

**SKRIPSI**

**ANALISIS KARAKTERISTIK POLA ALIRAN LIMBAH *LAUNDRY*  
PADA SALURAN TERTUTUP**



**OLEH :**

**YUSPITASARI JUFRI**  
105 81 11152 16

**TRI RAMADH ARRAHMAN**  
105 81 2522 15

**PROGRAM STUDI TEKNIK PENGAIRAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

**2021**

**ANALISIS KARAKTERISTIK POLA ALIRAN LIMBAH LAUNDRY  
PADA SALURAN TERTUTUP**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Guna Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah  
Makassar**

**Disusun dan Diajukan Oleh :**

**YUSPITASARI JUFRI**  
105 81 11152 16

**TRI RAMADH ARRAHMAN**  
105 81 2522 15

16 / 09 / 2021

1 exp  
sumbangan Alumni  
P/0047/SIP/21 CD  
Yus  
a'

**PROGRAM STUDI TEKNIK PENGAIRAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

**2021**



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

Skripsi atas nama **Yuspitasari Jufri** dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 11152 16 dan **Tri Ramadh Arrahman** dengan nomor induk mahasiswa 105 81 2522 15, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0012/SK-Y/22201/091004/2021, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Pengairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari selasa tanggal 31 Agustus 2021.

Makassar, 22 Muharam 1443 H  
31 Agustus 2021 M

Panitia Ujian:

Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. H. Ambo Asse, M.Ag

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT.

Penguji:

a. Ketua : Dr. Eng. Ir. H. Farouk Maricar, MT., M.eng

b. Sekertaris : Kasmawati, ST., MT.

Anggota: 1. Dr. Ir. Hj. Fenty Daud, S. MT

2. Dr. Ir. Muh. Yunus Ali, ST., MT., IPM

3. Mahmuddin, ST., MT., IPM

Mengetahui:

Pembimbing I

Dr. Hj. Sukmasari Antaria, M.Sc

Pembimbing II

Ir. Hamzah Al Imran, ST., MT., IPM



Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ir. Hj. Nurnawaty, ST., MT., IPM

NBM : 855 500

# UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

## PROGRAM STUDI TEKNIK PENGAIRAN

### FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 589 Makassar 90221

Website : www.unismuh.ac.id, e-mail : unismuh@gmail.com

Website : teknikpengairanft@unismuh.ac.id



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## HALAMAN PERSETUJUAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Pengairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **ANALISIS KARAKTERISTIK POLA ALIRAN LIMBAH LAUNDRY PADA SALURAN TERTUTUP**

Nama : 1. YUSPITASARI JUFRI  
2. TRI RAHMADH ARRAHMAN  
Stb : 1. 105 81 11152 16  
2. 105 81 2522 15

Makassar, 24 September 2020

Telah Diperiksa dan Disetujui  
Oleh Dosen Pembimbing

Telah diperiksa dan disetujui  
Dosen Pembimbing II

Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. Hj. Sukmasari Antaria, M.Sc

Ir. Hamzah Al Imran, ST., MT., IPM

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Teknik Pengairan

Andi Makbul Syamsuri, ST., MT., IPM

NBM. 1183 084

## Abstrak

Drainase tertutup mempunyai sistem saluran yang permukaan airnya tidak terpengaruh dengan udara luar (*atmosfir*). Saluran drainase tertutup sering digunakan untuk mengalirkan air limbah atau air kotor yang mengganggu kesehatan lingkungan dan mengganggu keindahan. Permasalahan lingkungan saat ini dominan limbah cair yang berasal dari berbagai aktivitas dan kegiatan usaha jasa *laundry*. Permukaan limbah terdapat buih dan jika dibiarkan terdapat endapan di bagian dasar saluran sehingga menyebabkan pendangkalan. Rumusan masalah yang mendasari penelitian ini yaitu bagaimana karakteristik pola aliran limbah *laundry* dalam saluran tertutup dan bagaimana pengaruh konsentrasi kandungan air limbah *laundry* terhadap kecepatan aliran pada saluran tertutup. Tujuan dari penelitian ini, yaitu untuk menganalisis karakteristik pola aliran limbah *laundry* pada saluran tertutup dan menganalisis pengaruh konsentrasi kandungan air limbah *laundry* terhadap kecepatan aliran pada saluran tertutup. Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimental dengan observasi di bawah kondisi buatan. Dalam penelitian ini digunakan 3 variasi konsentrasi limbah *laundry* yang terdiri dari 249.500 ml air, 500 ml deterjen pada konsentrasi 95% air + 5% deterjen dan 249.000 ml air + 1000 ml deterjen pada konsentrasi 90% air + 10% deterjen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik sampel air bersih pada nilai bilangan reynold ( $Re$ ) terbesar berada pada titik pengukuran (TP1) sebesar 149.516 dengan kecepatan ( $V$ ) = 1,878 m/dtk dan nilai bilangan reynold ( $Re$ ) terkecil berada pada titik pengukuran (TP4) sebesar 105.724 dengan nilai kecepatan ( $V$ ) = 1,328 m/dtk. Sedangkan karakteristik limbah air *laundry* nilai bilangan reynold ( $Re$ ) terbesar berada pada titik pengukuran (TP1) sebesar 202.752 dengan kecepatan ( $V$ ) adalah 2,547 m/dtk dan nilai bilangan reynold ( $Re$ ) terkecil berada pada titik pengukuran (TP4) sebesar 152.192 dengan nilai kecepatan ( $V$ ) = 1,912 m/dtk. Kesimpulan penelitian ini menunjukkan bahwa semakin jauh dari tinggi jatuh air dari TP1 ke TP4, kecepatan yang dihasilkan semakin kecil.

**Kata Kunci :** karakteristik pola aliran limbah, limbah *laundry*, saluran tertutup, pengaruh konsentrasi, kecepatan aliran.

## Abstract

Closed drainage has a channel system whose water surface is not affected by the outside air (*atmosphere*). Closed drainage channels are often used to drain wastewater or dirty water that interferes with environmental health and interferes with beauty. Currently, the dominant environmental problem is liquid waste originating from various activities and business activities of laundry services. The surface of the waste as foam and if left unchecked there will be deposits at the bottom of the channel, causing siltation. The formulation of the problem that underlies this research is how the characteristics of the flow pattern of laundry waste in a closed channel and how the effect of the concentration of laundry wastewater content on the flow velocity in a closed channel. The purpose of this study, is to analyze the characteristics of the flow pattern of laundry waste in a closed channel and to analyze the effect of the concentration of laundry wastewater on the flow velocity in a closed channel. This research is an experimental research type with observation under artificial conditions. In this study, 3 variations of the concentration of laundry waste were used, consisting of 249,500 ml of water, 500 ml of detergent at a concentration of 95% water + 5% detergent and 249,000 ml of water + 1000 ml of detergent at a concentration of 90% water + 10% detergent. The results showed that the characteristics of clean water

samples at the largest Reynolds number ( $Re$ ) were at the measurement point (TP1) of 149,516 with a speed ( $V$ ) = 1.878 m/s and the smallest Reynolds number ( $Re$ ) was at the measurement point (TP4). of 105,724 with a speed value ( $V$ ) = 1,328 m/s. While the characteristics of laundry water waste, the largest Reynolds number ( $Re$ ) is at the measurement point (TP1) of 202,752 with a speed ( $V$ ) of 2,547 m/s and the smallest Reynolds number ( $Re$ ) is at the measurement point (TP4) of 152,192 with a value of 152,192. speed ( $V$ ) = 1.912 m/s. The conclusion of this study shows that the farther from the height of the water fall from TP1 to TP4, the resulting velocity is getting smaller.

**Keywords:** characteristics of waste flow patterns, laundry waste, closed channels, influence of concentration, flow velocity.





## KATA PENGANTAR

### Assalamualaikum wr.wb

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena rahmat dan hidayah-Nyalah sehingga dapat menyusun proposal tugas akhir ini, dan dapat kami selesaikan dengan baik. Proposal tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan akademik yang harus ditempuh dalam rangka menyelesaikan program studi pada Jurusan Sipil Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir kami adalah **“ANALISIS KARAKTERISTIK POLA ALIRAN LIMBAH LAUNDRY PADA SALURAN TERTUTUP”**.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa didalam penulisan proposal tugas akhir ini masih terdapat kekurangan – kekurangan, hal ini disebabkan karena penulis sebagai manusia biasa tidak lepas dari kesalahan dan kukurangan baik itu ditinjau dari segi teknis penulisan maupun dari perhitungan – perhitungan. Oleh karena itu, penulis menerima dengan sangat ikhlas dengan senang hati segala koreksi serta perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini agar kelak dapat bermanfaat. Proposal tugas akhir ini dapat terwujud berkat adanya bantuan.

arahan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, kami mengucapkan terimakasih dan penghargaan yang setinggi – tingginya kepada:

1. **Dr. Ir. Hj. Nurnawaty, ST., MT., IPM** sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. **Bapak A. Makbul Syamsul, S.T., M.T.** sebagai Ketua Jurusan Teknik Sipil Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. **Ibu Dr. Ir. Hj. Sukmasari Antaria, M. Sc.** selaku Pembimbing I dan **Bapak Ir. Hamzah Ali Imran, S.T., M.T.** selaku Pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktunya, memberikan bimbingan dan pengarahan sehingga terwujudnya tugas akhir ini.
4. Bapak dan Ibu dosen serta para staf pegawai di Fakultas Teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
5. Saudara–saudaraku serta rekan–rekan mahasiswa Fakultas Teknik yang dengan persaudaraannya banyak membantu dalam menyelesaikan proposal tugas akhir ini.
6. ayahanda dan ibunda tercinta yang senantiasa memberikan limpahan kasih sayang, doa, serta pengorbanannya terutama dalam bentuk materi untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga semua pihak tersebut di atas mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah SWT dan proposal tugas akhir yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi penulis, rekan – rekan, masyarakat serta bangsa dan Negara. Amin.

***“Billahi Fii Sabillil Haq Fastabiqul Khaerut”.***



## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR PERSAMAAN.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR NOTASI.....</b>	<b>x</b>
<b>BAB I. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	4
C. Tujuan Penelitian.....	5
D. Manfaat Penelitian.....	5
E. Batasan Masalah.....	6
F. Sistematika Penulisan.....	6
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>8</b>
A. Aliran Pada Saluran Tertutup.....	8
B. Jenis-Jenis Aliran .....	8
C. Persamaan Bernolli.....	9
D. Viskositas.....	11
1. Bilangan Rynolds .....	14

2. Tahanan Gesek Pipa.....	16
E. Aliran Melalui Pipa .....	16
1. Pipa Halus .....	16
2. Pipa Daerah Transisi .....	17
3. Pipa Daerah Turbulen .....	17
F. Aliran Permanen dan Tidak Permanen .....	20
G. Aliran Subkritis, Kritis Dan Superkritis .....	20
H. Kehilangan Energi.....	21
1. Mayor Headloss (Mayor Losses).....	21
I. Sistem Perpipaan Air Limbah .....	22
J. Karakteristik Limbah Cair .....	24
K. Kegiatan <i>Laundry</i> .....	25
<b>BAB III. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>27</b>
A. Bentuk Dan Jenis Penelitian .....	27
B. Tempat Dan Waktu Penelitian .....	27
C. Rancangan Penelitian.....	27
1. Alat .....	27
2. Bahan .....	31
D. Variabel Dan Parameter Penelitian .....	31
E. Tahapan Dan Prosedur Pengambilan Data .....	32
F. Diagram Proses Penelitian Laboratorium .....	34
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>35</b>
A. Data dan Analisa sampel air bersih.....	35
1. Karakteristik Sampel Air Bersih .....	35

2. Kecepatan aliran (V) dan pengukuran debit (Q).....	36
3. Kecepatan aliran (V) dan Bilangan Reynolds (Re).....	38
4. Hubungan Bilangan Reynolds (Re) terhadap koefisien gesek (f)..	40
5. Kehilangan energi (hf) dan kecepatan aliran (V).....	42
<b>B. Data dan Analisa sampel air limbah laundry .....</b>	<b>44</b>
1. Kecepatan aliran (V) dan pengukuran debit (Q) .....	41
2. Kecepatan aliran (V) dan Bilangan Reynolds (Re) .....	48
3. Hubungan Bilangan Reynolds (Re) terhadap koefisien gesek (f) ...	50
4. Kehilangan energi (hf) dan kecepatan aliran (V) .....	53
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>56</b>
A. Kesimpulan .....	56
B. Saran .....	56
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>57</b>
<b>Lampiran .....</b>	<b>59</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Ilustrasi persamaan Bernoulli .....	10
Gambar 2 Pola aliran laminar .....	12
Gambar 3 Pola aliran turbulen .....	13
Gambar 4 Pola aliran transisi .....	13
Gambar 5 Kehilangan energi .....	22
Gambar 6 Deterjen untuk bahan pencuci .....	26
Gambar 7 Rangkaian Media Pengujian, (a) tampak atas, (b) tampak samping .....	28
Gambar 8 Reservoir atas (a) dan Reservoir Bawah (b) .....	29
Gambar 9. Kutub dan busur derajat .....	29
Gambar 10 Tabung Pitot dan manometer .....	30
Gambar 11 Pompa Air .....	30
Gambar 12 Diagram Proses Penelitian Laboratorium .....	34
Gambar 13 Hubungan kecepatan rata-rata ( $V$ ) terhadap debit rata-rata ( $Q$ ) .....	38
Gambar 14. Hubungan bilangan Reynold terhadap kecepatan .....	40
Gambar 15. Hubungan bilangan Reynold terhadap koefisien gesek .....	42
Gambar 16. Hubungan kehilangan energi terhadap kecepatan .....	44
Gambar 17. Hubungan debit terhadap kecepatan air limbah <i>laundry</i> .....	47
Gambar 18. Hubungan kecepatan ( $v$ ) dengan bilangan Reynold ( $Re$ ) .....	50
Gambar 19. Hubungan bilangan Reynold ( $Re$ ) terhadap koefisien gesek ( $f$ ) .....	52
Gambar 20. Kehilangan energi ( $h_f$ ) terhadap kecepatan ( $V$ ) .....	55

