

# PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO DI DESA KAYUNI KABUPATEN FAKFAK PROVINSI PAPUA BARAT

Muh. Misbachudin<sup>1)</sup>, Desylita Subang<sup>2)</sup>, Tri Widagdo<sup>3)</sup>, Moch. Yunus<sup>4)</sup>

<sup>1,2,3,4)</sup>Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya

Jl. Srijaya Negara Bukit Besar Palembang 30139 Telp: 0711-353414, Fax: 0711-453211

Email: Misbahboshter84549@gmail.com

## ABSTRAK

Energi listrik merupakan salah satu sumber energi yang sangat berperan penting dalam kehidupan manusia, baik dalam sektor rumah tangga, pertanian, publik, maupun industri. Penyediaan energi listrik merupakan salah satu infrastruktur yang wajib dipenuhi agar kegiatan masyarakat di suatu daerah dapat berjalan dengan baik, sehingga proses perkembangan pun dapat terlihat. Air merupakan salah satu potensi utama di setiap pelosok daerah, namun belum dimanfaatkan secara maksimal, sementara sampai saat ini kita tahu bahwa air merupakan salah satu energi yang dapat diperbaharui. Sehingga disaat kita dapat memanfaatkan energi tersebut secara maksimal dan bertanggung jawab, kita tidak perlu lagi bergantung pada bahan bakar fosil yang sewaktu-waktu dapat mengalami krisis ketersediaan, salah satu potensi alam yang belum dimanfaatkan adalah, air terjun Kayuni di Desa Kayuni Kabupaten Fakfak, provinsi Papua Barat yang mempunyai tinggi jatuh air (Head) 7.5 m dan debitnya 1.61 m<sup>3</sup> per second sehingga dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan energi listrik dengan menggunakan turbin air untuk pemenuhan energi listrik bagi penduduk di sekitarnya. Perancangan turbin diawali dengan pemilihan turbin berdasarkan putaran spesifik (N) yang dihitung berdasarkan data head dan debit (Q) yang diperoleh, setelah diketahui jenis turbin yang sesuai maka dapat dilakukan perancangan turbin (runner), sudu, nozel, penstock dan poros pada perancangan ini dihasilkan gambar kerja dari (runner, sudu, nozel, penstock dan poros yang nantinya desain dari turbin impuls ini dapat digunakan dalam berbagai kondisi yang ada di pelosok Indonesia sehingga pada akhirnya dapat membantu mengurangi krisis energi listrik yang terjadi.

**Kata kunci:** Micro hidro, head, debit, Runner, sudu

## ABSTRACT

*Electrical energy is one source of energy that plays an important role in human life, both in the household sector, agriculture, public, and industry. The provision of electrical energy is one of the infrastructures that must be fulfilled so that community activities in a region can run well, so that the development process can be seen. Water is one of the main potential in every corner of the region, but not yet maximally utilized, while until now we know that water is one of the renewable energy. So that when we can utilize that energy maximally and responsibly, we no longer need to rely on fossil fuel which at any time can experience the crisis of availability, one of untapped natural potency is, waterfall kayuni, Kayuni Village Fakfak regency, Papua Barat Province of which has a head fall 7.5 m and its debit 1.61 m<sup>3</sup> Per second so that it can be utilized to generate electrical energy by using water turbines for the fulfillment of electrical energy for the surrounding population. The design of the turbine begins with the selection of turbines based on specific rounds (N) calculated based on head and discharge data (Q) obtained, after known the appropriate turbine type can be designed turbine (runner), blade, nozzle, shaver and shaft in this design The working drawings of the (runner, blade, nozzle, penstock and shaft that later design of this impulse turbine can be used in various conditions that exist in remote areas of Indonesia so that it can ultimately help reduce the energy crisis that happened.*

**Keywords:** Micro hydro, head, debit, Runner, blade

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kayuni adalah salah satu desa yang belum mendapatkan fasilitas listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) Kabupaten Fakfak, karena kapasitas daya listrik dari PLN yang belum memadai, serta infrastruktur yang ada di Desa Kayuni belum mendukung karena berada jauh dari pusat kota, sehingga berakibat pada tidak meratanya

pendistribusian listrik dalam menerangi sebagian pelosok desa. Masyarakat Desa Kayuni selama ini menggunakan penerangan dengan petromak atau pelita dan mesin genset, namun hanya sekitar 5% masyarakat yang mampu memiliki mesin tersebut. Penggunaan petromak atau pelita serta genset ini mengakibatkan pengeluaran masyarakat menjadi besar pada upaya memperoleh bahan bakar minyak, sekaligus mempengaruhi waktu belajar di malam hari bagi pelajar-pelajar yang menempuh pendidikan,

bahkan mempengaruhi tingkat efisiensi pelayanan publik yang pada dasarnya membutuhkan aliran listrik.

Desa Kayuni, Distrik Kramomongga memiliki dua aliran sungai yaitu sungai Kayuni dan sungai Ubadari, dengan panjang total sungai sekitar 500 meter yang berlokasi sekitar 100-150 meter dari perumahan penduduk. Kedua sungai ini memiliki elevasi yang cukup baik sehingga menghasilkan air terjun dengan tinggi terjunan sekitar 20 meter. Berdasarkan potensi sumberdaya air yang terdapat didesa Kayuni, didapatkan ide untuk merancang pembangkit listrik skala kecil (*Mikro Hidro*) yang diharapkan dapat membantu masyarakat setempat untuk memenuhi kebutuhan konsumsi listrik di Desa Kayuni.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro adalah suatu pembangkit listrik berskala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjunan (*head*) dan jumlah debit air. Terutama pada besarnya tenaga listrik yang dihasilkan. PLTA dibawah ukuran 200 KW PLTA di bawah ukuran 200 KW digolongkan sebagai Mikrohidro. Dengan demikian, sistem pembangkit Mikrohidro cocok untuk menjangkau ketersediaan jaringan energi listrik di daerah-daerah terpencil dan pedesaan.

