

## ABSTRAK

**BROY MANSAH. Analisis Kinerja Prototipe Turbin *Cross Flow* Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Dengan Kapasitas Generator 300 Watt.** Dosen pembimbing MASSUS SUBEKTI, MT. dan MUHAMMAD RIF'AN, MT.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perancangan dan hasil pengujian prototipe turbin *cross flow* dan mendapatkan data teknis hasil uji coba rancangan turbin *cross flow* yang digunakan sebagai bahan evaluasi kinerja prototipe turbin *cross flow*. Penelitian ini dilakukan di Gedung L Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta selama 2 bulan, yaitu sejak bulan Oktober sampai dengan bulan November 2014.

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* dengan terlebih dahulu melakukan observasi terhadap dimensi turbin *cross flow*, penempatan PLTMH, dan ketinggian air. selanjutnya dilakukan perhitungan terhadap tekanan, kecepatan dan debit air serta putaran turbin *cross flow* dan putaran generator kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran terhadap besaran debit air, putaran turbin dan generator, tegangan dan frekuensi. Perbandingan yang didapat merupakan kinerja prototipe turbin *cross flow*.

Prototipe turbin *cross flow* dengan diameter 30 cm, lebar turbin 2 cm, panjang sudu 5 cm dan belum dapat bekerja secara optimal. Potensial air yang diberikan untuk memenuhi putaran turbin *cross flow* pada *head* 14,27 meter dengan debit air 0,014 m<sup>3</sup>/s menghasilkan kecepatan putar 490,5 RPM saat sebelum ditransmisikan dengan generator. Sedangkan, kecepatan putar turbin *cross flow* saat ditransmisikan dengan generator hanya mampu berputar 213,1 RPM menghasilkan tegangan 70 Volt dan Frekuensi 20 Hertz.

Untuk menghasilkan daya 300 watt dengan putaran generator 3000 RPM maka perlu dilakukan *redesign* dimensi turbin *cross flow*. Perancangan *redesign* dimensi turbin *cross flow* yang dilakukan ialah diameter turbin menjadi 0,06 m, lebar turbin 8 cm, dan perbandingan *pulley* 1 : 2,42.

Kata kunci: Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), Turbin *cross flow*.

## ABSTRACT

**BROY MANSAH. Performance Analysis of Cross Flow Turbine Prototype At Micro Hydro Power Plant With Capacity 300 Watt Generator.** MASSUS SUBEKTI Supervisor, MT. and MUHAMMAD RIF'AN, MT.

This study aims to determine the design and prototype test results and obtain cross flow turbine technical data test results draft cross flow turbines are used as a performance evaluation of a cross flow turbine prototype. This research was conducted in Building L Electrical Engineering, Faculty of Engineering, State University of Jakarta for 2 months, ie from October to November, 2014.

This study uses research and development to first observe the cross flow turbine dimensions and location of subsequent testing of calculation of the amount of pressure, velocity and water discharge and round cross flow turbine and generator then compared with the results of measurements of the amount of water flow, a turbine wheel and generators.

Prototype cross flow turbine with a diameter of 30 cm, 2 cm wide turbine blades, blade length of 5 cm has not been able to work optimally. Potential water supplied to meet a cross flow turbine wheel in the head with a 14.27 meter water discharge  $0,014 \text{ m}^3 / \text{s}$  produces 490.5 RPM rotational speed while before it is transmitted to the generator. Meanwhile, cross flow turbine rotational speed when transmitted to the generator only capable of rotating at a speed of 213.1 RPM produces a voltage of 70 volts and a frequency of 20 Hertz.

To generate power of 300 watts at 3000 RPM rotation generator it is necessary to redesign dimensional cross flow turbine. Design redesign dimensional cross flow turbines do is to be 0.06 m diameter turbine, turbine 8 cm wide, and the pulley ratio of 1: 2.42.

Keywords: Micro Hydro Power (MHP), Cross Flow Turbine.

## LEMBAR PENGESAHAN

NAMA DOSEN	TANDA TANGAN	TANGGAL
Massus Subekti, MT. (Dosen Pembimbing I)	.....	.....
Muhammad Rif'an, MT. (Dosen Pembimbing II)	.....	.....

## PENGESAHAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

NAMA DOSEN	TANDA TANGAN	TANGGAL
Drs. Wisnu Djatmiko, MT. (Ketua Penguji)	.....	.....
Drs. Readysal Monantun. (Anggota Penguji)	.....	.....
Dr. Suyitno, M. Pd. (Anggota Penguji)	.....	.....

Tanggal Lulus:

## HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis skripsi saya ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri dengan arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, Januari 2015

Yang membuat pernyataan



Broy Mansah

5115107240

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, karunia, dan hidayah-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Analisis Kinerja Prototipe Turbin Cross Flow Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Dengan Kapasitas Generator 300 Watt**”. Yang merupakan persyaratan untuk meraih gelar Sarjana Pendidikan Teknik Elektro pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.

Keterbatasan kemampuan saya dalam penelitian ini, menyebabkan saya sering menemukan kesulitan. Oleh karena itu, skripsi ini tidaklah dapat terwujud dengan baik tanpa adanya bimbingan, dorongan, saran-saran, dan bantuan dari berbagai pihak. Maka sehubungan dengan ini saya ingin menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Drs. Wisnu Djatmiko, MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.
2. Drs. Readysal Monantun. selaku Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.
3. Massus Subekti, S. Pd, MT. selaku dosen pembimbing I
4. Muhammad Rif'an, ST,MT. selaku dosen pembimbing II.
5. Dr. Suyitno, M. Pd. selaku dosen pembimbing akademik.

Terima kasih juga saya ucapkan kepada kedua orang tua, saudara-saudaraku, teman-teman, serta orang yang mengasihiku yang senantiasa mendoakan dan memberikan semangat. Semoga segala kebaikan, keikhlasan, kesabaran, do'a, bantuan yang telah diberikan kepada saya akan mendapat pahala yang berlipat ganda dari Allah SWT. Aamiin.

Saya menyadari bahwa skripsi saya ini belum sempurna, untuk itu saya mohon maaf apabila terdapat kekurangan dan kesalahan baik dari isi maupun tulisan. Akhir kata, saya berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi yang membacanya.

Penulis

Broy Mansah

5115107240

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Identifikasi Masalah .....	3
1.3. Pembatasan Masalah .....	4
1.4. Perumusan Masalah .....	4
1.5. Tujuan Penelitian .....	4
1.6. Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II KERANGKA TEORITIS DAN LANDASAN TEORI</b> .....	5
2.1. Kerangka Teoritis .....	5
2.1.1. Kinerja .....	5
2.1.2. Konversi Energi .....	5
2.1.3. Potensi Energi Air .....	6
2.1.4. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) .....	10
2.1.5. Klasifikasi Turbin Air .....	12

2.1.5.1. Berdasarkan Model Aliran Air Masuk <i>Runner</i> .....	13
2.1.5.2. Berdasarkan Perubahan Momentum Fluida Kerjanya .....	14
2.1.5.3. Berdasarkan Kecepatan Spesifik (ns) .....	15
2.1.5.4. Berdasarkan Head dan Debit .....	17
2.1.6. Karakteristik Turbin <i>Cross Flow</i> .....	18
2.1.7. Merakit Turbin <i>Cross Flow</i> .....	23
2.1.8. Melukis Busur Sudu Dengan Analisa Segitiga Kecepatan .....	28
2.1.9. Generator .....	34
2.2. Kerangka Berpikir .....	38
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>40</b>
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian .....	40
3.2. Metode Penelitian .....	40
3.3. Alat Penelitian .....	40
3.4. Rancangan Penelitian .....	41
3.5. Tahapan Penelitian .....	41
3.6. Instrumen Penelitian .....	47
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN</b> .....	<b>51</b>
4.1. Observasi Lapangan .....	52
4.1.1. Dimensi Turbin .....	51
4.1.2. Penempatan PLMTH .....	54
4.1.3. Ketinggian .....	54
4.2. Perhitungan .....	56
4.2.1. Perhitungan Tekanan Air .....	56
4.2.2. Perhitungan Kecepatan Air Pipa 2 inchi .....	57
4.2.3. Perhitungan Debit Air .....	59
4.2.4. Perhitungan Perencanaan Turbin <i>Cross Flow</i> .....	60
4.3. Pengukuran Pipa 2 inchi .....	64
4.4. Data Penelitian Pipa 2 inchi .....	66

4.4.1. Putaran Turbin Tanpa Generator .....	66
4.4.2. Kinerja Pipa 2 inchi Dengan Generator Beban Nol .....	67
4.5. Analisis .....	68
4.5.1. <i>Redesign</i> Turbin <i>Cross Flow</i> Dengan Potensi Air .....	69
4.6. Pembahasan Tabel <i>Redesign</i> Turbin <i>Cross Flow</i> .....	72
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>75</b>
5.1. Kesimpulan .....	75
5.2. Saran.....	75
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>76</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>77</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Kecepatan Spesifik Turbin Konvensional .....	17
Tabel 2.2.	Tabel Jenis Turbin Berdasarkan Ketinggian .....	18
Tabel 2.3.	<i>Part Name Wiring Diagram</i> Generator Honda E300a-E-G .....	37
Tabel 2.4.	Kode Warna Kabel <i>Wiring Diagram</i> Generator Honda E300 A-E-G .....	37
Tabel 3.1.	Potensial Air.....	47
Tabel 3.2.	Elektrik <i>Output</i> .....	48
Tabel 3.3.	Perhitungan Dimensi Turbin.....	48
Tabel 3.4.	Perhitungan <i>Pulley</i> .....	49
Tabel 3.5.	Pengujian Putaran Turbin Tanpa Generator.....	49
Tabel 3.6.	Pengujian Putaran Turbin Ditransmisikan Dengan Generator.....	50
Tabel 4.1.	Perencanaan Turbin <i>Cross Flow</i> Potensial Air .....	62
Tabel 4.2.	Perhitungan Perencanaan Turbin <i>Cross Flow</i> Elektrik <i>Output</i> .....	63
Tabel 4.3.	Perhitungan Perencanaan Dimensi Turbin.....	63
Tabel 4.4.	Perhitungan Perencanaan Turbin <i>Pulley</i> .....	64
Tabel 4.5.	Pengujian Putaran Turbin Tanpa Generator.....	67
Tabel 4.6.	Pengujian Putaran Turbin Ditransmisikan Dengan Generator.....	67
Tabel 4.7.	Potensial Air <i>Redesign</i> Turbin <i>Cross Flow</i> .....	72
Tabel 4.8.	<i>Redesign</i> Turbin <i>Cross Flow</i> .....	73
Tabel 4.9.	<i>Redesign Pulley</i> Turbin <i>Cross Flow</i> .....	73
Tabel 4.10.	Pembahasan Kinerja Turbin <i>Cross Flow</i> dan Kinerja Generator ....	74

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Turbin Aliran Tangensial .....	13
Gambar 2.2. Model Turbin Aliran Aksial.....	14
Gambar 2.3. Model Turbin Aliran Aksial-Radial .....	14
Gambar 2.4. Empat Macam Runner Turbin Konvensional.....	17
Gambar 2.5. Effisiensi Beberapa Turbin Dengan Pengurangan Debit Sebagai Variabel.....	21
Gambar 2.6. Model Rakitan Turbin <i>Cross Flow</i> .....	22
Gambar 2.7. Dua Tipe Turbin <i>Cross Flow</i> .....	23
Gambar 2.8. Runner .....	24
Gambar 2.9. Katup .....	24
Gambar 2.10. Nozel .....	25
Gambar 2.11. Tutup Turbin .....	25
Gambar 2.12. Regulator Dan Perlengkapannya .....	26
Gambar 2.13. Governor Dan Perlengkapannya .....	28
Gambar 2.14. Analisa Segi Tiga Kecepatan Pada Sudut Masuk $\theta = 15^0$ .....	31
Gambar 2.15. Analisa Segitiga Kecepatan Pada Sudut Masuk $\theta = 20^0$ .....	32
Gambar 2.16. Analisa Segitiga Kecepatan Pada Sudut Masuk $\theta = 12^0$ .....	32
Gambar 2.17. Analisa Segi Tiga Kecepatan Pada Perbandingan $U_o / V_r=0,7$ .....	33
Gambar 2.18. Analisa Segi Tiga Kecepatan Pada Perbandingan $U_o / V_r= ,3$ .....	33
Gambar 2.19. Konstruksi Generator Arus Bolak Balik .....	35
Gambar 4.1. Turbin <i>Cross Flow</i> .....	51
Gambar 4.2. Bagian Dalam Turbin <i>Cross Flow</i> .....	52
Gambar 4.3. Diameter Turbin <i>Cross Flow</i> .....	52
Gambar 4.4. Poros Diameter Turbin <i>Cross Flow</i> .....	52
Gambar 4.5. Sudu Turbin <i>Cross Flow</i> .....	53
Gambar 4.6. Lebar Sudu Turbin <i>Cross Flow</i> .....	53
Gambar 4.7. Panjang Sudu.....	53
Gambar 4.8. Penempatan PLTMH.....	54
Gambar 4.9. Tinggi Gedung Elektro.....	55

Gambar 4.10. Tinggi Torn .....	55
Gambar 4.11. Tinggi Pipa .....	55
Gambar 4.12. Pengukuran Putaran Turbin <i>Cross Flow</i> tanpa Generator .....	64
Gambar 4.13. Pengukuran Putaran Turbin <i>Cross Flow</i> Ditransmisikan Dengan Generator .....	64
Gambar 4.14. Pengukuran Putaran Generator.....	65
Gambar 4.15. Pengukuran Frekuensi Dan Tegangan.....	65
Gambar 4.24. Turbin <i>Cross Flow</i> .....	36

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Perkembangan zaman menyebabkan kebutuhan energi listrik terus meningkat. Suplai energi listrik sebagian besar negara di dunia termasuk Indonesia masih mengandalkan pembangkit berbahan bakar fosil.<sup>1</sup> Bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas alam, dan batu bara suatu saat akan habis sementara permintaan energi akan terus bertambah. Keterbatasan Sumber daya alam tersebut mengakibatkan harga bahan bakar fosil mengalami peningkatan sehingga harga listrik juga meningkat. Berdasarkan sensus tahun 2010, dengan jumlah penduduk Indonesia sebesar 237.641.326 jiwa, atau naik 13% dari tahun 2000, juga memberikan dampak terhadap kebutuhan tenaga listrik.<sup>2</sup>

Kapasitas listrik yang terpasang pada PLN pada akhir 2009 sebesar 25.636,70 MW kemudian meningkat pada tahun 2012 dengan jumlah sebesar 32.901,48 MW. Padahal beban puncak yang dapat dilayani oleh PLN sejak tahun 2009 sebesar 23.438 MW sampai dengan tahun 2012 sebesar 28.881,87 MW.<sup>3</sup> Data tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan listrik terus meningkat setiap tahunnya. Oleh karena itu, pemanfaatan energi secara tepat guna akan menjadi suatu cara menghadapi perkembangan zaman.

---

<sup>1</sup> Moch. Asief rosyidin, *Pengaruh Bukaak Guide Vane Terhadap Unjuk Kerja Turbin Cross flow Tipe C4-20 Pada Instalasi PLTMH Andung Biru*, Artikel Ilmiah, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang. h.3.

<sup>2</sup> Badan Pusat Statistik Indonesia, *Perkembangan Beberapa Indikator Utama Sosial-Ekonomi Indonesia, Katalog BPS : 31101015 (Agustus 2011)* h.11.