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Koefisien Hazen-William .....	17
Tabel 2 Koefisien Manning Untuk Aliran Melalui Pipa .....	19
Table 3 Karakteristik Limbah Domestik .....	25
Tabel 4 Variasi Dan Parameter Penelitian .....	31
Tabel 5 Rangkaian Simulasi Pada Tiap Sampel air bersih secara fisik .....	36
Tabel 6. Hasil pengukuran kecepatan pada sampel air bersih .....	37
Table 7. Parameter bilangan Reynold .....	39
Tabel 8. Parameter koefisien gesek .....	41
Tabel 9. Kehilangan energi .....	43
Tabel 10. Kecepatan aliran di setiap konsentrasi .....	45
Table 11. hubungan kecepatan dan bilangan Reynold .....	48
Table 12 bilangan <i>Reynold</i> ( $Re$ ) terhadap koefisien gesek ( $f$ ) .....	51
Table 13. kehilangan energi ( $hf$ ) .....	53

## DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 1 Bernoulli.....	8
Persamaan 2 Kapasitas Aliran (Q) Untuk Fluida Yang <i>Incompressible</i> .....	9
Persamaan 3 kecepatan aliran .....	9
Persamaan 4 Bilangan Reynold .....	13
Persamaan 5 gesekan untuk pipa halus .....	14
Persamaan 6 Rumus Empiris.....	14
Persamaan 7 Rumus Blasium.....	14
Persamaan 8 Rumus Blasium.....	14
Persamaan 9 Rumus Hazen-William.....	14
Persamaan 10 Rumus Manning.....	15
Persamaan 11 Rumus Chezy.....	16
Persamaan 12 Rumus Stickler.....	17
Persamaan 13 Bilangan <i>Froude</i> ( $F_r$ ).....	17
Persamaan 14 Head Loss Mayor.....	18
Persamaan 15 Darcy-Weisbach.....	18

## DAFTAR NOTASI

$g$	=	Percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )
$\mu$	=	Viskositas dinamik ( $Ns/m^2$ )
$\nu$	=	Viskositas kinematic ( $m^2/s$ )
$Re$	=	Bilangan Reynold
$C_v$	=	Konsentrasi volume slurry (%)
$F_L$	=	Froude
$V_L$	=	Limit Deposit velocity ( $m/s$ )
$v$	=	kecepatan aliran ( $m/s$ )
$v_r$	=	kecepatan rata-rata aliran ( $m/s$ )
$\rho_w$	=	Kerapatan air atau densitas ( $kg/m^3$ )
$\rho_s$	=	Kerapatan air atau densitas ( $kg/m^3$ )
$A$	=	Luas penampang ( $m^2$ )
$\tau$	=	Tegangan geser ( $N/m^2$ )
$Q$	=	Debit aliran ( $m^3/s$ )
$Q_r$	=	Debit rata-rata ( $m^3/s$ )
$Q_s$	=	debit sedimen ( $m^3/s$ )
$f$	=	koefisien kekasaran pipa
$K$	=	koefisien faktor sambungan, cabang dan belokan
$K_b$	=	koefisien kehilangan tenaga pada belokan
$t$	=	Waktu (s)
$L$	=	Panjang aliran dalam pipa (m)
$P_a$	=	Tekanan Atmosfer
$P$	=	Tekanan ( $N/m^2$ )
$h$	=	Ketinggian fluida (m)
$H$	=	Head (m)
$D$	=	Diameter pipa (mm)
$\nu$	=	viskositas kinematis ( $m^2/s$ )

## BAB I PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Setiap pencemaran Lingkungan Hidup membawa dampak negatif berupa turunya kualitas atau mutu lingkungan hidup. Tanpa unsur itu tidak dapat disebut sebagai pencemaran (*Rhiti, Hyronimus 2006,*). Menurut pasal 1 angka 14 UUPPLH, pencemaran lingkungan hidup adalah masuk atau di masukannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain kedalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melapau buku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan.

Permasalahan lingkungan saat ini dominan limbah cair yang berasal dari berbagai aktivitas dan kegiatan usaha jasa *lauundry*. Limbah cair yang dihasilkan dari kegiatan usaha jasa salah satunya adalah limbah *laundry*. Limbah *laundry* merupakan air sisa /air buangan dari kegiatan pencucian. Selama ini limbah *laundry* dialirkan ke saluran drainase permukiman yang menyebabkan kondisi lingkungan permukiman di Indonesia pada umumnya belum terjaga secara baik, secara estetika dan kesehatan lingkungan. (*Handayani, Dwi Siswi 2013* ). Pada dasarnya Limbah adalah suatu bahan yang terbuang dari suatu sumber hasil aktifitas manusia, maupun proses-proses alam dan tidak atau belum mempunyai nilai ekonomi, bahkan mempunyai nilai ekonomi yang negatif. Limbah dikatan mempunyai nilai ekonomi yang negatif karna penanganan untuk membuang atau membersihkannya memerlukan biaya yang cukup besar (*Wardana, Wisnu Arya 2001*). Menurut Pasal 1 angka 2 peraturan Pemerintah Nomor 101 tahun 2014 tentang pengolahan limbah bahan berbahaya dan beracun, limbah adalah sisa

suatu usaha dan / atau kegiatan usaha *laundry* ini berpotensi menurunkan kualitas lingkungan.

Meningkatnya usaha jasa *laundry* akan memberikan dampak positif, salah satunya adanya penyerapan tenaga kerja. Akan tetapi, usaha jasa *laundry* yang berkembang pesat juga memiliki dampak negatif, bahwa limbah *laundry* berpotensi mencemari air dan lingkungan. (Yudhistira, Abdul Malik 2020)

Hampir semua usaha jasa *laundry* membuang air limbah langsung ke badan air, seperti sungai, maupun selokan. Tanpa di sadari limbah *laundry* tersebut menyebabkan pencemaran air yang berakibat menurunnya kualitas perairan. Jika dilihat secara fisik, kondisi awal limbah *laundry*, keruh, berbau, berwarna keabu-abuan, di permukaan limbah terdapat buih dan jika dibiarkan terdapat endapan di bagian dasar saluran sehingga menyebabkan pendangkalan. (Sartika, Nurdwi 2019). Dampak negatif Limbah yang langsung dibuang ke lingkungan dapat menimbulkan gangguan terhadap biota air maupun gangguan estetika. mencemari tanah, mencemari air, dan dapat menimbulkan bau yang tidak sedap. Sedangkan bagi kesehatan dapat menyebabkan penyakit kulit seperti gatal-gatal, kudis dan kurap. (Yuliana, 2020).

Menurut peraturan wali kota makassar tentang pengelolaan air limbah domestik, di Bab 3 pasal 3 yakni (1) Pengelolaan air limbah domestik, harus dilakukan secara sistimatis, menyeluruh dan berkesinambungan, dan terpadu antara aspek fisik dan non fisik (2) Aspek fisik sebagaimana dimaksud pada ayat 1 meliputi aspek teknis oprasional. (3) Aspek non fisik sebagaimana dimaksud pada ayat 1 meliputi aspek peran serta masyarakat, kelembagaan, legalitas dan aspek

pembiayaan. Air limbah domestik yang akan dibuang ke badan air harus memenuhi standar baku mutu lingkungan sesuai dengan peraturan pemerintah No.82 tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air dimana kadar COD yang akan dibuang ke badan air golongan III tidak boleh melebihi 50 mg/ltr dan kadar deterjen 200 mg/ltr.

Saluran atau pipa adalah berpenampang lingkaran yang digunakan untuk mengalirkan fluida dengan tampang aliran penuh. (Triatmojo,). Drainase tertutup ini mempunyai sistem saluran yang permukaan airnya tidak terpengaruh dengan udara luar (atmosfir). Saluran drainase tertutup sering digunakan untuk mengalirkan air limbah atau air kotor yang mengganggu kesehatan lingkungan dan mengganggu keindahan.

Keuntungan saluran tertutup adalah bagian atas dari saluran dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, menghemat lahan, tidak mengeluarkan bau, tidak mencemari lingkungan, aliran lebih terjamin dan dapat mengatasi fluktuasi aliran dengan baik, serta pendistribusian fluida yang murah. Sedangkan dampak negatif saluran tertutup dalam proses pemeliharaan/pembersihan jauh lebih sulit, apalagi kesadaran masyarakat Indonesia masih rendah dalam hal pembuangan sampah.

Kehilangan energi yang di sebabkan oleh struktur/geometric saluran itu sendiri. Kehilangan energi akibat gesekan disebut juga kehilangan energi primer. Kehilangan energi terjadi akibat adanya kekentalan zat cair dan turbulensi karena adanya kekerasan dinding batas pipa yang akan menimbulkan gaya gesek yang

menyebabkan kehilangan *energy* di sepanjang pipa dengan diameter konstan pada aliran seragam. (Triatmojo 1996 ).

Pada umumnya detergen tersusun atas tiga komponen yaitu, surfaktan (sebagai bahan dasar detergen) sebesar 20-30%, bulders (senyawa fosfat) sebesar 70-80%, dan bahan adiktif (pemutih dan pewangi) yang relatif sedikit yaitu 2-8%. (krik dan othmer, 1982). Limbah Industri pencucian termasuk dalam limbah textile yang kategori limbahnya berasal dari kegiatan pencucian, pelunturan, pembilasan, pewarnaan. Limbah cair industry textile umumnya mempunyai ciri-ciri, yaitu: berwarna, bersifat sangat basa, BOD tinggi, padatan tersuspensi tinggi dan mempunyai suhu yang tinggi, (Nelson L Nemerow, 1995).

Berdasarkan latar belakang di atas penulis tertarik untuk meneliti hubungan karakteristik air limbah laundry pada proses penyabunan, terhadap struktur jaringan pipa di laboratorium dalam sebuah tugas akhir dengan judul “**Analisis Karakteristik Pola Aliran Limbah Laundry Pada Saluran Tertutup**”

## **B. Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik pola aliran limbah *Loundry* dalam saluran tertutup ?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi kandungan air limbah *laundry* terhadap kecepatan aliran pada saluran tertutup?

### C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik pola aliran limbah *laundry* pada saluran tertutup.
2. Menganalisa pengaruh konsentrasi kandungan air limbah *laundry* terhadap kecepatan aliran pada saluran tertutup.

### D. Manfaat Penelitian

Agar penelitian ini berjalan dengan efektif serta mencapai sasaran yang ingin di capai, maka penelitian ini diberikan batasan masalah:

1. Bagi pemilik *laundry*.
  - a) Hasil penelitian ini dapat bermanfaat dalam pengelolaan limbah *laundry* terhadap lingkungan yang ada di sekitar *laundry*.
  - b) Sebagai bahan masukan untuk pemilik *laundry* agar dapat mencegah pencemaran di lingkungan sekitar.
2. Bagi penulis.

Penelitian ini bermanfaat untuk menambah pengetahuan dan pengalaman berharga dalam menerapkan teori-teori yang di dapat dari bangku kuliah dan sebagai awal informasi penelitian selanjutnya.

3. Bagi pemerintah.

Hasil penelitian ini di harapkan dapat berguna sebagai referensi, khususnya bagi pemerintah, untuk menentukan kebijakan yang tepat terkait dalam perencanaan saluran tertutup.

### E. Batasan Masalah

Untuk memudahkan dalam proses penelitian ini, maka diberikan batasan masalah yaitu sebagai berikut:

Penelitian dilakukan dilaboratorium hidrolika Universitas Hasanuddin, Gowa.

- 1) Tidak meneliti karakteristis pola aliran pada sambungan pipa.
- 2) Tidak adanya kemiringan pipa.
- 3) Tidak ada kebocoran pada pipa.
- 4) Sampel air *laundry* yang di gunakan adalah *laundry* pada proses penyabunan.

### F. Sistematika Penulisa

Sistematika penulisan pada penelitian ini disusun secara sistematis dengan uraian pada setiap bab-bab guna memudahkan dalam penyusunan skripsi dan memudahkan pembaca untuk memahami makna uraian yang terkandung pada setiap pokok pembahasan.

Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini diuraikan sebagai berikut :

#### **BAB I : PENDAHULUAN**

Merupakan bab yang menguraikan tentang bagaimana latar belakang masalah pada penelitian ini, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

#### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Merupakan bab yang berisi tentang kerangka acuan yang memuat landasan teori yang digunakan dan penelitian terdahulu yang relevan.

### **BAB III : METODOLOGI PENELITIAN**

Dalam bab ini dijelaskan tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, jenis penelitian, metode pengambilan data, metode analisis data, metode yang diteliti, prosedur penelitian dan flowchart.

### **BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menguraikan tentang analisis hasil penelitian dan pembahasan.

### **BAB V : PENUTUP**

Merupakan bab penutup dari keseluruhan isi penelitian yang berupa kesimpulan dan saran.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Aliran Pada Saluran Tertutup**

Saluran tertutup yang biasanya berpenampang lingkaran digunakan untuk mengalirkan fluida dengan tampang aliran penuh (*Triatmojo 1996*). Fluida yang dialirkan melalui pipa bisa berupa zat cair atau gas dan tekanan bisa lebih besar atau lebih kecil dari tekanan atmosfer. Apabila zat cair di dalam pipa tidak penuh maka aliran termasuk dalam aliran saluran terbuka atau karena tekanan di dalam pipa sama dengan tekanan atmosfer (zat cair di dalam pipa tidak penuh), aliran termasuk dalam pengaliran terbuka. Karena mempunyai permukaan bebas, maka fluida yang dialirkan adalah zat cair. Tekanan dipermukaan zat cair sepanjang saluran terbuka adalah tekanan atmosfer.

Perbedaan mendasar antara aliran pada saluran terbuka dan aliran pada saluran tertutup adalah adanya permukaan yang bebas yang (hampir selalu) berupa udara pada saluran terbuka. Jadi jika pada pipa alirannya tidak penuh sehingga masih ada rongga yang berisi udara maka sifat dan karakteristik alirannya sama dengan aliran pada saluran terbuka (*Kodoatie, 2002*).

#### **B. Jenis -Jenis Aliran**

Aliran fluida terbagi berdasarkan beberapa kategori, diantaranya berdasarkan sifat pergerakannya adalah :

- a. *Uniform Flow* merupakan aliran fluida yang terjadi dimana besar dan arah dari vektor-vektor kecepatan konstan dari suatu titik ke titik selanjutnya pada aliran fluida tersebut.
- b. *Non Uniform Flow* merupakan aliran yang terjadi dimana besar dan arah vektor-vektor kecepatan fluida selalu berubah terhadap lintasan aliran fluida tersebut, hal ini terjadi apabila luas penampang medium fluida juga berubah.
- c. *Steady Flow* merupakan aliran yang terjadi apabila kecepatannya tidak dipengaruhi oleh waktu, sehingga kecepatannya konstan pada setiap titik pada aliran tersebut.
- d. *Non Steady Flow* merupakan aliran yang terjadi apabila ada suatu perubahan kecepatan aliran tersebut terhadap perubahan waktu.