### 1.2 Tujuan Penelitian

- Mendapatkan desain dan konstruksi turbin impuls pada head 7,5 m dan debit air 1, 61 m<sup>3</sup>/s.
- Mengetahui daya yang dihasilkan pada turbin impuls dengan head 7,5 dan debit 1,61 m<sup>3</sup>/s.
- Sebagai salah satu solusi pemerataan energi listrik di wilayah Indonesia, khususnya masyarakat di Desa Kayuni Kabupaten Fakfak yang belum mendapatkan pasokan listrik, namun mempunyai potensi alam yang memadai, khususnya air.
- Sebagai salah satu sumber energi terbarukan seperti turbin kaplan.

### 1.3 Manfaat Penelitian

- Dengan desain dasar yang sesuai dengan kondisi lapangan sebagai hasil studi perencanaan ini dapat menjadi masukan dan pengetahuan tentang perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) bagi masyarakat di Desa Kayuni Distrik Kramomongga Kabupaten Fakfak.
- Dapat mengetahui daya yang dihasilkan.
- Dapat digunakan sebagai masukan dan pertimbangan bagi perencanaan sejenis di masa yang akan datang.

### 1.4 Batasan Masalah

- Daya yang dihasilkan turbin dengan pengambilan data *debit* air dan *head* secara langsung pada PLTMH di Sungai Kayuni Distrik Kramomongga Desa Kayuni Kabupaten Fakfak.
- Turbin yang digunakan untuk PLTMH adalah Turbin Impuls.
- Sesuai data yang di ambil pada sungai kayuni memiliki head 7,5 m dan debit 1,61 m<sup>3</sup>.
- Tidak membahas tentang bangunan pendukung.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Pandangan Umum PLTMH

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik berskala kecil, berkisar antara 100-200 kW, yang memanfaatkan tenaga atau aliran air sebagai sumber penghasil energy. PLTMH termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut *clean energy* 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 relative murah, sedangkan biaya investasinya cukup bersaing dengan pembangkit listrik lainnya. PLTMH biasanya dibuat dalam skala kecil untuk daerah pedesaan di daerah-daerah terpencil yang belum mendapatkan pasokan listrik dari PLN. Tenaga air yang digunakan dapat berupa aliran air pada system irigasi, sungai yang dibendung atau air terjun (Ismono, 1999).

### 2.2 Tinggi Jatuh Air (*Head*)

*Head* didefinisikan sebagai energi per satuan berat fluida. Satuan dari *head* (H) adalah meter atau *feet fluida*. Di dalam pompa, *head* diukur dengan cara menghitung beda tekanan total antara pipa isap dan pipa tekan, bila pengukuran dilakukan pada ketinggian yang sama.

Tinggi jatuh tergantung kepada geografi lokasi. Pada dasarnya pembangkit mikro hidro digolongkan dalam dua kategori yang menentukan jenis turbin yang akan dipakai yaitu tinggi jatuh rendah yang dihitung dari titik 0 (nol) sampai 20 meter dan tinggi jatuh yang lebih dari 20 meter

### 2.3 *Debit* (Aliran Air)

*Debit* aliran sungai adalah volume air sungai yang mengalir dalam satuan waktu tertentu. *Debit* air sungai merupakan tinggi permukaan air sungai yang terukur oleh alat ukur permukaan air sungai. Dalam sistem satuan SI (satuan Internasional) besarnya *debit* dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m<sup>3</sup>/s).

### 2.4 Pengertian Turbin Air

Turbin air adalah alat untuk mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator. Untuk menghasilkan listrik, maka sumber air yang digunakan sebagai sumber energi harus bergerak seperti air terjun atau air mengalir. Ketika air yang jatuh dari ketinggian tertentu akibat gaya gravitasi, maka di dalam air tersebut memiliki energi potensial yang dapat digunakan sebagai sumber energi listrik. Sebelum dikonversi menjadi energi mekanik oleh turbin, energi potensial yang digunakan dikonversi terlebih dahulu menjadi energi kinetik. Energi kinetik dari air kemudian memberikan daya dorong atau tekanan terhadap *sudu* atau baling-baling turbin, sehingga bentuk energi kinetik dari air dikonversi menjadi energi mekanik. Turbin tersebut digunakan untuk menggerakkan rotor generator yang kemudian mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik dan sistem ini disebut pembangkit listrik tenaga air.

Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin *impuls* dan turbin *reaksi*.

Ada beberapa klasifikasi pembangkit listrik berdasarkan *power output* yang dihasilkan seperti terlihat pada tabel dibawah ini :

**Tabel 1.** Klasifikasi Pembangkit Listrik

Klasifikasi	Power Output
Besar	>100 MW
Menengah	10-100 MW
Kecil Mini	1-10 MW
Mikro	100 KW – 1 MW
Piko	5 – 100 KW/ <5 KW

Jenis-jenis turbin air dapat dikategorikan dalam dua jenis turbin yang terlihat pada diagram dengan masing-masing jenis turbin terbagi sebagai berikut :

## 2.5 Turbin *Impuls* (Aksi)

Secara umum turbin *impuls* merupakan mesin dengan *head* yang tinggi, dan laju aliran yang rendah, sedangkan turbin *reaksi* merupakan mesin dengan *head* yang rendah dan laju aliran yang tinggi. (Munson, Bruce. 2005)

Turbin *impuls* adalah turbin air yang cara kerjanya dengan merubah seluruh energi air yang terdiri dari energi potensial-tekanan-kecepatan yang tersedia menjadi energi kinetik untuk memutar turbin, sehingga menghasilkan energi mekanik dalam bentuk putaran poros. Atau dengan kata lain, energi potensial air diubah menjadi energi kinetik. Contoh turbin *impuls* adalah turbin *Pelton* dan turbin *Cross Flow*. (Luknanto, Joko, 2007)

## 2.6 Turbin Reaksi

Turbin reaksi adalah turbin yang cara kerjanya merubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi kinetik. Turbin jenis ini adalah turbin yang

paling banyak digunakan. *Sudu* pada turbin reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui *sudu*. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada *sudu* sehingga *runner* dapat berputar. Turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai turbin reaksi. *Runner* turbin reaksi sepenuhnya tercelup dalam air dan berada dalam rumah turbin

## 2.7 Jenis-jenis Turbin

Jenis-jenis turbin terdiri dari beberapa jenis, yaitu :

- Turbin *Pelton*



Gambar 1. Turbin Pelton

<http://turbin-pelton.blogspot.co.id/2010/09/>

Turbin Pelton termasuk jenis turbin impuls yang merubah seluruh energi air menjadi energi kecepatan sebelum memasuki runner turbin. Perubahan energi ini dilakukan didalam *nozle* dimana air yang semula mempunyai energi potensial yang tinggi diubah menjadi energi kinetis. Pancaran air yang keluar dari *nozle* akan menumbuk *bucket* yang dipasang tetap sekeliling *runner* dan garis pusat pancaran air menyinggung lingkaran dari pusat *bucket*.

