

SKRIPSI

ANALISIS KEHILANGAN ENERGI AKIBAT TINGGI TEKAN ALIRAN  
PIPA UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO  
SKALA LABORATORIOUM



OLEH :

HARIS MUNANDAR 105 81 1863 13

MUSTAKIN 105 81 1952 13

JURUSAN SIPIL PENGAIRAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2019

19/10/2020

1 exp  
Sub Alumni

R/055/SIP/2019  
MUN  
a'



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

Skripsi atas nama Haris munandar dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 1863 13 dan Mustakin dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 1952 13, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0001/SK-Y/22201/091004/2020, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Pengairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu tanggal 18 Januari 2020

Makassar, 22 Jumadil Awwal 1441 H  
18 Januari 2020 M

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar  
Prof. Dr. H. Abdul Rahman Rahim, SE., MM.

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT.

2. Penguji

a. Ketua : Dr. Ir. Hj. Feny Daud S, MT

b. Sekretaris : Kasmawati, ST., MT

3. Anggota : 1. Dr. Eng. Ir. Farouk Maricar, MT

2. Dr. Hj. Arsyuni Ali Mustari, ST., MT

3. Ir. Andi Rahmat, MT.

Mengetahui :

Pembimbing I

Pembimbing II

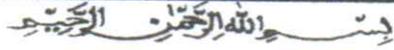
  
Dr. Ir. H. Abd. Rakhim Nanda, MT., IPM.

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

Dekan

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

NBM : 655 500



HALAMAN PENGESAHAN

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 KEHILANGAN ENERGI AKIBAT TINGGI TEKAN ALIRAN PIPA UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO SKALA LABORATORIUM**

Nama : HARIS MUNANDAR  
MUSTAKIN

Stambuk : 105 81 1863 13  
105 81 1952 13

Makassar, 27 Januari 2020

Telah Diperiksa dan Disetujui  
Oleh Dosen Pembimbing:

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir. H. Abd. Rakhim Nanda, MT., IPM.

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

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Sipil

Andi Makbul Syamsuri, ST., MT.

NBM : 1183 084

## KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **“ANALISIS KEHILANGAN ENERGI AKIBAT TINGGI TEKAN ALIRAN PIPA UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO SKALA LABORATORIUM”** guna memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik program studi Teknik Sipil Pengairan pada Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan tugas Akhir ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada :

1. Bapak Ir. Hamzah Al-Imran, ST., MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Bapak Andi Makbul Syamsuri, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Bapak Muh. Amir Zainuddin, ST., MT selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar.
4. Bapak Dr. Ir. H. Abd. Rakhim Nanda, MT., IPM. Selaku Dosen Pembimbing I dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

5. Ibu Dr. Ir. Hj. Nurnawati, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing II dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen dan Staff Akademik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
7. Terkhusus penulis ucapkan terima kasih kepada Kedua orang tua kami tercinta, yang telah mencurahkan seluruh cinta, kasih sayang yang hingga kapanpun penulis takkan bisa membalasnya.
8. Terima kasih juga kepada Himpunan Mahasiswa Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar
9. Serta ucapan terima kasih kepada saudara-saudara seperjuangan Teknik 2013

Penulis menyadari bahwa proposal ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Makassar, 11 Oktober 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR TABEL .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	viii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	3
C. Tujuan Penelitian .....	4
D. Batasan Masalah .....	4
E. Manfaat Penelitian .....	4
F. Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
A. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrihidro ( PLTMH ) .....	6
B. Fluida .....	8
C. Kecepatan Aliran .....	13
D. Mekanisme Kerja PLTMH .....	13
E. Kehilangan Tinggi Tekan Pada Pipa Lurus .....	22
F. Sistem Perpipaan .....	24
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>32</b>
A. Lokasi dan Waktu Penelitian .....	32

B. Alat dan Bahan .....	32
1. Alat .....	32
2. Bahan .....	34
C. Jenis Penelitian dan Sumber Data .....	34
1. Jenis penelitian .....	34
2. Sumber penelitian .....	35
D. Rancangan Penelitian .....	35
1. Pengambilan Data .....	35
2. Prosedur Penelitian .....	37
E. Flow Chart Penelitian .....	39
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>40</b>
A. Skematis Perancangan .....	40
B. Data Perancangan .....	40
C. Hasil Penelitian .....	41
D. Pembahasan .....	42
1. Kecepatan dan Debit .....	42
2. Perhitungan Kehilangan Tinggi Tekan ( $H_f$ ) .....	44
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>50</b>
A. Kesimpulan .....	50
B. Saran .....	50
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 1	Definisi Tenaga Air Berdasarkan Kapasitas Daya .....	14
Tabel 2	Perbedaan Pipa PVC dan Pipa HDPE .....	29
Table 3	Data Penelitian .....	36
Table 4	Klasifikasi Pembangkit Listrik .....	41
Table 5	Data Hasil Pengukuran Diameter Pipa,Waktu& Kecepatan	41
Table 6	Data Kecepatan Diameter, Luas & Debit .....	42
Table 7	Data Kehilangan Tinggi Tekan Fluida Pada Pipa.....	47



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Prinsip Kerja PLTMH.....	7
Gambar 2	Percobaan Osborn Reynold .....	12
Gambar 3	Percobaan Jenis Aliran .....	12
Gambar 4	Turbin Crossflow .....	18
Gambar 5	Turbin Propeller Open Flume.....	18
Gambar 6	Contoh Generator .....	20
Gambar 7	Mekanisme Kerja PLTMH.....	21
Gambar 8	Faktor Gesekan Untuk Pipa .....	23
Gambar 9	Pipa PVC .....	25
Gambar 10	Pipa HDPE.....	27
Gambar 11	Instalasi Pipa HDPE.....	28
Gambar 12	Rancangan Model.....	37
Gambar 13	Flow Chart Penelitian.....	39
Gambar 14	Jaringan Pipa PLTMH.....	40
Gambar 15	Grafik Hubungan Kecepatan dan Diameter Pipa.....	43
Gambar 16	Grafik Hubungan Debit dan Durasi.....	43
Gambar 17	Nilai Faktor Gesekan.....	45
Gambar 18	Grafik Hubungan Kehilangan Tinggi Tekan.....	48

# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. LATAR BELAKANG

Mikrohidro atau yang dimaksud dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit air. Mikrohidro merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata mikro yang berarti kecil dan hidro yang berarti air. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator.

Mikrohidro mendapatkan energi dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu. Pada dasarnya, mikrohidro memanfaatkan energi potensial jatuhnya air (head). Semakin tinggi jatuhnya air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Di samping faktor geografis (tata letak sungai), tinggi jatuhnya air dapat pula diperoleh dengan membendung aliran air sehingga permukaan air menjadi tinggi. Air dialirkan melalui sebuah pipa pesat kedalam rumah pembangkit yang pada umumnya dibangun di bagian tepi sungai untuk menggerakkan turbin atau kincir air mikrohidro. Energi mekanik yang berasal dari putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik,

misalnya dengan ketinggian air 2.5 meter dapat dihasilkan listrik 100 watt. Relatif kecilnya energi yang dihasilkan mikrohidro dibandingkan dengan PLTA skala besar, berimplikasi pada relatif sederhananya peralatan serta kecilnya areal yang diperlukan guna instalasi dan pengoperasian mikrohidro. Hal tersebut merupakan salah satu keunggulan mikrohidro, yakni tidak menimbulkan kerusakan lingkungan. Perbedaan antara Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dengan mikrohidro terutama pada besarnya tenaga listrik yang dihasilkan, PLTA dibawah ukuran 100 KW digolongkan sebagai mikrohidro.

PLTMH baiknya digunakan pada daerah – daerah yang mempunyai potensi energi air yang melimpah dan terdapat beda tinggi air di suatu wilayah atau alur sungai, baik berupa terjunan, alur sungai yang curam atau aliran air sungai yang bisa dibendung, maka disitulah daerah yang dapat dibangun PLTMH.

Berdasarkan latar belakang diatas, maka kami melakukan penelitian dengan judul “ Analisis Kehilangan Energi Akibat Tinggi Tekan Aliran Pipa Untuk Pembangkit Listrik Mikrohidro Skala Laboratorium”

## **B. RUMUSAN MASALAH**

Permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah :

1. Menganalisa pengaruh variasi diameter pipa dan durasi terhadap perubahan tinggi tekan.

2. Bagaimana tinggi tekan aliran pipa untuk Pembangkit Mikrohidro ?

### C. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dalam penelitian ini adalah :

1. Untuk menganalisa pengaruh diameter pipa terhadap perubahan kecepatan.
2. Untuk melihat pengaruh diameter pipa terhadap perubahan kehilangan tinggi tekan.

### D. BATASAN MASALAH

Adapun batasan masalah yang kami gunakan untuk mempertegas masalah yang dibahas adalah :

1. Penelitian yang dilakukan berskala Laboratorium
2. Pipa yang digunakan adalah pipa PVC dengan diameter yaitu pipa 1¼" (42 mm), Pipa ¾" (26 mm) , dan Pipa ½" (22 mm)

### E. MANFAAT PENELITIAN

Manfaat dalam penelitian ini adalah :

1. Manfaat Teoritis

Untuk mengetahui Pembangkit Mikrohidro pengaruhnya terhadap kecepatan dan tinggi tekan air dengan menggunakan variasi diameter pipa dan durasi berbeda.

## 2. Manfaat praktis

Diharapkan hasil penelitian dapat memberikan manfaat sebagai bahan informasi dan tambahan pengetahuan bagi mahasiswa jurusan teknik sipil pengairan pada khususnya serta jurusan lain pada umumnya mengenai Pembangkit Mikrohidro pengaruhnya terhadap kecepatan dan tekanan air dengan menggunakan variasi diameter pipa.

## F. SISTEMATIKA PENULISAN

Guna memperjelas dan mempermudah bagi pembaca dalam memahami atau mengkaji kandungan skripsi ini, perlu disusun sistematika penulisan. Adapun sistematika penulisan ini dibagi menjadi tiga bagian yaitu :

Bagian awal skripsi terdiri dari halaman judul, halaman pengesahan, kata pengantar dan berbagai daftar meliputi daftar isi, daftar gambar, daftar table, daftar lampiran, daftar rotasi, dan abstrak.

Bagian kedua yang merupakan bagian inti dari skripsi yang merupakan isi skripsi yang terdiri 3 (tiga) bab, yang meliputi :

**BAB I PENDAHULUAN** merupakan bab pendahuluan dari tulisan ini, yang berisi latar belakang studi, rumusan masalah, tujuan dari penelitian, batasan masalah yang diangkat dan sistematika penulisan berupa gambaran singkat dari tiap-tiap bab yang ada di dalam tulisan ini.

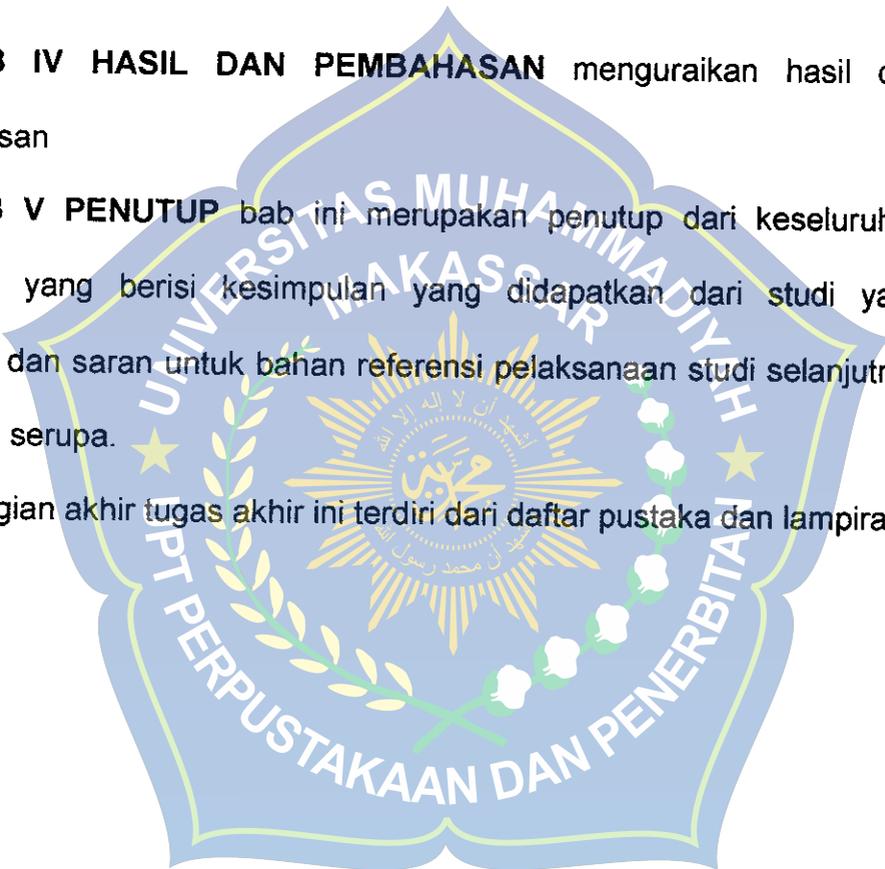
**BAB II TINJAUAN PUSTAKA** dalam bab ini akan diberikan uraian secara teoritis tentang Fluida dan Perpipaan, Kecepatan, Tinggi tekan air, dan Pembangkit Mikrohidro.