### C. Persamaan Bernoulli

Hukum kekekalan energi menyatakan energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan namun dapat diubah dari suatu bentuk ke bentuk lain. Energi yang ditunjukkan dari persamaan energi total diatas, atau dikenal sebagai *head* pada suatu titik dalam aliran *steady* adalah sama dengan total energi pada titik lain sepanjang aliran fluida tersebut. Hal ini berlaku selama tidak ada energi yang ditambahkan ke fluida atau yang diambil dari fluida. Konsep ini dinyatakan ke dalam bentuk persamaan yang disebut dengan persamaan Bernoulli, yaitu:

$$Z_1 - \frac{p}{\gamma} - \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 - \frac{p}{\gamma} - \frac{V_2^2}{2g} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan:

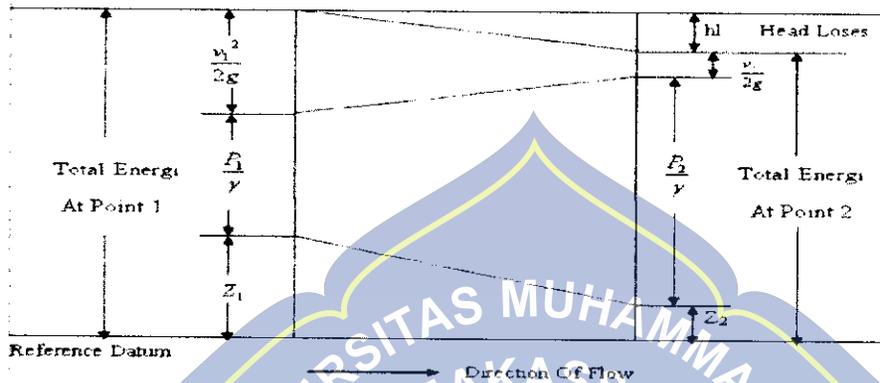
$p_1$  dan  $p_2$  = tekanan pada titik 1 dan 2

$v_1$  dan  $v_2$  = kecepatan aliran pada titik 1 dan 2

$z_1$  dan  $z_2$  = perbedaan ketinggian antara titik 1 dan 2

$\gamma$  = berat jenis fluida

$g$  = percepatan gravitasi = 9,8 (m/s<sup>2</sup>)



Gambar 1. Ilustrasi persamaan Bernoulli (Triatmojo 2015)

Besarnya kecepatan akan mempengaruhi besarnya fluida yang mengalir dalam suatu pipa. Jumlah dari aliran fluida mungkin dinyatakan sebagai volume, berat atau massa fluida dengan masing-masing laju aliran ditunjukkan sebagai laju aliran volume (m<sup>3</sup>/s), laju aliran berat (N/s) dan laju aliran massa (kg/s). Kapasitas aliran ( $Q$ ) untuk fluida yang *incompressible* yaitu:

$$Q = A \cdot v \quad (2)$$

Dimana :

$Q$  = Debit aliran volume (m<sup>3</sup>/s)

$A$  = Luas penampang aliran (m<sup>2</sup>)

$v$  = Kecepatan aliran fluida (m/s)

### 1. Tabung Pitot (Pitot Tube)

Diciptakan oleh insinyur dari Perancis bernama Henri Pitot pada awal 1700 dan dimodifikasi untuk bentuk modennya dipertengahan tahun 1800 oleh ilmuwan Perancis, Henry Darcy.

Tabung pitot adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur kelajuan dalam suatu pipa dengan menggunakan prinsip Hukum Bernoulli. Kelajuan udara di dalam pipa dapat ditentukan dengan persamaan :

$$v = \sqrt{2gh} \dots\dots\dots(3)$$

## 2. Venturimeter

Venturimeter adalah alat yang berdasarkan pada tabung venturi yaitu alat yang dipasang dalam suatu pipa untuk mengukur kelajuan cairan.

## D. Viskositas

Viskositas suatu fluida adalah suatu sifat yang sangat penting dalam penganalisaan tingkah laku fluida dan gerakan fluida dekat batas padat. Zat cair riil didefinisikan sebagai zat yang mempunyai kekentalan, berbeda dengan zat air ideal yang tidak mempunyai kekentalan. Kekentalan disebabkan karena adanya sifat kohesi antara partikel zat cair. Karena adanya kekentalan zat cair maka terjadi perbedaan kecepatan partikel dalam medan aliran. Partikel zat cair yang berdampingan dengan dinding batas akan diam (kecepatan nol) sedang yang terletak pada suatu jarak tertentu dari dinding akan bergerak. Perubahan kecepatan tersebut merupakan fungsi jarak dari dinding batas. Aliran zat cair riil disebut juga aliran viskos.

Aliran viskos dapat dibedakan menjadi 2 (dua) macam. Apabila

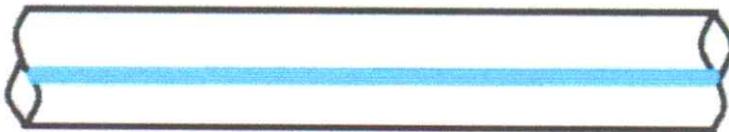
pengaruh kekentalan (viskositas) adalah cukup dominan sehingga partikel-partikel zat cair bergerak secara teratur menurut lintasan lurus maka aliran disebut laminar. Aliran laminar terjadi apabila kekentalan besar dan kecepatan kecil. Dengan berkurangnya pengaruh kekentalan atau aliran bertambah kecepatan maka aliran akan berubah dari laminar menjadi turbulen .

### 1. Aliran laminar

Aliran laminar adalah aliran fluida yang bergerak dengan kondisi lapisan-lapisan (lanima-lamina) membentuk garis-garis alir yang tidak berpotongan satu sama lain. Aliran laminar mempunyai ciri-ciri sebagai berikut :

- a. Fluida bergerak mengikuti garis lurus
- b. Kecepatan fluidanya rendah
- c. Viskositasnya tinggi
- d. Lintasan gerak fluida teratur antara satu dengan yang lain

Aliran laminar diatur oleh hukum yang menghubungkan tegangan geser ke laju perubahan bentuk sudut, yaitu hasil kali kekentalan fluida dan gradient kecepatan. Dalam aliran laminar partikel-partikel zat cair bergerak di sepanjang lintasan- lintasan lurus, sejajar dalam lapisan-lapisan atau lminer. Besarnya kecepatan-kecepatan dari laminar yang berdekatan tidak sama. Kekentalan zat cair tersebut dominan dan oleh karenanya mencegah setiap kecenderungan menuju ke kondisi turbulen.



Gambar 2. Pola aliran laminar (Bambang triadmojo, 2015)

### 2. Aliran turbulen

Aliran turbulen adalah aliran fluida yang partikel-partikelnya bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan berfluktuasi yang saling interaksi. Akibat dari hal tersebut garis alir antar partikel fluidanya saling berpotongan. Aliran dimana pergerakan dari partikel – partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida kebagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dalam keadaan aliran turbulen maka turbulensi yang terjadi membangkitkan tegangan geser yang merata diseluruh fluida sehingga menghasilkan kerugian – kerugian aliran. Aliran turbulen mempunyai ciri-ciri sebagai berikut :

- a. Tidak adanya keteraturan dalam lintasan fluida
- b. Aliran banyak bercampur
- c. Kecepatan fluida tinggi
- d. Panjang skala aliran besar dan viskositasnya rendah



Gambar 3. Pola aliran turbulen (Bambang triadmojo, 2015)

### 3. Aliran transisi

Aliran transisi merupakan salah satu aliran-aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran yang turbulen.



Gambar 4. Pola aliran transisi (Bambang triadmojo, 2015)

Viskositas fluida adalah ukuran ketahanan suatu fluida terhadap deformasi atau perubahan bentuk. Viskositas dipengaruhi oleh temperatur, tekanan, kohesi dan laju perpindahan momentum molekularnya. Viskositas zat cair cenderung menurun dengan seiring bertambahnya kenaikan temperatur hal ini disebabkan gaya – gaya kohesi pada zat cair bila dipanaskan akan mengalami penurunan dengan semakin bertambahnya temperatur pada zat cair yang menyebabkan berturunnya viskositas dari zat cair tersebut. Aliran zat cair nyata (riil) lebih rumit bila dibandingkan dengan aliran zat cair ideal. Definisi dari zat cair riil adalah zat cair yang mempunyai kekentalan (*viscosity*), sedangkan zat cair ideal adalah zat cair yang tidak mempunyai kekentalan.

Kekentalan adalah sifat pada zat cair untuk dapat menahan tegangan geser. Rapat massa dan berat jenis adalah sifat zat cair yang dapat ditentukan pada kondisi zat cair tersebut statis (diam), sedangkan kekentalan,  $\mu$  (mu) adalah sifat zat cair yang hanya dapat dinyatakan pada kondisi dinamik. Pada zat cair yang bergerak, tegangan geser akan bekerja diantara lapisan-lapisan zat cair, dan menyebabkan kecepatan yang berbeda-beda pada lapisan-lapisan zat cair tersebut. Aliran zat cair riil juga disebut aliran viskos.

Ada dua jenis aliran viskositas yang harus dipahami dan diselidiki. Aliran tersebut adalah aliran laminer dan aliran turbulen. Kedua jenis aliran tersebut diatur oleh hukum-hukum yang berbeda.

#### 1. Bilangan *Reynold*

Bilangan *Reynold* adalah bilangan yang tidak mempunyai dimensi, yang menyatakan perbandingan gaya-gaya inersia terhadap gaya-gaya kekentalan.

Reynolds menunjukkan bahwa aliran dapat diklasifikasikan berdasarkan suatu angka tertentu.

Angka Reynolds mempunyai bentuk berikut:

$$Re = \frac{VD\rho}{\mu} \dots \dots \dots (4)$$

$$Re = Re = \frac{VD\rho}{\mu} = \frac{\text{Gaya Inersia}}{\text{Viskositas}}$$

Jika  $\nu = \mu/\rho$  maka  $\frac{1}{\nu} = \frac{\rho}{\mu}$  sehingga :

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

Dimana :

$Re$  = bilangan Reynolds

$V$  = kecepatan rata-rata aliran di dalam pipa (m/s)

$D$  = diameter dalam pipa (m)

$\nu$  = viskositas kinematik cairan ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$\rho$  = Massa jenis fluida ( $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ )

untuk  $Re < 2300$ , aliran bersifat laminar

untuk  $2300 < Re < 4000$ , aliran bersifat transisi

untuk  $Re > 4000$ , aliran bersifat turbulen

Menurut *Reynolds*, ada tiga faktor yang mempengaruhi keadaan aliran yaitu kekentalan zat cair  $\mu$  ( $\mu$ ), rapat masa zat cair  $\rho$  ( $\rho$ ), dan diameter pipa  $D$ . Hubungan antara  $\mu$ ,  $\rho$ , dan  $D$  yang mempunyai dimensi sama dengan kecepatan.

*Reynolds* menunjukkan bahwa aliran dapat diklasifikasikan berdasarkan suatu angka tertentu. Angka tersebut diturunkan dengan membagi kecepatan aliran didalam pipa dengan nilai yang disebut dengan angka Reynolds.

## 2. Tahanan gesek pipa

Koefisien gesekan pipa tergantung pada parameter aliran. Apabila pipa adalah hidraulis halus, parameter tersebut adalah kecepatan aliran, diameter pipa dan kekentalan zat cair dalam bentuk angka *Reynold* ( $Re$ ).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Blasius dia mengemukakan rumus gesekan  $f$  untuk pipa halus dalam bentuk (triatmodjo,2015):

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \dots \dots \dots (5)$$

Dimana :

$f$  = koefisien gesek

$Re$  = bilangan Reynold

## E. Aliran Melalui Pipa

Koefisien  $a$  tergantung dalam kekerasan bidang batas dan kekentalan zat cair. Persamaan (6) adalah persamaan umum dan berdasarkan persamaan tersebut dapat dicari beberapa rumus empiris.

$$V = a D^x \left( \frac{fV^2}{2gD} \right)^y \dots \dots \dots (6)$$

### 1. Pipa halus

Untuk pipa halus rumus Blasium dapat digunakan untuk nilai angka Reynolds  $4000 < Re < 10^5$ , yang dapat ditunjukkan dalam bentuk :

$$\frac{0,316 V^2}{Re^{0,25} 2gD} = 0,316 \left(\frac{v}{VD}\right)^{0,25} \frac{V^2}{2gD} \dots \dots \dots (7)$$

Untuk nilai  $v = 0,984 \times 10^{-6} m^2/d$  yaitu untuk air pada  $21,1^\circ c$  didapat :

$$V = 76D^{\frac{3}{4}} \dots \dots \dots (8)$$

## 2. Pipa daerah transisi

Di daerah transisi berlaku rumus *Hazen-William* yang berbentuk :

$$V = 0,354CH^{0,54}D^{0,63} \dots \dots \dots (9)$$

Nilai CH tergantung pada kekasaran, dan diperlihatkan pada tabel 1.