Kecepatan keliling dari *bucket* akibat tumbukan yang terjadi tergantung dari jumlah dan ukuran pancaran serta kecepatannya. Kecepatan pancaran tergantung dari tinggi air di atas *nozlenya* serta effisiensinya.

- Turbin *Turgo*



Gambar 2. Turbin Turgo

<http://www.micro-hydro-power.com/Turgo-Inclined-Jet-Turbine.htm>

Turbin *turgo* Dapat beroperasi pada *head* 30 sampai dengan 300m. Seperti turbin *pelton* turbin *turgo* merupakan turbin *impulse*, tetapi sudunya berbeda dan keuntungan kerugiannya juga sama.

- Turbin Cross Flow

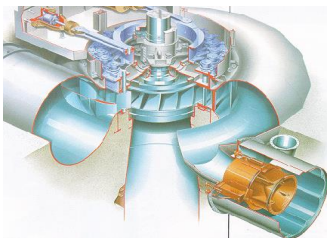


Gambar 3. Turbin Cross Flow

<http://cink-hydro-energy.com/id/turbin-crossflow/>

Turbin *Cross Flow* adalah salah satu turbin air dari jenis turbin aksi (*impulse turbine*). Pemakaian jenis Turbin *Cross Flow* lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan kincir air maupun jenis turbin mikro hidro 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.

- Turbin Francis



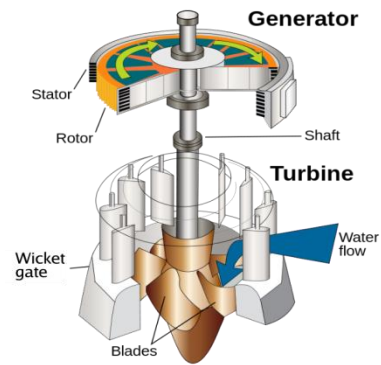
Gambar 4. Turbin Francis

<http://repository.usu.ac.id/bitstream/handle/123456789/38777/Chapter%2011.pdf;jsessionid=16441EF4AB4A10CA5668917E2992E624?sequence=4>

Turbin *Francis* merupakan salah satu turbin reaksi. Turbin dipasang diantara sumber air tekanan tinggi di bagian masuk dan air bertekanan rendah di bagian keluar. Turbin *Francis* menggunakan *sudu pengarah*. *Sudu pengarah* mengarahkan air masuk secara tangensial.

Turbin *Francis* bekerja dengan memakai proses tekanan lebih. Pada waktu air masuk ke roda jalan, sebagian dari energi tinggi jatuh telah bekerja di dalam *sudu pengarah* kemudian diubah sebagai kecepatan air masuk. Sisa energi tinggi jatuh dimanfaatkan dalam *sudu jalan*, dengan adanya pipa isap memungkinkan energi tinggi jatuh bekerja di *sudu jalan* dengan semaksimal mungkin.

- Turbin Kaplan Propeller



Gambar 5. Turbin Kaplan Propeller

[http://2.bp.blogspot.com/-uq9hsRX0pvM/VPuRVYYCUoI/AAAAAAAAALU/cIUnAJyOP8/s1600/Kaplan\\_Turbin\\_Water\\_turbin.png](http://2.bp.blogspot.com/-uq9hsRX0pvM/VPuRVYYCUoI/AAAAAAAAALU/cIUnAJyOP8/s1600/Kaplan_Turbin_Water_turbin.png)

Turbin *Kaplan* termasuk kelompok turbin air reaksi jenis baling-baling (*propeller*). Keistimewaannya adalah sudut sudu geraknya (*runner*) bisa diatur (*adjustable blade*) untuk menyesuaikan dengan kondisi aliran saat itu yaitu perubahan *debit* air. Pada pemilihan turbin didasarkan pada kecepatan spesifiknya. Turbin *Kaplan* ini memiliki kecepatan spesifik tinggi (*high specific speed*). Turbin *Kaplan* bekerja pada kondisi head rendah dengan *debit* besar. Pada perancangan turbin *Kaplan* ini meliputi perancangan komponen utama turbin *Kaplan* yaitu *sudu gerak* (*runner*), *sudu pengarah* (*guide vane*), *spiral casing*, *draft tube* dan mekanisme pengaturan sudut bilah *sudu gerak*.

## 2.8 Turbin Cross Flow



Gambar 6. Model Turbin Cross Flow

<http://www.powerpal.co.uk/ppsxfl.html>

Turbin *Cross Flow* adalah salah satu turbin air dari jenis turbin aksi (*impulse turbine*). Prinsip kerja turbin ini ditemukan oleh seorang insinyur Australia yang bernama A.G.M. Michell pada tahun 1903. Kemudian turbin ini dikembangkan dan dipatenkan di Jerman Barat oleh Prof. Donat Banki sehingga turbin ini diberi nama Turbin *Banki* kadang disebut juga Turbin *Michell-Ossberger* (Haimerl, L.A., 1960).

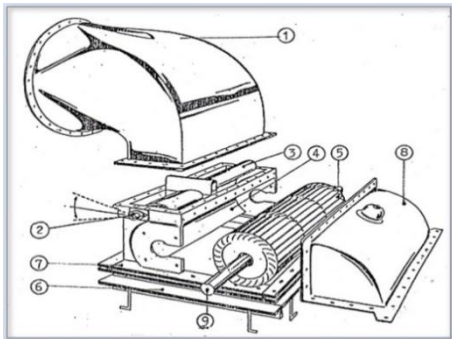
Pemakaian jenis Turbin *Cross Flow* lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan kincir air maupun jenis turbin mikro hidro lainnya. Penggunaan turbin ini untuk daya yang sama dapat menghemat biaya pembuatan penggerak mula sampai 50% dari penggunaan kincir air dengan bahan yang sama. Penghematan ini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

roda jalan atau runnernya biasanya 2m ke atas, tetapi diameter Turbin *Cross Flow* dapat dibuat hanya 20cm 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% sedang efisiensi turbin *Cross Flow* mencapai 82% (Haimerl, L.A., 1960).

