubungan shear stress – shear rate pada Bingham Plastic.....	7
Gambar 2.4. Kurva hubungan shear stress – shear rate pada Pseudoplastic	8
Gambar 2.5. Kurva hubungan antara shear stress – shear rate pada Dilatan	9
Gambar 2.6. Kurva aliran hubungan antara shear stress dan gradien kecepatan ...	9
Gambar 2.7. Kurva aliran hubungan shear stress dan shear rate pada thixotropic dan rheopectic.....	10
Gambar 2.8. Kurva aliran hubungan apparent viscosity dan gradien kecepatan ..	10
Gambar 2.9. Distribusi Kecepatan Aliran Laminar dan Turbulen Pada Pipa Bulat	16
Gambar 2.10. Data Ikan	21
Gambar 3.1. Instalasi alat uji.....	23
Gambar 3.2. Pompa air	24
Gambar 3.3. Manometer	24
Gambar 3.4. Valve dengan busur derajat	25
Gambar 3.5. Tangki Penampung Fluida	25
Gambar 3.6. Termometer Air Raksa.....	26
Gambar 3.7. Gelas Ukur.....	26
Gambar 3.8. Timbangan Digital	27
Gambar 3.9. Stopwatch.....	27
Gambar 3.10. Pipa Penyalur.....	28
Gambar 3.11. Pitot Tube	28

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Data Perbedaan Ketinggian Manometer (ΔH) Untuk Air Murni	31
Tabel 4.2. Data Perbedaan Tekanan (Δp) Untuk Air Murni	32
Tabel 4.3. Data Debit Aliran (Q) Untuk Air Murni.....	32
Tabel 4.4. Data Kecepatan Aliran (V) Untuk Air Murni	33
Tabel 4.5. Nilai Tegangan dan Regangan	34
Tabel 4.6. Nilai Indeks Konsistensi (K) Untuk Air Murni	34
Tabel 4.7. Data Bilangan Reynolds (Re) Untuk Air Murni	35
Tabel 4.8. Data Perhitungan Hukum Dinding Untuk Air Murni.....	36
Tabel 4.9. Data Perhitungan Faktor Gesekan.....	37
Tabel 4.10. Data Perbedaan Ketinggian Manometer (ΔH) Untuk 250PPM	38
Tabel 4.11. Data Perbedaan Tekanan (Δp) Untuk 250PPM.....	38
Tabel 4.12. Data Debit Aliran (Q) Untuk 250PPM.....	39
Tabel 4.13. Data Kecepatan Aliran (V) Untuk 250PPM	39
Tabel 4.14. Nilai Tegangan dan Regangan	40
Tabel 4.15. Nilai Indeks Konsistensi (K) Untuk 250PPM.....	41
Tabel 4.16. Data Bilangan Reynolds (Re) Untuk 250PPM	41
Tabel 4.17. Data Perhitungan Hukum Dinding 250PPM.....	42
Tabel 4.18. Data Perhitungan Faktor Gesekan.....	43
Tabel 4.19. Data Perbedaan Ketinggian Manometer (ΔH) Untuk 300PPM	44
Tabel 4.20. Data Perbedaan Tekanan (Δp) Untuk 300PPM.....	44
Tabel 4.21. Data Debit Aliran (Q) Untuk 300PPM.....	45
Tabel 4.22. Data Kecepatan Aliran (V) Untuk 300PPM	45
Tabel 4.23. Nilai Tegangan dan Regangan	46
Tabel 4.24. Nilai Indeks Konsistensi (K) Untuk 300PPM.....	47
Tabel 4.25. Data Bilangan Reynolds (Re) Untuk 300PPM	48
Tabel 4.26. Data Perhitungan Hukum Dinding Untuk 300PPM.....	48
Tabel 4.27. Data Perhitungan Faktor Gesekan.....	49
Tabel 4.28. Data Perbedaan Ketinggian Manometer (ΔH) Untuk 400PPM	50
Tabel 4.29. Data Perbedaan Tekanan (Δp) Untuk 400PPM.....	51

Tabel 4.30. Data Debit Aliran (Q) Untuk 400PPM.....	51
Tabel 4.31. Data Kecepatan Aliran (V) Untuk 400PPM	52
Tabel 4.32. Nilai Tegangan dan Regangan	52
Tabel 4.33. Nilai Indeks Konsistensi (K) Untuk 400PPM.....	53
Tabel 4.34. Data Bilangan Reynolds (Re) Untuk 400PPM	54
Tabel 4.35. Data Perhitungan Hukum Dinding 400PPM.....	55
Tabel 4.36. Data Perhitungan Faktor Gesekan.....	56
Tabel 4.37. Data Perbedaan Ketinggian Manometer (ΔH) Untuk 500PPM	56
Tabel 4.38. Data Perbedaan Tekanan (Δp) Untuk 500PPM.....	57
Tabel 4.39. Data Debit Aliran (Q) Untuk 500PPM.....	57
Tabel 4.40. Data Kecepatan Aliran (V) Untuk 500PPM	58
Tabel 4.41. Nilai Tegangan dan Regangan	59
Tabel 4.42. Nilai Indeks Konsistensi (K) Untuk 500PPM.....	59
Tabel 4.43. Data Bilangan Reynolds (Re) Untuk 500PPM	60
Tabel 4.44. Data Perhitungan Hukum Dinding 500PPM.....	61
Tabel 4.45. Data Perhitungan Faktor Gesekan.....	62
Tabel 4.45. Data Drag Reduction pada bukaan katup 90 derajat	63
Tabel 4.45. Data Drag Reduction pada bukaan katup 80 derajat	63
Tabel 4.45. Data Drag Reduction pada bukaan katup 70 derajat	63
Tabel 4.45. Data Drag Reduction pada bukaan katup 60 derajat	63

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1. Perbandingan Re dengan Friksi	64
Grafik 4.2. Perbandingan Re dengan DR.....	65
Grafik 4.3. Perbandingan Y^+ dan U^+	66
Grafik 4.4. Perbandingan Re dengan Pressure Drop	68



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Tantangan dunia akan pemanasan global, perubahan iklim dan penghematan pemakaian energi sangat penting untuk terus diteliti oleh para ilmuwan dunia. Metode baru diciptakan dan metode lama terus dikembangkan. Penghematan energi atau pengurangan kerugian pada fluida dalam sistem perpipaan juga sangat penting untuk dikaji atau dikembangkan. Ilmu mekanika fluida sangat berperan penting dalam mengetahui karakteristik fluida saat mengalir. Secara umum fluida terbagi menjadi 2 yaitu fluida Newtonian : fluida yang kekentalannya hanya dipengaruhi temperatur dan fluida non-Newtonian : fluida yang kekentalannya bukan saja dipengaruhi oleh temperatur tetapi dipengaruhi juga oleh perubahan kecepatan aliran dan waktu pemakaian. Fluida dapat mengalir di dalam pipa dengan kecepatan yang diinginkan bila gaya hambat yang terjadi di dalam pipa tersebut dapat diatasi. Kerugian energi yang dibutuhkan untuk memindahkan fluida disebut kerugian jatuh tekan.

Kerugian jatuh tekan (*pressure drop*) merupakan hal penting dalam sistem aliran dalam pipa karena berhubungan dengan penggunaan energi. Kerugian jatuh tekan erat kaitannya dengan nilai koefisien gesek yang terjadi dalam aliran. Koefisien gesek adalah koefisien pergesekan antara aliran air yang mempunyai kecepatan rendah dengan aliran air yang mempunyai kecepatan lebih tinggi. Pengurangan hambatan dapat didefinisikan dengan pengurangan nilai koefisien gesek untuk aliran di dalam pipa atau pengurangan koefisien bentuk pada aliran luar. Koefisien gesek didapat dari tegangan geser (*shear stress*) yang terjadi diantara setiap perbedaan lapisan kecepatan. Kecepatan pada dinding pipa adalah nol, kemudian kecepatan ini akan berangsur naik bila menjauhi dinding dan mencapai titik maksimum pada sumbu pipa. Pengurangan nilai koefisien gesek didapatkan dengan mengurangi kekuatan olakan yang terjadi pada aliran, semakin kuat olakan semakin besar kerugian jatuh tekan.

Pada kapal terdapat banyak sekali system perpipaan, salah satu contohnya adalah system perpipaan air tawar / *Fresh water*. Sesuai dengan fungsinya , instalasi pipa air Tawar/*Fresh water* digunakan untuk mengalirkan air Tawar dari satu tanki ke sistim yang dibutuhkan, dari luar ke dalam kapal pada saat pengisian Air Tawar , dari tanki ke katup-katup di daerah ruang akomodasi untuk kebutuhan orang dikapal dan lain sebagainya. Pengaliran air Tawar menggunakan sarana pompa, dapat berupa pompa hisap atau pompa tekan, pompa ini disebut Pompa air Tawar/*Fresh water pump*.

1.2 TUJUAN PENULISAN

Tujuan penelitian ini untuk mencari kondisi optimal pengoperasian dimana nilai kerugian jatuh tekanan dapat sekecil mungkin. Pada kecepatan tertentu diharapkan nilai kerugian jatuh tekanan paling optimal sehingga akan mengurangi konsumsi energi.

1.3 METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah dengan melakukan penelitian secara langsung di laboratorium di mana sampel yang digunakan yaitu berupa fluida campuran air murni dengan lendir belut yang digunakan pada komponen mesin yang memiliki spesifikasi karakteristik tertentu. Penelitian meliputi pengujian langsung dan tidak langsung. Pengujian langsung adalah pengujian untuk mendapatkan variabel yang dapat diketahui dengan cara mengukur nilainya seperti perbedaan tekanan melalui perbedaan ketinggian manometer, debit aliran, dan perbedaan tekanan melalui perbedaan ketinggian manometer. Sedangkan pengujian tidak langsung adalah mendapatkan variable dengan cara mengolahnya melalui berbagai formula yang ada sehingga didapatkan hasil dari variable yang digunakan pada pengujian langsung seperti kapasitas aliran, kecepatan aliran dan bilangan Reynolds.

1.4 BATASAN MASALAH

Penelitian ini hanya bertujuan untuk mengetahui kerugian jatuh tekan (*Pressure Drop*), Sifat pokok aliran (laminer dan turbulen), pengaruh hukum dinding (*law of wall*), drag reduction dan friksi pada fluida yang mengalir pada pipa *acrylic* bulat lurus \varnothing 25.4 mm / 1 inch.

1.5 METODE PENULISAN

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis melakukan beberapa metode dalam penulisan, yaitu:

1. Konsultasi dengan dosen pembimbing

Konsultasi dengan dosen pembimbing merupakan suatu media untuk merumuskan tema yang akan dibahas dalam skripsi serta alat uji yang harus dibuat untuk mendukung penelitian pada tema skripsi tersebut dan memperoleh informasi mengenai dasar teori yang digunakan dalam pengolahan data yang akan dilakukan serta hasil yang hendak diperoleh dari penelitian tersebut.

2. Membuat alat uji di laboratorium

Membuat alat uji laboratorium sesuai dengan rancangan awal yang telah dikonsultasikan dengan dosen pembimbing serta mengenai bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian tersebut.

3. Pengumpulan data

Data-data yang diperoleh dari penelitian dengan menggunakan alat uji laboratorium selanjutnya dibandingkan dengan dasar teori yang telah dijelaskan oleh dosen pembimbing, data-data dan keterangan didapat dari studi percobaan (data percobaan), studi literature (dari sumber-sumber yang berhubungan dengan penelitian) serta melakukan diskusi dengan team skripsi dan dosen pembimbing.

4. Pengolahan data

Data awal yang diperoleh dari penelitian kemudian dimasukkan ke dalam persamaan-persamaan yang terdapat pada dasar teori sehingga didapatkan data yang dibutuhkan yang kemudian digunakan untuk melakukan analisis dan proses selanjutnya.

5. Analisis data

Data-data dari pengolahan digunakan untuk menganalisis terjadinya kerugian jatuh tekanan aliran fluida yang digunakan pada komponen pada pipa bulat dengan diameter (D) 25.4mm / 1 inch. Sehingga, diharapkan dengan mengetahui besarnya kerugian jatuh tekanan maka dapat digunakan sebagai referensi untuk menentukan jenis polimer yang digunakan untuk mengurangi hambatan (drag).

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Penulisan tugas akhir ini meliputi beberapa bab, yaitu:

BAB I : Bab ini membahas mengenai latar belakang permasalahan, tujuan penelitian, metode penelitian, batasan permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini, metode penulisan dalam hal ini bagaimana penulis mendapatkan informasi mengenai penelitian ini serta sistematika penulisan.

BAB II : Bab ini menjelaskan mengenai landasan teori, jenis-jenis fluida, jenis aliran dalam pipa, sifat-sifat fluida, dan persamaan umum mekanika fluida.

BAB III : Bab ini menjelaskan mengenai rancangan alat uji, peralatan-peralatan pendukung dalam pengujian, kondisi dalam pengujian serta prosedur pengujian dan pengambilan data.

BAB IV : Bab ini menjelaskan mengenai pengolahan data, menampilkan data penelitian, grafik yang didapat dari pengujian, hasil dari pengujian serta analisis dari hasil penelitian.

BAB V : Bab ini merupakan bab penutup, pada bab ini diberikan kesimpulan serta saran seandainya penelitian ini akan dilanjutkan suatu saat sehingga memperoleh hasil yang lebih akurat.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 DEFINISI FLUIDA

Secara singkat fluida didefinisikan sebagai benda yang mengalami perubahan bentuk apabila terkena gaya gesek yang bekerja terhadapnya. Sedangkan secara khusus didefinisikan sebagai zat yang mengalami deformasi secara kontinyu atau terus menerus saat zat tersebut selalu dipengaruhi oleh suatu tegangan geser walau sekecil apapun. Sebuah tegangan geser tersebut terjadi apabila terdapat gaya tangensial yang bekerja pada sebuah permukaan baik dalam keadaan diam atau dalam keadaan keseimbangan. Fluida tidak dapat menahan tegangan geser yang bekerja padanya sehingga membuat fluida mudah merubah bentuk tanpa pemisahan massa. Ketahanan fluida terhadap perubahan bentuk sangat kecil sehingga fluida mampu mengikuti bentuk ruang.

2.2 KLASIFIKASI FLUIDA

Fluida dapat diklasifikasikan menjadi beberapa bagian tetapi secara garis besar fluida dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian, yaitu Fluida Newtonian dan Fluida Non Newtonian yang memiliki sifat yang sangat berbeda. Berikut adalah penjelasannya :

2.1.1 Fluida Newtonian

Newton adalah orang yang pertama kali mempelajari sifat-sifat aliran dari cairan kuantitatif. Beliau menemukan bahwa makin besar viskositas suatu cairan, maka akan semakin besar pula gaya persatuan luas (*shearing stress*) yang diperlukan untuk menghasilkan *rate of shear tertentu*. Fluida newtonian adalah fluida yang memiliki kurva *shearing stress*, atau gaya yang diperlukan per satuan luas berbanding lurus dengan kecepatan aliran yang dihasilkan atau *rate of shear*. Contoh fluida newtonian adalah air, udara, ethanol, benzene, dll. Fluida Newtonian akan terus mengalir dan viskositasnya tidak berubah sekalipun ada gaya yang bekerja pada fluida, namun viskositas fluida

akan mengalami perubahan apabila terjadi perubahan temperature pada fluida. Fluida Newtonian adalah fluida yang pada dasarnya mengikuti hukum newton tentang aliran dengan persamaan :

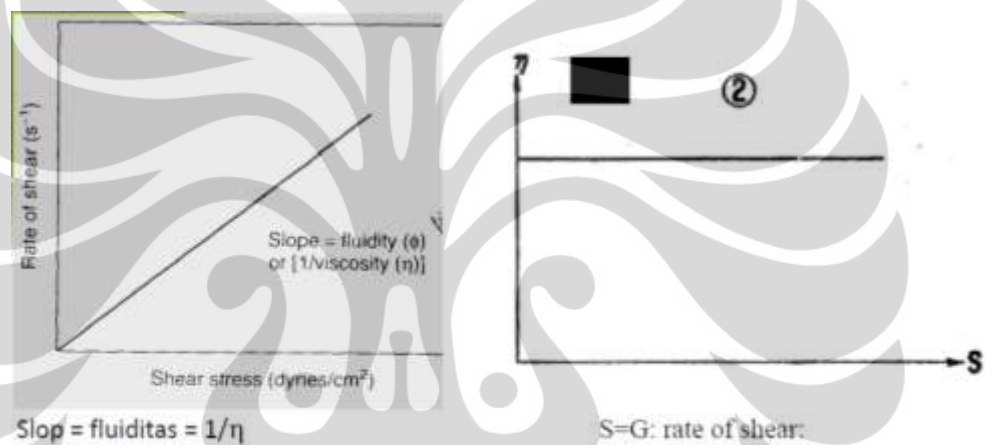
$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

τ = Tegangan geser pada fluida

μ = Viskositas fluida

$\frac{\partial u}{\partial y}$ = Gradient kecepatan fluida



Gambar 2.1 Hubungan antara shear stress – shear rate pada fluida newtonian

2.1.2 Fluida Non-Newtonian

Fluida Non-Newtonian adalah fluida yang tidak tahan terhadap tegangan geser (*shear stress*), gradient kecepatan (*shear rate*) dan temperature. Dengan kata lain kekentalan (*viscosity*) merupakan fungsi daripada waktu dan tidak mengikuti hukum aliran newton. Sebagai contoh dari fluida Non-Newtonian ini antara lain : cat, minyak pelumas, lumpur, darah, obat-obatan cair, bubur kertas dll.