Tabel 1. Koefisien Hazen-William

Nilai CH	Jenis Pipa
140	Pipa sangat halus
130	Pipa halus, semen, besi tuang baru
120	Pipa baja dilas baru
110	Pipa baja dikeling baru
100	Pipa besi tuang tua
95	Pipa baja dikeling tua
60-80	Pipa tua

Sumber : (Bambang Triadmojo 2015, hidrolika II)

## 3. Pipa di daerah turbulen

Rumus manning yang banyak digunakan pada pengaliran di saluran terbuka, juga berlaku untuk pengaliran di pipa. Rumus tersebut mempunyai bentuk :

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} 1^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (10)$$

Dengan  $n$  adalah koefisien Manning dan  $R$  adalah jari-jari hidroulik, yaitu perbandingan antara luas tampang aliran  $A$  dan keliling besar  $P$ .

$$R = \frac{A}{P}$$

Untuk pipa lingkaran,  $A = \pi D^2/4$  dan  $P = \pi D$ , sehingga

$$R = \frac{\pi D^2/4}{\pi D} = \frac{D}{4}$$

atau

$$D = 4R$$

Untuk aliran pipa persamaan (10) menjadi :

$$V = \frac{0,397}{\pi} D^{2/3} I^{1/2}$$

Table 2. menunjukkan nilai koefisien Manning  $n$  untuk berbagai bahan pipa. Selain rumus Manning, di Indonesia juga sering digunakan rumus Chezy dan Stickler, Rumus Chezy mempunyai bentuk :

$$V = C\sqrt{RI} \dots\dots\dots(11)$$

Dengan :

$V$  : Kecepatan rerata

$C$  : Koefisien Chezy yang tergantung pada kekerasan dinding

$R$  : Jari-jari Hidroulis

$I$  : Kemiringan garis tenaga

Tabel 2. Koefisien Manning  $n$  untuk aliran melalui pipa

Tipe pipa	Koefisien Manning	
	Minimal	Maximal
Kaca, kuningan atau tembaga	0,009	0,013
Permukaan semen halus	0,010	0,013
Kayu	0,010	0,013
Besi tuang	0,011	0,015
Beton precast	0,011	0,015
Permukaan mortar semen	0,011	0,015
Pipa tanah dibakar	0,011	0,015
Besi	0,012	0,017
Batu dengan mortar semen	0,012	0,017
Baja dikeling	0,017	0,020
Permukaan batu dengan semen	0,020	0,024

Sumber : (Hidrolika II Bambang Triadmojo 2015)

Koefisien  $C$  dapat dihubungkan dengan koefisien  $f$  dari Darcy Weisbach :

$$hf = \frac{f L V^2}{4 R 2g}$$

atau :

$$V^2 = \frac{8g}{f} R \frac{hf}{L}$$

$$V = \sqrt{\frac{8g}{f} R^{1/2} hf^{1/2}}$$

Dengan membandingkan persamaan di atas dengan persamaan (11) didapat hubungan berikut:

$$C \sqrt{\frac{8g}{f}} \text{ atau : } f = \frac{8g}{C^2}$$

Rumus Stickler mempunyai bentuk :

$$V = k_s R^{2/3} I^{1/2} \dots\dots\dots (12)$$

Dengan  $k_s$  koefisien kekerasan stickler yang mempunyai hubungan dengan koefisien Manning dalam bentuk :

$$k_s = \frac{1}{n}$$

#### F. Aliran Permanen dan Tidak Permanen

Jika variabel dari aliran pada suatu titik tidak berubah terhadap waktu, maka aliran disebut, aliran permanen atau tunak (*steady flow*), contohnya adalah aliran di saluran/sungai pada kondisi tidak ada perubahan aliran (tidak ada hujan, tidak banjir, dll). jika variabel tersebut pada suatu lokasi tertentu berubah terhadap waktu maka alirannya disebut aliran tidak permanen atau tidak tunak (*unsteady flow*)

#### G. Aliran Subkritis, Kritis Dan Superkritis

Akibat dari gaya tarik bumi terhadap aliran dinyatakan dengan rasio gaya inersia dengan gaya tarik bumi ( $g$ ). Rasio ini diterapkan sebagai bilangan *Froude* ( $Fr$ ) yang didefinisikan dengan rumus:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \times h}} \dots\dots\dots (13)$$

dengan

$Fr$  = angka *Froud*

$v$  = kecepatan aliran (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$h$  = kedalaman aliran (m)

Aliran dikatakan kritis ( $Fr = 1$ ) apabila kecepatan aliran sama dengan kecepatan gelombang gravitasi dengan amplitudo kecil. Gelombang gravitasi dapat dibangkitkan dengan merubah kedalaman. Jika kecepatan aliran lebih kecil daripada kecepatan kritis, maka alirannya disebut subkritis ( $F < 1$ ), sedangkan jika kecepatan alirannya lebih besar daripada kecepatan kritis, maka alirannya disebut superkritis ( $Fr > 1$ ). Parameter yang menentukan ketiga jenis aliran tersebut adalah nisbah antara gaya gravitasi dan gaya inersia yang dinyatakan dengan bilangan Froude ( $Fr$ ).

#### H. Kehilangan Energi (*Headloss*)

*Headloss* adalah kehilangan energi per satuan berat fluida dalam pengaliran cairan dalam sistem perpipaan atau *headloss* dapat didefinisikan sebagai kehilangan energi mekanik persatuan massa fluida.

##### 1. Mayor Headloss (*major losses*)

*Major Losses* adalah kehilangan pada aliran dalam pipa yang disebabkan oleh friksi yang terjadi disepanjang aliran fluida yang mengalir terhadap dinding pipa. Besarnya *major losses* ditentukan oleh fungsi  $f$  (*Friction factor*),  $V$  (rata-rata kecepatan fluida),  $l$  (panjang pipa),  $D$  (diameter pipa),  $e$  (nilai kekasaran pipa),  $\mu$  (viskositas fluida),  $\rho$  (densitas fluida).

$$h_f = f \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(14)$$

Dimana :

$h_f$  = head loss mayor / tinggi hilang akibat gesekan (m)

$f$  = koefisien gesekan

$L$  = panjang pipa (m)

$D$  = diameter dalam pipa (m)

$v$  = kecepatan aliran dalam pipa (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

Koefisien kehilangan energi ( $k$ ) selain ditimbulkan oleh gesekan dinding pipa, juga oleh adanya percabangan atau lubang pada pipa. Nilai  $k$  adalah fungsi dari koefisien kecepatan  $C_v$  atau ditulis  $k = (1/C_v^2 - 1)$ . Aliran dalam pipa bertekanan mengalami kehilangan tinggi tekanan akibat gesekan dinding pipa sesuai dengan persamaan Darcy-Weisbach (Triatmodjo, 2015) sebagai berikut:

$$h_f = \frac{8fLQ^2}{g\pi^2 D^5} \quad (15)$$

dimana :

$h_f$  = kehilangan tinggi tekanan (m)

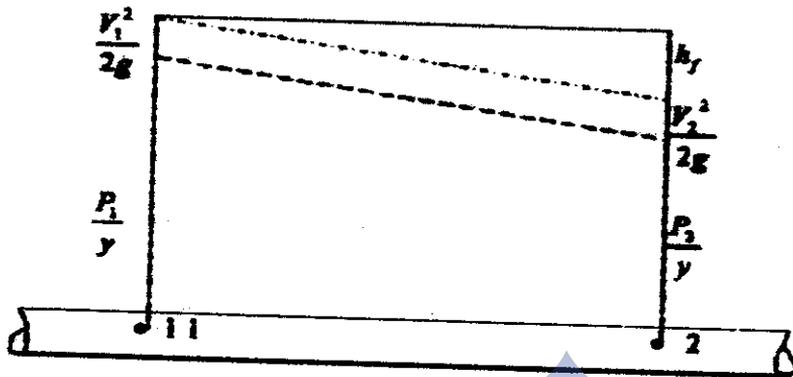
$f$  = koefisien kekasaran pipa

$D$  = diameter pipa (m)

$L$  = panjang pipa (m)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$Q$  = debit yang masuk pada pipa ( $m^3/s$ )



Gambar 5. Kehilangan energi (Triatmojo 1996)

### 1. Sistem perpipaan air Limbah

Sistem perpipaan meliputi semua komponen dari lokasi awal sampai dengan lokasi tujuan antara lain; saringan (*strainer*), katup atau kran, sambungan, nosel dan sebagainya. Sedangkan sambungan dapat berupa sambungan penampang tetap, sambungan penampang berubah, belokan (*elbow*) atau sambungan bentuk T (*tee*). Pada umumnya sistem perpipaan penyaluran air buangan terdiri dari:

1. Pipa Persil adalah pipa saluran yang umumnya terletak di dalam rumah dan langsung menerima air buangan dari instalasi plambing bangunan. Memiliki diameter 3 inci – 4 inci, kemiringan pipa 2%. Teknis penyambungannya dengan pipa servis, membentuk sudut  $45^\circ$  dan apabila perbandingan antara debit dari persil dengan debit dari saluran pengumpul kecil sekali maka penyambungannya tegak lurus.
2. Pipa servis adalah pipa saluran yang menerima air buangan dari pipa persil yang kemudian akan menyalurkan air buangan tersebut ke pipa lateral. Diameter pipa servis sekitar 6–8 inci, kemiringan pipa 0,5–1 %. Lebar galian pemasangan

pipa servis minimal 0,45 m dengan kedalaman benam awal 0,6 m. Sebaiknya pipa ini disambungkan ke pipa lateral di setiap *manhole*.

3. Pipa lateral adalah pipa saluran yang menerima aliran dari pipa servis untuk dialirkan ke pipa cabang, terletak di sepanjang jalan sekitar daerah pelayanan. Diameter awal pipa lateral minimal 8 inci, dengan kemiringan pipa sebesar 0,5 – 1%.
4. Pipa cabang adalah pipa saluran yang menerima air buangan dari pipa-pipa lateral. Diameternya bervariasi tergantung dari debit yang mengalir pada masing-masing pipa. Kemiringan pipa sekitar 0,2–1%.
5. Pipa induk adalah pipa utama yang menerima aliran air buangan dari pipa-pipa cabang dan meneruskannya ke lokasi instalasi pengolahan air buangan. Kemiringan pipanya sekitar 0,2 – 1%.

#### **J. Karakteristik limbah cair**

Air limbah rumah tangga terdiri dari tiga fraksi penting yaitu: (1) tinja (*faeces*), berpotensi mengandung mikroba patogen; (2) air seni (*urine*), umumnya mengandung nitrogen dan posfor, serta mikro-organisme; (3) *grey water* merupakan air bersih cucian dapur, mesin cuci dan kamar mandi.

Air limbah domestik dan perkotaan adalah seluruh buangan cair yang berasal dari hasil proses seluruh kegiatan yang meliputi limbah domestik cair, yaitu buangan kamar mandi, dapur, bekas pencucian pakaian limbah perkantoran, dan limbah dari daerah komersil serta limbah industry.

Tabel 3. Karakteristik Limbah Domestik

No	Parameter	Minimum	Maksimum	Rata-rata
1	BOD - mg/l	31,52	675,33	353,43
2	COD - mg/l	46,62	1184,4	615,01
3	Angka Permanganat	69,84	739,65	404,7
4	( $Kmna_4$ ) - mg/l			
5	Amoniak ( $NH_3$ ) - mg/l	10,79	158,73	84,76
6	Nitrit ( $NO_2$ ) - mg/l	0,013	0,274	0,1435
7	Nitrat ( $NO_3$ ) - mg/l	2,25	8,91	5,58
8	Khlorida (Cl) - mg/l	29,74	103,73	66,735
9	Sulfat ( $SO_4$ ) - mg/l	81,3	120,6	100,96
10	PH	4,92	8,99	6,96
11	Zat pada t tersuspensi (SS) - mg/l	27,5	211	119,25
12	Detrejen (MBAS) - mg/l	1,66	9,79	5,725
13	Minyak/ lemak - mg/l	1	125	63
14	Cadnium (Cd) - mg/l	Ttd	0,016	0,008
15	Timbal (Pb)	0,002	0,04	0,021
16	Tembaga (Cu) - mg/l	Ttd	0,049	0,245
17	Besi (Fe) - mg/l	0,19	70	35,1
18	Warna - (Skala Pt-Co)	31	150	76
19	Phenol - mg/l	0,04	0,63	0,335

Sumber : (Asmadi dan Suharno, 2012)

Limbah domestik terdiri dari air dan zat organik serta anorganik baik berupa padatan terlarut maupun yang mengendap. Karakteristik air limbah dibedakan menjadi tiga bagian yaitu karakteristik fisik, kimia dan biologi.

## K. Kegiatan Laundry

Kegiatan *laundry* biasa disebut dengan kegiatan pencucian dengan media utama air, deterjen/sabun dan mesin pencuci. Menurut (Sukawati 2008). Meningkatnya usaha jasa *laundry* saat ini, memungkinkan air limbah deterjen yang mengandung fosfat sebagai bahan pembentuknya mempunyai kontribusi yang besar sebagai pencemar lingkungan (Rosariawari, 2010). Deterjen memiliki kemampuan yang baik dalam mengangkat kotoran, baik yang terlarut dalam air maupun yang tidak terlarut. salah satu ujung molekul surfaktan bersifat lebih suka minyak atau tidak suka air, akibatnya bagian ini menembus kotoran yang berminyak sedangkan ujung molekul surfaktan satunya yang bersifat sebagai ekor lebih suka air sehingga bagian ini lah yang berperan mendispersikan kotoran dalam air (Turk,2005)



Gambar 6. Deterjen untuk bahan pencuci

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Bentuk dan Jenis Penelitian**

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental yang dilakukan di laboratorium. Penelitian eksperimental merupakan observasi di bawah kondisi buatan (*artificial condition*). Kondisi ini dibuat dan diatur oleh peneliti yang dirancang dengan perlakuan terhadap objek penelitian dengan tujuan menyelidiki ada tidaknya hubungan sebab akibat serta seberapa besar hubungan sebab akibat tersebut dengan cara memberikan perlakuan-perlakuan tertentu pada beberapa kelompok eksperimen dan menyediakan control untuk perbandingan. Penelitian menggunakan analisis kuantitatif dengan proses pengumpulan data utama dilakukan melalui pengukuran dengan menggunakan rangkaian pipa sebagai model pengujian, serta didahului dengan pengumpulan data pendukung yaitu analisis karakteristik sedimen laboratorium.

#### **B. Tempat dan Waktu Penelitian**

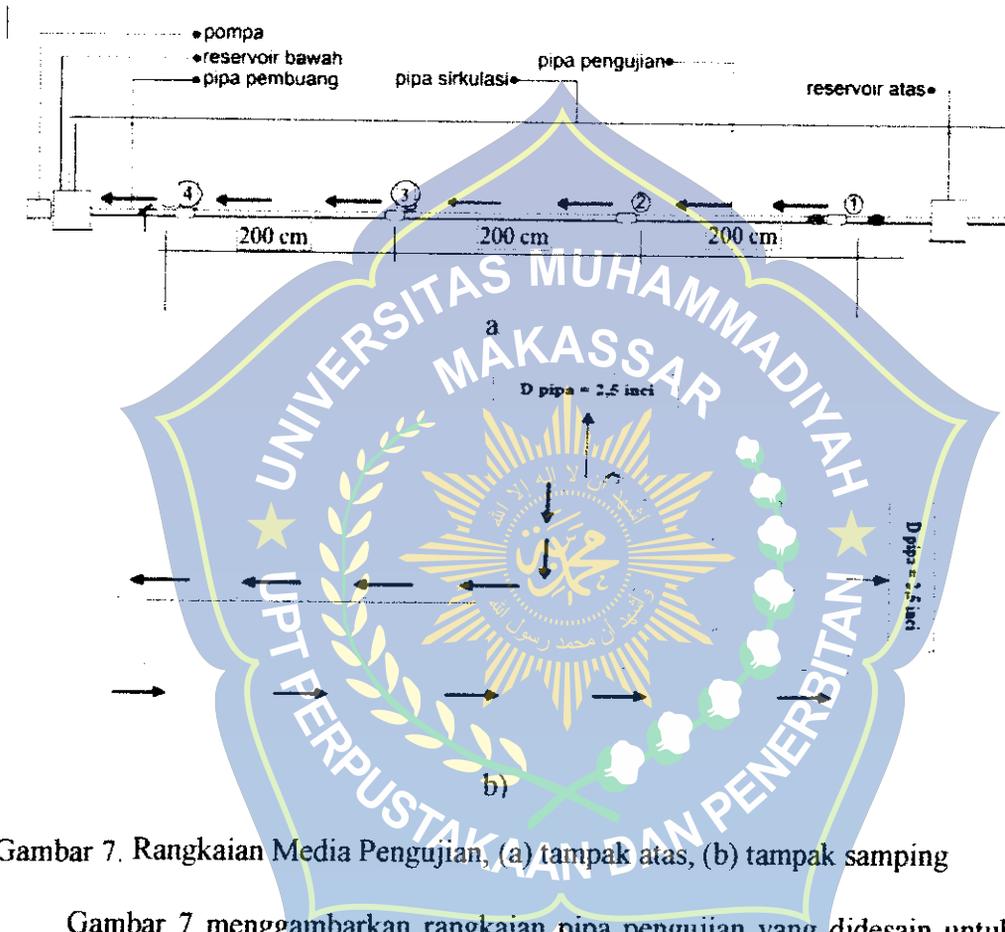
Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Hidrodilika dan Laboratorium Teknik Lingkungan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin di Gowa. Penelitian ini dilakukan dalam waktu bulan jun 2021 sampai selesai.