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 sistim pengeluaran air dari *runner*.

**2.9 Bagian-bagian Utama Turbin Cross flow**

Bagian-bagian utama turbin *cross flow* terdiri dari :



Gambar 7. Bagian-bagian turbin *cross flow*  
[http://air.eng.ui.ac.id/tikiview\\_forum\\_thread.php?comments\\_parentId=6061&display=print](http://air.eng.ui.ac.id/tikiview_forum_thread.php?comments_parentId=6061&display=print)

Keterangan :

1. Elbow
2. Poros katup
3. Katup
4. Nozel
5. Runner
6. Rangka pondasi
7. Rumah turbin
8. Tutup turbin
9. Rumus Dasar Perencanaan PLTMH

Kita dapat menghitung daya yang akan dibangkitkan dalam perencanaan sebuah PLTMH dengan rumus :

$$P = \rho \times Q \times H \times G \tag{1}$$

Dimana :

P = Daya terbangkit (watt)

$\rho$  = Berat massa jenis air yang mengalir

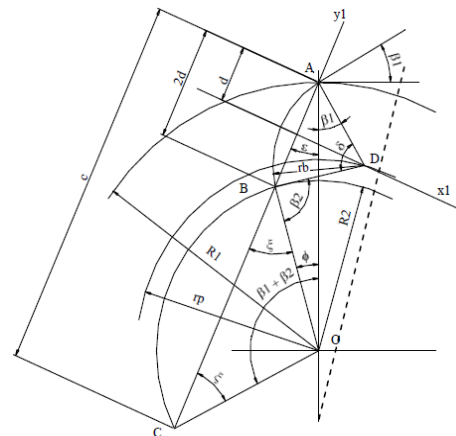
Q = Debit air dalam (m<sup>3</sup>/s)

H = Beda Tinggi (meter)

G = Gravitasi (9,81) (m/s)

Eff = Efisiensi tergantung dari pengukuran menggunakan alat atau pengukuran manual

**2.10 Perhitungan Geometri Sudu**



Gambar 8. Konstruksi Geometri Sudu dan Bentuk Penampang Disk Runner

Untuk memungkinkan perencanaan *runner* dengan benar, *geometri sudu* harus ditentukan. Dalam pelaksanaannya, besar-besaran berikut ditetapkan atas dasar pertimbangan hidrolis dan segitiga-segitiga kecepatan yang dimulai:

$R_1$  = Jari-jari lingkaran luar *runner*

$R_2$  = Jari-jari lingkaran dalam *runner*, tempat kedudukan salah satu ujung kerangka *sudu*

$\beta_1$  = Sudut *sudu* sisi masuk

$\beta_2$  = Sudut *sudu* sisi ke luar

Sumbu penampang lintang atau garis kerangka *sudu* merupakan bagian dari lingkaran seperti lazimnya pada turbin aliran silang. Parameter geometris lainnya adalah:

$R_b$  = Jari-jari kelengkungan *sudu*

$R_p$  = Jari-jari lingkaran tusuk

$\delta$  = Sudut kelengkungan *sudu*

Untuk menyatakan hubungan geometris antara besaran-besaran  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ , dan  $\Gamma_b$ ,  $\Gamma_p$ ,  $\delta$  diperlukan adanya parameter tambahan lain pada gambar yaitu :  $\epsilon$ ,  $\xi$ ,  $\phi$ ,  $c$  dan  $d$ .

a. Jarak (c)

$$c = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2 \times R_1 \times R_2 \cos(\beta_1 + \beta_2)} \tag{2}$$

$$b. \text{ Sudu } (\epsilon) \epsilon = \arcsin \left( \frac{R_2 \sin(\beta_1 + \beta_2)}{c} \right) \tag{3}$$

$$c. \text{ SuduT } (\epsilon) \epsilon = 180 - (\beta_1 + \beta_2 + \epsilon) \tag{4}$$

$$d. \text{ } \Phi \text{ (Teta)} \Phi = \beta_1 + \beta_2 - (180 - 2 \epsilon) \tag{5}$$

$$e. \text{ Lebar setengah sudu (d) } d_1 = \frac{R_1 \sin(\phi)}{2 \sin(180^\circ - \epsilon)} \tag{6}$$

$$f. \text{ Jari-jari kelengkungan sudu } (\beta) \sigma = 180^\circ \cdot 2 (\beta_1 - \epsilon) \tag{7}$$

$$g. \text{ Jari-jari kelengkungan sudut sudu } (r_b) r_b = \frac{d}{\cos \beta_1 + \epsilon} \tag{8}$$

$$h. \text{ Jari-jari lingkaran tusuk } (r_p) r_p = \sqrt{R_b^2 + R_1^2 - 2 \times R_b \times R_1 \cos \beta_1} \tag{9}$$

i. Jarak antara sudu  $t = \frac{k \times D_1}{\sin \beta_1}$  (10)

j. Jumlah sudu  $N = \frac{\pi \times D_1}{t}$  (11)

**2.11 Proses perubahan potensial air menjadi tenaga mekanik**

Turbin air adalah alat untuk mengubah potensial air menjadi energi kinetik. Energi mekanik ini kemudian di ubah menjadi energi listrik oleh generator. Perhitungan energi tersebut dihitung menggunakan persamaan :  
Mengitung tenaga potensial air dengan menggunakan persamaan :

$P_a = m \cdot g \cdot H$  (12)

Menghitung kecepatan air keluar nozeel dengan persamaan :

$a = \sqrt{2 \times g \times H}$  (13)

Menghitung tenaga kinetik dengan persamaan :

$P_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_a$  (14)

Mencari kecepatan keliling roda turbin dengan persamaan :

$vd = \frac{\pi \times D \times n}{t}$  (15)