Fluida Non-Newtonian memiliki beberapa model pendekatan, berikut adalah penjelasannya :

a) Bingham plastic

Bingham plastic adalah suatu model pendekatan fluida Non-Newtonian di mana viskositasnya sangat bergantung pada shear

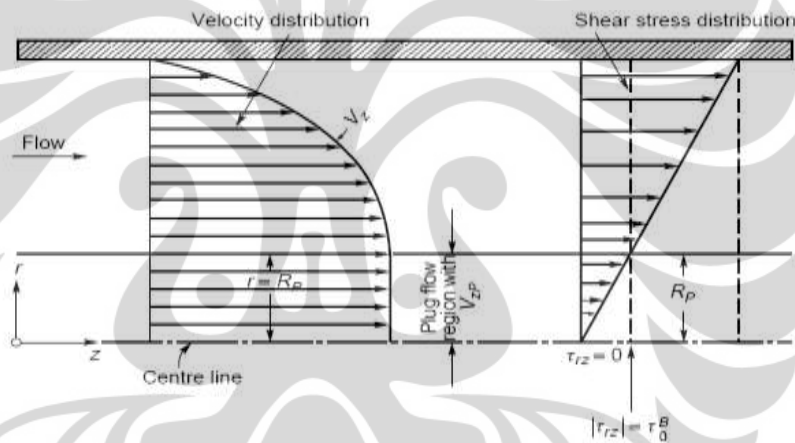
stress dari fluida tersebut sehingga semakin lama viskositasnya akan menjadi konstan. Kurva aliran plastis ini digambarkan tidak nelalui titik (0,0) tetapi memotong sumbu shearing stress. Cairan plastis tidak akan mengalir sampai shearing stress dicapai sebesar *yield value*. Pada harga stress di bawah harga *yield value*, zat bertindak sebagai bahan elastis (meregang lalu kembali ke keadaan semula, tidak mengalir). Persamaan untuk model ini adalah sebagai berikut :

$$\tau = \tau_y + \mu_p \frac{\partial u}{\partial y} \dots\dots\dots (2.2)$$

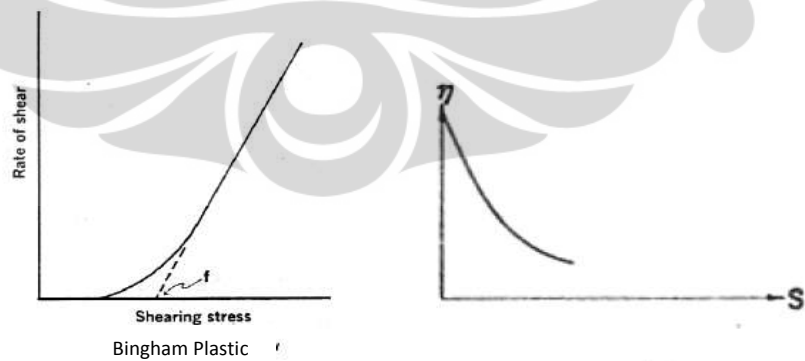
Dimana :

$\tau < \tau_y =$ zat padat

$\tau > \tau_y =$ fluida Newton



Gambar 2.2 Distribusi Kecepatan *bingham plastic fluid* pada pipa



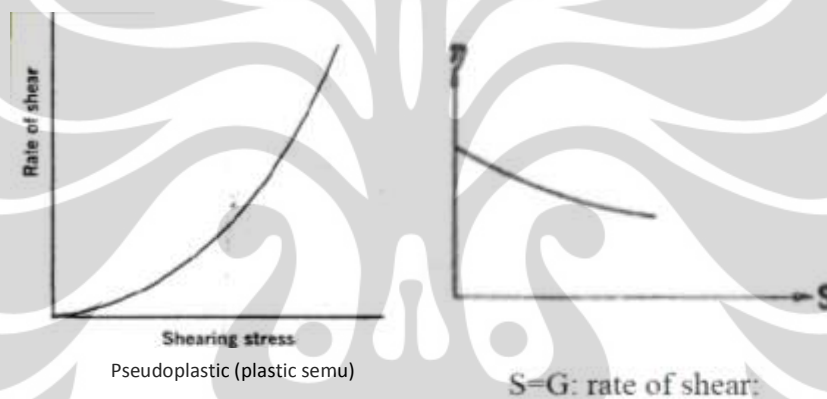
f : yield value

Gambar 2.3 Kurva hubungan antara shear stress – shear rate pada Bingham Plastic

b) Pseudoplastic (plastic semu)

Sistem Pseudoplastic disebut pula sebagai sistem *geser encer* (shear-thinning) karena dengan menaikkan tekanan geser, viskositas menjadi menurun. Pseudoplastic adalah suatu model pendekatan fluida Non-Newtonian di mana viskositas aliran pseudoplastis cenderung berkurang dan diikuti dengan meningkatnya rate of shear, contohnya adalah vinil acetate/vinylpyrrolidone co-polymer (PVP/PA). Kurva untuk aliran pseudoplastis dimulai dari (0,0), tidak memiliki *yield value* dan bukan suatu harga tunggal. Berikut adalah persamaan untuk model ini sebagai berikut :

$$\tau = K \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^n, n < 1 \dots \dots \dots (2.3)$$

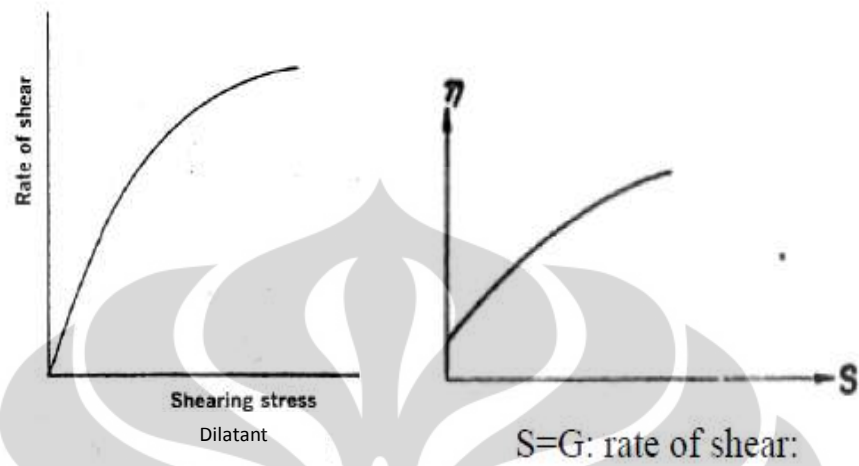


Gambar 2.4 Kurva hubungan antara shear stress – shear rate pada Pseudoplastic

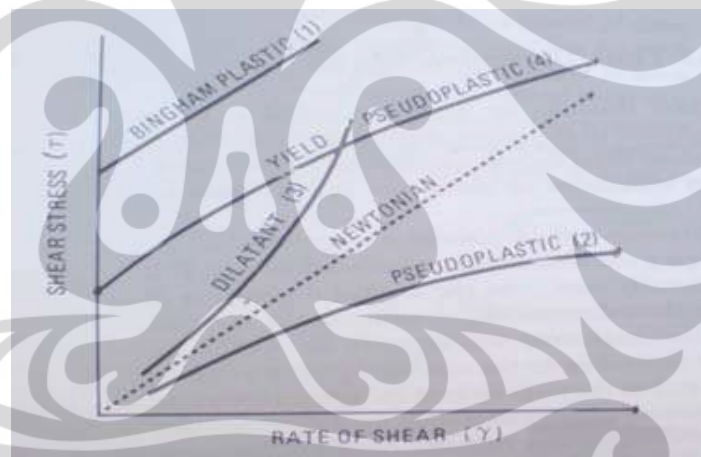
c) Dilatant

Istilah dilatan biasa dikaitkan dengan adanya peningkatan volume. Dilatan adalah suatu model pendekatan fluida Non-Newtonian dimana viskositas cenderung mengalami peningkatan diikuti dengan bertambahnya rate of shear, contohnya adalah pasta. Mekanisme dari aliran ini adalah pada saat shearing stress mengalami peningkatan, bulk dari sistem memuai sehingga meningkatkan volume kosong dan jumlah pembawa yang ada tidak cukup memenuhi ruang kosong tersebut. Oleh karena itu hambatan aliran meningkat karena partikel-partikel tersebut tidak dibasahi atau dilumasi dengan sempurna lagi oleh pembawa sehingga terbentuklah pasta. Persamaan untuk model ini adalah sebagai berikut :

$$\tau = K \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^n, n > 1 \dots \dots \dots (2.4)$$



Gambar 2.5 Kurva hubungan antara shear stress – shear rate pada Dilatan

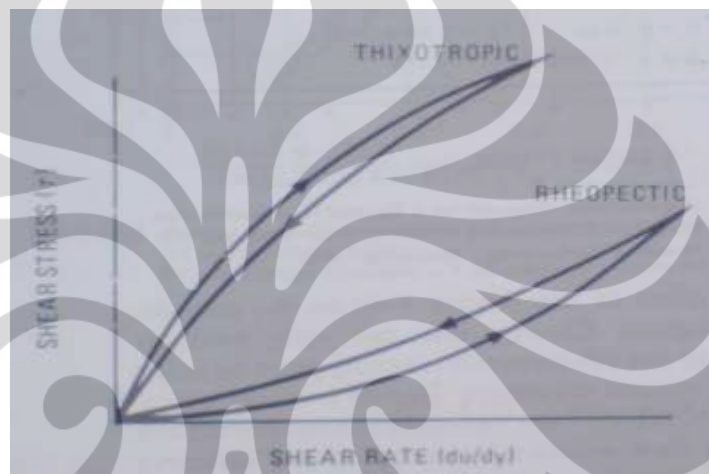


Gambar 2.6 Kurva aliran hubungan antara shear stress dan gradien kecepatan

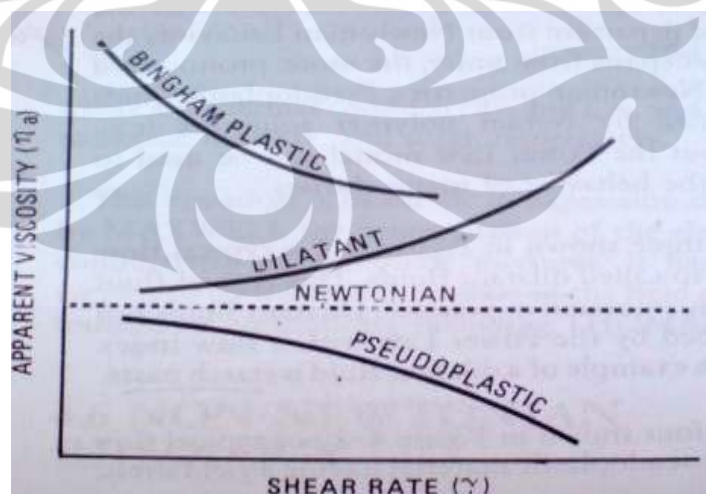
d) Penggolongan lain

- Thixotropic (shear thinning), fluida dimana viskositasnya berubah tergantung pada waktu dimana seolah-olah semakin lama semakin berkurang meskipun laju gesernya tetap. Apabila terdapat gaya yang bekerja pada fluida ini maka viskositasnya akan menurun, misalnya cat, campuran tanah liat (clay), dan berbagai jenis gel.

- Rheopectic (shear thickening), fluida dimana viskositasnya berubah tergantung pada waktu dimana seolah-olah semakin lama semakin besar, misalnya minyak pelumas dimana viskositasnya akan bertambah besar saat minyak pelumas tersebut mengalami guncangan. Dalam hal ini fluida rheopectic jika ada suatu gaya yang akan bekerja padanya maka viskositasnya akan bertambah.



Gambar 2.7 Kurva aliran hubungan antara shear stress dan shear rate pada thixotropic dan rheopectic



Gambar 2.8 Kurva aliran hubungan antara apparent viscosity dan gradien kecepatan

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

$$\tau = K \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^n = K (\gamma)^n \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

- K = Indeks konsistensi
- τ = Tegangan geser
- n = Indeks perilaku aliran (power law index)
- $\frac{\partial u}{\partial y} = \gamma$ = Laju aliran

Dengan :

$$\tau = \frac{D\Delta P}{4L} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\gamma = \frac{8V}{D} \dots\dots\dots (2.7)$$

2.1.3 Power Law Index

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

$$n = \frac{d \ln \frac{D\Delta P}{4L}}{d \ln \frac{8V}{D}}$$

atau

$$n = \frac{\text{Log} \frac{\tau_1}{\tau_2}}{\text{Log} \frac{\gamma_1}{\gamma_2}} \dots\dots\dots (2.8)$$

2.3 ALIRAN FLUIDA

Dalam suatu aliran yang melewati sistem atau instalasi pipa maka terjadi suatu hambatan aliran, hambatan tersebut disebabkan oleh faktor-faktor bentuk instalasi. Hambatan tersebut dapat menyebabkan turunnya energi dari fluida tersebut yang sering disebut dengan kerugian tinggi tekanan (head loss) atau penurunan tekanan (pressure drop) yang disebabkan oleh pengaruh gesekan fluida (friction losses) dan perubahan pola aliran terjadi karena fluida harus mengikuti bentuk dari dindingnya.

Berdasarkan pengujian yang dilakukan oleh HGL.Hagen (1839) penurunan tekanan berubah secara linier dengan kecepatan sampai kira-kira 0,3 m/s. namun, diatas sekitar 0,66 m/s penurunan tekanan hampir sebanding dengan kecepatan kuadrat kecepatan ($\Delta P \approx V^{1,75}$). Pada tahun 1883 Osborne Reynolds menunjukkan bahwa penurunan tekanan tergantung pada parameter : kerapatan (ρ), kecepatan aliran (V), diameter (D), dan viscositas absolute (μ) yang selanjutnya dikenal dengan bilangan Reynolds, penurunan tekanan merupakan fungsi dari faktor gesekan (λ) dan kekerasan relative dari dinding pada (ε/D) [4], jadi :

$$\lambda = f\left(\text{Re}, \frac{\varepsilon}{D}\right) \dots \dots \dots (2.9)$$

Menurut Henry Darcy (1857) yang melakukan eksperimen aliran dalam pipa menyatakan kekerasan mempunyai efek sehingga didapatkan faktor gesekan darcy (λ) atau disebut dengan formulasi Darcy-Weisbach sebagai berikut :

$$hf = \frac{\lambda L}{D(V^2 / 2g)} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dari persamaan di atas didapat beberapa bentuk fungsi dari (λ) atau (f). Persamaan fanning umumnya digunakan untuk menghitung faktor gesekan dimana zat kimia penyusunnya lebih diperhatikan (untuk fluida lebih dari satu phase). Nilai faktor gesekan dapat dikonversi ke formula Darcy menjadi sebagai berikut :

$$\left[f_{Darcy} = 4 \times f_{fanning} \right] \dots \dots \dots (2.11)$$

Pada pola aliran dalam pipa horizontal terdapat efek gravitasi dimana fluida yang lebih berat akan berada dibagian bawah dan yang lebih ringan berada di atas, hal ini dimungkinkan karena perbedaan berat jenis dari fluida tersebut. Bentuk lain dari pola ini dapat berubah karena efek ini dimana aliran akan terbagi menjadi dua lapisan.

2.4 SIFAT-SIFAT FLUIDA

Ada beberapa sifat fluida yang perlu diketahui, antara lain :

2.4.1 Density

Density adalah suatu ukuran dari konsentrasi massa dan dinyatakan dalam bentuk massa tiap satuan volume. Oleh karena temperatur dan tekanan mempunyai pengaruh (walaupun sedikit) maka kerapatan cairan dapat didefinisikan sebagai : *massa tiap satuan volume pada suatu temperatur dan tekanan tertentu*. Semua fluida memiliki sifat ini. Sifat ini terbagi menjadi tiga bentuk, yaitu :

2.4.1.1 Densitas massa

Densitas massa adalah perbandingan jumlah massa dan jumlah volume dengan persamaan sebagai berikut :

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana m adalah massa dan v adalah volume dengan unit density adalah kg/m^3 dan dengan dimensi ML^{-3} dimana standar tekanan $P = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ dan temperature $T = 288.15 \text{ K}$, misalnya ρ air = 1000 kg/m^3 dan ρ minyak pelumas = 800 kg/m^3

2.4.1.2 Berat spesifik

Berat spesifik adalah besarnya gaya grafitasi yang bekerja pada suatu massa dari suatu satuan volume, oleh karena itu berat jenis dapat didefinisikan sebagai : berat tiap satuan volume dengan persamaan sebagai berikut :

$$\gamma = \rho g \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana unit berat spesifik adalah N/m^3 dan dengan dimensi $\text{ML}^{-3}\text{T}^{-2}$ dengan nilai γ air adalah $9.81 \times 10^3 \text{ N/m}^3$.