#### **C. Rancangan Penelitian**

##### **I. Alat**

Media percobaan berupa rangkaian pipa yang disusun sedemikian rupa mengikuti fungsi dari saluran sekunder. Rangkaian pipa di buat dengan skala

laboratorium. Model rangkaian pipa di buat tertutup dan horizontal, di buat dari pipa *acrylic* dengan diameter pipa adalah 6,4 cm dan panjang rangkaian pipa 600 cm. Rangkaian pipa yang di gunakan dalam pengujian dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian Media Pengujian, (a) tampak atas, (b) tampak samping

Gambar 7 menggambarkan rangkaian pipa pengujian yang didesain untuk mengalirkan air dari reservoir atas ke pipa pengujian dan berakhir reservoir bawah yang kemudian bersirkulasi terus menerus selama pengujian berlangsung.

Beberapa alat lainnya yang di gunakan dalam penelitian adalah;

- a. Reservoir bawah dan reservoir atas di gunakan untuk menampung air yang akan di sirkulasikan. Reservoir bawah mempunyai kapasitas  $2 \text{ m}^3$  dan reservoir atas mempunyai kapasitas  $1 \text{ m}^3$



Gambar 8. Reservoir atas (a) dan Reservoir Bawah (b)

b. Katup pengatur (*valve*) dan busur derajat digunakan untuk mengatur debit aliran, mengatur aliran yang masuk pipa pengujian. Busur derajat digunakan untuk mengetahui besar pembukaan pada katup. Katub *valve* berdiameter 2 inchi sama dengan pipa pengujian.



Gambar 9. Kutub dan busur derajat

c. Tabung pitot di hubungkan dengan manometer digital yang di gunakan untuk mengukur kecepatan aliran aliran yang terjadi. Manometer di gunakan untuk mengukur tinggi tekanan ( $h$ ) pada aliran.



Gambar 10. Tabung Pitot dan manometer

- d. Kamera dan *handycam* digunakan untuk mendokumentasikan gambar, foto ataupun video selama pengujian berlangsung.
- e. Gelas ukur digunakan untuk mengetahui volume air dalam waktu tertentu, dari volume air yang didapat akan digunakan untuk mengetahui debit air yang mengalir.
- f. *Stopwatch* digunakan untuk mengukur waktu pengamatan yang diperlukan untuk mengisi gelas ukur.
- g. Pompa air digunakan untuk mensuplai air dari reservoir bawah ke reservoir atas. Pompa air bersih berkapasitas 4 liter/detik.



Gambar 11. Pompa Air

## 2. Bahan

Bahan penelitian yang digunakan adalah air bersih, air yang dicampur deterjen (diasumsikan sebagai limbah laundry) Komposisi pencucian laundry terdiri 249.750 ml air, 250 ml deterjen pada konsentrasi 99% air + 1% deterjen. 249.500 ml air, 500 ml deterjen pada konsentrasi 95% air + 5% deterjen dan 249.000 ml air + 1000 ml deterjen pada konsentrasi 90% air + 10% deterjen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan aliran di titik-titik pengukuran.

### D. Variabel dan Parameter Penelitian

Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik dari limbah laundry dengan variasi konsentrasi deterjen terhadap air dan variasi debit aliran pada empat titik pengukuran dan menganalisis pola aliran yang terjadi dari semua parameter yang berpengaruh (parameter air limbah laundry, parameter hidrolis dan parameter geometris). Variasi dan parameter penelitian tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Variasi dan parameter penelitian

NO.	Parameter Penelitian	Jenis parameter	Jumlah Variasi
1	Limbah <i>laundry</i>	Komposisi dan konsentrasi air limbah - Air bersih - Deterjen	- 3 Variasi
2	Hidrolik/ aliran	- Debit (Q) - Tinggi Tenaga - Tinggi Tekanan - Tinggi Kecepatan	- 3 variasi - mengikuti variasi debit dan titik pengukuran

3	Struktur/Geometrik Rangkaian pipa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tinggi jatuh air (<i>head</i>) 0,5 m</li> <li>- Model aliran pipa lurus (p 600 cm)</li> <li>- Penampang pipa (d 6,4 cm)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 variasi</li> <li>- 1 variasi</li> <li>- 1 variasi</li> </ul>
---	--------------------------------------	---	---

Data yang diperoleh dari rangkaian simulasi adalah debit ( $Q$ ) dengan pengukuran langsung, dari alat pengukur kecepatan (*Triatmodjo, 2015*) diperoleh data tinggi tenaga ( $\frac{ps}{y}$ ), tinggi tekanan ( $\frac{p}{y}$ ) dan tinggi kecepatan ( $h$ ). Penggunaan debit dilakukan dari debit ( $Q$ ) yang terendah sampai debit ( $Q$ ) yang tertinggi. Tenaga pendorong awal berasal dari reservoir air atas yang kemudian jatuh secara grafitasi masuk ke pipa pengujian. Pada penelitian ini tekanan awal penggerak disebut sebagai *head* awal (*initial head*).

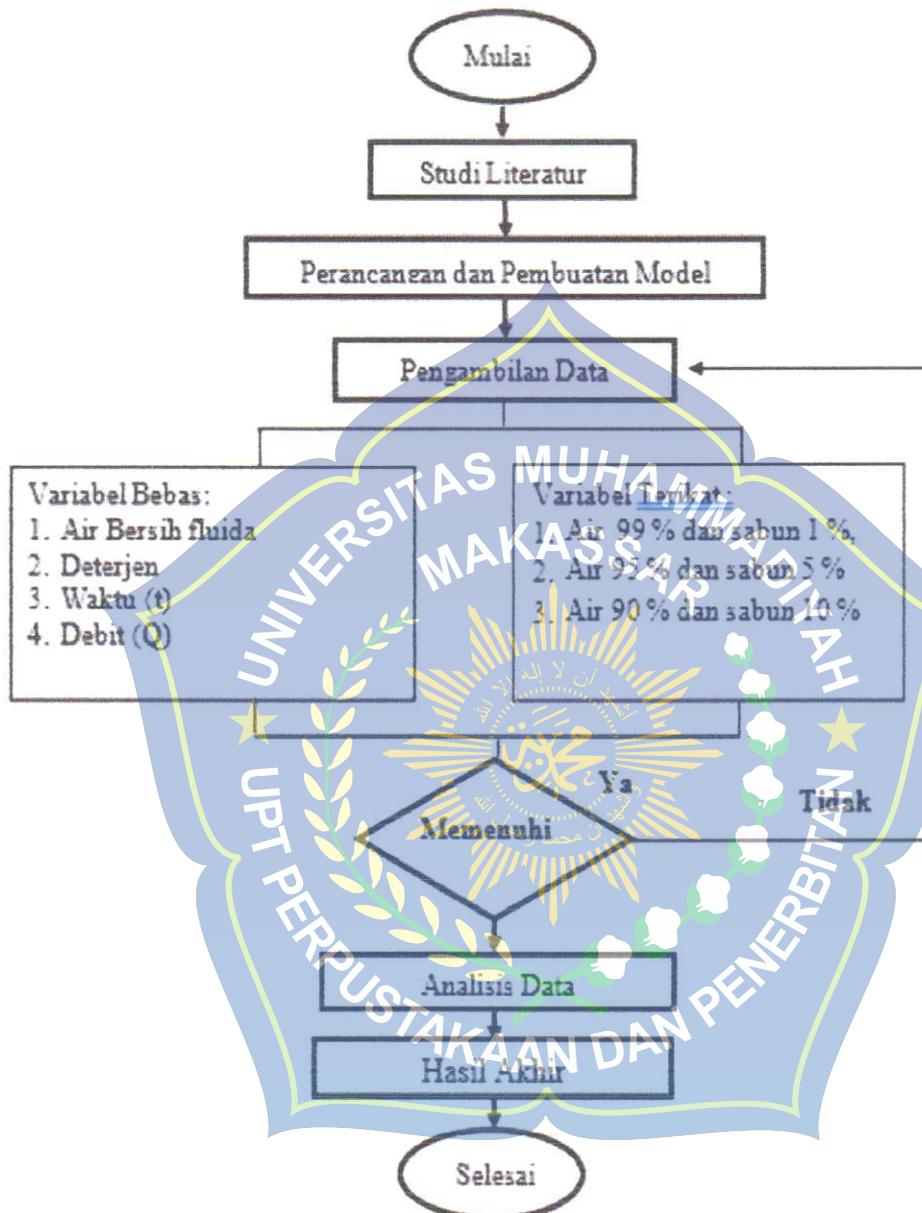
#### E. Tahapan dan Prosedur Pengambilan Data

Tahap awal meliputi persiapan alat dan bahan yang dibutuhkan selama penelitian. Kalibrasi peralatan di lakukan pada manometer manual dan manometer digital untuk mendapatkan hubungan nilai pembacaan kedua alat tersebut. Kalibrasi dilakukan dengan memasang manometer manual dan manometer digital pada salah satu Titik Pengamatan (TP) di pipa pengujian. kedua manometer di letakkan dengan ketinggian yang sama. Kalibrasi tabung pitot manual dilakukan dengan tabung pitot digital dari *manual book Armfield*. Titik Pengukuran kecepatan pada pipa pengujian pada 0,5y dari tinggi muka air. Persaman kecepatan pada tabung pitot manual (*Triadmojo, 2015*)

Pengujian ini akan di lakukan dalam satu kelompok pengujian berdasarkan tinggi jatuh air (*head*) yaitu 0,5 m. Secara garis besar prosedur pengambilan data adalah sebagai berikut;

- a. Penyiapan rangkaian pipa sebagai alat pengujian. Pengujian tahap awal air
- b. Siapkan air pada reservoir bawah. Mengatur bukaan katub pengaliran sebelum air masuk ke reservoir atas. Katub ini di maksudkan untuk mendapatkan variasi debit ( $Q$ ) yang digunakan,
- c. Jalankan pompa untuk mensuplai air dari reservoir bawah ke reservoir atas dan dari reservoir atas akan mengalir secara gravitasi ke pipa pengujian dan berakhir ke reservoir bawah. Aliran air akan terus bersirkulasi sampai air di pipa pengujian menjadi konstan atau stabil,
- d. Pada saat aliran telah konstan, ambil debit aliran ( $Q$ ) pada outlet/hulu pipa pengujian dengan cara menampung air selama beberapa waktu yang diinginkan debit aliran ( $Q$ ) diatur dengan bukaan katub sesuai dengan debit aliran ( $Q$ ) yang diinginkan,
- e. Baca penunjukkan nilai tinggi tekanan ( $h$ ) pada manometer yang terpasang, kecepatan ( $v$ ) pada tabung pitot.
- f. Ulangi Percobaan prosedur (a) sampai (e) untuk tiap perubahan debit ( $Q$ ), dan perubahan konsentrasi
- g. Data yang di peroleh dari eksperimen di analisis.

## F. Diagram Proses Penelitian Laboratorium



Gambar 12. Diagram Proses Penelitian Laboratorium

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian eksperimental dilakukan di Laboratorium Hidraulika Teknik Sipil Universitas Hasanuddin. Pelaksanaan penelitian terdiri dari kegiatan persiapan yang meliputi studi pustaka, teoritis, perancangan pipa uji, pengujian sampel air bersih dan limbah air *laundry*, penyusunan eksperimen dan pelaksanaan eksperimen. Analisis data dilakukan dengan cara analitis, deskriptif dan hubungan parameter bilangan tak berdimensi (model empiris).

Parameter yang digunakan untuk menjelaskan karakteristik pola aliran limbah *laundry* adalah kecepatan ( $V$ ), debit aliran ( $Q$ ), kehilangan energi ( $hf$ ), dan pola aliran limbah *laundry*. Data yang diperoleh dari hasil pengukuran adalah pembacaan data dari alat pengukur kecepatan aliran. Sumber tenaga berasal dari tinggi jatuh air (menara air) dengan ketinggian jatuh 50 cm. Pengukuran kecepatan aliran ( $V$ ) dilakukan secara horizontal pada aliran lurus diempat titik pengukuran.

### A. Data dan Analisa Sampel air bersih

#### 1. Karakteristik Sampel Air Bersih

Bahan penelitian yang di gunakan di uji karakteristik fisiknya di Labolatorium Fakultas Teknik UNHAS. Sampel air yang digunakan adalah air tanpa campuran deterjen sebagai pembanding dari sampel konsentrasi yang dibuat. Ekperimen dengan sampel air bersih bertujuan untuk mengetahui karekteristik aliran tanpa adanya campuran deterjen yaitu kecepatan ( $V$ ), debit ( $Q$ ) dan kehilangan energi ( $hf$ ) yang terjadi pada rangkaian pipa lurus sepanjang 6,00 m. Mendapatkan grafik hubungan kecepatan ( $V$ ) terhadap debit ( $Q$ ), kecepatan ( $V$ )

terhadap bilangan Reynold ( $Re$ ), kecepatan ( $V$ ) terhadap kehilangan energi atau *head loss* ( $hf$ ).

