



**TUGAS AKHIR - SF184801**

**PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK  
TENAGA PUSARAN GRAVITASI AIR DENGAN  
VARIASI POSISI TURBIN PADA BASIN KERUCUT**

Panji Feryanto  
NRP 0111124000012

Dosen Pembimbing:  
Drs. Hasto Sunarno, M.sc  
Drs. Bachtera Indarto, M.Si.

**DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS SAINS  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019**





**TUGAS AKHIR - SF 184801**

**PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK  
TENAGA PUSARAN GRAVITASI AIR DENGAN  
VARIASI POSISI TURBIN PADA BASIN KERUCUT**

Panji Feryanto  
NRP 0111124000012

Dosen Pembimbing:  
Drs. Hasto Sunarno, Msc  
Drs. Bachtera Indarto, M.Si.

**DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS SAINS  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019**



**FINAL PROJECT - SF 184801**

**DESIGN OF CENTRAL POWER PLANNING FOR  
WATER GRAVITATION WITH VARIATION OF  
TURBINE POSITION ON BASIN CONE**

**Panji Feryanto  
NRP 0111124000034**

**Advisor:  
Drs. Hasto Sunarno  
Drs. Bachtera Indarto, M.Si.**

**DEPARTMENT OF PHYSICS  
FACULTY OF SCIENCE  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019**

## LEMBAR PENGESAHAN

### PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PUSARAN GRAVITASI AIR DENGAN VARIASI POSISI TURBIN PADA BASIN KERUCUT

#### TUGAS AKHIR

Disusun untuk memenuhi syarat kelulusan mata kuliah Tugas  
Akhir Program Strata 1

Departemen Fisika,  
Fakultas Sains  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
PANJI FERYANTO  
NRP 0111124000012

Disetujui oleh tim pembimbing Tugas Akhir

Dosen Pembimbing I  
Drs. Hasto Sunarno, M.sc  
NIP. 19610404 199102.1.001

Dosen Pembimbing II:  
Drs. Bachtera Indarto  
NIP. 19610404 199102.1.001



**PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA  
PUSARAN GRAVITASI AIR DENGAN VARIASI POSISI  
TURBIN PADA BASIN KERUCUT**

**Nama Mahasiswa** : Panji Feryanto  
**NIM** : 0111124000012  
**Departemen** : Fisika, Fakultas Sains ITS  
**Pembimbing I** : Drs. Hasto Sunarno, M.sc  
**Pembimbing basin II** : Drs. Bachtera Indarto, M.Si.

**ABSTRAK**

Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Pusaran Gravitasi Air dibuat dengan memanfaatkan peristiwa terbentuknya pusaran air (*Vortex*) pada wadah yang dalam percobaan kali ini berbentuk *basin* kerucut. Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pada posisi dimana turbin dapat nilai torsi dan rpm yang maksimal. Penelitian dilakukan dengan menggunakan variasi ketinggian penempatan sudu turbin pada ketinggian 18cm, 20cm, 22cm, 24cm, dan 26cm dihitung dari permukaan air serta dengan debit air tetap yaitu 180 L/menit. Torsi maksimum yang dihasilkan ( $0,322694 \pm 0,024$ ) N.m sedangkan besar tegangan dihasilkan adalah sebesar ( $3,3862 \pm 0,0015$ )V

***Kata Kunci:*** *Basin, Torsi, Vortex*

# DESIGN OF CENTRAL POWER PLANNING FOR WATER GRAVITATION WITH VARIATION OF TURBINE POSITION ON BASIN CONE

**Name** : Panji Feryanto  
**NRP** : 0111124000012  
**Department** : Physics, Faculty of Natural Sciences, Institut  
Teknologi Sepuluh Nopember  
**Advisor I** : Drs. Hasto Sunarno, Msc.  
**Advisor II** : Drs. Bachtera Indarto, M.Si.

## ***ABSTRACT***

The Design of a Power Plant The Water Gravity Vortex is created by utilizing the event of the formation of a whirlpool (Vortex) in the container which in this experiment was in the form of a cone basin. The purpose of this research is to find out in a position where the turbine can get maximum torque and rpm values. The study was carried out by using variations in the placement of turbine blades at an altitude of 18cm, 20cm, 22cm, 24cm, and 26cm calculated from the surface of the water as well as with a fixed water discharge of 180 L / minute. The maximum torque produced is  $(0,322694 \pm 0,0024)$  N.m while the amount of voltage produced is  $(3.3862 \pm 0,0015)$  V.

***Keywords*** : Basin, Torque, Vortex.

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr.wb.

Terima kasih penulis ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas limpahan rahmat dan hidayahnya, penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Pusaran Gravitasi Air dengan Variasi Posisi Blade pada Basin Kerucut” ini. Tak lupa pula shalawat serta salam tercurahkan kepada nabi besar junjungan kita, Nabi Muhammad SAW, semoga di hari akhir nanti kita memperoleh syafaat dari-Nya. Pada kesempatan yang berbahagia ini, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Supono dan Ibu Watemi yang tak ada habisnya mendukung segala sesuatu sejak awal hingga akhir perkuliahan ini.
2. Dr. Yono Hadi P, M. Eng. selaku Ketua Departemen Fisika FS-ITS serta **Drs. Hasto Sunarno, Msc.** selaku dosen wali penulis yang telah mendidik penulis selama kuliah di jurusan Fisika ITS.
3. Bachtera Indarto, M.Si dan Drs. Hasto Sunarno, M.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan, arahan dan petunjuk dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Seluruh anggota tim *vortex*, Haswin Dian Fathoni dan Rivanul Lukman Pradana yang telah bekerjasama dalam diskusi dan pengambilan data Tugas Akhir ini.
5. Bryan Putra A dan Maulitus Eko P yang telah banyak membantu Akhir ini.
6. Seluruh anggota penghuni Lab UPMB sekaligus rekan seperjuangan TA yang telah membantu semua kegiatan dalam pengerjaan Tugas Akhir.
7. Yan Puria Widyanti Maharani selaku rekan diskusi dan yang telah membantu penyelesaian laporan sekaligus penyemangat dalam pengerjaan Tugas Akhir



8. Semua Pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Berkat bantuan dari pihak-pihak tersebut, penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik dan sesuai batas waktu yang ditentukan. Semoga laporan tugas akhir ini dapat menjadi referensi dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi saat ini maupun masa depan. Namun penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini sehingga kritik dan saran yang membangun dari pembaca sangat penulis harapkan.

Surabaya, 5 Juli 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>COVER PAGE</b> .....	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Sistem Penulisan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro .....	5
2.2 Debit Air .....	6
2.3 Basin .....	7
2.4 Turbin.....	8
2.4 Torsi .....	9
2.5 Generator Listrik AC .....	10
<b>BAB III</b> .....	<b>13</b>
<b>METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>13</b>
3.1 Tahap-Tahap Penelitian .....	13