Mencari kecepatan air keluar sudu :

$v_d = \sqrt{v_a^2 + v_d^2 - 2 \times v_a \times v_d \times \cos \beta_1}$  (16)

Mencari kecepatan kofisien gesek :

$vak = f \times vr$  (17)

Mencari power turbin yang di hasilkan :

$Pt = \frac{1}{2} \times m \times v_a^2 - \frac{1}{2} \times m \times vak^2$  (18)

Keterangan :

s = Jarak (m)

t = Waktu (detik)

D = Diameter (m)

n = Putaran (Rpm)

R = Jari- jari (m)

$P_a$  = tenaga potensial air (Nm/s)

$V_d$  = kecepatan keliling roda (m/s)

Pt = power air (Nm/s)

m = berat massa jenis air ( N/ m)

**3. METODE PELAKSANAAN**

**3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan**

Pengambilan data untuk perancangan turbin *Cross Flow* untuk skala PLTMH ini dilaksanakan di Desa Kayuni, Kabupaten Fakfak Provinsi Papua Barat.

**3.2 Waktu Pelaksanaan**

Waktu pelaksanaan penyusunan proposal dan pengambilan data hingga proses perancangan turbin *Cross Flow* ini dilakukan selama 5 bulan yang dimulai pada bulan Maret hingga Juli 2017. Waktu pelaksanaan akan dijelaskan dalam tabel waktu pelaksanaan berikut ini :

Tabel 2. Waktu Pelaksanaan

Jenis Kegiatan	2017																Tempat Pelaksanaan				
	Maret				April				Mei				Juni					Juli			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Penyusunan Proposal	█	█	█	█																	Pelindoik Negeri Sintang
Pengambilan Data					█	█	█	█													Desa Kayuni, Kabupaten Fakfak
Pengelasan Data									█	█	█	█									Pelindoik Negeri Sintang
Pemancangan													█	█	█	█					Pelindoik Negeri Sintang
Analisa																	█	█	█	█	Pelindoik Negeri Sintang
<b>FINAL</b>																					

**3.3 Prosedur Perancangan Turbin Cross Flow**

Tahap perencanaan sebuah turbin sangat dipengaruhi oleh data yang diperoleh dilapangan, data tersebut berupa potensi tinggi jatuh air (H), besar *debit* air (Q), kondisi kontur atau tanah yang ada. Dimensi turbin yang akan didisain disesuaikan dengan kapasitas dan *head* yang ada yang selalu dirancang maksimal sebesar potensi yang tersedia. Dimana perencanaan menggunakan persamaan-persamaan pada bab sebelumnya. Setelah diketahui dimensi dari turbin air yang akan dibuat kemudian digambar dengan skala tertentu, agar mempermudah dalam proses pembuatan. Dari hasil survei dilapangan didapat hasil pengukuran sebagai berikut :

1. *Debit* : 1,61 m<sup>3</sup>/s
2. *Head* : 7,5 m
3. Luas penampang : 0, 84 m<sup>2</sup>
4. Diameter *penstock* yang tersedia yaitu 32 cm

**3.4 Perencanaan Daya Potensial Air**

$P = \rho \times g \times H \times Q$   
 $= 1000 \times 9,81 \times 7,5 \times 1,61$

$P = 118.455 \text{ Nm/s}$

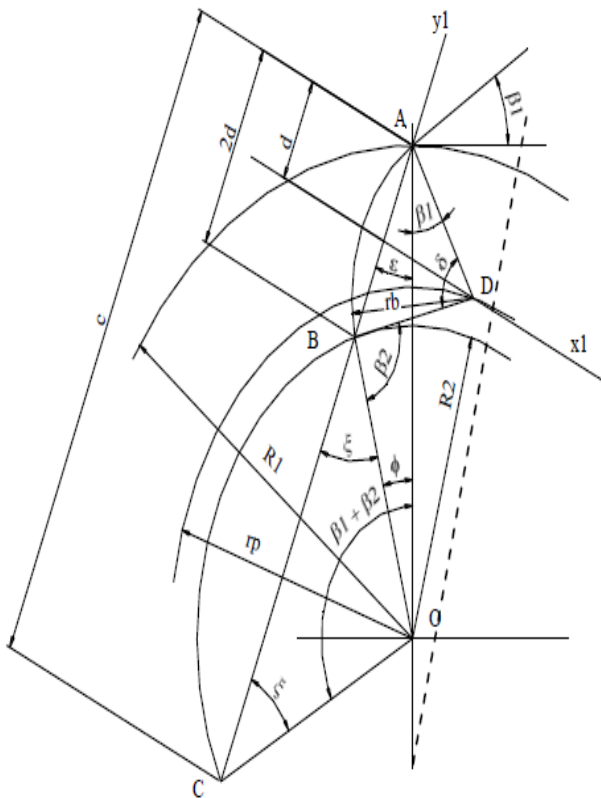
Diperoleh daya potensial air 118.455 Nm/s  
 $= 118.455 \text{ watt}$

- P = Daya terbangkit (Watt)
- $\rho$  = Berat massa jenis air yang mengalir z
- Q = Debit air dalam (m<sup>3</sup>/s)
- H = Beda Tinggi (meter)
- G = Grafitasi (9,81) (m/s)

### 3.5 Perencanaan Daya Keluaran Turbin

- $G_p = e \times P$   
= 0,85% x 118.455
- $G_p = 105.424$  watt
- Diperoleh daya yang dihasilkan turbin adalah 105.424 watt
- $G_p$  = Gaya keluaran turbin
- e = Efisiensi turbin