Sebelumnya sampel air ini telah diuji karakteristik fisiknya di Laboratorium Sanitasi dan Lingkungan. Pengujian air meliputi penentuan sifat-sifat fisik air diantaranya massa jenis air, berat jenis air, dan viskositas. Karakteristik fisik sampel air bersih yang digunakan sebagai bahan pembanding pada sampel air limbah *laundry* dalam penelitian. Rekapitulasi hasil pemeriksaan karakteristik sampel air dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 5. Rekapitulasi hasil pemeriksaan sampel air bersih secara fisik.

Parameter pengujian	satuan	Karakteristik
Berat Jenis	$\text{kg/m}^3$	1.000
Density ( $\rho$ )	$\text{kg/m}^3$	995,2
Viskositas kinematis ( $\nu$ )	$\text{m}^2/\text{det}$	$0,0804 \times 10^{-6}$
Suhu	$^{\circ}\text{C}$	$29,5^{\circ}\text{C}$

## 2. Kecepatan Aliran Dan Pengukuran Debit

Debit ( $Q$ ) dan kecepatan ( $V$ ) adalah faktor yang penting dalam aliran pipa. Debit aliran ( $Q$ ) dipergunakan untuk mengukur besarnya kecepatan aliran ( $V$ ). Dari tiga variasi bukaan debit menghasilkan tiga nilai debit rata-rata yaitu  $0,005 \text{ m}^3/\text{d}$ ,  $0,004 \text{ m}^3/\text{d}$  dan  $0,003 \text{ m}^3/\text{d}$  (debit hasil pengukuran langsung). Pengukuran kecepatan aliran ( $V$ ) diempat titik pengukuran pada pipa lurus dimaksudkan untuk mengetahui perubahan kecepatan aliran ( $V$ ) yang terjadi disepanjang pipa pengujian.

Berdasarkan Persamaan 3 didapatkan kecepatan ( $V$ ) pada setiap pengukuran seperti ditunjukkan pada table 5.

Analisa Perhitungan :

$$V = \sqrt{2gh}$$

$$= \sqrt{2 \times 9,8 \times 18}$$

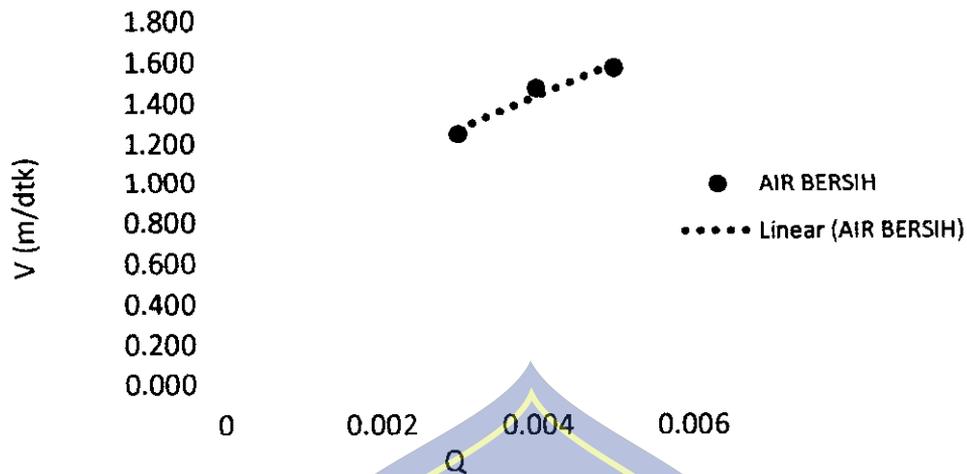
$$= 1,878$$

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada table 6 dan untuk pengukuran kecepatan dapat diperhatikan pada lampiran 1.

Tabel 6. Hasil pengukuran kecepatan pada sampel air bersih

KONSENTRASI	DEBIT (Q)	TP	V m/dtk
AIR BERSIH	0,006	1	1,878
		2	1,596
		3	1,468
		4	1,328
	0,0045	1	1,771
		2	1,545
		3	1,400
		4	1,171
	0,0033	1	1,468
		2	1,282
		3	1,180
		4	1,066

Pada hasil pengukuran kecepatan pada sampel air bersih (table 6) di dapat hubungan debit rata-rata ( $Q$ ) terhadap kecepatan rata-rata ( $V$ ) dapat dilihat Gambar 13.



Gambar 13. Hubungan kecepatan rata-rata (V) terhadap debit rata-rata (Q)

Gambar 13 menunjukkan hubungan kecepatan aliran rata-rata (V) terhadap debit rata-rata (Q) disepanjang pipa pengujian. Secara linear menunjukkan semakin besar debit rata-rata (Q), semakin besar pula kecepatan aliran rata-rata (V). pada bukaan debit (Q1) menghasilkan nilai debit rata rata (debit pengukuran langsung) sebesar 0.006 m<sup>3</sup>/dtk dengan nilai kecepatan rata-rata 1.568 m/dtk.

### 3. Kecepatan Aliran Dan Bilangan Reynold

Bilangan Reynold menunjukkan bahwa aliran dapat diklasifikasikan berdasarkan suatu angka tertentu. Reynold menetapkan untuk angka Reynold dibawah 2000 adalah laminar dan diatas 4000 adalah aliran turbulen apabila angka Reynold berada diantara kedua nilai tersebut ( $2000 < Re < 4000$ ) adalah transisi. Bilangan Reynold ( $Re$ ) dipengaruhi oleh kecepatan aliran (V), diameter pipa (D) dan viskositas kinematis ( $\nu$ ).

Berdasarkan Persamaan 4 didapatkan Bilangan Reynolds pada setiap pengukuran seperti ditunjukkan pada table 6.

Analisa Perhitungan :

$$Re = \frac{D.v}{\nu}$$

$$= \frac{0,064 \times 0,804}{1,878}$$

$$= 149.516$$

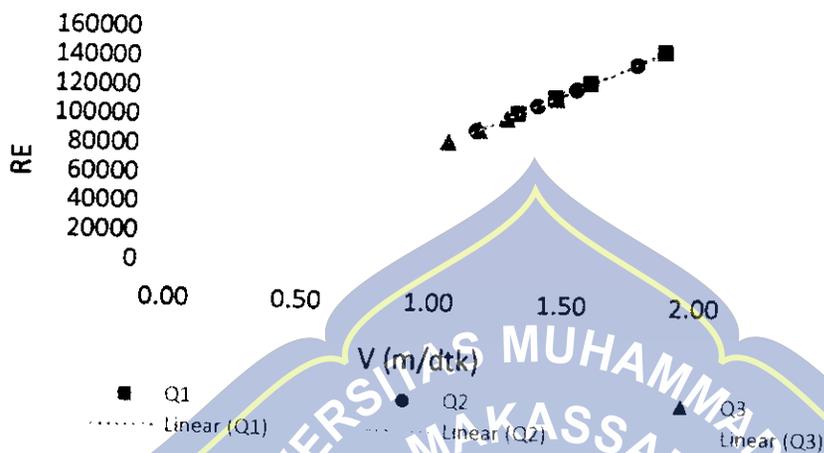
Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada table 7 dan untuk hasil pengukuran tiap-tiap sampel Bilangan Reynolds (Re) selengkapnya dapat diperhatikan pada lampiran lampiran 2.

Table 7. Parameter bilangan Reynold

KONSENTRASI	DEBIT (Q)	TP	V m/dtk	Re (DV/ν)
AIR BERSIH	Q1	1	1,878	149.516
		2	1,596	127.064
		3	1,468	116.882
		4	1,328	105.724
	Q2	1	1,771	140.965
		2	1,545	122.992
		3	1,400	111.443
		4	1,171	932.400
	Q3	1	1,468	116.882
		2	1,282	102.078
		3	1,180	939.030
		4	1,066	848.720

Tabel 6 menggambarkan nilai bilangan Reynold (Re) terbesar berada pada Tp1 sebesar 149.516 dengan kecepatan (V) adalah 1,878 m/dtk dan. Nilai bilangan Reynold (Re) terkecil berada pada Tp4 sebesar 105.724 dengan kecepatan (V) adalah 1,328 m/dtk. Semakin jauh dari tinggi jatuh air (dari Tp1 ke Tp4) kecepatan yang di hasilkan semakin kecil.

Pada Hasil pengukuran bilangan Reynold ( $Re$ ) pada sampel air bersih (table 7) di dapat Hubungan kecepatan ( $V$ ) terhadap bilangan Reynold ( $Re$ ) dapat dilihat Gambar 14.



Gambar 14. Hubungan bilangan Reynold dengan kecepatan

Gambar 14 menunjukkan bilangan Reynold ( $Re$ ) berbanding lurus dengan kecepatan ( $V$ ), dimana semakin besar kecepatan ( $V$ ) semakin besar bilangan Reynold ( $Re$ ). gambar 14 juga menunjukkan hasil pengukuran pada semua debit ( $Q$ ) dan titik pengukuran adalah aliran turbulen.

#### 4. Hubungan Bilangan Reynold Dengan Koefisien Gesek

Koefisien gesek ( $f$ ) di pengaruhi oleh bilangan Reynold ( $Re$ ) yaitu Reynold ( $Re$ ) pada turbulen, transisi dan laminar, diameter pipa ( $D$ ) dan kekerasan pipa ( $e$ ). kecenderungan nilai koefisien gesek ( $f$ ) semakin kecil dengan naiknya nilai bilangan Reynold ( $Re$ ). nilai kecepatan aliran ( $V$ ) berbanding lurus dengan bilangan Reynold ( $Re$ ) dan berbanding terbalik terhadap koefisien gesek ( $f$ ).

Berdasarkan Persamaan 5 didapatkan koefisien gesek ( $f$ ) pada setiap pengukuran seperti ditunjukkan pada table 7 dan dapat dilihat pada lampiran 4.

Analisa Perhitungan :

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}}$$

$$= \frac{0,316}{149516^{0,25}}$$

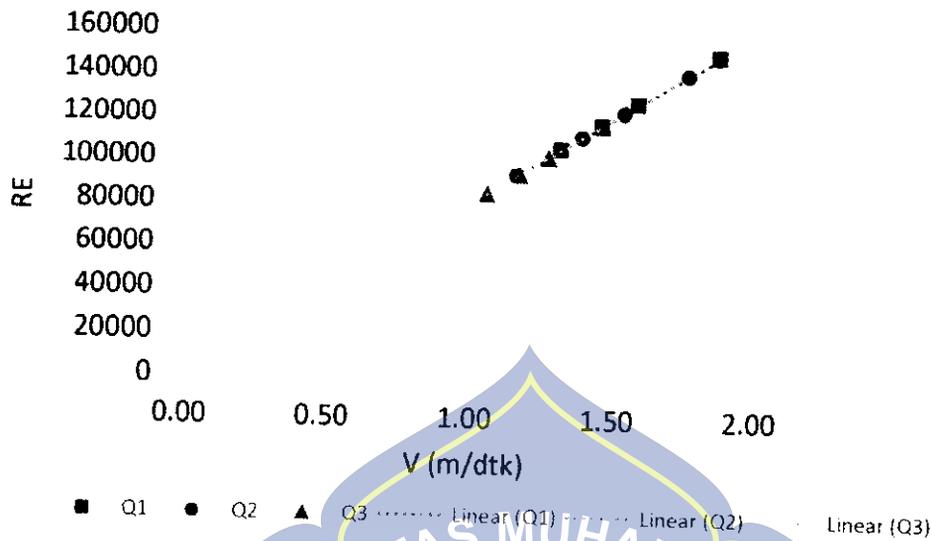
$$= 0,0161 \text{ m}$$

Tabel 8. Parameter koefisien gesek

KONSENTRASI	DEBIT (Q)	TP	Re (DV/v)	koefisien gesek (f)
AIR BERSIH	Q1	1	149.516	0,0161
		2	127.064	0,0167
		3	116.882	0,0171
		4	105.724	0,0175
	Q2	1	140.965	0,0163
		2	122.992	0,0169
		3	111.443	0,0173
		4	932.400	0,0181
	Q3	1	116.882	0,0171
		2	102.078	0,0177
		3	939.030	0,0181
		4	848.720	0,0185

Nilai bilangan Reynold (Re) terbesar pada aliran lurus berada pada Tp1 sebesar 149.516 dengan kecepatan (V) adalah 1,878 m/dtk dan f adalah 0,0161. Nilai bilangan Reynold (Re) terkecil pada Tp4 sebesar 105.724 dengan kecepatan (V) adalah 1,328 m/dtk dan f adalah 0,0175.

Pada Hasil pengukuran koefisien gesek (f) pada sampel air bersih (table7) di dapat Hubungan bilangan Reynold (Re) terhadap koefisien gesek (f) dapat dilihat Gambar 15.



Gambar 15. Hubungan bilangan Reynold terhadap koefisien gesek

Gambar 15 menunjukkan bilangan Reynold ( $Re$ ) berbanding terbalik dengan koefisien gesek ( $f$ ). Kecenderungan nilai koefisien gesek ( $f$ ) semakin kecil dengan naiknya nilai bilangan Reynold ( $Re$ ). Nilai kecepatan aliran ( $v$ ) berbanding lurus dengan bilangan Reynold ( $Re$ ) dan berbanding terbalik terhadap koefisien gesek ( $f$ ).

### 5. Kehilangan Energi Dan Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran ( $V$ ) dititik-titik pengukuran mengalami perubahan kecepatan disepanjang pipa pengujian atau disebut kehilangan energi ( $h_f$ ). Kehilangan energi ( $h_f$ ) pada pipa terdiri dari *head loss mayor* yang terjadi karena gesekan dan *head loss minor* karena sambungan dan belokan pipa.

Berdasarkan Persamaan 10 didapatkan persamaan kehilangan energi pada setiap pengukuran seperti ditunjukkan pada table 9.