3.2 Tahap Persiapan .....	14
3.3 Perancangan <i>Basin</i> .....	14
3.4 Perancangan Turbin .....	15
3.5 Pembuatan Alat.....	16
3.6 Pengujian Alat.....	17
3.7 Pengambilan Data .....	17
3.7.1 Pengukuran torsi pengereman maksimal .....	17
3.7.2 Pengukuran Torsi aliran Linier .....	18
3.7.3 Pengukuran rpm .....	19
3.8 Analisis data.....	19
3.9 Pembuatan laporan.....	20
<b>BAB IV .....</b>	<b>21</b>
<b>ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>21</b>
4.1 Torsi Pengereman Maksimal .....	21
4.2 Torsi pada Aliran Linier.....	22
4.3 RPM .....	23
4.4 Tegangan, Arus, dan Daya Listrik.....	26
<b>Tabel 4.1</b> Rata-rata tegangan dinamo dari setiap variasi kedalaman turbin.....	34
<b>Gambar 4.1</b> Grafik arus terhadap resistor.....	27
<b>Gambar 4.2</b> Grafik tegangan terhadap resistor .....	<b>Error!</b>
<b>Bookmark not defined.</b>	
<b>Gambar 4.3</b> Grafik rpm terhadap resistor .....	<b>Error!</b>
<b>Bookmark not defined.</b>	
<b>Tabel 4.2</b> Daya listrik yang dihasilkan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>BAB V .....</b>	<b>29</b>
<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>29</b>
5.1 Kesimpulan .....	29
5.2 Saran .....	29
<b>BIOGRAFI PENULIS .....</b>	<b>33</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1 <i>PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PUSARAN GRAVITASI AIR</i> pada up steam dan down steam sungai (Mulligan,2011)</b> .....	5
<b>Gambar 2.2 <i>Basin vortex</i> bentuk silinder (Dhakai,2015)</b> .....	6
<b>Gambar 2.3 <i>Basin vortex</i> bentuk kerucut (Dhakai,2015)</b> .....	6
<b>Gambar 2.4 Turbin dengan 6 sudu (Dhakai,2015)</b> .....	7
<b>Gambar 2.5 Torsi pada sebuah benda (serway,2014)</b> .....	8
<b>Gambar 2.6 Rope brake dynamometer (Rattan,2005)</b> .....	9
<b>Gambar 2.7 Generator AC (Theraja,2008)</b> .....	10
<b>Gambar 2.8 Pembentukan arus pada generator AC (Theraja,2008)</b> .....	11
<b>Gambar 3.1 Diagram alir penelitian</b> .....	13
<b>Gambar 3.2 Desain <i>basin</i> kerucut serta tempat penampung air.</b> .....	14
<b>Gambar 3.3 Desain baling-baling yang digunakan.</b> .....	15
<b>Gambar 3.4 <i>PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PUSARAN GRAVITASI AIR</i> yang telah dibuat</b> .....	16
<b>Gambar 3.5 Fenomena <i>vortex</i> yang terbentuk</b> .....	17
<b>Gambar 3.6 Pengukuran torsi pengereman maksimal</b> .....	17
<b>Gambar 3.7 Pengukuran torsi aliran linier</b> .....	18
<b>Gambar 3.8 Pengukuran daya dengan <i>rope brake dynamometer</i>.</b> .....	19
<b>Gambar 3.9 Skema pengukuran <i>rpm</i></b> .....	19
<b>Gambar 3.10 Skema pengukuran tegangan</b> .....	20
<b>Gambar 3.11 Skema rangkaian pengukuran</b> .....	21
<b>Gambar 3.12 Pengukuran pada pembebanan resistor</b> .....	21
<b>Gambar 4.1 Grafik daya turbin pada setiap variasi ketinggian turbin</b> .....	24

**Gambar 4.2 Grafik hasil pengukuran tegangan tanpa beban pada setiap variasi ketinggian turbin. .... 26**

**Gambar 4.3 Grafik tegangan pada setiap variasi ketinggian dengan penambahan dioda dan capasitor ..... 27**

**Gambar 4.4 Grafik arus terhadap resistor ..... 28**

**Gambar 4.5 Grafik tegangan terhadap resistor ..... 29**

**Gambar 4.6 Grafik *rpm* terhadap resistor ..... 29**

## **DAFTAR TABEL**

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan manusia akan energi sangat tinggi. Salah satu energi yang kita butuhkan untuk menunjang kehidupan adalah energi listrik. Namun masih ada daerah-daerah di Indonesia yang masih belum mendapatkan listrik. Kekurangan energi tersebut diakibatkan terbatasnya sumber energi yang dimanfaatkan dan kesulitan mendistribusikan listrik pada daerah terpencil. Karena, sumber energi yang tidak terbarukan sangat terbatas dan semakin lama semakin sedikit jumlahnya. Maka diperlukan pembangkit pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan.

Salah satu energi terbarukan adalah pembangkit listrik tenaga air dalam skala kecil yang sering disebut *microhydropower*. *Microhydro* yang biasanya memanfaatkan air terjun dengan rentang jatuh air yang cukup tinggi. Sedangkan untuk jatuhnya air dalam rentang pendek belum banyak dimanfaatkan dengan baik. Hal ini menjadi ide awal untuk dapat memanfaatkan aliran sungai menjadi aliran yang berputar yaitu vortex.

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro merupakan tipe pembangkit listrik yang sesuai diterapkan di Indonesia. Karena pembangkit ini hanya memerlukan tinggi jatuhnya air yang tidak terlalu tinggi. Selain itu, juga banyak sungai yang alirannya kecil dan geografisnya terpencil sehingga tidak mungkin dibangun pembangkit listrik yang besar. (Gunawan 2013)

Penelitian tentang turbin *vortex* masih belum sempurna, terdapat banyak parameter yang perlu dicari tahu pengaruhnya dalam pembentukannya. debit air, lebar *basin*, lebar *outlet*, bentuk *basin*, bentuk sudu, dan yang lainnya, sehingga didapat daya maksimum. Oleh karena itu, dilakukan perancangan pembangkit listrik tenaga pusingan gravitasi air pada *basin* berbentuk kerucut untuk mendapatkan posisi *blade* terbaik agar mendapatkan putaran dan torsi yang maksimal.

## 1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa torsi pengereman maksimum yang dapat diperoleh pada pembangkit listrik tenaga pusanan gravitasi air basin kerucut.
2. Berapa rpm maksimum yang bisa terjadi pada pembangkit listrik tenaga pusanan gravitasi air basin kerucut
3. Berapa tegangan maksimum yang bisa terjadi pada pembangkit listrik tenaga pusanan gravitasi air basin kerucut
4. Dimana posisi dan ketinggian turbin terbaik untuk menghasilkan rpm dan torrsi yang maksimal pada pembangkit listrik tenaga pusanan gravitasi air basin kerucut.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Untuk mengetahui torsi pengereman maksimum yang dapat diperoleh pada pembangkit listrik tenaga pusanan gravitasi air basin kerucut.
2. Untuk mengetahui *RPM* maksimum yang bisa terjadi pada pembangkit listrik tenaga pusanan gravitasi air basin kerucut
3. Untuk mengetahui teganganmaksimum yang bisa terjadi pada pembangkit listrik tenaga pusanan gravitasi air basin kerucut
4. Untuk mengetahui posisi dan ketinggian turbin terbaik untuk menghasilkan rpm dan torsi yang maksimal pada pembangkit listrik tenaga pusanan gravitasi air basin kerucut.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Debit air yang digunakan tetap.



2. Turbin yang digunakan sama yaitu turbin dengan 6 *blade*.
3. Variasi yang digunakan adalah ketinggian turbin pada 18 cm, 20 cm, 22 cm, 24 cm, dan 26 cm terhadap sisi atas *basin*.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai desain pembuatan pembangkit listrik pembangkit listrik tenaga pusran gravitasi air, serta sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya.

### **1.6 Sistem Penulisan**

Sistematika penulisan tugas akhir ini, tersusun dalam lima bab yaitu: Bab 1: Pendahuluan, berisi latar belakang masalah, maksud dan tujuan, perumusan masalah dan manfaat tugas akhir. Bab 2: Tinjauan Pustaka, berisi mengenai kajian pustaka yang digunakan pada tugas akhir. Bab 3: Metodologi Penelitian, berisi tentang metode dan tahap pengambilan data. Bab 4: Analisa Data dan Pembahasan, berupa hasil data yang diperoleh, serta analisa yang dilakukan. Bab 5: Kesimpulan, berisi kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

*"Halaman ini sengaja dikosongkan"*

## **BAB II**

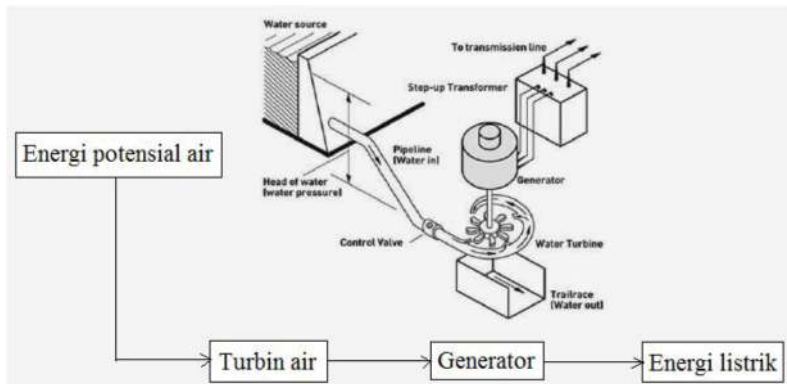
### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro**

Ada berbagai macam pembangkit listrik yang digunakan di Indonesia, salah satunya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. Pembangkit ini menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak misalnya sungai, air terjun, saluran irigasi dengan cara memanfaatkan perbedaan ketinggian dan jumlah debit air. Semakin tinggi jatuhnya air, maka semakin besar energi potensial yang dapat diubah menjadi energi listrik (Gunawan, 2013)

PLN mengklasifikasikan pembangkit listrik tenaga air menjadi 3 macam berdasarkan besar daya keluarannya. Pengelompokan tersebut antara lain, pembangkit listrik tenaga air (PLTA) yang memiliki daya keluaran lebih dari 1000 kW. Jenis yang kedua adalah pembangkit listrik tenaga minihidro (PLTM) yang memiliki daya keluaran kurang dari 100 kW. Sedangkan yang terakhir yaitu pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) yang memiliki daya output 100-1000 kW. (Gunawan 2013)