2.4.2 Viskositas

Viskositas (kekentalan) adalah sifat dari zat cair untuk melawan tegangan geser pada waktu bergerak atau mengalir. Kekentalan disebabkan adanya kohesi antar partikel zat cair sehingga menyebabkan adanya tegangan geser antar molekul yang bergerak. Pada zat cair yang ideal tidak memiliki kekentalan (viskositas).

Pada dasarnya viskositas disebabkan karena kohesi dan pertukaran momentum molekuler diantara lapisan layer fluida pada saat fluida tersebut mengalir. Viskositas fluida ini dipengaruhi oleh banyak hal, misalnya temperature, konsentrasi larutan, bentuk partikel, dll. Viskositas dinyatakan dalam dua bentuk, antara lain :

a) Viskositas dinamik

Viskositas dinamik adalah perbandingan tegangan geser dengan laju perubahannya, besar nilai viskositas dinamik tergantung dari faktor seperti yang dijelaskan sebelumnya. Untuk viskositas dinamik air pada temperature lingkungan $T = 27^{\circ}\text{C}$ adalah $8.6 \times 10^{-4} \text{ kg/ms}$.

b) Viskositas kinematik

Viskositas kinematik adalah perbandingan viskositas dinamik terhadap density (kerapatan) massa jenis dari fluida tersebut. Viskositas ini terdapat dalam beberapa penerapan antara lain dalam bilangan Reynolds yang merupakan bilangan tak berdimensi. Nilai viskositas kinematik air pada temperature standar $T = 27^{\circ}\text{C}$ adalah $8.7 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$.

Pada fluida Non-Newtonian viskositasnya ditentukan oleh Apperant Viscosity (kekentalan sesaat) karena fluida Non-Newtonian tersebut memiliki suatu sifat histerisis, hal ini disebabkan sulitnya mencari viskositas aslinya.

2.4.3 Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds adalah bilangan yang tak berdimensi yang menyatakan perbandingan gaya-gaya inersia terhadap gaya-gaya kekentalan (viskos) pada pipa bulat dengan aliran penuh. Bilangan Reynolds digunakan untuk menentukan sifat pokok aliran, apakah aliran tersebut laminar, transisi atau turbulen. Bentuk persamaannya adalah sebagai berikut :

$$Re = \frac{Vd\rho}{\mu} = \frac{Vd}{\nu} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana :

V = Kecepatan rata-rata aliran [m/s]

d = Diameter dalam pipa [m]

ν = viskositas kinematik fluida [m^2/s]

μ = viskositas dinamik fluida [kg/ms]

Aliran dalam pipa yang berbentuk lingkaran terbagi menjadi dua bagian, yaitu aliran laminar dan aliran turbulent. Karakteristik kedua aliran tersebut berbeda dari segi kecepatan, debit dan massa jenisnya.

Aliran laminar adalah aliran dimana tidak terjadinya pencampuran antara satu layer aliran dengan layer yang lain pada suatu fluida saat fluida tersebut dialirkan. Oleh karena itu, kecepatan aliran ini lambat sehingga kerugian berbanding lurus dengan kecepatan rata-rata. Sedangkan aliran turbulent adalah aliran dimana layer-layer batas aliran telah bercampur saat fluida tersebut mengalir. Kecepatan aliran ini lebih tinggi dari aliran laminar dimana kerugian yang ditimbulkan sebanding dengan kuadrat kecepatan.

Bilangan Reynolds pada fluida Non-Newtonian adalah regenratif Reynolds (Re^*) hal ini disebabkan karena nilai viskositas dari fluida ini merupakan apparent viskosity atau kekentalan sesaatnya.

2.5 PERSAMAAN FLUIDA

2.5.1 Laju Aliran Volume

Laju aliran volume disebut juga debit aliran (Q) yaitu jumlah volume aliran per satuan waktu. Debit aliran dapat dituliskan pada persamaan sebagai berikut :

$$Q = A V \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana :

V = Kecepatan aliran [m/s]

A = Luas penampang pipa [m]

Q = Debit aliran [m^2/s]

μ = viskositas dinamik fluida [kg/ms]

Selain persamaan di atas dapat juga menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q = \frac{v}{t} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana :

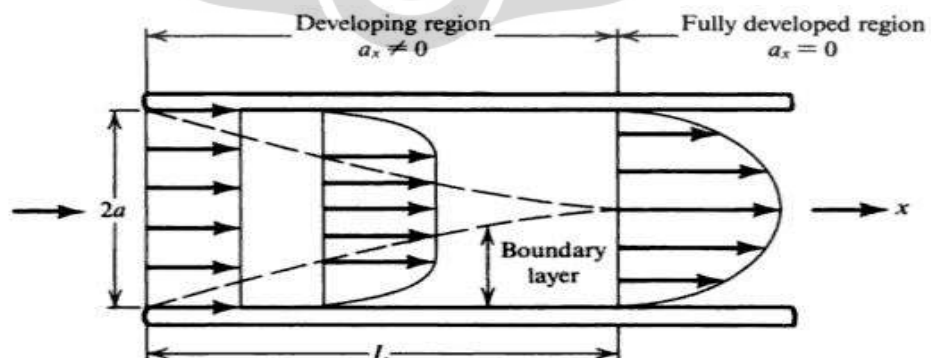
v = Volume aliran [m^3]

Q = Debit aliran [m^2/s]

t = waktu aliran [s]

2.5.2 Distribusi Kecepatan

Distribusi kecepatan merupakan distribusi aliran dalam pipa terhadap jarak aliran terhadap permukaan pipa. Distribusi aliran ini berbeda antara aliran laminar dan aliran turbulen. Distribusi aliran digunakan untuk melihat profol aliran kecepatan dalam pipa.



Gambar 2.9 Distribusi Kecepatan aliran laminar dan turbulen pada pipa bulat

Universitas Indonesia

Untuk aliran laminar maka kecepatan berlaku :

$$V = \frac{1}{2}vc \dots\dots\dots (2.17)$$

$$v = vc \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) = vc \left(1 - \frac{(R-y)^2}{R^2}\right) \dots\dots\dots (2.18)$$

Di mana :

V = kecepatan rata-rata aliran [m/s]

vc = kecepatan aliran pada titik pusat pipa [m/s]

v = kecepatan aliran dalam jarak r atau y [m/s]

r = kecepatan aliran v dari titik pusat diameter dalam pipa [m]

R = jari-jari pipa [m]

Untuk aliran turbulen, maka berlaku persamaan :

$$\frac{V}{vc} = \frac{49}{60} \dots\dots\dots (2.19)$$

$$\frac{V}{vc} = \left(\frac{y}{R}\right)^m \dots\dots\dots (2.20)$$

Di mana :

V = kecepatan rata-rata aliran [m/s]

vc = kecepatan aliran pada titik pusat pipa [m/s]

v = kecepatan aliran dalam jarak r atau y [m/s]

r = kecepatan aliran v dari titik pusat diameter dalam pipa [m]

R = jari-jari pipa [m]

m = $\frac{1}{7}$ untuk Re lebih dari 10^5

2.6 DRAG REDUCTION

Drag reduction merupakan pengurangan hambatan pada suatu aliran baik aliran dalam pipa maupun aliran luar pipa. Pengurangan hambatan ini juga dapat di definisikan sebagai pengurangan nilai koefisien gesek untuk aliran dalam pipa ataupun pengurangan koefisien bentuk aliran luar pipa. Ada dua metode yang di kembangkan guna pengurangan hambatan (drag reduction) dan harus diteliti yakni kontrol aktif dan kontrol pasif kontrol aktif adalah penggunaan atau penambahan energi luar dalam bentuk energi mekanik, listrik

Universitas Indonesia

maupun energi panas. Sementara itu, kontrol pasif yaitu dengan memodifikasi bentuk ataupun geometri aliran pipa.

Kita dapat menentukan besarnya pengurangan hambatan yang terjadi dengan persamaan sebagai berikut

$$DR(\%) = \left[\frac{f_W - f_s}{f_W} \right] \times 100\% \dots\dots\dots (2.21)$$

Di mana :

DR = Drag reduction

f_s = Friction sample

f_W = Friction water

2.7 HUKUM DINDING

Dalam dinamika fluida, hukum dinding adalah keadaan di mana kecepatan rata-rata dari aliran turbulen pada titik tertentu sebanding dengan logaritma dari jarak titik ke dinding pipa, atau batas dari wilayah yang dialiri fluida. Hal ini hanya berlaku untuk bagian dari aliran yang dekat dengan dinding (<20% dari tinggi aliran). Hukum Dinding pertama kali dinyatakan oleh Theodore Von Karman pada tahun 1930. Persamaan dari hukum dinding adalah sebagai berikut :

$$u^+ = \frac{1}{k} \ln y^+ + C^+ \dots\dots\dots (2.22)$$

Dengan nilai

$$y^+ = \frac{U_\tau y}{\vartheta} \dots\dots\dots (2.23)$$

$$u_\tau = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \dots\dots\dots (2.24)$$

$$u^+ = \frac{u}{u_\tau} \dots\dots\dots (2.25)$$

$$u = \sqrt{2g\Delta H} \dots\dots\dots (2.26)$$

Di mana :

ρ = massa jenis

ϑ = viskositas kinematis (m²/s)

u_τ = friction velocity

τ_w = shear stress

u^+ = kecepatan dimensi

y^+ = koordinat dinding

2.8 INSTALASI PIPA DI KAPAL (*Onboard Piping installation*)

Pipa adalah suatu batang silindar berongga yang dapat berfungsi untuk dilalui atau mengalirkan zat cair, uap, gas ataupun zat padat yang dapat dialirkan yang berjenis serbuk/tepung. Untuk pembuatan pipa baja dapat dibuat dengan beberapa metoda antara lain seamless pipe, butt welded pipe dan spiral welded pipe. Pembuatan pipa disesuaikan dengan kebutuhan dan dibedakan dari batas kekuatan tekanan, ketebalan dinding pipa, temperatur zat yang mengalir, jenis material berkaitan dengan korosi dan kekuatan pipa tersebut.

Untuk instalasi pipa dikapal tentu pipa-pipa tersebut tidak hanya pipa lurus melainkan terdapat belokan, cabang, mengecil, naik dan turun. Panjang dari pipa pun beraneka ragam ada yang penjang ataupun pendek. Berkaitan dengan hal ini maka kita akan mengenal beberapa jenis sambungan pipa seperti sambungan ulir, sambungan shock, sambungan dengan las (butt welded) dan sambungan dengan menggunakan flange. Selain itu dikenal juga istilah belokan atau ellbow, cabang T atau tee, cabang "Y" dan ada juga pipa yang diameternya mengecil disebut reducer. Dikarenakan banyaknya belokan tersebut oleh karena itu dibutuhkan sesuatu yang dapat mengurangi penggunaan energi pada pompa instalasi. Dalam eksperimen kali ini menggunakan lendir belut sebagai additive.

2.8.1 SISTIM INSTALASI PIPA AIR TAWAR / *FRESH WATER PIPING SYSTEM*

Sesuai dengan fungsinya, instalasi pipa air Tawar/*Fresh water* digunakan untuk mengalirkan air Tawar dari satu tanki ke sistim yang dibutuhkan, dari luar ke dalam kapal pada saat pengisian Air Tawar, dari tanki ke katup2 didaerah ruang akomodasi untuk kebutuhan orang dikapal dan lain sebagainya. Pengaliran air Tawar menggunakan sarana pompa, dapat berupa pompa hisap atau pompa tekan, pompa ini disebut Pompa air

Universitas Indonesia

Tawar/*Fresh water pump*. Selain pompa pengaturan aliran instalasi air Tawar dikontrol dengan menggunakan sistim katub/*valve*. Pompa air Tawar pada umumnya menggunakan jenis pompa *centrifugal* disesuaikan dengan kebutuhannya dan dilengkapi sistim Hydrophore, sehingga air Tawar yang mengalir keluar mempunyai tekanan untuk kebutuhan diseluruh ruangan di geladak.

Air Tawar masuk kedalam kapal dengan melalui sistim pengisian melewati instalasi pipa pengisian Air Tawar dan masuk kedalam tanki Air Tawar/*Fresh Water tank* , pipa pengisian Air Tawar umumnya terletak digeladak yang menembus bagian bagian geladak kapal dan masuk ke Tanki Air Tawar. Pipa-pipa tersebut dilengkapi dengan katub/*valve* yang terbuat dari bahan stainless steel. Pengaturan kebutuhan air Tawar diatur dengan menggunakan manifold dan beberapa katub untuk penyalurannya yang dapat dikontrol di kamar mesin. Air Tawar antara lain dibutuhkan untuk sistim instalasi ke kamar mandi dan washtafel, sistim ke Dapur , dan instalasi ke Kamar mesin.

2.9 BELUT SEBAGAI ADDITIVE

Belut merupakan jenis ikan konsumsi air tawar dengan bentuk tubuh bulat memanjang yang hanya memiliki sirip punggung dan tubuhnya licin. Belut suka memakan anak-anak ikan yang masih kecil. Biasanya hidup di sawah-sawah, di rawa-rawa/lumpur dan di kali-kali kecil. Di Indonesia sejak tahun 1979, belut mulai dikenal dan digemari, hingga saat ini belut banyak dibudidayakan dan menjadi salah satu komoditas ekspor. Pemilihan belut sebagai biopolymer dalam pengurangan kerugian jatuh tekanan pipa dikarenakan mudahnya ditemukan dan dibudidaya. Penggunaan ikan lain juga dapat dilakukan. Hanya saja karena melihat bentuk dan juga lendir yang dihasilkan cukup banyak dan mudah untuk diambil maka digunakanlah belut sebagai biopolymer.

Jika diklassifikasikan belut termasuk ke dalam Kelas Pisces, Subkelas Teleostei, Ordo Synbranchoidae, Famili Synbranchidae, Genus Synbranchus, Species Synbranchus bengalensis Mc clell (belut rawa), Monopterus albus Zuiew (belut sawah), dan Macrotema caligans Cant (belut kali/laut). Jadi

Universitas Indonesia

dapat dikatakan bahwa jenis belut ada 3 (tiga) macam yaitu belut rawa, belut sawah dan belut kali/laut. Namun demikian, jenis belut yang sering dijumpai adalah jenis belut sawah.