Analisa Perhitungan :

$$hf = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$= 0,0161 \times \frac{2}{0,064} \times \frac{1,497^2}{9,8}$$

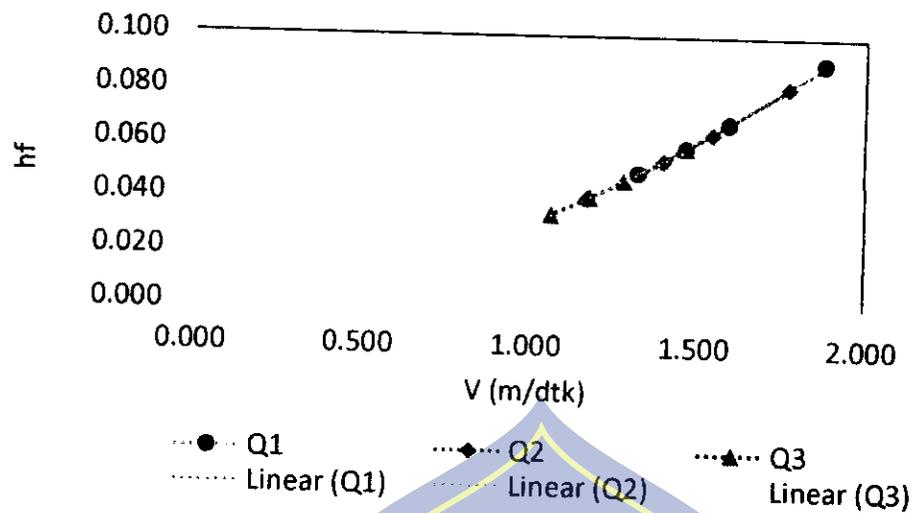
$$= 0,090$$

Tabel 9. Kehilangan energi

KONSENTRASI	DEBIT (Q)	TP	V m/dtk	koefisien gesek	kehilangan energi (m)
AIR BERSIH	Q1	1	0,773	0,0161	0,090
		2	1,033	0,0167	0,068
		3	1,210	0,0171	0,059
		4	1,324	0,0175	0,049
	Q2	1	0,656	0,0163	0,082
		2	0,877	0,0169	0,064
		3	1,031	0,0173	0,054
		4	1,144	0,0181	0,040
	Q3	1	1,561	0,0171	0,059
		2	1,843	0,0177	0,046
		3	2,078	0,0181	0,040
		4	2,236	0,0185	0,034

Tabel 8 menggambarkan nilai kehilangan energi ( $hf$ ) terbesar berada pada Tp1 sebesar 0.090, koefisien gesek ( $f$ ) sebesar 0,0161 dengan kecepatan ( $V$ ) adalah 0,773 m/dtk. Nilai kehilangan energi ( $hf$ ) terkecil berada pada Tp4 sebesar 0,049 koefisien gesek ( $f$ ) sebesar 0,0175 dengan kecepatan ( $V$ ) adalah 1,324 m/dtk.

Pada Hasil pengukuran kehilangan energi ( $hf$ ) pada sampel air bersih (table 8) di dapat Hubungan kehilangan energi ( $hf$ ) terhadap kecepatan ( $V$ ) dapat dilihat Gambar 16.



Gambar 16. Hubungan kehilangan energi terhadap kecepatan

Gambar 16 menunjukkan kehilangan energi atau *head loss* ( $h_f$ ) dititik pengukuran sepanjang aliran. Perubahan debit ( $Q$ ) memberikan pengaruh pada kecepatan ( $V$ ) dan kehilangan energi ( $h_f$ ), semakin besar debit ( $Q$ ) maka kecepatan ( $V$ ) dan kehilangan energi ( $h_f$ ) makin besar pula. Kehilangan energi ( $h_f$ ) dari tinggi jatuh air semakin besar seiring dengan nilai kecepatan ( $V$ ) yang terus menurun sedangkan koefisien geseknya ( $f$ ) yang semakin besar. Jarak tempuh pengaliran ( $L$ ) juga memberikan pengaruh terhadap kecepatan ( $V$ ) dan kehilangan energi ( $h_f$ ) yang terjadi. Secara linear menunjukkan kecepatan ( $V$ ) yang besar, maka kehilangan energi ( $h_f$ ) juga besar.

### B. Data Dan Analisa Sampel Air Limbah *Laundry*

Eksperimen pada sampel air limbah *laundry* bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran yang mengandung deterjen. Keberadaan deterjen dalam aliran memberikan pengaruh pada kecepatan aliran yang terjadi. Dengan tujuan tersebut akan mampu mengetahui besarnya kecepatan aliran limbah air *laundry*, nilai

bilangan Reynold, koefisien gesek, dan kehilangan energi pada sampel air limbah *laundry* dengan konsentrasi 99% air + 1% deterjen, 95% air + 5% deterjen, 90% air + 10% deterjen dan pada variasi debit aliran.

### 1. Kecepatan Aliran Dan Pengukuran Debit

Debit aliran (Q) dipergunakan untuk mengukur kecepatan aliran pada masing-masing konsentrasi dari air limbah *laundry*. Pengukuran kecepatan (V) disepanjang aliran bertujuan menggambarkan perubahan kecepatan (V) pada limbah air *laundry* dengan konsentrasi konsentrasi 99% air + 1% deterjen, 95% air + 5% deterjen, 90% air + 10% deterjen. Kecepatan aliran di pengaruhi oleh konsentrasi dari limbah air *laundry* dan perubahan variasi debit yang masuk.

Dari hasil pengukuran dari kecepatan (V) air limbah *laundry* dapat dilihat pada table 10.

Tabel 10. Kecepatan aliran di setiap konsentrasi

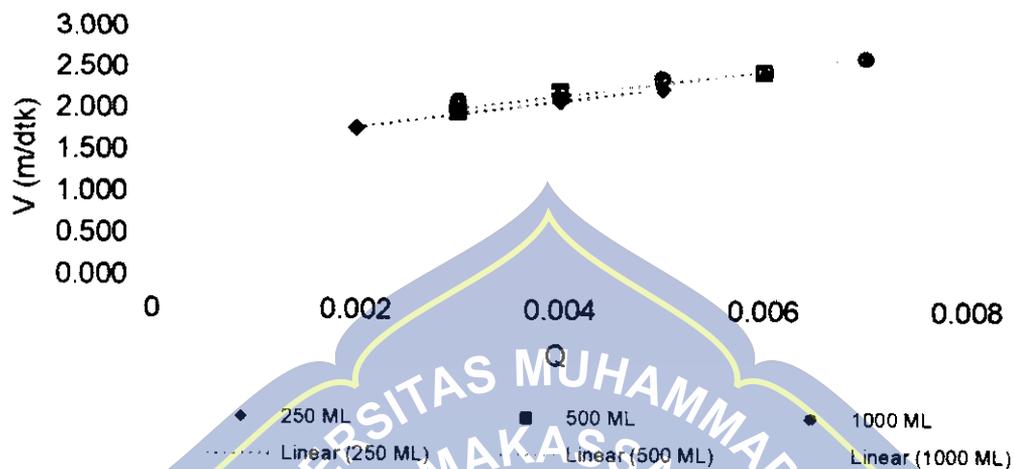
KONSENTRASI	DEBIT (Q)	TP	V m/dtk
250 ML	0,004	1	2,547
		2	2,323
		3	2,267
		4	1,912
	0,0038	1	2,385
		2	2,208
		3	2,093
		4	1,728
	0,003	1	2,075
		2	1,996
		3	1,709
		4	1,347

Tabel 10 (lanjutan)

500 ML	0,006	1	2,77
		2	2,552
		3	2,346
		4	2,177
	0,004	1	2,45
		2	2,344
		3	2,139
		4	1,979
	0,003	1	2,247
		2	2,163
		3	1,924
		4	1,552
1000 ML	0,007	1	2,949
		2	2,773
		3	2,594
		4	2,26
	0,005	1	2,737
		2	2,521
		3	2,236
		4	2,048
	0,003	1	2,421
		2	2,214
		3	2,113
		4	1,656

Tabel 10 menggambarkan besarnya kecepatan aliran untuk tiga variasi debit pada konsentrasi 250 ml berada pada 12,547 m/dtk – 1,347 m/dtk atau sebesar 52,89% dari konsentrasi 500 ml yang berada pada kecepatan 2,770 m/dtk – 1,552 m/dtk dan naik sebesar 56,03% dari konsentrasi 1000 ml yang berada pada kecepatan 2,949 m/dtk - 1.656 m/dtk atau sebesar 56,15%.

Hubungan kecepatan aliran pada tiga konsentrasi dan tiga variasi debit dapat di lihat pada gambar 17.



Gambar 17. Hubungan debit terhadap kecepatan air limbah *laundry*

Gambar 17 menunjukkan perubahan kecepatan air limbah *laundry* pada empat titik pengukuran. Dari ketiga variasi debit dan tiga variasi limbah *laundry* menghasilkan nilai kecepatan terbesar pada air limbah *laundry* dengan konsentrasi 1000 ml. gambar 17 juga menunjukkan bahwa semakin besar debitnya semakin besar kecepatannya dan semakin besar konsentrasi air limbah *laundry* maka semakin besar kecepatannya begitupun sebaliknya semakin kecil konsentrasi kecepatan aliran juga mengecil. Hal ini disebabkan konsentrasi yang besar menghasilkan busa (gelembung) yang banyak sehingga merubah luas penampang pipa menjadi kecil.

## 2. Kecepatan Aliran Dan Bilangan Reynold

Bilangan Reynold menunjukkan bahwa aliran dapat di klasifikasikan berdasarkan suatu angka tertentu. Reynold menetapkan untuk angka Reynold di bawah 2000 adalah laminar dan diatas 4000 adalah aliran turbulen apabila angka Reynold berada diantara kedua nilai tersebut ( $2000 < Re < 4000$ ) adalah transisi. Kecepatan aliran di pengaruhi oleh konsentrasi dari limbah air *laundry* dan perubahan variasi debit yang masuk.

Dari hasil pengukuran kecepatan ( $v$ ) dan bilangan reynold ( $Re$ ) limbah air *laundry* dapat dilihat pada table 11.

Table 11. Hubungan kecepatan dan bilangan Reynold

KONSENTRASI	DEBIT (Q)	TP	V m/dtk	Re (DV/v)
250 ML	Q1	1	2,547	202752
		2	2,323	184899
		3	2,267	180472
		4	1,912	152192
	Q2	1	2,385	189862
		2	2,208	175765
		3	2,093	166637
		4	1,728	137584
	Q3	1	2,075	165140
		2	1,996	158847
		3	1,709	136033
		4	1,347	107231

Tabel 11. (Lanjutan)

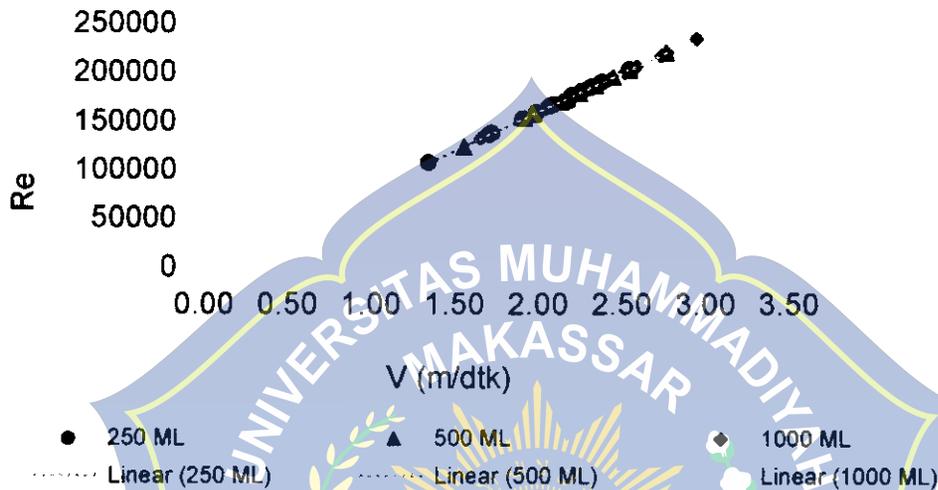
500 ML	Q1	1	2,770	220458
		2	2,552	203160
		3	2,346	186757
		4	2,177	173275
	Q2	1	2,450	194998
		2	2,344	186618
		3	2,139	170232
		4	1,979	157505
	Q3	1	2,247	178859
		2	2,163	172196
		3	1,924	153141
		4	1,552	123554
1000 ML	Q1	1	2,949	234758
		2	2,773	220763
		3	2,594	206495
		4	2,260	179926
	Q2	1	2,737	217837
		2	2,521	200700
		3	2,236	177960
		4	2,048	163027
	Q3	1	2,421	192729
		2	2,214	176207
		3	2,113	168213
		4	1,656	131782

Nilai bilangan Reynold ( $Re$ ) terbesar pada aliran lurus berada pada  $Tp1$  sebesar 202752 dengan kecepatan ( $V$ ) adalah 2,547 m/dtk. Nilai bilangan Reynold ( $Re$ ) terkecil pada  $Tp4$  sebesar 152192 dengan kecepatan ( $V$ ) adalah 1,912 m/dtk.

Tabel 11 juga menggambarkan pada tiap tiga variasi debit konsentrasi 250 ml besarnya kecepatan aliran ( $V$ ) berada pada 2,547 m/dtk – 1,347 m/dtk atau sebesar 52,89% dengan bilangan Reynold ( $Re$ ) berada pada 202752 – 107231 atau sebesar 52,89%. konsentrasi 500 ml yang berada pada kecepatan ( $V$ ) 2,770 m/dtk – 1,552 m/dtk atau sebesar 56,03% dengan bilangan Reynold ( $Re$ ) berada pada 220458 – 123554 atau sebesar 56,04% dan konsentrasi 1000 ml yang berada pada kecepatan

(V) 2,949 m/dtk – 1,656 m/dtk atau sebesar 56,11% dengan bilangan Reynold (Re) berada pada 234758 – 131782 atau sebesar 56,14%.

Hubungan Kecepatan ( $v$ ) dengan bilangan Reynold (Re) pada tiga konsentrasi limbah air *laundry* dititik pengukuran dapat di lihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Hubungan kecepatan ( $v$ ) dengan bilangan Reynold (Re)

Gambar 18 menunjukkan hubungan kecepatan ( $v$ ) dengan bilangan Reynold (Re) pada tiga konsentrasi limbah air *laundry*. Pada ketiga sampel limbah air *laundry* memiliki trend data yang sama yaitu semakin besar konsentrasinya semakin besar kecepatan aliran dan semakin besar bilangan Reynold yang di hasilkan. Dari ketiga sampel juga nilai bilangan reynold menunjukkan aliran turbulen.