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro menggunakan potensi daya yang dimiliki oleh air untuk menghasilkan listrik. Potensi daya ini dipengaruhi oleh debit dan tinggi jatuhnya. Air yang bergerak karena perbedaan ketinggian akan menggerakkan kincir air dan memutar poros kincir. Poros kincir ini selanjutnya akan memutar generator sehingga menghasilkan listrik. Secara sederhana dapat dilihat pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Dwiyanto 2016)

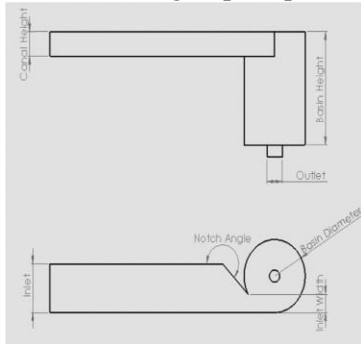
## 2.2 Debit Air

Debit air pada aliran sungai merupakan informasi yang cukup penting bagi pengelola sumber daya air. Debit yang tinggi diperlukan untuk merancang bangunan pengendali banjir. Sedangkan debit yang rendah digunakan untuk perencanaan pemanfaatan air salah satunya adalah pembangkit listrik tenaga mikro hidro. Di dalam debit air terdapat juga debit andalan yaitu tingkat keandalan yang direncanakan sebagai sumber untuk operasional pembangkit listrik. Untuk menentukan besarnya debit andalan dibutuhkan seri data yang biasanya dimiliki oleh setiap stasiun pengamat debit. Metode yang sering dipakai untuk menganalisis debit andalan adalah metode statistik rangking. (Gibran 2014)

Definisi dari debit yaitu volume air yang mengalir pada suatu titik tiap satuan waktu. Volume ini dapat dinyatakan dalam satuan kubik maupun satuan liter. Sedangkan untuk waktunya bisa menggunakan detik, menit maupun jam. Selain itu, debit juga dapat ditentukan oleh luas penampang air dan kecepatan alirannya. Untuk luas penampang biasanya menggunakan satuan internasional meter persegi. Sedangkan untuk kecepatan umumnya menggunakan satuan meter per detik. (Gibran 2014)

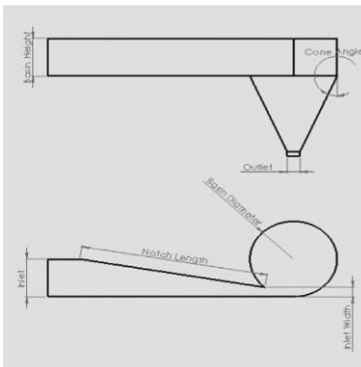
### 2.3 Basin

Basin atau wadah merupakan tempat pembentukan aliran pusaran air sekaligus tempat peletakan turbin. Pada umumnya wadah ini hanya dibentuk tabung seperti pada



**Gambar 2.2** *Basin vortex* bentuk tabung. (Dhakal,2015)

Pada gambar diatas basin berbentuk tabung yang mana aliran air masuk dari atas dan dikeluarkan melalui lubang dibawah tabung. Selain berbentuk tabung, basin juga dapat berbentuk bangun ruang yang lain seperti kubus, balok, prisma maupun kerucut. Salah satu peneliti yang bernama S. Dhakal melakukan penelitian untuk membandingkan basin yang berbentuk tabung dan kerucut seperti pada gambar.

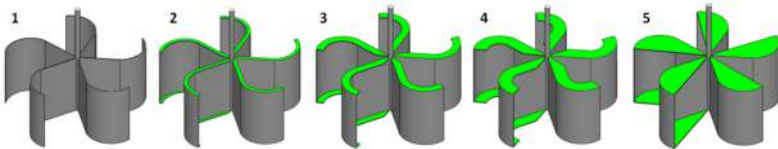


**Gambar 2.3** *Basin vortex* bentuk kerucut (Dhakal,2015)

Pada gambar diatas wadah basin sebagai penampung air dibuat lebih kecil pada bagian bawah dengan harapan aliran pusaran air yang terjadi menjadi lebih besar. Sedangkan untuk sistim masuk dan keluarnya aliran air masih sama seperti pada basin tabung. (Dhakal 2015)

## 2.4 Turbin

Pada sistim pembangkit listrik tenaga air, turbin merupakan bagian yang sangat penting. Alat ini mengubah energi air menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator. Salah satu bentuk turbin dapat dilihat seperti pada gambar 2.4



**Gambar 2.4** Turbin dengan 5 sudu (James J. Doland 1984)

**Gambar 2.4** adalah turbin dengan 5 sudu gerak (*blade*). Turbin sendiri adalah mesin penggerak yang memanfaatkan pergerakan fluida untuk memutar sudu turbin. (James J. Doland 1984)

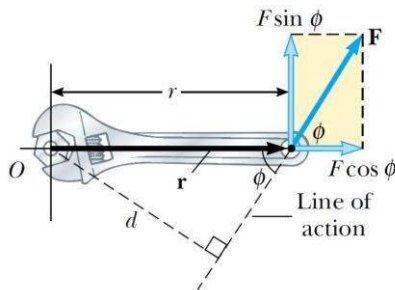
Bagian turbin terdiri dari rotor yang berputar mengikuti aliran fluida, dan stator yang tidak ikut berputar. Pada rotor terdiri dari poros yang bisa berupa tabung solid ataupun berongga, sudu gerak adalah baling-baling yang terpasang pada poros, dan bantalan (*bearing*) yang berfungsi untuk menahan turbin agar tetap pada posisinya. Kemudian pada stator terdiri dari *casing*

atau wadah dari turbin, sudu tetap untuk mengarahkan fluida yang masuk menuju sudu gerak. (Gibran,2014)

Turbin dapat dikelompokkan berdasarkan caranya merubah energi yaitu turbin impuls dan turbin reaksi. Pada turbin impuls semua energi potensial air dirubah menjadi energi kinetik sebelum air masuk menyentuh sudu-sudu roda gerak oleh alat pengubah yan disebut *nosel*. Yang termasuk jenis turbin ini adalah turbin pelton. Sedangkan pada turbin reaksi seluruh energi potensial dari air diubah menjadi energi kinetik pada saat air melewati lengkung sudu-sudu pengarah, dengan demikian putaran roda gerak disebabkan oleh perubahan momentum air. Yang termasuk jenis turbin reaksi antara lain turbin francis, kaplan, dan propeller. (Muligan 2011)

## 2.4 Torsi

Apabila suatu gaya diberikan pada suatu benda kaku dan berputar terhadap sebuah sumbu, maka benda tersebut akan cenderung berputar terhadap sumbunya. Kecenderungan benda untuk berputar terhadap sumbu akibat gaya yang diberikan disebut dengan torsi. Ketika sebuah gaya diberikan pada suatu benda seperti



**Gambar 2.5** Torsi pada sebuah benda (Serway,2014)

Jika suatu gaya  $F$  diberikan pada suatu benda dengan kemiringan  $\theta$  sehingga benda berotasi terhadap sumbu  $O$  maka torsi  $\tau$  yang terbentuk adalah:

$$\tau = rF\cos\theta = Fd \dots\dots\dots (2.1)$$

Untuk  $d$  adalah garis tegak lurus gaya  $F$  terhadap titik  $O$  (*Serway, 2014*).