<sup>3</sup> PT.PLN (Persero), *Statistik PLN 2012 Sekretariat Perusahaan PT. PLN (Persero 2012)*, h.iii, <http://www.pln.co.id/?p=4828>

Kebutuhan listrik serta kapasitas yang terpasang mengalami perkembangan yang pesat antara 5% sampai dengan 10% dari data tersebut. Demi memenuhi kebutuhan tersebut dibutuhkan sumber energi terbarukan. Sumber energi terbarukan antara lain: energi air, energi angin, energi matahari, panas bumi, nuklir dan gas. Semua sumber energi terbarukan telah memenuhi kriteria sehingga dapat menghemat penggunaan energi fosil yang terbatas. Salah satu energi terbarukan yang berpotensi terjangkau yaitu energi potensial air. Pemanfaatan energi potensial air ini berpotensi besar apabila dilakukan secara meluas di seluruh wilayah Indonesia. Di Indonesia banyak tempat yang dapat dijadikan sumber energi potensial air, seperti energi pasang surut air laut, waduk air, energi gelombang laut dan pembangkit listrik tenaga mikro hidro.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik berskala kecil (kurang dari 200 KW), yang memanfaatkan tenaga potensial air dengan debit dan ketinggian yang memadai. Secara teknis, mikro hidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi), turbin, dan generator. Salah satu turbin pada PLTMH yaitu turbin *cross flow*. Pemakaian jenis turbin *cross flow* lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan kincir air maupun jenis turbin mikro hidro lainnya.<sup>4</sup> Penggunaan turbin untuk daya yang sama dapat menghemat biaya pembuatan penggerak mula sampai 50 % dari penggunaan kincir air dengan bahan yang sama. Penghematan

---

<sup>4</sup> Andi Ade Larasakti, Syukri Himran dan A. Syamsul Arifin, *Pembuatan dan Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Turbin Banki Daya 200 Watt*, Jurnal Mekanikal vol 3 no. 1, Makasar, 2012, h. 245

dapat dicapai karena ukuran turbin *cross flow* lebih kecil dibanding kincir air. Diameter kincir air yakni roda jalannya kecil sehingga bahan-bahan yang dibutuhkan jauh lebih sedikit dan daya guna efisiensi turbin ini lebih tinggi itulah sehingga bisa lebih murah dan biaya operasional lebih terjangkau.

Penelitian yang dilakukan oleh Massus Subekti pada tahun 2013 dengan tema Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) telah berhasil memanfaatkan energi horizontal menjadi energi potensial dengan menggunakan prinsip mikro hidro. Komponen PLTGL yang dibangun meliputi unit poton, unit tuas, unit *reservoir*, unit turbin, dan generator. Penelitian yang dilakukan telah berhasil membangun unit turbin *cross flow* dengan kapasitas generator 300 Watt. Namun demikian turbin *cross flow* tersebut belum dianalisis rancangannya. Pada Penelitian ini akan dilakukan analisis perancangan turbin *cross flow* pada pembangkit listrik tenaga mikro hidro dengan kapasitas generator 300 Watt.

## 1.2. Identifikasi Masalah

Identifikasi dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimanakah cara kerja turbin *cross flow* pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)?
2. Bagaimanakah hasil pengujian turbin *cross flow* pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)?
3. Bagaimana analisis perancangan turbin *cross flow* pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)?

### 1.3. Pembatasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah kinerja prototipe turbin *cross flow* pada parameter dimensi prototipe turbin *cross flow* dan putaran turbin *cross flow* serta putaran generator yang berkapasitas 300 watt.

### 1.4. Perumusan Masalah

Berdasarkan hasil identifikasi dan pembatasan masalah maka perumusan masalah dalam penelitian ini ialah “*Bagaimana kinerja protipe turbin cross flow pada PLTMH dengan kapasitas generator 300 watt?*”

### 1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian adalah mendapatkan hasil kinerja prototipe turbin *cross flow*.

### 1.6 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan tersebut maka, manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah :

1. Sebagai bahan masukan perbaikan turbin *cross flow*.
2. Dapat memberikan kontribusi untuk mengembangkan keilmuan dalam mempelajari ilmu turbin *cross flow*
3. Dapat menjadi bahan pembelajaran dan diskusi bagi mahasiswa Teknik Elektro, Universitas Negeri Jakarta dalam mempelajari mikro hidro khususnya turbin *cross flow*.

## **BAB II**

### **KERANGKA TEORITIS DAN LANDASAN TEORI**

#### **2.1. Kerangka Teoritis**

##### **2.1.1. Kinerja**

Kinerja adalah kemampuan kerja.<sup>5</sup> Kinerja turbin adalah kemampuan kerja pada turbin. Analisa merupakan penyelidikan terhadap suatu peristiwa (karangan, atau perbuatan) untuk mengetahui keadaan yang sebenarnya (sebab musabab, duduk perkaranya).<sup>6</sup> Analisis dapat disimpulkan yaitu sesuatu yang dilakukan seseorang untuk menyelidiki sebuah peristiwa demi mengumpulkan data-data yang konkret yang nantinya menjadi ilmu atau pengetahuan baru. Penelitian ini menggunakan teknik analisis untuk menganalisis kinerja prototipe turbin *cross flow*. Analisis kinerja prototipe turbin *cross flow* adalah menyelidiki kemampuan kerja turbin *cross flow* demi mengumpulkan data-data yang konkret. Data yang dikumpulkan ialah data perhitungan dan data riil sehingga dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya.

##### **2.1.2. Konversi Energi**

Pengertian konversi energi adalah perubahan bentuk energi dari yang satu menjadi bentuk energi lain. Hukum kekekalan energi (hukum I termodinamika) mengatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan (dibuat) ataupun di musnahkan akan tetapi dapat berubah bentuk dari bentuk yang satu ke bentuk lainnya. Masa revolusi industri dimulai dari penemuan mesin uap oleh James

---

<sup>5</sup> Kamus Besar Bahasa Indonesia (<http://KBBI.web.id/>) Tanggal Akses 8 November 2014

<sup>6</sup> ibid



Watt adalah contoh konversi. Konversi energi dari batubara menjadi energi gerak mesin uap. Konversi energi mengalami perkembangan sehingga dalam kehidupan sehari-hari kita bergantung oleh energi salah contohnya adalah energi listrik. Energi listrik adalah produk konversi dari energi lain seperti energi kinetik air terjun, energi uap/panas bumi, energi minyak diesel, energi batu bara dan lain sebagainya. Produk konversi energi listrik ini untuk menggerakkan turbin dan kemudian dikonversikan ke generator sehingga generator dapat menghasilkan energi listrik.

### 2.1.3. Potensi Energi Air

Air merupakan sumber energi yang murah dan relatif mudah didapat, karena pada air tersimpan energi potensial (pada air jatuh) dan energi kinetik (pada air mengalir). Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah suatu sistem pembangkit energi listrik dengan cara memanfaatkan aliran dari air yang kemudian diubah menjadi energi listrik melalui putaran turbin dan generator.<sup>7</sup> Pemanfaatan energi air banyak dilakukan dengan menggunakan kincir air atau turbin air yang memanfaatkan adanya suatu air terjun atau aliran air sungai. Besarnya tenaga air yang tersedia dari suatu sumber air bergantung pada besarnya *head* dan debit air. Total energi yang tersedia dari suatu *reservoir* air adalah merupakan energi potensial air yaitu.

$$E = m \times g \times h \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

---

<sup>7</sup>Suyitno, *Pembangkit Energi Listrik* (Jakarta: Rineka Cipta, 2011), h.80.

$m$  = Massa Air (kg)

$g$  = Percepatan Gravitasi ( $\frac{m}{s^2}$ )

$h$  = *Head* (m)

Daya merupakan energi tiap satuan waktu  $\frac{E}{t}$ , sehingga persamaan (1) dapat dinyatakan sebagai:  $\frac{E}{t} = \frac{m}{t} g \times h$

dengan mensubsitusikan  $P$  terhadap  $\frac{E}{t}$  dan mensubsitusikan  $\rho Q$  terhadap  $\frac{m}{t}$  maka:

$$P = \rho \times Q \times g \times h \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

$P$  = Daya Potensial Air (watt)

$Q$  = Kapasitas Aliran ( $\frac{m^3}{s}$ )

$\rho$  = Densitas Air ( $\frac{kg}{m^3}$ )

$g$  = Percepatan Gravitasi (9.81 m/s<sup>2</sup>)

$h$  = *Head* (m)

dalam sebuah pipa berdiameter dan panjang tertentu mengalir air dengan kecepatan tertentu maka tekanan air yang keluar dari pipa dan debit serta laju aliran massanya bisa dihitung. Adanya aliran air di dalam sebuah pipa menyebabkan penurunan tekanan di sisi keluar pipa. Adanya perbedaan tekanan air masuk pipa dan keluar pipa dapat disebabkan oleh hambatan aliran, misalnya kekasaran permukaan dalam pipa, gesekan air dengan permukaan pipa, panjang pipa, diameter pipa dan kecepatan aliran. Menghitung debit air ini yang perlu diketahui dahulu yaitu tekanan air serta kecepatan air yang

mengalir dalam pipa. Tekanan air menggunakan hukum pascal. Hukum pascal yaitu tekanan fluida dipancarkan dengan kekuatan sama ke semua arah dan bekerja tegak lurus pada suatu bidang.<sup>8</sup> Tekanan air dapat dihitung dengan rumus:

$$P = P_o + \rho \times g \times h \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

$P$  = Tekanan (pascal)

$P_o$  = Tekanan Udara (1,013x10<sup>5</sup>) atm

$\rho$  = Massa Jenis Air (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = Gravitasi (m/s)<sup>2</sup>

$h$  = *Head* Efektif (m)

Kecepatan air menggunakan hukum Bernoulli. Jenis air mengalir ialah laminar maka persamaan yang didapat adalah:

$P_1 = P_2$  maka :

$$P_1 + \frac{1}{2} \times \rho \times v_1^2 + \rho \times g \times h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \times \rho \times v_2^2 + \rho \times g \times h_2$$

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 + g (h_1 - h_2)} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

$P$  = Tekanan (pascal)

$v_2$  = Kecepatan 2 ( m/s)

$v_1$  = Kecepatan 1 (m/s)

$g$  = Gravitasi (m/s)

$h$  = *Head* (tinggi air dalam *reservoir*)

---

<sup>8</sup>Herman Widodo Soemitro, *Mekanika Fluida & Hidraulika*, (Jakarta: Erlangga, 1984), h. 4.

Menghitung daya turbin dapat dihitung dengan rumus :

$$P_t = 9.81 \times h \times Q \times \eta_t \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

$P_t$  = Daya *Output* (KW)

$g$  = Percepatan Gravitasi (9.81 m/s<sup>2</sup>)

$h$  = *Head* (m)

$Q$  = Debit Air (m<sup>3</sup>/se)

$\eta_t$  = Efisiensi Turbin (0,7)

Menghitung energi listrik yang dapat dihasilkan dengan rumus :

Elektrik *Output* dihitung dengan rumus:

$$P_{el} = P_t \times \eta_g \times \eta_{tm} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

$P_{el}$  = Daya Elektrik

$P_t$  = Daya Turbin

$\eta_g$  = Effisiensi Generator (0,8)

$\eta_{tm}$  = Effisiensi Transmisi (0,9)

Generator yang dapat digunakan dengan rumus

$$P_g = P_{el} \times \eta_g \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

$P_g$  = Daya generator

$P_{el}$  = Daya elektrik

$\eta_g$  = Effisiensi generator (0,8)

#### 2.1.4. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Mikro hidro berasal dari kata *micro* yang artinya kecil dan *hydro* yang artinya air. Jadi arti keseluruhannya adalah pembangkitan listrik daya kecil yang digerakkan oleh tenaga air. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro hidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik berskala kecil (kurang dari 200 KW), yang memanfaatkan tenaga (aliran) air sebagai sumber penghasil energi. PLTMH termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut *clean energi* karena ramah lingkungan. Dari segi teknologi, PLTMH dipilih karena konstruksinya sederhana, mudah dioperasikan, serta mudah dalam perawatan dan penyediaan suku cadang. Secara ekonomi, biaya operasi dan perawatannya relatif terjangkau, sedangkan biaya investasinya cukup bersaing dengan pembangkit listrik lainnya. Secara sosial, PLTMH mudah diterima masyarakat luas jika dibandingkan dengan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir.

PLTMH biasanya dibuat dalam skala kecil di desa yang belum mendapatkan aliran listrik dari PLN. Tenaga air yang digunakan pada PLTMH dapat berupa aliran air pada sistem irigasi, sungai yang dibendung atau air terjun. Prinsip kerja PLTMH adalah memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi yang dihasilkan selanjutnya menggerakkan generator dan menghasilkan listrik. Pembangunan dapat dibuat dari ketinggian 14,27 meter dengan memanfaatkan jatuhnya air.

Jatuhnya air mengalir ke pipa aliran air yang akan masuk ke turbin dan mengarahkannya masuk ke pipa pesat (*penstok*). Dalam pipa ini, energi potensial air diubah menjadi energi kinetik yang akan memutar roda turbin. Turbin, generator dan sistem kontrol masing-masing diletakkan dalam sebuah rumah yang terpisah. Pondasi turbin-generator juga harus dipisahkan dari pondasi yang akan di buat. Dibuat khusus untuk menghindari masalah akibat getaran. Rumah turbin harus dirancang sedemikian agar memudahkan perawatan dan pemeriksaan. Setelah keluar dari pipa pesat, air akan memasuki turbin pada bagian *inlet*. Didalamnya terdapat governor untuk mengatur pembukaan dan penutupan turbin serta mengatur jumlah air yang masuk ke *runner/ blade* (komponen utama turbin).

*Runner* terbuat dari baja dengan kekuatan tarik tinggi yang dilas pada dua buah piringan sejajar. Aliran air akan memutar *runner* dan menghasilkan energi kinetik yang akan memutar poros turbin. Energi yang timbul akibat putaran poros kemudian ditransmisikan ke generator. Turbin perlu dilengkapi *casing* yang berfungsi mengarahkan air ke *runner*. Pada bagian bawah casing terdapat pengunci turbin. *Bearing* terdapat pada sebelah kiri dan kanan poros dan berfungsi untuk menyangga poros agar dapat berputar dengan lancar. Daya poros dari turbin ini harus ditransmisikan ke generator agar dapat diubah menjadi energi listrik.

Generator yang dapat digunakan pada mikro hidro adalah generator induksi. Sistem transmisi daya ini dapat berupa sistem transmisi langsung (daya poros langsung dihubungkan dengan poros generator dengan bantuan

kopling) atau sistem transmisi daya tidak langsung yaitu menggunakan sabuk atau *belt* untuk memindahkan daya antara dua poros sejajar. Keuntungan sistem transmisi langsung adalah lebih kompak, mudah dirawat, dan efisiensinya lebih tinggi. Efisiensi sabuk berkisar antara 70 sampai 95 persen.<sup>9</sup> Tetapi sumbu poros yang digunakan harus lurus dan putaran poros generator harus sama dengan kecepatan putar poros turbin. Komponen pendukung yang diperlukan pada sistem ini adalah *pulley* dan *bearing*. Listrik yang dihasilkan oleh generator dapat langsung ditransmisikan lewat kabel menuju beban.

