



**TUGAS AKHIR - ME141501**

**EFEK KETINGGIAN *BACKFLOW* PADA PEMASANGAN  
MIKRO HIDRO KINETIK DI KANAL PLTU PAITON**

M. Arif Hidayah

NRP. 04211440000029

Dosen Pembimbing

Juniarko Prananda, S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2018



**FINAL PROJECT - ME141501**

**EFFECT OF BACKFLOW HEIGHT ON MICRO HYDRO KINETIC  
INSTALLATION IN CANAL OF PLTU PAITON**

M. Arif Hidayah

NRP. 04211440000029

Supervisor :

Juniarko Prananda, S.T., M.T

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2018

**LEMBAR PENGESAHAN**

**EFEK KETINGGIAN *BACKFLOW* PADA PEMASANGAN MIKRO  
HIDRO KINETIK DI KANAL PLTU PAITON  
SKRIPSI**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Marine Elctrical and Automation System (MEAS)

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**M. Arif Hidayah**

**NRP. 0421144000029**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Juniarko Prananda, S.T. M.T.

NIP. 1990 0605 2015 04 1001

()

SURABAYA

06 Juli 2018

**LEMBAR PENGESAHAN**

**EFEK KETINGGIAN *BACKFLOW* PADA PEMASANGAN MIKRO  
HIDRO KINETIK DI KANAL PLTU PAITON  
SKRIPSI**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Marine Elctrical and Automation System (MEAS)  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

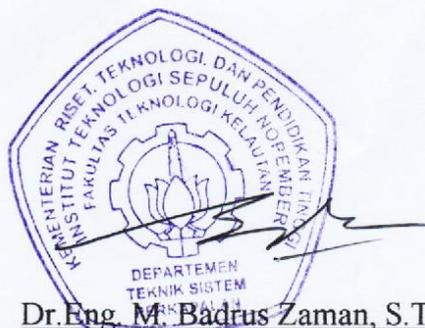
Oleh :

**M. Arif Hidayah**

**NRP. 0421144000029**

Disetujui oleh :

Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.

NIP. 1977 0802 2008 01 1007

# **EFEK KETINGGIAN *BACKFLOW* PADA PEMASANGAN MIKRO HIDRO KINETIK DI KANAL PLTU PAITON**

**Nama** : M. Arif Hidayah  
**NRP** : 0421144000029  
**Departemen** : Teknik Sistem Perkapalan, FTK ITS  
**Pembimbing** : Juniarko Prananda, S.T. M.T.

## **ABSTRAK**

Debit yang dihasilkan pada kanal pembuangan kondenser di PLTU memiliki intensitas yang tinggi namun tidak semua dapat dimanfaatkan dengan baik. Intensitas aliran debit yang tinggi seharusnya dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. Salah satu energi yang sudah dikembangkan namun belum diimplementasikan secara komersial adalah Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). PLTMH merupakan teknologi konversi yang mengubah energi kinetik aliran air menjadi energi listrik. Namun disisi lain ada efek yang dihasilkan saat pemasangan turbin untuk PLTMH, yaitu timbul arus balik yang mengakibatkan perbedaan ketinggian aliran pada kanal, padahal di keluaran kondenser ada persyaratan bahwa penambahan ketinggian aliran tidak boleh bertambah lebih tinggi dari 1 m, untuk itu perlu dilakukan analisa untuk mencari sejauh mana perbedaan ketinggian aliran yang terjadi agar tidak mengganggu kinerja kondenser. Setelah dilakukan simulasi didapat hasil bahwa untuk variasi kecepatan aliran 2 m/s, 2.5 m/s, 3 m/s, 3.5 m/s, dan 4 m/s terjadi perbedaan ketinggian aliran berturut-turut sejauh 12.86 m, 43.78 m, 60.12 m 72.81 m, dan 80.06 m, dari total panjang kanal 951.68 m, maka untuk peletakan turbin dapat memenuhi persyaratan bahwa efek arus balik yang dihasilkan tidak sampai ke keluaran kondenser.

**Kata Kunci** : Arus Balik, Beda Ketinggian, Kondensor, Mikro Hidro

# EFFECT OF *BACKFLOW* HEIGHT ON MICRO HYDRO KINETIC INSTALLATION IN RIVER OF PLTU PAITON

**Name** : M. Arif Hidayah  
**NRP** : 0421144000029  
**Departement** : Teknik Sistem Perkapalan, FTK ITS  
**Advisor** : Juniarko Prananda, S.T. M.T.

## *ABSTRACT*

The discharges generated on the condenser drainage channel in the steam power plant have a high intensity but not all can be utilized properly. High intensity of debit flow should be utilized as an energy source. One of the energy that has been developed but not yet implemented commercially is Micro Hydro Power Plant (MHP). MHP is a conversion technology that converts the kinetic energy of water flow into electrical energy. But on the other hand there is an effect that is generated during turbine installation for MHP, that is reversing flow causing difference of flow height in channel, whereas in condenser output there is a requirement that the increase of flow height should not increase higher than 1 m, therefore it is necessary to analyze look for the extent of the difference in flow height that occurs so as not to disrupt the performance of the condenser. After simulation, it was found that for variations of flow velocity of 2 m/s, 2.5 m/s, 3 m/s, 3.5 m/s, and 4 m/s there were 12.86 m, 43.78 m, 60.12 m 72.81 m, and 80.06 m, of the total channel length of 951.68 m., then for the laying of the turbine could meet the requirement that the resulting *Backflow* effect did not reach the condenser output.

**Keywords:** *Backflow*, Condenser, Differential Altitude, Microhydro

## KATA PENGANTAR

Penulis ucapkan Alhamdulillah robbil'alamin. Segala Puji bagi Allah SWT karena atas berkah, rahmat, dan petunjukNya yang diberikan kepada kami sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan sebaik-baiknya. Shalawat dan salam senantiasa penulis sampaikan kepada Rasulullah Muhammad SAW yang telah menjadi teladan dan menuntun kami dari zaman kebodohan menuju kebenaran. Alhamdulillah atas izin Allah SWT, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir (TA) ini dengan judul : **“EFEK KETINGGIAN BACKFLOW PADA PEMASANGAN MIKRO HIDRO KINETIK DI KANAL PLTU PAITON”** sebagai syarat untuk menyelesaikan pendidikan Sarjana di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS.

Tugas Akhir dapat diselesaikan atas doa, dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih sebanyak-banyaknya kepada:

1. Keluarga tercinta Ayahanda Cipto Busono dan Ibunda Hanik Atuzzuhriyah yang senantiasa mendo'akan anaknya tanpa lelah dan selalu berjuang untuk kesuksesan anaknya, adik M. Faiz Abdillah yang selalu memberi motivasi dan semangat tanpa batas dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Juniarko Prananda, S.T. M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memotivasi, membimbing, dan mengarahkan penulis dengan penuh kesabaran hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini dengan baik. Terimakasih banyak atas ilmu dan bimbingan tanpa lelah yang telah Bapak berikan.
3. Dr. Eng. M Badruz Zaman, S.T., M.T selaku Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah memberi bantuan sehingga penulis dapat menyelesaikan seluruh kegiatan perkuliahan dan pengerjaan skripsi
4. Ir. H. Agoes Santoso, M.SC., M.Phil. D selaku dosen wali yang telah banyak meluangkan waktunya selama ini dan memberikan semangat untuk cepat lulus bagaikan seorang ayah terhadap anaknya.
5. Seluruh teknisi, member dan grader Laboratorium Marine Electrical and Automation System (MEAS) yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis dalam pengerjaan tugas akhir. Terimakasih atas kerjasama dan ilmunya.
6. *Partner*-ku Hilda Avianti yang selalu memberi semangat dan motivasi, dan banyak membantu dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.

7. Teman-teman Mercusuar'14 yang selalu memberi semangat dan motivasi dalam penyelesaian tugas akhir.
8. Jambret Family yang selalu memberikan support dan menemani selama perkuliahan di Surabaya.
9. Bonek Heroes Campus yang telah mendoakan dan memberi semangat agar dapat cepat lulus.
10. Kepada rekan – rekan dan serta semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu-satu yang telah bersedia menemani saya untuk berdiskusi dan bertukar ide, gagasan dan pemikiran selama pengerjaan tugas akhir ini.

Dalam tiap-tiap waktu dan do'a, hanya kepada-Nya semua ini dipersembahkan. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Akhir kata, semoga semua ini mendapat berkah dan rahmat dari Allah SWT. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat kepada para pembaca , bangsa dan negara.

Surabaya, Juli 2018

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar belakang .....	1
1.2 Perumusan masalah .....	2
1.3 Batasan masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat .....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Siklus PLTU .....	5
2.2 Mikro Hidro kinetik.....	6
2.3 Turbin Tipe Darrieus .....	8
2.3.1 Horizontal Axis Turbine (HAT).....	8
2.3.2 Vertical Axis Turbine (VAT).....	8
2.4 Backflow (Arus Balik) .....	12
2.4.1 Pengertian Fluida .....	12
2.4.2 Hukum Bernoulli .....	12
2.4.3 Fenomena Arus Balik.....	14
2.5 Computational Fluid Dynamics (CFD).....	14
<b>BAB IV METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>17</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	17
3.1.1 Perumusan Masalah .....	18
3.1.2 Studi Literatur .....	18
3.1.3 Pengumpulan Data .....	19
3.1.4 Desain Gambar.....	19
3.1.5 Simulasi CFD.....	19

3.1.6 Error.....	19
3.1.7 Hasil Simulasi .....	19
<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>21</b>
4.1 Data Perencanaan .....	21
4.2 Desain Gambar .....	22
4.2.1. Desain Turbin .....	22
4.2.2. Desain Kanal.....	24
4.3 Simulasi.....	26
4.4 Hasil Simulasi .....	31
<b>BAB V KESIMPULAN.....</b>	<b>41</b>
5.1 Kesimpulan .....	41
5.2 Saran .....	41
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>43</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Lokasi Pemasangan Mikro Hidro Pada Kamal PLTU Paiton.....	1
Gambar 2. 1. Siklus Air dan Uap PLTU.....	5
Gambar 2. 2. Kondenser.....	6
Gambar 2. 3. Skema PLTMH.....	7
Gambar 2. 4. Horizontal Axis Turbine (HAT) .....	8
Gambar 2. 5. Vertical Axis Turbine .....	9
Gambar 2. 6. Gaya Lift dan Gaya Drag Pada Turbin Darrieus .....	10
Gambar 2. 7. Ilustrasi Turbin Tampak 3D.....	11
Gambar 2. 8. Ilustrasi Turbin Tampak Atas .....	11
Gambar 2. 9. Ilustrasi Turbin Tampak Depan .....	11
Gambar 2. 10. Hukum Bernoulli .....	13
Gambar 2. 11. Hasil CFD.....	15
Gambar 4. 1. Turbin Yang Akan Dibangun.....	22
Gambar 4. 2. Turbin yang Disimulasikan Tampak Depan.....	24
Gambar 4. 3. Turbin yang Disimulasikan 3D .....	24
Gambar 4. 4. Kanal PLTU Paiton .....	25
Gambar 4. 5. Desain Kanal Tampak Atas .....	25
Gambar 4. 6. Desain Kanal 3D.....	26
Gambar 4. 7. Desain Pemotongan Kanal .....	27
Gambar 4. 8. Desain Kanal Tampak Turbin .....	27
Gambar 4. 9. Wizard – Unit System.....	28
Gambar 4. 10. Wizard - Default Fluid.....	39
Gambar 4. 11. Wizard - Initial and Ambient Conditions .....	30
Gambar 4. 12. Gambar Penentuan Boundary Condition.....	30
Gambar 4. 13. Hasil Simulasi Kecepatan Aliran .....	31
Gambar 4. 14. Hasil Simulasi Tampak Samping .....	31
Gambar 4. 15. Gambar Penambahan Turbin .....	32
Gambar 4. 16. Gambar Penambahan Turbin Tampak Atas .....	33
Gambar 4.17. Hasil Simulasi Variasi Kecepatan 2 m/s Tampak Samping .....	33
Gambar 4.18. Hasil Simulasi Variasi Kecepatan 2 m/s Tampak Outlet.....	34
Gambar 4.19. Hasil Simulasi Variasi Kecepatan 2.5 m/s Tampak Samping.....	34
Gambar 4.20. Hasil Simulasi Variasi Kecepatan 2.5 m/s Tampak Outlet.....	35
Gambar 4.21. Hasil Simulasi Variasi Kecepatan 3.5 m/s Tampak Samping .....	35
Gambar 4.22. Hasil Simulasi Variasi Kecepatan 3.5 m/s Tampak 3D.....	36

Gambar 4.23. Hasil Simulasi Variasi Kecepatan 4 m/s Tampak Samping .....	36
Gambar 4.24 Hasil Simulasi Variasi Kecepatan 4 m/s Tampak Outlet.....	37
Gambar 4.25. Gambar Grafik Ketinggian Backflow .....	38
Gambar 4.26. Gambar Grafik Panjang Backflow .....	38

## DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Tabel Data Hasil Pengukuran .....	21
Tabel 4. 2 Tabel Spesifikasi Turbin.....	23
Tabel 4. 3 Tabel Hasil Simulasi .....	37



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Tingginya debit yang dihasilkan pada kanal-kanal aliran air di PLTU, PDAM, dll banyak yang tidak dimanfaatkan dengan baik, padahal tingginya debit aliran tersebut bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi. Salah satu energi yang telah mulai dikembangkan namun belum secara komersial diimplementasikan termanfaatkan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), yaitu teknologi konversi yang mengubah energi kinetik aliran air menjadi energi listrik. Pemanfaatan teknologi dilakukan terutama untuk ekstraksi energi arus laut dan arus sungai, serta berpotensi untuk dimanfaatkan pada industri/instalasi yang memiliki kanal-kanal aliran air (condensate PLTU, PDAM, dll).

Pada kasus ini nantinya mengambil lokasi di PLTU Paiton yang akan dibuat Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) yang diletakkan pada kanal *output* kondensor. Alasan diletakkan pada kanal tersebut tak lepas dari aliran air pada kanal tersebut memiliki debit yang cukup tinggi dan memungkinkan untuk dibuatnya pembangkit energi terbarukan salah satunya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH).