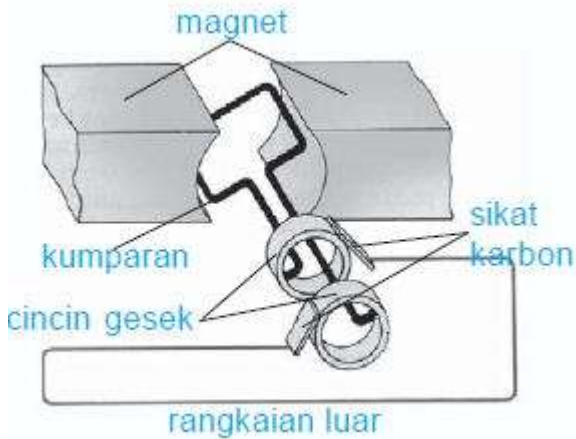
## 2.5 Generator Listrik AC

Generator listrik adalah mesin yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator menghasilkan arus listrik dengan cara memutar kumparan diantara celah kutub utara-selatan sebuah magnet. Jika kumparan diputar, jumlah garis gaya magnetik yang menembus kumparan akan berubah-ubah sesuai dengan posisi kumparan terhadap magnet. Perubahan garis gaya magnetik inilah yang menyebabkan gaya gerak listrik induksi diujung-ujung kumparan sehingga menghasilkan energi listrik. (*Dwiyanto, 2016*)

Terdapat dua jenis generator yaitu generator searah dan generator bolak balik. Perbedaan pada generator ini adalah pada cincin yang berhubungan dengan kedua ujung kumparan. Pada generator arus bolak balik terdapat dua buah cincin yang tiap cincinnya berhubungan dengan tiap ujung kumparan. Sedangkan pada generator arus searah hanya terdapat sebuah cincin yang terbelah di tengahnya. Cincin ini disebut komutator. (*Dwiyanto, 2016*)

Prinsip kerja dari suatu generator arus bolak balik sederhana yaitu ujung-ujung kumparannya berada di dalam medan magnet terhubung pada cincin 1 dan cincin 2 yang ikut berputar jika kumparan diputar. (*Dwiyanto, 2016*)





**Gambar 2.7** Generator AC (Hendra,2010)

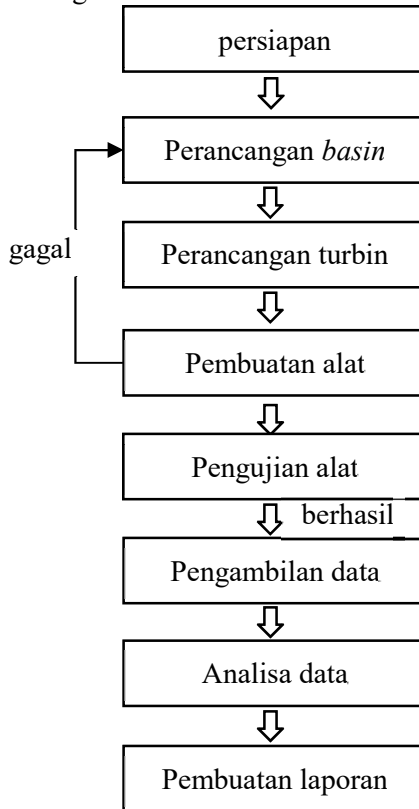
Pada gambar diatas cincin tersebut terhubung dengan sikat karbon A dan B. kedua sikat karbon ini tidak ikut berputar bersama cincin dan kumparan. Ketika kumparan berputar, terjadi arus listrik induksi pada kumparan. Arus induksi ini mengalir melalui sikat karbon sehingga lampu menyala. Saat posisi kumparan tegak lurus terhadap medan listrik magnetik arus induksi berhenti mengalir. Beberapa saat setelah kumparan melanjutkan putarannya arus listrik induksi kembali mengalir dalam kumparan tetapi dengan arah yang berbeda sehingga terjadi arus listrik. Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa generator AC menghasilkan arus bolak balik. (Hendra,2010)



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Tahap-Tahap Penelitian

Pada penelitian ini dilaksanakan dengan mengikuti tahap-tahap seperti pada diagram alir berikut ini:



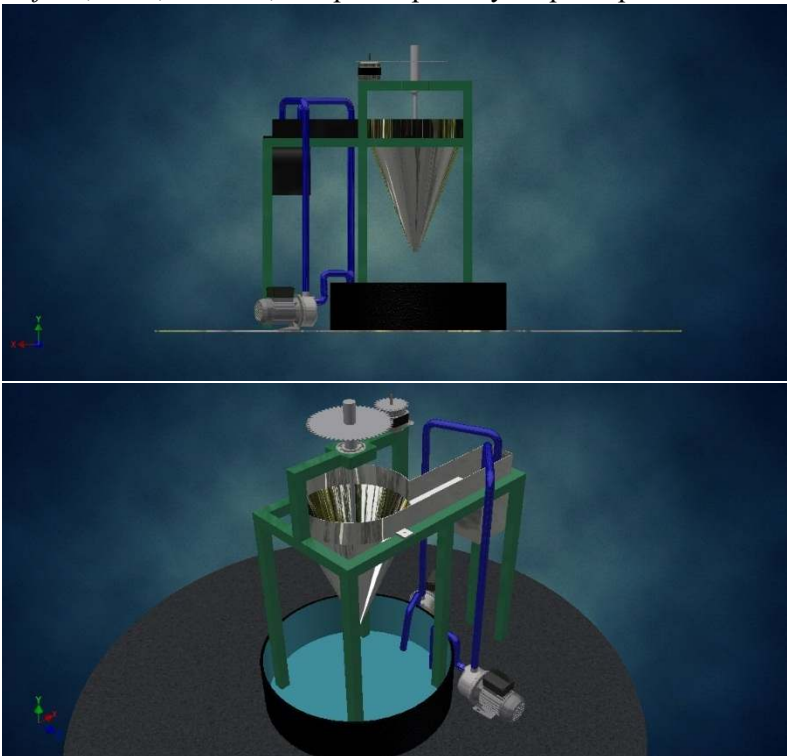
**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian

### 3.2 Tahap Persiapan

Pada tahap persiapan dilakukan pengkajian referensi-referensi jurnal tentang penelitian pembangkit listrik tenaga pusaran gravitasi air dari desain basin, desain turbin, dan kondisi-kondisi yang digunakan.

### 3.3 Perancangan *Basin*

Dari hasil pengkajian dari referensi-referensi, dibuat desain yang akan digunakan pada penelitian seperti diameter basin dan *oriface*, *head*, debit air, dan penempatannya seperti pada

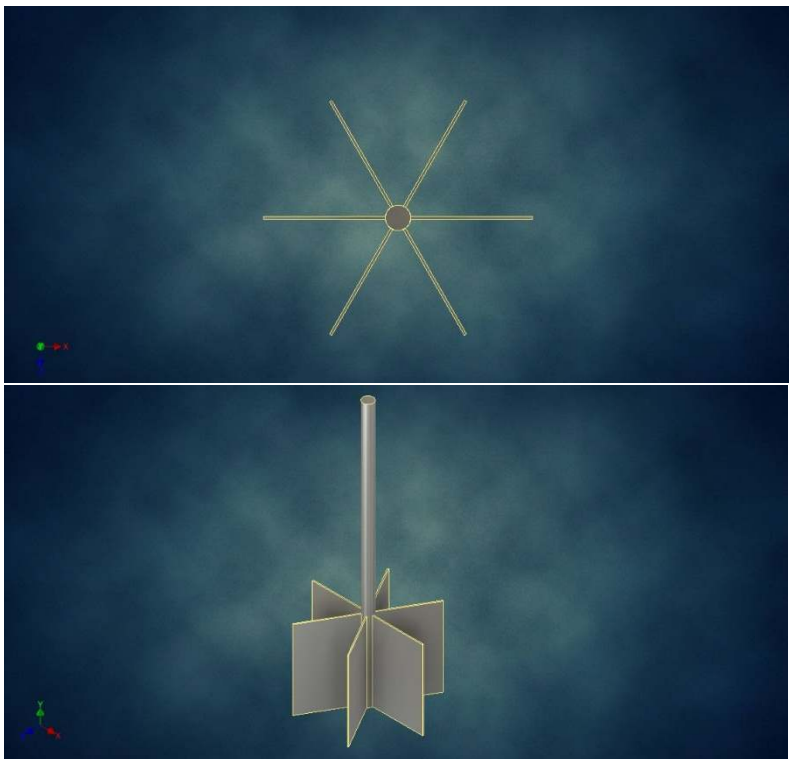


**Gambar 3.2** Desain basin kerucut serta tempat penampung air.

**Gambar 3.2** adalah hasil perancangan bentuk *basin vortex* yang telah dilakukan dengan diameter atas 50 cm dan diameter *outlet* 5 cm.

### 3.4 Perancangan Turbin

Dilakukan perancangan bentuk turbin seperti pada **Gambar 3.3**



**Gambar 3.3** Desain baling-baling yang digunakan.

**Gambar 3.3** adalah desain turbin yang telah dibuat dengan jumlah 6 *blade* dan luas *blade*  $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ .

### 3.5 Pembuatan Alat

Dari perancangan *basin* dan turbin yang telah dilakukan, pada tahap ini dilakukan pengerjaan pembuatan alat seperti pada **Gambar 3.4**



**Gambar 3.4** pembangkit listrik tenaga pusran gravitasi air yang telah dibuat

Pada **Gambar 3.4** telah dibuat pembangkit listrik tenaga pusran gravitasi air dengan Basin serta tempat penampung air sementara dibuat menggunakan material stainless teel. Kerangka dibuat menggunakan besi siku lubang. sedangkan turbin dibuat dari besi berbentuk tabung berongga untuk poros turbin dan plat besi untuk blade turbin dan diberi cat.

