

# PERANCANGAN INSTALASI ALIRAN AIR PLTA RENUN GUNA PENINGKATAN DAYA KELUARAN GENERATOR SINKRON

**Richard Manumpak Batubara, Eddy Warman**

Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara

Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA

email: [richard.batubara@students.usu.ac.id](mailto:richard.batubara@students.usu.ac.id)

## Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Renun adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan aliran air sungai renun dan sebelas anak sungai lain yang kemudian dikumpulkan dalam suatu bendungan pengantar. PLTA Renun menghasilkan sebesar 313,5 GWh energi yang dihasilkan per tahun. Namun potensi sumber daya air pada sungai renun masih dapat dimanfaatkan lebih maksimal lagi dengan memodifikasi aliran air menuju rumah turbin guna meningkatkan daya keluaran turbin. Pada tulisan ini membahas tentang perancangan atau modifikasi aliran air menuju rumah turbin meliputi perubahan panjang, diameter dan bahan material pipa penstock yang digunakan dalam instalasi sehingga dapat mengurangi rugi gesekan air terhadap permukaan pipa dengan itu mengurangi juga rugi-rugi kehilangan tinggi tekan air (meningkatkan *head* efektif) sehingga daya keluaran turbin atau daya input mekanis generator pun meningkat.

**Kata Kunci : PLTA, head, daya**

## 1. Pendahuluan

Di Indonesia Banyak terdapat pembangkit-pembangkit energi listrik, baik yang menggunakan energi fosil, energi air, energi angin ataupun sumber energi alternatif lainnya. Indonesia sendiri termasuk negara yang memiliki sumber daya tenaga air yang cukup besar, salah satunya berada di Provinsi Sumatera Utara.

Pusat Pembangkit Listrik Tenaga air yang akan dibahas pada tulisan ini adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Renun yang terdapat di Kecamatan Sumbul, Sidikalang. Pada rumah pembangkit (*Power House*) PLTA Renun sendiri terdiri dari dua mesin pembangkit yaitu Turbin-Generator 2 x 41 MW yang masing-masing satu poros dihubungkan dengan kopel (*Kopling*). Jenis turbin yang digunakan adalah Turbin Francis dengan poros vertikal sedangkan generator yang digunakan adalah Generator Sinkron.

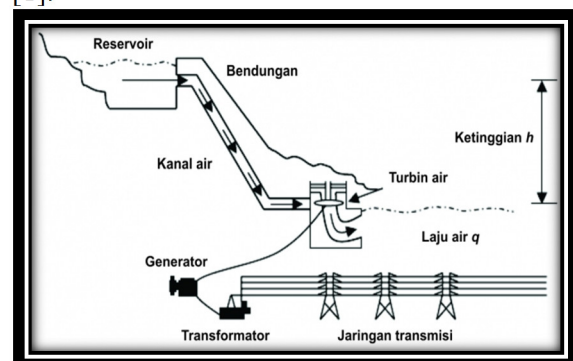
## 2. Studi Pustaka

Sistem tenaga air mengubah energi dari air yang mengalir menjadi energi mekanik dan kemudian biasanya menjadi energi listrik. Air mengalir melalui kanal (*penstock*) melewati kincir air atau turbin dimana air akan menabrak sudu-sudu yang menyebabkan kincir air ataupun turbin berputar. Ketika digunakan

untuk membangkitkan energi listrik, perputaran turbin menyebabkan perputaran poros rotor pada generator. Energi yang dibangkitkan dapat digunakan secara langsung, disimpan dalam baterai ataupun digunakan untuk memperbaiki kualitas listrik pada jaringan[1].

## 2.1 Komponen PLTA

Secara garis besar komponen – komponen PLTA berupa dam, turbin, generator, transmisi dan reservoir air seperti terlihat pada Gambar 1 [1].