- Perencanaan *Runner* Turbin



Gambar 9. Runner turbin

- Diameter *Runner*

Ditentukan diameter *runner* ditentukan dengan lebar = 35 cm dan panjang = 35 cm

- Geometri *sudu*

- $R_1 = 150$  mm
- $R_2 = 100$  mm
- $\beta_1 = 30^\circ$
- $\beta_2 = 90^\circ$
- k. Jarak (c)

$$c = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2 \times R_1 \times R_2 \cos(\beta_1 + \beta_2)}$$

$$= \sqrt{150^2 + 100^2 - 2 \times 150 \times 100 \cos(30^\circ + 90^\circ)}$$

$$c = 217,94 \text{ mm}$$

- Sudu ( $\epsilon$ )

$$\epsilon = \arcsin\left(\frac{R_2 \sin(\beta_1 + \beta_2)}{c}\right)$$

$$\epsilon = \arcsin\left(\frac{100 \sin(30^\circ + 90^\circ)}{217,94}\right)$$

$$= 23,41^\circ$$

- Sudut ( $\xi$ )

$$\xi = 180 - (\beta_1 + \beta_2 + \epsilon)$$

$$= 180 - (30^\circ + 90^\circ + 23,41^\circ)$$

$$\xi = 36,59^\circ$$

- $\Phi$  (Teta)

$$\Phi = \beta_1 + \beta_2 - (180 - 2 \epsilon)$$

$$= 30^\circ + 90^\circ - (180 - 2 \times 36,59^\circ)$$

$$= 13,18^\circ$$

- Lebar setengah *sudu* (d)

$$d_1 = \frac{R_1 \sin(\Phi)}{2 \sin(180^\circ - \epsilon)}$$

$$= \frac{150 \sin(13,18^\circ)}{2 \sin(180^\circ - 36,59^\circ)}$$

$$d_1 = 57,37 \text{ mm}$$

- Jari-jari kelengkungan *sudu* ( $\beta$ )

$$\sigma = 180^\circ - 2(\beta_1 - \epsilon)$$

$$= 180^\circ - 2(30^\circ - 23,41^\circ)$$

$$\sigma = 73,18^\circ$$

- Jari-jari kelengkungan sudut *sudu* ( $r_b$ )

$$r_b = \frac{d}{\cos \beta_1 + \epsilon}$$

$$= \frac{57,37}{\cos(30^\circ + 23,41^\circ)}$$

$$r_b = 96,24 \text{ mm}$$

- Jari-jari lingkaran rusuk ( $r_p$ )

$$r_p = \sqrt{R_b^2 + R_1^2 - 2 \times R_b \times R_1 \cos \beta_1}$$

$$= \sqrt{96,42^2 + 150^2 - 2 \times 96,24 \times 150 \cos 30^\circ}$$

$$r_p = 82,20 \text{ mm}$$

- Jarak antara sudu

$$t = \frac{k \times D_1}{\sin \beta_1}$$

$$= \frac{0,077 \times 30 \text{cm}}{\sin 30^\circ}$$

$$t = 4,62 \text{ mm}$$

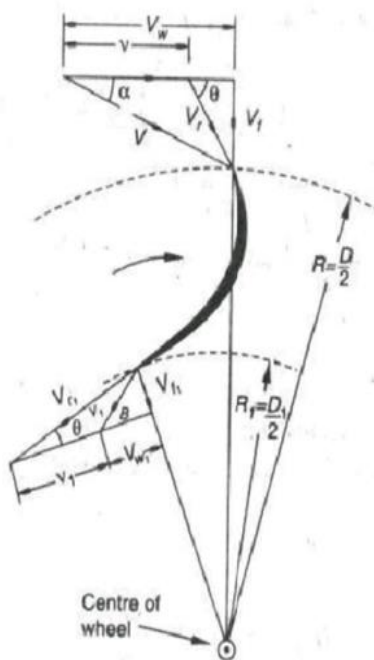
- Jumlah sudu

$$N = \frac{\pi \times D_1}{t}$$

$$N = \frac{3,14 \times 30}{4,62}$$

$$N = 20 \text{ buah}$$

• Perhitungan Tenaga Turbin



Gambar 10. Segitiga Kecepatan Turbin

Menghitung tenaga potensial air dengan menggunakan persamaan :

$$P_a = m \cdot g \cdot H$$

$$= 1000 \times 9,81 \times 7,5$$

$$= 73,575 \text{ Nm/s}$$

Menghitung kecepatan air keluar nozeel dengan persamaan:

$$v_a = \sqrt{2 \times g \times H}$$

$$= \sqrt{2 \times 9,81 \times 7,5}$$

$$= 12,13 \text{ m/s}$$

Menghitung tenaga kinetik

$$P_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_a^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 1000 \times 12,13^2$$

$$= 73,568 \text{ m/s}$$

Mencari kecepatan keliling roda turbin

$$v_d = \frac{\pi \times D \times n}{60}$$

$$= \frac{\pi \times 2R \times n}{60}$$

$$= \frac{\pi \times R_1 \times n}{30}$$

$$= \frac{3,14 \times 0,15 \times 1500}{30}$$

$$= 23,55 \text{ m/s}$$

Mencari kecepatan air keluar sudu :

$$v_d = \sqrt{v_a^2 + v_d^2 - 2 \times v_a \times v_d \cos \beta_1}$$

$$= \sqrt{12,13^2 + 23,55^2 - 2 \times 12,13 \times 23,55 \cos 16^\circ}$$

$$= \sqrt{150,26}$$

$$= 12,2474 \text{ m/s}$$

Mencari kecepatan kofisien gesek :

$$v_{ak} = f \times v_r$$

$$= 0,98 \times 12,2474$$

$$= 12,005 \text{ m/s}$$

Mencari power turbin yang di dihasilkan :

$$P_t = \frac{1}{2} \times m \times v_a^2 - \frac{1}{2} \times m \times v_{ak}^2$$

$$= \frac{1}{2} \times m \times (v_a^2 - v_{ak}^2)$$

$$= \frac{1}{2} \times 1000 \times (12,13^2 - 12,005^2)$$

$$= 1508,43 \text{ Nm/s}$$

$$U_1 = \frac{\phi}{1 + \psi} C_1 \cos \alpha_1$$

$$= \frac{0,98}{1 + 0,98} 12,13 \cos \alpha_1$$

$$U_1 = 5,81 \text{ m/s}$$

Persamaan untuk memperoleh kecepatan putar turbin :

$$U_1 = \frac{\phi}{1 + \psi} C_1 \cos \alpha_1$$

$$= \frac{0,98}{1 + 0,98} 12,13 \cos \alpha_1$$

$$U_1 = 5,81 \text{ m/s}$$

$$v = \frac{s}{t} = \frac{\pi \times D \times n}{60}$$

$$= \frac{\pi \times 2R \times n}{60}$$

$$= \frac{\pi \times R \times n}{30}$$

$$U_1 = \frac{\pi \times R_1 \times n}{30}$$



$$n = \frac{30 \times 23,55}{\pi \times 0,15}$$

$$= 370 \text{ Rpm}$$

v = Kecepatan (m/s)  
 s = Jarak (m)  
 t = Waktu (detik)  
 D = Diameter (m)  
 n = Putaran (Rpm)  
 R = Jari- jari (m)  
 $P_a = \text{tenaga potensial air (Nm/s)}$   
 Vd = kecepatan keliling roda (m/s)  
 Pt = power air (Nm/s)  
 m = berat massa jenis air ( N/ m)