### 3.6 Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan dengan cara mengalirkan air dengan pompa air yang menghasilkan debit air 90 liter/menit ke dalam penampungan air. Dengan menggunakan diameter *outlet basin*

3 cm, dapat terbentuk fenomena *vortex* seperti pada **Gambar 3.5**



**Gambar 3.5** Fenomena *vortex* yang terbentuk

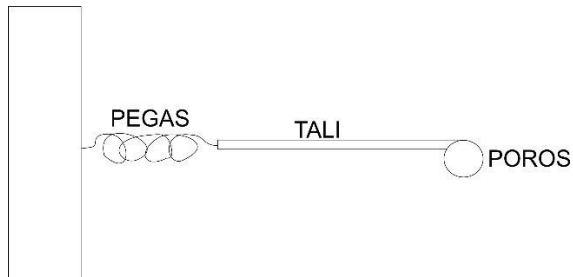
**Gambar 3.5** berhasil terbentuk fenomena *vortex* dengan debit air 90 liter/menit dan diameter *outlet basin* 3 cm.

### 3.7 Pengambilan Data

Setelah alat telah selesai dibuat, dimulailah pengambilan data dengan pemberian debit air 180 liter/menit dan variasi ketinggian turbin terhadap *basin* yaitu 18cm, 20 cm, 22 cm, 24 cm, dan 26 cm. Data yang diambil berupa:

#### 3.7.1 Pengukuran torsi pengereman maksimal

Untuk pengukuran torsi, digunakan pegas yang disambungkan dengan tali seperti pada **Gambar 3.6**

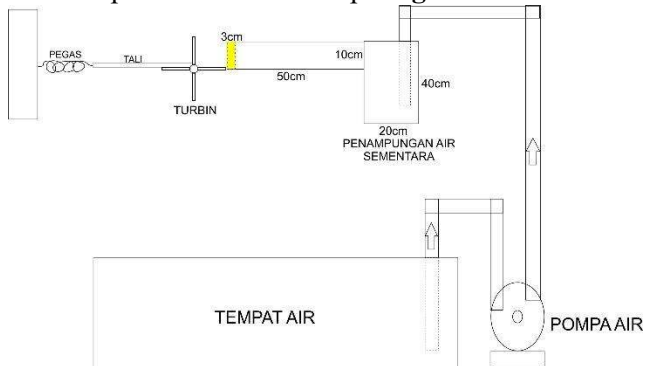


**Gambar 3.6** Pengukuran torsi pengereman maksimal

Seperti pada **gambar 3.6** tali kemudian dililitkan pada poros turbin. Didapatkan perubahan panjang pegas yang kemudian digunakan untuk menghitung torsi pengereman maksimal.

### 3.7.2 Pengukuran Torsi aliran Linier

Pengukuran torsi dilakukan pada aliran linier yang akan masuk pada *basin vortex* seperti **gambar 3.7**



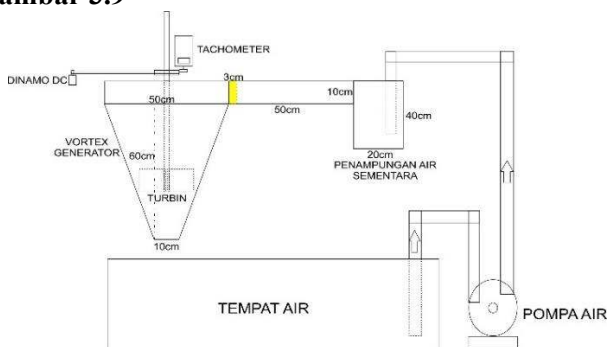
**Gambar 3.7** Pengukuran torsi aliran linier



**Gambar 3.7** menunjukkan proses pengukuran aliran linier dengan cara mengubah posisi turbin menjadi horizontal. pegas dikaitkan pada tali yang dililitkan pada poros turbin sehingga didapatkan perubahan panjang pegas. Data perubahan panjang pegas digunakan untuk menghitung besar torsi yang dihasilkan.

### 3.7.3 Pengukuran rpm

Untuk mengukur *rpm* dari turbin, menggunakan *stopwact*. Proses pengukuranya dilakukan seperti pada **gambar 3.9**



**Gambar 3.9** Skema pengukuran *rpm*

### 3.8 Analisis data

Dari pengukuran yang dilakukan didapatkan tegangan, arus listrik, *rpm*, torsi, dan daya mesin. Kemudian, dilakukan analisis hasil dari perancangan dan pembuatan pembangkit listrik tenaga pusaran gravitasi air dengan basin kerucut.

### **3.9 Pembuatan laporan**

Setelah semua proses telah dilakukan, kemudian dibuat laporan hasil dari penelitian yang dilakukan.

**BAB IV**  
**ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

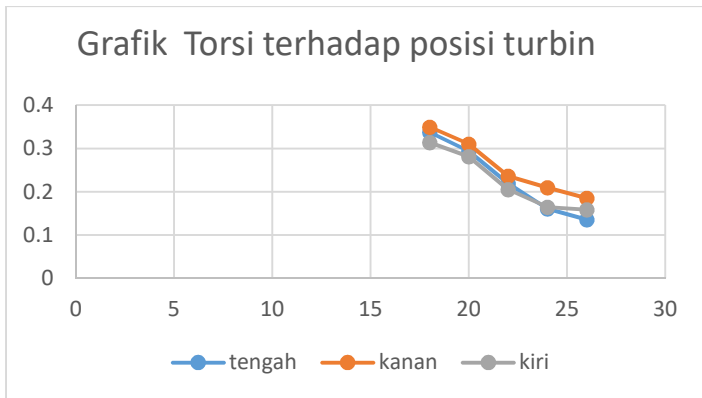
**4.1 Torsi Pengereman**

Pengukuran torsi dilakukan dengan menggunakan pegas yang memiliki koefisien  $k = 67,7 \text{ N/m}$ , diikat dengan tali yang dikaitkan pada poros turbin dengan jari jari  $1 \text{ cm}$  ( $r = 0.01 \text{ m}$ ) hingga turbin mengalami pengereman maksimal. Didapatkan perubahan panjang pegas  $\Delta x$  diterapkan pada persamaan (2.1) menjadi

$$\tau = r \times \Delta x \times k \dots\dots\dots (4.1)$$

Dapat dilihat pada table A1 pada lampiran dengan menempatkan turbin pada posisi yang berbeda, memiliki perbedaan hasil yang cukup signifikan. Posisi di sebelah kanan berarti letak turbin sangat dekat dengan air yang akan masuk ke basin, posisi di sebelah kiri menandakan letak turbin jauh dengan aliran air yang pertama kali masuk ke basin. Sedangkan posisi di tengah artinya turbin tepat berada di tengah basin yang merupakan tempat terjadinya vortex. Torsi terbesar diperoleh dari posisi turbin di sebelah kanan dengan ketinggian  $18 \text{ cm}$  yaitu sebesar  $0.349172 \text{ Nm}$ . Sedangkan torsi paling kecil didapat ketika ketinggian  $26 \text{ cm}$  dengan posisi turbin di sebelah kiri dengan nilai  $0,158428 \text{ Nm}$ .

Dari data torsi yang diperoleh apabila dibuat dalam bentuk grafik maka akan menjadi



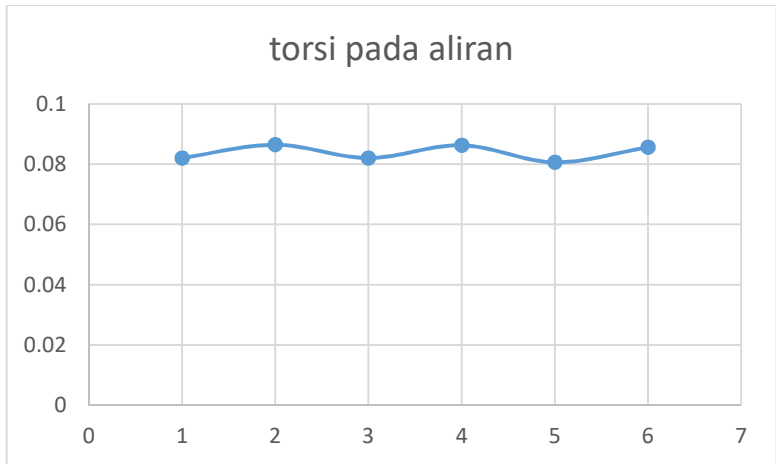
**Gambar 4.1** Grafik torsi terhadap ketinggian turbin

Terlihat bahwa pada posisi turbin di sebelah kanan menghasilkan torsi yang paling besar. Hal ini dipengaruhi oleh gaya tekan air ketika terbentuk *vortex* pada basin. Pada penempatan posisi turbin paling dekat dengan masuknya air akan mendapat dorongan lebih besar ketika air mulai memasuki basin dari air penampungan. Begitu juga sebaliknya untuk letak yang jauh dari masuknya air akan mendapatkan dorongan air yang lebih rendah. Ketika posisi turbin ditengah tengah basin nilai torsi menjadi lebih besar dari pada disebelah kiri. Hal ini dikarenakan posisi di tengah merupakan tepat terjadinya vortex, sehingga akan menghasilkan gaya dorong yang lebih besar.