#### 2.1.5. Klasifikasi Turbin Air

Kemajuan ilmu Mekanika fluida dan Hidrolika serta memperhatikan sumber energi air yang cukup banyak tersedia di pedesaan, timbul perencanaan-perencanaan turbin yang divariasikan terhadap tinggi jatuh (*head*) dan debit air yang tersedia. Dengan demikian permasalahan turbin air menjadi objek menarik guna mendapatkan sistem, bentuk dan ukuran yang tepat dalam usaha mendapatkan efisiensi turbin yang maksimum. Pada uraian berikut akan dijelaskan pengklasifikasian turbin air berdasarkan beberapa kriteria.

---

<sup>9</sup>Joseph Edward Shigley, *Perencanaan Teknik Mesin Edisi Keempat* (Jakarta: 1994), h. 348.

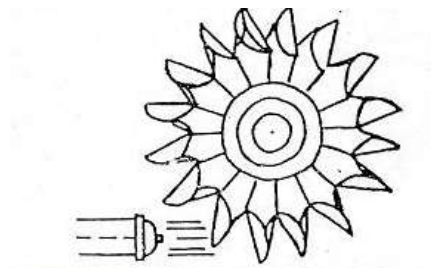
### 2.1.5.1. Berdasarkan Model Aliran Air Masuk *Runner*.

Berdasarkan model aliran air masuk *runner*, maka turbin air dapat dibagi menjadi tiga tipe yaitu :

#### 1. Turbin Aliran Tangensial

Pada kelompok turbin ini posisi air masuk *runner* dengan arah tangensial atau tegak lurus dengan poros *runner* mengakibatkan *runner* berputar, contohnya turbin pelton dan turbin *cross flow*.

Gambar turbin aliran tangensial ditunjukkan pada gambar 2.1.



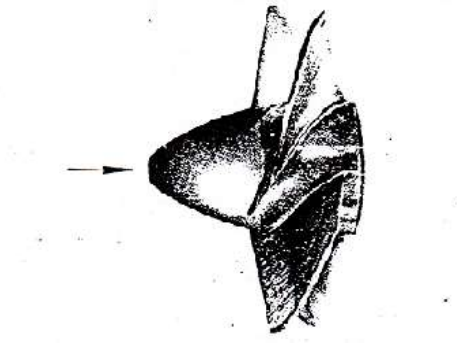
**Gambar 2.1.** Turbin Aliran Tangensial

(Sumber : Bachtiar, Asep Neris. 1988)

#### 2. Turbin Aliran Aksial

Pada turbin ini air masuk *runner* dan *keluar* runner sejajar dengan poros *runner*, Turbin Kaplan atau Propeller adalah salah satu contoh dari tipe turbin ini. Gambar turbin aliran aksial ditunjukkan pada gambar 2.2.



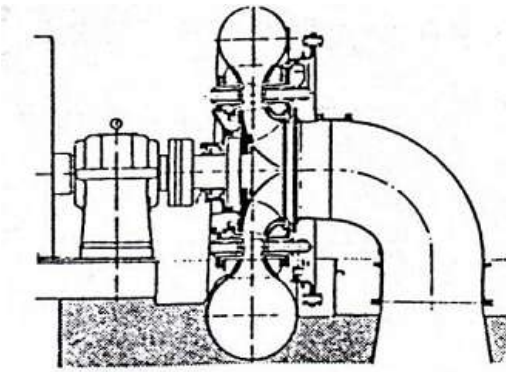


**Gambar 2.2.** Model Turbin Aliran Aksial

(Sumber : Bachtiar, Asep Neris. 1988)

### 3. Turbin Aliran Aksial-Radial

Pada turbin ini air masuk ke dalam *runner* secara radial dan keluar *runner* secara aksial sejajar dengan poros. Turbin *France* adalah termasuk dari jenis turbin ini. Gambar model turbin aksial-radial ditunjukkan pada gambar 2.3.



**Gambar 2.3.** Model Turbin Aliran Aksial- Radial

(Sumber : Bachtiar, Asep Neris. 1988)

#### 2.1.5.2 Berdasarkan Perubahan Momentum Fluida Kerjanya.

Perubahan berdasarkan momentum fluida kerjanya. Dalam hal ini, turbin air dapat dibagi atas dua tipe yaitu:

### 1. Turbin Impuls.

Semua energi potensial air pada turbin ini dirubah menjadi energi kinetis sebelum air masuk/ menyentuh sudu-sudu *runner* oleh alat pengubah yang disebut *nozel*. Yang termasuk jenis turbin ini antara lain: Turbin Pelton dan Turbin *Cross Flow*.

### 2. Turbin Reaksi.

Pada turbin reaksi, seluruh energi potensial dari air dirubah menjadi energi kinetis pada saat air melewati lengkungan sudu-sudu pengarah, dengan demikian putaran *runner* disebabkan oleh perubahan momentum oleh air. Yang termasuk jenis turbin reaksi diantaranya : Turbin Francis, Turbin Kaplan dan Turbin Propeller.

#### 2.1.5.3. Berdasarkan Kecepatan Spesifik ( $ns$ )

Kecepatan spesifik yang dimaksud dengan kecepatan spesifik dari suatu turbin ialah kecepatan putaran runner yang dapat dihasilkan daya efektif 1 BHP untuk setiap tinggi jatuh 1 meter atau dengan rumus dapat ditulis:

$$ns = n \times Pt^{1/2} / H_{eff}^{5/4} \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan:

$ns$  = Kecepatan Spesifik Turbin

$n$  = Kecepatan Putaran Turbin (rpm)

$H_{eff}$  = Tinggi Jatuh Efektif (m)

$Pt$  = Daya Turbin Efektif (HP)

Sedangkan putaran turbin minimum dan maksimum dengan rumus

$$n_{\text{tur-min}} = (38/Dt) \times \sqrt{H} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$n_{\text{tur-maks}} = (40 \times \sqrt{H}) / Dt \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

$n_{\text{tur-min}}$  = Kecepatan Turbin Minimum

$n_{\text{tur-maks}}$  = Kecepatan Turbin Maksimum

$Dt$  = Diameter Turbin

$H$  = Tinggi Jatuh Efektif

Setelah mendapatkan putaran turbin minimum dan maksimum maka

kecepatan rata dapat diperoleh dengan rumus:

$$n_t = \frac{(n_{\text{tur-min}} + n_{\text{tur-max}})}{2}$$

Panjang turbin didapat dengan rumus:

$$L = 0,244 Q \times N/H^{10} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

$Q$  = Debit Air (CFS)

$N$  = Putaran Turbin (RPM)

$H$  = Tinggi Jatuh Air (Ft)

Diameter turbin di dapat dengan rumus:

$$N = (862/D1) \times H^{1/2} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$D1 = (862 /N) \times H^{1/2} \dots\dots\dots (2.13)$$

---

<sup>10</sup>Anonim, *Mikrohidro* <http://121dx.wordpress.com/listrik-mikrohidro/>, Tanggal akses 14 Juni 2014 pukul 17.45 WIB.

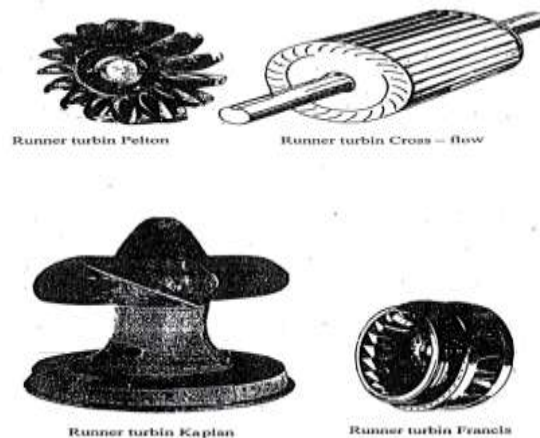
Setiap turbin air memiliki nilai kecepatan spesifik masing-masing, tabel . menjelaskan batasan kecepatan spesifik untuk beberapa turbin konvensional.

**Tabel 2.1.** Kecepatan Spesifik Turbin Konvensional

No	Jenis Turbin	Kecepatan Spesifik %
1.	Pelton dan kincir air	10 - 35
2.	<i>France</i>	60 - 300
3.	<i>Cross Flow</i>	70 - 80
4.	Kaplan dan propeller	300 - 1000

(Sumber : Bachtiar, Asep Neris. 1988)

Gambar empat macam *runner* turbin konvensional ditunjukkan pada gambar 2.4.



**Gambar 2.4.** Empat Macam Runner Turbin Konvensional

#### 2.1.5.4. Berdasarkan *Head* dan Debit.

Dalam hal ini pengoperasian turbin air disesuaikan dengan potensi *head* dan debit yang ada yaitu:

1. *Head* yang rendah yaitu dibawah 40 meter tetapi debit air yang besar, maka Turbin Kaplan atau Propeller cocok digunakan untuk kondisi seperti ini.
2. *Head* yang sedang antara 3 sampai 200 meter dan debit relatif cukup, maka untuk kondisi seperti ini digunakan Turbin Banki/*Cross Flow*.
3. *Head* yang sedang antara 10 sampai 200 meter dan debit relatif cukup, maka untuk kondisi seperti ini digunakan Turbin *France*.
4. *Head* yang tinggi yakni di atas 200 meter dan debit sedang, maka gunakanlah Turbin Impuls jenis Pelton.

**Tabel 2.2.** Tabel Jenis Turbin Air Berdasarkan Ketinggian

Jenis Turbin	<i>Range ketinggian (m)</i>
Kaplan dan Propeller	$2 < H < 40$
Banki / <i>Cross flow</i>	$3 < H < 200$
Francis	$10 < H < 200$
Pelton	$200 < H < 1300$

#### 2.1.6. Karakteristik Turbin *Cross Flow*

Turbin *cross flow* memiliki karakteristik yang spesifik dibanding jenis penggerak turbin lainnya diantaranya ialah Turbin *cross flow*. Turbin *cross flow* adalah salah satu turbin air dari jenis turbin aksi (impulse turbine). Cara kerja turbin *cross flow* ialah air masuk kedalam turbin melalui nosel dengan kecepatan maupun debit tertentu kemudian melewati sebuah katup pengarah (guide vane) dan menuju ke runner bagian luar yang memiliki

diameter luar (*outer*). Bagian yang berputar runner terdiri dari dua piringan (*rim*) yang disambung dengan beberapa buah sudu (*blade*) yang disusun secara paralel.

Sambungan-sambungan sudu (*blade*) pada rim secara tidak langsung membentuk diameter dalam (*inner*). Setelah air melewati katup pengarah dalam hal mengarahkan air dan membentuk sudut 20 derajat terhadap arah tangensial roda kemudian masuk memenuhi celah-celah sudu seperti ditunjukkan. Pada kondisi ini kecepatan air akan terbagi menjadi kecepatan absolut  $C$ , kecepatan relatif  $W$  dan kecepatan tangensial  $U$ . Kecepatan tangensial ini menyebabkan gaya tangensial sehingga bisa menggerakkan/memutar turbin.

Adapun air mengisi sudu-sudu dan memenuhi sudu-sudu tersebut, mengalir menempati daerah kosong selanjutnya masuk ke daerah bagian bawah dari turbin, air masuk dengan kecepatan absolut, kecepatan relatif dan kecepatan tangensial yang dimanfaatkan kembali untuk menggerakkan turbin kemudian keluar secara bebas dari lingkaran luar (*outer*) menuju ke saluran buangan.

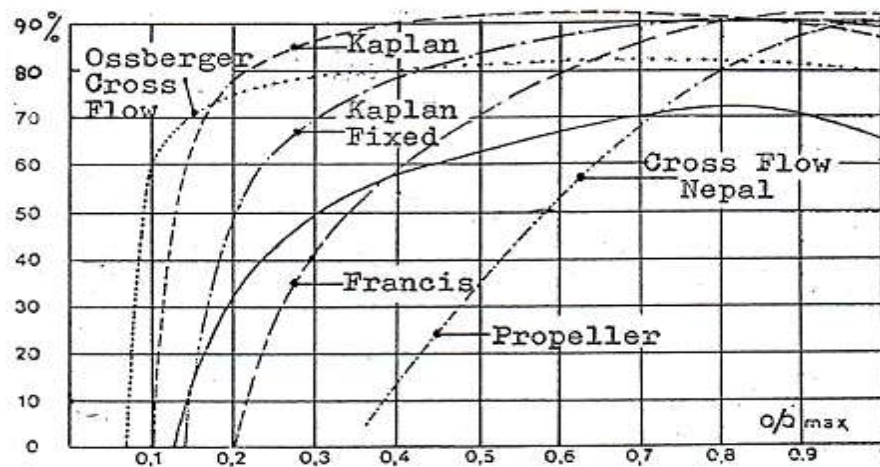
Pemakaian jenis Turbin *cross flow* lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan kincir air maupun jenis turbin mikrohidro lainnya. Penggunaan turbin ini untuk daya yang sama dapat menghemat biaya pembuatan penggerak mula sampai 50 % dari penggunaan kincir air dengan bahan yang sama. Penghematan ini dapat dicapai karena ukuran Turbin *cross flow* lebih kecil dan lebih kompak dibanding kincir air. Diameter

kincir air yakni roda jalan atau runnernya biasanya 2 meter ke atas, tetapi diameter Turbin *cross flow* dapat dibuat hanya 20 cm saja sehingga bahan-bahan yang dibutuhkan jauh lebih sedikit, itulah sebabnya bisa lebih murah. Demikian juga daya guna atau efisiensi rata-rata turbin ini lebih tinggi dari pada daya guna kincir air.

Hasil pengujian laboratorium yang dilakukan oleh pabrik turbin Ossberger Jerman Barat yang menyimpulkan bahwa daya guna kincir air dari jenis yang paling unggul sekalipun hanya mencapai 70 persen sedang efisiensi turbin *cross flow*.<sup>11</sup> Tingginya efisiensi turbin *cross flow* ini akibat pemanfaatan energi air pada turbin ini dilakukan dua kali, yang pertama energi tumbukan air pada sudu-sudu pada saat air mulai masuk, dan yang kedua adalah daya dorong air pada sudu-sudu saat air akan meninggalkan *runner*. Adanya kerja air yang bertingkat ini ternyata memberikan keuntungan dalam hal efektifitasnya yang tinggi dan kesederhanaan pada sistem pengeluaran air dari *runner*. Kurva di bawah ini akan lebih menjelaskan tentang perbandingan efisiensi dari beberapa turbin konvensional.

---

<sup>11</sup>Asep Neris Bachtiar 2010, *Karakteristik Turbin Cross Flow* (<http://www.agussuwasono.com>), Tanggal Akses 4 Februari 2014.



**Gambar 2.5.** Efisiensi Beberapa Turbin dengan Pengurangan Debit Sebagai Variabel

(Sumber : Bachtiar, Asep Neris. 1988)

Dari kurva di atas ditunjukkan hubungan antara efisiensi dengan pengurangan debit akibat pengaturan pembukaan katup yang dinyatakan dalam perbandingan debit terhadap debit maksimumnya. Untuk turbin *cross flow* dengan  $Q/Q_{maks} = 1$  menunjukkan efisiensi yang cukup tinggi sekitar 80%, disamping itu untuk perubahan debit sampai dengan  $Q/Q_{maks} = 0,2$  menunjukkan harga efisiensi yang relatif tetap.