Phylum			Class		Order
Phylum Chordata, the chordate animals	Group Chraniata, the vertebrates. All animals with craniums, vertebrae, brains.	Gnathostomata All animals with jaws and paired appendages	Superclass Pisces	Teleostei	Isospondyli Fins without spiny rays
			FISH Water-breathing, swimming vertebrate animals, with paired fins, gills, scales. Class Osteichthyes	The true fish, with vertebrae and skeletons of true bones rather than cartilage. High on scale of evolution.	Siluriformes
					Synbranchioidei

Family	Species	English Name	Habitat
Salmonidae Salmonlike fish	Salmo gairdnerii, Salmo gairnerii lundy, Salmo gairdnerii kamloops, Salmo trutta, Salmo aguabonita	Speckled rainbow trout Lake Lundy rainbow trout Kamloops rainbow trout	fresh water streams and lakes
Clariidae		Cat fish	fresh water streams and lakes
Synbranchidae	Synbranchus bengalensis Mc clell (belut rawa) Monopterus albus Zuiewu (belut sawah) Macrotema caligans Cant (belut kali/laut)	Eel	fresh water streams and lakes

Max. Friction Reduction of Slime Compared With Water	Friction Reduction at Low Slime Concentration	Solubility of Slime in Water	Reluctance of Slime
61.8% at 50% cone, in water	30.1% at 25% cone, in water	very good	2
20.5% at 50% cone, in water	5.8% at 25% cone, in water	very good	1
62% at 50% cone, in water	46.7% at 20% cone, in water	very good	2
63.2% at 25% cone, in water	37.8% at 10% cone, in water	very good	2
		very good	
		very good	
		very good	
		very good	

Gambar 2.10. Tabel Data Ikan

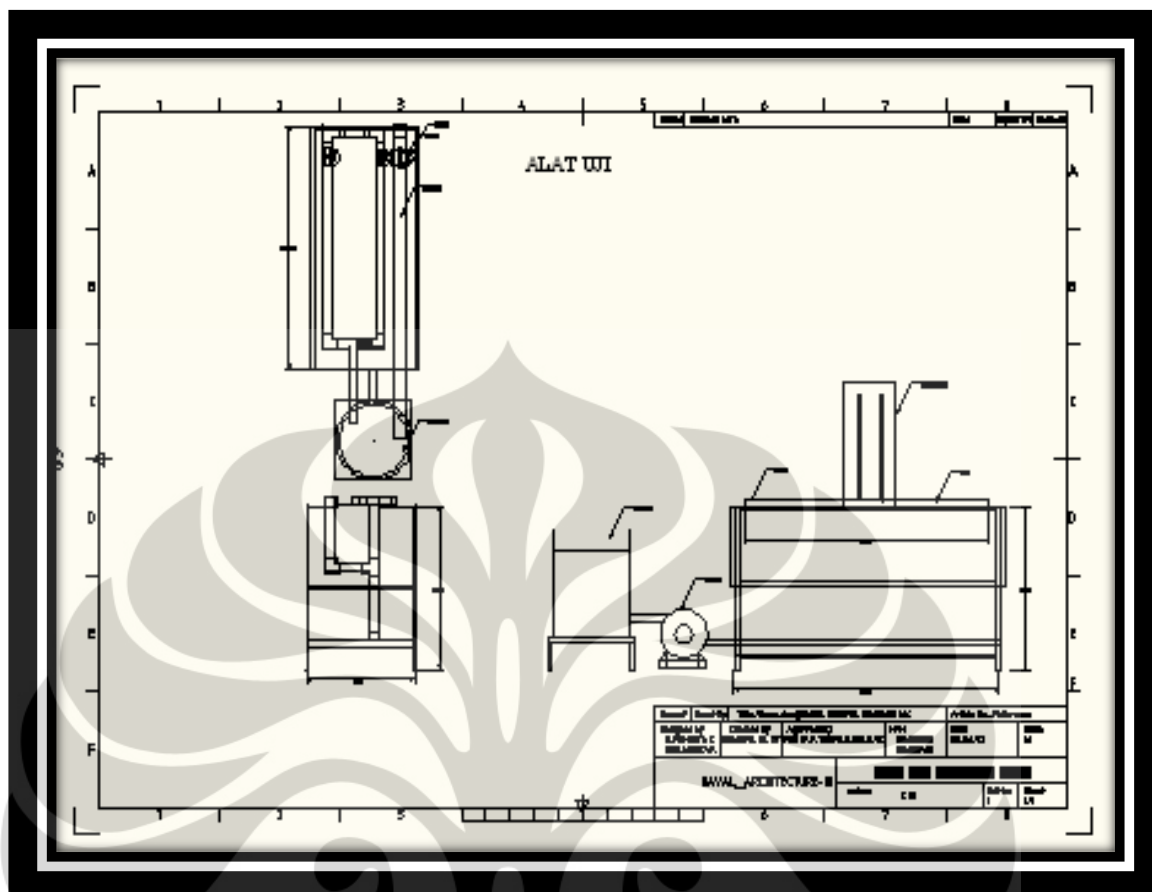
BAB III

DESKRIPSI ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN

3.1 RANCANGAN ALAT UJI

Pada penelitian ini alat uji dirancang sendiri berdasarkan dasar teori dan pengalaman dari dosen pembimbing. Alat uji ini dirancang sebagai alat uji dengan skala laboratorium, yaitu penggunaan alat yang hanya ditunjukkan untuk penelitian dan pengambilan data dari sampel fluida yang akan dilakukan penelitian.

Rancangan alat uji seperti terlihat pada gambar 3.1 di mana alat uji merupakan pipa akrilik dengan panjang pipa 1.25 m, dengan diameter dalam 1 inch. Pipa ini dihubungkan dengan pompa, dimana pompa digunakan untuk menyedot air yang ada didalam tangki untuk dialirkan dalam pipa bulat akrilik. Kemudian dari penampungan ini akan ada satu saluran keluar dimana fluida akan mengalir melalui pipa uji setelah memperoleh tekanan dari pompa dan perbedaan head (Δh) akan terbaca pada manometer. Selain itu terdapat katup yang mengontrol berapa besarnya aliran yang masuk melalui pipa penyalur fluida yang di pompa masuk ke tanki. Aliran yang dipompa akan masuk ke tanki dan menampung sementara fluida yang kemudian akan di alirkan untuk uji coba . katup tersebut pun guna mengontrol jumlah fluida yang tertampung di tanki. Bila fluida telah mencapai jumlah yang mencukupi maka pengontrolan fluida yang masuk ke tanki melalui katup harus lebih diperhatikan guna mengatur tekanan yang di timbulkan oleh aliran tersebut yang pasti mempengaruhi distribusi aliran fluida yang akan di keluarkan nanti. Katup berikutnya merupakan katup pengontrol fluida yang keluar dengan sudut kelengkungan tertentu.



Gambar 3.1 Instalasi alat uji

3.2 PERALATAN PENDUKUNG

Pada alat uji ini terdapat beberapa komponen yang digunakan antara lain :

3.2.1 Pompa Air

Pompa ini digunakan untuk mensirkulasikan campuran lendir belut dan fluida alir murni dari tangki penampungan kedalam test section pada pengujian. Oleh karena itu, pertimbangan spesifikasi pompa didasarkan pada aliran campuran lendir belut dan fluida air murni yang dibutuhkan dalam proses pengujian. Adapun spesifikasi dari pompa sebagai berikut :

- Kapasitas maksimum 42 liter / menit
- Head hisap 9 meter
- Head keluaran 24 meter
- Total head 33 meter
- Input – Output 1 inch x 1 inch
- Daya 125 watt



Gambar 3.2. Pompa Air

3.2.2 Manometer

Manometer berfungsi untuk mengukur perbedaan tekanan dalam sebuah pipa jika terdapat fluida yang mengalir di dalamnya.



Gambar 3.3. Manometer

3.2.3 Valve / Katup

Valve atau katup ini digunakan untuk mengatur jumlah debit yang mengalir. Jenis valve yang digunakan adalah ball valve. Tujuannya adalah

agar dapat diatur variasi bukaan yang sangat banyak, pada valve ini terdapat busur derajat yang fungsinya untuk menentukan berapa derajat pembukaan dari valve.



Gambar 3.4. Valve dengan busur derajat

3.2.4 Tangki penampung air

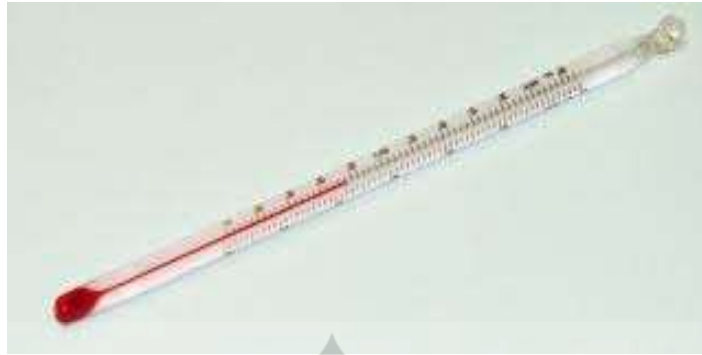
Pada penelitian ini tangki berfungsi sebagai wadah untuk menghisap dan menampung fluida yang akan diuji. Fluida yang mengalir melalui pipa saluran akan kembali ke tangki melalui keluaran pipa.



Gambar 3.5. Tangki Penampung Fluida

3.2.5 Termometer Air Raksa

Termometer digunakan sebagai alat ukur temperatur fluida yang kan dialirkan dalam alat uji. Adapun pada penelitian ini digunakan termometer air raksa.



Gambar 3.6. Termometer Air Raksa

3.2.6 Gelas Ukur

Gelas ukur digunakan sebagai wadah untuk mengukur volume dan berat fluida yang keluar dari pipa uji dalam waktu tertentu.



Gambar 3.7. Gelas Ukur

3.2.7 Timbangan Digital

Timbangan digunakan untuk mengukur massa dari fluida dan lendir yang akan ditampung di gelas ukur. Timbangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah timbangan digital.



Gambar 3.8. Timbangan Digital

3.2.8 Stop Watch

Stop watch digunakan untuk menghitung berapa waktu yang diperlukan oleh sebuah fluida untuk memenuhi suatu volume tertentu.



Gambar 3.9. Stopwatch

3.2.9 Pipa Penyalur

Pipa yang digunakan terdiri dari pipa PVC dengan ukuran $\frac{1}{2}$ inch. Dimana pipa yang digunakan dan di instalasi sesuai dengan gambar rancangan yang telah disetujui oleh dosen pembimbing.



Gambar 3.10. Pipa Peraliran

3.2.10 Pitot Tube



Gambar 3.11. Pitot Tube

3.3 KONDISI DALAM PENGUJIAN

Fluida yang digunakan merupakan campuran lendir belut dan air murni. Adapun konsentrasi dari campuran tersebut adalah 250 ppm, 300 ppm, 400 ppm dan 500 ppm. Pada saat pompa mulai dihidupkan semua katup dibuka penuh, tujuannya untuk menghindari tekanan yang terlalu tinggi

menuju ke pipa uji, jika tekanan ini masuk ke pipa uji kemungkinan akan terjadi kerusakan pada pipa uji.

3.4 PROSEDUR PENGAMBILAN DATA

Proses pengambilan data dilakukan saat aliran sudah siap pada pembukaan penuh katup dan pada manometer sudah tidak ada lagi gelembung serta ketinggian dari head yang terbaca sudah stabil. Konsentrasi penambahan lendir belut ini dilakukan dalam 4 variasi.

Percobaan pertama dilakukan terhadap fluida air murni tanpa penambahan lendir belut guna sebagai perbandingan dasar antara sampel fluida murni dengan penambahan konsentrasi lendir belut. Percobaan kedua dilakukan dengan pencampuran fluida air murni dan lendir belut sebanyak 250 ppm begitu juga berikutnya hingga pencampuran konsentrasi 300 ppm, 400 ppm dan 500 ppm. Adapun tujuan dari perbedaan penambahan konsentrasi ini adalah untuk melihat seberapa signifikannya pengaruh lendir belut sebagai agent dalam fluida sebagai accelerator aliran dan yang harus di monitoring juga pada saat percobaan dilakukan adalah temperatur fluida tersebut.

Percobaan dilakukan dengan melakukan variasi kecepatan aliran yang diperoleh dengan cara mengatur penutupan pada katup utama yang berada pada ujung pipa akrilik. Adapun variasi bukaan tutup katup dilakukan mulai dari penutupan 90° (valve bukaan penuh) hingga sampai dengan 30° (valve hampir menutup) dengan variasi bukaan valve sebesar 10° . Untuk mendapatkan ketepatan buka tutup katup dipasang busur derajat dan jarum penunjuk pada katup. Dibawah 30° tidak dilakukan karena dibawah 30° perbedaan tekanan dalam manometer sudah tidak dapat terbaca.

3.5 TAHAPAN PENGUJIAN

Tahap pengujian dalam pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. Memasukkan fluida uji (fluida air murni) ke dalam bak penampungan dan memastikan seberapa besar volume fluida tersebut.

2. Memasang termometer pada tangki untuk mengetahui temperatur fluida.
3. Mencampurkan polimer lendir belut 250 ppm, 300 ppm, 400 ppm dan 500 ppm. Pastikan campuran polimer sudah diaduk dan tercampur merata.
4. Menghidupkan pompa untuk menekan fluida uji agar mengalir ke dalam pipa uji.
5. Membaca perbedaan ketinggian pada manometer pertama dan manometer kedua, kemudian pada pembuangan di pipa uji diukur debit alirannya dengan cara menampung fluida yang mengalir keluar dari pipa uji menggunakan gelas ukur dalam volume tertentu dalam satuan waktu. Kemudian menimbang berat fluida tadi untuk mengetahui massa jenis dari fluida tersebut.
6. Pengujian dilakukan berulang-ulang untuk mendapatkan data yang benar dan berusaha agar penyimpangan sekecil mungkin.
7. Melakukan pengujian yang sama pada variasi kecepatan alir.

BAB IV

PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA DATA

4.1 PERHITUNGAN DATA

Dari percobaan yang telah dilakukan, didapatkan data mentah berupa perbedaan ketinggian manometer (ΔH), volume fluida (v), waktu yang diperlukan untuk mencapai volume tertentu, massa jenis dari fluida (ρ), dan temperatur fluida (T). Dari perbedaan ketinggian nantinya didapat perbedaan tekanan (Δp), dari volume dan waktu nantinya didapat debit aliran dan kecepatan aliran fluida, dari massa yang ditimbang didapat massa jenis fluida. Dari temperatur didapat viskositas dari fluida tersebut. Dari diameter dan panjang pipa serta perbedaan tekanan didapat shear stress dan shear rate, dari nilai tegangan geser (*shear stress*) dan laju aliran dari fluida tersebut maka power law indeks (n) dapat diketahui.

Dari data-data yang ada nantinya digunakan untuk menghitung friksi yang terjadi dan Bilangan Reynolds. Percobaan yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan variabel tetap dan variabel bebas. Variabel tetap yang digunakan adalah lendir lele dan variasi konsentrasi campuran fluida dan lendir belut (250 ppm, 300 ppm, 400 ppm dan 500 ppm). Sedangkan untuk variabel bebas adalah variasi bukaan katup (90° , 80° , 70° , 60° , 50° , 40° dan 30°) untuk tiap konsentrasi fluida.

4.1.1 Perhitungan Data Menggunakan Air Murni

4.1.1.1 Perhitungan Perbedaan Tekanan untuk Air Murni pada $T = 27^{\circ}\text{C}$

Perhitungan perbedaan tekanan (Δp) dari data perbedaan ketinggian (ΔH) fluida pada manometer. Untuk ketinggian manometer didapat dalam satuan m.

Table 4.1 Data Perbedaan Ketinggian Manometer (ΔH) Untuk Air Murni

sudut (θ)	Beda Ketinggian (Δh)
90	0,078
80	0,112
70	0,165
60	0,183

50	0,192
40	0,195
30	0,199

Dengan :

ΔH = beda ketinggian manometer

sudut (θ) = derajat bukaan katup

Dari perbedaan ketinggian (ΔH) maka kita dapat mencari perbedaan tekanan dengan persamaan $\Delta p = \rho \cdot g \cdot \Delta H$, di mana :

$\rho = 996,52 \text{ kg/m}^3$ pada $T = 27^\circ\text{C}$

$g = 9.8 \text{ m/s}^2$

Tabel 4.2 Data Perbedaan Tekanan (Δp) Untuk Air Murni

sudut (θ)	Beda Ketinggian (Δh)	ΔP
90	0,078	761.7399
80	0,112	1093.78
70	0,165	1611.373
60	0,183	1787.159
50	0,192	1875.052
40	0,195	1904.35
30	0,199	1943.413

4.1.1.2 Perhitungan Debit (Q) dan Kecepatan Aliran Fluida

Kami mendapatkan debit fluida dari volume fluida dan waktu yang diperlukan fluida untuk mencapai volume tertentu. Waktu yang didapat dengan menggunakan stopwatch dalam satuan (s), dan volume yang didapat dari percobaan satuan (m^3).

Tabel 4.3 Data Debit Aliran (Q) Untuk Air Murni

sudut (θ)	waktu (t) [s]	volume (m^3)	Debit (Q) [m^3/s]
90	11,73	0,001	0,000085251
80	6,98	0,001	0,000143266
70	4,79	0,001	0,000208768

Universitas Indonesia

60	3,86	0,001	0,000259067
50	3,67	0,001	0,00027248
40	3,28	0,001	0,000304878
30	3,21	0,001	0,000311526

Dengan :

t = waktu (s)

v = volume (m³)

Debit (Q) didapat dengan menggunakan persamaan $Q = \frac{v}{t}$. Untuk mencari kecepatan aliran fluida (V) dengan menggunakan persamaan $v = \frac{Q}{A}$ didapat setelah mendapatkan debit (Q) aliran.

Tabel 4.4 Data Kecepatan Aliran (V) Untuk Air Murni

sudut (θ)	Debit (Q) [m ³ /s]	Luas Permukaan (A) [m ²]	Kecepatan (v) [Q/A]
90	0,0000852515	0,000506451	0,168331308
80	0,000143266	0,000506451	0,282883416
70	0,000208768	0,000506451	0,412218422
60	0,000259067	0,000506451	0,511535296
50	0,00027248	0,000506451	0,53801805
40	0,000304878	0,000506451	0,601989708
30	0,000311526	0,000506451	0,615117209

Dengan :

D in = Diameter dalam pipa (m) yang digunakan adalah 2,54mm

A = Luas penampang pipa (m²)

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

4.1.1.3 Perhitungan Tegangan dan Regangan

Nilai tegangan geser (τ) didapat dari $\tau = \frac{D\Delta P}{4L}$, sedangkan laju aliran ($\frac{\partial u}{\partial y} = (y)$) yang didapat dari $\frac{\partial u}{\partial y} (y) = \frac{8V}{D}$. Dari nilai tegangan dan regangan tersebut dapat diketahui nilai indeks Perilaku Aliran / Power Law Indeks didapat

dengan menggunakan persamaan $n = \frac{\log \tau}{\log y}$. Dengan nilai n yang dihasilkan pada percobaan berkisar 0.71.