#### 4.2 Torsi pada Aliran Linier

Sebagai pembandingan, dilakukan pengambilan torsi pengereman maksimal dari arah linier yaitu aliran air dari tempat penampungan air. Debit yang digunakan sama dengan debit untuk *vortex*. Pada pengambilan data ini, sumbu turbin diubah menjadi

horizontal dan tegak lurus dengan arah aliran air. Didapatkan besar torsi seperti pada Tabel A2 pada lampiran . Setelah diperoleh data tersebut maka dapat dibuat grafik menjadi



**Gambar 4.2** Grafik torsi terhadap ketinggian turbin

terlihat bahwa torsi aliran linier yang dihasilkan lebih kecil dari pada torsi *vortex*. Hal ini dikarenakan karena pada aliran linear tenaga pendorong terjadi hanya karena debit air. Sedangkan pada *vortex*, tenaga pendorong diperoleh selain dari debit air juga karena gravitasi. Maka dengan dibentuk *vortex* dapat menghasilkan torsi yang lebih besar.

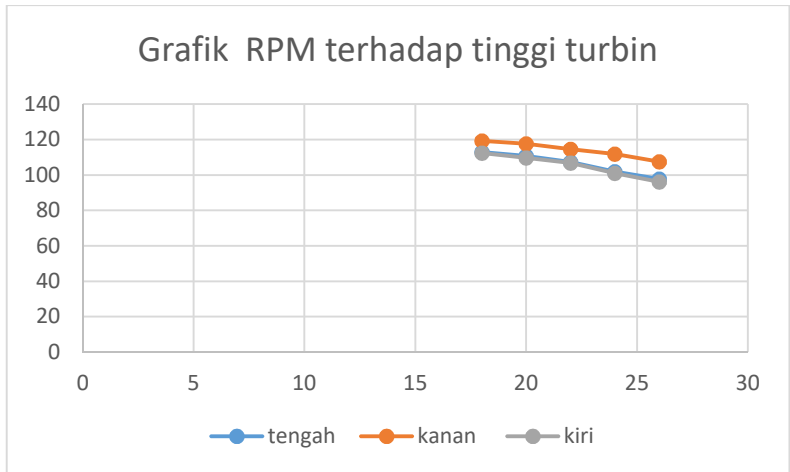
### 4.3 RPM

Untuk mengetahui besarnya *rpm* dapat dilakukan dengan cara menghitung waktu yang dibutuhkan dalam rentang putaran tertentu. Dalam hal ini digunakan 60 putaran lalu dihitung berapa waktu yang dibutuhkan. Dari hasil pengukuran diperoleh *rpm* sebagai berikut

Dari tabel A.3 pada lampiran 1 menunjukkan besarnya RPM dilihat dari posisi turbin. Turbin tengah berarti turbin tepat berada pada aliran vortex yang menjadi pusat wadah atau basin. Posisi di kanan berarti posisi turbin dekat air yang masuk dari saluran. Sedangkan posisi di kiri menunjukkan turbin berada jauh dengan air yang pertama kali masuk ke wadah. Dapat dilihat nilai rpm pada turbin didapatkan nilai terbesar pada posisi turbin disebelah kanan yaitu 119,2480944. Sedangkan yang paling kecil putarannya adalah pada turbin di sebelah kiri dengan nilai 96,20720682.

Dari ketiga posisi tersebut terlihat dimana turbin ketika berada dekat air yang masuk menunjukkan nilai RPM yang lebih besar dibandingkan dengan yang lain. Sedangkan untuk posisi di tengah dan disebelah kiri menunjukkan nilai yang hamper sama. Hal ini dikarenakan ketika turbin berada dikanan, mendapatkan aliran air yang lebih kuat dibandingkan dengan ditengah maupun di sebelah kiri.

Setelah diperoleh data dari masing masing posisi dapat ditampilkan ke dalam bentuk grafik untuk mengetahui perbedaan dari tiap tiap posisinya



**Gambar 4.3** Grafik rpm terhadap ketinggian turbin

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa semakin dalam turbin maka didapatkan *rpm* yang lebih besar. Karena, kecepatan putaran air di bawa lebih cepat dibandingkan kecepatan pusaran air di atas. Hal ini diakibatkan adanya gaya gravitasi bumi yang membuat kecepatan pusaran air semakin lama semakin cepat. Namun pada ketinggian 20 cm dan 18 cm, memiliki kecepatan putaran air yang tidak jauh berbeda sehingga didapatkan nilai yang hampir sama walaupun pada ketinggian 20 cm memiliki *rpm* lebih kecil.

Rpm menandakan kecepatan angular dari suatu benda yang berputar pada porosnya, pada sistem *vortex* ini terdapat hubungan antara kecepatan berputarnya turbin dengan pusaran air atau *vortex* yang terbentuk. Karena kecepatan turbin akan semakin meningkat ketika pusaran *vortex* semakin bagus, sehingga akan

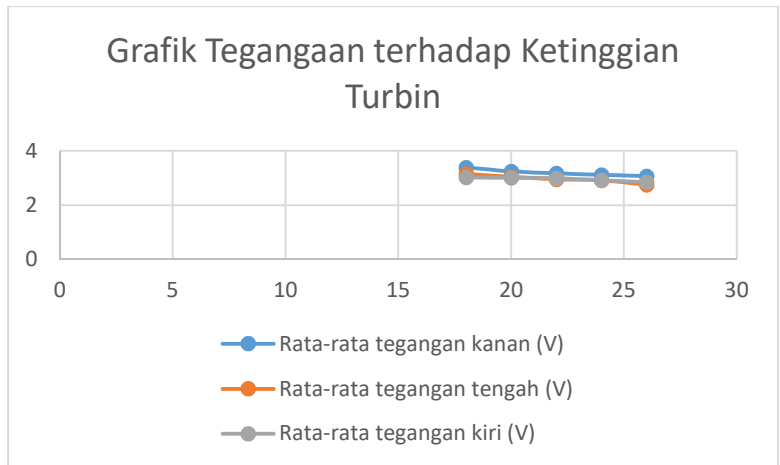
menyebabkan kecepatan turbin mengalami percepatan, karena dalam penelitian ini pusaran *vortex* lah yang akan menggerakkan turbin sehingga turbin berputar dan akan dikonversikan menjadi daya dengan menggunakan generator AC. Sehingga ketika terbentuk *vortex* dengan pusaran yang kuat maka akan menghasilkan putaran turbin yang juga semakin cepat.

#### **4.4 Tegangan**

Dilakukan penambahan dinamo AC pada pembangkit listrik tenaga pusaran gravitasi air. Selanjutnya dilakukan pengukuran tegangan tanpa pembebanan yaitu tanpa adanya penambahan komponen seperti resistor, kapasitor, atau dioda. Pengukuran dilakukan dari awal pompa dinyalakan pada untuk setiap variasi ketinggian turbin 18 cm, 20 cm, 22 cm, 24 cm, dan 26 cm.