Gambar 1.1. Lokasi Pemasangan Mikro Hidro Pada Kanal PLTU Paiton

Sumber : Google Earth

Namun ada aspek yang harus dipertimbangkan dari pemasangan turbin untuk pembangkit mikro hidro, yaitu aliran balik yang terjadi setelah pemasangan turbin. Melihat dari tingginya debit yang terjadi pada kanal pembuangan kondenser jika diberi hambatan maka akan ada arus balik yang terjadi. Disisi lain ada batas maksimal yang diperbolehkan untuk ketinggian air dari pembuangan kondenser agar tidak mempengaruhi kinerja dari kondenser itu sendiri. Maka muncul suatu permasalahan bagaimana efek dari arus balik atau *backflow* yang terjadi pada pemasangan turbin agar tidak mengganggu kinerja dari kondenser.

Akan terjadi perbedaan ketinggian aliran dari pemasangan turbin tersebut, apakah perbedaan ketinggian yang terjadi akan sampai pada *output* kondensor dan mempengaruhi kinerja dari kondensor tersebut, jika perbedaan ketinggian tidak sampai pada *output* kondensor maka berapa jarak aman untuk penambahan turbin selanjutnya.

Nantinya dalam menentukan ketinggian *backflow* yang terjadi pada pemasangan mikro hidro kinetic di kanal PLTU Paiton akan menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics (CFD)* yang dapat digunakan untuk memprediksi aliran fluida. Setelah diketahui perbedaan ketinggian aliran yang disebabkan oleh *backflow* maka dapat ditentukan jarak aman untuk penambahan turbin selanjutnya, selain mencari panjang *backflow* juga dibutuhkan ketinggian dari *backflow* agar dapat diketahui apakah efek dari ketinggian *backflow* sampai keluar dari kanal.

## 1.2 Perumusan Masalah

Dalam mengerjakan tugas akhir ini akan memfokuskan terhadap simulasi *backflow* (arus balik) pada pemasangan mikro hidro kinetic di kanal PLTU Paiton. Dalam hal ini maka dirumuskan hipotesa sebagai berikut :

1. Bagaimana ketinggian *backflow* (arus balik) yang terjadi setelah pemasangan mikro hidro dengan menggunakan turbin darrieus modifikasi yang diasumsikan pejal ?
2. Bagaimana efek yang terjadi terhadap adanya *backflow* ?

## 1.3 Batasan Masalah

Dalam mengerjakan tugas akhir ini akan memfokuskan terhadap simulasi *backflow* (arus balik) pada pemasangan mikro hidro kinetic di kanal PLTU Paiton, untuk menghindari permasalahan yang terlalu luas, maka perlu diadakan pembatasan-pembatasan sebagai berikut :

1. Tidak menganalisa temperatur, korosi, kerapatan massa.
2. Aliran setelah atau dibelakang turbin diabaikan.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui seberapa jauh efek perbedaan ketinggian aliran yang terjadi akibat adanya *backflow*.
2. Mengetahui efek yang ditimbulkan oleh *backflow* terhadap *output* kondenser.
3. Mengetahui jarak ideal dari penambahan turbin akibat efek *backflow* yang dihasilkan

## 1.5 Manfaat

Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak. Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat mengetahui efek yang dihasilkan akibat dari pemasangan turbin.
2. Dapat mengetahui apakah syarat dari perubahan ketinggian pada *output* kondenser dapat terpenuhi akibat pemasangan kondenser.
3. Dapat mengetahui jarak minimal antar turbin untuk penambahan turbin agar tidak terpengaruh efek *backflow* dari turbin yang lain.

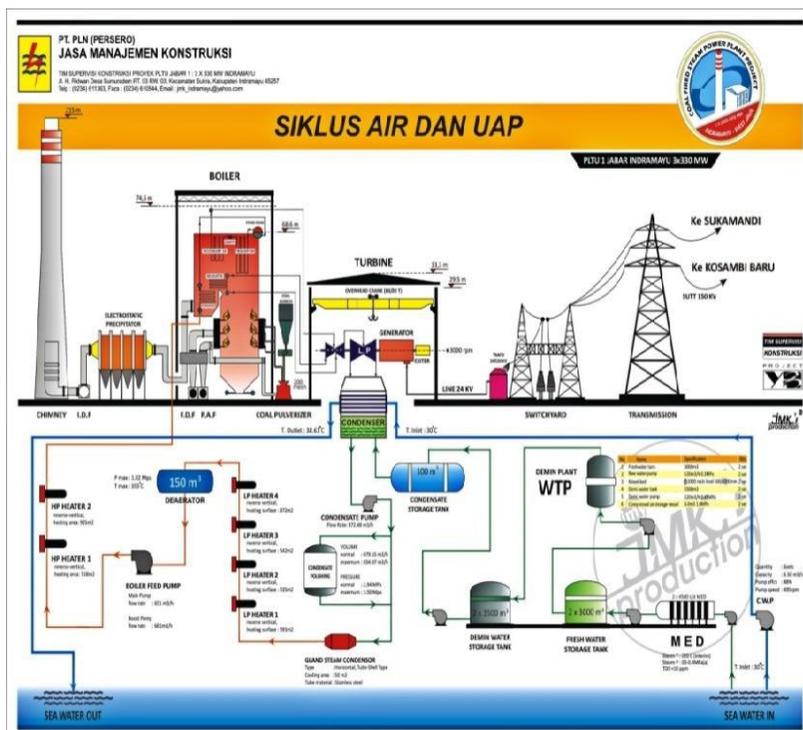
*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Siklus PLTU

Secara garis besar siklus pada PLTU dibagi menjadi beberapa bagian, antara lain

- :
- 1. Siklus Air
- 2. Siklus Uap
- 3. Siklus Bahan Bakar
- 4. Siklus Udara Pembakaran
- 5. Siklus Gas Buang



Gambar 2.1. Siklus Air dan Uap PLTU

Sumber : <http://yeptaenta.com/2013/05/gambar-siklus-air-pltu.html>

Disini akan lebih difokuskan pada siklus air yang nantinya berhubungan dengan peletakan turbin yang berada pada kanal output kondenser. Sistem air kondensat merupakan aliran air hasil kondensasi uap bekas dari LP Turbin sampai ke Deaerator. Sistem air kondensat adalah bagian dari internal water treatment. Adapun proses sistem air kondensat, sebagai berikut.

Uap bekas dari LP Turbin dikondensasi dengan air pendingin (air laut). Dalam kondensat terdapat kurang lebih 1500 tubes yang sangat efisien untuk mengkondensasi uap dari LP Turbin. Hasil kondensasi ini ditampung dalam hotwell

condenser. Air kondensat yang sudah dipanasi akan dilanjutkan ke Low Pressure Heater(LPH). Air kondensat dari LPH akan ditampung dalam Deaerator. Fungsi Deaerator adalah pemanas air kondensat yang selanjutnya akan disebut air pengisi. Panas yang berada di Deaerator berasal dari Extraction Steam LP Turbin.

Setelah melalui beberapa proses maka akan masuk pada kondenser, Condenser adalah suatu alat bantu utama pada PLTU yang berfungsi untuk mengembunkan uap bekas dari Turbin dimana hasil kondensasinya dimanfaatkan kembali sebagai air pengisi ketel.



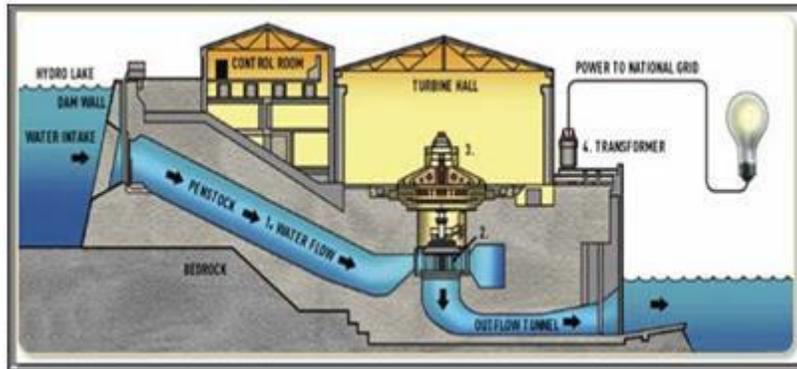
Gambar 2.2. Kondenser

Sumber : Dokumentasi Kerja Praktek PJB 2017

Sebagai media pendingin digunakan air laut yang diambil melalui saluran terbuka dari laut sampai sisi masuk Circulating Water Pump dan setelah melalui kondenser pembuangannya disalurkan melalui saluran terbuka atau kanal yang lebih panjang dengan tujuan agar temperaturnya turun sebelum mencapai laut. Saluran terbuka atau kanal inilah tempat dibangunnya PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro).

## 2.2 Mikro Hidro Kinetik.

Mikrohidro atau yang dimaksud dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (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 ketinggian jatuhnya air (Head) dan jumlah debit air. Mikrohidro merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata mikro yang berarti kecil dan hidro yang berarti air. Pada PLTMH proses perubahan energi kinetik berupa (kecepatan dan tekanan air), yang digunakan untuk menggerakkan turbin air dan generator listrik hingga menghasilkan energi listrik.



Gambar 2.3. Skema PLTMH

Sumber : <http://kajianpustaka.com>

Pada kasus ini nantinya pemasangan mikro hidro diletakkan pada kanal pembuangan kondensator di PLTU Paiton seperti pada Gambar 2.3 Mikrohidro sebenarnya secara teknis memiliki tiga komponen utama antara lain air sumber energi, turbin dan generator. Air atau fluida yang mengalir dengan kapasitas tertentu disalurkan dengan ketinggian tertentu menggunakan pompa pipa pesat menuju rumah instalasi (*powerhouse*). Di rumah instalasi atau *powerhouse* air tersebut akan menumbuk turbin sehingga akan menghasilkan energi mekanik yaitu berupa berputarnya poros turbin. Putaran poros turbin ini akan memutar generator sehingga dihasilkan energi listrik. (Notosudjono, D. 2002)

Perhitungan teknis daya PLTMH adalah sebagai berikut:

$$P = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana: P = Daya (W)

Q = Debit Aliran Air (m<sup>3</sup>/s)

H = Head (m)

$\rho$  = massa jenis air (kg/m<sup>3</sup>)

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

Berdasarkan persamaan daya teknis PLTMH seperti pada rumu 2.1 terlihat debit dan tinggi jatuhnya air berpengaruh besar dalam menentukan nilai daya yang akan dihasilkan oleh sistem PLTMH yang akan dirancang.

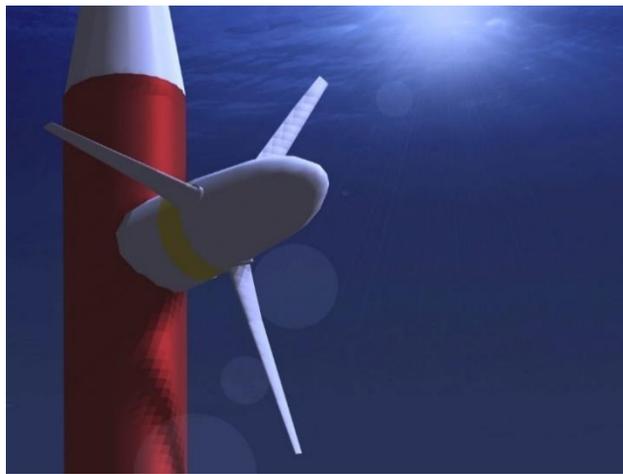
Berdasarkan data dari departemen ESDM tahun 2006, bahwa potensi tenaga air di seluruh Indonesia diperkirakan sebesar 75.67 GW. Namun hingga saat ini baru dimanfaatkan sebesar 4.2 GW atau sekitar 5.55% nya saja. Pembangkit listrik mikrohidro mengacu pada pembangkit listrik dengan skala di bawah 100 kW. PLTMH juga termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut Clean energy karena ramah lingkungan. Berdasarkan segi teknologi, PLTMH dipilih karena memiliki konstruksinya sederhana, mudah dioperasikan, serta mudah dalam perawatan dan penyediaan suku cadang.

## 2.3 Turbin Tipe Darrieus

Telah diketahui bahwa kebutuhan energi selalu meningkat, sehingga perlu adanya cara untuk memenuhi permasalahan tersebut. Salah satu *instrument* yang dapat digunakan untuk mengekstrak energi adalah turbin. Turbin sendiri memiliki 2 jenis utama, antara lain :

### 2.3.1 Horizontal Axis Turbine (HAT)

Pada horizontal aksis turbin dimana bilah turbin dirancang berlawanan arah dengan arah arus laut, karena kecepatan arus dan arah arus maka bilah turbin berputar. Konversi energi terjadi dari kecepatan dan arus air laut menjadi putaran turbin yang digunakan untuk memutar turbin. Hal ini juga dipengaruhi oleh perubahan beban-beban gaya , kedalaman, dan kemungkinan terjadinya kavitasi.

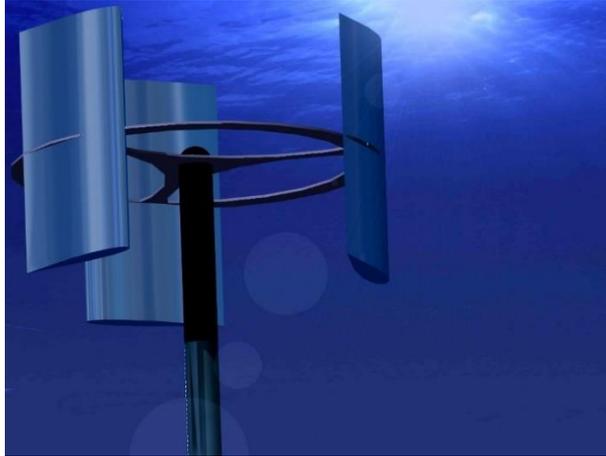


Gambar 2.4. *Horizontal Axis Turbine (HAT)*

Sumber : [http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web\\_sites.htm](http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites.htm)

### 2.3.2 Vertical Axis Turbine (VAT)

Vertikal aksis turbin dirancang tegak lurus dengan arah arus laut. Pada vertikal aksis turbin memiliki efisiensi yang lebih besar, tetapi tidak stabil dan getaran yang dihasilkan lebih tinggi . Keuntungan yang lain adalah ukuran blade pada turbin jenis VAT dapat ditingkatkan tanpa adanya batasan seperti pada turbin jenis HAT. Kerugian dari turbin jenis VAT adalah memiliki sifat self-start yaitu kekuatan suatu turbin untuk memulai berputar.