### 3. Hubungan Bilangan Reynold Dengan Koefisien Gesek

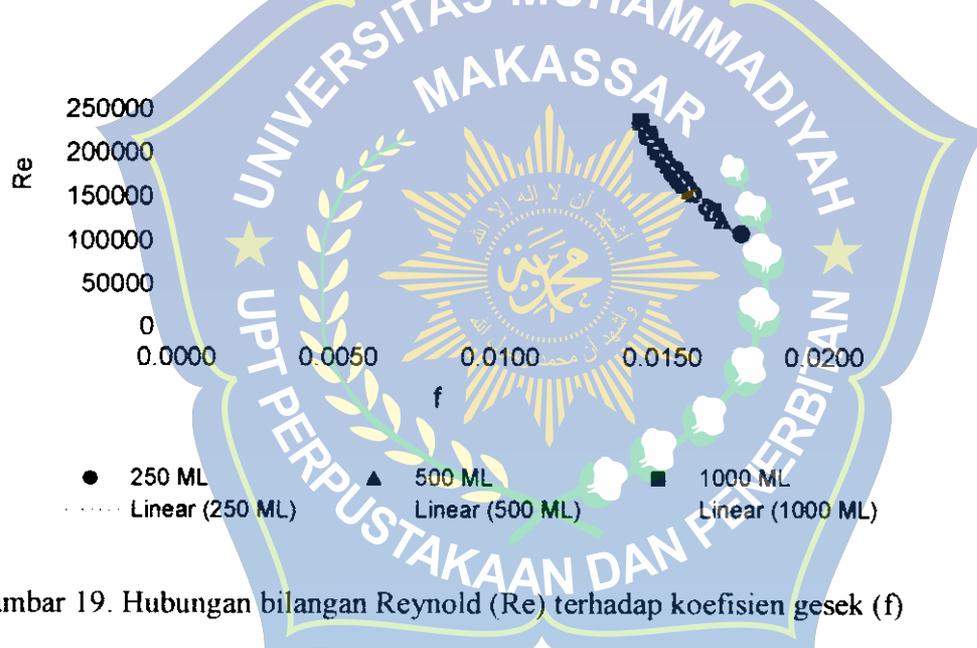
Hubungan Bilangan Reynold (Re) dengan koefisien gesek ( $f$ ) adalah berbanding terbalik dimana semakin besar bilangan Reynold (Re), maka koefisien geseknya ( $f$ ) semakin kecil. Kecenderungan nilai koefisien gesek ( $f$ ) semakin besar dengan turunnya kecepatan ( $v$ ) dan bilangan Reynold (Re). Bilangan Reynolds (Re) juga akan naik seiring dengan besarnya laju aliran ( $Q$ ) dan kecepatan ( $v$ ).

Table 12. bilangan *Reynold* (Re) terhadap koefisien gesek (f)

KONSENTRASI	DEBIT (Q)	TP	Re (DV/v)	koefisien gesek (f)
250 ML	Q1	1	202752	0,0149
		2	184899	0,0152
		3	180472	0,0153
		4	152192	0,016
	Q2	1	189862	0,0151
		2	175765	0,0154
		3	166637	0,0156
		4	137584	0,0164
	Q3	1	165140	0,0157
		2	158847	0,0158
		3	136033	0,0165
		4	107231	0,0175
500 ML	Q1	1	220458	0,0146
		2	203160	0,0149
		3	186757	0,0152
		4	173275	0,0155
	Q2	1	194998	0,015
		2	186618	0,0152
		3	170232	0,0156
		4	157505	0,0159
	Q3	1	178859	0,0154
		2	172196	0,0155
		3	153141	0,016
		4	123554	0,0169
1000 ML	Q1	1	234758	0,0144
		2	220763	0,0146
		3	206495	0,0148
		4	179926	0,0153
	Q2	1	217837	0,0146
		2	200700	0,0149
		3	177960	0,0154
		4	163027	0,0157
	Q3	1	192729	0,0151
		2	176207	0,0154
		3	168213	0,0156
		4	131782	0,0166

Nilai bilangan Reynold ( $Re$ ) terbesar berada pada  $Tp1$  sebesar 202752 dengan koefisien gesek ( $f$ ) terbesar berada pada  $Tp4$  adalah 0,0160. Nilai bilangan Reynold ( $Re$ ) terkecil pada  $Tp4$  sebesar 152192 dengan koefisien gesek ( $f$ ) terkecil berada pada  $Tp1$  adalah 0,0149. kecenderungan nilai koefisien gesek ( $f$ ) semakin kecil dengan naiknya nilai bilangan Reynold ( $Re$ ). nilai kecepatan aliran ( $V$ ) berbanding lurus dengan bilangan Reynold ( $Re$ ) dan berbanding terbalik terhadap koefisien gesek ( $f$ ).

Hubungan  $f$  dengan  $Re$  pada tiga konsentrasi limbah air *laundry* dititik pengukuran dapat dilihat pada tabel 12 dan Gambar 19.



Gambar 19. Hubungan bilangan Reynold ( $Re$ ) terhadap koefisien gesek ( $f$ )

Gambar 19 menunjukkan Bilangan Reynold ( $Re$ ) berbanding terbalik dengan koefisien gesek ( $f$ ). Koefisien gesek ( $f$ ) dipengaruhi oleh kondisi  $Re$  yaitu  $Re$  pada turbulen, transisi dan laminar dan kekasaran dari pipa. Pada Gambar 19 juga menunjukkan Pada ketiga sampel limbah air *laundry* memiliki trend data yang sama yaitu semakin besar konsentrnsinya semakin besar kecepatan aliran dan semakin besar bilangan Reynold dan koefisien geseknya semakin kecil.

#### 4. Kehilangan Energi Dan Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran ( $V$ ) dititik titik pengukuran mengalami perubahan kecepatan disepanjang pipa pengujian atau disebut kehilangan energi ( $hf$ ). Kehilangan energi ( $hf$ ) pada pipa terdiri dari *head loss mayor* yang terjadi karena gesekan dan *head loss minor* karena sambungan dan belokan pipa.

Dari hasil pengukuran dari kecepatan ( $v$ ) air limbah laundry dapat dilihat pada table 13.

Table 13. kehilangan energi ( $hf$ )

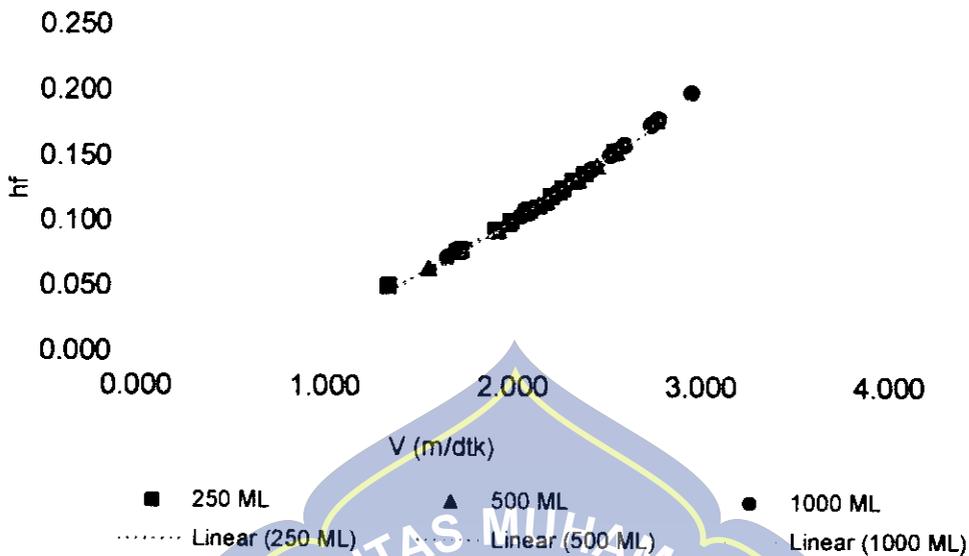
KONSENTRASI	DEBIT (Q)	TP	V m/dtk	kehilangan energi (m)
250 ML	Q1	1	2,547	0,154
		2	2,323	0,131
		3	2,267	0,126
		4	1,912	0,093
	Q2	1	2,385	0,137
		2	2,208	0,12
		3	2,093	0,109
		4	1,728	0,078
	Q3	1	2,075	0,108
		2	1,996	0,1
		3	1,709	0,077
		4	1,347	0,051
500 ML	Q1	1	2,77	0,178
		2	2,552	0,155
		3	2,346	0,133
		4	2,177	0,117
	Q2	1	2,45	0,144
		2	2,344	0,133
		3	2,139	0,113
		4	1,979	0,099
	Q3	1	2,247	0,124
		2	2,163	0,116
		3	1,924	0,094
		4	1,552	0,065

Tabel 13. (Lanjutan)

1000 ML	Q1	1	2,949	0,199
		2	2,773	0,179
		3	2,594	0,159
		4	2,26	0,125
	Q2	1	2,737	0,175
		2	2,521	0,151
		3	2,236	0,123
		4	2,048	0,105
	Q3	1	2,421	0,141
		2	2,214	0,12
		3	2,113	0,111
		4	1,656	0,072

Pada tabel 13 dapat di perhatikan, Nilai kehilangan energi pada konsentrasi 250 ml yang terbesar, pada aliran lurus berada pada Tp1 sebesar 0,154 dengan kecepatan (V) adalah 2,547 m/dtk. Nilai kehilangan energi terkecil pada Tp4 sebesar 0,051 dengan kecepatan (V) adalah 1,347 m/dtk. Hubungan V dengan hf dapat dilihat pada gambar 20.

Hubungan hf dengan V pada tiga konsentrasi limbah air laundry dititik pengukuran dapat dilihat pada gambar 20.



Gambar 20. Kehilangan energi ( $h_f$ ) terhadap kecepatan ( $V$ )

Gambar 20 menunjukkan head loss atau kehilangan energi ( $h_f$ ) pada ketiga sampel konsentrasi disepanjang pipa. Kehilangan energi ( $h_f$ ) pada aliran air limbah laundry menunjukkan trend yang sama dengan sampel air bersih, yaitu semakin besar kecepatan ( $v$ ) air limbah laundry, semakin besar pula kehilangan energinya ( $h_f$ ). Secara teoritis juga menunjukkan kesesuaian antara persamaan Darcy-weisbac (persamaan 10) dengan penelitian ini dimana semakin jauh jarak tempuh alirannya ( $L$ ), kehilangan energi semakin besar ( $h_f$ ). Kecepatan aliran ( $v$ ), jarak tempuh ( $L$ ) dan ukuran butiran sedimen ( $d_s$ ) memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap kehilangan energi ( $h_f$ ). Gambar 2 ini juga menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi air limbah laundry semakin besar kecepatannya sehingga kehilangan energinya semakin besar.

## BAB V

### PENUTUP

#### A. Kesimpulan

Berdasarkan Rumusan masalah ini, maka dapat disimpulkan beberapa hal dari hasil penelitian yang telah dilakukan, yaitu :

1. Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa Karakteristik Limbah *Laundry* akan berubah disaat Konsentrasi besar dan pola aliran yang dihasilkan menunjukkan aliran yang turbulen. Pada konsentrasi 250 ml kecepatan aliran berada pada 2,547 m/dtk – 1,347 m/dtk, kondentrasi 500 ml kecepataannya baliran berada pada 2,770 m/dtk – 1,552 dan konsentrasi 100ml kecepatan aliran berada pada 2,949 m/dtk -1.656 m/dtk.
2. Pengaruh konsentrasi limbah air laundry terhadap kecepatan aliran sangat signifikan. Konsentrasi yang besar menghasilkan busa yang banyak sehingga menjadikan kecepatan menjadi meningkat

#### B. Saran

Mengacu pada hasil penelitian, Analisa dan kesimpulan, maka perlu disarankan beberapa hal sebagai berikut :

1. perlunya tambahan pewangi sebagai komposisi lingkup dalam sampel limbah air *laundry*
2. perlunya variasi dalam jaringan pipa antara lain kemiringan pipa dan tinggi jatuh air.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bachrum, Ratna, Muhammad Saleh Pallu, Muhmmad Arsyad Thah Dan Bambang Bakri. 2021. *Experimental Study On Characteristic Of Slurry Flow Regime In Pipeline*. Civil Engineering, Hasanuddin University.  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>
- Ktik, R.E & Othmer, D.F. (1982). *Encyclopedia Of Chemical Technology*. New York: *Theinterscience And Encyclopedia Inc.*
- Nemerow, Nelson Leonard. 1995. *Zero Pollution Industry*, New York : A Wiley-Interscience Publication.
- Rhiti, Hyronimus. 2006. *Hukum Penyelesaian Sengketa Lingkungan Hidup*. . Yogyakarta : Universitas Atma Jaya.
- Rosariawari, F. 2010. "Efektivitas Multivalen Ion Dalam Penurunan Kadar Fosfat Sebagai Bahan Pembentuk Deterjen". Jurusan Teknik Lingkungan : Universitas Pembangunan Nasional Veteran (Upn).
- Robert J, Kodoatie. 2002. *Hidroloka Terapan : Aliran Pada Saluran Terbuka Dan Pipa*. Yogyakarta : Andi.
- Rahma, Siti Hardiynti, Muhsan Putra Hatta, Bambang Bakri Dan Sulhairi. 2021. *Studi Eksperimental Tekanan Jaringan Perpipaian*. Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
- Sukawati, A. 2008. "Penurunan Kosentrasi Cod Pada Limbah Laundry Dengan Menggunakan Reaktor Biosandfilter Diikuti Dengan Reaktor Activated Carbon". Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Sartika, Nurdwi, Monik Kasman Dan Anggrika Riyanti. 2019. *Analisis Penurunan Parameter Limbah Cair Laundry Menggunakan Rotating Biological Contactor (Rbc)*. *Daur Lingkungan*, 2(2), 68-72.  
<http://daurling.unbari.ac.id/index.php/daurling/article/view/30>
- Sulhairi, Muhammad Saleh Pallu, Bambang Bakri. 2021. *Pengaruh Perubahan Debit Dan Tinggi Jatuh Terhadap Kehilangan Energi Pada Jaringan Perpipaian*. Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
- Turk, S Petrinic I., Dan Simonic M. 2005. "Laundry Wastewater Treatment Using Coagulation And Membrane Filtration". *Jurnal Resources, Conversation And Recycling*. 44 : 185 – 196
- Triatmodjo, Bambang, 1996, *Hidraulika I*, Beta Offset, Yogyakarta.

Wardana, Wisnu Arya. 2001. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Yogyakarta : Andi.

Yudhistira, Abdul Malik Dan Mujiburohman Muhammad. 2020. *Pengaruh Suhu Dan PH Elektrokoagulasi Terhadap Penurunan Kadar TTS Dan COD Pada Limbah Cair Laundry*. UPN Veteran Yogyakarta.

Yuliana, Marus Heryanto Langsa, Alfons D. Sirampun. 2020. *Karakteristik Dan Pengaruhnya Terhadap Kualitas Air*. *Natural*. 16(1), 25-32.