Dari table A4 pada lampiran diketahui tegangan paling besar posisi sebelah kanan menghasilkan 3,3862 V , pada sebelah kiri 3,0164 V sedangkan ketika tepat berada ditengah menghasilkan 3,1451 V. Apabila dilihat secara keseluruhan, posisi disebelah kanan menghasilkan tegangan yang lebih besar dibandingkan dengan posisi ditempat lain. Dari data tegangan tersebut apabila ditampilkan dalam bentuk grafik maka akan menghasilkan





**Gambar 4.1** Grafik tegangan terhadap ketinggian turbin

Dari data dan grafik diatas terlihat bahwa semakin dalam kedalaman turbin didapatkan tegangan yang semakin besar yaitu pada ketinggian 18 cm menghasilkan besar tegangan 3,3862. Variasi ketinggian penempatan sudu turbin dilakukan untuk mendapatkan titik optimal pada ketinggian dari permukaan air *vortex*, dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan bahwa penempatan sudu turbin mendekati permukaan air nilainya akan besar. dengan catatan yang perlu diingat adalah data yang diperoleh dari penelitian ini adalah berupa tegangan dan arus AC.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil perancangan dan pembuatan pembangkit listrik tenaga pusaran gravitasi air didapat kesimpulan:

1. Besar torsi pengereman maksimal yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga pusaran gravitasi air dengan basin kerucut adalah ( $0,3226 \pm 0,024$ ) Nm
2. Rpm maksimum yang terjadi pada pembangkit listrik tenaga pusaran gravitasi air basin kerucut 119.2480944
3. Tegangan maksimum yang terjadi pada pembangkit listrik tenaga pusaran gravitasi air basin kerucut ( $3,3862 \pm 0,0015$ )
4. Posisi dan ketinggian turbin terbaik adalah pada ketinggian 18 cm sebelah kanan dekat dengan aliran masuk air sehingga menghasilkan rpm dan torsi yang maksimal pada pembangkit listrik tenaga pusaran gravitasi air basin kerucut.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. membuat pembangkit listrik tenaga pusaran gravitasi air dengan basin tabung.
2. menambah debit air yang masuk ke basin vortex untuk diameter outlet yang lebih besar.
3. membuat basin vortex dengan sudut antara alas dan sisi miring yang beda.
4. menambah jumlah blade pada turbin.
5. mengubah bentuk blade pada turbin.

*"Halaman ini sengaja dikosongkan"*

## DAFTAR PUSTAKA

- Dhakal S, dkk. 2015. *Comparison of cylindrical and conical basins with optimum position of runner: Gravitational water vortex power plant*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 48 662–669
- Dwiyanto, Very. 2016. Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. Lampung. Universitas Lampung
- Gibran. 2014. Rancang bangun turbin *vortex* dengan casing berpenampang lingkaran yang menggunakan sudu diameter 46cm pada 3 variasi jarak antara sudu dan saluran keluar. Medan: USU.
- Gunawan, Oktafeni, 2013. Pemantauan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. Jurnal rekayasa elektrika 10(4) : 203
- Hendra Saptadi. 2010. Perancangan dan Pembuatan Charger Handphone Portable Menggunakan Sistem Penggerak Generator AC. Akademi Teknik Telekomunikasi Purwokerto.
- James J. Doland. 1984. *Hydro Power Engineering, A Textbook for Civil Engineering*, The Ronald Press Company, New York
- Muligan S, Hull P. 2011. *Optimisation of a Water Vortex Hydropower plant*. Departemen of Civil engineering Ana construction, The Institute Technology Sligo.
- Serwey R A, dan Jewett J W. 2004. *Physics for Scientists and Engineers 6th Edition*. Thomson Brooks.
- Theraja B L, Theraja A K. 2008. *A Textbook of Electrical Technology in S.I Units*. New Delhi: S. Chand & company Ltd.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN

**Tabel A1** Torsi pada setiap variasi ketinggian turbin

Ketinggian Turbin (cm)	18	20	22	24	26
$\tau$ (Nm) tengah	0.337594 $\pm 0.0119$	0.293719 $\pm 0.0210$	0.218679 $\pm 0.0222$	0.160875 $\pm 0.0255$	0.135281 $\pm 0.0278$
$\tau$ (Nm) kanan	0.349172 $\pm 0.0117$	0.310172 $\pm 0.0230$	0.236089 $\pm 0.0242$	0.209625 $\pm 0.0253$	0.18525 $\pm 0.0296$
$\tau$ (Nm) kiri	0.313625 $\pm 0.0115$	0.280922 $\pm 0.0250$	0.20475 $\pm 0.0232$	0.163922 $\pm 0.0251$	0.158428 $\pm 0.0257$

**Tabel A2** Torsi hasil pengukuran pada aliran linier.

Data ke-	1	2	3	4	5
$\tau$ (Nm)	0,08024	0,08620	0,082	0,08629	0,0806

**Tabel A3** Hasil pengukuran rpm pada pembangkit listrik tenaga pusaran gravitasi air

Ketinggian Turbin (cm)	18	20	22	24	26
RPM tengah	113.032 $\pm 1.06$	110.7336 $\pm 1.04$	107.412 $\pm 0.67$	101.846 $\pm 0.97$	97.828 $\pm 0.89$
RPM kanan	119.248 $\pm 1.21$	117.624 $\pm 1.51$	114.518 $\pm 0.72$	111.941 $\pm 0.76$	107.463 $\pm 0.92$
RPM kiri	112.420 $\pm 1.13$	109.688 $\pm 1.21$	106.797 $\pm 0.59$	101.003 $\pm 0.86$	96.207 $\pm 0.78$

**Tabel A4** Rata-rata tegangan dinamo dari setiap variasi kedalaman turbin

Ketinggian turbin (cm)	Rata-rata tegangan kanan (V)	Rata-rata tegangan tengah (V)	Rata-rata tegangan kiri (V)
18	3,3862 ±0,0015	3,1451 ±0,0021	3,0164 ±0,0019
20	3,2249 ±0,0023	3,0683 ±0,0032	3,0038 ±0,0027
22	3,1133 ±0,0044	2,9786 ±0,0039	2,9346 ±0,0036
24	3,1029 ±0,0046	2,9127 ±0,0054	2,9011 ±0,0065
26	2,97990 ±0,0073	2,7213 ±0,0056	2,8433 ±0,0031

**Tabel A5.** Nilai Kecepatan Angular dalam Satuan Rpm pada sisi kiri

Ketinggian				
18	20	22	24	26
112,54	109,28	106,21	101,77	98,75
111,96	110,03	106,03	100,49	99,64
113,03	110,19	106,69	101,57	97,29
112,77	108,93	106,67	102,92	98,30
112,56	110,27	106,28	101,35	99,98
113,21	109,63	106,92	101,96	96,24
110,98	110,13	107,75	101,86	97,45



112,25	110,25	105,07	101,82	98,64
113,04	109,76	106,31	103,80	99,10
111,57	109,55	107,36	100,08	96,14
113,24	109,84	106,72	111,33	96,53
112,88	109,28	106,39	100,46	95,38
113,28	109,34	105,78	101,01	94,70
111,79	109,09	107,31	103,52	96,66
112,36	109,30	107,20	102,39	95,37
113,10	109,66	106,05	102,26	97,29
112,34	109,74	106,46	101,86	97,21
114,01	109,11	106,46	101,84	96,40
112,55	109,39	107,43	101,97	96,21
111,95	109,77	107,03	100,02	98,50

**Tabel A6.** Nilai Kecepatan Angular dalam Satuan Rpm pada sisi tengah

Ketinggian				
112,88	109,28	107,39	100,46	97,38
113,57	110,55	106,36	101,08	96,14
113,24	109,84	108,72	101,33	96,53
112,88	110,28	106,39	101,46	97,38
111,28	109,34	108,78	100,01	97,70
114,79	110,09	107,31	101,52	96,66
112,09	110,19	107,43	101,29	97,25

113,46	110,10	107,32	100,23	97,91
112,22	110,50	107,98	101,08	97,20
113,09	111,71	107,98	110,15	96,15
113,43	110,29	114,12	102,43	98,23
112,77	108,93	106,67	102,92	98,30
113,56	110,27	106,28	101,35	97,98
114,68	110,10	107,29	101,01	97,43
118,34	111,63	108,00	101,43	97,75
114,76	110,68	106,29	100,29	97,04
113,24	109,54	107,63	100,76	96,86
114,95	110,29	107,52	101,17	97,43
113,65	110,75	107,29	102,07	98,75
113,46	111,69	107,12	100,95	97,04
112,88	109,28	107,39	100,46	97,38

**Tabel A7.** Nilai Kecepatan Angular dalam Satuan Rpm kanan

Ketinggian				
18	20	22	24	26
119,22	117,50	114,98	111,08	107,20
119,09	117,71	114,98	110,15	108,15
119,43	118,29	114,12	112,43	107,23
119,19	116,69	114,43	111,29	106,32
118,10	117,43	114,32	111,29	108,04

119,63	118,19	115,41	112,94	108,86
118,68	118,10	114,29	112,01	107,43
118,34	117,63	115,00	111,43	107,75
118,76	118,68	114,29	110,29	107,04
11902	117,54	114,63	110,76	108,86
119,95	117,29	114,52	111,17	107,43
11891	118,75	115,29	112,07	108,75
120,17	117,69	113,12	110,95	107,04
119,31	116,43	114,43	111,01	107,86
11886	118,19	115,32	110,55	107,43
120,19	118,10	114,41	111,12	107,08
120,10	117,63	115,41	110,01	108,04
119,63	117,68	114,12	111,43	106,21
119,09	117,19	115,43	112,29	107,25
119,46	117,10	114,32	112,23	107,91