Tabel 4.5 Nilai Tegangan dan Regangan

sudut (θ)	τ	γ
90	3.869639	106.03547
80	5.556404	178.19428
70	8.185774	259.66515
60	9.078768	322.22696
50	9.525264	338.90901
40	9.674097	379.20612
30	9.87254	387.47541

Dengan :

τ = tegangan geser (N/m^2)

n = power law indeks

$\frac{\partial u}{\partial y}(y)$ = laju aliran

D in = diameter dalam pipa (m)

Δp = perbedaan tekanan

L = panjang pipa (m)

4.1.1.4 Perhitungan Nilai Indeks Konsistensi Fluida (K)

Nilai Indeks Konsistensi Fluida didapat dengan menggunakan persamaan $K = \frac{\tau}{(y)^n}$, di mana nilai K dapat dihitung bila mempunyai nilai-nilai dari : tegangan geser (τ), indeks perilaku aliran / power law indeks (n), laju aliran ($\frac{\partial u}{\partial y} = y$).

Tabel 4.6 Nilai Indeks Konsistensi (K) Untuk Air Murni

sudut (θ)	T	Γ	K
90	3.869639	106.03547	13.3967338
80	5.556404	178.19428	20.3752489
70	8.185774	259.66515	12.5218141

60	9.078768	322.22696	17.1761791
50	9.525264	338.90901	10.3759383
40	9.674097	379.20612	15.5981786
30	9.87254	387.47541	14.0268296

Dengan :

τ = tegangan geser (N/m^2)

n = power law indeks

$\frac{\partial u}{\partial y}(y)$ = laju aliran

4.1.1.5 Perhitungan Bilangan Reynolds (Re)

Bilangan Reynolds didapat dengan menggunakan persamaan $Re = \frac{Vd\rho}{\mu} = \frac{Vd}{\nu}$, di mana nilai Bilangan Reynolds (Re) dapat dihitung bila mempunyai nilai-nilai dari : kecepatan aliran (V), massa jenis (ρ), diameter dalam pipa (D in), viskositas dinamik (μ) atau viskositas kinematik (ν) berdasarkan temperatur (T).

Tabel 4.7 Data Bilangan Reynolds (Re) Untuk Air Murni

sudut (θ)	Kecepatan (v) [Q/A]	ν	Re
90	0.168331308	0.00000085397	5006.7511
80	0.282883416	0.00000085397	8413.9241
70	0.412218422	0.00000085397	12260.791
60	0.511535296	0.00000085397	15214.816
50	0.53801805	0.00000085397	16002.504
40	0.601989708	0.00000085397	17905.241
30	0.615117209	0.00000085397	18295.698

Dengan :

T = Temperatur fluida ($^{\circ}\text{C}$)

D in = diameter dalam pipa (m)

V = kecepatan aliran fluida (m/s)

ν = viskositas kinematis (m^2/s), berdasarkan fungsi temperatur

Re = bilangan Reynolds

4.1.1.6 Perhitungan Hukum Dinding Aliran Turbulen

Pada perhitungan hukum dinding aliran turbulen yang kita dapatkan adalah berupa koordinat x dan y. Dengan x adalah $y^+ = \frac{u_\tau y}{\vartheta}$ dan y adalah $U^+ = \frac{U}{u_\tau}$ dengan $u_\tau = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}}$, dan nilai U didapat dari $U = \sqrt{2g\Delta H}$. Hukum dinding dapat dihitung bila mempunyai nilai-nilai dari shear stress (τ_w), massa jenis (ρ), laju gesekan (u_τ), viskositas kinematik (ϑ), jarak pitot ke dinding pipa (y).

Tabel 4.8 Data Perhitungan Hukum Dinding Untuk Air Murni

30 derajat					
u+	U	Ut	ΔP	(ΔP*D)/4L	ρ
0	0	0.099533994	1943.413	9.8725396	996.52
9.668464566	0.962340896	0.099533994	1943.413	9.8725396	996.52
19.33692913	1.924681792	0.099533994	1943.413	9.8725396	996.52
19.33692913	1.924681792	0.099533994	1943.413	9.8725396	996.52
19.33692913	1.924681792	0.099533994	1943.413	9.8725396	996.52
y+	Ut	Y	ϑ	τ	
5827.721945	0.099533994	0.05	8.54E-07	9.8725396	
46621.77556	0.099533994	0.4	8.54E-07	9.8725396	
81588.10723	0.099533994	0.7	8.54E-07	9.8725396	
104898.995	0.099533994	0.9	8.54E-07	9.8725396	
151520.7706	0.099533994	1.3	8.54E-07	9.8725396	

Dengan :

- τ_w = shear stress dinding pipa
- ρ = massa jenis
- u_τ = laju gesekan / laju regangan
- ϑ = viskositas kinematik (m^2/s)
- y = jarak pitot ke dinding pipa

4.1.1.7 Perhitungan Faktor Gesekan (f)

Faktor gesekan yang terjadi pada pipa dihitung dengan persamaan Blasius, persamaannya yaitu : $f = 0.3164Re^{-\frac{1}{4}}$ dari persamaan tersebut nilai f bisa didapat jika kita mempunyai nilai-nilai dari : perbedaan ketinggian (ΔH), panjang antar manometer (l), kecepatan aliran (V), kecepatan gravitasi (g), dan diameter dalam pipa (D in).

Tabel 4.9 Data Perhitungan Faktor Gesekan

Derajat	kecepatan	Beda Ketinggian (Δh)	f
90	0.1683313	0.078	0.03761
80	0.2828834	0.112	0.03304
70	0.4122184	0.165	0.03007
60	0.5115353	0.183	0.02849
50	0.538018	0.192	0.02813
40	0.6019897	0.195	0.02735
30	0.6151172	0.199	0.02721

Dengan :

f = faktor gesekan

ΔH = beda ketinggian

l = panjang antar manometer

V = kecepatan aliran

g = kecepatan gravitasi (9.8 m/s^2)

D in = diameter dalam pipa

4.1.2 Perhitungan Data Menggunakan 250PPM Lendir Belut

4.1.2.1 Perhitungan Perbedaan Tekanan untuk 250PPM Lendir Belut pada $T = 27.56^\circ\text{C}$

Perhitungan perbedaan tekanan (Δp) dari data perbedaan ketinggian (ΔH) fluida pada manometer. Untuk ketinggian manometer didapat dalam satuan m.

Tabel 4.10 Data Perbedaan Ketinggian Manometer (ΔH) Untuk 250PPM Lendir Belut

sudut (θ)	Beda Ketinggian (Δh)
90	0,081
80	0,125
70	0,167
60	0,186
50	0,192
40	0,198
30	0,201

Dengan :

ΔH = beda ketinggian manometer

sudut (θ) = derajat bukaan katup

Dari perbedaan ketinggian (ΔH) maka kita dapat mencari perbedaan tekanan dengan persamaan $\Delta p = \rho \cdot g \cdot \Delta H$, di mana :

$\rho = 996,36 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ pada $T = 27,56^\circ\text{C}$

$G = 9,8 \text{ m/s}^2$

Tabel 4.11 Data Perbedaan Tekanan (Δp) Untuk 250PPM Lendir Belut

sudut (θ)	Beda Ketinggian (Δh)	ΔP
90	0,081	790.910568
80	0,125	1220.541
70	0,167	1630.642776
60	0,186	1816.165008
50	0,192	1874.750976
40	0,198	1933.336944
30	0,201	1962.629928

4.1.2.2 Perhitungan Debit (Q) dan Kecepatan Aliran Fluida

Kami mendapatkan debit fluida dari volume fluida dan waktu yang diperlukan fluida untuk mencapai volume tertentu. Waktu yang didapat dengan

menggunakan stopwatch dalam satuan (s), dan volume yang didapat dari percobaan satuan (m^3).

Tabel 4.12 Data Debit Aliran (Q) Untuk 250PPM Lendir Belut

sudut (θ)	waktu (t) [s]	volume (m^3)	Debit (Q) [m^3/s]
90	9,17	0,001	0,000109051
80	5,54	0,001	0,000180505
70	3,57	0,001	0,000280112
60	3,19	0,001	0,00031348
50	3,05	0,001	0,000327869
40	2,92	0,001	0,000342466
30	2,68	0,001	0,000373134

Dengan :

t = waktu (s)

v = volume (m^3)

Debit (Q) didapat dengan menggunakan persamaan $Q = \frac{v}{t}$. Untuk mencari kecepatan aliran fluida (V) dengan menggunakan persamaan $v = \frac{Q}{A}$ didapat setelah mendapatkan debit (Q) aliran.

Tabel 4.13 Data Kecepatan Aliran (V) Untuk 250PPM Lendir Belut

sudut (θ)	Debit (Q) [m^3/s]	Luas Permukaan (A) [m^2]	Kecepatan (v) [Q/A]
90	0,000109051	0,000506451	0,215324563
80	0,000180505	0,000506451	0,356412679
70	0,000280112	0,000506451	0,553088583
60	0,00031348	0,000506451	0,618973744
50	0,000327869	0,000506451	0,647385653
40	0,000342466	0,000506451	0,676207617
30	0,000373134	0,000506451	0,736763523

Dengan :

D in = Diameter dalam pipa (m) yang digunakan adalah 2,54mm

A = Luas penampang pipa (m^2)

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

4.1.2.3 Perhitungan Tegangan dan Regangan

Nilai tegangan geser (τ) didapat dari $\tau = \frac{D\Delta P}{4L}$, sedangkan laju aliran ($\frac{\partial u}{\partial y} = (y)$) yang didapat dari $\frac{\partial u}{\partial y} (y) = \frac{8V}{D}$. Dari nilai tegangan dan regangan tersebut dapat diketahui nilai indeks Perilaku Aliran / Power Law Indeks didapat dengan menggunakan persamaan $n = \frac{\log \tau}{\log y}$. Dengan nilai n yang dihasilkan pada percobaan berkisar 0.69.

Tabel 4.14 Nilai Tegangan dan Regangan Pada 250PPM Lendir Belut

sudut (θ)	τ	γ
90	4.017825685	135.63752
80	6.20034828	224.511924
70	8.283665302	348.402257
60	9.226118241	389.90472
50	9.523734958	407.801986
40	9.821351676	425.957554
30	9.970160034	464.103007

Dengan :

τ = tegangan geser (N/m²)

n = power law indeks

$\frac{\partial u}{\partial y} (y)$ = laju aliran

D in = diameter dalam pipa (m)

Δp = perbedaan tekanan

L = panjang pipa (m)

4.1.2.4 Perhitungan Nilai Indeks Konsistensi Fluida (K)

Nilai Indeks Konsistensi Fluida didapat dengan menggunakan persamaan $K = \frac{\tau}{(y)^n}$, di mana nilai K dapat dihitung bila mempunyai nilai-nilai dari :

tegangan geser (τ), indeks perilaku aliran / power law indeks (n), laju aliran ($\frac{\partial u}{\partial y} = y$).

Tabel 4.15 Nilai Indeks Konsistensi (K) Untuk 250PPM Lendir Belut

sudut (θ)	τ	Γ	K
90	4.017825685	135.63752	15.0715395
80	6.20034828	224.511924	12.2398834
70	8.283665302	348.402257	14.6041677
60	9.226118241	389.90472	12.9537353
50	9.523734958	407.801986	12.9482687
40	9.821351676	425.957554	10.5187487
30	9.970160034	464.103007	12.4946682

Dengan :

τ = tegangan geser (N/m^2)

n = power law indeks

$\frac{\partial u}{\partial y} (y)$ = laju aliran

4.1.2.5 Perhitungan Bilangan Reynolds (Re)

Bilangan Reynolds didapat dengan menggunakan persamaan $Re = \frac{Vd\rho}{\mu} = \frac{Vd}{\nu}$, di mana nilai Bilangan Reynolds (Re) dapat dihitung bila mempunyai nilai-nilai dari : kecepatan aliran (V), massa jenis (ρ), diameter dalam pipa (D in), viskositas dinamik (μ) atau viskositas kinematik (ν) berdasarkan temperatur (T).

Tabel 4.16 Data Bilangan Reynolds (Re) Untuk 250PPM Lendir Belut

sudut (θ)	Kecepatan (v) [Q/A]	ν	Re
90	0.215324563	0.00000084361	6483.1426
80	0.356412679	0.00000084361	10731.122
70	0.553088583	0.00000084361	16652.778
60	0.618973744	0.00000084361	18636.494
50	0.647385653	0.00000084361	19491.94

40	0.676207617	0.00000084361	20359.732
30	0.736763523	0.00000084361	22182.992

Dengan :

T = Temperatur fluida (°C)

D in = diameter dalam pipa (m)

V = kecepatan aliran fluida (m/s)

ϑ = viskositas kinematis (m²/s), berdasarkan fungsi temperatur

Re = bilangan Reynolds

4.1.2.6 Perhitungan Hukum Dinding Aliran Turbulen

Pada perhitungan hukum dinding aliran turbulen yang kita dapatkan adalah berupa koordinat x dan y. Dengan x adalah $y^+ = \frac{U_\tau y}{\vartheta}$ dan y adalah $U^+ = \frac{U}{U_\tau}$ dengan $U_\tau = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}}$, dan nilai U didapat dari $U = \sqrt{2g\Delta H}$. Hukum dinding dapat dihitung bila mempunyai nilai-nilai dari shear stress (τ_w), massa jenis (ρ), laju gesekan (u_τ), viskositas kinematik (ϑ), jarak pitot ke dinding pipa (y).

Tabel 4.17 Data Perhitungan Hukum Dinding Untuk 250PPM Lendir Belut

30 Derajat					
u+	U	Ut	ΔP	(ΔP*D)/4L	ρ
7.204569745	0.72069411	0.100032915	1962.63	9.97016	996.36
12.48869449	1.249280509	0.100032915	1962.63	9.97016	996.36
19.69326423	1.969974619	0.100032915	1962.63	9.97016	996.36
19.69351796	1.976976547	0.100032915	1962.63	9.97016	996.36
19.84189475	1.984842563	0.100032915	1962.63	9.97016	996.36
y+	Ut	Y	ϑ	τ	
5856.933767	0.100032915	0.05	8.54E-07	9.97016	
46855.47014	0.100032915	0.4	8.54E-07	9.97016	
81997.07274	0.100032915	0.7	8.54E-07	9.97016	

105424.8078	0.100032915	0.9	8.54E-07	9.97016	
152280.2779	0.100032915	1.3	8.54E-07	9.97016	

Dengan :

τ_w = shear stress dinding pipa

ρ = massa jenis

u_τ = laju gesekan / laju regangan

ν = viskositas kinematik (m^2/s)

y = jarak pitot ke dinding pipa

4.1.2.7 Perhitungan Faktor Gesekan (f)

Faktor gesekan yang terjadi pada pipa dihitung dengan persamaan Blasius, persamaannya yaitu : $f = 0.3164Re^{-\frac{1}{4}}$ dari persamaan tersebut nilai f bisa didapat jika kita mempunyai nilai-nilai dari : perbedaan ketinggian (ΔH), panjang antar manometer (l), kecepatan aliran (V), kecepatan gravitasi (g), dan diameter dalam pipa (D in).

Tabel 4.18 Data Perhitungan Faktor Gesekan Untuk 250PPM Lendir Belut

Derajat	kecepatan	Beda Ketinggian (Δh)	f
90	0.215324563	0.081	0.03526
80	0.356412679	0.125	0.03109
70	0.553088583	0.167	0.02785
60	0.618973744	0.186	0.02708
50	0.647385653	0.192	0.02678
40	0.676207617	0.198	0.02649
30	0.736763523	0.201	0.02593

Dengan :

f = faktor gesekan

ΔH = beda ketinggian

l = panjang antar manometer

V = kecepatan aliran

g = kecepatan gravitasi ($9.8 m/s^2$)

D_{in} = diameter dalam pipa

4.1.3 Perhitungan Data Menggunakan 300PPM Lendir Belut

4.1.3.1 Perhitungan Perbedaan Tekanan untuk 300PPM Lendir Belut pada $T = 27.68^{\circ}\text{C}$

Perhitungan perbedaan tekanan (Δp) dari data perbedaan ketinggian (ΔH) fluida pada manometer. Untuk ketinggian manometer didapat dalam satuan m.