**BAB III METODOLOGI PENELITIAN** menguraikan lokasi dan waktu penelitian, gambaran umum penelitian, metode penelitian, dan tahapan penelitian.

**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN** menguraikan hasil dan pembahasan

**BAB V PENUTUP** bab ini merupakan penutup dari keseluruhan penulisan yang berisi kesimpulan yang didapatkan dari studi yang dilakukan dan saran untuk bahan referensi pelaksanaan studi selanjutnya atau yang serupa.

Bagian akhir tugas akhir ini terdiri dari daftar pustaka dan lampiran.



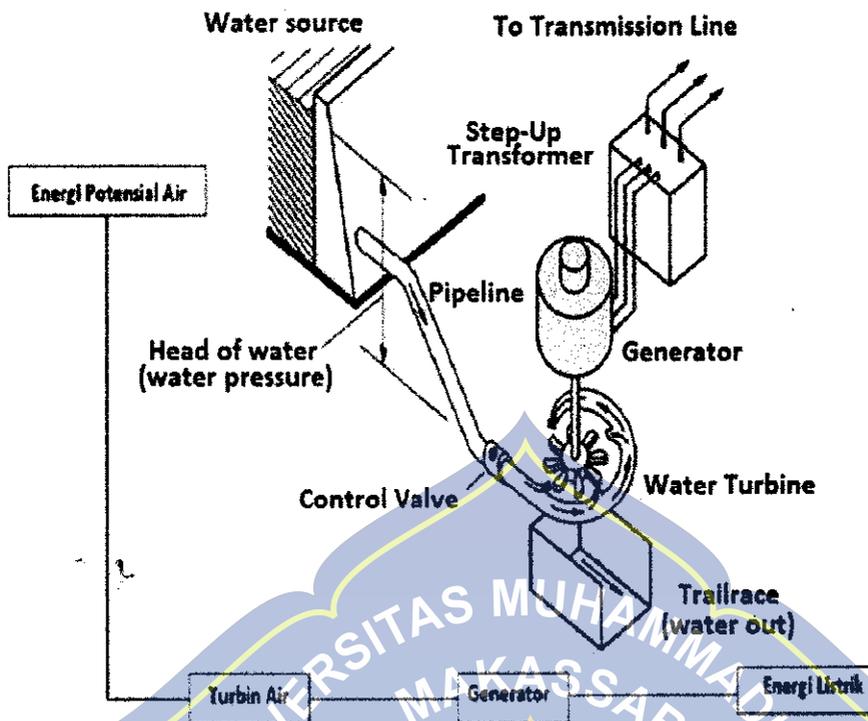
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik berskala kecil dengan output di bawah 100 KW yang memanfaatkan potensi aliran air yang terdapat di pedesaan sebagai sumber tenaga misalnya saluran irigasi, sungai atau air terjun alam. PLTMH memiliki konstruksi yang sederhana, mudah dioperasikan, mudah dalam perawatan serta dengan biaya investasi yang terjangkau sehingga cocok diterapkan untuk menerangi wilayah pedesaan yang tidak terjangkau aliran listrik PLN. (Sumber : Wahyudi, 2011)

Secara teknis, pembangkit listrik tenaga mikro hidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator. Pembangkit listrik tenaga mikro hidro mendapatkan energi dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu. Pada dasarnya, pembangkit listrik tenaga mikro hidro memanfaatkan energi potensial jatuhan air (head). Semakin tinggi jatuhan air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Pembangkit tenaga listrik mikrohidro pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik, energi ini selanjutnya menggerakkan generator.



Gambar 1. Prinsip Kerja PLTMH (Sumber : Muchlisin Riadi)

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro bisa memanfaatkan ketinggian air yang tidak terlalu besar, misalnya dengan ketinggian air 2,5 m dapat dihasilkan listrik 400 W. Prinsip kerja PLTMH adalah memanfaatkan beda tinggi dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran atau sungai. Air yang mengalir melalui intake dan diteruskan oleh saluran pembawa hingga *penstock*, akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Turbin air akan memutar generator dan menghasilkan listrik.

Dibanding pembangkit listrik yang lain, Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) memiliki beberapa kelebihan sebagai berikut:

1. PLTMH cukup murah karena menggunakan energi alam.
2. Memiliki konstruksi yang sederhana dan dapat dioperasikan di daerah terpencil dengan tenaga terampil penduduk daerah setempat dengan sedikit latihan.

3. Tidak menimbulkan pencemaran.
4. Dapat dipadukan dengan program lainnya seperti irigasi dan perikanan.
5. Mendorong masyarakat agar dapat menjaga kelestarian hutan sehingga ketersediaan air terjamin.

## B. Fluida

Fluida adalah suatu zat yang dapat mengalir bisa berupa cairan atau gas. Fluida mengubah bentuknya dengan mudah dan didalam kasus mengenai gas, mempunyai volume yang sama dengan volume wadah yang membatasi gas tersebut. Pemakaian mekanika kepada medium kontinyu, baik benda padat maupun fluida adalah didasari pada hukum gerak newton yang digabungkan dengan hukum gaya yang sesuai.

Salah satu cara untuk menjelaskan gerak suatu fluida adalah dengan membagi – bagi fluida tersebut menjadi elemen volume yang sangat kecil yang dapat dinamakan partikel fluida dan mengikuti gerak masing-masing partikel ini.

Suatu massa fluida yang mengalir selalu dapat dibagi-bagi menjadi tabung aliran, bila aliran tersebut adalah tunak, waktu tabung-tabung tetap tidak berubah bentuknya dan fluida yang pada suatu saat berada didalam sebuah tabung akan tetap berada dalam tabung ini seterusnya. Kecepatan aliran didalam tabung aliran adalah sejajar dengan tabung dan mempunyai besar berbanding terbalik luas penampangnya. (Pantar, s, 1997)

Konsep aliran fluida yang berkaitan dengan aliran fluida dalam pipa adalah :

### 1. Hukum kekekalan Massa

Kekekalan massa adalah prinsip yang menyatakan bahwa laju perubahan massa fluida didalam ruang tilik pada selang waktu  $dt$  harus sama dengan perbedaan laju massa yang masuk dan laju massa yang keluar). Secara sederhana kita dapat menuliskannya sebagai berikut :

$$\frac{dm}{dt} = m_{in} - m_{out}$$

Keterangan:

$dm$  = perubahan massa

$dt$  = selang waktu

$m_{in}$  = laju massa masuk

$m_{out}$  = laju massa keluar

### 2. Hukum Kekekalan energi

Hukum kekekalan energi merupakan hukum yang menyatakan bahwa energi itu kekal dan tidak dapat berubah (besarnya) sepanjang waktu, memiliki nilai yang sama baik sebelum sesuatu terjadi maupun sesudahnya. Energi dapat diubah bentuknya, tapi besarnya akan selalu sama.

$$E_m = E_k + E_p$$

Keterangan:

$E_p$  = energi mekanik

$E_k$  = energi kinetik

$E_p$  = energi potensial

### 3. Hukum kekekalan momentum

Momentum adalah besaran yang kekal seperti halnya energi, artinya jumlah momentum dua buah benda yang saling bertumbukan adalah konstan. Secara rinci dapat dinyatakan jumlah momentum sebelum dan sesudah tumbukan adalah sama.

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1' \cdot v_1' + m_2' \cdot v_2'$$

$v_1'$  dan  $v_2'$  masing – masing adalah kecepatan kedua benda setelah tumbukan.

### 4. Katup

Katup adalah sebuah alat untuk mengatur, mengarahkan atau mengendalikan arus fluida (gas, cairan, benda padat yang difluidisasi) dengan membuka, menutup, mengecilkan atau membesarkan arusnya. Pada katup terbuka, arus air diatur dari tekanan tinggi ke tekanan rendah.

### 5. Oriface meter

Orifice adalah salah satu alat yang digunakan untuk mengukur laju aliran volum atau massa fluida di dalam saluran yang tertutup (pipa) berdasarkan prinsip beda tekanan. Alat ini berupa plat tipis dengan gagang yang diapit diantara flens pipa. Fungsi dari gagang orifice adalah untuk memudahkan dalam proses pemasangan dan penggantian. Orifice termasuk alat ukur laju aliran dengan metode rintangan aliran (*Obstruction Device*).

### 6. Arcameter (rotarimeter). (martomo, s, 1999)

Aliran dapat diklasifikasikan (digolongkan) dalam banyak jenis seperti: turbulen, laminar, nyata, ideal, mampu balik, tak mampu balik, seragam, tak seragam, rotasional, tak rotasional.

Aliran fluida melalui instalasi (pipa) terdapat dua jenis aliran yaitu :

1. Aliran laminar
2. Aliran turbulensi

Cairan dengan rapat massa yang akan lebih mudah mengalir dalam keadaan laminar. Dalam aliran fluida perlu ditentukan besarnya, atau arah vektor kecepatan aliran pada suatu titik ke titik yang lain. Agar memperoleh penjelasan tentang medan fluida, kondisi rata-rata pada daerah atau volume yang kecil dapat ditentukan dengan instrument yang sesuai.

Pengukuran aliran adalah untuk mengukur kapasitas aliran, massa laju aliran, volume aliran. Pemilihan alat ukur aliran tergantung pada ketelitian, kemampuan pengukuran, harga, kemudahan pembacaan, kesederhanaan dan keawetan alat ukur tersebut.

Dalam pengukuran fluida termasuk penentuan tekanan, kecepatan, debit, gradien kecepatan, turbulensi dan viskositas. Terdapat banyak cara melaksanakan pengukuran-pengukuran, misalnya langsung, tak langsung, Gravimetric, volumetrik, elektronik, elektomagnetik dan Pengukuran debit secara langsung terdiri dari atas penentuan volume atau berat fluida yang melalui suatu penampang dalam suatu selang waktu tertentu. Metoda tak langsung bagi pengukuran debit memerlukan penentuan tinggi tekanan,

perbedaan tekanan atau kecepatan di beberapa titik pada suatu penampang dan dengan besaran perhitungan debit. Metode pengukuran aliran yang paling teliti adalah penentuan gravimetrik atau penentuan volumetrik dengan berat atau volume diukur atau penentuan dengan mempergunakan tangki yang dikalibrasikan untuk selang waktu yang diukur.

Pada prinsipnya besar aliran fluida dapat diukur melalui :

1. Kecepatan (velocity)
2. Berat (massanya)
3. Luas bidang yang dilaluinya

Konsep aliran fluida dibagi menjadi beberapa yaitu :

- a. Aliran laminar

Dalam aliran laminar partikel-partikel zat cair bergerak di sepanjang lintasan - lintasan lurus, sejajar dalam lapisan-lapisan atau *laminae*. Besarnya kecepatan-kecepatan dari *laminae* yang berdekatan tidak sama. Aliran laminar diatur oleh hukum yang menghubungkan tegangan geser ke laju perubahan bentuk sudut, yaitu hasil kali kekentalan zat cair dan gradien kecepatan atau

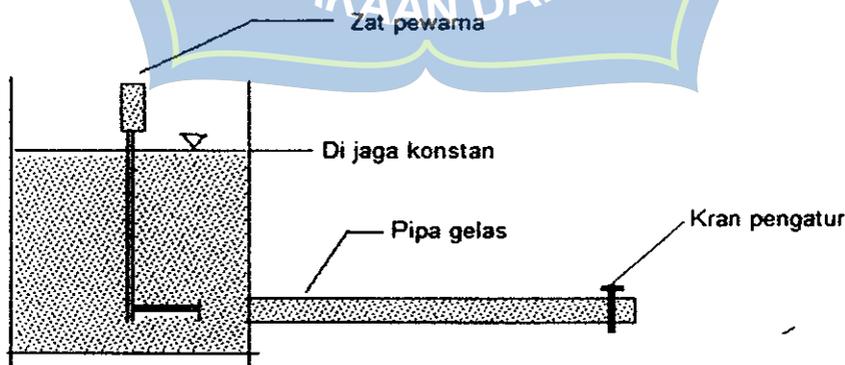
$$\tau = \mu dv/dy$$

Kekentalan zat cair tersebut dominan dan oleh karenanya mencegah setiap kecenderungan menuju ke kondisi turbulen.

## b) Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds adalah bilangan yang tidak mempunyai dimensi, yang menyatakan perbandingan gaya-gaya inersia terhadap gaya-gaya kekentalan. Percobaan yang dilakukan pada tahun 1884 oleh Osborne Reynolds dapat menunjukkan sifat-sifat aliran laminar dan turbulen.