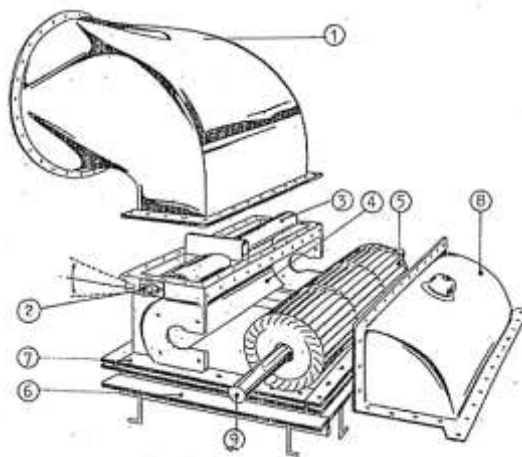
Dari kesederhanaannya jika dibandingkan dengan jenis turbin lain, maka turbin *cross flow* yang paling sederhana. Sudu-sudu turbin Pelton misalnya, bentuknya sangat pelik sehingga pembuatannya harus dituang. Demikian juga runner Turbin *France*, Kaplan dan Propeller pembuatannya harus melalui proses pengecoran/tuang.

Namun runner turbin *cross flow* dapat dibuat dari material baja sedang (*mild steel*) seperti ST.37, dibentuk kemudian dirakit dengan konstruksi las. Demikian juga komponen-komponen lainnya dari turbin ini semuanya dapat



dibuat di bengkel-bengkel umum dengan peralatan pokok mesin las listrik, mesin bor, mesin gerinda meja, bubut dan peralatan kerja bangku, itu sudah cukup.

Dari kesederhanaannya itulah maka Turbin *cross flow* dapat dikelompokkan sebagai teknologi tepat guna yang pengembangannya di masyarakat pedesaan memiliki prospek cerah karena pengaruh keunggulannya sesuai dengan kemampuan dan harapan masyarakat. Gambar model rakitan turbin *cross flow* dapat dilihat pada gambar 2.6.



(Sumber : Bachtiar, Asep Neris. 1988)

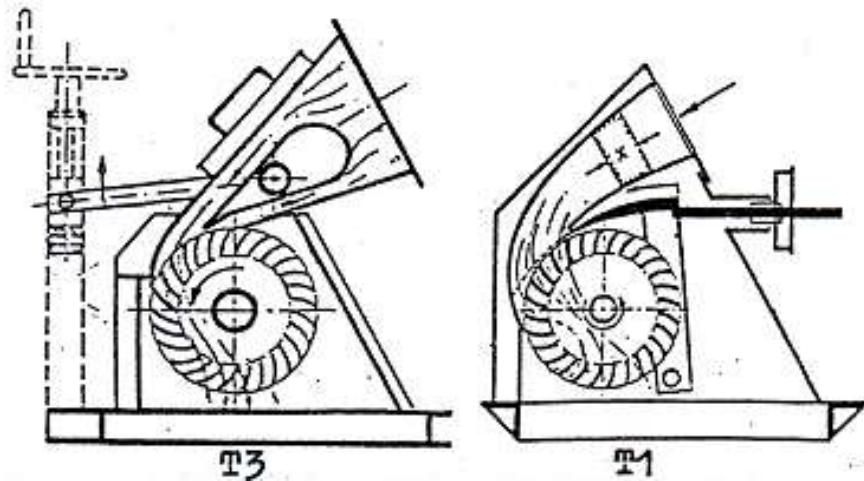
**Gambar 2.6.** Model Rakitan Turbin Crossflow

- |                |                   |                 |
|----------------|-------------------|-----------------|
| 1. Elbow       | 4. Nozel          | 7. Rumah turbin |
| 2. Poros katup | 5. Runner         | 8. Tutup turbin |
| 3. Katup       | 6. Rangka pondasi | 9. Poros runner |

Turbin *cross flow* secara umum dapat dibagi dalam dua yaitu :

1. Tipe T1, yaitu Turbin Cross-Flow kecepatan rendah .
2. Tipe T3, yaitu Turbin Cross-Flow kecepatan tinggi.

Kedua tipe turbin tersebut lebih dijelaskan oleh gambar 2.7.



**Gambar 2.7.** Dua Tipe Turbin Cross-Flow

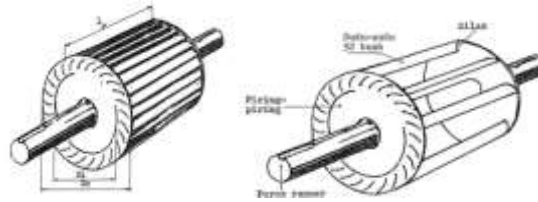
(Sumber : Bachtiar, Asep Neris. 1988)

### 2.1.7. Merakit Turbin *Cross Flow*

Termasuk komponen penggerak mula turbin ialah nozel, katup, *runner*, poros *runner*, tutup turbin dan rangka pondasi. Berikut ini akan dijelaskan proses pembuatan dan perakitan komponen-komponen penggerak mula tersebut.

#### 1. *Runner*

*Runner* ialah Bagian yang berputar *runner* terdiri dari dua piringan (*rim*) yang disambung dengan beberapa buah sudu (*blade*) yang disusun secara paralel. Sambungan-sambungan sudu (*blade*) pada *rim* secara tidak langsung membentuk diameter dalam (*inner*). Pada gambar 2.8. menunjukkan *gambar runner*.

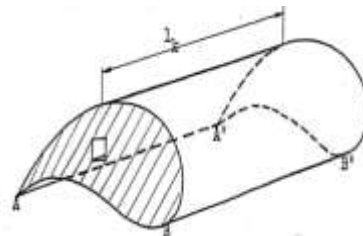


(Sumber : Bachtiar, Asep Neris. 1988)

**Gambar 2.8.** Runner

## 2. Katup

Katup adalah komponen turbin yang berfungsi sebagai pengatur kecepatan air yang mengalir ke sudu turbin. Gambar katup dapat dilihat dibawah ini

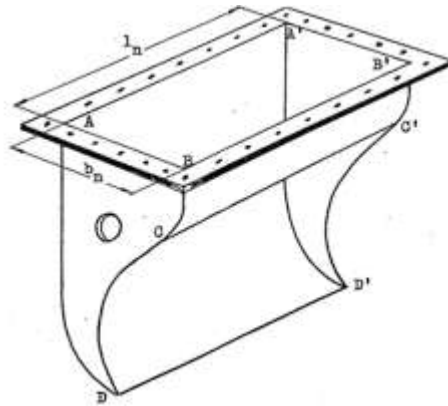


(Sumber : Bachtiar, Asep Neris. 1988)

**Gambar 2.9.** Katup

## 3. Nozel

Nozel berfungsi sebagai komponen yang menentukan besarnya jumlah debit air yang masuk ke dalam rumah turbin. Gambar 2.10. menunjukkan gambar nozel.

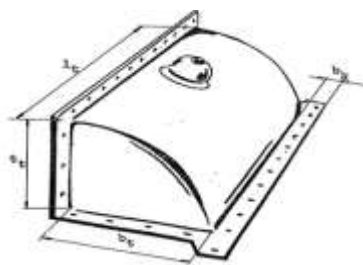


(Sumber : Bachtiar, Asep Neris. 1988)

**Gambar 2.10.** Nozel

#### 4. Tutup Turbin

Tutup turbin berfungsi sebagai benda yang menjadi alat untuk membatasi suatu tempat sehingga tidak terlihat isinya, tetap terjaga jumlah air yang berada diturbin. Gambar tutup turbin dapat dilihat dibawah ini

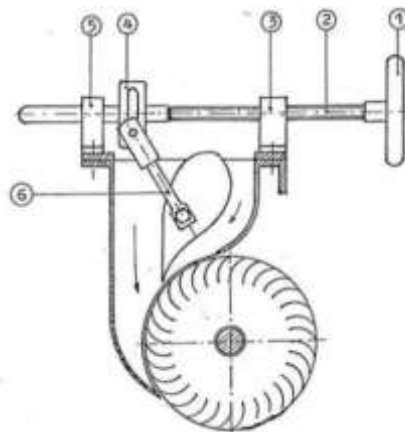


(Sumber : Bachtiar, Asep Neris. 1988)

**Gambar 2.11.** Tutup Turbin Cara Mengoperasikan Turbin *Cross Flow*

## 5. Regulator

Komponen-komponen regulator antara lain : (1) roda tangan, (2) poros berulir, (3) bantalan berulir, (4) engsel, (5) bantalan pengantar dan (6) tuas perantara , untuk lebih jelasnya dapat dilihat gambar 2.12.



(Sumber : Bachtiar, Asep Neris. 1988)

**Gambar 2.12.** Regulator dan Perlengkapannya

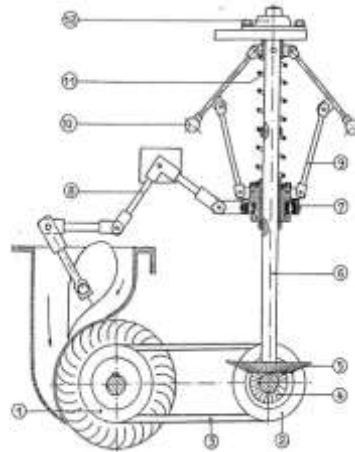
## 6. Governor.

Mengatur jumlah debit air yang masuk ke *runner* seimbang dengan jumlah pemakaian beban listrik, maka digunakan sebuah alat yang disebut governor. Pemilihan governor mekanis dengan pertimbangan dapat dibuat di bengkel-bengkel umum dengan biaya yang relatif terjangkau dibanding dengan governor elektrik. Disamping itu, governor mekanis sangat cocok dipasang pada sistem PLTMH yang sederhana. Sedangkan kepekaan dan kesensitifan kerja governor ini dapat diandalkan dan bisa bersaing dengan jenis governor lain.

Komponen-komponen governor tersebut antara lain:

1. Puli pada poros *runner*;
2. Puli pada poros perantara;
3. *Belt* transmisi, ketiga elemen ini merupakan komponen sistim transmisi daya dan putaran dari poros *runner* ke poros governor;
4. Roda gigi payung pada poros perantara;
5. Roda gigi payung poros governor, berfungsi meneruskan transmisi daya dan putaran dari poros perantara;
6. Poros governor, berfungsi sebagai rel tempat naik turunnya bantalan jalan, pada poros ini pula bantalan diam bertumpu;
7. Bantalan jalan, berfungsi sebagai pengait dan pembawa tuas-tuas yang berhubungan dengan katup;
8. Tuas-tuas, berfungsi sebagai penghubung gerak langkah bantalan jalan ke posisi katup;
9. Lengan-lengan governor, berfungsi sebagai penerus gerak langkah bantalan jalan dan sebagai penentu posisi bandul;
10. Bandul, berfungsi untuk menstabilkan putaran dan untuk mendapat jarak langkah yang diinginkan, hal ini sangat berhubungan dengan gaya sentripugal yang terjadi;
11. Pegas, berfungsi memberikan gaya reaksi terhadap bantalan jalan sehingga timbul keseimbangan aksi–reaksi yang menjadikan sistim beroperasi secara otomatis mekanis;

12. Bantalan diam, berfungsi untuk menumpu ujung poros governor pada posisi yang tetap sehingga governor dapat bekerja stabil.



(Sumber : Bachtiar, Asep Neris. 1988)

**Gambar 2.12.** Governor dan Perlengkapannya

### 2.1.8. Melukis Busur Sudu Dengan Analisa Segitiga Kecepatan

Melukis Busur Sudu Dengan Analisa Segitiga Kecepatan menggunakan Variabel Analisa Segi Tiga Kecepatan. Variabel-variabel awal yang dibutuhkan dalam analisa segi tiga kecepatan antara lain:

#### A. Kecepatan air masuk runner ( $V_r$ )

Dalam hal ini kecepatan air masuk *runner* sama dengan kecepatan air keluar dari nozel ( $V_n$ ) yaitu,

$$V_r = V_n$$

$$V_r = K_n (2 \cdot g \cdot H_{\text{eff}})^{1/2} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana:

$K_n$  = Koefisien tahanan nozel

$$= 96$$

$g$  = Percepatan gravitasi bumi

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

$H_{\text{eff}}$  = *Head* efektif sebenarnya

B. Kecepatan keliling diameter luar runner ( $U_o$ )

Dalam hal ini harga  $U_o$  dapat ditentukan dari persamaan berikut:

$$U_o = 0,5 \cdot V_r \dots\dots\dots (2.15)$$

Hasil percobaan para ahli turbin *cross flow*, mereka menyimpulkan bahwa dengan menentukan harga  $U_o = 0,5 \cdot V_r$  ternyata didapatkan efisiensi turbin yang paling besar, kebenaran tentang kesimpulan ini akan diuji pada uraian nanti dengan memasukan macam-macam nilai perbandingan  $U_o / V_r$  ke dalam analisa segitiga kecepatan seperti yang dimaksud, dengan demikian maka.

C. Kecepatan Keliling Diameter Dalam *Runner* ( $U_i$ )

Dalam hal ini nilai  $U_i$  dapat ditentukan dari perbandingan diameter dalam dan luar runner yaitu,

$$U_i = (D_i / D_o) \times U_o \dots\dots\dots (2.16)$$

D. Diameter luar runner ( $D_o$ )

E. Diameter dalam runner ( $D_i$ )

F. Sudut air masuk sudu ( $\theta$ )

Hasil pengujian Pabrik Turbin Ossberger Jerman Barat, untuk mendapatkan efisiensi turbin yang tertinggi direkomendasikan besar sudut air



masuk sudu  $\theta$  sama dengan 15 derajat. Hal ini disebabkan energi kecepatan air masuk sudu *runner* lebih banyak dimanfaatkan terbukti dari hasil perbandingan kecepatan air keluar dari runner dengan kecepatan air masuk runner jauh lebih kecil dibanding dengan apabila sudut air masuk sudu lebih besar atau lebih kecil dari 15 derajat. Kebenaran tentang kesimpulan ini akan dibuktikan pada pembahasan nanti dengan mengvariabelkan sudut  $\theta$ . Dalam perencanaan turbin seperti yang diuraikan pada bab sebelumnya, penulis memilih harga sudut  $\theta$  sama dengan 15 derajat.

Selanjutnya dengan data-data di atas dapat ditentukan model busur sudu sekaligus dapat diketahui berapa persen energi kecepatan air yang dimanfaatkan oleh *runner*. Untuk memudahkan analisa, nilai-nilai dari variabel di atas diskalakan .

Setelah semua data diskalakan, selanjutnya masukan ke dalam analisa segi tiga kecepatan berikut melalui dua tahap penggambaran yaitu,

Tahap 1, Air masuk runner

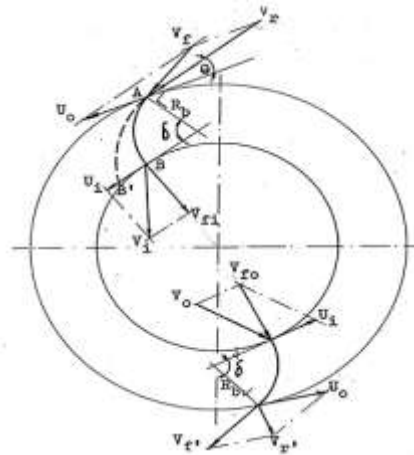
- a)  $V_r$  = Kecepatan air masuk sudu rim luar;
- b)  $U_o$  = Kecepatan keliling diameter luar *runner*;
- c)  $U_i$  = Kecepatan keliling diameter dalam *runner*;
- d)  $V_f$  = Kecepatan relatif air masuk sudu rim luar;
- e)  $V_{fi}$  = Kecepatan relatif air kelur sudu rim dalam;
- f)  $V_i$  = Kecepatan air keluar sudu rim dalam.

Tahap 2, Air keluar *runner*.