Tabel 4.19 Data Perbedaan Ketinggian Manometer (ΔH) Untuk 300PPM Lendir Belut

sudut (θ)	Beda Ketinggian (Δh)
90	0,087
80	0,142
70	0,168
60	0,186
50	0,193
40	0,201
30	0,202

Dengan :

ΔH = beda ketinggian manometer

sudut (θ) = derajat bukaan katup

Dari perbedaan ketinggian (ΔH) maka kita dapat mencari perbedaan tekanan dengan persamaan $\Delta p = \rho \cdot g \cdot \Delta H$, di mana :

$\rho = 996.33 \text{ kg/m}^3$ pada $T = 27.68^{\circ}\text{C}$

$G = 9.8 \text{ m/s}^2$

Tabel 4.20 Data Perbedaan Tekanan (Δp) Untuk 300PPM Lendir Belut

sudut (θ)	Beda Ketinggian (Δh)	ΔP
90	0,087	849.47096
80	0,142	1386.4928
70	0,168	1640.3577
60	0,186	1816.1103

Universitas Indonesia

50	0,193	1884.4586
40	0,201	1962.5708
30	0,202	1972.3349

4.1.3.2 Perhitungan Debit (Q) dan Kecepatan Aliran Fluida

Kami mendapatkan debit fluida dari volume fluida dan waktu yang diperlukan fluida untuk mencapai volume tertentu. Waktu yang didapat dengan menggunakan stopwatch dalam satuan (s), dan volume yang didapat dari percobaan satuan (m^3).

Tabel 4.21 Data Debit Aliran (Q) Untuk 300PPM Lendir Belut

sudut (θ)	waktu (t) [s]	volume (m ³)	Debit (Q) [m ³ /s]
90	8,73	0,001	0,000114548
80	4,63	0,001	0,000215983
70	3,59	0,001	0,000278552
60	3,12	0,001	0,000320513
50	3,01	0,001	0,000332226
40	2,87	0,001	0,000348432
30	2,61	0,001	0,000383142

Dengan :

t = waktu (s)

v = volume (m^3)

Debit (Q) didapat dengan menggunakan persamaan $Q = \frac{v}{t}$. Untuk mencari kecepatan aliran fluida (V) dengan menggunakan persamaan $v = \frac{Q}{A}$ didapat setelah mendapatkan debit (Q) aliran.

Tabel 4.22 Data Kecepatan Aliran (V) Untuk 300PPM Lendir Belut

sudut (θ)	Debit (Q) [m ³ /s]	Luas Permukaan (A) [m ³]	Kecepatan (v) [Q/A]
90	0,000114548	0,000506451	0,226177118
80	0,000215983	0,000506451	0,426463551
70	0,000278552	0,000506451	0,55000731
60	0,000320513	0,000506451	0,632860975

50	0,000332226	0,000506451	0,655988785
40	0,000348432	0,000506451	0,687988238
30	0,000383142	0,000506451	0,756523464

Dengan :

D_{in} = Diameter dalam pipa (m) yang digunakan adalah 2,54mm

A = Luas penampang pipa (m^2)

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

4.1.3.3 Perhitungan Tegangan dan Regangan

Nilai tegangan geser (τ) didapat dari $\tau = \frac{D\Delta P}{4L}$, sedangkan laju aliran ($\frac{\partial u}{\partial y} = (y)$) yang didapat dari $\frac{\partial u}{\partial y} (y) = \frac{8V}{D}$. Dari nilai tegangan dan regangan tersebut dapat diketahui nilai indeks Perilaku Aliran / Power Law Indeks didapat dengan menggunakan persamaan $n = \frac{\log \tau}{\log y}$. Dengan nilai n yang dihasilkan pada percobaan berkisar 0.68.

Tabel 4.23 Nilai Tegangan dan Regangan Pada 300PPM Lendir Belut

sudut (θ)	τ	γ
90	4.3153125	142.473775
80	7.0433836	268.638457
70	8.3330172	346.461297
60	9.2258404	398.652583
50	9.5730495	413.221282
40	9.9698598	433.378417
30	10.019461	476.550214

Dengan :

τ = tegangan geser (N/m^2)

n = power law indeks

$\frac{\partial u}{\partial y} (y)$ = laju aliran

D_{in} = diameter dalam pipa (m)

Δp = perbedaan tekanan
 L = panjang pipa (m)

4.1.3.4 Perhitungan Nilai Indeks Konsistensi Fluida (K)

Nilai Indeks Konsistensi Fluida didapat dengan menggunakan persamaan $K = \frac{\tau}{(y)^n}$, di mana nilai K dapat dihitung bila mempunyai nilai-nilai dari : tegangan geser (τ), indeks perilaku aliran / power law indeks (n), laju aliran ($\frac{\partial u}{\partial y} = y$).

Tabel 4.24 Nilai Indeks Konsistensi (K) Untuk 300PPM Lendir Belut

sudut (θ)	τ	Γ	K
90	4.3153125	142.473775	13.604839
80	7.0433836	268.638457	12.370682
70	8.3330172	346.461297	12.856715
60	9.2258404	398.652583	14.774519
50	9.5730495	413.221282	13.714864
40	9.9698598	433.378417	10.166635
30	10.019461	476.550214	12.172634

Dengan :

τ = tegangan geser (N/m^2)

n = power law indeks

$\frac{\partial u}{\partial y} (y)$ = laju aliran

4.1.3.5 Perhitungan Bilangan Reynolds (Re)

Bilangan Reynolds didapat dengan menggunakan persamaan $Re = \frac{Vd\rho}{\mu} = \frac{Vd}{\nu}$, di mana nilai Bilangan Reynolds (Re) dapat dihitung bila mempunyai nilai-nilai dari : kecepatan aliran (V), massa jenis (ρ), diameter dalam pipa (D in), viskositas dinamik (μ) atau viskositas kinematik (ν) berdasarkan temperatur (T).

Tabel 4.25 Data Bilangan Reynolds (Re) Untuk 300PPM Lendir Belut

sudut (θ)	Kecepatan (v) [Q/A]	ν	Re
90	0.226177118	0.00000084142	6827.6233
80	0.426463551	0.00000084142	12873.683
70	0.55000731	0.00000084142	16603.106
60	0.632860975	0.00000084142	19104.215
50	0.655988785	0.00000084142	19802.376
40	0.687988238	0.00000084142	20768.345
30	0.756523464	0.00000084142	22837.223

Dengan :

T = Temperatur fluida ($^{\circ}\text{C}$)

D in = diameter dalam pipa (m)

V = kecepatan aliran fluida (m/s)

ϑ = viskositas kinematis (m^2/s), berdasarkan fungsi temperatur

Re = bilangan Reynolds

4.1.3.6 Perhitungan Hukum Dinding Aliran Turbulen

Pada perhitungan hukum dinding aliran turbulen yang kita dapatkan adalah berupa koordinat x dan y. Dengan x adalah $\mathcal{Y}^+ = \frac{U_{\tau}y}{\vartheta}$ dan y adalah $U^+ = \frac{U}{U_{\tau}}$ dengan $U_{\tau} = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}}$, dan nilai U didapat dari $U = \sqrt{2g\Delta H}$. Hukum dinding dapat dihitung bila mempunyai nilai-nilai dari shear stress (τ_w), massa jenis (ρ), laju gesekan (u_{τ}), viskositas kinematik (ϑ), jarak pitot ke dinding pipa (\mathcal{Y}).

Tabel 4.26 Data Perhitungan Hukum Dinding Untuk 300PPM Lendir Belut

30 Derajat					
u^+	U	U_{τ}	ΔP	$(\Delta P * D)/4L$	ρ
7.387312527	0.740810367	0.100281444	1972.335	10.019461	996.33
12.20747551	1.224183272	0.100281444	1972.335	10.019461	996.33
19.59478804	1.964993639	0.100281444	1972.335	10.019461	996.33
19.59485148	1.965679757	0.100281444	1972.335	10.019461	996.33

Universitas Indonesia

19.64445805	1.969974619	0.100281444	1972.335	10.019461	996.33
y+	Ut	Y	θ	τ	
5959.059919	0.100281444	0.05	8.41E-07	10.019461	
47672.47935	0.100281444	0.4	8.41E-07	10.019461	
83426.83887	0.100281444	0.7	8.41E-07	10.019461	
107263.0785	0.100281444	0.9	8.41E-07	10.019461	
154935.5579	0.100281444	1.3	8.41E-07	10.019461	

Dengan :

- τ_w = shear stress dinding pipa
 ρ = massa jenis
 u_τ = laju gesekan / laju regangan
 θ = viskositas kinematik (m^2/s)
 y = jarak pitot ke dinding pipa

4.1.3.7 Perhitungan Faktor Gesekan (f)

Faktor gesekan yang terjadi pada pipa dihitung dengan persamaan Blasius, persamaannya yaitu : $f = 0.3164Re^{-\frac{1}{4}}$ dari persamaan tersebut nilai f bisa didapat jika kita mempunyai nilai-nilai dari : perbedaan ketinggian (ΔH), panjang antar manometer (l), kecepatan aliran (V), kecepatan gravitasi (g), dan diameter dalam pipa (D in).

Tabel 4.27 Data Perhitungan Faktor Gesekan Untuk 300PPM Lendir Belut

Derajat	kecepatan	Beda Ketinggian (Δh)	f
90	0.226177118	0.087	0.03483
80	0.426463551	0.142	0.02972
70	0.55000731	0.168	0.02789
60	0.632860975	0.186	0.02693
50	0.655988785	0.193	0.02669
40	0.687988238	0.201	0.02637
30	0.756523464	0.202	0.02575

Dengan :

f = faktor gesekan

ΔH = beda ketinggian

l = panjang antar manometer

V = kecepatan aliran

g = kecepatan gravitasi (9.8 m/s^2)

D_{in} = diameter dalam pipa

4.1.4 Perhitungan Data Menggunakan 400PPM Lendir Belut

4.1.4.1 Perhitungan Perbedaan Tekanan untuk 400PPM Lendir Belut pada $T = 27.73^\circ\text{C}$

Perhitungan perbedaan tekanan (Δp) dari data perbedaan ketinggian (ΔH) fluida pada manometer. Untuk ketinggian manometer didapat dalam satuan m.

Tabel 4.28 Data Perbedaan Ketinggian Manometer (ΔH) Untuk 400PPM Lendir Belut

sudut (θ)	Beda Ketinggian (Δh)
90	0,104
80	0,145
70	0,168
60	0,186
50	0,196
40	0,204
30	0,205

Dengan :

ΔH = beda ketinggian manometer

sudut (θ) = derajat bukaan katup

Dari perbedaan ketinggian (ΔH) maka kita dapat mencari perbedaan tekanan dengan persamaan $\Delta p = \rho \cdot g \cdot \Delta H$, di mana :

$\rho = 996.31 \text{ kg/m}^3$ pada $T = 27.73^\circ\text{C}$

$G = 9.8 \text{ m/s}^2$

Tabel 4.29 Data Perbedaan Tekanan (Δp) Untuk 400PPM Lendir Belut

sudut (θ)	Beda Ketinggian (Δh)	ΔP
90	0,104	1015.43915
80	0,145	1415.75651
70	0,168	1640.32478
60	0,186	1816.07387
50	0,196	1913.71225
40	0,204	1991.82295
30	0,205	2001.58679

4.1.4.2 Perhitungan Debit (Q) dan Kecepatan Aliran Fluida

Kami mendapatkan debit fluida dari volume fluida dan waktu yang diperlukan fluida untuk mencapai volume tertentu. Waktu yang didapat dengan menggunakan stopwatch dalam satuan (s), dan volume yang didapat dari percobaan satuan (m^3).

Tabel 4.30 Data Debit Aliran (Q) Untuk 400PPM Lendir Belut

sudut (θ)	waktu (t) [s]	volume (m ³)	Debit (Q) [m ³ /s]
90	5,63	0,001	0,00017762
80	3,98	0,001	0,000251256
70	3,42	0,001	0,000292398
60	2,77	0,001	0,000361011
50	2,57	0,001	0,000389105
40	2,43	0,001	0,000411523
30	2,23	0,001	0,00044843

Dengan :

t = waktu (s)

v = volume (m^3)

Debit (Q) didapat dengan menggunakan persamaan $Q = \frac{v}{t}$. Untuk mencari kecepatan aliran fluida (V) dengan menggunakan persamaan $v = \frac{Q}{A}$ didapat setelah mendapatkan debit (Q) aliran.

Tabel 4.31 Data Kecepatan Aliran (V) Untuk 400PPM Lendir Belut

sudut (θ)	Debit (Q) [m ³ /s]	Luas Permukaan (A) [m ²]	Kecepatan (v) [Q/A]
90	0,00017762	0,000506451	0,350715141
80	0,000251256	0,000506451	0,496112121
70	0,000292398	0,000506451	0,577346854
60	0,000361011	0,000506451	0,712825358
50	0,000389105	0,000506451	0,768298149
40	0,000411523	0,000506451	0,81256224
30	0,00044843	0,000506451	0,885437777

Dengan :

D_{in} = Diameter dalam pipa (m) yang digunakan adalah 2,54mm

A = Luas penampang pipa (m²)

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

4.1.4.3 Perhitungan Tegangan dan Regangan

Nilai tegangan geser (τ) didapat dari $\tau = \frac{D\Delta P}{4L}$, sedangkan laju aliran ($\frac{\partial u}{\partial y} = (y)$) yang didapat dari $\frac{\partial u}{\partial y} (y) = \frac{8V}{D}$. Dari nilai tegangan dan regangan tersebut dapat diketahui nilai indeks Perilaku Aliran / Power Law Indeks didapat dengan menggunakan persamaan $n = \frac{\log \tau}{\log y}$. Dengan nilai n yang dihasilkan pada percobaan berkisar 0.66.

Tabel 4.32 Nilai Tegangan dan Regangan Pada 400PPM Lendir Belut

sudut (θ)	τ	γ
90	5.1584309	220.9229
80	7.1920431	312.5116
70	8.3328499	363.6831
60	9.2256552	449.0238
50	9.7216582	483.9673
40	10.118461	511.8502

30	10.168061	557.7561
----	-----------	----------

Dengan :

τ = tegangan geser (N/m^2)

n = power law indeks

$\frac{\partial u}{\partial y}(y)$ = laju aliran

D_{in} = diameter dalam pipa (m)

Δp = perbedaan tekanan

L = panjang pipa (m)

4.1.4.4 Perhitungan Nilai Indeks Konsistensi Fluida (K)

Nilai Indeks Konsistensi Fluida didapat dengan menggunakan persamaan $K = \frac{\tau}{(y)^n}$, di mana nilai K dapat dihitung bila mempunyai nilai-nilai dari : tegangan geser (τ), indeks perilaku aliran / power law indeks (n), laju aliran ($\frac{\partial u}{\partial y} = y$).

Tabel 4.33 Nilai Indeks Konsistensi (K) Untuk 400PPM Lendir Belut

sudut (θ)	τ	γ	K
90	5.1584309	220.9229	14.07858
80	7.1920431	312.5116	14.20422
70	8.3328499	363.6831	10.86388
60	9.2256552	449.0238	11.68774
50	9.7216582	483.9673	11.7353
40	10.118461	511.8502	10.23874
30	10.168061	557.7561	11.11626

Dengan :

τ = tegangan geser (N/m^2)

n = power law indeks

$\frac{\partial u}{\partial y}(y)$ = laju aliran

4.1.4.5 Perhitungan Bilangan Reynolds (Re)

Bilangan Reynolds didapat dengan menggunakan persamaan $Re = \frac{Vd\rho}{\mu} = \frac{Vd}{\vartheta}$, di mana nilai Bilangan Reynolds (Re) dapat dihitung bila mempunyai nilai-nilai dari : kecepatan aliran (V), massa jenis (ρ), diameter dalam pipa (D in), viskositas dinamik (μ) atau viskositas kinematik (ϑ) berdasarkan temperatur (T).

Tabel 4.34 Data Bilangan Reynolds (Re) Untuk 400PPM Lendir Belut

sudut (θ)	Kecepatan (v) [Q/A]	ν	Re
90	0.350715141	0.00000084051	10598.523
80	0.496112121	0.00000084051	14992.383
70	0.577346854	0.00000084051	17447.276
60	0.712825358	0.00000084051	21541.402
50	0.768298149	0.00000084051	23217.776
40	0.81256224	0.00000084051	24555.426
30	0.885437777	0.00000084051	26757.706

Dengan :

T = Temperatur fluida ($^{\circ}\text{C}$)

D in = diameter dalam pipa (m)

V = kecepatan aliran fluida (m/s)

ϑ = viskositas kinematis (m^2/s), berdasarkan fungsi temperatur

Re = bilangan Reynolds

4.1.4.6 Perhitungan Hukum Dinding Aliran Turbulen

Pada perhitungan hukum dinding aliran turbulen yang kita dapatkan adalah berupa koordinat x dan y. Dengan x adalah $y^+ = \frac{U_\tau y}{\vartheta}$ dan y adalah $U^+ = \frac{U}{U_\tau}$ dengan $U_\tau = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}}$, dan nilai U didapat dari $U = \sqrt{2g\Delta H}$. Hukum dinding dapat dihitung bila mempunyai nilai-nilai dari shear stress (τ_w), massa jenis (ρ), laju gesekan (u_τ), viskositas kinematik (ϑ), jarak pitot ke dinding pipa (y).