4. PEMBAHASAN

4.1 Analisis Hasil Perhitungan Teoritis

Dalam proses analisa akan dilakukan perbandingan antara efisiensi turbin yang diperoleh secara teoritis dan efisiensi turbin yang diperoleh berdasarkan hasil pengujian (eksperimen). Setelah diketahui perbandingan efisiensi turbin dari masing-masing perhitungan kemudian dilakukan analisa faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi turbin baik secara teoritis maupun pengujian (eksperimen).

Adapun hasil perhitungan dijabarkan dalam tabel 3. dibawah ini :

Tabel 3. Hasil Perhitungan

Komponen	Keterangan	Hasil
Runner	Diameter runner	30 cm
	Lebar runner	35 cm
	Daya potensial turbin	118455 Nm/s
	Daya keluaran turbin	105424 watt
	L	78,5 mm = 7 cm
Sudu	Geometri sudu (C)	2174,94 mm
	Sudu (ε)	23,41°
	Sudut sudu (ξ)	36,59°
	φ	13,18°
	Lebar setengah sudu (d <sub>1</sub> )	57,37 mm
	Jari-jari lengkung (β)	73,18°
	Jari-jari lengkung sudut (r <sub>p</sub> )	96,24 mm
	Jarak antar sudu	4,62 mm
Kecepatan relatif	Jumlah sudu	20 buah
	U <sub>1</sub>	5,81 m/s
	n	370 rpm
	C <sub>1</sub>	12,13 m/s
	C <sub>0</sub>	11,88
	α <sub>1</sub>	5,65
Efisiensi turbin		0,85
	T	2722,25 N/mm
	F	69,30 N/mm
	T <sub>isa</sub>	0,138 N
	σ	342,545 N/mm <sup>2</sup>
Pulley	Rasio kecepatan	1,0135 ≥ 1
	ψ <sub>0</sub>	562,5
	L <sub>1</sub>	196460,69 x 10 <sup>6</sup>
	L <sub>2</sub>	138455,87 x 10 <sup>6</sup>
Bearing	L <sub>H1</sub>	2182896,556 hours
	L <sub>H2</sub>	1538398,556 hours
Sabuk	Panjang	2745 mm

4.2 Pemeliharaan Turbin Air PLTMH

Tujuan pemeliharaan adalah untuk mencegah terjadinya gangguan pada saat unit beroperasi, sehingga tidak mengakibatkan kerusakan yang lebih besar atau fatal dan peralatan tersebut mempunyai masa pakai yang lebih lama, menghasilkan unjuk

kerja yang lebih baik serta tingkat keselamatan lebih terjamin. Pada umumnya pemeliharaan komponen turbin air dan alat bantu nya dilakukan dalam 2 kategori, yaitu :

- Pemeliharaan yang bersifat Rutin.
  - Pemeliharaan yang bersifat Periodik.
- Pemeriksaan Rutin  
 Pemeriksaan yang bersifat rutin ialah pemeliharaan yang dilakukan secara berulang dengan periode waktu harian, mingguan dan bulanan dengan kondisi sedang beroperasi.
  - Pemeliharaan Periodik  
 Pemeriksaan yang bersifat periodik ialah pemeriksaan yang dilakukan berdasarkan lama operasi dari turbin air, yang diklasifikasikan :
    - Pemeriksaan sederhana, setiap 8.000 jam.
    - Pemeriksaan sedang, setiap 20.000 jam.
    - Pemeriksaan serius, setiap 40.000 jam.
    - Pemeriksaan periodik kegiatan yang dilakukan meliputi pembongkaran (*disassembly*), pemeriksaan (*inspection*) dan pengujian (*testing*).

4.3 Tindakan Pemeliharaan Turbin

- Pemeriksaan Rumah Turbin.
  - Pemeriksaan bagian dalam rumah turbin, tutup turbin dan pelindung tutup turbin terhadap kerusakan. Bila ada kelainan harus diperbaiki atau diganti. Pemeriksaan baut-baut dudukan rumah turbin.
  - Pemeriksaan dan pengukuran celah (*clearance*) sisi masuk dan sisikeluar antara tutup turbin dan runner. Bila harga *clearance* melebihi batas maximal yang telah ditentukan, harus diganti. Pengukuran celah (*clearance*) dilakukan sebelum dan sesudah diperiksa atau diperbaiki.
- Pemeriksaan Distributor Turbin
  - Pemeriksaan sudu-sudu atur terhadap kerusakan, bila rusak harus diperbaiki.
  - Pengukuran kerapatan antara masing sudu atur pada posisi sudu atur menutup rapat. Bila diperoleh celah yang melebihi harga yang ditentukan harus diperbaiki atau distel kembali.
  - Pemeriksaan dan pengukuran jarak antara masing-masing sudu atur pada posisi sudu atur membuka penuh. Pengukuran kerapatan dan jarak dilakukan sebelum dan sesudah diperiksa atau diperbaiki.
  - Pemeriksaan dan pengukuran celah antara sudu atur dengan cincin dudukan sudu atur. Bila harga celah melebihi toleransi yang ditentukan, harus diperbaiki (sudu atur diganti atau cincin dudukan sudu atur diganti) Pengukuran celah dilakukan sebelum dan sesudah diperiksa atau diperbaiki.