**Tabel A8.** . Nilai Torsi dalam satuan Nm pada posisi kiri basin

Ketinggian				
18	20	22	24	26
0,2430	0,2403	0,2490	0,2083	0,1629
0,2477	0,2477	0,2089	0,1696	0,1377
0,2430	0,2443	0,2043	0,1629	0,1343
0,2463	0,2463	0,2016	0,1669	0,1363

0,2417	0,2457	0,2069	0,1696	0,1357
0,2423	0,2463	0,2043	0,1616	0,1363
0,2463	0,2477	0,2096	0,1629	0,1343
0,2403	0,2443	0,2069	0,1669	0,1309
0,2450	0,2477	0,2043	0,1629	0,1329
0,2423	0,2430	0,2083	0,1696	0,1383
0,2477	0,2477	0,2043	0,1656	0,1396
0,2490	0,2463	0,2009	0,1642	0,1342
0,2403	0,2443	0,2029	0,1682	0,1395
0,2477	0,2477	0,2083	0,1656	0,1315
0,2490	0,2403	0,2043	0,1669	0,1369
0,2463	0,2430	0,2029	0,1629	0,1395
0,2490	0,2463	0,2069	0,1696	0,1309
0,2430	0,2490	0,2083	0,1616	0,1363
0,2417	0,2403	0,2029	0,1669	0,1343
0,2430	0,2403	0,2490	0,2083	0,1629

**Tabel A9** Nilai Torsi dalam satuan Nm pada posisi tengah basin

Ketinggian				
18	20	22	24	26
0,1390	0,2416	0,2370	0,2143	0,1649
0,2403	0,2343	0,2143	0,1683	0,1595
0,2490	0,2303	0,2150	0,1643	0,1569

0,2490	0,2363	0,2130	0,1609	0,1542
0,2403	0,2343	0,2163	0,1629	0,1582
0,2477	0,2377	0,2143	0,1683	0,1556
0,2463	0,2383	0,2129	0,1696	0,1555
0,2443	0,2310	0,2183	0,1623	0,1515
0,2403	0,2390	0,2190	0,1683	0,1529
0,2430	0,2330	0,2116	0,1656	0,1582
0,2477	0,2377	0,2163	0,1689	0,1496
0,2403	0,2343	0,2190	0,1669	0,1569
0,2463	0,2356	0,2189	0,1636	0,1529
0,2490	0,2343	0,2143	0,1609	0,1542
0,2450	0,2356	0,2143	0,1623	0,1569
0,2430	0,2356	0,2116	0,1689	0,1595
0,2416	0,2316	0,2169	0,1696	0,1515
0,2450	0,2356	0,2143	0,1623	0,1569
0,2403	0,2396	0,2196	0,1649	0,1595
0,1390	0,2416	0,2370	0,2143	0,1649

**Tabel A10** Nilai Torsi dalam satuan Nm pada posisi kanan basin

Ketinggian				
18	20	22	24	26
0,1582	0,3290	0,2990	0,2483	0,2036
0,3263	0,2956	0,2389	0,2036	0,1829

0,3290	0,2943	0,2443	0,2009	0,1842
0,3230	0,2956	0,2416	0,2089	0,1895
0,3216	0,2916	0,2469	0,2096	0,1815
0,3250	0,2956	0,2443	0,2023	0,1869
0,3203	0,2996	0,2496	0,2049	0,1895
03290	0,2943	0,2469	0,2096	0,1809
0,3216	0,2970	0,2443	0,2049	0,1882
0,3290	0,2916	0,2483	0,2036	0,1869
0,3203	0,2943	0,2443	0,2083	0,1895
0,3230	0,2996	0,2509	0,2009	0,1842
0,3263	0,2983	0,2429	0,2096	0,1855
0,3243	0,2910	0,2483	0,2023	0,1815
0,3250	0,2943	0,2443	0,2036	0,1809
0,3230	0,2996	0,2429	0,2076	0,1842
03203	0,2910	0,2469	0,2009	0,1895
0,3203	0,2970	0,2483	0,2049	0,1842
0,3316	0,2910	0,2429	0,2036	0,1809
0,1582	0,3290	0,2990	0,2483	0,2036

**Tabel A11.** Nilai Tegangan dalam Satuan Volt pada posisi kiri basin

Ketinggian				
18	20	22	24	26
3,01	3,01	2,98	2,94	2,89

3,03	3,03	2,91	2,86	2,82
3,07	3,02	2,95	2,89	2,88
3,04	3,04	2,94	2,91	2,86
3,02	3,01	2,89	2,93	2,81
3,03	3,05	2,99	2,94	2,84
3,05	3,02	2,93	2,89	2,87
3,06	3,01	2,97	2,91	2,83
3,04	3,03	2,92	2,88	2,84
3,10	3,04	2,96	2,87	2,89
3,09	3,02	2,93	2,93	2,80
3,08	3,03	2,99	2,89	2,81
3,07	3,01	2,88	2,91	2,85
3,11	3,06	2,86	2,94	2,87
3,05	3,01	2,92	2,88	2,88
3,02	3,02	2,91	2,92	2,82
3,06	3,05	2,97	2,93	2,84
3,01	3,02	2,95	2,95	2,81
3,02	3,03	2,96	2,87	2,85
3,07	3,01	2,98	2,90	2,86

**Tabel A12.** . Nilai Tegangan dalam Satuan Volt pada posisi tengah basin

Ketinggian				
18	20	22	24	26

3,19	3,00	2,98	2,94	2,79
3,20	3,02	2,99	2,92	2,70
3,11	3,08	3,02	2,90	2,77
3,12	3,06	2,96	2,89	2,75
3,15	3,05	3,97	2,88	2,74
3,14	3,07	2,99	2,80	2,78
3,18	3,01	2,94	2,85	2,71
3,10	3,04	2,97	2,81	2,74
3,17	3,02	3,00	2,92	2,73
3,19	3,05	3,03	2,99	2,79
3,14	3,07	3,02	2,97	2,71
3,12	3,08	2,98	2,90	2,72
3,15	3,10	3,01	2,91	2,77
3,21	3,01	2,97	2,92	2,70
3,14	3,02	2,93	2,93	2,80
3,18	3,04	3,02	2,96	2,76
3,17	3,02	3,03	2,95	2,74
3,16	3,05	2,95	2,94	2,75
3,14	3,06	2,98	2,93	2,73
3,17	3,08	2,99	2,96	2,72

**Tabel A13.** Nilai Tegangan dalam Satuan Volt pada posisi kanan basin

Ketinggian



18	20	22	24	26
3,40	3,29	3,15	3,10	2,97
3,38	3,28	3,17	3,09	2,96
3,37	3,25	3,18	3,07	2,91
3,30	3,30	3,13	3,12	2,95
3,31	3,21	3,11	3,05	2,96
3,32	3,26	3,12	3,11	2,98
3,37	3,22	3,14	3,08	2,92
3,38	3,21	3,16	3,13	2,93
3,39	3,23	3,19	3,10	2,94
3,29	3,28	3,15	3,15	2,99
3,28	3,26	3,14	3,04	2,90
3,40	3,27	3,09	3,02	2,93
3,41	3,20	3,10	3,06	2,92
3,39	3,19	3,08	3,05	2,95
3,37	3,31	3,12	3,02	2,93
3,35	3,32	3,18	3,08	2,90
3,34	3,28	3,16	3,06	2,96
3,33	3,27	3,14	3,02	2,98
3,35	3,20	3,17	3,01	2,99
3,36	3,25	3,15	3,04	2,91



## BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Ponorogo, pada tanggal 24 Mei 1994. Dilahirkan dengan nama lengkap Panji Feryanto, dengan nama panggilan "Panji". penulis merupakan anak tunggal yang lahir dari pasangan Bapak Supono dan Ibu Watemi. Penulis menempuh Pendidikan di SDN 2 Pangkal, SMPN 1 Jetis, dan SMAN 2 Ponorogo. Semasa SMA, penulis mengikuti kegiatan PRAMUKA dan PMR. Pada tahun 2012 penulis menjadi mahasiswa Fisika ITS melalui jalur SNMPTN undangan. Pada tahun pertama aktif di angkatan dan juga jurusan Fisika. Selanjutnya mulai tahun kedua mulai aktif di UKM Pramuka mulai dari anggota Bidang, Koordinator Bidang hingga menjadi Pengurus Harian. Pada Tahun 2014 menjadi Ketua Panitia Untuk Lomba Pramuka Tingkat Penegak Se Jawa Timur yang diadakan oleh Pramuka ITS.