Peralatan yang digunakan dalam percobaan tersebut terdiri dari pipa kaca yang diatur oleh sebuah katup sehingga dapat melewati air dengan berbagai kecepatan. Melalui pipa kecil yang dihubungkan dengan pipa kaca tersebut dialirkan zat warna. Oleh Reynolds ditunjukkan bahwa untuk kecepatan aliran yang kecil di dalam pipa kaca, zat warna akan mengalir dalam satu garis lurus yang sejajar dengan sumbu pipa. Apabila katup dibuka sedikit demi sedikit sehingga kecepatan akan bertambah besar, garis zat warna mulai bergelombang yang akhirnya pecah dan menyebar pada seluruh aliran di dalam pipa. Kecepatan pada saat pecah ini adalah kecepatan kritis.

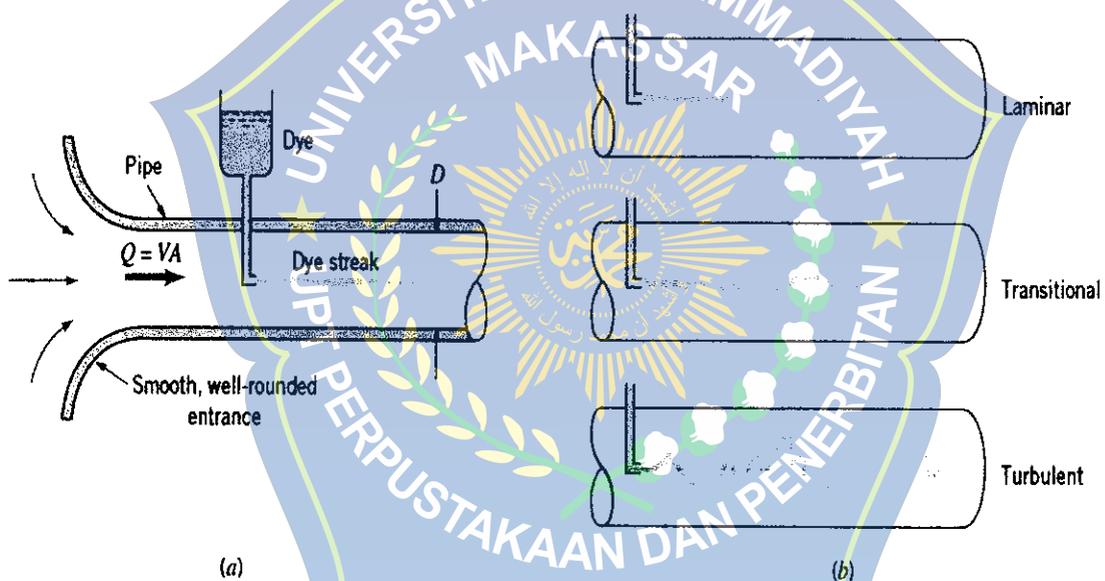


Gambar 2. Alat Percobaan Osborne Reynolds

Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya perbedaan aliran, hasil dari percobaan *Osborne Reynolds* adalah

- faktor keadaan aliran yaitu kekentalan zat cair  $\mu$  (*mu*),
- rapat massa zat cair  $\rho$  (*rho*)
- diameter pipa  $D$ .

Bilangan *Reynolds* adalah bilangan yang tidak berdimensi. Titik kritis aliran inkompresibel di dalam saluran adalah  $Re=2000$ . Jika suatu aliran memiliki  $Re < 2000$  maka disebut aliran laminar, dan jika  $Re > 2000$  disebut aliran turbulen.



Gambar 3. (a) Percobaan untuk mengetahui jenis aliran, (b) Jenis-jenis aliran dilihat pada *dye streak* (Sumber : Muhammad Ikhwan Kurniawan)

### C. Kecepatan Aliran

Laju aliran fluida melewati sebuah konduktor (pipa) dipengaruhi oleh luasan dari lubang pipa, laju aliran fluida dan material penyusun pipa

yang meliputi koefisien bahan, konduktansi, dan ketebalan. Persamaan dasar dari kecepatan aliran fluida adalah sebagai berikut

$$v = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

Dimana

$v$  : Kecepatan aliran (m/s)

$Q$  : Laju aliran fluida (kg/s)

$A$  : Luasan pipa (m<sup>2</sup>)

#### D. Mekanisme Kerja PLTMH

PLTMH bekerja ketika air dalam jumlah dan ketinggian tertentu dijatuhkan melalui pipa pesat (penstok) dan menggerakkan turbin yang dipasang diujung bawah pipa. Putaran turbin di kopel (dihubungkan) dengan generator sehingga generator berputar dan menghasilkan energi listrik. Listrik yang dihasilkan dialirkan melalui kabel listrik ke rumah-rumah penduduk atau konsumen lainnya. Jadi PLTMH mengubah energi potensial yang berasal dari air menjadi energi listrik. Untuk memanfaatkan energi air dengan tepat dan menghasilkan energi listrik yang baik, diperlukan peralatan yang sesuai dan perencanaan yang baik.

Pembangkit listrik tenaga air di kelompokkan berdasarkan ukuran kapasitasnya. Walaupun ada sejumlah definisi yang berbeda, dalam hal ini kita akan memakai klasifikasi berdasarkan standard UNIDO dan Permen ESDM tahun 2002 .

Tabel 1. Definisi tenaga air berdasarkan kapasitas daya

Istilah	Power Output	Permen ESDM Tahun 2002
<i>Pico Hydro</i>	< 500 W	-
<i>Micro Hydro</i>	500 W hingga 100 kW	< 1 MW
<i>Mini Hydro</i>	100 kW hingga 1 MW	1 MW – 10 MW
<i>Small Hydro</i>	1 MW to 10 MW	
<i>Full-scale (large) hydro</i>	> 10 MW	

Sumber: standard UNIDO dan Permen ESDM tahun 2002

Komponen pada PLTMH terdiri dari dua bagian yaitu komponen civil dan komponen mekanikal serta elektrikal yaitu :

#### 1. Bangunan sipil

Komponen penunjang untuk menggerakkan komponen mekanikal dan elektrikal. Ada 10 ( sepuluh ) komponen sipil yaitu;

##### 1) Bendungan pengalihan

Terletak melintang aliran sungai yang berfungsi meninggikan permukaan air sungai agar aliran air yang masuk melalui ke dalam sistem penyaluran PLTMH lebih lancar dan sesuai dengan kebutuhannya. Pembuatan bendung ini tidak sampai menghentikan aliran air pada sungai yang dibendung untuk menjamin hak pengguna air lainnya.

##### 2) Intake (saluran pemasukan)

Lubang intake merupakan pintu masuk menuju saluran pembawa. Lubang intake berada di samping bendung atau di bibir sungai ke arah(DiversionWeir) hulu sungai. Pintu intake mengatur aliran air masuk dari sungai ke sistem pembawa air. Pintu intake juga memungkinkan

untuk menutup sama sekali aliran masuk selama periode perawatan dan selama banjir. Pada pintu intake biasanya terdapat perangkat sampah.

### 3) Bak pengendap (*sand trap*)

Merupakan saluran yang terletak sesudah pintu (intake). Bagian dasar bak pengendap secara membujur dibuat lebih miring agar kecepatan aliran air menurun. Penurunan ini akan mengendapkan kerikil, pasir dan sedimen sehingga tidak ikut masuk ke saluran pembawa, dan yang terpenting tidak masuk ke dalam turbin. Pada bagian akhir bak pengendap terdapat pintu penguras untuk membersihkan sand trap dari endapan pasir, kerikil dan sedimen. Pada PLTMH kecil bak pengendap juga berfungsi sebagai bak penenang.

### 4) Saluran pembawa (*head race channel*)

Saluran yang membawa air mulai dari saluran pemasukan hingga ke bak penenang. Bagian dasar saluran dibuat miring (landai) agar tidak ada air yang terjebak di dalam saluran. Kemiringan dibuat sedemikian rupa agar hilangnya ketinggian (*head lose*) dapat dibuat seminimal mungkin.

### 5) Saluran pelimpah (*spillway*)

Berfungsi untuk mencegah aliran air berlebih yang tidak terkontrol dengan cara mengembalikan kelebihan air dalam saluran ke sungai melalui saluran pelimpah. Kelebihan air terjadi ketika debit air di dalam saluran melebihi batas atau saringan di dalam bak penenang tersumbat sampah. Spill way kemungkinan terletak pada bak pengendap, saluran

pembawa, dan bak penenang. Dengan adanya sistem pelimpah air dapat mencegah erosi dan tanah longsor pada sistem saluran air yang diakibatkan air meluber kemana-mana.

#### 6) Bak penenang(*forebay*)

Membentuk transisi dari saluran pembawa ke pipa pesat. Dalam beberapa kasus baknya diperbesar yang bertujuan sebagai bak penampung pada beban puncak dan bak akhir untuk mencegah pengisapan udara (*air suction*). Bak penenang ini pun merupakan bak pengendap dan penyaring terakhir sebelum air masuk ke dalam pipa pesat (*penstock*).

#### 7) Saringan

Menyaring sampah dalam air agar tidak masuk ke dalam pipa pesat. Saringan terletak pada bagian depan intake, setelah bak pengendap, dan ujung depan pipa pesat di dalam bak penenang. Saringan harus diperiksa dan dibersihkan secara teratur.

#### 8) Pipa pesat (*penstock*)

Pipa yang menghubungkan bak penenang dengan turbin di rumah pembangkit yang membawa air jatuh ke turbin. Umumnya pipa pesat terbuat dari pipa baja yang di rol dan dilas untuk menyambungkannya. Namun demikian ada juga pipa pesat terbuat beton atau plastik (PE, PVC, HDPE). Pipa pesat didukung oleh sliding blocks dan angkor serta expansion joint (sambungan) untuk mengatasi pemuaian pipa secara memanjang akibat pengaruh temperatur.

### 9) Rumah pembangkit (*Power House*)

Bangunan tempat semua peralatan mekanik dan elektrik PLTMH dipasang secara aman baik dari pengaruh cuaca buruk maupun akses masuk orang-orang yang tidak berkepentingan. Peralatan mekanik seperti turbin dan alternator berada di dalam rumah pembangkit, demikian pula peralatan elektrik, seperti Controller.

### 10) Saluran pembuang (*Tailrace Channel*)

Terpasang dibagian dasar rumah pembangkit yang berfungsi mengalirkan air kembali ke sungai setelah melalui turbin.

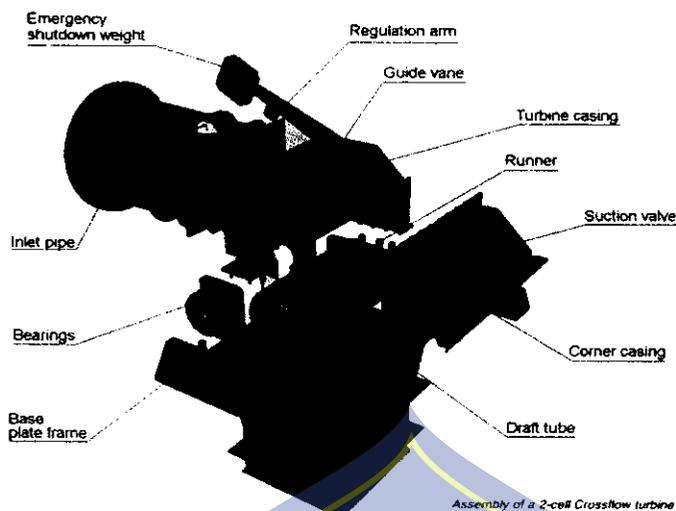
## 2. Komponen Elektrikal dan Mekanikal

Peralatan elektro-mekanikal adalah semua peralatan yang dipergunakan untuk merubah energi potensial air menjadi energi listrik.

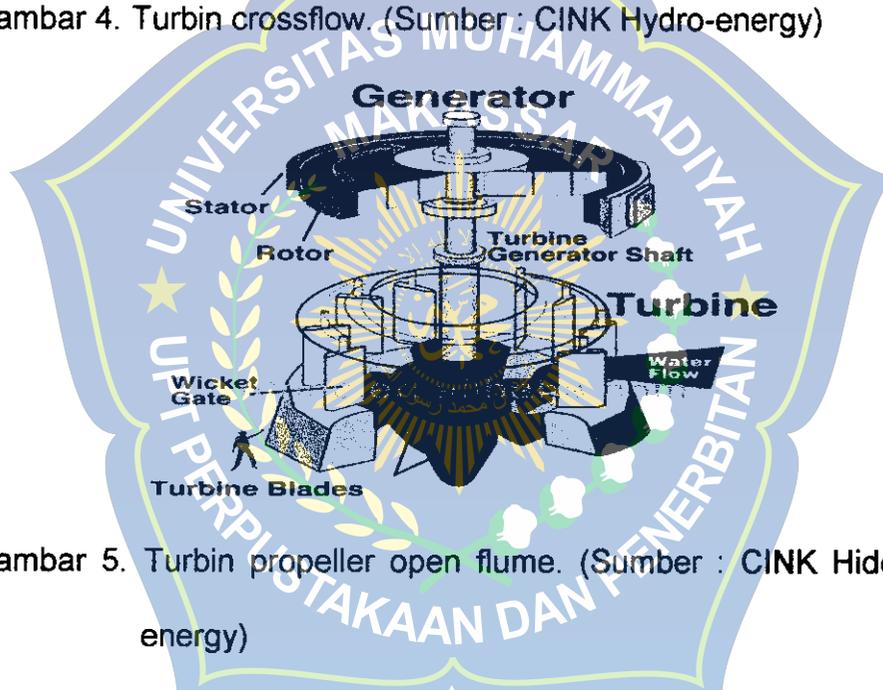
Peralatan utamanya terdiri dari :

### 1) Turbin

Merupakan peralatan mekanik yang mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik (putaran). Air yang memiliki tekanan kecepatan tertentu menumbuk sudu sudu turbin dan memutar runner turbin sehingga berputar dengan daya yang sebanding dengan daya potensial air.