- g)  $V_o$  = Kecepatan air masuk sudu rim dalam;

- h)  $V_{fo}$  = Kecepatan relatif air masuk sudu rim dalam;
- i)  $V_{r'}$  = Kecepatan air keluar sudu rim luar;
- j)  $V_{f'}$  = Kecepatan relatif air keluar sudu rim luar.

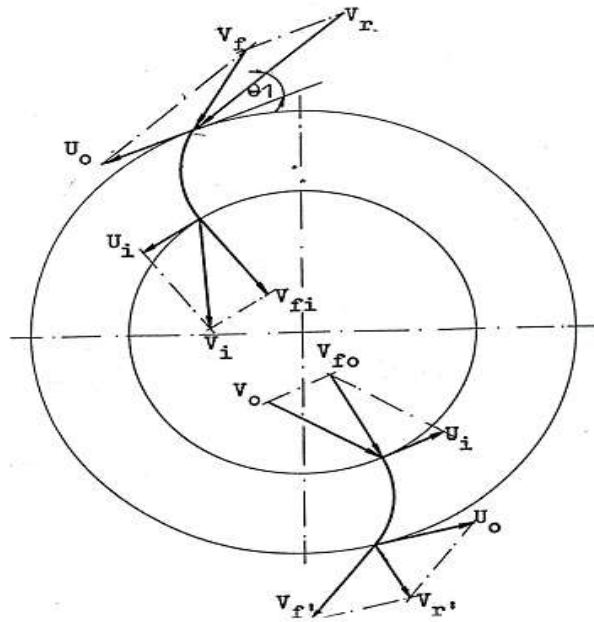
Perbandingan Efisiensi Dengan Analisa Segi Tiga Kecepatan.



(Sumber : Bachtiar, Asep Neris. 1988)

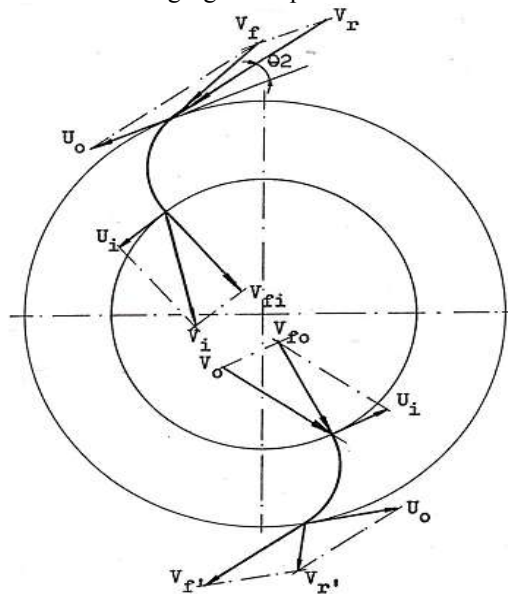
**Gambar 2.13.** Analisa Segitiga Kecepatan pada Sudut Masuk  $\theta = 15^\circ$

Busur A-B inilah yang dijadikan mal untuk menentukan kelengkungan dan posisi sudu-sudu yang dipasang diantara dua buah piringan. Hal ini tidak begitu sulit dipraktikkan di lapangan yang lebih diutamakan ialah ketelitian dan keuletan dalam bekerja. Titik B seperti pada gambar di atas merupakan titik ujung dari busur sudu A-B. Pada saat *runner* berputar ke kiri, titik B akan mengalami perpindahan relatif sejauh B-B' dan waktu yang diperlukan untuk perpindahan relatif dari B ke B' sama dengan waktu yang diperlukan oleh suatu titik air guna menempuh busur dari titik A ke titik B dengan kecepatan relatif.



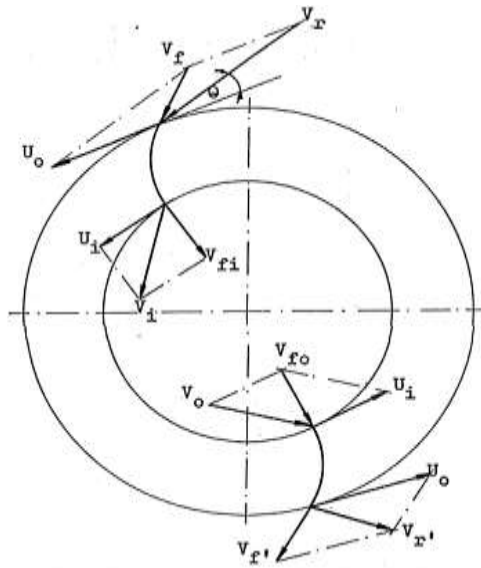
(Sumber : Bachtiar, Asep Neris. 1988)

**Gambar 2.14.** Analisa Segitiga Kecepatan Pada Sudut Masuk  $\theta = 20^\circ$



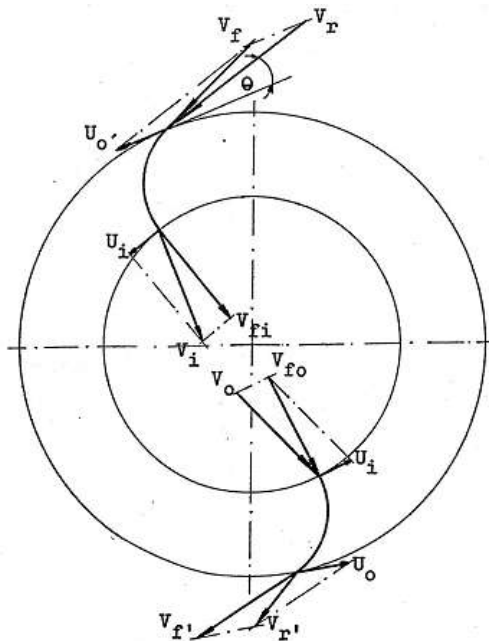
(Sumber : Bachtiar, Asep Neris. 1988)

**Gambar 2.15.** Analisa Segitiga Kecepatan Pada Sudut Masuk  $\theta = 12^\circ$



(Sumber : Bachtiar, Asep Neris. 1988)

**Gambar 2.16.** Analisa Segi Tiga Kecepatan Pada Perbandingan  $U_o / V_r = 0,7$



(Sumber : Bachtiar, Asep Neris. 1988)

**Gambar 2.17.** Analisa Segi Tiga Kecepatan Pada Perbandingan  $U_o / V_r = 0,3$

### 2.1.9. Generator

Generator merupakan sebuah alat yang mampu menghasilkan arus listrik. Generator AC berfungsi untuk merubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik arus bolak-balik. Generator ini sering disebut juga sebagai alternator, generator AC (*alternating current*), atau generator sinkron. Dikatakan generator sinkron karena jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator. Kecepatan sinkron ini dihasilkan dari kecepatan putar rotor dengan kutub-kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada stator. Mesin ini tidak dapat dijalankan sendiri karena kutub-kutub rotor ini, tidak dapat tiba-tiba mengikuti kecepatan medan putar pada waktu sakelar terhubung dengan jala-jala. Generator arus bolak-balik dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

Generator arus bolak-balik 1 fasa

Generator arus bolak-balik 3 fasa

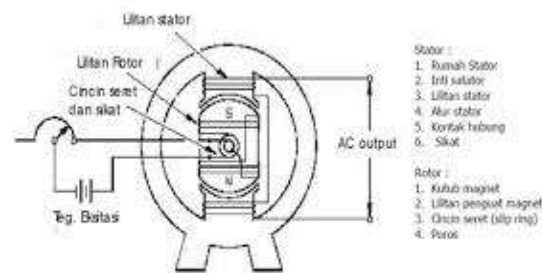
a. Konstruksi Generator Arus Bolak –balik

Konstruksi generator arus bolak-balik ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu :

1. Stator yakni bagian diam yang mengeluarkan tegangan bolak-balik.
2. Rotor yakni bagian bergerak yang menghasilkan medan magnet yang menginduksikan ke stator.

Stator terdiri dari badan generator yang terbuat dari baja yang berfungsi melindungi bagian dalam generator, kotak terminal dan

*name plate* pada generator. Inti Stator yang terbuat dari bahan ferromagnetik yang berlapis-lapis dan terdapat alur-alur tempat meletakkan lilitan stator. Lilitan stator yang merupakan tempat untuk menghasilkan tegangan. Sedangkan, rotor berbentuk kutub sepatu atau kutub dengan celah udara sama rata (rotor silinder)



**Gambar 2.18.** konstruksi generator arus bolak balik.

#### b. Prinsip Kerja Generator Arus Bolak-balik

Prinsip dasar generator arus bolak – balik menggunakan hukum Faraday yang menyatakan jika sebatang penghantar berada pada medan magnet yang berubah-ubah, maka pada penghantar tersebut akan terbentuk gaya gerak listrik. Prinsip kerja generator arus bolak-balik tiga fasa (alternator) pada dasarnya sama dengan generator arus bolak-balik satu fasa, akan tetapi pada generator tiga fasa memiliki tiga lilitan yang sama dan tiga tegangan outputnya berbeda fasa 120° pada masing-masing fasa

Besar tegangan generator bergantung pada:

1. Kecepatan putaran ( $N$ );
2. Jumlah kawat pada kumparan yang memotong fluks ( $Z$ );

3. Banyaknya fluk magnet yang dibangkitkan oleh medan magnet

(f);

4. Jumlah Kutub.

Jumlah kutub generator arus bolak-balik tergantung dari kecepatan rotor dan frekuensi dari ggl yang dibangkitkan. Hubungan tersebut dapat ditentukan dengan persamaan:

$$F = p \times n / 120 \dots\dots\dots (2.18)$$

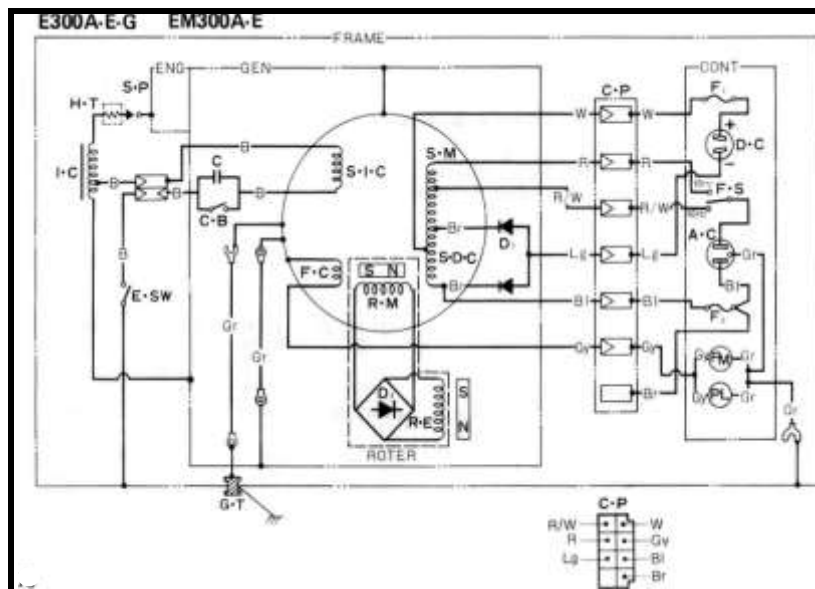
dimana :

F = Frekuensi tegangan (Hz)

p = Jumlah kutub pada rotor

n = Kecepatan rotor (rpm)

c. *Wiring Diagram Generator Honda E300A-E-G*



(Sumber: Honda Motor Co,Ltd 1977)

**Gambar 2.19.** *Wiring diagram generator honda E300A-E-G*

**Tabel 2.3.** *Part Name Wiring Diagram Generator Honda E300A - E-G*

	Part Name	Bezeichnung der Teile
A•C	AC receptacle	Wechselstrom-Steckdose
C	Condenser	Kondensator
C. B	Contact breaker	Unterbrecherkontakt
CONT	Control panel	Schaltkasten
C-P	Coupler	Klemme
D <sub>i</sub>	Diode for DC output	Diode für Gleichstromerzeugung
D2	Diode	Diode
D-C	DC receptacle	Gleichstrom-Steckdose
ENG	Engine	Motor
E- SW	Engine switch	Motorschalter
F <sub>1</sub>	10 Ampere fuse	10-Ampere-Sicherung
F2	1.5 Ampere fuse	1.5-Ampere-Sicherung
F- C	Frequency coil	Frequenzspule
FM	Frequency meter	Frequenzmesser
FRAME	Frame	Rahmen
F. S	Frequency switch	Frequenzschalter
GEN	Generator	Generator
G. T	Ground terminal	Erdklemme
H•T	High-tension terminal	Hochspannungsbuchse
I. C	Ignition coil	Zündspule
PL	Pilot lamp	Kontrolllampe
R•E	Rotor exciter coil	Rotor-Erregerspule
R-M	Rotor main coil	Rotor-Hauptspule
ROTOR	Rotor	Rotor
S. D• C	Stator DC coil	Stator-Gleichstromspule
S• I. C	Stator ignition coil	Statorzündspule
S- M	Stator main coil	Stator-Hauptspule
S• P	Spark plug	Äindkerze

**Tabel 2.4.** *Kode Warna Kabel Wiring Diagram Generator Honda*

E300A-E-G

	Color	Farbe	<i>Couleur</i>	Color
<b>B</b>	Black	Schwarz	<i>Noir</i>	Negro
BI	Blue	Blau	<i>Bleu</i>	Azul
Br	Brown	Braun	<i>Brun</i>	Moreno
Gy	Gray	Grau	<i>Gris</i>	Gris
Gr	Green	Grün	<i>Vert</i>	Verde



Lg	Light green	Hellgriin	<i>Vert clair</i>	Verde claro
R	Red	Rot	<i>Rouge</i>	Rojo
R/W	Red/White	Rot/Weig	<i>Rouge/Blanc</i>	Rojo/Blanco
W	White	Wei8	<i>Blanc</i>	Blanco

*Manual book* Generator set honda E300A-E-G berkapasitas 300 watt.<sup>12</sup> Penelitian yang dilakukan hanya membutuhkan generator sehingga memisahkan bagian mesin generator. Generator ini 2 kutub dan 1 fasa. Putaran Generator 3.000 RPM dengan frekuensi 50 Hertz.

## 2.2. Kerangka Berpikir

Suplai energi listrik di Indonesia masih mengandalkan pembangkit berbahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas alam dan batu bara yang sangat terbatas jumlahnya di alam dan suatu saat akan habis, sementara permintaan energi akan terus bertambah. Kenaikan harga energi fosil mempengaruhi harga energi listrik, karena sebagian besar pembangkit listrik yang ada di Indonesia menggunakan energi fosil. Kenaikan harga ini dapat diminimalisir dengan cara memanfaatkan energi baru terbarukan.

Sumber-sumber energi yang dikenal dengan sumber energi terbarukan yaitu; energi air, energi panas bumi, energi matahari, energi angin, energi nuklir dan energi gelombang laut. Semua sumber energi terbarukan tersebut telah memenuhi kriteria sehingga dalam pemanfaatannya dapat menghemat penggunaan energi fosil yang terbatas. Salah satu energi terbarukan yang

<sup>12</sup> Honda Generator, "Portable generator Owner's Manual", Honda Motor 1977, h. 78

sangat berpotensi serta murah dibandingkan dengan yang lain yaitu energi air. Penggunaan energi air untuk pembangkit listrik dalam skala kecil yakni Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Prinsip kerja pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) yang paling utama adalah memanfaatkan semaksimal mungkin energi air yang dapat ditangkap oleh peralatan utamanya yang disebut turbin atau kincir air.