Gambar 2.5. *Vertical Axis Turbine (VAT)*

Sumber : [http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web\\_sites.htm](http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites.htm)

Masing-masing jenis turbin tersebut memiliki beberapa tipe tersendiri. VAT sendiri dibedakan menjadi dua bagian, yaitu *drag device* dan *lift device*. Salah satu jenis turbin *drag device* adalah turbin tipe Savonious. Turbin tipe Savonious bekerja berdasarkan gaya *drag* yang mengenai turbin. Sedangkan salah satu turbin tipe *lift device* adalah turbin tipe *Darrieus*. Turbin tipe *Darrieus* bekerja berdasarkan gaya *lift* yang mengenai turbin untuk memutarinya. Dibandingkan dengan tipe-tipe VAT yang lainnya, turbin tipe *Darrieus* ini merupakan turbin yang memiliki efisiensi paling tinggi. (Bhutta, et al., 2012)

Pada prinsipnya turbin mampu mengkonversi energi kinetik air menjadi energi listrik. Konversi energi tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$E = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \dots\dots\dots (2.2)$$

Jika aliran udara dianggap sebagai aliran yang *incompressible*, konversi massa atau persamaan kontinuitas dapat dituliskan sebagai berikut.

$$m = \rho \cdot A \cdot v \dots\dots\dots (2.3)$$

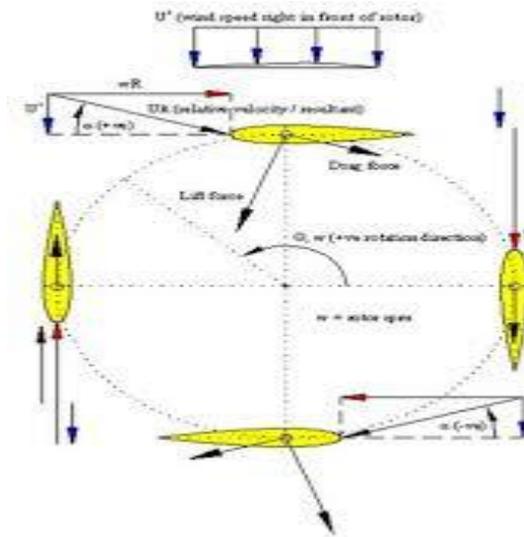
- Dimana:
- m = Aliran massa (kg/s)
  - $\rho$  = Massa jenis fluida (kg/m<sup>3</sup>)
  - A = Luas area kerja turbin (m<sup>2</sup>)
  - v = Kecepatan fluida (m/s)

Energi tersebut bergantung pada massa jenis air, luas penampang dan kecepatan air. Sedangkan daya yang dihasilkan dari aliran air bergantung pada

massa jenis fluida, luas bidang kerja turbin dan kecepatan fluida. Daya yang dihasilkan dapat dituliskan dalam persamaan berikut.

$$P = \frac{1}{2} (\rho \cdot A \cdot v^3) \dots\dots\dots(2.4)$$

Gaya *drag* (seret) merupakan resultan gaya dengan arah yang sejajar dengan kecepatan fluida. Sedangkan gaya *lift* (angkat) merupakan resultan gaya yang tegak lurus dengan arah kecepatan fluida.

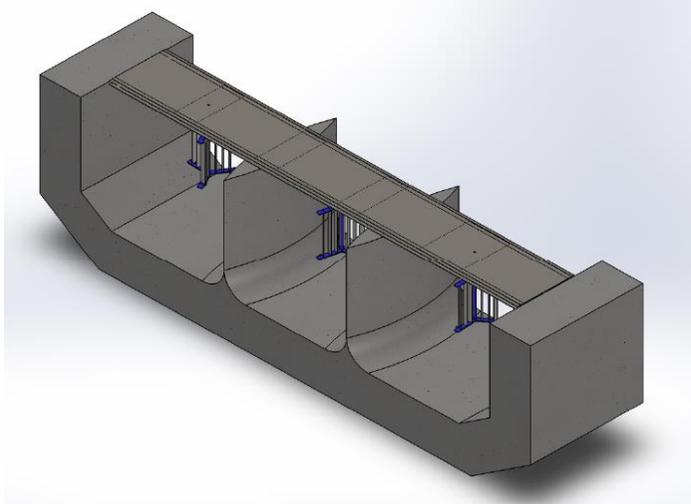


Gambar 2.6. Gaya *lift* dan gaya *drag* pada turbin *Darrieus*.

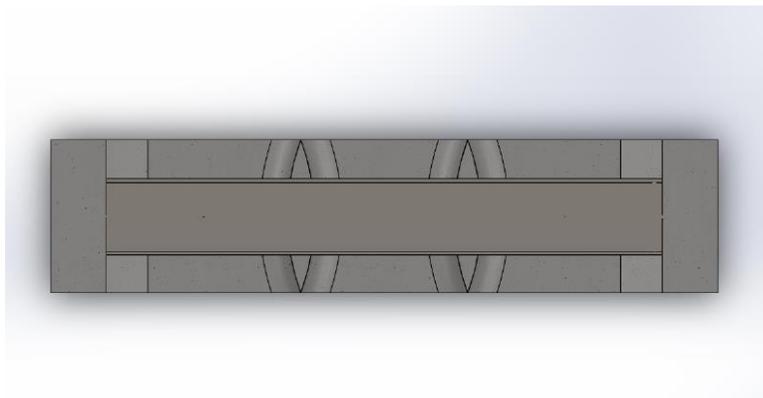
Sumber : Arsad et al. (2009)

Turbin *Darrieus* bekerja berdasarkan gaya angkat (*lift device*). Bentuk *airfoil blade* yang berfungsi memotong aliran fluida dengan sudut serang tertentu menimbulkan perbedaan tekanan. Perbedaan tekanan tersebut mengakibatkan terjadinya gaya angkat sehingga blade dapat bergerak kedepan. (Ragheb, et al., 2011)

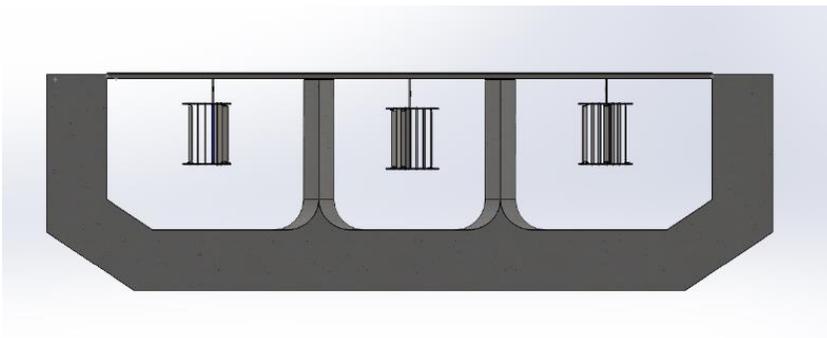
Ilustrasi dari pemasangan turbin pada kanal output dari kondenser tampak seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.7. Ilustrasi Turbin Tampak 3D



Gambar 2.8. Ilustrasi Turbin Tampak Atas



Gambar 2.9. Ilustrasi Turbin Tampak depan

Nantinya jumlah turbin yang digunakan sebanyak 3 buah turbin, masing-masing turbin berukuran 2m x 2m, dengan kedalaman kanal 3m, kecepatan arus sebesar 3 m/s, dan ketinggian permukaan bebasnya adalah 2.5m. Data tersebut didapat dari pengukuran yang telah dilakukan sebelumnya

## **2.4 Back Flow (Arus Balik)**

### 2.4.1 Pengertian Fluida

Fluida adalah suatu zat yang dapat mengalir dan selalu mengikuti bentuk dari saluran pembawanya. Ketika berada dalam persamaan, fluida tidak dapat menahan gaya tangensial atau gaya gesek. Seluruh fluida memiliki sedikit kemampuan untuk dimampatkan dan dapat menghilangkan sedikit tahanan dengan merubah bentuk.

Fluida dapat dibagi menjadi dua yaitu cairan dan gas. Perbedaan antara fluida cairan dan gas adalah :

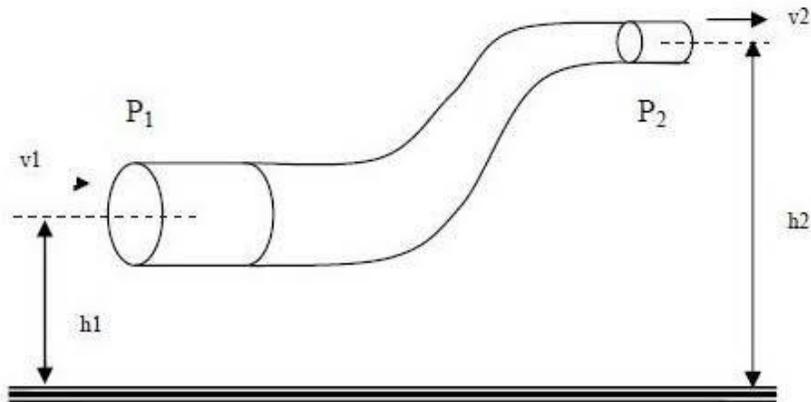
- (a) Cairan secara praktis tidak dapat dimampatkan, sedangkan untuk gas dapat dimampatkan.
- (b) Cairan memakai volume tertentu dan memiliki permukaan bebas, sedangkan suatu massa gas akan mengembang sampai gas tersebut memenuhi seluruh ruangan yang ditempatinya.

Pengembangan prinsip-prinsip mekanika fluida, beberapa sifat fluida berperan dalam prinsip-prinsip aturan, yang lainnya hanya aturan-aturan minor atau tidak mempengaruhi sama sekali. Dalam statika fluida, berat merupakan sifat yang penting, tetapi dalam aliran fluida dimana sifat yang kuat adalah rapat massa (densitas) dan kekentalan (viscositas).

Apabila terjadi kondisi tertekan, maka prinsip termodinamika harus diperhitungkan. Tekanan uap menjadi penting ketika tekanan negative terjadi dan tegangan permukaan mempengaruhi kondisi statis dan aliran dalam saluran kecil.

### 2.4.2 Hukum Bernoulli

Dalam bentuknya yang sudah disederhanakan, secara umum terdapat dua bentuk persamaan Bernoulli. Yang pertama berlaku untuk aliran tak-termampatkan (incompressible flow), dan yang lain adalah untuk fluida termampatkan (compressible flow).



Gambar 2.10. Hukum Bernoulli  
 Sumber : Mekanikalmesin.com

(a). Aliran Tak-termampatkan

Aliran tak-termampatkan adalah aliran fluida yang dicirikan dengan tidak berubahnya besaran kerapatan massa (densitas) dari fluida di sepanjang aliran tersebut. Contoh fluida tak termampatkan adalah: air, berbagai jenis minyak, emulsi, dll. Bentuk Persamaan Bernoulli untuk aliran tak-termampatkan adalah sebagai berikut:

$$p + \rho \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = \text{Konstan} \dots \dots \dots (2.5)$$

- di mana: v = kecepatan fluida
- g = percepatan gravitasi bumi
- h = ketinggian relatif terhadap suatu referensi
- p = tekanan fluida
- ρ = densitas fluida

Persamaan di atas berlaku untuk aliran tak-termampatkan hanya dengan asumsi-asumsi sebagai berikut:

- a. Aliran bersifat tunak (steady state)
- b. Tidak terdapat gesekan (inviscid)

Dalam bentuk lain, Persamaan Bernoulli dapat dituliskan sebagai berikut:

$$p + \rho \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = p + \rho \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \dots \dots \dots (2.6)$$

## (b). Aliran Termampatkan

Aliran termampatkan adalah suatu aliran fluida yang dapat dikategorikan dengan berubahnya besaran kerapatan massa (densitas) dari fluida di sepanjang aliran tersebut. Contoh dari fluida termampatkan adalah: udara, gas alam, dll. Persamaan Bernoulli untuk aliran termampatkan adalah sebagai berikut:

$$\frac{v^2}{2} + \phi + w = \text{Konstan} \dots \dots \dots (2.7)$$

di mana:  $\phi$  = energi potensial gravitasi per satuan massa; jika gravitasi konstan maka  $\phi = g \cdot h$

$w$  = entalpi fluida per satuan massa

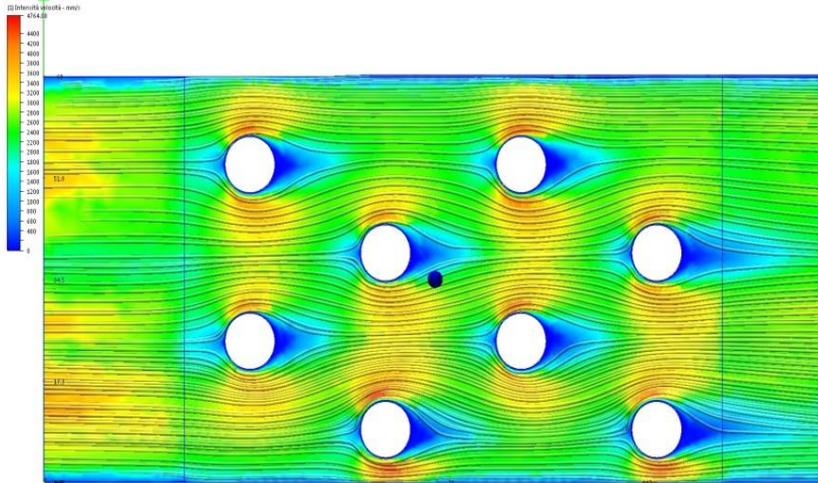
Dalam menganalisis suatu aliran dapat dilakukan dengan menghitung bilangan *Reynolds*. Bilangan *Reynolds* adalah bilangan yang menyatakan perbandingan gaya-gaya kekentalan (viskositas). Aliran laminar mempunyai bilangan *Re* kurang dari 2300, sedangkan untuk aliran transisi berada pada bilangan *Re* 2300 dan 4000, dan aliran turbulen berada pada bilangan *Re* lebih dari 4000.