Gambar 4. Turbin crossflow. (Sumber : CINK Hydro-energy)



Gambar 5. Turbin propeller open flume. (Sumber : CINK Hiddro-energy)

Ada beberapa jenis turbin yang digunakan dalam pemanfaatan

PLTMH yang disesuaikan dengan besarnya debit air dan tinggi jatuh.

Turbin yang paling banyak digunakan untuk PLTMH di Indonesia adalah :

- a) *Turbin crossflow* untuk aplikasi tinggi jatuh medium 10 – 100 meter, daya 1kW– 250kW.
- b) *Turbin propeler (open flume)* untuk tinggi jatuh yang rendah 2 – 10 meter dengan debit air yang besar.

## 2. Generator

Generator merupakan komponen yang berfungsi merubah energi mekanik berupa putaran menjadi energi listrik. Generator yang digunakan biasanya jenis arus bolak balik (AC) dengan frekuensi 50 hz pada putaran 1500 rpm. Energi listrik yang dihasilkan dapat berupa 1 fasa (2 kabel) atau 3 fasa (4 kabel) dengan tegangan 220/380 . Generator diputar oleh turbin melalui kopel langsung atau melalui dan sabuk. Ada dua jenis generator yang banyak digunakan untuk PLTMH yaitu generator sinkron dan motor induksi sebagai generator (generator induksi).



Gambar 6. Contoh generator . (Sumber : CINK Hiddro-energy)

## 3. Panel listrik dan alat kontrol

Panel listrik merupakan tempat dimana sambungan kabel (terminal) dan peralatan pengaman listrik (MCB) serta meter listrik ditempatkan. Berikut fungsi panel listrik dan alat kontrol :

1. Memonitor parameter dan besaran listrik seperti tegangan generator, arus beban, frekuensi, indikator lampu, jam operasional dan lain lain.

2. Sebagai alat pengaman generator dan peralatan listrik dari hubung singkat, arus beban lebih, tegangan lebih/kurang (*over/under voltage*), frekuensi lebih/kurang (*over/under frequency*) dan lain-lain.
3. Sebagai alat pengendali/kontrol generator supaya tegangan dan frekuensi generator stabil pada saat terjadi perubahan beban di konsumen.

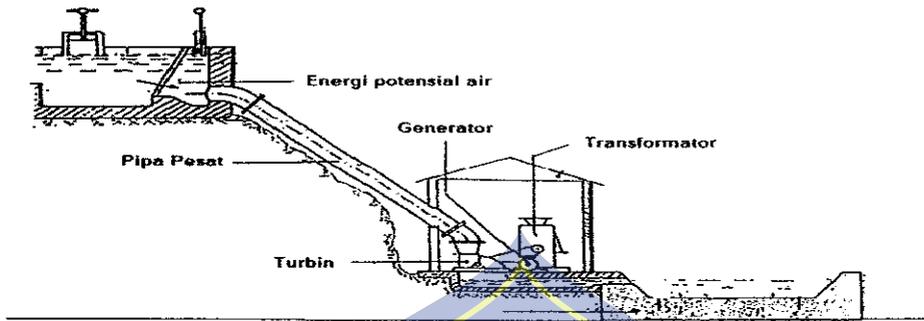
Ada dua jenis kontrol yaitu ELC (*electronic load controller*) untuk generator sinkron dan IGC (*induction generator*) untuk generator induksi. Pada prinsipnya kedua jenis kontrol ini adalah sama, hanya berbeda parameter yang di kontrol, dimana frekuensi pada ELC dan tegangan pada IGC. Cara paling mudah untuk membedakannya adalah adanya kapasitor pada IGC.

## 2) Beban ballast (*ballast load*)

Beban ballast hanya digunakan pada PLTMH dengan pemakaian kontrol beban (ELC/IGC) sedangkan pada PLTMH tanpa kontrol tidak menggunakan beban ballast. Pada PLTMH tanpa menggunakan kontrol, tegangan dan frekuensi akan naik dan turun sesuai dengan perubahan beban konsumen, hal ini akan mengakibatkan lampu dan peralatan elektronik akan cepat rusak.

Beban ballast digunakan untuk membuang energi listrik yang dibangkitkan oleh generator tetapi tidak terpakai oleh konsumen. Sehingga daya yang dihasilkan generator dengan daya yang dipakai akan

seimbang, hal ini dimaksudkan untuk menjaga tegangan dan frekuensi generator tetap stabil.



Gambar 7. Gambar Mekanisme Kerja PLTMH (Sumber : Saharul Jepara)

#### E. Kehilangan Tinggi Tekan pada Pipa Lurus

Kehilangan tinggi tekan suatu fluida dalam pipa dapat terjadi karena faktor gesekan (*major losses*) atau akibat faktor perubahan bentuk geometri pipa (*minor losses*). Kehilangan tinggi tekan akibat faktor gesekan pipa lurus, kontraksi tiba-tiba, ekspansi tiba-tiba, tikungan pada pipa katup (*valve*)

Suatu pipa lurus dengan diameter ( $D$ ) yang tetap, akan mempunyai kehilangan tinggi tekan akibat gesekan sepanjang pipa ( $L$ ) sebesar :

$$h_l = f \frac{v^2 L}{Dg} \quad (2)$$

dimana:

$h_l$  = kehilangan tinggi tekan akibat gesekan (m)

$f$  = koefisien gesek (tidak berdimensi)

$L$  = panjang pipa (m)

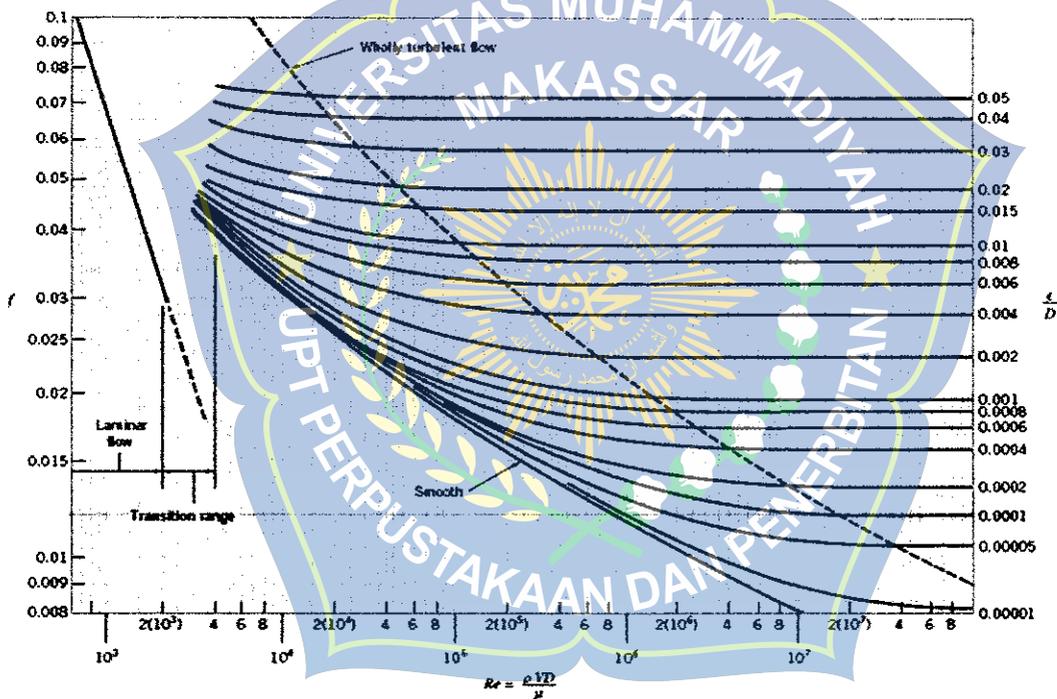
$D$  = diameter pipa (m)

$v$  = kecepatan aliran (m/detik)

$g$  = percepatan gravitasi (m/detik<sup>2</sup>)

Persamaan di atas dikenal sebagai persamaan *Darcy-Weisbach* dengan  $f$  sebagai konstanta tidak berdimensi yang merupakan fungsi dari bilangan Reynolds dari aliran dan kekasaran permukaan pipa.

Faktor gesekan ( $f$ ) digunakan dalam persamaan *Darcy Weisbach*. Koefisien ini dapat diperkirakan dengan diagram pada gambar 8 dibawah ini:



Gambar 8. Faktor gesekan untuk pipa. (Sumber : Lewis Ferry Moody)

Sistem perpipaan biasanya terdiri dari beberapa komponen seperti katup, belokan, percabangan dan sebagainya yang dapat menambah *head loss* sistem pipa. Kerugian *head* melalui komponen sistem pipa tersebut disebut kerugian minor (*minor losses*). Sedangkan kerugian gesekan di sepanjang pipa disebut kerugian mayor (*mayor losses*).

K adalah koefisien kerugian minor, harga K bergantung pada jenis komponen sistem perpipaan seperti katup, sambungan, belokan, sisi masuk, sisi keluar, dan sebagainya.

*Head loss mayor* dapat terjadi karena adanya gesekan antara aliran fluida yang mengalir dengan suatu dinding pipa. Pada umumnya *losses* ini dipengaruhi oleh panjang pipa. Untuk dapat menghitung *head loss mayor*, perlu diketahui lebih jelas awal jenis aliran fluida yang mengalir. Jenis aliran tersebut dapat diketahui melalui *Reynold number* sebagai berikut :

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} \quad (3)$$

Keterangan:

- $v$  = kecepatan fluida, m/s
- $\rho$  = massa jenis fluida,  $\text{kg/m}^3$
- $D$  = diameter pipa, m
- $\mu$  = viskositas fluida,  $\text{kg/m.s}$  atau  $\text{N.s/m}^2$

## F. Sistem Perpipaan

Pipa adalah sebuah silindris yang digunakan untuk mengalirkan fluida. Pipa itu seperti halnya arteri dan vena dalam pembuluh darah kita, ia mengalirkan darah dari organ satu ke yang lainnya. Tentunya apabila tidak ada aliran, artinya tidak ada kehidupan. Seperti itulah *piping*, ia memegang peranan sangat penting dalam sebuah plant. Sedangkan sistem pemipaan itu sendiri diartikan sebagai unit pengatur laju aliran fluida cair maupun gas dengan menggunakan pipa sebagai media transportasinya.

Kembali mengenai sistem pemipaan, dikenal dua istilah yaitu piping dan pipe line. Walaupun sama sama menggunakan pipa, tapi dua system ini berbeda. Piping adalah sistem perpipaan di suatu plant, sebagai fasilitas untuk mengantarkan fluida (cair atau gas) antara satu peralatan ke peralatan lainnya untuk melewati proses – proses tertentu. Piping ini tidak akan keluar dari satu wilayah plant. Sedangkan pipeline adalah sistem perpipaan untuk mengantarkan atau mengalirkan fluida antara satu plant ke plant lainnya yang biasanya melewati beberapa daerah.

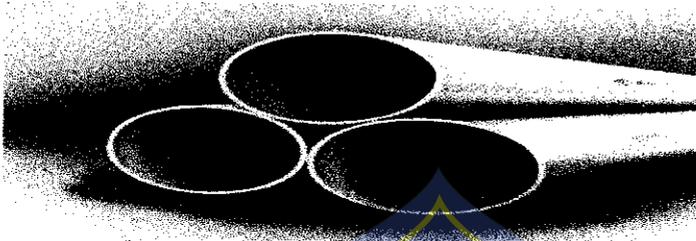
Berikut ini merupakan istilah-istilah yang sering dijumpai dalam sistem pemipaan :

- a) *Piping* adalah system pemipaan yang menghubungkan antar equipment dalam satu fasilitas, dengan jarak pendek dan diameter yang kecil.
- b) *Pipeline* adalah system pemipaan yang menghubungkan antar fasilitas, jaraknya amat jauh dan diameter pipanya besar.
- c) *NPS: Nominal Pipe Size*, banyak digunakan di Amerika Utara, dengan satuannya Inchi.
- d) *DN: Diameter Nominal*, digunakan oleh Negara di daratan Eropa, dengan satuan milimeter
- e) *Large Bore Pipe*: yaitu pipa yang berukuran lebih besar dari 2 inchi.
- f) *Small Bore Pipe*: yaitu pipa yang mempunyai ukuran 2 inchi ke bawah.
- g) *Tubing*: mempunyai ukuran sampai 4 inchi tapi mempunyai ketebalan dinding yang lebih kecil dari *Large Bore* dan *Small Bore* tadi.