Turbin air memiliki klasifikasi berdasarkan tinggi jatuh (*head*) turbin air dan debit air yang tersedia yaitu: Head yang rendah yaitu dibawah 40 meter tetapi debit air yang besar, maka turbin kaplan atau propeller cocok digunakan untuk kondisi seperti ini. *Head* yang sedang antara 10 sampai 200 meter dan debit relatif cukup, maka untuk kondisi seperti ini gunakanlah turbin *france* atau *cross flow*. Head yang tinggi yakni di atas 200 meter dan debit sedang, maka gunakanlah turbin impuls jenis Pelton.

Turbin air *cross flow* adalah seluruh turbin air radial dimana aliran air masuk dan keluar rotor melalui lingkaran rotor yang sama. Tingginya efisiensi turbin *cross flow* ini akibat pemanfaatan energi air pada turbin ini dilakukan dua kali, yang pertama energi tumbukan air pada sudu-sudu pada saat air mulai masuk, dan yang kedua adalah daya dorong air pada sudu-sudu saat air akan meninggalkan *runner*. Adanya kerja air yang bertingkat ini ternyata memberikan keuntungan dalam hal efektifitasnya yang tinggi dan kesederhanaan pada sistem pengeluaran air dari *runner*. Penelitian yang dilakukan ialah pada ketinggian 14,27 meter maka turbin yang digunakan jenis turbin *cross flow*.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan di Universitas Negeri Jakarta Jurusan Teknik Elektro Gedung L. dengan ketinggian 14,27 meter. Waktu penelitian yang dilakukan mulai bulan Juli sampai dengan bulan November 2014.

#### **3.2. Metode Penelitian**

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* dengan terlebih dahulu melakukan observasi terhadap dimensi turbin *cross flow*, penempatan PLTMH, dan ketinggian air. selanjutnya dilakukan perhitungan terhadap tekanan, kecepatan dan debit air serta putaran turbin *cross flow* dan putaran generator kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran terhadap besaran debit air, putaran turbin dan generator, tegangan dan frekuensi. Perbandingan yang didapat merupakan kinerja prototipe turbin *cross flow*.

#### **3.3. Alat Penelitian**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagaia berikut:

- Meteran lipat (pita);
- *Vernier caliper* Mitutoyo dengan toleransi kesalahan 0,05 mm;
- Tachometer DT-1236L;
- AVO meter digital sanwa cd800a;

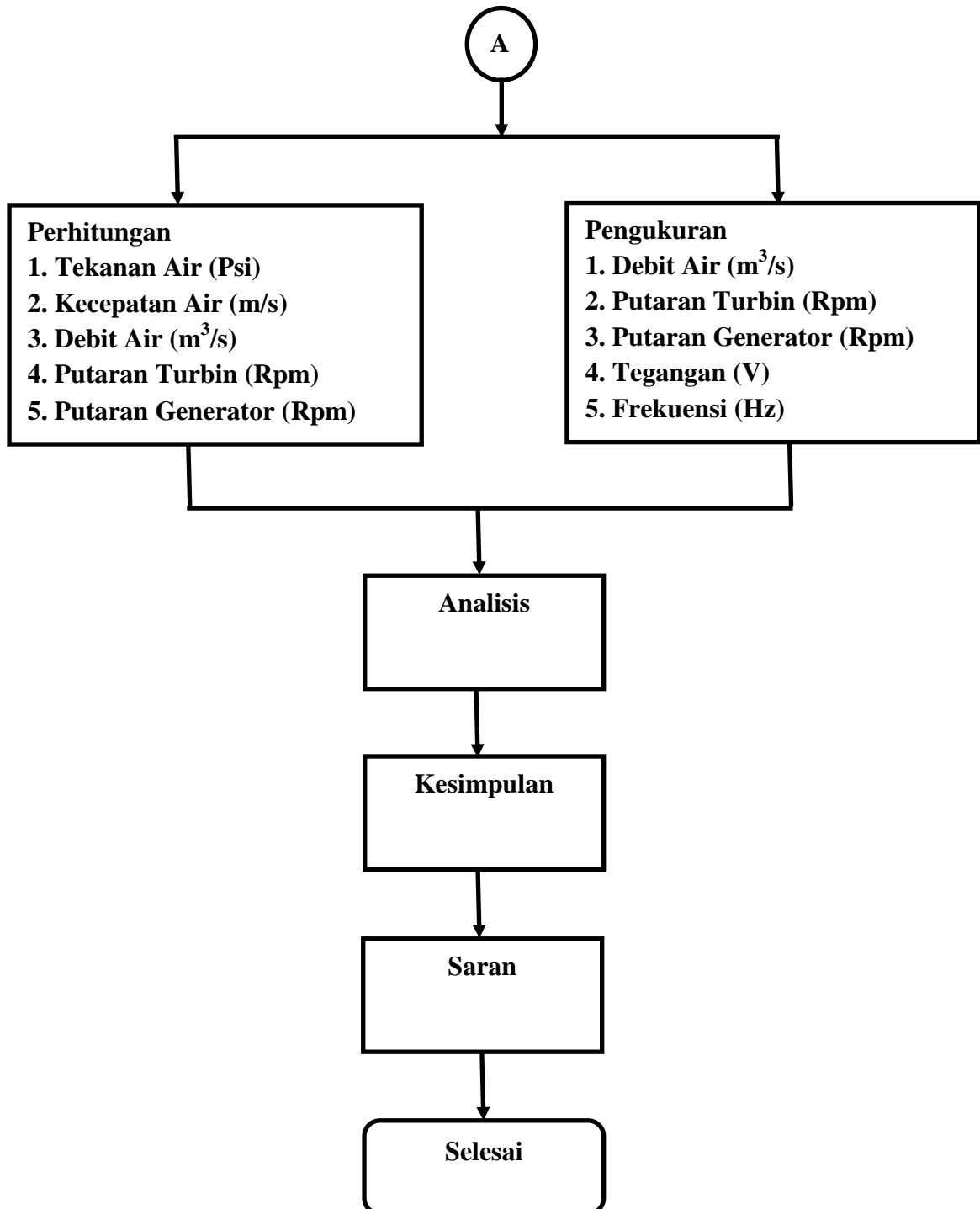
➤ AVO meter analog sanwa yx360trf.

### 3.4. Rancangan Penelitian

Penelitian ini mengacu pada konsep dasar penelitian eksperimen. Penelitian ini dilakukan dengan cara pengecekan dimulai dari reservoir yang berada pada ketinggian 14,27, lalu dipasangkan dengan pipa berdiameter 2 inch. Perhitungan debit air, kecepatan turbin *cross flow* dan daya yang dihasilkan. Pengecekan karakteristik dari beberapa kondisi beban untuk menemukan efektifitas dan efisiensi dalam penggunaan kapasitas genset.

### 3.5. Tahapan Penelitian





Tahap pertama melakukan kajian teoritik perancangan. Kajian teoritik yang dijelaskan terdiri dari kajian tentang potensi energi air, pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH), klasifikasi turbin air, karakteristik turbin *cross flow*, perakitan turbin *cross flow* dan generator.

Tahap kedua yang dilakukan adalah observasi lapangan. Observasi lapangan dilaksanakan di Universitas Negeri Jakarta Gedung L Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro. Observasi yang dilakukan mengenai dimensi turbin, penempatan PLTMH dan ketinggian jatuh air. Observasi dimensi turbin *cross flow* meliputi pengukuran diameter turbin *cross flow*, pengukuran lebar sudu, dan pengukuran tinggi sudu. Alat ukur yang digunakan yaitu *vernier caliper* dengan toleransi 0,05 mm. Observasi penempatan PLTMH yang dilakukan ialah mengamati peletakan turbin yang tepat. Observasi ketinggian yang dilakukan adalah mengamati dan mendokumentasikan ketinggian dari penempatan PLTMH.

Tahap ketiga melakukan perhitungan, berdasarkan kajian teoritik yang telah diuraikan. Perhitungan yang dilakukan yaitu perhitungan tekanan air pada pipa *penstock*, kecepatan air, perhitungan debit air, putaran turbin dan putaran generator.

1. Perhitungan tekanan air dalam sebuah pipa berdiameter dan panjang tertentu mengalir air dengan kecepatan tertentu maka tekanan air yang keluar dari pipa dan debit serta laju aliran massanya bisa dihitung. Adanya aliran air di dalam sebuah pipa menyebabkan penurunan tekanan di sisi keluar pipa.

Adanya perbedaan tekanan air masuk pipa dan keluar pipa dapat disebabkan oleh hambatan aliran, misalnya kekasaran permukaan dalam pipa, gesekan air dengan permukaan pipa, panjang pipa, diameter pipa dan kecepatan aliran. (Persamaan dari 2.3)

$$P = P_o + \rho \times g \times h$$

Dimana :

$P$  = Tekanan (pascal)

$P_o$  = Tekanan udara (1,013x105) atm

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

$g$  = Gravitasi (m/s)<sup>2</sup>

$h$  = *head* efektif (m)

2. Kecepatan air didalam pipa menggunakan persamaan bernaolli. Jenis air mengalir ialah laminar maka persamaan yang didapat adalah: Kecepatan didalam reservoir menggunakan pipa 2 inch dengan rumus:

$$v = \sqrt{\frac{2 \times g \times h \times A_o^2}{A_o^2 - A^2}}$$

diketahui :

Maka kecepatan reservoir dengan pipa 2 in menggunakan rumus:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 \times g \times h \times (A_o)^2}{(A_o)^2 - A^2}}$$

untuk kecepatan pada 2 dengan ketinggian 14,27 serta menggunakan pipa 2 in menggunakan rumus:

Pada pipa 3 kecepatan aliran dengan ketinggian 1 inch yang didapat menggunakan rumus:

$$1 \text{ inch} = 0,0254 \text{ m}$$

$$v_3 = \sqrt{v_2^2 + g(h_1 - h_2)}$$

Belokan 90° pada pipa mengalami penurunan dengan rumus

$$\eta = k \times \frac{v^2}{2g}$$

3. Perhitungan debit air menggunakan persamaan volume per waktu. Volume air yang digunakan adalah volume total dari reservoir serta panjang pipa. Maka rumus yang digunakan sebagai berikut:

Maka luas alas pipa sebagai berikut:

$$A = \pi \times r^2$$

Volume air yang berada didalam pipa dengan ketinggian 14,27 meter

$$V_{\text{pipa}} = A \times h$$

Total volume reservoir dengan ketinggian pipa 14,27 maka sebagai berikut:

$$V_{\text{total}} = V + V_{\text{pipa}}$$

Sehingga debit air didapatkan dari volume per waktu dengan rumus sebagai berikut:

$$Q = V/t$$

Dimana:

$$A = \text{luas alas pipa (m}^2\text{)}$$

$$h = \text{head efektif (m)}$$

$$V_{\text{pipa}} = \text{Volume pipa (m}^3\text{)}$$

$$V_{\text{total}} = \text{Volume total (m}^3\text{)}$$

$$t = \text{Waktu (s)}$$



4. Sedangkan putaran turbin minimum dan maksimum dengan rumus

$$n_{\text{tur-maks}} = (40 \times \sqrt{H}) / Dt$$

Dimana :

$n_{\text{tur-min}}$  = Kecepatan turbin minimum

$n_{\text{tur-maks}}$  = Kecepatan turbin maksimum

$Dt$  = Diameter turbin

$H$  = Tinggi jatuh efektif

Setelah mendapatkan putaran turbin minimum dan maksimum maka kecepatan rata dapat diperoleh dengan rumus :

$$n_{\text{tur}} = (n_{\text{tur-min}} + n_{\text{tur-max}}) / 2$$

5. Putaran generator didapatkan dari rata-rata putaran turbin. Putaran turbin menggunakan *pulley* besar sedangkan generator menggunakan *pulley* kecil. Perbandingan *pulley* turbin dengan generator adalah 1 kali putaran turbin sama dengan 7 kali putaran generator.

$$n_{\text{tur-min}} = (38/Dt) \times \sqrt{H}$$

Tahap keempat yaitu melakukan pengukuran. Pengukuran pada tahap ini meliputi, putaran turbin, putaran generator, tegangan, dan frekuensi. Pengukuran putaran turbin dan generator menggunakan alat ukur tachometer. Pengukuran tegangan pada generator menggunakan alat ukur AVO meter analog, sedangkan frekuensi menggunakan alat ukur AVO meter digital.

Tahap kelima yaitu melakukan analisis pengukuran terhadap perhitungan. Analisis yang dilakukan membandingkan hasil pengukuran putaran turbin terhadap perhitungan putaran turbin. Analisis selanjutnya melakukan

perbandingan antara putaran pengukuran generator terhadap perhitungan generator. Melakukan perbandingan antara Perhitungan putaran generator dan dan pengukuran putaran generator dapat menghasilkan tegangan listrik. Setelah melakukan analisis maka hasil dari analisis pada potensi debit air dan head berapakah yang cocok terhadap kebutuhan perancangan turbin *cross flow* atau memberikan jawaban terhadap perancangan turbin *cross flow* yang disesuaikan dengan potensi debit air dan pada ketinggian netto 14,27.

Langkah selanjutnya memberikan kesimpulan terhadap hasil analisis kinerja prototipe turbin *cross flow* pada pembangkit listrik tenaga mikro hidro dengan kapasitas generator 300 watt.

Langkah akhir yaitu memberikan saran terhadap hasil analisis kinerja prototipe turbin *cross flow* pada pembangkit listrik tenaga mikro hidro dengan kapasitas generator 300 watt.

### 3.6. Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian merupakan data pengujian pengukuran dan perhitungan yang terdiri potensial air, elektrik output dari turbin serta generator.

**Tabel 3.1.** Potensial Air

No	Potensial air	Simbol	Rumus	Nilai/Besaran	Satuan
1	Volume air	V			L
2	Tinggi jatuh	H			m
					Ft
3	Waktu	T			S

4	Diamater pipa	D			In
5	Luas Nozel	A	$(\text{inch} \times 2.54)/100$		M
			$\pi \times (D/2)^2$		m <sup>2</sup>
6	Debit air	Q	$Q = V \times t$		m <sup>3</sup> /s
					cfs
7	Potensi daya air	P air	$P_{\text{air}} = \gamma \times Q \times h$		W
					KW
					Hp
8	Daya output turbin	P out turbin	$= \eta_t \times P_{\text{air}}$		W
					KW

**Tabel 3.2.** Elektrik Output

No.	Elektrik output	Simbol	Rumus	Nilai/ besaran	Satuan
1	Electric output	P.el	$P_{\text{el}} = P_t \times \eta_g \times \eta_m$		KW
2	Generator yang digunakan	Pg	$P_g = P_{\text{el}}/0,8$		KVA
					V

**Tabel 3.3.** Perhitungan Dimensi Turbin

No.	Dimensi turbin	Simbol	Rumus	Nilai/ besaran	Satuan
1	Diameter turbin	D1	$D1 = (862/N)$		m

	D1		$\times H0,5$		
					cm
2	Banyaknya Putaran Turbin	Putaran turbin maks	$\eta t_1 = (38 \times H0.5)/Dt$		Rpm 1
			$\eta t_2 = (40 \times H0.5)/Dt$		Rpm 2
3	Putaran Turbin	Kecepatan Rata-rata turbin	$Average = (\eta t_1 + \eta t_2) / 2$		Rpm

**Tabel 3.4.** Perhitungan *Pulley*.

No.	<i>Pulley</i> calculation		Rumus	Nilai/besaran	Satuan
1	Put. Generator				Rpm
2	Ratio <i>pulley</i>		$n_g/n_{tur}$		
	Realisasi <i>Pulley</i>				
1	Diameter <i>Pulley</i> Besar	Asumsi			mm
2	Diameter <i>Pulley</i> Kecil		$1/\text{rasio} \times 500$		mm
3	Rasio		$n_{turbin}/\text{put}$		mm

**Tabel 3.5.** Pengujian Putaran Turbin Tanpa Generator.

No.	Pengujian putaran	Perhitungan	Pengukuran
1.	Turbin		

**Tabel 3.6.** Pengujian Putaran Turbin Ditransmisikan Dengan Generator.

No.	Pengujian	Pengukuran	Perhitungan
1	Putaran Turbin (RPM)		
2	Putaran Generator Ukur		
3	Tegangan Generator		
4	Frekuensi		

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Observasi Lapangan

Observasi lapangan meliputi:

1. Dimensi turbin
2. Penempatan PLTMH
3. Ketinggian

##### 4.1.1. Dimensi Turbin

Observasi dimensi turbin yang dilakukan meliputi konstruksi turbin *cross flow* diameter turbin, lebar sudu, panjang sudu.