Gambar 1 Pusat Pembangkit Listrik Tenaga Air

Adapun penjelasan beberapa macam komponen PLTA adalah:

- Bangunan Pembawa Air (*Water Way*)

*Water Way* merupakan bagian konstruksi dari suatu PLTA yang terdiri dari bangunan pengambilan (*intake structure*) sampai ke saluran pembuangan akhir (*Tail Race*), yang merupakan suatu bagian utama dari PLTA seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. *Water Way* PLTA Renun

Bagian-bagian *Water Way* [2] :

1. *Main Intake*
  2. *Upperstream Headrace Tunnel* (UHT)
  3. *Tributary Intake*
  4. *Regulating Pond*
  5. *Spillway*
  6. *Downstream Headrace Tunnel* (DHT)
  7. *Penstock Tunnel*
  8. *Surge Tank*
- b. Turbin Air  
Turbin berfungsi untuk mengubah energi Kinetis menjadi energi mekanik [3].
- c. Generator  
Generator dihubungkan ke turbin dengan bantuan poros dan *gearbox*. Memanfaatkan perputaran turbin untuk memutar kumparan magnet didalam generator sehingga terjadi pergerakan elektron yang membangkitkan arus AC [4].
- d. Transformator  
Berfungsi untuk memindahkan listrik dari rangkaian primer ke rangkaian yang lain (*sekunder*) berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik [4].

## 2.2 Kehilangan Energi (*Losses*)

*Losses* energi adalah kehilangan sebagian energi air yang akan digunakan untuk memutar turbin.

- a. Kehilangan Energi Pada Saluran Atas (*head race*)

Adapun macam-macam dari kehilangan energi pada saluran terbuka diantaranya [3]:

1. Kehilangan Energi Tinggi Tekan pada Kisi Sampah (*Trash Rack*)
2. Kehilangan Energi Tinggi Tekan Akibat Pemasukan
3. Kehilangan Energi Tinggi Tekan Akibat Gesekan pada Saluran Penghantar Atas (*Head Race*)
4. Kehilangan Energi Tinggi Tekan Pada katub

- b. Kehilangan Energi Pada Pipa Penstock  
Adapun macam-macam dari kehilangan energi pada pipa penstock diantaranya [3]:

1. *Losses Mayor*  
*Major losses* adalah kehilangan energi yang timbul akibat gesekan air dengan dinding pipa penstock.
2. *Losses Minor*  
*Minor losses* diakibatkan oleh tumbukan dan turbulensi, misalnya terjadi pada saat melewati kisi-kisi (*trashrack*), perubahan penampang, belokan dan lain-lain.

## 3. Metode Penelitian

Untuk meningkatkan daya keluaran turbin dan generator, langkah-langkah yang dilakukan adalah :

1. Perancangan instalasi aliran air yang meliputi perancangan panjang, diameter dan material pipa.
2. Perancangan profil pipa. penstock.
3. Perkiraan Jumlah Kehilangan Energi Pada Pipa *Head Race* ( $\Sigma h_{l \text{ head race}}$ ).
4. Perkiraan Jumlah Kehilangan Energi Pada Pipa Penstock ( $\Sigma h_{l \text{ penstock}}$ )

Perancangan ini berguna untuk mengurangi rugi-rugi hidrolisis yang ada disepanjang aliran air, yang berdampak pada meningkatnya head efektif ( $H_{eff}$ ) pada sistem. Head total ( $H_{total}$ ) pada sistem adalah sebesar 467,6 m, sementara head efektif aktual ( $H_{eff \text{ act}}$ ) sebelum dilakukan perancangan adalah sebesar 434,6 m. Setelah melakukan perancangan maka dapat dihitung total hilang energi pada sistem ( $HL_{total}$ ) dan diperoleh pula harga Head efektif ( $H_{eff}$ ) yang baru meningkat.

## 3.1 Perancangan Panjang dan Diameter Pipa Penstock

Perancangan panjang dan diameter pipa penstock dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan dimensi yang sesuai untuk

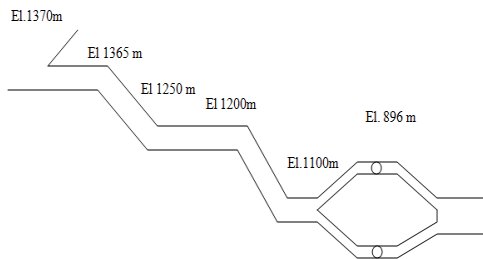
mengalirkan air sebesar 22 m<sup>3</sup>/s dari surge tank ke turbin [5]. Perancangan panjang dan diameter pipa penstock ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Panjang dan Diameter Pipa Penstock

| Pipa         | L1  | L2    | L3    | L4    | L5    |
|--------------|-----|-------|-------|-------|-------|
| Panjang (m)  | 19  | 291,1 | 127,3 | 258,5 | 125,4 |
| Diameter (m) | 3,0 | 2,8   | 2,5   | 2,3   | 2,0   |

**3.2 Perancangan Profil Pipa Penstock**

Profil pipa penstock dirancang dibagi menjadi 5 (lima) bagian dengan panjang dan diameter yang berbeda seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Profil Pipa Penstock

Pipa penstock dibuat satu jalur bercabang menjadi dua jalur mendatar. Sesuai dengan bentuk topografi dan geologi didaerah dibangunnya PLTA.