Tabel 4.35 Data Perhitungan Hukum Dinding Untuk 400PPM Lendir Belut
30 Derajat

u^+	U	U_t	ΔP	$(\Delta P \cdot D)/4L$	ρ
7.46285855	0.753923073	0.101023364	2001.587	10.168061	996.31
12.03732981	1.216051546	0.101023364	2001.587	10.168061	996.31
19.50018836	1.969974619	0.101023364	2001.587	10.168061	996.31
19.50043959	1.97	0.101023364	2001.587	10.168061	996.31
19.64736168	1.984842563	0.101023364	2001.587	10.168061	996.31
y^+	U_t	Y	ϑ	τ	
6009.64674	0.101023364	0.05	8.41E-07	10.168061	
48077.17392	0.101023364	0.4	8.41E-07	10.168061	
84135.05436	0.101023364	0.7	8.41E-07	10.168061	
108173.6413	0.101023364	0.9	8.41E-07	10.168061	
156250.8152	0.101023364	1.3	8.41E-07	10.168061	

Dengan :

- τ_w = shear stress dinding pipa
- ρ = massa jenis
- u_τ = laju gesekan / laju regangan
- ϑ = viskositas kinematik (m^2/s)
- y = jarak pitot ke dinding pipa

4.1.4.7 Perhitungan Faktor Gesekan (f)

Faktor gesekan yang terjadi pada pipa dihitung dengan persamaan Blasius, persamaannya yaitu : $f = 0.3164Re^{-\frac{1}{4}}$ dari persamaan tersebut nilai f bisa didapat jika kita mempunyai nilai-nilai dari : perbedaan ketinggian (ΔH), panjang antar manometer (l), kecepatan aliran (V), kecepatan gravitasi (g), dan diameter dalam pipa (D in).

Tabel 4.36 Data Perhitungan Faktor Gesekan Untuk 400PPM Lendir Belut

Derajat	kecepatan	Beda Ketinggian (Δh)	f
90	0.350715141	0.104	0.03121
80	0.496112121	0.145	0.02862
70	0.577346854	0.168	0.02756
60	0.712825358	0.186	0.02614
50	0.768298149	0.196	0.02566
40	0.81256224	0.204	0.0253
30	0.885437777	0.205	0.02476

Dengan :

f = faktor gesekan

ΔH = beda ketinggian

l = panjang antar manometer

V = kecepatan aliran

g = kecepatan gravitasi (9.8 m/s^2)

D_{in} = diameter dalam pipa

4.1.5 Perhitungan Data Menggunakan 500PPM Lendir Belut

4.1.5.1 Perhitungan Perbedaan Tekanan untuk 500PPM Lendir Belut pada $T = 27.87^\circ\text{C}$

Perhitungan perbedaan tekanan (Δp) dari data perbedaan ketinggian (ΔH) fluida pada manometer. Untuk ketinggian manometer didapat dalam satuan m.

Tabel 4.37 Data Perbedaan Ketinggian Manometer (ΔH) Untuk 500PPM Lendir Belut

sudut (θ)	Beda Ketinggian (Δh)
90	0,128
80	0,158
70	0,183
60	0,192
50	0,198

40	0,206
30	0,206

Dengan :

ΔH = beda ketinggian manometer

sudut (θ) = derajat bukaan katup

Dari perbedaan ketinggian (ΔH) maka kita dapat mencari perbedaan tekanan dengan persamaan $\Delta p = \rho \cdot g \cdot \Delta H$, di mana :

$\rho = 996.27 \text{ kg/m}^3$ pada $T = 27.87^\circ\text{C}$

$G = 9.8 \text{ m/s}^2$

Tabel 4.38 Data Perbedaan Tekanan (Δp) Untuk 500PPM Lendir Belut

sudut (θ)	Beda Ketinggian (Δh)	ΔP
90	0,128	1249.7211
80	0,158	1542.6245
70	0,183	1786.7106
60	0,192	1874.5816
50	0,198	1933.1623
40	0,206	2011.2699
30	0,206	2011.2699

4.1.5.2 Perhitungan Debit (Q) dan Kecepatan Aliran Fluida

Kami mendapatkan debit fluida dari volume fluida dan waktu yang diperlukan fluida untuk mencapai volume tertentu. Waktu yang didapat dengan menggunakan stopwatch dalam satuan (s), dan volume yang didapat dari percobaan satuan (m^3).

Tabel 4.39 Data Debit Aliran (Q) Untuk 500PPM Lendir Belut

sudut (θ)	waktu (t) [s]	volume (m3)	Debit (Q) [m3/s]
90	5,39	0,001	0,000185529
80	3,74	0,001	0,00026738
70	2,87	0,001	0,000348432
60	2,67	0,001	0,000374532

50	2,53	0,001	0,000395257
40	2,41	0,001	0,000414938
30	2,21	0,001	0,000452489

Dengan :

t = waktu (s)

v = volume (m³)

Debit (Q) didapat dengan menggunakan persamaan $Q = \frac{v}{t}$. Untuk mencari kecepatan aliran fluida (V) dengan menggunakan persamaan $v = \frac{Q}{A}$ didapat setelah mendapatkan debit (Q) aliran.

Tabel 4.40 Data Kecepatan Aliran (V) Untuk 500PPM Lendir Belut

sudut (θ)	Debit (Q) [m ³ /s]	Luas Permukaan (A) [m ³]	Kecepatan (v) [Q/A]
90	0,000185529	0,000506451	0,366331399
80	0,00026738	0,000506451	0,527948193
70	0,000348432	0,000506451	0,687988238
60	0,000374532	0,000506451	0,739522937
50	0,000395257	0,000506451	0,780445155
40	0,000414938	0,000506451	0,819305495
30	0,000452489	0,000506451	0,893450788

Dengan :

D in = Diameter dalam pipa (m) yang digunakan adalah 2,54mm

A = Luas penampang pipa (m²)

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

4.1.5.3 Perhitungan Tegangan dan Regangan

Nilai tegangan geser (τ) didapat dari $\tau = \frac{D\Delta P}{4L}$, sedangkan laju aliran ($\frac{\partial u}{\partial y} = (y)$) yang didapat dari $\frac{\partial u}{\partial y} (y) = \frac{8V}{D}$. Dari nilai tegangan dan regangan tersebut dapat diketahui nilai indeks Perilaku Aliran / Power Law Indeks didapat

dengan menggunakan persamaan $n = \frac{\log \tau}{\log y}$. Dengan nilai n yang dihasilkan pada percobaan berkisar 0.53.

Tabel 4.41 Nilai Tegangan dan Regangan Pada 500PPM Lendir Belut

sudut (θ)	τ	γ
90	6.3485831	230.75994
80	7.8365323	332.56579
70	9.0764899	433.37842
60	9.5228747	465.84122
50	9.8204645	491.619
40	10.217251	516.09795
30	10.217251	562.80365

Dengan :

τ = tegangan geser (N/m^2)

n = power law indeks

$\frac{\partial u}{\partial y}(y)$ = laju aliran

D in = diameter dalam pipa (m)

Δp = perbedaan tekanan

L = panjang pipa (m)

4.1.5.4 Perhitungan Nilai Indeks Konsistensi Fluida (K)

Nilai Indeks Konsistensi Fluida didapat dengan menggunakan persamaan $K = \frac{\tau}{(y)^n}$, di mana nilai K dapat dihitung bila mempunyai nilai-nilai dari : tegangan geser (τ), indeks perilaku aliran / power law indeks (n), laju aliran ($\frac{\partial u}{\partial y} = y$).

Tabel 4.42 Nilai Indeks Konsistensi (K) Untuk 500PPM Lendir Belut

sudut (θ)	τ	Γ	K
90	6.3485831	230.75994	11.322878
80	7.8365323	332.56579	11.169269
70	9.0764899	433.37842	11.637719

60	9.5228747	465.84122	11.314638
50	9.8204645	491.619	12.019509
40	10.217251	516.09795	10.217251
30	10.217251	562.80365	10.850481

Dengan :

τ = tegangan geser (N/m^2)

n = power law indeks

$\frac{\partial u}{\partial y}(y)$ = laju aliran

4.1.5.5 Perhitungan Bilangan Reynolds (Re)

Bilangan Reynolds didapat dengan menggunakan persamaan $Re = \frac{Vd\rho}{\mu} = \frac{Vd}{\nu}$, di mana nilai Bilangan Reynolds (Re) dapat dihitung bila mempunyai nilai-nilai dari : kecepatan aliran (V), massa jenis (ρ), diameter dalam pipa (D in), viskositas dinamik (μ) atau viskositas kinematik (ν) berdasarkan temperatur (T).

Tabel 4.43 Data Bilangan Reynolds (Re) Untuk 500PPM Lendir Belut

sudut (θ)	Kecepatan (v) [Q/A]	ν	Re
90	0.366331399	0.00000083797	11103.998
80	0.527948193	0.00000083797	16002.821
70	0.687988238	0.00000083797	20853.851
60	0.739522937	0.00000083797	22415.937
50	0.780445155	0.00000083797	23656.344
40	0.819305495	0.00000083797	24834.254
30	0.893450788	0.00000083797	27081.697

Dengan :

T = Temperatur fluida ($^{\circ}\text{C}$)

D in = diameter dalam pipa (m)

V = kecepatan aliran fluida (m/s)

ν = viskositas kinematis (m^2/s), berdasarkan fungsi temperatur

Re = bilangan Reynolds

4.1.5.6 Perhitungan Hukum Dinding Aliran Turbulen

Pada perhitungan hukum dinding aliran turbulen yang kita dapatkan adalah berupa koordinat x dan y. Dengan x adalah $y^+ = \frac{u_\tau y}{\vartheta}$ dan y adalah $U^+ = \frac{U}{u_\tau}$ dengan $u_\tau = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}}$, dan nilai U didapat dari $U = \sqrt{2g\Delta H}$. Hukum dinding dapat dihitung bila mempunyai nilai-nilai dari shear stress (τ_w), massa jenis (ρ), laju gesekan (u_τ), viskositas kinematik (ϑ), jarak pitot ke dinding pipa (y).

Tabel 4.44 Data Perhitungan Hukum Dinding Untuk 500PPM Lendir Belut
30 Derajat

u+	U	Ut	ΔP	(ΔP*D)/4L	ρ
7.526767499	0.760394634	0.101025392	2001.587	10.168061	996.27
12.12019977	1.224447929	0.101025392	2001.587	10.168061	996.27
19.64696727	1.984842563	0.101025392	2001.587	10.168061	996.27
19.64852566	1.985	0.101025392	2001.587	10.168061	996.27
19.69577969	1.989773856	0.101025392	2001.587	10.168061	996.27
y+	Ut	Y	ϑ	τ	
6027.983797	0.101025392	0.05	8.38E-07	10.217251	
48223.87038	0.101025392	0.4	8.38E-07	10.217251	
84391.77316	0.101025392	0.7	8.38E-07	10.217251	
108503.7083	0.101025392	0.9	8.38E-07	10.217251	
156727.5787	0.101025392	1.3	8.38E-07	10.217251	

Dengan :

- τ_w = shear stress dinding pipa
- ρ = massa jenis
- u_τ = laju gesekan / laju regangan
- ϑ = viskositas kinematik (m^2/s)
- y = jarak pitot ke dinding pipa

4.1.5.7 Perhitungan Faktor Gesekan (f)

Faktor gesekan yang terjadi pada pipa dihitung dengan persamaan Blasius, persamaannya yaitu : $f = 0.3164Re^{-\frac{1}{4}}$ dari persamaan tersebut nilai f bisa didapat jika kita mempunyai nilai-nilai dari : perbedaan ketinggian (ΔH), panjang antar manometer (l), kecepatan aliran (V), kecepatan gravitasi (g), dan diameter dalam pipa (D in).

Tabel 4.45 Data Perhitungan Faktor Gesekan Untuk 500PPM Lendir Belut

Derajat	kecepatan	Beda Ketinggian (Δh)	f
90	0.366331399	0.128	0.03082
80	0.527948193	0.158	0.02813
70	0.687988238	0.183	0.02633
60	0.739522937	0.192	0.02586
50	0.780445155	0.198	0.02551
40	0.819305495	0.206	0.0252
30	0.893450788	0.206	0.02466

Dengan :

f = faktor gesekan

ΔH = beda ketinggian

l = panjang antar manometer

V = kecepatan aliran

g = kecepatan gravitasi (9.8 m/s^2)

D in = diameter dalam pipa

4.2 Perhitungan Drag Reduction (DR)

Drag reduction merupakan pengurangan hambatan pada suatu aliran baik aliran dalam pipa maupun aliran luar pipa. Kita dapat menentukan besarnya pengurangan hambatan yang terjadi dengan persamaan sebagai berikut

$$DR(\%) = \left[\frac{f_w - f_s}{f_w} \right] \times 100\%$$

Dimana :

DR = Drag reduction

f_s = Friction sample

f_w = Friction water

4.2.1 Drag Reduction Pada Beberapa Kondisi Bukaannya Katup

Tabel 4.46 Data Drag Reduction pada bukaan katup 90 derajat

fw	fs	ppm	%DR
0.037614	0.035261	250	6.256189
0.037614	0.03483	300	7.401525
0.037614	0.031212	400	17.01925
0.037614	0.030822	500	18.05562

Tabel 4.47 Data Drag Reduction pada bukaan katup 80 derajat

fw	fs	ppm	%DR
0.033036	0.031087	250	5.900273
0.033036	0.029723	300	10.02825
0.033036	0.02862	400	13.36733
0.033036	0.028131	500	14.84689

Tabel 4.48 Data Drag Reduction pada bukaan katup 70 derajat

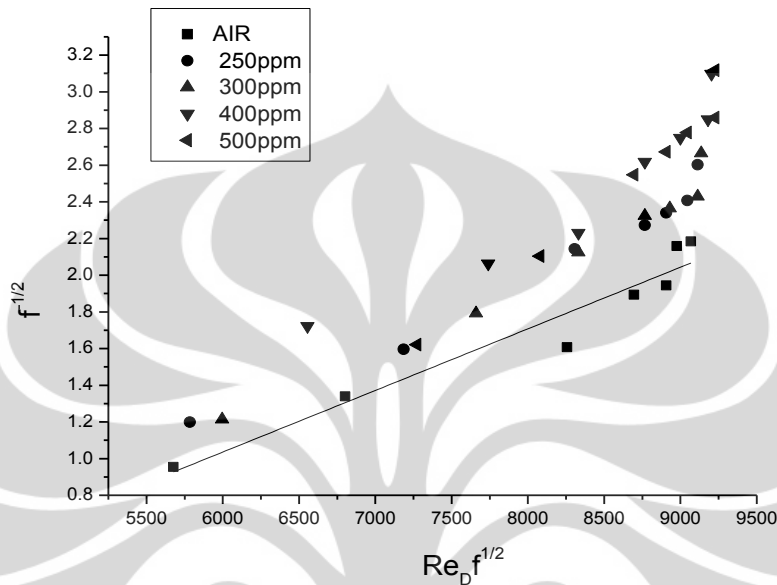
fw	fs	ppm	%DR
0.030068	0.027853	250	7.368659
0.030068	0.027891	300	7.239195
0.030068	0.027555	400	8.357395
0.030068	0.026329	500	12.43449

Tabel 4.49 Data Drag Reduction pada bukaan katup 60 derajat

fw	fs	ppm	%DR
0.028489	0.02708	250	4.944857
0.028489	0.02693	300	5.470666
0.028489	0.026141	400	8.241165
0.028489	0.025858	500	9.23311

4.3 ANALISIS DATA

4.3.1. Analisis Reynold numbers dengan friksi

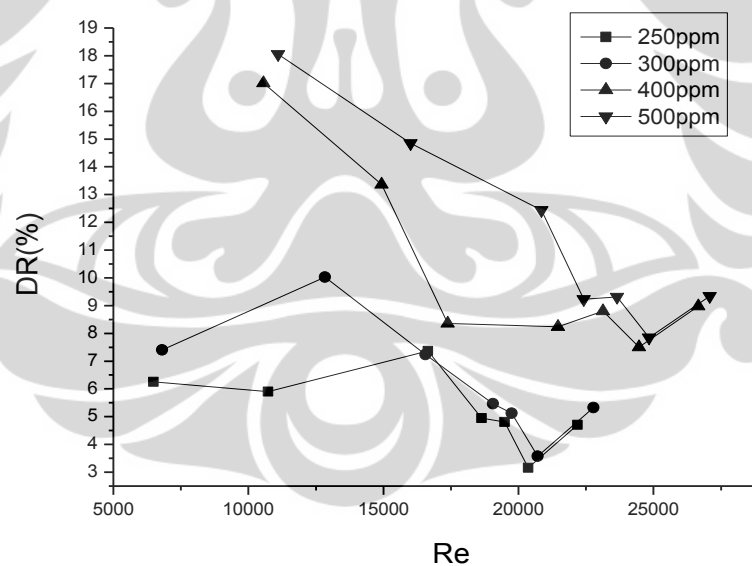


Grafik 4.1. Perbandingan Re dengan friksi

Pada percobaan kali ini, aliran yang dihasilkan adalah aliran turbulen. Pada aliran turbulen nilai koefisien gesek banyak juga dipengaruhi oleh faktor-faktor lain misalnya kekasaran permukaan pipa. Dari grafik terlihat bahwa nilai faktor gesekan pangkat $\frac{1}{2}$ dibandingkan dengan $Re_D f^{1/2}$ pangkat $\frac{1}{2}$ adalah linear. Data hasil percobaan terlihat bahwa friksi pada fluida air lebih besar jika dibandingkan dengan fluida yang dicampur dengan lendir belut yang juga mengalami penurunan seiring dengan penambahan ppm. Faktor gesekan pada air murni jika dibandingkan dengan fluida yang ditambah dengan biopolymer mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya nilai Re. Dengan menggunakan fluida yang dicampur dengan lendir belut sebanyak 500 ppm berada di posisi atas, menandakan bahwa semakin besar bilangan Re maka friksi yang dihasilkan semakin kecil. Pada grafik terlihat data friksi pada fluida yang dicampur lendir belut 250 ppm, 300 ppm, 400 ppm, 500 ppm semakin meningkat dikarenakan perhitungan data yang menggunakan nilai pangkat 0,5.