## 2.4.3 Fenomena Arus Balik

Arus balik dapat mengakibatkan penurunan kecepatan yang cukup besar sehingga menyebabkan energi yang dapat diterima oleh turbin menjadi lebih kecil, hampir sama dengan fenomena wake yang menyebabkan penurunan kecepatan yang mengakibatkan yang akhirnya nanti mengakibatkan energi yang dapat diterima oleh downstream turbin lebih kecil daripada yang diterima oleh upstream turbin. Penurunan kecepatan tersebut diakibatkan oleh energi aliran fluida yang di ekstrak oleh turbin ketika mengenai blade turbin.

**2.5 Computational Fluid Dynamics (CFD)**

CFD adalah perangkat lunak yang dapat digunakan untuk memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan fenomena-fenomena lain dengan cara menyelesaikan persamaan matematika.



Gambar 2.11. Hasil CFD  
Sumber : Asotech.com

Secara umum langkah kerja CFD terdiri dari 3 tahapan sebagai berikut

1. *Preprocessing*

*Preprocessing* merupakan tahap awal dalam melakukan simulasi pada CFD. Pada tahapan ini proses yang dilakukan adalah :

- Mendefinisikan geometri model untuk menjadi komputasi.
- Pembuatan grid
- Mendefinisikan properties fluida

2. *Solving*

Pada tahapan ini dilakukan proses komputasi numerik dengan menggunakan salah satu metode numerik :

- Pendekatan variabel yang diketahui menjadi fungsi yang lebih sederhana
- Diskritasi dengan substitusi pendekatan kedalam persamaan yang mengatur aliran
- Solusi dari persamaan aljabar

3. *Postprocessing*

*Postprocessing* merupakan tahap akhir dalam simulasi CFD. Pada tahapan ini hasil-hasil komputasi numerik divisualisasikan dan didokumentasikan untuk melakukan analisa dan kebutuhan lainnya, dan juga pada tahapan ini mengorganisasi dan mengintegrasikan data hasil simulasi CFD yang berupa gambar, kurva, dan animasi.

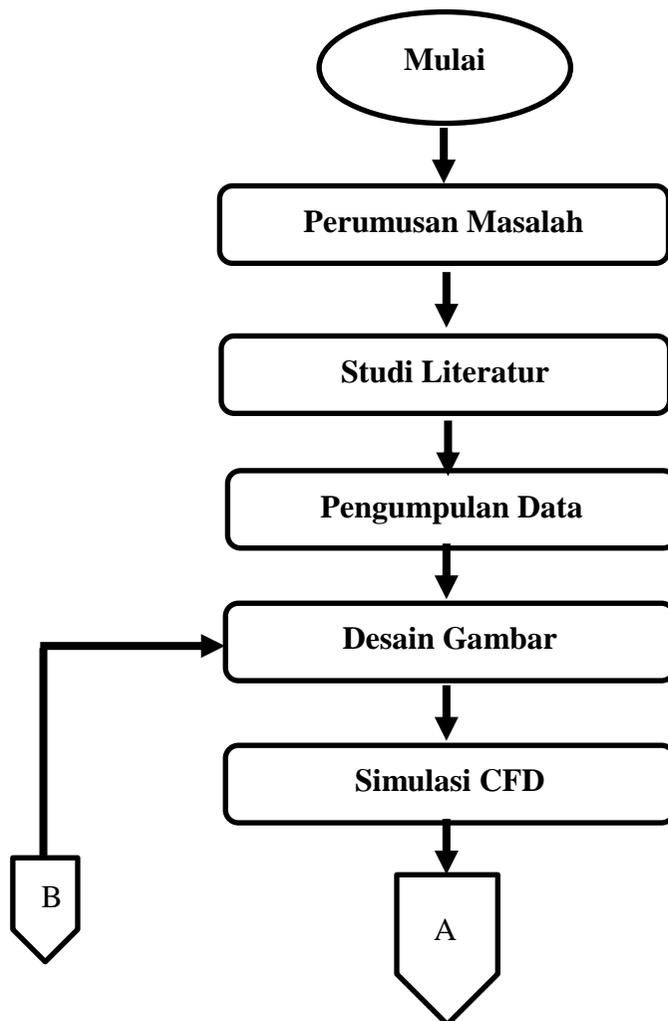
*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*

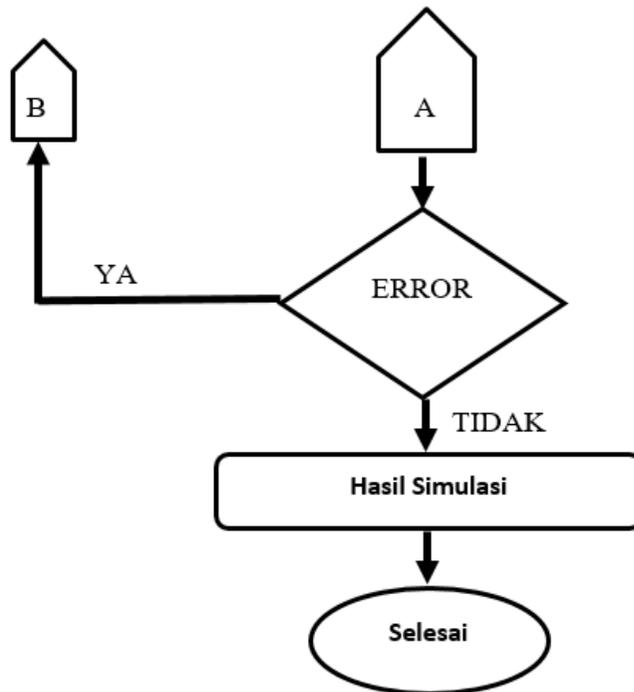
## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini mensimulasikan aliran balik yang nantinya terjadi pada kanal PLTU Paiton setelah dilakukan pemasangan mikro hidro. Jenis turbin yang digunakan adalah turbin *darrieus* modifikasi.

Berikut ini diagram alir penelitian yang secara menyeluruh menggambarkan tahapan-tahapan penelitian yang akan dilakukan :





### 3.1.1 Perumusan Masalah

Perumusan masalah merupakan tahap awal dalam pelaksanaan skripsi. Tahap ini merupakan tahap yang sangat penting, dimana pada tahap inilah mengapa suatu permasalahan yang ada harus dipecahkan sehingga layak untuk dijadikan bahan dalam skripsi. Pencarian masalah dilakukan dengan cara menggali informasi mengenai masalah yang terjadi pada saat ini. Dari tahap ini juga, tujuan mengapa skripsi ini dikerjakan dapat diketahui. Dalam skripsi ini, masalah yang akan dibahas dan dipecahkan adalah mengenai efek yang terjadi dari adanya *back flow* terhadap *output* kondenser. Maka didapat rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana ketinggian back flow ( arus balik) yang terjadi setelah pemasangan mikro hidro dengan menggunakan turbin darrieus modifikasi yang diasumsikan pejal ?
2. Bagaimana efek yang terjadi terhadap adanya back flow ?

### 3.1.2 Studi Literatur

Setelah suatu permasalahan sudah diketahui, maka selanjutnya mencari literatur-literatur mengenai mikro hidro dan arus balik dimana berupa jurnal,paper, hasil penelitian, buku-buku baik versi cetak maupun versi online. Dimana pada tahap ini merumuskan segala sesuatu yang akan dilakukan pada Tugas Akhir ini sesuai dengan referensi-referensi yang dimiliki.

### 3.1.3 Pengumpulan Data

Selanjutnya adalah pengumpulan data yang bertujuan memperoleh data dan informasi yang menunjang pengerjaan skripsi. Dalam hal ini data-data yang dibutuhkan antara lain :

1. Kecepatan arus pada kanal
2. Lebar Kanal
3. Ukuran Turbin
4. Jarak antara turbin sampai *output* kondensor
5. Ketinggian arus

### 3.1.4 Desain Gambar

Dalam tahap desain gambar ini, dilakukan perancangan model turbin yang akan dijadikan sebagai objek dalam analisa pendekatan CFD nantinya. Perancangan yang dilakukan merupakan langkah awal dalam proses CFD yaitu berupa pemodelan 3D dari turbin. Desain gambar dapat dibagi menjadi 2 antara lain :

1. Desain Turbin
2. Desain Kanal

Dalam mendesain gambar nantinya penulis menggunakan bantuan *software Solid Works*.

### 3.1.5 Simulasi CFD

Dalam tahap simulasi ini, dilakukan simulasi model turbin yang akan dijadikan sebagai objek dalam analisa pendekatan CFD nantinya. Simulasi yang dilakukan menggunakan pemodelan 3D yang sudah dibuat pada langkah sebelumnya.

### 3.1.6 Error

Dalam tahap ini dilakukan validasi berupa error, jika pada simulasi terdapat error yang mengharuskan untuk mengulang, maka pengerjaan dilakukan kembali dari desain gambar, jika tidak terdapat error maka pengerjaan bisa dilanjut menuju tahap selanjutnya yaitu hasil simulasi.

### 3.1.7 Hasil Simulasi

Dari hasil simulasi pada tahap sebelumnya, maka akan terlihat perbedaan ketinggian aliran yang terjadi setelah pemasangan mikro hidro pada kanal PLTU Paiton. Nantinya juga dilakukan analisa untuk mengetahui apakah adanya perbedaan ketinggian mempengaruhi kondensor.

*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*

## BAB IV ANALISA PEMBAHASAN

### 4.1 Data Perencanaan

Pada tugas akhir ini membahas tentang efek *Backflow* ( arus balik) dari pemasangan mikrohidro kinetic pada kanal PLTU Paiton, untuk mengetahui ketinggian *Backflow* yang terjadi menggunakan simulasi CFD. Sebelum melakukan simulasi tahap awal yang diperlukan adalah pengumpulan data, data yang dibutuhkan antara lain dimensi turbin seperti panjang, lebar, dan tinggi turbin, lalu dimensi kanal seperti panjang kanal, lebar kanal, ketinggian kanal, bahkan kecepatan arus.

Setelah dilakukan pengukuran dilapangan didapat data sebagai berikut :

Tabel 4.1. Tabel data hasil pengukuran.

Parameter	Ukuran	Satuan
Panjang Turbin	2	Meter
Lebar Turbin	2	Meter
Tinggi Turbin	20	Meter
Lebar Kanal	3	Meter
Tinggi Kanal	10	Meter

Untuk ukuran turbin diasumsikan pejal berbentuk kubus dengan panjang tiap sisi 2 m dikarenakan diambil pada kondisi yang paling ekstrim untuk terjadinya *Backflow*. Karena nanti diharapkan hasil simulasi dengan keadaan nyata dilapangan tidak jauh berbeda apalagi sampai keadaan nyata dilapangan terjadi *Backflow* yang lebih tinggi dengan hasil simulasi, untuk itu pada simulasi ini turbin diasumsikan dalam keadaan pejal karena memang dibuat pada kondisi yang paling ekstrim untuk terjadinya *Backflow*. Munculnya *Backflow* sendiri sebisa mungkin diminimalisir

Kecepatan arus nantinya akan dibuat konstan pada tiap-tiap variasi, dilakukan beberapa variasi kecepatan karena kecepatan di titik-titik tertentu pada kanal berbeda-beda. Dari hasil pengukuran didapatkan kecepatan arus sebesar 3 m/s yang terjadi pada posisi sebelum drop structure / dekat dengan outlet condenser. Sedangkan di dekat tembok pembatas kanal didapatkan nilai 1,7 m/s, lalu kecepatan arus pada bagian akhir kanal / mendekati bibir pantai sekitar 1,9 m/s pada permukaan air. Dalam simulasi nanti akan dibuat beberapa variasi kecepatan agar didapatkan hasil yang bervariasi, variasi kecepatan yang dilakukan adalah sebesar 2 m/s, 2.5 m/s, 3 m/s, 3.5 m/s, dan 4 m/s. Tujuan agar dilakukannya beberapa variasi kecepatan adalah agar *backflow* yang terjadi

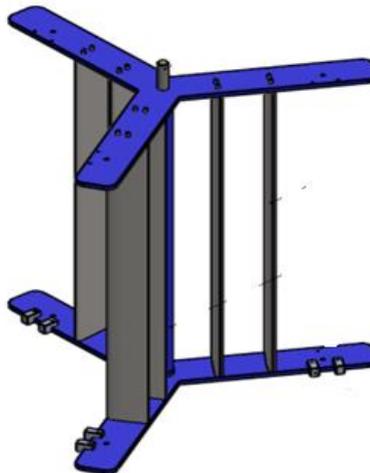
pada titik-titik kanal dapat lebih akurat dikarenakan perbedaan kecepatan pada kanal itu sendiri.

## 4.2 Desain Gambar

Dalam tahap desain gambar ini, penulis membagi menjadi 2 sub bab yaitu desain turbin dan desain desain kanal. Untuk membantu dalam proses mendesain penulis menggunakan *software Solid Works*.

### 4.2.1 Desain Turbin

Pada penelitian ini turbin yang digunakan adalah jenis turbin Vertical Axis Turbine (VAT) dengan jenis Turbin Darrieus. Turbin Darrieus dengan passive pitch lah yang digunakan karena turbin passive pitch memiliki banyak keunggulan, diantaranya ialah memiliki kemampuan self starting yang lebih baik daripada Turbin Darrieus fix pitch, meminimalisir stall, dan meningkatkan gaya lift pada sebagian besar azimuth putar turbin. Prinsip kerja turbin Darrieus adalah akibat kecepatan aliran air maka menyebabkan sudu berputar dengan kecepatan putar tertentu, maka resultan dari kecepatan tersebut akan menghasilkan gaya hydrodinamis dari sudu turbin. Sudu-sudu ini memotong udara dengan sudut serang yang mengakibatkan perbedaan tekanan. Hasil dari perbedaan tekanan inilah yang mengakibatkan gaya angkat, yang mana mendorong sudu bergerak ke depan. Berikut adalah gambar turbin yang akan digunakan.