**3.3 Perkiraan Jumlah Kehilangan Energi Pada Pipa Head Race (Σhl head race)**

Kehilangan Energi pada pipa penghantar aliran atas (*head race*) terdiri menjadi empat jenis diantaranya :

1. Kehilangan Energi Pada Kisi Sampah (*hl<sub>tr</sub>*)
2. Kehilangan Energi Akibat Pemasukan (*hl<sub>p</sub>*)
3. Kehilangan Energi Akibat Gesekan Antara Air dengan Pemukaan Pipa *head race* (*hl<sub>f head race</sub>*)
4. Kehilangan Energi Akibat Pemasangan Pintu Air Pada Saluran Atas (*hl<sub>pi</sub>*)

Dikarenakan pada penelitian ini hanya merancang pipa penstock dan tidak merancang pipa *head race* maka dalam penelitian ini tidak dilakukan perhitungan hilang energi pada pipa penghantar aliran atas (*head race*) dan untuk harga dari keempat rugi-rugi ini diperoleh dari data yang ada di perusahaan PLTA Renun PT. PLN (Persero).

**3.4 Perkiraan Jumlah Kehilangan Energi Pada Pipa Penstock (Σhl penstock)**

Bahan pipa penstock terbuat dari baja yang dikeling dengan koefisien kekasaran mutlak (ε) direncanakan sebesar 2 mm. Kehilangan energi pada pipa penstock terdiri dari lima jenis diantaranya :

1. Kehilangan Energi Akibat Gesekan Antara Air Dengan Permukaan Pipa Penstock (*hl<sub>f penstock</sub>*)

Kehilangan energi ini terbagi menjadi lima (5) dikarenakan pipa penstock dirancang dibagi menjadi lima (5) bagian dengan panjang dan diameter yang berbeda, dan dihitung dengan menggunakan persamaan Darcy-Weisbach seperti Persamaan (1)

$$h_{lfpennstock} = f \cdot \frac{LV^2}{d \cdot 2g} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

- L = panjang pipa (m)
- D = diameter pipa (m)
- g = gravitasi (m/s<sup>2</sup>)
- V = kecepatan aliran air dalam pipa(m/s)
- f = koefisien gesek pipa

Harga kecepatan aliran air dalam pipa (V) diperoleh dengan menggunakan persamaan kontinuitas seperti Persamaan (2).

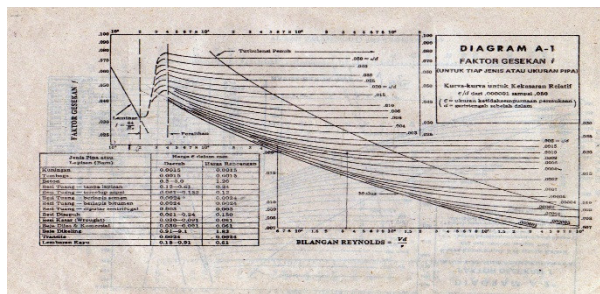
$$V = Q/A \dots\dots\dots(2)$$

Dimana Q adalah debit air yakni 11 m<sup>3</sup>/s dan A adalah luas penampang pipa penstock. Besarnya koefisien gesek (f) tergantung terhadap bilangan reynold, dan bilangan reynold dapat dihitung dengan Persamaan (3) [5] :

$$R = \frac{VD}{\nu} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana ν adalah Viskositas Kinematik air pada temperatur 21<sup>o</sup>C yakni sebesar 0,985 . 10<sup>-6</sup> [3].