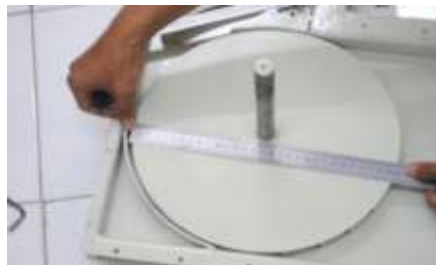
**Gambar 4.1.** Turbin *Cross Flow*

Gambar 4.1. menunjukkan gambar turbin *cross flow*. Turbin *cross flow* inner berdiameter 3 inchi. Perbandingan *pulley* besar dengan *pulley* kecil 1:7.



**Gambar 4.2.** Bagian Dalam Turbin *Cross Flow*

Gambar 4.2. menunjukkan bagian dalam turbin. Bagian dalam turbin *cross flow* terdiri dari governor diameter turbin dan sudu-sudu turbin.



**Gambar 4.3.** Diamater Turbin *Cross Flow*

Gambar 4.3. menunjukkan diameter turbin *cross flow*. Diameter turbin *cross flow* dengan hasil pengukuran 30 cm. Diameter turbin *cross flow* yang berukuran 30 cm ini cocok untuk *head* yang rendah.



**Gambar 4.4.** Poros Diamater Turbin *Cross Flow*

Gambar 4.4. Poros diameter turbin *cross flow*. Poros diameter turbin *cross flow* dengan hasil pengukuran 2 cm. Pengukuran menggunakan alat ukur *vernier caliper* dengan toleransi 10 mm.



**Gambar 4.5.** Sudu Turbin *Cross Flow*

Gambar 4.5. menunjukkan sudu turbin *cross flow*. Gambar ini menggambarkan bentuk sudu turbin *cross flow*.



**Gambar 4.6.** Lebar Sudu Turbin *Cross Flow*

Gambar 4.6. menunjukkan lebar sudu turbin *cross flow*. Gambar ini menggambarkan pengukuran lebar diameter turbin *cross flow*. Hasil Pengukuran lebar diameter turbin *cross flow* yaitu 2 cm. Alat ukur yang digunakan ialah *vernier caliper*.



**Gambar 4.7.** Panjang Sudu



Gambar 4.7. menunjukkan panjang sudu. Observasi ini melakukan pengukuran panjang sudu. Hasil pengukuran panjang sudu yaitu 5 cm.

#### 4.1.2. Penempatan PLTMH

Observasi lapangan pada penempatan PLTMH yang dilakukan ialah mengamati tempat penelitian di gedung L teknik elektro. Penempatan PLTMH Tujuan dari observasi penempatan PLTMH yang tepat dalam melakukan penelitian.



**a**



**b**

**Gambar 4.8.** Penempatan PLTMH

Gambar 4.8.a menunjukkan penempatan torn air. 4.8.b menunjukkan penempatan turbin. Gambar 4.6.a penempatan torn air diletakan pada lantai 5 gedung teknik elektro dengan ketinggian 16 meter. 4.8.b penempatan turbin di letakan pada lantai dasar Gambar 4.6. menunjukkan penempatan PLTMH yang tepat dalam penelitian.

#### 4.1.3. Ketinggian

Observasi lapangan pada ketinggian jatuhnya air. Observasi ini mengukur tinggi gedung elektro.



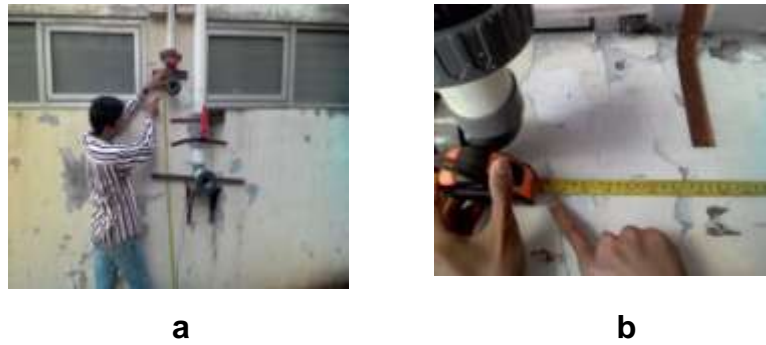
**Gambar 4.9.** Tinggi Gedung Elektro

Gambar 4.9. tinggi gedung elektro. Pada gambar hasil pengukuran tinggi gedung 16 meter. Gambar 4.9.a tinggi gedung tampak bawah. Gambar 4.9.b tinggi gedung tampak atas.



**Gambar 4.10.** Tinggi Torn

Gambar 4.10. Tinggi torn air 110. Cm. Tinggi gedung 16 meter jadi tinggi bruto adalah 17,1 m. Gambar 4.10.a pengukuran tinggi torn. Gambar 4.10.b pengukuran tinggi torn hasil yang di *zoom* pengambilan gambar.



**Gambar 4.11.** Tinggi Pipa

Gambar 4.9. melakukan pengukuran tinggi pipa 2 inchi. Tinggi terukur yaitu 1,73 meter. Alat ukur yang digunakan yaitu meteran lipat (pita). Netto tinggi pipa 2 inchi yaitu 14,27 meter.

## 4.2. Perhitungan

### 4.2.1. Perhitungan Tekanan Air

Perhitungan tekanan air menggunakan rumus  $\rho \times g \times h$

$$P = P_o + \sqrt{2 \times g \times h}$$

Keterangan:

$$P_o = 110.130 \text{ (atm)}$$

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

$$g = 9,81 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$h = 1 \text{ (m)}$$

$$= 110.130 + (1000 \times 9,81 \times 1)$$

$$= 119.940 \text{ pascal}$$

$$= 17,40 \text{ psi}$$

#### 4.2.2. Perhitungan Kecepatan Air Pipa 2 Inchi

Perhitungan kecepatan didalam reservoir menggunakan pipa 2 inchi dengan rumus:

$$v = \sqrt{\frac{2 \times g \times h \times A_0^2}{A_0^2 - A^2}}$$

diketahui :

$$g = 9,81 \text{ (m/s)}^2$$

$$h = 1 \text{ m}$$

$$D_0 = 0,8 \text{ m}$$

$$r_0 = 0,4 \text{ m}$$

$$D1 = 2 \text{ inchi}$$

$$r_1 = 1 \text{ inchi}$$

$$= 0,0254 \text{ m}$$

Jawab :

$$A_0 = 2 \times \pi \times r^2$$

$$= 2 \times 3,14 \times 0,42$$

$$= 0,502 \text{ m}^2$$

$$A = 2 \times \pi \times r^2$$

$$= 2 \times 3,14 \times (0,0254)^2$$

$$= 0,0020 \text{ m}^2$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 \times g \times h \times (A_0)^2}{(A_0)^2 - A^2}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 9,81 \times 1 \times (0,502)^2}{(0,502)^2 - (0,0020)^2}}$$

$$= 5,429 \text{ m/s}$$

Kecepatan air pada pipa 2 dengan ketinggian 14,27 menggunakan hukum Bernoulli. Jenis air mengalir ialah laminar maka persamaan yang didapat adalah :

$$V_2 = \sqrt{v_1^2 + g (h_1 - h_2)}$$

Diketahui :

$$v_1 = 5,429$$

$$h_1 = 16 \text{ m} - 1,73 \text{ m}$$

$$= 14,27 \text{ m}$$

Jawab :

$$v_2 = \sqrt{5,429^2 + 9,81 (14,27)}$$

$$= 13,02 \text{ m/s}$$

Pada pipa 3 kecepatan aliran dengan ketinggian 1 inchi yang didapat menggunakan rumus:

$$1 \text{ inchi} = 0,0254 \text{ m}$$

$$v_3 = \sqrt{v_2^2 + g (h_1 - h_2)}$$

$$= \sqrt{13,02^2 + 9,81 \times 0,0254}$$

$$= 13,037 \text{ m/s}$$

Belokan 90° pada pipa mengalami penurunan dengan rumus

$$\eta = k \times \frac{v^2}{2g}$$

$$= 0,50 \times \frac{13,037^2}{2 \times 9,81}$$

$$= 416,832$$

### 4.2.3. Perhitungan Debit Air

Perhitungan debit air yang dilakukan memiliki volume *resevoir* 700 liter tinggi pipa 14,27 meter dengan diameter pipa 2 inchi. Maka debit air yang dihasilkan sebagai berikut:

$$V = 700 \text{ liter}$$

$$= 0,7 \text{ m}^3$$

$$h = 14,27 \text{ m}$$

$$D = 2 \text{ inchi}$$

$$r = 1 \text{ inchi}$$

$$= 0,254 \text{ m}$$

$$t = 50 \text{ s}$$

Maka luas pipa dari persamaan 3.

$$A = \pi \times r^2$$

$$= 3,14 \times 0,254^2$$

$$= 0,0020 \text{ m}^2$$

Volume air yang berada didalam pipa dengan ketinggian 14,27 meter

$$V_{\text{pipa}} = A \times h$$

$$= 0,0020 \times 14,27$$

$$= 0,0289 \text{ m}^3$$

Total volume reservoir dengan ketinggian pipa 14,27 maka sebagai berikut:

$$V_{\text{total}} = V + V_{\text{pipa}}$$

$$= 0,7 + 0,0289$$

$$= 0,702 \text{ m}^3$$

Sehingga debit air didapatkan dari volume per waktu dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q &= V/t \\ &= 0,702/50 \\ &= 0,0140 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

#### 4.2.4. Perhitungan Perencanaan Turbin *Cross Flow*

Perhitungan Pipa 2 Inchi diketahui sebagai berikut:

$$H = 14,27 \text{ m}$$

$$= 46,80 \text{ Ft}$$

$$Q = 0.014 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$= 0,4944 \text{ cfs}$$

$$\eta_t = 0.7$$

$$\eta_g = 0.8$$

$$\eta_{tr} = 0.9$$

$$D_t = 30 \text{ cm}$$

$$= 0,3 \text{ m}$$

$$L_o = 2 \text{ cm}$$

$$= 0,02 \text{ m}$$

##### a. Daya *output* turbin

Daya *output* pada turbin dihitung dengan rumus :

$$P = 9.81 \times 14,27 \times 0,014 \times 0.7$$

$$= 2,450 \text{ KW}$$

**b. Electric output**

*Elektrik Output* dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned} P_{el} &= P_t \times \eta_g \times \eta_{tm} \\ &= 2,450 \times 0,8 \times 0,9 \\ &= 2,09 \text{ kW} \end{aligned}$$

Generator yang digunakan

$$\begin{aligned} P_g &= P_{el} / 0,8 \\ &= 2,09 / 0,8 \\ &= 2,61 \text{ KVA} \end{aligned}$$

**c. Putaran turbin:**

Putaran turbin didapat dari :

$$\begin{aligned} D_t &= \text{Diameter turbin (m)} \\ h &= \text{head (m)} \end{aligned}$$

Putaran minimum turbin

$$\begin{aligned} n_{\text{tur-min}} &= (38/30) \times (14,27)^2 \\ &= 478,5 \text{ RPM} \end{aligned}$$

Putaran turbin maksimum

$$\begin{aligned} n_{\text{tur-max}} &= (40 \times H^{0.5}) / D_t \\ &= (40 \times (14,27)^2) / 30 \\ &= 503,7 \text{ RPM} \end{aligned}$$

Putaran turbin rata-rata

$$\begin{aligned} n_t &= (n_{\text{tur-min}} + n_{\text{tur-max}}) / 2 \\ &= 491,08 \text{ RPM} \end{aligned}$$



**d. Pulley calculation**

Putaran generator = 3000 RPM (diharapkan)

Ratio *Pulley*

$$\begin{aligned} \text{Ratio } Pulley &= n_g/n_t \\ &= 3000/491,08 \\ &= 6,10 \end{aligned}$$

Realisasi *Pulley*

Diameter Turbin = 14 inchi

Diameter Generator = 2 inchi

Rasio *Pulley* = 1:7

**Tabel 4.1.** Perencanaan Turbin *Cross Flow* Potensial Air

No	Potensial air	Simbol	Rumus	Nilai/besaran	Satuan
1	Volume air	V		700	L
2	Tinggi jatuh	H		14,27	M
				46,817	Ft
3	Volume air	V		700	L
4	Tinggi jatuh	H		14,27	M
				46,817	Ft
5	Waktu	T		50	S
6	Diamater pipa	D		2	In
7	Luas Nozel	A	(inchi x 2.54)/100	0,0508	M
			$\pi \times (D/2)^2$	0,002	m <sup>2</sup>
8	Debit air	Q	Q= V x t	0,0140	m <sup>3</sup> /s

				<b>0,4942</b>	<b>Cfs</b>
<b>9</b>	<b>Potensi daya air</b>	<b>P air</b>	<b><math>P_{air} = \gamma \times Q \times h</math></b>	<b>1,959,841</b>	<b>W</b>
				<b>1,95984</b>	<b>KW</b>
				<b>2,62619</b>	<b>Hp</b>
<b>10</b>	<b>Daya output turbin</b>	<b>P out turbin</b>	<b><math>= \eta_t \times P_{air}</math></b>	<b>1,371,889</b>	<b>W</b>
				<b>1,3719</b>	<b>KW</b>

**Tabel 4.2.** Perhitungan Perencanaan Turbin *Cross Flow* Elektrik *Output*

No	Elektrik output	Simbol	Rumus	Nilai/besaran	Satuan
1	Electric output	P.el	$P_{el} = P_t \times \eta_g \times \eta_{tm}$	0,8187709	KW
2	Generator yang digunakan	Pg	$P_g = P_{el} / 0,8$	1,0234637	KV
				1.023,463	V

**Tabel 4.3.** Perhitungan Perencanaan Dimensi Turbin

No	Dimensi turbin	Simbol	Rumus	Nilai/besaran	Satuan
1	Diameter turbin D1	D1	$D1 = (862/N) \times H^{0,5}$	0,3	M
				30	Cm
2	Banyaknya Putaran Turbin	Putaran turbin maks	$n_{t1} = (38 * H^{0,5}) / D_t$	478,4916	RPM 1
			$n_{t2} = (40 * H^{0,5}) / D_t$	503,675	RPM 2

3	Putaran Turbine	Rata rata kecepatan turbin	Average= $(\eta t_1 + \eta t_2) / 2$	491,0834	RPM
---	-----------------	-------------------------------	---	----------	-----

**Tabel 4.4.** Perhitungan Perencanaan Turbin *Pulley*

No.	<i>Pulley</i> calculation		Rumus	nilai/ besaran	Satuan
1	Put. Generator			3000	RPM
2	Ratio <i>Pulley</i>		$n_g/n_{tur}$	6,10894079	
	Realisasi <i>Pulley</i>				
1	Diameter <i>Pulley</i> besar	Asumsi		500	mm
2	Diameter <i>Pulley</i> Kecil		$1/\text{rasio} * 500$	81,8472493	mm
3	Rasio		$n_{turbin}/\text{put}$	6,11	mm

### 4.3 Pengukuran Pipa 2 Inchi



**Gambar 4.12** Pengukuran Putaran Turbin *Cross flow* Tanpa Generator

Pada gambar 4.12 Pengukuran putaran turbin *cross flow* tanpa generator. Pengukuran ini menggunakan alat ukur tachometer. Sinar laser tachometer diarahkan pada *pulley* besar sehingga menghasilkan putaran 490,5 RPM.