- Pemeriksaan Runner.
  - Pemeriksaan terhadap kerusakan (kavitasi, keausan, keretakan). Bila ada kelainan harus diperbaiki atau diganti.
  - Pemeriksaan dan pengukuran celah antara runner dengan tutup turbin. Bila ada kelainan harus diganti.
  - Pemeriksaan pasak dan baut antara poros dan runner.
- Pemeriksaan Poros.
  - Pemeriksaan dan pengukuran celah antara poros dan bantalan. Bila harga celah melebihi toleransi yang ditentukan, harus diperbaiki atau diganti.
  - Pemeriksaan atau pengukuran kelurusan poros turbin generator (*run outshaft*).
  - Pemeriksaan dan pengukuran getaran poros pada bantalan. Bila getaran melebihi batas, harus diperbaiki. Pengukuran getaran dilakukan sebelum dan sesudah *inspection*

**5. KESIMPULAN DAN SARAN**

**5.1 Kesimpulan**

Perhitungan perancangan yang dilakukan berdasarkan penelitian terdahulu maka dihasilkan dimensi turbin yang sesuai dengan kondisi topografi di Desa Kayuni, Kabupaten Fakfak Provinsi Papua Barat. Bagian kelengkapan turbin yang telah direncanakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro ini selanjutnya dapat di rencanakan pembangunannya dikemudian hari. PLTMH yang akan dibangun di Desa Kayuni, Kabupaten Fakfak Provinsi Papua Barat memiliki prestasi yang dihasilkan turbin. diuraikan dalam tabel dibawah ini :

Dari tabel hasil prestasi turbin Dari hasil prestasi turbin PLTMH Desa Kayuni ini dapat disimpulkan bahwa Turbin *Cross Flow* PLTMH dapat menghasilkan daya maksimum 105424 watt; Efisiensi Turbin adalah 0,85%. Generator yang dipakai pada PLTMH adalah generator Multi Pro YC 905.4 1 Phasa, ditentukan dari kecepatan putar generator yaitu 1500 Rpm.

Berikut merupakan tabel hasil prestasi Turbin yang diuraikab pada tabel berikut :

Keterangan	Simbol	Keterangan	Nilai	Satuan	
Prestasi turbin	ep	Daya potensi air	118455	Watt	
	n	Putaran Turbin	370	Rpm	
	e	Efisiensi turbin	0,85	%	
	p	Daya output putaran turbin	105424	Watt	
	C <sub>0</sub>	Kecepatan air masuk nozel	12,13	m/s	
	C <sub>1</sub>	Kecepatan mutlak	11,88	m/s	
	U <sub>1</sub>	Kecepatan relatif	5,65	m/s	
Geometri turbin	β <sub>1</sub>	Sudut Masuk sudu	30	(°)	
	β <sub>2</sub>	Sudut Keluar sudu	90	(°)	
	R <sub>1</sub>	Diameter luar runner	0,15	m	
	R <sub>2</sub>	Diameter Luar runner	0,10	m	
	D	Diameter runner	0,3	m	
	b <sub>0</sub>	Lebar runner	0,35	m	
	N	Jumlah sudu	20	Buah	
	t	Jarak Antar Sudu	0,0462	m	
	α <sub>1</sub>	Sudut kecepatan masuk	16	(°)	
	b <sub>0</sub>	Lebar nozel	0,35	m	
	L	Tinggi nozel	0,07	m	
	Poros	Bahan : ST37			
		Diameter	0,04	m	
panjang		0,76	m		
Pasak	Diameter poros	0,04	m		
	Lebar pasak	0,01	m		
	tinggi pasak	0,01	m		
	Panjang pasak	0,05	m		
Belt	Panjang	2,745	m		
	Lebar	0,038	m		
	Tipe	V sempit			
Bearing turbin	Diameter	0,04	M		
	Tipe	Unit square flanged UCF			
Pulley	Diameter (Perbandingan kecepatan generator dan turbin)	$\frac{1500}{370} = 0,004$	M		
	Bahan		ST 60		
Runner	Bahan		ST 60		
	Proses pembuatan		Manual (las)		

**5.2 Saran**

Dalam proses perencanaan sebaiknya perlu diperhitungkan ketersediaan komponen dan material turbin sehingga kedepan dalam proses pelaksanaan pembuatan tidak akan mengalami persoalan ketidaktersediaan bahan. Selanjutnya untuk menghasilkan perencanaan yang matang perlu dilakukan survei lapangan yang lengkap untuk memvalidasi perhitungan yang benar-benar sesuai dengan kondisi di lapangan.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Anonim, 2009, Modul Pelatihan Implementasi Pembangunan Mikrohidro Berbasis Masyarakat, IMIDAP-M-011, Dirjen Listrik dan Pemanfaatan Energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
- Anonim, 2009, Modul Pelatihan Implementasi Pembangunan Mikrohidro Berbasis Masyarakat, IMIDAP-M-011, Dirjen Listrik dan Pemanfaatan Energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
- Anonim, 2010, Buku Rencana Induk Pengembangan Energi Baru Terbarukan 2010-2025 (RIPEBAT), Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
- Anonim, 2010, Buku Rencana Induk Pengembangan Energi Baru Terbarukan 2010-2025 (RIPEBAT), Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
- Furze, 2000, Compendium of Small Hydro, University of Aarhus, Denmark.
- Jorfri B. Sinaga (2009): Perancangan turbin air untuk sistem pembangkit listrik tenaga mikro hidro: studi kasus Desa Way Gison, Kecamatan Sekincau, Kabupaten Lampung Barat Jurnal sains dan inovasi Penerbit : Lembaga Penelitian Universitas Sang Bumi Ruwa: Volume : 5 No : 1 Halaman : 57-64  
<https://www.scribd.com/document/346333347/263485-PLTMH>
- Lal, J., 1979, Hydraulic Machine, Metropolitan Book, New Delhi.
- Mockmore, C.A., 1949, The Banki Water Turbine, Bulletin Series No.35, Oregon State College, Corvallis. <http://fadhilsttpln07.blogdetik.com/2009/04/29/penggunaan-turbin-cross-flow-pada-pembangkit-listrik-tenaga-mikrohidro>.
- Scales, I, 1991, Cross-flow Turbine Design, Soft Technology 35 : 33-39
- Sularso, 2003, Elemen Mesin, Pradnya Paramitha, Jakarta.