Gambar 4.1. Turbin Yang Akan Dibangun

Turbin tersebut nantinya yang akan dipasang pada kanal PLTU Paiton, dengan jumlah turbin adalah 3, dan masih-masing turbin memiliki 3 blade. Tiap turbin

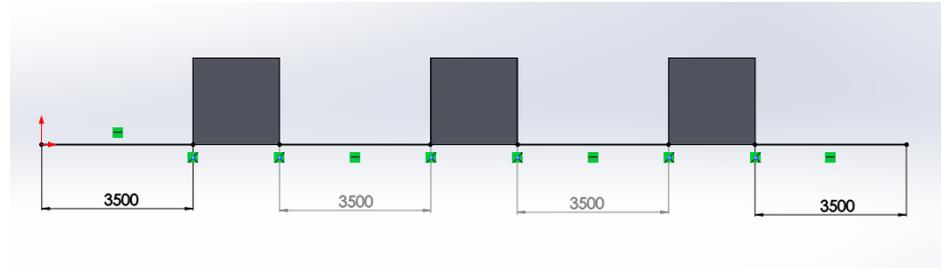
nantinya akan menghasilkan listrik sebesar 6 MW, dengan spesifikasi turbin sebagai berikut :

Tabel 4.2. Tabel Spesifikasi Turbin

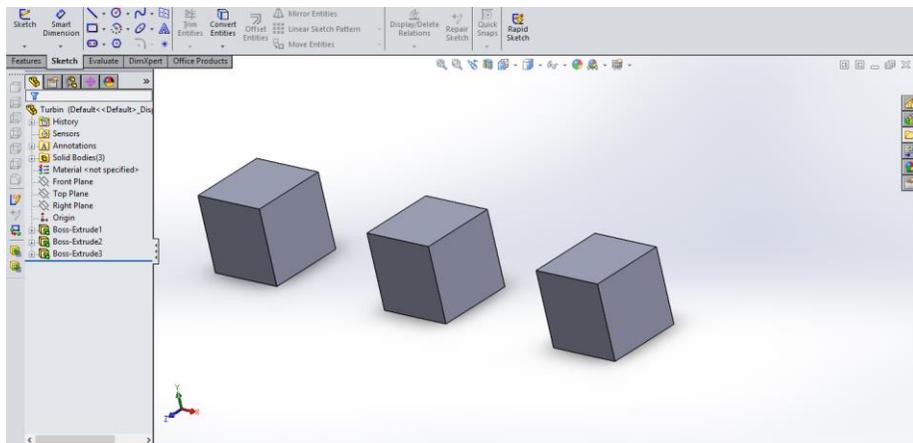
Parameter	Keterangan
Diameter (cm)	80
Tinggi (cm)	80
Jumlah sudu ( <i>foil / blade</i> )	3
Diameter Shaft (cm)	3,2
Profil sudu	NACA 0018
Panjang chord (cm)	10
Sudut pitch (Turbin Darrieus <i>Passive Pitch</i> )	-10° hingga 10°
Kemiringan sudu $\delta$ (Turbin Gorlov)	60°

Pada penelitian ini nantinya turbin yang akan disimulasikan bukan bentuk turbin yang sebenarnya, melainkan turbin dengan bentuk pejal yang bertujuan agar didapat ketinggian *Backflow* yang paling ekstrim dikarenakan ada batas ketinggian maksimal atau yang diperbolehkan pada keluaran atau *outlet* kondenser, dan rencananya jika dari hasil simulasi nantinya efek *Backflow* bisa memenuhi syarat ketinggian maksimum pada *outlet* kondenser atau bahkan efek *Backflow* tidak sampai pada *outlet* kondenser, maka akan diletakkan lagi beberapa turbin yang posisinya sebelum turbin awal, untuk itu pada simulasi ini nantinya bentuk turbin diasumsikan pejal persegi agar didapatkan efek *Backflow* yang paling ekstrim.

Penggambaran turbin pada simulasi ini menggunakan software solid work dengan dimensi 2 m x 2 m x 2 m. Turbin yang akan digunakan nantinya berjumlah 3, dengan jarak turbin yang satu dengan yang lainnya sebesar 3.5 m, nilai 3.5 m diambil agar jarak turbin satu dengan yang lainnya sama, tidak terlalu dekat dan juga tidak terlalu jauh.



Gambar 4.2. Turbin Yang Disimulasikan Tampak Depan



Gambar 4.3. Turbin Yang Disimulasikan

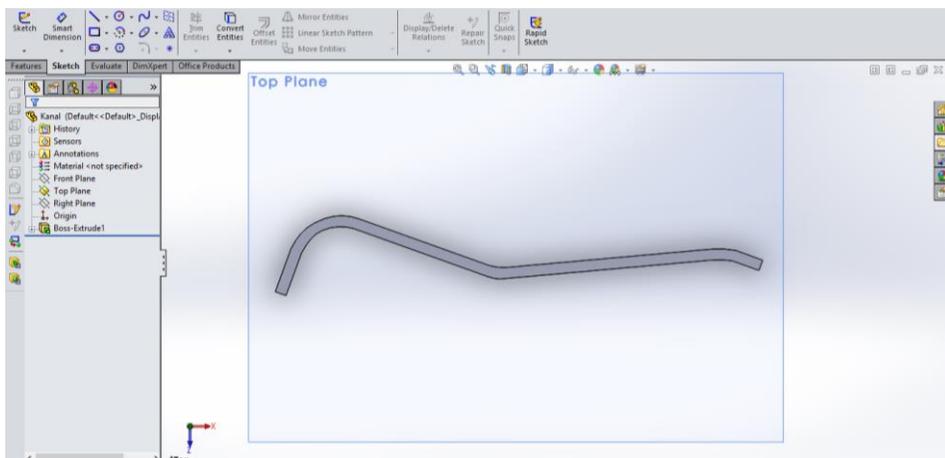
#### 4.2.2 Desain Kanal

Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan data bahwa lebar kanal sebesar 20 m, ketinggian air berkisar antara 2.5 m - 3 m, dan kecepatan arus bernilai 3 m/s, sedangkan kecepatan arus didekat tembok pembatas kanal sebesar 1.7 m/s, lalu didapat kecepatan arus pada bagian akhir kanal atau mendekati bibir pantai sebesar 1.9 m/s.



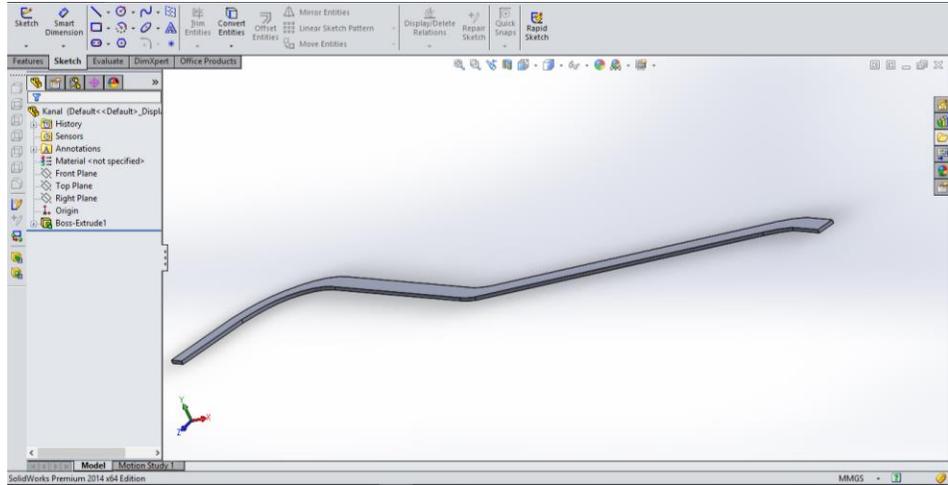
Gambar 4.4. Kanal PLTU Paiton

Sama seperti penggambaran turbin, penggambaran kanal juga menggunakan software solid work karena diharapkan agar lebih mudah dalam pengerjaan tahap selanjutnya. Untuk peletakan turbin diletakkan 0.5 m dari dasar kanal, dengan alasan agar saat ketinggian air dalam kondisi yang paling rendah atau surut, turbin masih tercelup semua bagiannya didalam air, karena jika ada bagian turbin yang tidak tercelup air, maka akan mempengaruhi kinerja dari turbin yang nantinya akan menurunkan efisiensi dari turbin itu sendiri.



Gambar 4.5. Desain Kanal Tampak Atas

Gambar 4.5. diatas adalah hasil penggambaran tampak atas menggunakan software solid works, gambar kanal tersebut disesuaikan dengan bentuk kanal yang sebenarnya yang berada di PLTU Paiton. Awal pengerjaannya adalah dengan membuat gambar 2D, yang nantinya di extrude dan menjadi gambar 3D.



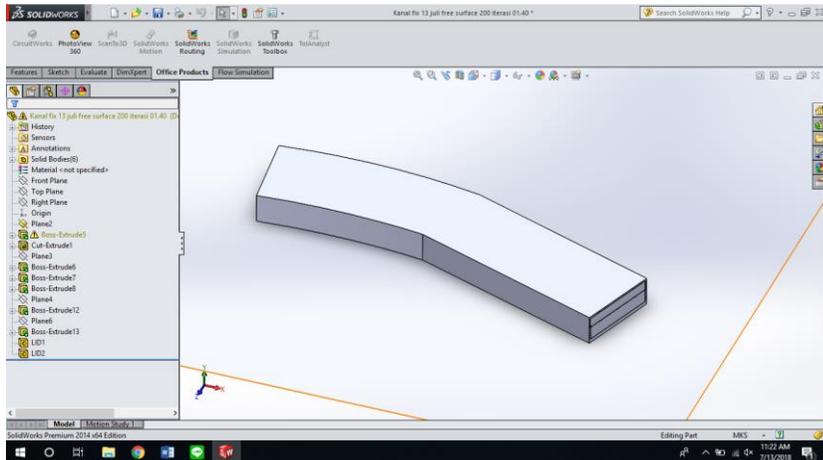
Gambar 4.6. Desain Kanal 3D

Untuk lebar kanal diasumsikan sama sepanjang 20 m dari inlet sampai outlet, karena memang untuk lebar kanal tidak ada perbedaan lebar yang signifikan sepanjang kanal. Inlet disini adalah kanal yang berada di keluaran condenser, sedangkan outlet disini adalah kanal yang berada pada bibir pantai.

### 4.3 Simulasi

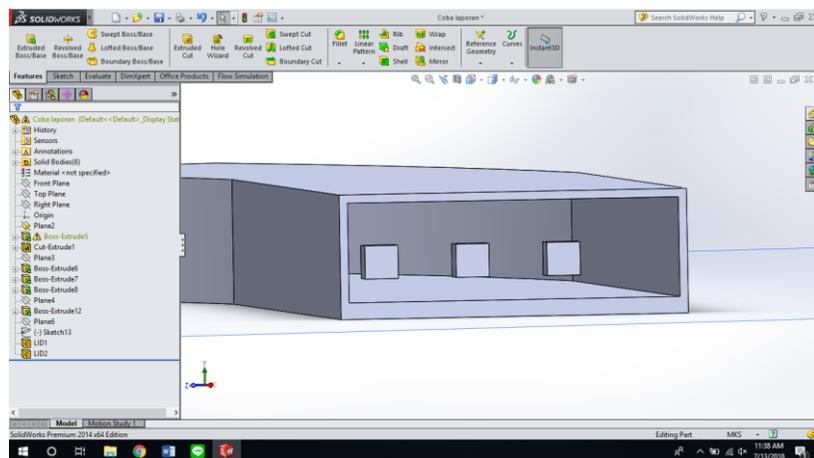
Untuk dapat mengetahui ketinggian arus balik atau *Backflow* yang terjadi menggunakan pendekatan *Computational Fluid Dynamics* (CFD), langkah pertama dalam melakukan simulasi adalah dengan mendefinisikan geometri model untuk menjadi komputansi. Prinsipnya adalah suatu ruang yang berisi fluida yang akan dilakukan perhitungan dibagi menjadi beberapa bagian, bagian-bagian yang terbagi tersebut merupakan sebuah kontrol perhitungan yang nantinya pada setiap titik kontrol perhitungan akan dilakukan perhitungan oleh aplikasi dengan batasan domain dan *boundary condition* yang telah ditentukan.

Agar gambar yang telah dibuat dapat disimulasikan maka gambar harus dibuat tertutup, maka dari itu perlu untuk mengedit gambar kanal yang telah dibuat, untuk gambar turbin tidak perlu ada perubahan karena sudah berbentuk pejal dan bisa didefinisikan. Untuk memudahkan proses simulasi dan mempersingkat waktu *running* maka gambar kanal dipotong agar tidak terlalu panjang seperti gambar berikut.



Gambar 4.7. Desain Pemotongan Kanal

Setelah gambar dipotong maka kanal dibuat berlubang untuk tempat mengalirnya fluida dengan cara menggunakan *tools Extruded Cut* sepanjang 6 m, maka didapat ketebalan dinding bagian sisi masing-masing adalah 0.5 m, bagian atap 0.5 m, dan bagian alas sebesar 1 m. Maka dihasilkan gambar kanal dengan lubang untuk aliran fluida sebagai berikut.

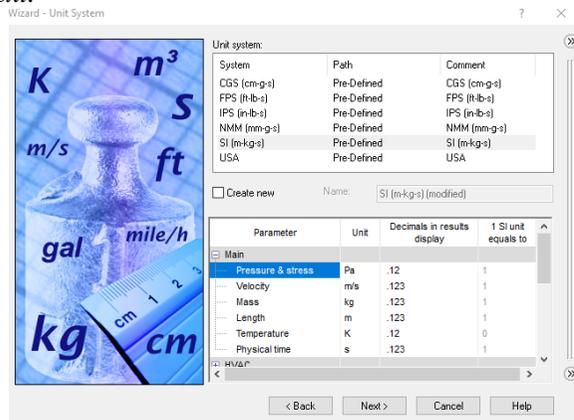


Gambar 4.8. Desain Kanal Tampak Turbin

Selanjutnya menutup bagian inlet dan outlet sekaligus membuat arah aliran, karena agar bisa di *running* gambar harus tertutup, sama seperti langkah sebelumnya dengan cara membuat *plane* pada penampang yang akan digambar, pilih *Sketch*, lalu gambar penutup. Setelah itu gunakan *tools Extrude Boss* untuk memberi ketebalan pada penutup, disini menggunakan ketebalan 1 m, maka penampang akan tertutup. Cara yang sama digunakan untuk menutup penampang yang lain agar domain menjadi tertutup dan dapat dilakukan *running*.