## 1. Jenis Pipa

Jenis pipa dibedakan dengan beberapa jenis, namun dalam kehidupan sehari-hari 2 jenis pipa yang sering digunakan yaitu :

### 1) Pipa Plastik PVC



Gambar 9. Pipa PVC (Raswari, 2010)

Terbuat dari gabungan material vinyl plastik yang menghasilkan pipa yang kuat, ringan, tidak berkarat serta tahan lama. PVC diproduksi dengan cara polimerisasi monomer vinil klorida ( $\text{CH}_2=\text{CHCl}$ ). Karena 57% massanya adalah klor, PVC adalah polimer yang menggunakan bahan baku minyak bumi terendah di antara polimer lainnya.

Berdasarkan tingkat ketebalannya, pipa peralon bisa dibagi menjadi 3 macam yaitu :

- a) Tipe C : Ini adalah pipa yang paling tipis. Ukuran diameter yang ada di pasaran mulai dari yang 5/8 inci, 1/2 inci, 3/4 inci, 1 inci, 1 1/4 inci, 1 1/2 inci, 2 inci, 2 1/2 inci, 3 inci, 4 inci sampai dengan 5 inci. Pipa jenis ini biasanya digunakan saat membangun saluran pembuangan air dengan tekanan yang lemah dan sebagai pelindung kabel listrik.
- b) Tipe D : Ini adalah jenis pipa dengan ketebalan yang sedang. Biasanya dipakai di dalam saluran pembuangan air dengan tekanan yang normal. Adapun ukuran diameter yang dijual di pasaran mulai dari 1 1/4 inci hingga 10 inci

- c) Tipe AW : Ini adalah pipa PVC yang paling tebal. Ukuran diameternya mulai dari 1/2 inci sampai yang 1 inci. Adapun kegunaan dari pipa AW diperlukan saat membangun saluran air bertekanan tinggi, seperti saluran pompa air tanah.

Pipa PVC yaitu jenis pipa plastik, umumnya digunakan sebagai bahan penyalur air dingin dan air limbah ringan dan berat, terutama cairan kimia sebab bahan pipa ini sangat baik untuk bahan cairan yang sifatnya menimbulkan reaksi tertentu dengan ada tidaknya perubahan suhu.

PVC memiliki banyak keuntungan, yakni:

- a) Penginstalannya mudah.
  - b) Tahan terhadap bahan kimia
  - c) Sangat kuat
  - d) Memiliki daya tahan korosi.
  - e) Daya konduksi panas yang rendah
  - f) Biaya instalasinya rendah
  - g) Hampir bebas pemeliharaan (virtually free maintenance)
- 2) Pipa HDPE (High Density Poly Ethylene)



Gambar 10. Pipa HDPE (Raswari, 2010)

Pipa HDPE (High-Density Poly Ethylene) adalah pipa plastik bertekanan yang banyak digunakan untuk pipa air dan pipa gas, terbuat dari bahan poly-ethylene yang mempunyai kepadatan tinggi sehingga jenis pipa HDPE ini dapat menahan daya tekan yang lebih tinggi. Adapun karakteristik pipa HDPE ini adalah kuat, lentur atau fleksibel dan tahan terhadap bahan kimia.

Pipa ini memiliki satuan ukuran tersendiri yaitu SDR (Standard Dimension Ratio). Satuan tersebut berguna sebagai standar pengukuran tebal dan diameter (OD) pipa. Rumusnya yaitu diameter pipa (OD) dibagi dengan tebal pipa, yang nantinya akan menghasilkan SDR. Contohnya jika OD 300 mm, dan tebal pipa 15mm maka SDRnya yaitu 20.

Pipa HDPE dapat digunakan pada penyambungan zat cair (khususnya air bersih) atau bahan lain yang sesuai.



Gambar 11. Instalasi Pipa HDPE (Raswari, 2010)

Pipa HDPE dipakai untuk Pipa air, Pipa gas, Pipa zat kimia, Pipa air kotor, Pipa biogas. Keuntungan Pipa HDPE :

- a) Memiliki kemampuan dalam menahan benturan (*Impact Strength*).

- b) Memiliki ketahanan akan temperatur rendah bahkan temperatur air beku.
- c) Ringan (mengapung di air) dengan densitas =  $0.94 \text{ gr/cm}^3$ , sehingga mudah dalam penanganan dan transportasi.
- d) Metode penyambungan yang cepat dan mudah.
- e) Tahan terhadap korosi dan abrasi.
- f) Permukaan halus, akan meminimalisasi hilangnya tekanan.
- g) Sangat disarankan untuk distribusi air minum (bersahabat dengan lingkungan).
- h) Jangka waktu pemakaian 50 tahun

Tabel 2. Perbedaan Pipa PVC dan Pipa HDPE

PVC	HDPE
Pipa PVC digunakan untuk air dingin saja	Pipa HDPE dapat digunakan untuk air panas dan air dingin
Pipa PVC Harganya murah	Pipa HDPE Lebih mahal dari PVC
Pipa PVC banyak menggunakan sambungan	Pipa HDPE sedikit menggunakan sambungan/praktis
Pipa PVC (Polyvinyl Chloride) adalah pipa plastik yang terbuat dari materi vinyl yang menghasilkan pipa yang ringa, kuat tahan lama dan tidak berkarat	Pipa HDPE (high density polyethylene) adalah pipa yang terbuat dengan bahan polyethylene dengan kepadatan tinggi tinggi sehingga jenis pipa yang dihasilkan dapat menahan daya tekan yang lebih tinggi, kuat, lentur dan flexible tahan terhadap bahan kimia.
Pipa PVC kurang lentur/tidak flexible bentuk fisik batangan	Pipa HDPE lentur/flexible / roll / bisa digulung

Pipa PVC warna putih lebih tahan terhadap sinar ultra violet, tidak kuat menahan lumut, warna abu-abu tahan terhadap lumut tetapi menyerap sinar ultra violet	Pipa HDPE tidak punya potensi untuk mengkontaminasi air dan menjadi media tumbuhnya lumut
Pipa PVC bila kena sinar matahari akan berubah bentuk/benkok Pipa	HDPE tahan terhadap sinar matahari, tidak berubah bentuk.

Sumber : (Raswari, 2010)

## 2. Klasifikasi Pengguna (User)

### 1) *Standar Pipe*

### 2) *Pressure pipe*

- a) *Mechanical service pipe* untuk kepentingan structural dan mekanikal. Berdasarkan ketebalan dinding, dibagi menjadi 3 kelas, yaitu *standard weight*, *extra strong*, *double extra strong*. Ada dalam bentuk *seamless* dan *welded*. Berdiameter sampai 12 in, OD.
- b) *Refrigeration pipe* untuk membawa refrigerant, Berdiameter 3/+ - 2in.
- c) *Dry-kiln pipe* Digunakan di industri kayu.

Digunakan untuk membawa fluida atau gas pada tekanan atau temperature normal, subzero/ atau tinggi. Berukuran LI8 in. nominal size sampai 36 in. actual OD dengan berbagai ketebalan dinding.

### 3) *Line Pipe*

Diproduksi dalam bentuk *welded* dan *seamless*. Berukuran 1/8 in. nominal OD sampai 36 in. actual OD. Digunakan untuk membawa gas, minyak atau air.

#### 4) *Water-well pipe*

Diproduksi dalam bentuk welded atau seamless dengan bahan steel. Digunakan untuk membawa air untuk digunakan diperkotaan maupun industri. Berukuran 1/8 - 96 in. dengan berbagai ketebalan dinding.

#### 5) *Oil country goods*

Casing digunakan sebagai structural retainer untuk dinding sumur minyak atau gas dan juga untuk mengeluarkan fluida yang tidak diinginkan dan untuk melindungi dan mengalirkan minyak atau gas dari sumber di bawah permukaan menuju permukaan tanah. Casing dihasilkan dalam ukuran 4 1/2 - 20 in OD.



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Lokasi Dan Waktu Penelitian

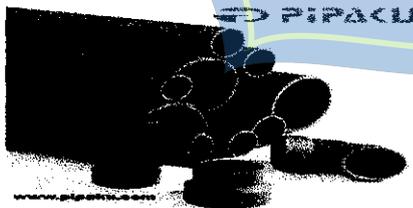
Penelitian ini mengambil lokasi di Laboratorium Hidrolika Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Pelaksanaan penelitian dilakukan selama 3 (Tiga) bulan yaitu dari bulan Agustus 2019 sampai pada bulan Oktober 2019. Dimana pada bulan pertama dan kedua melakukan pengurusan administrasi, pada bulan ke tiga adalah studi literatur dan pengumpulan data, analisa data dan proses penyelesaian penelitian.

#### B. Alat dan Bahan

Secara umum alat dan bahan yang digunakan dalam menunjang penelitian adalah sebagai berikut :

##### 1) Alat

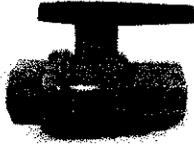
- a) Pipa PVC untuk mengalirkan air penelitian dan sambungan pipa.



- b) Tandon air 800 liter untuk menampung air



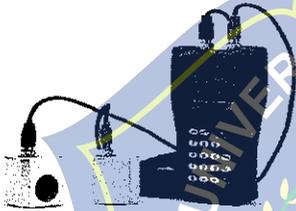
- c) Kran tandon untuk mengalirkan air dari tandon ke pipa



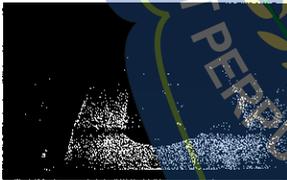
- d) Bak air untuk menampung air dari pipa, kran bak air untuk mengeluarkan air hasil penelitian.



- e) *Flo Meter* untuk mengukur kecepatan aliran



- f) Kunci Pipa Untuk memperkuat sambungan pipa ke tandon, gergaji untuk memotong pipa



- g) Tower untuk dudukan tandon



- h) Kertas A4 dan alat tulis untuk mencatat pengambilan data pada saat uji model.

- i) Kamera digital berfungsi untuk mengambil dokumentasi penelitian.

- j) Komputer dan printer digunakan untuk mengolah data serta mencetak hasil dari pengolahan data penelitian.

## 2. Bahan

- a) Lem Pipa untuk merekatkan sambungan pipa.
- b) Isolasi Pipa untuk menyambung dan merekatkan pipa.

## C. Jenis Penelitian dan Sumber Data

### 1) Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah eksperimental, dimana kondisi tersebut dibuat dan diatur oleh peneliti dengan mengacu pada literatur-literatur yang berkaitan dengan penelitian tersebut, serta adanya kontrol dengan tujuan untuk mengetahui hubungan sebab akibat serta berapa besar hubungan sebab akibat tersebut dengan cara memberikan perlakuan-perlakuan tertentu pada beberapa kelompok eksperimental dan menyediakan kontrol untuk perbandingan. Jenis penelitian ini pun menggunakan beberapa variabel bebas maupun terikat.

### 2) Sumber Data

Pada penelitian ini akan menggunakan 2 (dua) sumber data antara lain sebagai berikut:

- a) Data primer, yaitu data yang diperoleh langsung dari simulasi model fisik di laboratorium.
- b) Data sekunder, yaitu data yang diperoleh dari literatur dan hasil penelitian yang sudah ada baik yang telah dilakukan di laboratorium maupun dilakukan di tempat lain yang berkaitan dengan penelitian

tentang Kehilangan Tinggi Tekan Aliran Pipa pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro skala laboratorium.