Semakin besar konsentrasi lendir belut yang dicampurkan ke fluida, maka nilai bilangan Re semakin meningkat pula tetapi tidak dengan friksi yang berbanding terbalik dengan Re dan mengalami penurunan. Aliran turbulen yang terbentuk ini dikarenakan dipengaruhi oleh kecepatan aliran yang dihasilkan dari pompa yang digunakan pada saat pengambilan data percobaan. Semakin besar aliran fluida maka aliran yang akan terbentuk adalah cenderung aliran turbulen. Dengan semakin cepat aliran fluida, friksi yang terjadi adalah semakin kecil karena bentuk aliran fluida yang terbentuk pada aliran turbulen berkembang penuh. Parameter Bilangan Reynolds juga dipandang sebagai perbandingan gaya inersia terhadap gaya viskos. Selain itu pengaruh dari diameter pipa uji, kerapatan yang besar, viskositas, gaya inersia atau gaya yang diakibatkan oleh percepatan atau perlambatan fluida dan gaya gesek fluida terhadap pipa juga berpengaruh pada nilai friksi yang dihasilkan.

4.3.2. Analisis Reynold numbers dengan Drag Reduction



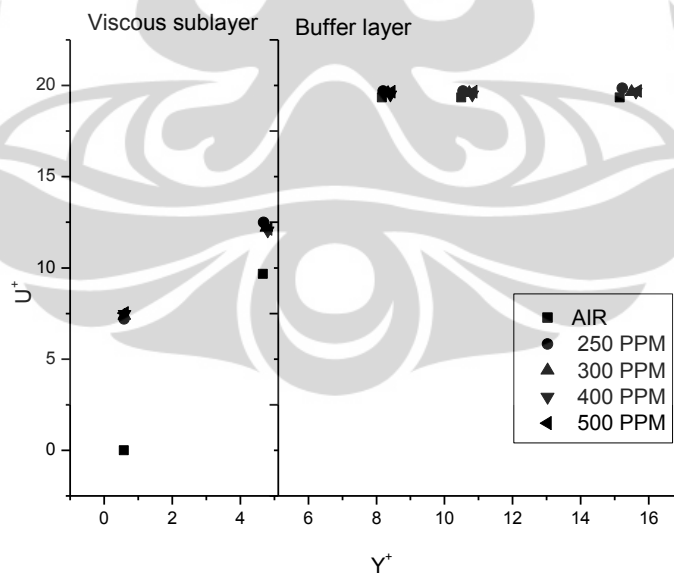
Grafik 4.2. Perbandingan Re dengan DR

Dari grafik perbandingan Re dengan Re terlihat bahwa fluida yang dicampur dengan lendir belut sebanyak 500 ppm memiliki drag reduction yang lebih besar jika dibandingkan dengan fluida yang diberi lendir belut sebanyak 400 ppm, 300 ppm dan 250 ppm. Dengan kisaran %DR antar 3,1% -18%, pengurangan

drag juga dipengaruhi oleh friksi yang terjadi pada fluida dengan pipa uji ataupun friksi antar fluida itu sendiri. Pencampuran fluida air dengan lendir belut menyebabkan terjadinya perubahan molekul pada fluida. Sejumlah unit-unit molekul yang kecil yang disebut sebagai monomer bergabung menjadi senyawa yang besar sehingga membentuk polimer.

Kecenderungan pada sifat atom yang tidak stabil jika tidak berpasangan menimbulkan adanya gaya tarik menarik antar atom. Karena adanya gaya pegas tarik menarik antar monomer yang menyebabkan pemanjangan / penguluran mengakibatkan polimer selalu bergerak bersamaan sehingga hambatan yang terjadi pada fluida menjadi lebih kecil. Semakin banyak ppm yang diberikan maka akan semakin banyak monomer yang terbentuk dan bergabung membentuk polimer dan mengakibatkan gaya tarik menarik antar monomer semakin besar dan menyebabkan terjadinya penguluran pada molekul sehingga hambatan pada fluida menjadi berkurang dan dapat mempercepat aliran fluida tetapi dengan menggunakan energi yang lebih kecil.

4.3.3. Analisis perbandingan U^+ dan Y^+



Grafik 4.3. Perbandingan Y^+ dan U^+

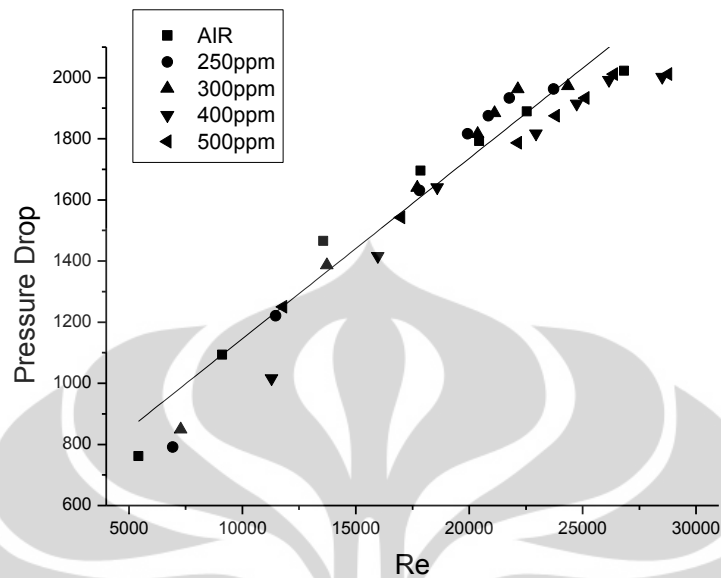
Dari grafik hukum dinding perbandingan U^+ dengan Y^+ diketahui bahwa, Y^+ adalah koordinat dinding pipa, yang dapat diketahui jika memiliki variabel y yang merupakan jarak pitot ke dinding pipa, kecepatan geser (U_τ) dan juga

viskositas kinematik (ν). Dari ketiga variabel tersebut didapatkan hubungan ketiganya dengan mengalikan nilai kecepatan kinematik dengan jarak pitot dan kemudian dibagi dengan viskositas kinematik yang dipengaruhi dari suhu fluida. Dengan nilai U_τ yang juga dipengaruhi oleh nilai tegangan geser dan massa jenis fluida.

Sedangkan U^+ adalah merupakan kecepatan dimensi yang didapat jika memiliki variabel U dan U_τ . Kecepatan dimensi tersebut didapat dengan cara membagi nilai U yang didapat dari perhitungan akar dua kali gravitasi dikali dengan delta h yang didapat pada saat percobaan dengan menggunakan pitot tube. Dari kedua nilai tersebut terlihat bahwa keduanya dipengaruhi oleh kecepatan geser, dengan Y^+ berbanding lurus dengan kecepatan geser dan U^+ yang sebaliknya berbanding terbalik dengan kecepatan geser.

Berdasarkan perhitungan data, dapat terlihat perbedaan angka-angka yang muncul untuk setiap variabel percobaan. Angka-angka tersebut kemudian divisualisasikan ke dalam bentuk kurva perbandingan untuk melihat korelasi antara Y^+ yang merupakan koordinat dinding pipa dengan U^+ yang merupakan kecepatan dimensi. Pada gambar kurva yang menunjukkan perhitungan hukum dinding aliran turbulen yang kita dapatkan adalah berupa koordinat x dan y . Dengan x adalah Y^+ dan y adalah U^+ . Dari grafik terlihat perbedaan nilai titik Y^+ pada setiap PPM yang nilainya meningkat. Yang mengindikasikan bahwa pada setiap kenaikan PPM terjadi pula kenaikan shear stress (tegangan geser) pada aliran turbulen pada pipa. Dapat disimpulkan bahwa karena adanya pengaruh dari shear stress yang nilainya cenderung meningkat pada setiap kenaikan PPM, seiring dengan itu pula angka koordinat pada dinding pipa (Y^+) juga mengalami peningkatan.

4.3.4. Analisis Reynold numbers dengan Pressure Drop



Grafik 4.4. Perbandingan Re dengan Pressure Drop

Dari grafik yang dihasilkan terlihat bahwa nilai pressure drop dari fluida yang dicampur dengan biopolymer lendir belut 500 ppm, 400 ppm, 300 ppm, 250 ppm memiliki kerugian jatuh tekanan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan fluida air murni tanpa pemberian biopolymer. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi nilai tersebut, faktor-faktor tersebut diantaranya adalah massa jenis, gravitasi, dan beda ketinggian pada manometer. Selain itu besar katup pada pipa juga mempengaruhi tekanan pada aliran. Semakin kecil derajat bukaan katup pada pipa maka tekanan aliran fluida yang mengalir dalam pipa menjadi lebih besar. Faktor lain yang mempengaruhi pressure drop adalah pada pemilihan pompa yang digunakan pada saat pengambilan data. Massa jenis fluida juga sangat dipengaruhi oleh massa, volume, dan temperature dari fluida itu sendiri. Pada percobaan kali ini, seiring dengan kenaikan penambahan ppm pada fluida, temperatur dan massa jenis fluida juga meningkat sehingga mempengaruhi nilai kerugian jatuh tekanan. Seiring dengan penambahan polymer lendir belut 250 ppm, 300 ppm, 400 ppm, 500 ppm ke dalam fluida, nilai kerugian jatuh tekanan cenderung menurun sehingga tidak ada kerugian dalam penggunaan energi pompa.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa

- Semakin besar ppm biopolymer belut maka semakin besar pula persen drag reduction.
- Semakin besar Bilangan Reynolds pada suatu fluida maka friksi yang dihasilkan akan semakin kecil.
- Pada hukum dinding nilai shear stress, viskositas dan temperatur fluida sangat berpengaruh, semakin besar ppm yang diberikan maka akan semakin berpengaruh pada kecepatan geser pada dinding pipa uji.
- Semakin besar nilai ppm biopolymer belut yang diberikan kecenderungan kerugian jatuh tekanan akan lebih kecil sehingga tidak ada kerugian pada penggunaan energi.

5.2 SARAN

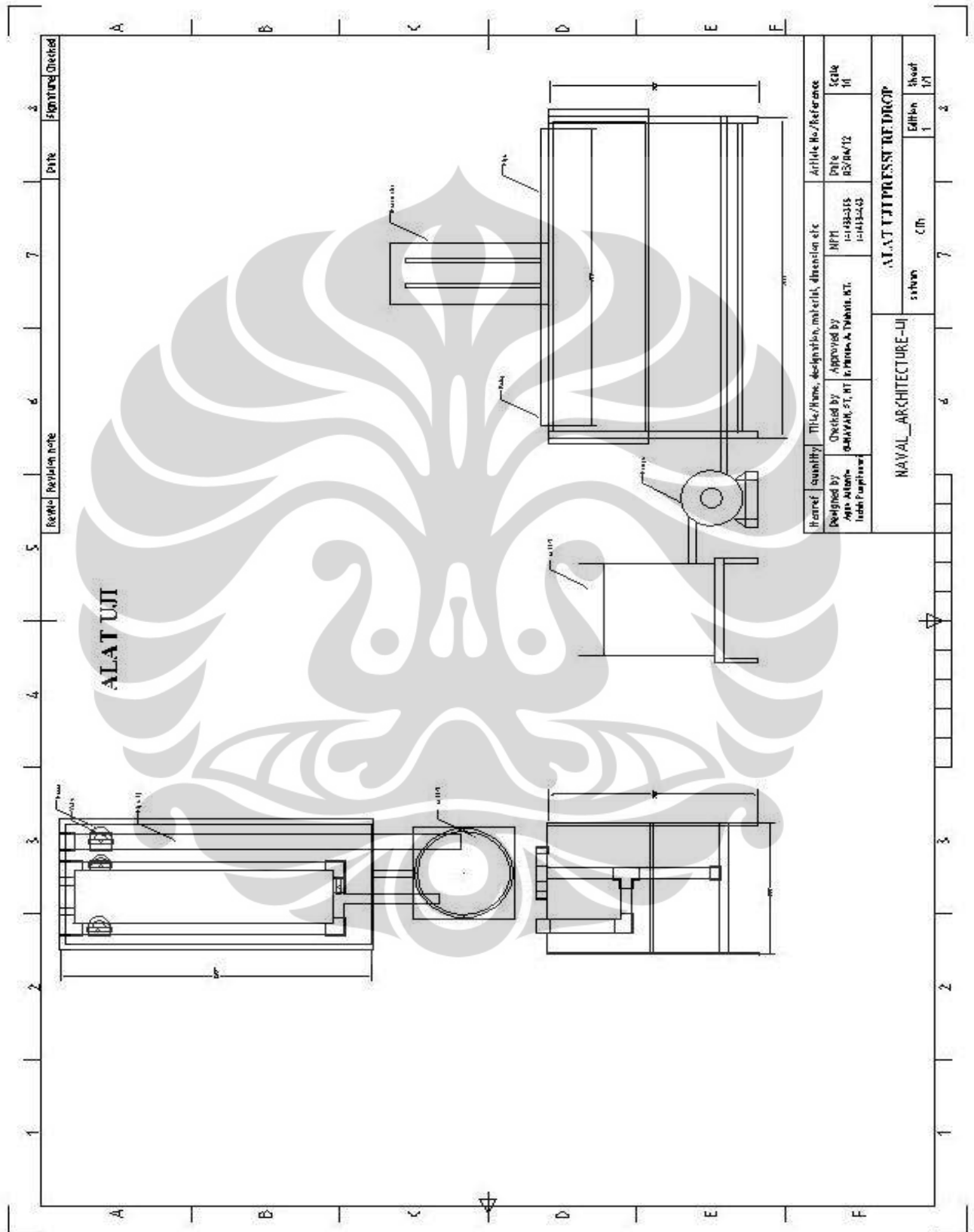
Dari penelitian ini ada beberapa saran yang perlu dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya, antara lain adalah sebagai berikut :

- Untuk mendapatkan data yang lebih akurat pada saat pencampuran lendir belut dengan fluida rentang waktu dari pengambilan lendir belut hingga pencampuran tidak boleh terlalu lama, dikarenakan adanya degradasi pada lendir belut.
- Sebelum melakukan pengambilan data sebaiknya memastikan dulu tidak ada kebocoran pada alat uji.
- Penggunaan katup pada pipa sebaiknya menggunakan katup yang lebih presisi agar sudut bukaan katup dan data yang dihasilkan dapat lebih akurat.
- Pemilihan posisi pemasangan manometer agar menjadi pertimbangan, karena akan mempengaruhi pembacaan data pada saat percobaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Munson, B.R., *Fundamentals of Fluid Mechanics 4th Ed*, John Wiley & Sons, Inc. 2000
- Gyr. A, and Bewersdorff. W. H., “*Drag Reduction of Turbulent Flows by Additives.*” Kluwer Academic Publisher. London. 1995.
- Theodorsen, Theodore., and Regier Arthur, “*Experiments on Drag of Revolving Disks, Cylinders, and Streamline Rods at Jogh Speeds.*” Journal., Report No. 793.
- Zanoun. E. S., and Durst. F., Nagib. H., “*Evaluating the Law of The Wall in Two-Dimensional Fully Developed Turbulent Channel Flows.*” Journal Physics of Fluids. Volume 15, Number 10. October 2003.
- Etmad, S. Gh. (2004). *Turbulent Flow Friction Loss Coefficients of fittings for Purely Viscous non-Newtonian Fluids.* Int. Comm. Heat Mass Transfer, 31, 763
- Rosen, Wm. Moe., and Conford, E. Neri. *Fluid Friction of the Slime of Aquatic Animals.* Naval Undersea Research And Development Center.

LAMPIRAN



60