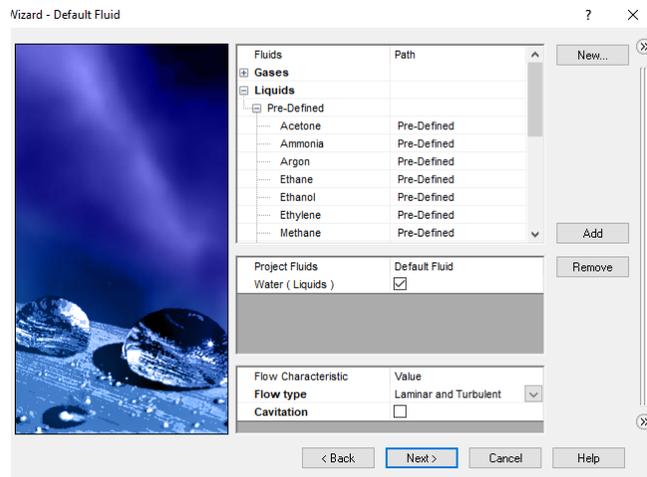
Jika domain sudah tertutup dan persiapan model untuk melakukan simulasi dirasa cukup, maka dapat dilakukan simulasi, untuk memunculkan menu *flow simulation* pilih menu *Tools* lalu *Add-Ins...* Langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi dengan memilih menu *flow simulation* pilih *wizard* untuk memulai proses simulasi. Untuk langkah-langkah proses simulasi adalah sebagai berikut:

- a) Setelah memilih *Tools Wizard* maka akan keluar kotak perintah yang berisi tentang nama file model simulasi yang akan disimulasi nanti, setelah mengisi nama model simulasi pilih *next*.
- b) Selanjutnya akan keluar kotak perintah *wizard unit system*, dalam menu ini diminta untuk menentukan satuan yang akan digunakan dalam simulasi, misal satuan SI (m-k-g-s) atau IPS (in-lb-s). Satuan yang dipilih ini nantinya akan digunakan sebagai satuan dari *output* hasil simulasi. Selain satuan utama juga terdapat parameter antara lain *Pressure & Stress*, *Velocity*, *Mass*, setelah itu bisa dipilih *next*.



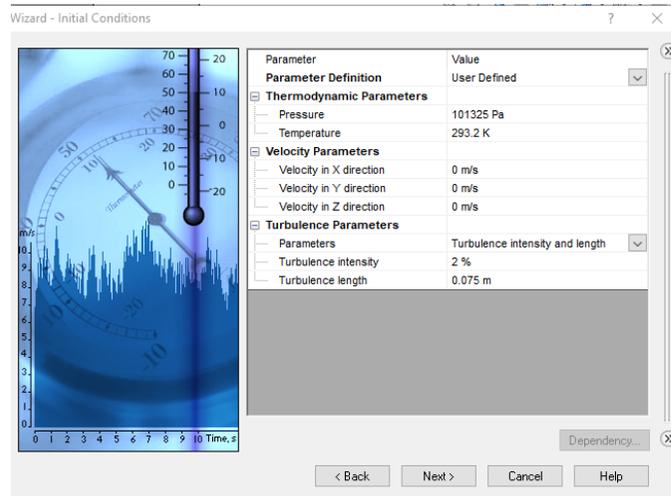
Gambar 4.9. *Wizard – Unit System*

- c) Selanjutnya akan keluar kotak perintah *Wizard Analisis Type*, terdapat dua pilihan yang akan dianalisa antara lain internal atau external, internal untuk model domain yang tertutup dan yang dianalisa ada dibagian yang tertutup, sedangkan external untuk model yang terbuka. Pada tugas akhir ini dipilih analisa secara internal karena pada disain kanal sudah dibuat tertutup. Untuk selanjutnya terdapat menu *Physical Features*, dalam tugas akhir tidak menggunakan menu tersebut, kemudian pilih *next*.
- d) Kotak perintah selanjutnya adalah *Wizard Default Fluid*, menu ini adalah untuk menentukan fluida yang akan digunakan pada simulasi, antara lain terdapat jenis *Gases*, *Liquid*, *Steams*, pada tugas akhir ini fluida yang digunakan hanya air, maka dipilih menu *Liquid*, lalu pilih *Water*, setelah dipilih maka *Water* akan keluar pada menu *Project Fluids*. Kemudian ada menu *Flow Characteristic* yang terdapat pilihan aliran fluida dan kaitasi, karena pada tugas akhir ini tidak memperhitungkan kavitasi sesuai dalam batasan masalah, maka kavitasi bisa diabaikan, kemudian *next*.



Gambar 4.10. *Wizard - Default Fluid*

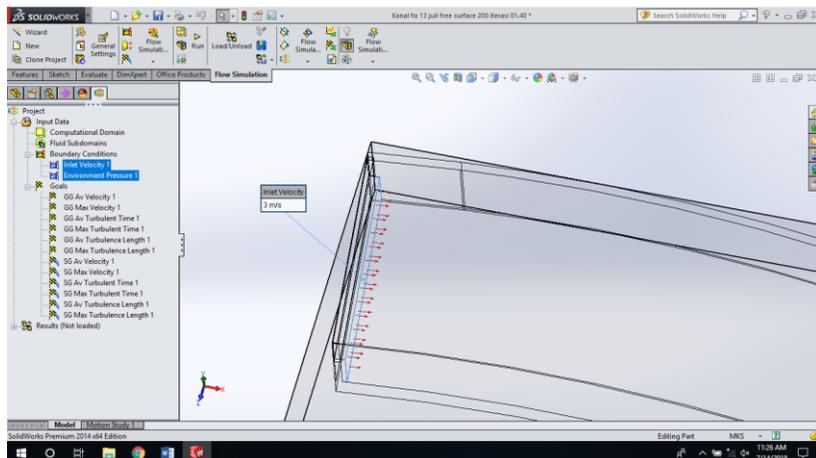
- e) Kotak perintah selanjutnya adalah *Wizard Wall Condition*, pada menu ini tidak ada yang dirubah karena pada tugas akhir ini tidak mempertimbangkan tentang perpindahan panas yang terjadi pada turbin maupun kanal, kemudian *next*.
- f) Selanjutnya adalah kotak perintah *Wizard Initial and Ambient Conditions*, kotak perintah ini berfungsi untuk memasukkan nilai-nilai yang diinginkan berdasarkan parameter-parameter yang ada antara lain:
1. *Thermodynamic Parameters*  
Untuk *Thermodynamic Parameters* karena pada tugas akhir ini tidak mempertimbangkan temperature, tekanan, maka dibuat standard.
  2. *Velocity Parameters*  
Untuk kecepatan fluida pada tugas akhir ini berdasarkan inlet kanal, bukan berdasarkan sumbu X, Y, Z, maka untuk parameter kecepatan ini bisa diabaikan.
  3. *Turbulent Parameters*  
Untuk *Turbulent Parameters* tidak ada perubahan.



Gambar 4.11. Wizard - Initial and Ambient Conditions

- g) Kotak perintah yang terakhir adalah Wizard Results and Geometry Resolution, kotak perintah ini berfungsi untuk menentukan besarnya *meshing*, kemudian *Finish*.

Setelah selesai memasukkan data, jenis fluida, dan parameter-parameter lain serta besaran *meshing* maka langkah selanjutnya adalah menentukan *Boundary Condition*, untuk menentukan domain dibuat seperlunya model yang akan disimulasi karena besarnya domain akan mempengaruhi proses runningnya nanti. Pada tugas akhir ini yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa untuk kecepatan aliran fluida dibuat konstan 3 m/s sampai mendekati turbin



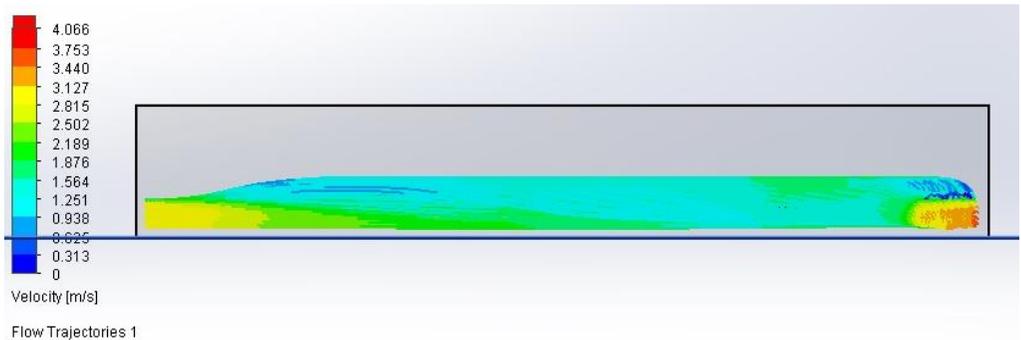
Gambar 4.12. Gambar Penentuan *Boundary Condition*

Pada gambar terlihat arah aliran fluida sebagai inlet, nantinya fluida atau air akan keluar dari penampang dengan kecepatan 3 m/s. Untuk outlet karena tidak ada kecepatan

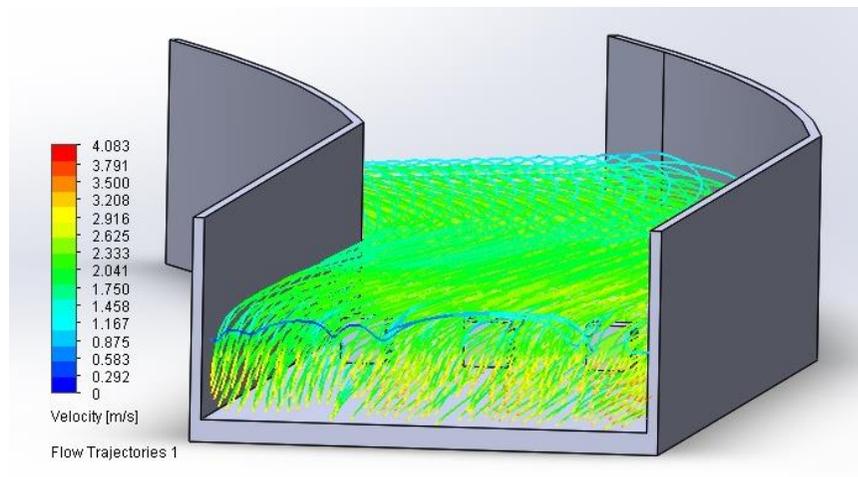
yang ditentukan dan terpengaruh oleh aliran fluida setelah melewati turbin, maka untuk outlet hanya diberi tekanan 1 Bar atau tekanan normal. Maka setelah itu bisa dilakukan running untuk dapat melihat arah aliran sebagai tujuan dari tugas akhir ini.

#### 4.4 Hasil Simulasi

Dari hasil simulasi yang sudah dilakukan beberapa kali karena terdapat error dan harus kembali meninjau desain, maka didapat hasil sebagai berikut.



Gambar 4.13. Hasil Simulasi Kecepatan Aliran



Gambar 4.14. Hasil Simulasi Tampak Samping

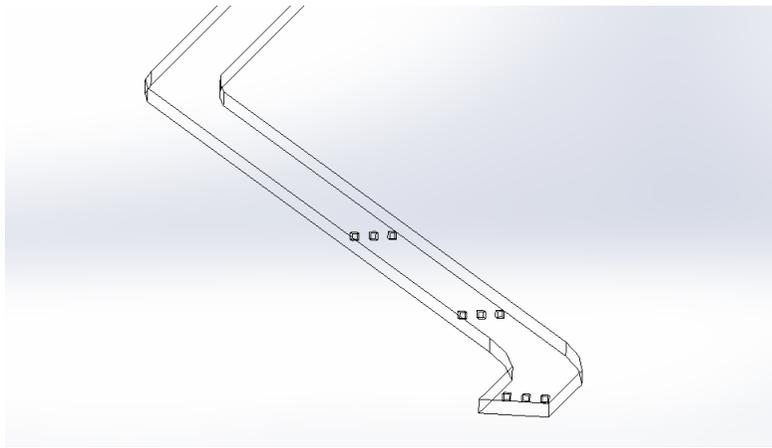
Dari gambar terlihat terjadi perubahan ketinggian aliran fluida yang mengalir, akibat dari adanya turbin maka aliran pada kanal semakin tinggi mendekati turbin, dan itu juga mempengaruhi kecepatan aliran fluida. Dari kecepatan aliran fluida keluar kondenser sebesar 3 m/s, mengalami penurunan seiring mendekatnya pada turbin, bahkan pada titik tertentu kecepatan aliran menjadi sekitar 1 m/s.

Setelah didapat hasil simulasi yang memperlihatkan perbedaan ketinggian pada aliran kanal, maka dilakukan pengukuran perbedaan ketinggian tersebut agar diketahui sejauh

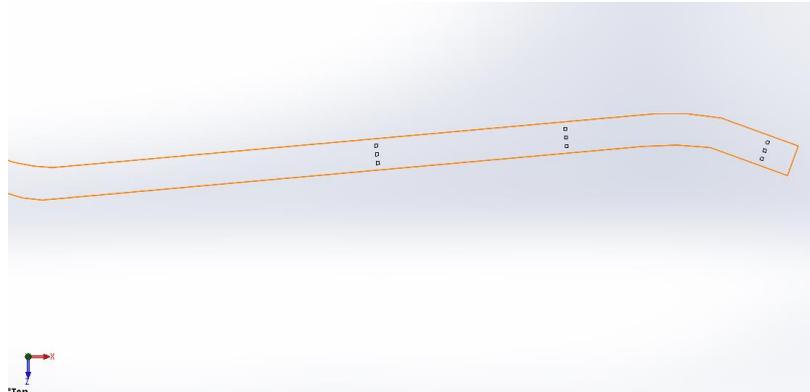
mana perbedaan ketinggian tersebut yang dipengaruhi oleh arus balik sehingga bisa dilakukan analisa lebih lanjut apakah akibat dari arus balik tersebut yang menghasilkan perbedaan ketinggian sampai pada output kondenser. Karena tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk mengetahui apakah efek arus balik atau *Backflow* yang dihasilkan dari pemasangan turbin sampai pada output kondenser sehingga mempengaruhi kinerja kondenser.

Setelah dilakukan pengukuran didapatkan perbedaan ketinggian karena pengaruh adanya hambatan berupa turbin sejauh 60.12 m dari posisi turbin itu sendiri. Sedangkan panjang kanal dari posisi turbin diletakkan sampai pada output kondenser sejauh 951.68 m. Dari hasil simulasi dan pengukuran tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa arus balik atau perbedaan ketinggian yang disebabkan dari pemasangan turbin tidak sampai pada *output* atau keluaran kondenser, sehingga tidak melanggar batas ketinggian maksimum pada *output* kondenser yang setinggi 1m.