#### D. Rancangan Penelitian

##### 1. Pengambilan Data

Hal penting dalam setiap penelitian adalah pengambilan data. Pada dasarnya data yang diambil adalah data yang akan digunakan sebagai parameter dalam analisa. Pencatatan data dilakukan pada setiap kondisi, yaitu data kondisi awal sebelum perlakuan penentuan variasi diameter pipa yang digunakan.

a) Data sebelum perlakuan antara lain :

Konfigurasi awal dari penampang pipa mulai dari panjang pipa ( $L$ ), diameter pipa ( $D$ ), tinggi tower sampai ke kran tandon ( $t$ ).

b) Data saat perlakuan yang perlu dicatat adalah :

1) Kecepatan aliran ( $V$ ) (m/dtk) diukur dengan menggunakan *flow meter*

2) Waktu perlakuan ( $t$ ) (menit) diukur dengan menggunakan *stop watch*

c) Data setelah perlakuan :

Adalah perubahan yang terjadi setelah dilaksanakan perlakuan dengan terlebih dahulu mengosongkan saluran pipa percobaan dari air sehingga data kecepatan ( $V$ ) dapat di catat sesuai waktu ( $t$ ) yang ditetapkan selama percobaan dilaksanakan.

d) Format pengambilan data :

Adalah struktur data-data yang diperlukan untuk diolah menjadi kesimpulan hasil dari penelitian sesuai dengan tujuan penelitian tersebut. Format pengambilan data berbentuk tabel yang telah tersusun sedemikian rupa dan dilengkapi dengan beberapa nama dan simbol data-data yang akan di peroleh dari penelitian tersebut. Format penelitian data bertujuan untuk memudahkan dalam mengambil dan mengolah data-data yang diperlukan sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik dan lancar. Format pengambilan data untuk penelitian pengaruh Kecepatan (V) terhadap variasi diameter pipa dan waktu (t)

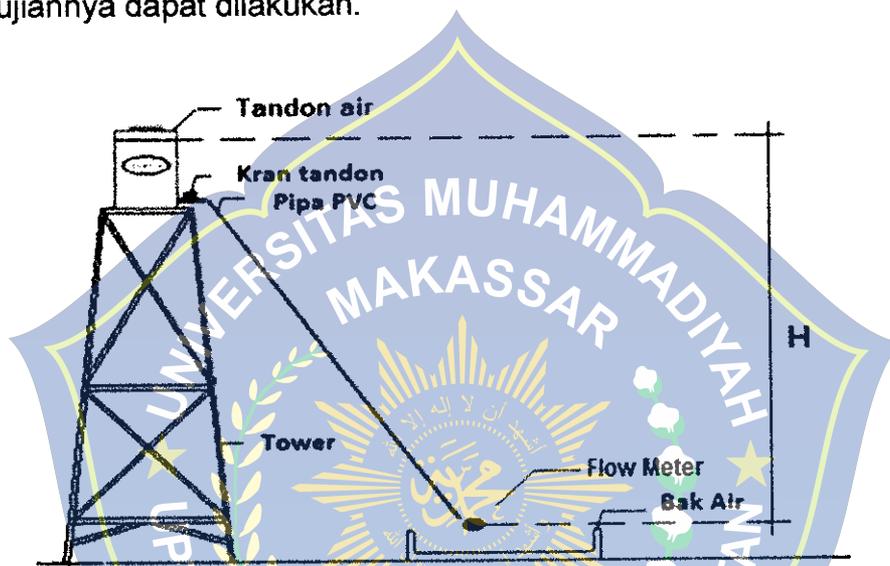
Tabel 3. Data Penelitian

No	Ukuran Pipa (inchi)	V. (kecepatan)	Waktu (t) (detik)
1	$\frac{1}{2}$	v1	t1
		v2	t2
		v3	t3
2	$\frac{3}{4}$	v1	t1
		v2	t2
		v3	t3
3	$1\frac{1}{4}$	v1	t1
		v2	t2
		v3	t3

## 2. Prosedur Penelitian

Langkah-langkah dalam melakukan percobaan pada penelitian ini adalah :

- a) Perancangan model untuk penelitian dilakukan terlebih dahulu untuk mengetahui konsep sistem perpipaan yang lebih jelas sehingga dalam pengujiannya dapat dilakukan.



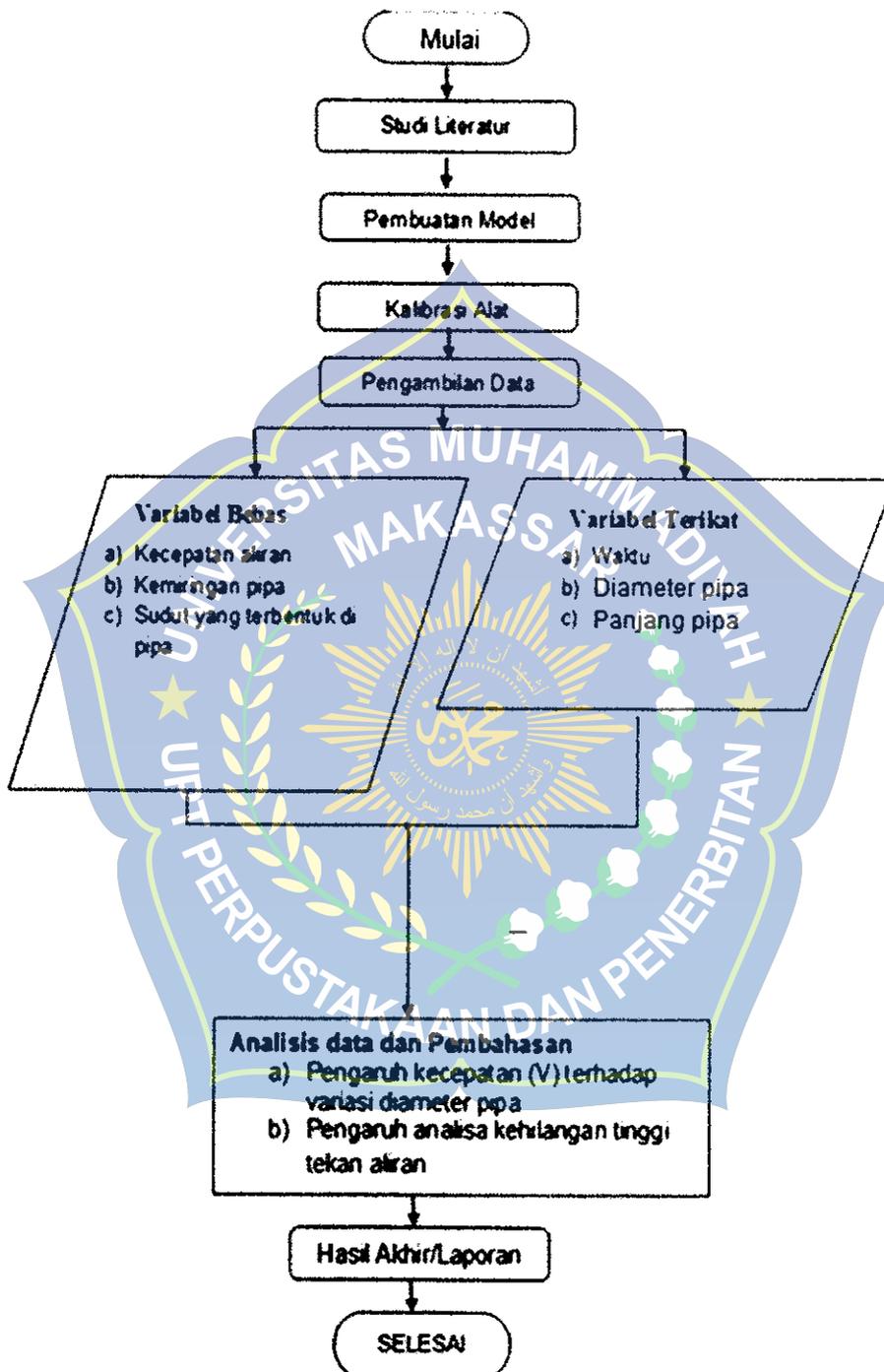
Gambar 12. Rancangan model

- b) Menyiapkan rancangan model saluran tertutup dari pipa yang memiliki diameter bervariasi, tinggi tower 5 meter beserta perlengkapannya seperti tandon air, bak air, kran tandon, sambungan pipa, lem pipa, gergaji, dan sebagainya.
- c) Pipa di sambung ke kran tandon sesuai ukuran dan diameter yang di tentukan di data tabel penelitian.
- d) Pada Bak penyuplay air di ujung pipa di pasang *flow meter* kemudian percobaan siap dilakukan

- e) Mengukur dan menghitung kemiringan pipa dan mencari sudut yang terbentuk.
- f) Membuka kran tandon untuk mengalirkan air untuk menentukan kecepatan aliran.
- g) Prosedur ini dilakukan dengan beberapa kali percobaan dengan waktu (t) dan variasi diameter pipa yang telah ditentukan.
- h) Mencatat hasil penelitian yang telah dilakukan.



## E. Flow Chart Penelitian



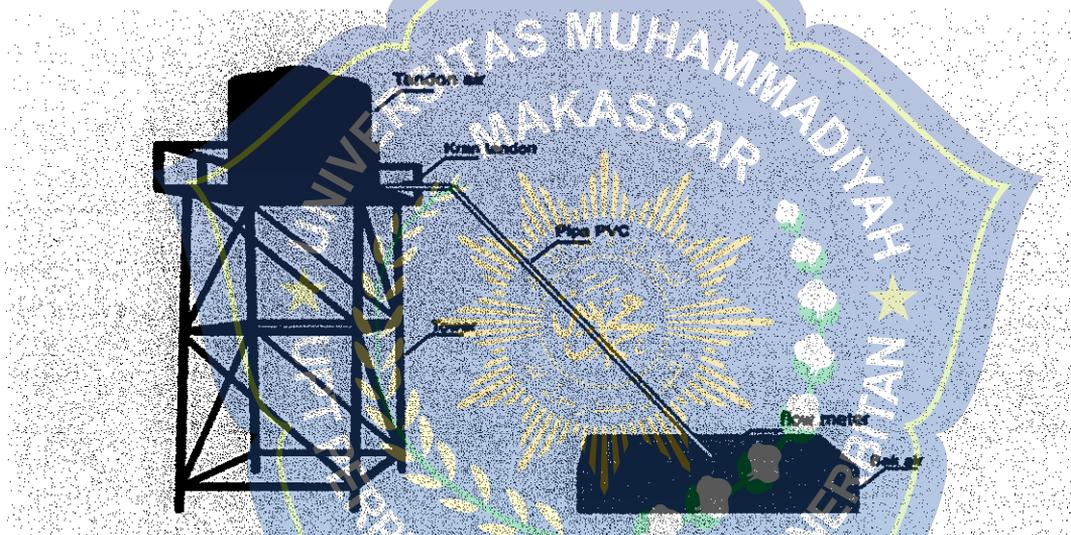
Gambar 13 . Flow chart penelitian

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Skematis Perancangan

Suatu instalasi untuk PLTMH dengan rancangan skala laboratorium yang mendistribusikan air. Dengan asumsi permukaan yang rata dan rencana awal perancangan dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 14. Jaringan Pipa PLTMH yang di rencanakan

#### B. Data Perancangan

Data klasifikasi dari pembangkit listrik tenaga air ditentukan terlebih dulu untuk mengetahui karakteristik tipe pembangkit listrik, mengklasifikasi sistem pembangkit listrik perlu dilakukan terkait dengan distribusi energi listrik. Klasifikasi pembangkit listrik dapat ditentukan dari beberapa faktor yakni :

Tabel 4. Klasifikasi pembangkit listrik

No	Nama	kapasitas	Debit desain (m <sup>3</sup> /s)
1	Mikro	< 100 kW	Q < 0,4
2	Mini	100 kW – 500 kW	0,4 < Q < 12,8
3	Kecil	500 kW – 10 MW	Q > 12,8

Sumber : Penche, 1998

### C. Hasil Penelitian

#### 1. Hasil pengukuran, diameter pipa, waktu dan kecepatan

Pengambilan data dilakukan di Laboratorium Hidrolika Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Data dari eksperimen masih berupa data mentah. Data ini selanjutnya diolah menjadi parameter pengaruh kecepatan dan variasi diameter pipa terhadap kehilangan tinggi tekan ( $H_f$ ). Dalam penelitian kecepatan ( $v$ ) aliran menggunakan 3 variasi diameter pipa dan waktu ( $t$ ) yang berbeda-beda.

Pengukuran dalam penelitian ini menghasilkan angka-angka yang kemudian dimasukkan dalam tabel sebagai berikut.

Tabel 5. Data hasil pengukuran diameter pipa, waktu, dan kecepatan.