**Gambar 4.13.** Pengukuran Putaran Turbin *Cross Flow* Ditansmisikan Dengan Generator

Pada gambar 4.13. Pengukuran putaran turbin *cross flow* ditransmisikan dengan generator. Alat ukur yang digunakan dalam pengukuran kecepatan ialah tachometer. Sinar laser tachometer diarahkan pada *pulley* besar sehingga menghasilkan putaran 213,1 RPM.



**Gambar 4.14.** Pengukuran Putaran Generator.

Pada gambar 4.14. Pengukuran putaran generator. Alat ukur yang digunakan dalam pengukuran kecepatan ialah tachometer. Sinar laser tachometer diarahkan pada *pulley* kecil. Tachometer mendapatkan hasil putaran 213,1 RPM.



**Gambar 4.15.** Pengukuran Frekuensi Hz. (Kiri). Tegangan Volt (Kanan)

Pada gambar 4.15. Pengukuran Frekuensi dan pengukuran Volt. Pengukuran Volt menggunakan alat ukur AVO Meter Analog. Cara mengukur AVO Meter Analog yaitu dengan menghubungkan probe merah pada kabel positif generator dan probe hitam pada kabel negatif generator. AVO Meter Analog menunjukkan nilai 70 Volt. Pengukuran frekuensi menggunakan alat ukur AVO Meter digital. Cara mengukur AVO Meter digital yaitu dengan menghubungkan probe merah pada kabel positif generator dan probe hitam pada kabel negatif generator. AVO Meter digital menunjukkan nilai 24,26 Hz.

#### **4.4. Data Penelitian Pipa 2 Inchi**

##### **4.4.1. Putaran Turbin Tanpa Generator**

Pengujian pipa 2 inchi tanpa generator yang dilakukan dengan melakukan perbandingan antara perhitungan dan pengukuran. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.5

**Tabel 4.5.** Pengujian Putaran Turbin Tanpa Generator

No.	Pengujian putaran	Perhitungan	Pengukuran
1.	Turbin	503 RPM	490,5 RPM

Berdasarkan data tabel diatas dapat diuraikan bahwa kecepatan putaran turbin setelah diukur mendapatkan hasil 490,5 RPM. Kecepatan turbin didalam pengukuran yaitu 503 RPM. Perbedaan hasil antara pengukuran dan perhitungan disebabkan faktor gesekan yang berada pada turbin.

#### 4.4.2. Kinerja Pipa 2 Inchi Dengan Generator Beban Nol

Pengujian pipa 2 inchi dengan generator beban nol yang dilakukan dengan melakukan pengukuran. Pengujian yang dilakakuan meliputi kecepatan turbin, kecepatan generator, tegangan generator dan frekuensi

**Tabel 4.6.** Pengujian Putaran Turbin Ditransmisikan Dengan Generator

No	Pengujian	Pengukuran
1	n Turbin (RPM)	213 RPM
2	n Generator	1500 RPM
3	Tegangan Generator	70 V
4	Frekuensi	24,26 Hz

Berdasarkan data tabel diatas data yang diperoleh adalah pada kecepatan putar turbin ukur dengan genarator 213 RPM. Perbedaan hasil yang didapat ini karena mengabaikan perhitungan losses pada transmisi, efisensi generator dan efisiensi turbin. Kecepatan generator ukur 1500 RPM. Kecepatan putar turbin menggunakan *pulley* besar dan kecepatan putar generator menggunakan *pulley* kecil. Perbandingan antara *pulley* besar dan *pulley* kecil 1:7. 1 kali *pulley* besar berputar sama dengan 7 kali *pulley* kecil berputar. Generator ini membutuhkan putaran 3000 RPM. Pada saat putaran generator ini diukur menghasilkan 1500 RPM maka mendapatkan tegangan ukur 70 Volt. Frekuensi ukur 24,26 Hz.

#### **4.5. Analisis**

Berdasarkan data-data yang diperoleh pembangkit listrik tenaga mikro hidro yaitu ketinggian *head* (h) 14,27 meter dengan pipa 2 inchi menghasilkan debit air 0.014 m<sup>3</sup>/s. Potensi debit air dialirkan melalui pipa untuk menggerakkan turbin *cross flow* dan ditransmisikan oleh *v-belt* ke generator. Hasil yang didapatkan pada turbin *cross flow* 213 RPM dan putaran generator 1500 RPM. Putaran turbin yang menurun hingga 50% saat di transmisikan ini disebabkan adanya rugi-rugi mekanis. Putaran turbin dan generator yang telah didapat maka, energi listrik yang dibangkitkan oleh generator adalah 70 Volt, karena spesifikasi generator yang berkapasitas 300 watt memerlukan putaran rata-rata 3.000 RPM sehingga untuk mendapatkan putaran generator tersebut maka yang dilakukan adalah *redesign* turbin *cross flow*.

Ketinggian *head* (h) 14,27, potensi debit air 0.014 m<sup>3</sup>/s dengan perancangan prototype turbin *cross flow* ini belum dapat terpenuhinya putaran generator sebesar 3.000 RPM. Data-data tersebut kemudian di analisis sehingga dengan potensi air tersebut dilakukan perubahan pada dimensi turbin.

1. *Redesign* turbin *cross flow* dengan potensi air

*Redesign* turbin *cross flow* dengan potensi air untuk mendapatkan putaran generator 3.000 RPM sebagai berikut:

$$\begin{aligned} h &= 14,27 \text{ m} \\ &= 46,80 \text{ Ft} \\ Q &= 0.014 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 0,4944 \text{ cfs} \\ \eta_t &= 0.7 \\ \eta_g &= 0.8 \\ \eta_{tr} &= 0.9 \end{aligned}$$

a. Daya output turbin

Daya output pada turbin dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned} P &= 9.81 \times 14,27 \times 0,014 \times 0.7 \\ &= 1,372 \text{ KW} \end{aligned}$$

b. Elektrik *output*

Elektrik Output dihitung dengan rumus :

$$P_{el} = P_t \times \eta_g \times \eta_{tm}$$



$$= 1,372 \times 0,8 \times 0,9$$

$$= 0,99 \text{ KW}$$

Generator yang digunakan

$$P_g = P_{el} / 0,8$$

$$= 0,99 / 0,8$$

$$= 2,61 \text{ KVA}$$

c. Dimensi turbin

$$\text{Diameter Turbin} = 0,06 \text{ m (given)}$$

$$\text{Maka lebar turbin} = \frac{1}{(0,8 \times dt) \times \left(\frac{Q}{\sqrt{H}}\right)}$$

$$= \frac{1}{(0,8 \times 0,06) \times \left(\frac{0,014}{\sqrt{14,27}}\right)}$$

$$= 0,077 \text{ meter}$$

$$= 7,72 \text{ centimeter dibulatkan} = 8 \text{ cm}$$

d. Putaran turbin

Putaran turbin didapat dari :

$$D_t = \text{Diameter turbin (m)}$$

$$h = \text{head (m)}$$

Putaran minimum turbin

$$n_{\text{tur-min}} = (38/0,06) \times (14,27)^2$$

$$= 2392,5 \text{ RPM}$$

Putaran turbin maksimum

$$n_{\text{tur-max}} = (40 \times H^{0.5})/D_t$$

$$= (40 \times (14,27)^{0.5})/0,06$$

$$= 2518,4 \text{ RPM}$$

Putaran turbin rata-rata

$$\begin{aligned} \text{Average } n_{t_1} &= (n_{tur-min} + n_{tur-max})/2 \\ &= 2455,42 \text{ RPM} \end{aligned}$$

Putaran turbin yang telah di transmisi oleh v-belt ke generator

$$\begin{aligned} n_{t_2} &= \text{Average } n_t \times 0,7 \times 0,8 \times 0,9 \\ &= 2455,42 \times 0,7 \times 0,8 \times 0,9 \\ &= 1237,53 \text{ RPM} \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan putaran generator sebesar 3000 RPM maka perbandingan *pulley* yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned} &= 3000/n_{t_2} \\ &= 2,42 \end{aligned}$$

Design awal turbin *cross flow* dengan diameter turbin 30 cm (*given*) dan lebar turbin 2 cm. Berdasarkan potensi air yang didapatkan maka untuk mendapatkan putaran generator 3.000 RPM yang design kembali adalah diameter turbin 0,06 meter, lebar turbin 0,077 meter serta ratio *pulley* 1 : 2,42.

#### 4.5.1. Pembahasan Tabel *Redesign Turbin Cross Flow*

*Redesign* turbin *cross flow* dengan potensi air untuk mendapatkan putaran generator 3000 RPM sebagai berikut:

**Tabel 4.7.** Potensial Air *Redesign Turbin Cross Flow*

No	Potensial Air	Simbol	Rumus	Nilai/Besaran	Satuan
1	Tinggi jatuh	H		14,27	M

				46,817016	Ft
2	Debit air	Q		0,014	m <sup>3</sup> /s
				0,494	Cfs
3	Efisiensi turbin	Ht		0,7	
4	Efisiensi generator	Hg		0,8	
5	Efisiensi transmisi	Htr		0,9	
6	Daya output turbin	P out turbin	P Out = $\eta_t \times g \times h \times Q$	1.372	W
				1,3719	KW
7	Electrik <i>output</i>	P.el	P.el=Pt x $\eta_g$ x $\eta_{tm}$	0,8187709	KW
8	Generator yang digunakan	Pg	Pg= Pel/0,8	1,0234637	KVA

**Tabel 4.8.** Redesign Turbin Cross Flow

No.	Dimensi turbin	Simbol	Rumus	Nilai/ Besaran	Satuan
1	Diameter turbin	D1	$D1 = (862/N) \times H^{0,5}$	0,06	m
				6	cm
2.	Lebar turbin	Lo	$Lo = \frac{1}{(0,8 \times dt) \times (\frac{Q}{\sqrt{H}})}$	0,077	m
3	Banyaknya Putaran Turbin	Putaran turbin maks	$nt 1 = 38 \times H^{0,5} / Dt$	2392,5	RPM 1
		Putaran	$nt 2 = (40 \times$	2518,4	RPM 2

		turbin min	$H0.5) / Dt$		
4	Putaran Turbin	Rata rata kecepatan turbin	Average = $(nt + nt 2) / 2$	2455,42	RPM
5	Putaran Turbin Dengan Generator	ntg	$nt \times \eta_t \times \eta_{tr} \times \eta_g$	1237,5	RPM

**Tabel 4.9.** *Redesign Pulley Turbin Cross Flow*

No.	<i>Pulley calculation</i>	Rumus	Nilai/besaran	Satuan
1	Put. Generator		3000	RPM
2	<i>Ratio pulley</i>	ng/ntg	2,42	

**Tabel 4.10.** Pembahasan Kinerja Turbin *Cross Flow* dan Kinerja Generator

Design Turbin	Kinerja Turbin <i>Cross Flow</i> (RPM)	Kinerja Turbin <i>Cross Flow</i> Transmisikan Dengan Generator (RPM)	Kinerja Generator (RPM)
Diameter Turbin <i>Cross Flow</i> 30 cm	490,5	213	1500
Lebar sudu Turbin <i>Cross Flow</i> 2 cm			
Diameter Turbin <i>Cross Flow</i> 6 cm	2455,5	1237,5	3000
Lebar sudu Turbin <i>Cross Flow</i> 8 cm			

Dari tabel 4.5.2. didapat bahwa dengan diameter turbin *cross flow* 30 cm dan lebar sudu 2 cm kinerja putaran turbin *cross flow* 490,5 RPM serta kinerja

putaran turbin transmisikan dengan generator 213 RPM dan putaran generator 1500 RPM dikarenakan putaran generator tidak menghasilkan 3000 RPM maka dibutuhkan *redesign* turbin *cross flow* dengan diameter turbin *cross flow* 6 cm dan lebar sudu 8 cm kinerja putaran turbin *cross flow* 2455,5 RPM serta kinerja putaran turbin transmisikan dengan generator 1237,5 RPM dan putaran generator 3000 RPM.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Prototipe turbin *cross flow* dengan diameter 30 cm, lebar sudu turbin 2 cm, panjang sudu 5 cm. Belum dapat bekerja secara optimal hal tersebut terlihat saat pengujian. Potensial air dengan volume *reservoir* 700 liter memiliki *head* 14,27 meter dengan debit air 0,014 m<sup>3</sup>/s. Kecepatan Putar turbin *cross flow* Ketika belum ditransmisikan dengan generator hanya mampu berputar dengan kecepatan 490,5 RPM. Kecepatan Putar turbin *cross flow* Saat ditransmisikan turbin dengan generator hanya mampu berputar dengan kecepatan 213,1 meter.
2. Untuk mendapatkan hasil yang optimal perlu dilakukan *redesign* turbin *cross flow*. Perancangan dimensi turbin yang dilakukan ialah diameter turbin menjadi 0,06 meter, lebar turbin 8 cm, dan perbandingan *pulley* 1 : 2,42.

#### **5.2. Saran**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat dikemukakan saran sebagai berikut :

1. Mahasiswa teknik elektro dapat melanjutkan penelitian ini dengan mengubah debit air dan ketinggian yang berbeda serta menggunakan *looping* air dalam melakukan penelitian.
2. Penelitian selanjutnya disarankan pipa penstock yang digunakan mempunyai sudut kemiringan sehingga *loses* air tidak terlalu besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- (Persero), P. P. (2012). *Statistik PLN 2012*. Sekretariat Perusahaan PLN .
- Andi Ade Larasakti, d. (2012). Pembuatan dan Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Turbin Banki day 200 Watt. *Jurnal Mekanikal*, 3(1), 245.
- Bachtiar, A. N. (2014, Februari 4). Karakteristik Turbin Flow.
- Indonesia, B. P. (2011, Agustus). Perkembangan Beberapa Indikator Utama Sosial-ekonomi Indonesia. *Katalog BPS : 31101015*, hal. 11.
- Joseph Edward Shigley, d. (1994). *Perencanaan Teknik Mesin* (4th ed.). Jakarta: Erlangga.
- Moch. Asief Rosyidin, dkk. Pengaruh Bukaannya Guide Vane Terhadap Unjuk Kerja Turbin Crossflow Tipe C4-20 Pada Instalasi PLTMH Andung Biru. *Artikel Ilmiah Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik*.
- Nakdesa. (2014, Juni 14). Listrik Mikrohidro.
- KBBI. (2014, November 8).
- Soemitro, H. W. (1984). *Mekanika Fluida dan Hidraulika*. Jakarta: Erlangga.
- Suyitno. (2011). *Pembangkit Energi Listrik*. Jakarta: Rineka Cipta.



# LAMPIRAN

Lampiran 1



Lampiran 2



## Lampiran 3