Maka dari hasil simulasi dapat dilakukan penambahan turbin, dan dapat dilakukan analisa jarak aman tiap turbin agar masing-masing turbin tidak terpengaruh dengan adanya perubahan ketinggian yang diakibatkan oleh adanya *Backflow*. Sesuai dengan batasan masalah yang telah dibuat bahwa pada tugas akhir ini tidak memperhitungkan aliran yang terjadi setelah turbin, maka parameter yang digunakan untuk menentukan jarak antar turbin hanya melihat pada aliran sebelum turbin atau terfokus pada perbedaan ketinggian aliran sebelum turbin.



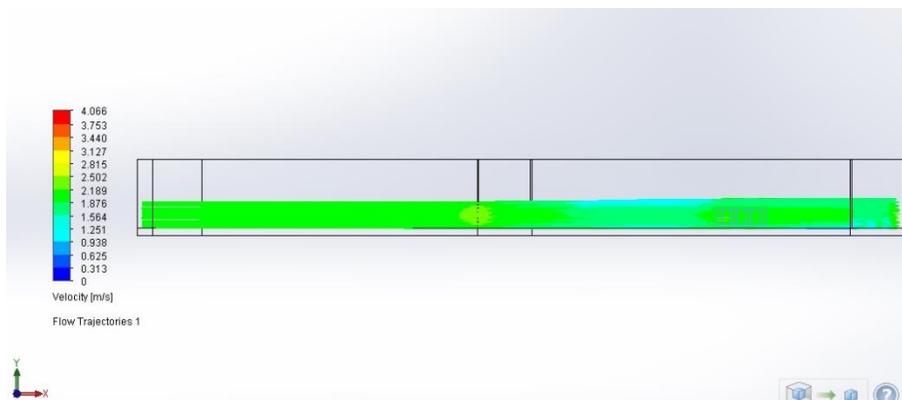
Gambar 4.15. Gambar Penambahan Turbin



Gambar 4.16. Gambar Penambahan Turbin Tampak Atas

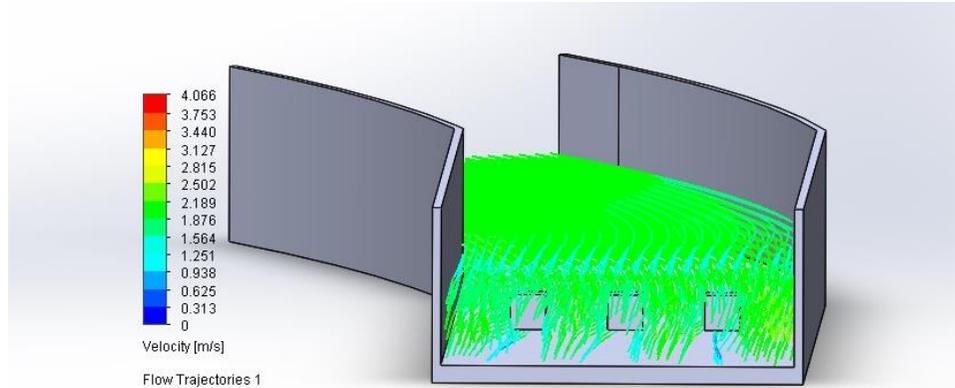
Disini penulis memberi jarak 120 m untuk masing-masing turbin, karena terdapat perbedaan ketinggian akibat efek dari *Backflow* sejauh 60 m, dan penulis memberi jarak aman dua kali dari efek *Backflow* yaitu sejauh 60 m, sehingga didapat total jarak antar turbin sejauh 120 m. Maka hasil akhir didapat jumlah turbin sebanyak 3 baris dengan masing-masing baris terbatap 3 turbin, jadi total pada kanal terdapat 9 turbin, tiap baris berjarak 120m dengan jarak 3.5 m dalam satu baris.

Selanjutnya dilakukan beberapa kali simulasi dengan variasi yang berbeda, proses untuk melakukan simulasi sama, hanya dalam proses menentukan *Boundary Condition* dimasukkan kecepatan yang sesuai dengan yang ingin disimulasikan. Berikut adalah hasil simulasi untuk kecepatan aliran 2 m/s.



Gambar 4.17. Gambar Hasil Simulasi Variasi Kecepatan 2 m/s Tampak Samping

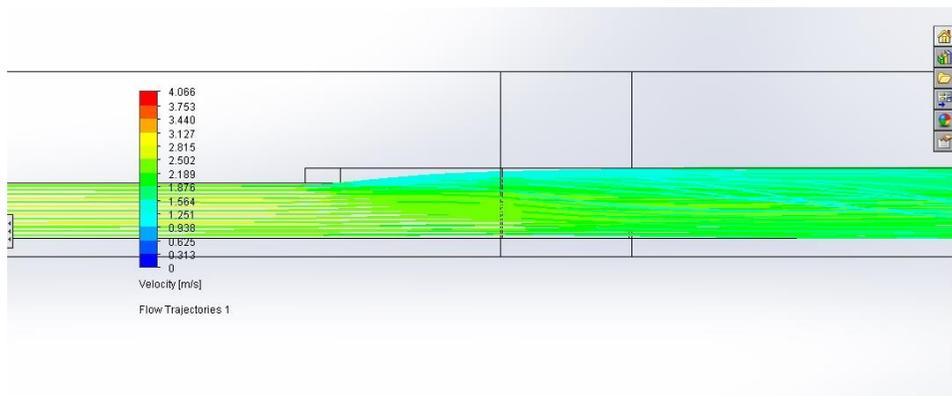
Pada gambar 4.17 adalah hasil simulasi jika dilihat tampak samping, tidak dapat terlihat dengan jelas perbedaan ketinggian aliran akibat adanya *backflow* dikarenakan tidak terjadi perbedaan ketinggiannya yang sangat besar, untuk dapat melihat perbedaan ketinggian dengan jelas dapat dilihat pada lampiran. Berdasarkan hasil pengukuran setelah dilakukannya simulasi didapat hasil bahwa terjadi perbedaan ketinggian pada titik tertinggi sebesar 0.54 m, perbedaan ketinggian juga terjadi sejauh 12.86 m.



Gambar 4.18. Hasil Simulasi Variasi Kecepatan 2 m/s Tampak Outlet.

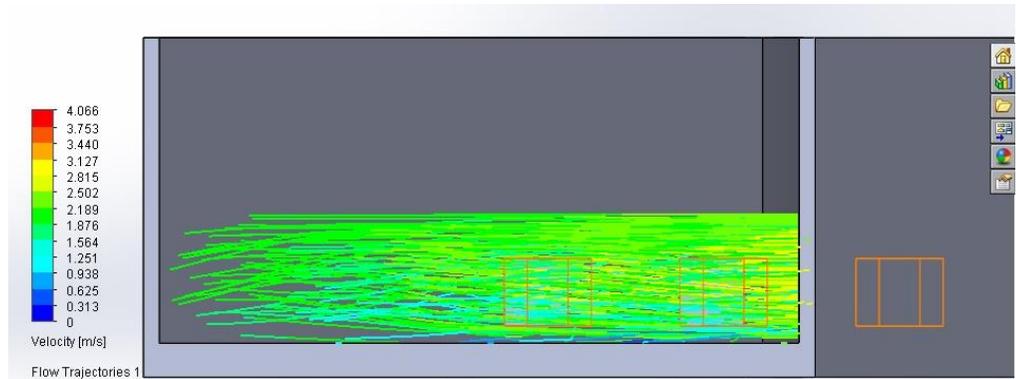
Pada Gambar 4.18 tampak terlihat ketinggian kanal dengan ketinggian aliran, dengan ketinggian *backflow* yang dihasilkan sebesar 0.54 m dan ketinggian kanal sebesar 10 m, maka untuk peletakan turbin dengan kecepatan aliran sebesar 2 m/s akan dihasilkan perbedaan ketinggian akibat *backflow* yang tidak sampai keluar kanal.

Selanjutnya dilakukan simulasi lagi dengan variasi kecepatan aliran sebesar 2.5 m/s, prosesnya sama hanya beda dalam menentukan *Boundary Condition* pada inlet dimasukkan nilai kecepatan aliran sebesar 2.5 m/s. Setelah itu dilakukan simulasi dan didapatkan hasil sebagai berikut.



Gambar 4.19. Gambar Hasil Simulasi Variasi Kecepatan 2.5 m/s Tampak Samping

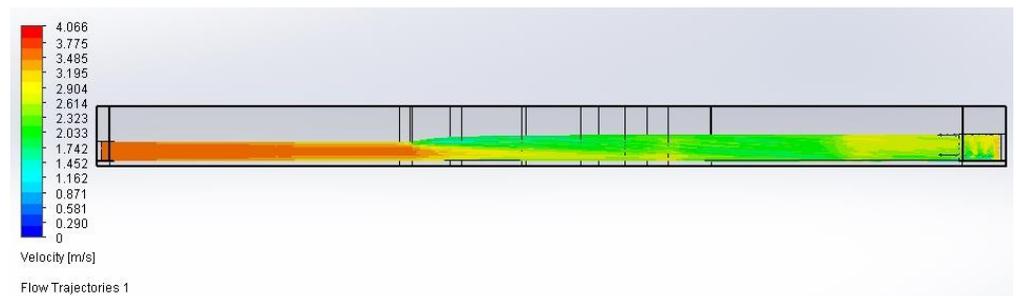
Pada gambar 4.19 terlihat perbedaan ketinggian yang terjadi, setelah dilakukan pengukuran untuk variasi kecepatan aliran 2.5 m/s terjadi perbedaan ketinggian aliran pada titik tertinggi sebesar 0.82 m dengan panjang perbedaan ketinggian aliran sejauh 43.78 m.



Gambar 4.20. Gambar Hasil Simulasi Variasi Kecepatan 2.5 m/s Tampak Outlet

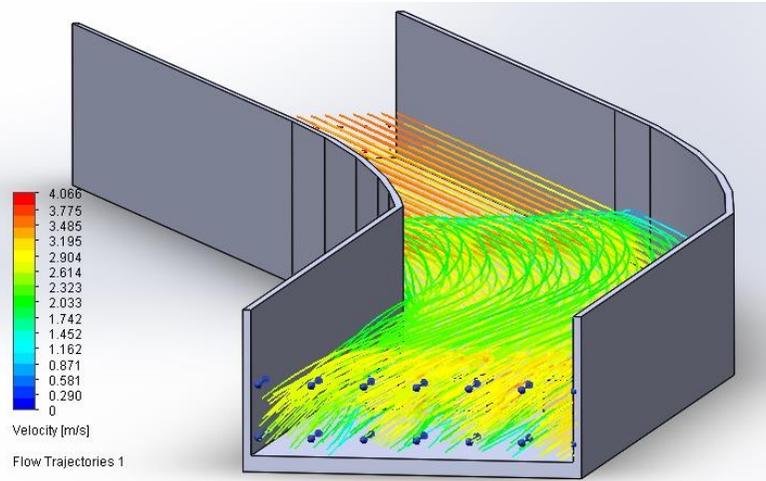
Untuk variasi kecepatan 2.5 m/s karena hanya terjadi perbedaan ketinggian sebesar 0.82 m, sedangkan ketinggian aliran semula tanpa adanya turbin sebesar 3 m, maka total ketinggian aliran keseluruhan menjadi 3.82 m, dengan ketinggian kanal 10 m seperti terlihat pada Gambar 4.20. Untuk kecepatan alirannya sendiri pada variasi kecepatan 2.5 m/s ini tidak mengalami perbedaan yang signifikan.

Dikarenakan untuk variasi kecepatan 3 m/s sudah dilakukan diawal, maka selanjutnya dilakukan simulasi untuk variasi kecepatan 3.5 m/s, prosesnya sama dengan variasi kecepatan yang lain. Maka dilakukan simulasi dengan hasil sebagai berikut.



Gambar 4.21. Hasil Simulasi Variasi Kecepatan 3.5 m/s Tampak Samping

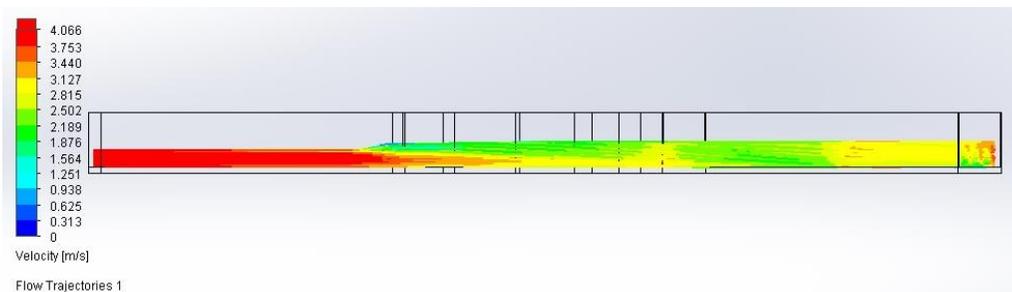
Pada gambar 4.21 terlihat variasi kecepatan yang terjadi, terlihat mulai adanya perbedaan kecepatan yang signifikan yang terjadi sebelum *backflow* dan saat terjadi *backflow*, terlihat kecepatan mengalami penurunan. Untuk hasil pengukuran setelah simulasi didapat terjadi perbedaan ketinggian aliran sebesar 1.19 m dan sejauh 72.81 m.