Dimensi Pipa		H sebelum durasi (cm)	H sesudah durasi (cm)	Durasi pengamatan	H kehilangan air (cm)	Kecepatan m/dt
inchi	mm					
½	22	525	515,9	30	9,10	2,13
		525	505,8	60	19,17	2,30
		525	500,5	120	24,13	2,37
¾	26	525	510,7	30	14,27	2,53
		525	496,1	60	28,87	2,37
		525	486,8	120	38,20	2,50
1 ¼	42	525	480,6	30	44,40	2,87
		525	471,5	60	54,50	3,13
		525	459,2	120	65,80	3,03

Sumber : Hasil Pengukuran

## D. Pembahasan

### 1. Kecepatan dan Debit

Dari data hasil penelitian maka besarnya debit berdasarkan kecepatan dan luas pipa dengan menggunakan rumus persamaan 1 adalah sebagai berikut :

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$Q = v \times A$$

Dimana :

$$A = \frac{1}{4\pi d^2}$$

$$A = \frac{1}{4 \times 3,14 \times 0,022^2} \text{ (untuk posisi durasi 30 detik pipa } \frac{1}{2} \text{")}$$

$$A = 0,0004 \text{ m}^2$$

Sehingga, debit yang diperoleh untuk posisi durasi 30 detik pipa  $\frac{1}{2}$ " adalah:

$$Q = 2,13 \times 0,0004$$

$$Q = 0,00081 \text{ m}^3/\text{dt}$$

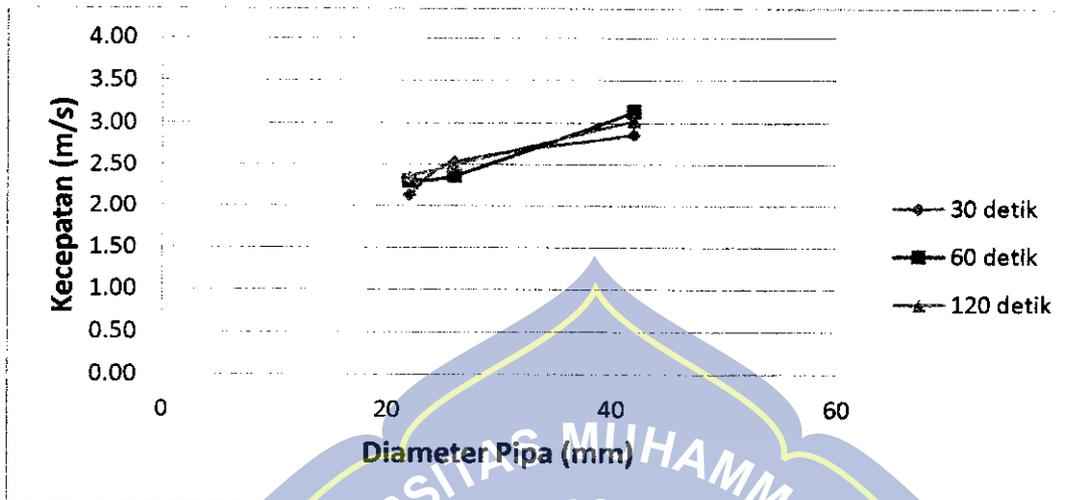
Untuk perhitungan selanjutnya terdapat di tabel 6.

Tabel 6. Data kecepatan, diameter, luas dan debit

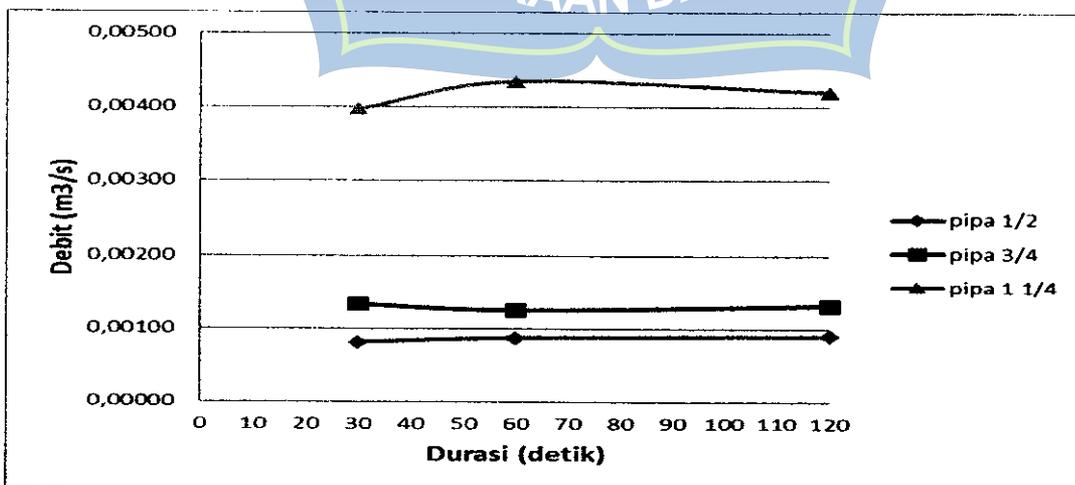
Diameter Pipa		Durasi Pengamatan Dt	Kecepatan m/s	Luas m <sup>2</sup>	Debit m <sup>3</sup> /dt
Inchi	Mm				
½	22	30	2,13	0,0004	0,00081
		60	2,30	0,0004	0,00087
		120	2,37	0,0004	0,00090
¾	26	30	2,53	0,0005	0,00134
		60	2,37	0,0005	0,00126
		120	2,50	0,0005	0,00133
1¼	42	30	2,87	0,0014	0,00397
		60	3,13	0,0014	0,00434
		120	3,03	0,0014	0,00420

Sumber : Hasil pengukuran dan perhitungan

Data tabel 6 hasil pengukuran dan perhitungan yang telah diolah ditampilkan dalam bentuk grafik-grafik hubungan sebagai berikut.



Gambar 15. Grafik hubungan kecepatan dan diameter pipa berdasarkan gambar 15 grafik tersebut jelas memperlihatkan hubungan kecepatan dan diameter pipa, dimana terlihat kondisinya berbanding lurus yaitu semakin besar diameter pipa yang digunakan maka kecepatan yang dihasilkan semakin besar pula. Kondisi tersebut dipengaruhi karena semakin kecil gesekan yang ditimbulkan pada dinding pipa yang memiliki diameter besar sehingga kecepatan yang dihasilkan semakin besar.



Gambar 16. Grafik Hubungan debit dan durasi

Berdasarkan grafik pada gambar 16 menunjukkan durasai (waktu) berbanding terbalik dengan debit yang dihasilkan, dimana semakin panjang waktu maka semakin kecil debit yang dihasilkan. Kondisi ini dipengaruhi karena semakin Panjang waktu yang digunakan maka semakin banyak air yang memuai sepanjang pipa sehingga debit yang dihasilakn semakin berkurang.

## 2. Perhitungan Kehilangan Tinggi Tekan ( $H_f$ )

Dari data hasil penelitian maka besarnya kehilangan tinggi tekan suatu fluida pipa dapat terjadi karena faktor gesekan, diameter, panjang pipa, kecepatan aliran. Kehilangan Tinggi tekan pipa pada suatu fluida menggunakan rumus persamaan 2 :

$$H_f = f \frac{v^2 L}{Dg}$$

Dimana :

$f$ =faktor gesekan yang diperoleh dari diagram *Moody* dengan menggunakan rumus persamaan 3 yaitu rumus *Reynold* yaitu :

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu}$$

Dimana

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$v = 2,13 \text{ m/s (posisi durasi 30 detik pipa } \frac{1}{2} \text{ ")}$$

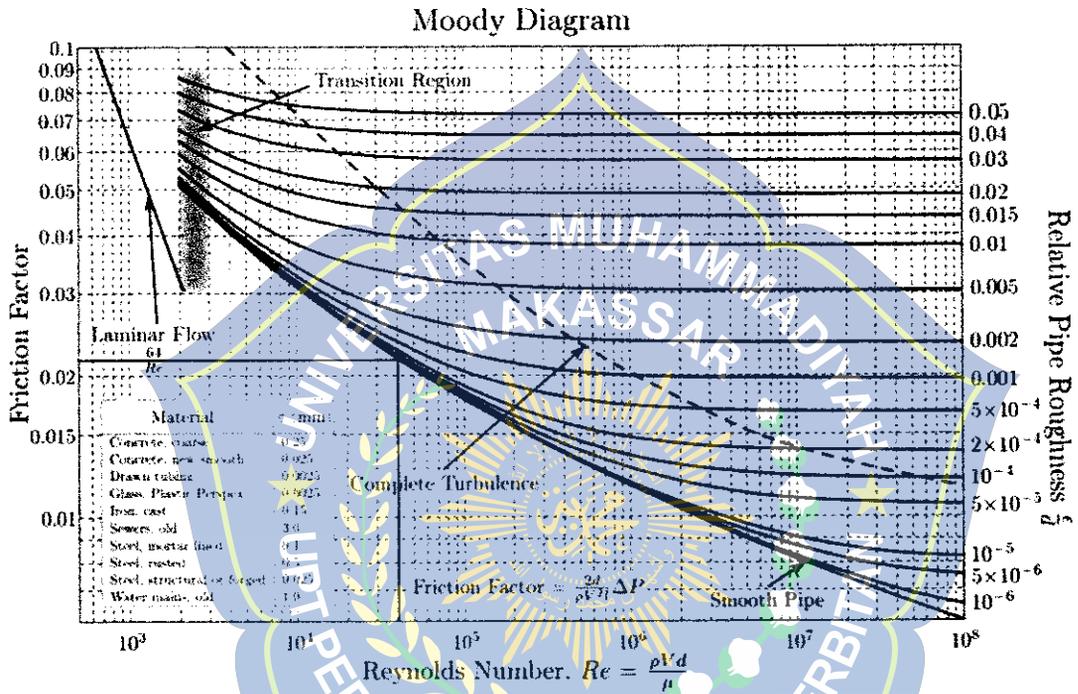
$$D = \frac{1}{2} \text{ " menjadi 22 mm (terlampir) = 0,022 m}$$

$$\mu = 1 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s (terlampir)}$$

Jadi,

$$Re = \frac{1000 \times 1,97 \times 0,022}{0,001}$$

$$Re = 46933,33 \text{ (terbuler)}$$



Gambar 17. Nilai factor gesekan (f)

Dengan melihat diagram *Moody* pada gambar 16 menunjukkan untuk menentukan factor gesekan terlebih dahulu mencari *Reynolds* number. Pada hasil pengukuran percobaan pertama dengan menggunakan diameter (D) pipa  $\frac{1}{2}$ " menghasilkan kecepatan (v) 2,13m/s. Sehingga menghasilkan *Reynolds* number 46933,33 sehingga termasuk aliran *Turbuler* karena nilai  $Re > 2000$ , untuk mendapatkan nilai factor gesekan maka dihubungkan pada grafik *Moody*, kerana menggunakan

Pipa PVC jadi patokan penentuan nilai dari garis smooth pipe dan nilai yang di ambil sebelah kanan karena merupakan aliran turbulen. Sehingga nilai factor gesekan (f) yang diperoleh adalah 0,022. Sehingga,

$f = 0,022$  (berdasarkan grafik *Moody* gambar 16)

$$L = 6 \text{ m}$$

$$G = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$H_f = f \frac{v^2 L}{Dg}$$

$$H_f = 0,022 \frac{2,13^2 \times 6}{0,022 \times 9,81}$$

$$H_f = 2,783 \text{ m}$$

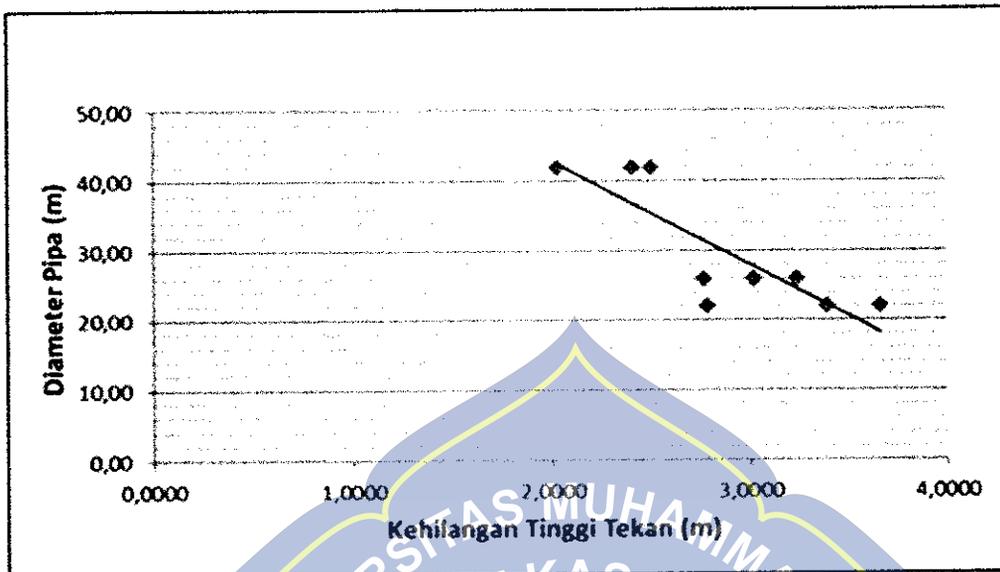
Untuk perhitungan selanjutnya terdapat di tabel 7.