Gambar 4.22. Hasil Simulasi Variasi Kecepatan 3.5 m/s Tampak 3D

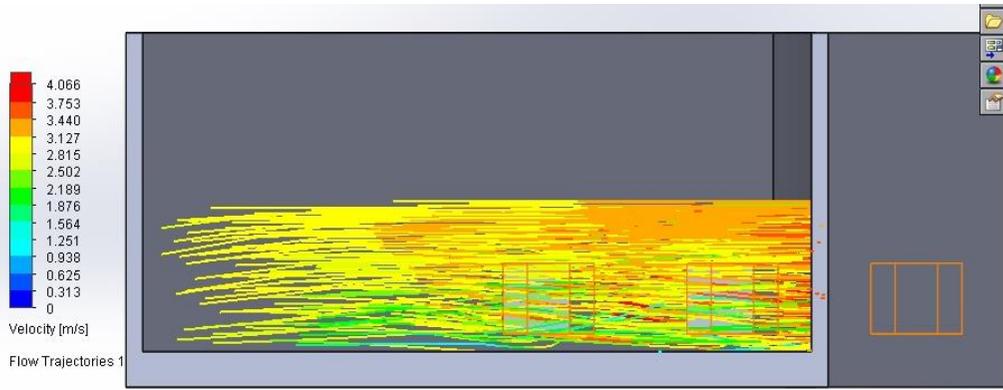
Total ketinggian aliran setelah adanya *backflow* pada variasi kecepatan 3.5 m/s menjadi 4.19 m didapat dari ketinggian aliran awal sebelum pemasangan turbin adalah 3 m, dan perbedaan ketinggian yang terjadi setelah pemasangan turbin adalah 1.19 m. Dengan ketinggian kanal yang mencapai 10 m maka efek *backflow* yang terjadi tidak sampai keluar kanal.

Untuk variasi kecepatan yang terakhir pada tugas akhir ini adalah variasi kecepatan 4 m/s, untuk prosesnya sama dan didapatkan hasil simulasi sebagai berikut.



Gambar 4.23. Hasil Simulasi Variasi Kecepatan 4 m/s Tampak Samping

Untuk variasi kecepatan 4 m/s terjadi perubahan kecepatan yang drastis sebelum adanya *backflow* dan saat adanya *backflow* disbanding variasi kecepatan yang lain, hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.23. Terlihat terjadi penurunan kecepatan seiring aliran mendekati turbin. Dari hasil simulasi dilakukan pengukuran untuk mengetahui panjang dan ketinggian *backflow* yang terjadi akibat adanya turbin, maka dari hasil pengukuran didapat terjadi perbedaan ketinggian sebesar 1.33 m dan sejauh 80.06 m.



Gambar 4.24 Hasil Simulasi Variasi Kecepatan 4 m/s Tampak Outlet

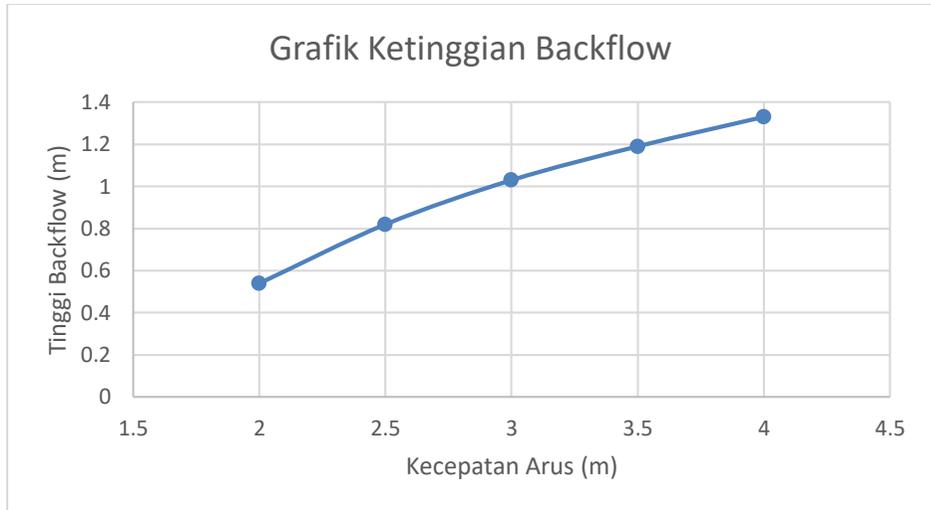
Pada Gambar 4.24 terlihat ketinggian aliran setelah adanya *backflow*, pada variasi kecepatan 4 m/s ini walaupun terjadi perbedaan ketinggian yang semakin besar disbanding variasi kecepatan sebelumnya, namun efek *backflow* yang terjadi tidak sampai keluar kanal.

Setelah dilakukan semua variasi kecepatan dapat dibuat tabel hasil dari ketinggian *backflow* dan panjang *backflow* yang terjadi pada masing-masing variasi kecepatan.

Tabel 4.3. Hasil Simulasi

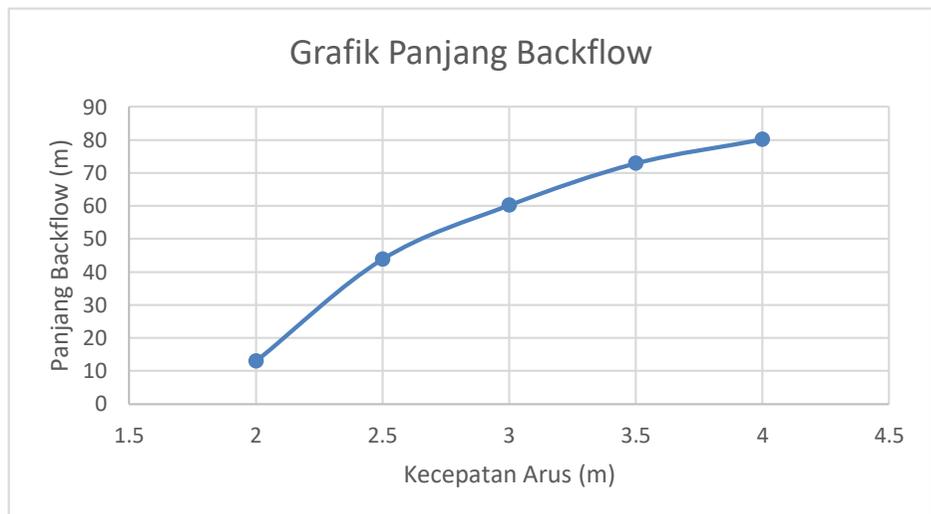
Kecepatan	Tinggi <i>Backflow</i>	Panjang <i>Backflow</i>
2 m/s	0.54 m	12.86 m
2.5 m/s	0.82 m	43.78 m
3 m/s	1.03 m	60.12 m
3.5 m/s	1.19 m	72.81 m
4 m/s	1.33 m	80.06 m

Pada tabel 4.3 merupakan hasil dari simulasi berupa panjang *backflow* dan ketinggian *backflow*. Pada saat pengambilan data pada Tugas Akhir ini dilakukan pengukuran untuk mendapatkan data yang dibutuhkan, salah satunya adalah kecepatan arus kanal, saat dilakukan pengukuran didapatkan data bahwa lebar kanal sebesar 20 m, ketinggian air berkisar antara 2.5 m - 3 m, dan kecepatan arus bernilai 3 m/s, sedangkan kecepatan arus didekat tembok pembatas kanal sebesar 1.7 m/s, lalu didapat kecepatan arus pada bagian akhir kanal atau mendekati bibir pantai sebesar 1.9 m/s. Namun pada simulasi dilakukan beberapa variasi kecepatan arus agar data yang didapat lebih beragam karena pada kenyataannya saat dilakukan pengambilan data kecepatan arus sendiri tidak tetap.



Gambar 4.25. Gambar Grafik Ketinggian *Backflow*

Terlihat pada grafik ketinggian *backflow* bahwa untuk kecepatan arus dan tinggi *backflow* yang dihasilkan adalah sebanding, semakin besar kecepatan arus maka semakin besar pula tinggi *backflow* yang dihasilkan. Hal tersebut terjadi karena semakin tinggi kecepatan arus maka benturan terhadap turbin akan semakin besar juga, karena itu tinggi *backflow* yang terjadi makin tinggi seiring dengan semakin besarnya kecepatan arus. Tidak menutup kemungkinan juga jika simulasi terus dilakukan dengan variasi kecepatan yang semakin besar maka tinggi *backflow* yang dihasilkan juga semakin besar.



Gambar 4.26. Gambar Grafik Panjang *Backflow*

Untuk grafik panjang *backflow* yang dihasilkan juga sama dengan ketinggian *backflow* yaitu berbanding lurus, semakin besar kecepatan arus maka semakin panjang pula *backflow* yang dihasilkan. Setelah dilakukan beberapa variasi kecepatan arus

dihasilkan bahwa semakin besar kecepatan arus yang mengalir pada kanal maka semakin besar pula panjang perbedaan ketinggian aliran yang disebabkan oleh *backflow* dan semakin besar pula tinggi *backflow* yang dihasilkan. Dan tidak menutup kemungkinan juga jika simulasi diperbanyak dengan variasi kecepatan yang semakin besar maka panjang *backflow* yang dihasilkan juga semakin besar dan ketinggian *backflow* juga semakin besar, begitupun sebaliknya jika simulasi diperbanyak dengan variasi kecepatan yang semakin kecil tidak menutup kemungkinan juga panjang *backflow* dan tinggi *backflow* yang dihasilkan semakin kecil. Namun untuk hasil yang lebih akurat dapat dilakukan simulasi langsung untuk variasi kecepatan yang lain.

*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

1. Akibat adanya hambatan berupa turbin yang diletakkan pada kanal *output* kondenser dengan kecepatan aliran 3 m/s, maka timbul adanya perbedaan ketinggian aliran akibat adanya arus balik atau *backflow* sejauh 60.12 m dari total panjang kanal adalah 951.68 m, dan untuk ketinggian *backflow* sebesar 1.03 m. Sedangkan untuk variasi kecepatan 2 m/s, 2.5 m/s, 3.5 m/s, dan 4 m/s memiliki panjang *backflow* berturut-turut sejauh 12.86 m, 43.78 m, 72.81 m, dan 80.06 m, untuk tinggi *backflow* berturut-turut sebesar 0.54 m, 0.82 m, 1.19 m, dan 1.33 m.
2. Untuk kecepatan aliran 3 m/s karena terjadi perbedaan ketinggian aliran hanya sejauh 60.12 m sedangkan jarak turbin dengan *output* kondenser adalah 951.68 m, maka tidak ada efek yang terjadi pada kondenser. Begitupun untuk variasi kecepatanlain, efek perbedaan ketinggian aliran akibat adanya arus balik tidak sampai kondenser. Sedangkan persyaratan maksimal penambahan ketinggian pada *output* kondenser adalah 1 m agar tidak mengganggu kinerja kondenser, maka pemasangan turbin bisa memenuhi persyaratan karena tidak ada efek yang dihasilkan pada *output* kondenser.
3. Setelah diketahui panjang perbedaan ketinggian akibat dari *back flow* dan tidak ada efek pada *output* kondenser, maka untuk penambahan turbin dapat dilakukan. Disini penulis memberi jarak 120 m antar turbin, 60.12 m adalah jarak minimal agar turbin tidak terpengaruh dengan efek *back flow* dari turbin yang lain, namun penulis memberi dua kali jarak minimal agar lebih aman.

### 5.2. Saran

Dalam pengerjaan skripsi ini tidak lepas dari kekurangan baik yang disengaja maupun tidak sengaja, oleh karena itu untuk perbaikan kedepannya diperlukan suatu saran membangun baik dari segi analisa dan penulisan, baik untuk penulis sendiri maupun pembaca.

1. Ukuran meshing diperkecil sehingga dapat lebih akurat dalam pengambilan data
2. Banyak iterasi diperbanyak sehingga menghasilkan hasil yang lebih maksimal.
3. Untuk bentuk aliran sesudah turbin dapat dianalisa sehingga dapat menjadi parameter untuk jarak dalam penambahan turbin.

*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahraf, “Analisis Hidrolika Dan Finansial PLTM Tinggi Tekan Rendah Pada Bendung Gerak Sungai Serayu”.
- [2] Bhutta, M.M.A., et al. 2012. Vertical Axis Wind Turbine—A Review of Various Configurations and Design Techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 1926-1939.
- [3] F. Hatomi, “Analisis CFD Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut Pada Kapasitas 1.2 KW”. 2012.
- [4] Guney, M., & Kaygusuz, K., "Hydrokinetic energy conversion system: a technology status review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010
- [5] Kirke, B., "*Development of water current turbine*," Retrieved from [www.cyberiad.net](http://www.cyberiad.net), 2005
- [6] Maa, Zhenhui, et al. 2016. Analysis of flow blockage accidents in rectangular fuel assembly based on CFD methodology.
- [7] Magdi Ragheb dan Adam M. Ragheb. 2011. *Wind Turbines Theory – The Betz Equation and Optimal Tip Speed Ratio*. Intech.
- [8] Nasrulloh, Uud. 2013. *Analisa Aliran Didepan Propeller Dengan Modifikasi Jarak Dan Jenis Ducted Terhadap Pengaruh Nozzle Ring*. Surabaya. ITS.
- [9] Oosterveld, M.W.C. 1970. *Wake Adapted Ducted Propellers*, Netherlands Model Basin, Wageningen.
- [10] Rohman, Muhammad Ikhlashul Amal Fathur. 2015. *Analisis Profil Aliran Fluida Di Belakang Liner (Penyearah Aliran) Dengan Turbin Arus Sungai Tipe Straight-Blade Darrieus Berbasis CFD*. Surabaya. ITS.

*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di kabupaten Sidoarjo Provinsi Jawa Timur, pada 10 Juli 1996. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan suami istri Cipto Busono dan Hanik Atuzzuhriyah. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Dharma Wanita Tawangsari Kabupaten Sidoarjo pada tahun 2001 sampai tahun 2002. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan ke SDN Tawangsari 2 hingga lulus tahun 2008. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan ke SMPN 2 Taman hingga lulus tahun 2011. Dan berlanjut pada SMAN 1 Taman. Setelah lulus dari SMAN 1 Kebumen penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang Strata-1 dan diterima di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur SNMPTN dan terdaftar dengan NRP 0421144000029. Di Departemen Teknik Sistem Perkapalan penulis mengambil bidang studi Marine Electric and Automation System (MEAS) untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan akademis maupun non-akademis. Dalam bidang non akademis penulis aktif dalam setiap kegiatan Marine Icon 2015 sebagai panitia sub lomba Dragon Boat dan pada tahun 2015 sebagai panitia sub lomba Water Bike Contest Marine Icon 2017. Dalam bidang akademis penulis aktif sebagai grader praktikum Wye Delta dalam praktikum Listrik Perkapalan tahun ajaran 2017-2018, hingga penulis bisa menyelesaikan pendidikan S1 pada tahun ajaran 2017-2018.