Tabel 7. Kehilangan tinggi tekan fluida pada pipa

Diameter Pipa	H	Durasi	Kecepatan	Luas	Debit	Hf	Faktor	Bilangan
	cm	dt	m/s	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	m	(f)	Reynold
1/2	515,9	30	2,13	0,0004	0,00081	2,78	0,0220	46933,33
	505,8	60	2,30	0,0004	0,00087	3,38	0,0230	46933,33
	500,5	120	2,37	0,0004	0,00090	3,66	0,0235	50600,00
3/4	510,7	30	2,53	0,0005	0,00134	3,02	0,0200	65866,67
	496,1	60	2,37	0,0005	0,00126	2,77	0,0210	61533,33
	486,8	120	2,50	0,0005	0,00133	3,23	0,0220	65000,00
1 1/4	480,6	30	2,87	0,0014	0,00397	2,03	0,0170	120400,00
	471,5	60	3,13	0,0014	0,00434	2,50	0,0175	131600,00
	459,2	120	3,03	0,0014	0,00420	2,41	0,0180	127400,00

Sumber : Hasil penelitian dan perhitungan



Gambar 18. Grafik Hubungan Kehilangan Tinggi Tekan dan Diameter Pipa

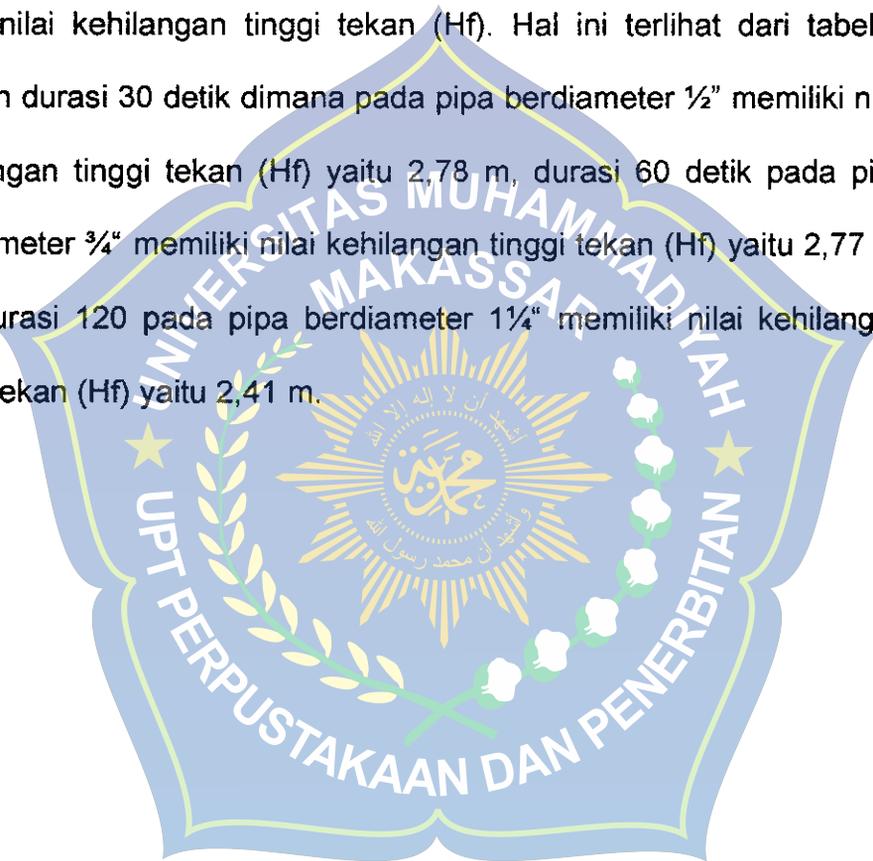
Berdasarkan grafik pada gambar 18 menunjukkan hubungan antara diameter pipa dan kehilangan tinggi tekan berbanding terbalik, dimana semakin kecil diameter pipa, semakin tinggi nilai kehilangan tinggi tekan ( $H_f$ ). Hal ini dikarenakan pada pipa yang memiliki diameter besar memiliki factor gesekan fluida yang kecil sehingga kehilangan tinggi tekan pipa mengecil.

Setelah mengamati dan menganalisa data yang ada, dapat dilihat beberapa poin berikut :

1. Semakin besar variasi diameter pipa, maka nilai kecepatan dan debit semakin besar, hal ini terlihat pada tabel 6 dengan durasi 30 detik dimana pada pipa berdiameter  $\frac{1}{2}$ " memiliki nilai debit ( $Q$ ) yaitu  $0,00081 \text{ m}^3/\text{s}$  dan kecepatan ( $v$ ) yaitu  $2,13 \text{ m/s}$ , durasi 60 detik pada pipa

berdiameter  $\frac{3}{4}$ " memiliki nilai debit (Q) yaitu  $0,00126 \text{ m}^3/\text{s}$  dan kecepatan (v) yaitu  $2,37 \text{ m/s}$ , dan durasi 120 detik pada pipa berdiameter  $1\frac{1}{4}$ " memiliki nilai debit (Q) yaitu  $0,00420 \text{ m}^3/\text{s}$  dan kecepatan (v) yaitu  $3,03 \text{ m/s}$ .

2. Terdapat kecenderungan bahwa semakin kecil diameter pipa, semakin tinggi nilai kehilangan tinggi tekan ( $H_f$ ). Hal ini terlihat dari tabel 7 dengan durasi 30 detik dimana pada pipa berdiameter  $\frac{1}{2}$ " memiliki nilai kehilangan tinggi tekan ( $H_f$ ) yaitu  $2,78 \text{ m}$ , durasi 60 detik pada pipa berdiameter  $\frac{3}{4}$ " memiliki nilai kehilangan tinggi tekan ( $H_f$ ) yaitu  $2,77 \text{ m}$ , dan durasi 120 pada pipa berdiameter  $1\frac{1}{4}$ " memiliki nilai kehilangan tinggi tekan ( $H_f$ ) yaitu  $2,41 \text{ m}$ .



## BAB V

### PENUTUP

#### A. Kesimpulan

Setelah mengamati dan menganalisa data yang ada, dapat disimpulkan beberapa poin berikut :

1. Semakin besar variasi diameter pipa, maka nilai kecepatan dan debit semakin besar.
2. Terdapat kecenderungan bahwa semakin kecil diameter pipa, semakin tinggi nilai kehilangan tinggi tekan ( $H_f$ ).

#### Saran

Adapun saran yang dapat penulis berikan adalah sebagai berikut :

1. Perlu dilakukannya penelitian lanjutan untuk perencanaan PLTMH.
2. Dalam suatu perencanaan PLTMH, diperlukan alat-alat yang lebih memadai untuk menunjang penelitian selanjutnya.
3. Perlu adanya perhatian dari pihak-pihak terkait untuk dapat menyediakan penunjang referensi buku Hidrolika dan PLTMH di perpustakaan Fakultas maupun Universitas.

## DAFTAR PUSTAKA

- Dwiyono teguh, 2006. Pengaruh variasi besar, Tinggi Gaya Tekan, dan Kemiringan Pipa Output Terhadap Head Pada Alat Peraga Hukum Pascal Untuk Meningkatkan Elevasi Muka Air. Skripsi Fakultas Teknik Universitas Semarang.
- Gaus Abdul, Ichsan. 2017. "dasar – dasar hidrolika". Jakarta : Pendidikan Deepublish
- Ghurri Ainul, Gunawan Tista, Syamsuddin. 2016 "Pengujian Orifice Flow Meter dengan Kapasitas Aliran Rendah". Bali: Jurnal Teknik Mesin Vol. 7, No. 2
- Muhajir .K, 2009, karakterisasi Aliran Fluida Gas – Cair melalui Pipa Sudden contraction Jurnal Teknologi, Volume 2 Nomor 2, p : 176 - 184
- Nurcholis . 2008, Hasil Penelitian Perhitungan Laju Aliran Fluida pada Jaringan Pipa Vol. 7 juni 2008 ISSN : Jurnal Unimus, p: 1693 – 3451
- Nurkhaeni fatma. 2016. Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), di Sungai Cikaniki, Desa Malasari, Kecamatan Nanggung, Kabupaten Bogor. Skripsi. Departemen teknik sipil dan lingkungan, IPB. Bogor.
- Sukamta, Sri dan Adhi kusmanto. 2013. Perencanaan pembangkit listrik tenaga mikrohidro pltmh jantur tabalas Kalimantan timur. Skripsi: universitas negeri semarang
- Nurnawaty. 2017. Model Pengurangan Laju Intrusi Air Asin pada Model Akuifer pada Pantai dengan Menggunakan Sistem Grouting. Publikasi ilmiah hasil penelitian 1, Program Doktor Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Makassar ISSN 2087-7966
- Nurnawaty. 2017. Pengaruh Tinggi Tekanan Air Terhadap Laju Intrusi Air Asin. Publikasi ilmiah hasil penelitian 2, Program Doktor Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Makassar ISSN 2087-7966
- Triatmodjo,B. 1993, Hidrolika jilid 2, Beta Offset.
- Raswari, 2010. "Teknologi perencanaan sistem perpipaan". Jakarta : UI Prees
- \_\_\_\_\_. 2017."buku ajar hidrolika". IPB. Bogor.

Pantar,s, 1997. "Kecepatan aliran didalam tabung aliran yang adalah sejajar dengan tabung dan mempunyai besar berbanding terbalik dengan luas penampangnya".

Martomo, s, 1999. "Konsep aliran fluida yang berkaitan dengan aliran fluida".

Penche, C. 1998. "Layman' s guidebook, on how to develop a smaal hydro site euopan small hydropower association".

ESDM, 2002. " klasifikasi kapasitas ukuran pembangkit listrik berdasarkan standard UNIDO dan Permen ESDM tahun 2002".



## LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel ukuran Pipa

TEBAL	SEDANG	TIPIS	Ukuran
		C 5/8"	17 mm
AW 1/2"		C 1/2"	22 mm
AW 3/4"		C 3/4"	26 mm
AW 1"		C 1"	32 mm
AW 1 1/4"	D 1 1/4"	C 1 1/4"	42 mm
AW 1 1/2"	D 1 1/2"	C 1 1/2"	48 mm
AW 2"	D 2"	C 2"	60 mm
AW 2 1/2"	D 2 1/2"	C 2 1/2"	76 mm
AW 3"	D 3"	C 3"	89 mm
AW 4"	D 4"	C 4"	114 mm
AW 5"	D 5"	C 5"	140 mm
AW 6"	D 6"		165 mm
AW 8"	D 8"		216 mm
AW 10"	D 10"		267 mm

Lampiran 2. Tabel Viskositas Dinamis

Zat	Viskositas
	absolute
Udara	$1,983 \times 10^{-5}$
Air	$1 \times 10^{-3}$
Minyak zaitun	$1 \times 10^{-1}$
Gliserin	$1 \times 10$
Madu cair	$1 \times 10^1$
Emas cair	$1 \times 10^2$
Kaca	$1 \times 10^4$

Pipa 1/2"

No	Waktu (dt)	Penelitian	V (m/dt)	Vrata-rata (m/dt)	Tinggi kehilangan air (H) (cm)	Hrata-rata (cm)	H (cm)	Hrata-rata (cm)
1	30	t1	2,1	2,13	8,30	9,10	516,7	515,9
		t2	1,9		9,20		515,8	
		t3	2,4		9,80		515,2	
2	60	t1	2,1	2,30	18,50	19,17	506,5	505,8
		t2	2,5		19,70		505,3	
		t3	2,3		19,30		505,7	
3	120	t1	2,3	2,37	24,30	24,13	500,7	500,5
		t2	2,4		24,30		500,7	
		t3	2,4		23,80		500,2	

Pipa 3/4"

No	Waktu (dt)	Penelitian	V (m/dt)	Vrata-rata (m/dt)	Tinggi kehilangan air (H) (cm)	Hrata-rata (cm)	H (cm)	Hrata-rata (cm)
1	30	t1	2,4	2,53	14,10	14,27	510,9	510,7
		t2	2,6		14,20		510,8	
		t3	2,6		14,50		510,5	
2	60	t1	2,5	2,37	29,00	28,87	496	496,1
		t2	2,3		28,60		496,4	
		t3	2,3		29,00		496	
3	120	t1	2,3	2,50	38,10	38,20	486,9	486,8
		t2	2,5		38,10		486,9	
		t3	2,7		38,40		486,6	

pipa 1 1/4"

No	Waktu (dt)	Penelitian	V (m/dt)	Vrata-rata (m/dt)	Tinggi kehilangan air (H) (cm)	Hrata-rata (cm)	H (cm)	Hrata-rata (cm)
1	30	11	2,8	2,87	44,00	44,40	481	480,6
		12	2,9		44,20		480,8	
		13	2,9		45,00		480	
2	60	11	2,9	3,13	55,30	54,50	469,7	471,5
		12	3,1		52,80		472,2	
		13	3,4		55,40		472,6	
3	120	11	3,1	3,03	67,00	65,80	458	459,2
		12	2,8		65,00		460	
		13	3,2		65,40		459,6	

Data Hasil pengukuran dan perhitungan keseluruhan

Ukuran Pipa	Waktu Penelitian	H <sub>kehilangan air</sub>		Kecepatan	Luas	Debit	Hf	Faktor Gesekan (f)	Bilangan Reynold
		(H)(cm)	m/s						
1/2	22	30	9,10	2,13	0,0004	0,00081	2,78	0,0220	46933,33
		60	19,17	2,30	0,0004	0,00087	3,38	0,0230	46933,33
		120	24,13	2,37	0,0004	0,00090	3,66	0,0235	50600,00
3/4	26	30	14,27	2,53	0,0005	0,00134	3,02	0,0200	65866,67
		60	28,87	2,37	0,0005	0,00126	2,77	0,0210	61533,33
		120	38,20	2,50	0,0005	0,00133	3,23	0,0220	65000,00
1 1/4	42	30	44,40	2,87	0,0014	0,00397	2,03	0,0170	120400,00
		60	54,50	3,13	0,0014	0,00434	2,50	0,0175	131600,00
		120	65,80	3,03	0,0014	0,00420	2,41	0,0180	127400,00