Material *head race* dipilih beton, dengan kekerasan absolut direncanakan sebesar 2,0 [5]. Lalu dengan menggunakan Diagram Moddy seperti Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Moody

diperoleh harga koefisien gesek (f). Dengan demikian diperoleh harga hilang energi (*head loss*) pada pipa akibat gesekan (*h<sub>lf</sub>*) dengan menggunakan Persamaan (1).

2. Kehilangan Energi Akibat Belokan (*h<sub>lb</sub>*)  
Kehilangan energi akibat belokan (*h<sub>lb</sub>*) dihitung dengan menggunakan Persamaan (4).

$$h_{lb} = C \cdot \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(4)$$

dengan harga C dan V masing-masing adalah 0,118 dan 3,114 m/s.

3. Kehilangan Energi Pada Katup Pipa Penstock (*h<sub>lv</sub>*)  
Kehilangan energi akibat katub (*h<sub>lv</sub>*) dihitung dengan menggunakan Persamaan (5).

$$h_{lv} = K \cdot \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(5)$$

dengan harga K dan V masing-masing adalah 0,19 dan 2,43 m/s.

4. Kehilangan Energi Akibat Penyempitan (*h<sub>lc</sub>*)

Kehilangan energi akibat penyempitan (*h<sub>lc</sub>*) dihitung dengan menggunakan Persamaan (6).

$$h_{lc} = K \cdot \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(6)$$

dengan harga K dan V masing-masing adalah 0,1 dan 2,43 m/s.

5. Kehilangan Energi Pada Pemasangan Pipa Cabang Dua (*h<sub>lcd</sub>*)

Kehilangan energi akibat pemasangan pipa cabang dua (*h<sub>lcd</sub>*) dihitung dengan menggunakan Persamaan (7)

$$h_{lcd} = K \cdot \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(7)$$

dengan harga K dan V masing-masing adalah 0,4 dan 7 m/s.

Setelah menghitung jumlah hilang energi pada pipa penstock ( $\Sigma h_{l \text{ penstock}}$ ) dengan cara menjumlahkan harga kelima jenis hilang energi pada pipa penstock, lalu total hilang energi disepanjang saluran air ( $H_{l \text{ total}}$ ) dapat dihitung dengan cara menjumlahkan total hilang energi pada saluran *head race* ( $\Sigma h_{l \text{ head race}}$ ) dengan total hilang energi pada pipa penstock ( $\Sigma h_{l \text{ penstock}}$ ) seperti Persamaan (8).

$$H_{l \text{ total}} = \Sigma h_{l \text{ head race}} + \Sigma h_{l \text{ penstock}} \dots\dots\dots(8)$$

Lalu dengan demikian maka harga head efektif ( $H_{\text{eff}}$ ) yang baru dapat dihitung dengan cara mengurangkan head total ( $H_{\text{total}}$ ) yang ada pada sistem dengan total hilang energi ( $H_{l \text{ total}}$ ) seperti pada persamaan (9)

$$H_{\text{eff}} = H_{\text{total}} - H_{l \text{ total}} \dots\dots\dots(9)$$

**3.5 Perkiraan Jumlah Daya Keluaran Generator ( $P_g$ )**

Untuk menghitung daya keluaran generator ( $P_g$ ), terlebih dahulu ditentukan besar daya hidrolisis ( $P_h$ ) dan daya keluaran turbin ( $P_t$ ).

1. Perhitungan Daya Hidrolisis ( $P_h$ )

Untuk menghitung daya hidrolisis ( $P_h$ ) yang dihasilkan menggunakan Persamaan (10) yaitu :

$$P_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_{\text{eff}} \dots\dots\dots(10)$$

Dimana :

$P_h$  = Daya Hidrolisis (Watt)

$\rho$  (massa jenis air) = 996  $\text{Kg}/\text{m}^3$

$g$  (Percepatan gravitasi) = 9,8  $\text{m}/\text{s}^2$

$Q$  (Debit air) = 11  $\text{m}^3/\text{s}$

$H_{\text{eff}}$  (Tinggi jatuh air efektif)

2. Perhitungan Daya Keluaran Turbin (Pt)

Dengan mengasumsikan bahwa efisiensi turbin ( $\eta_{\text{turbin}}$ ) adalah sebesar 87% maka didapatkan daya keluaran turbin (Pt) dengan menggunakan Persamaan (11) yaitu :

$$P_t = P_h \times \eta_{\text{turbin}} \dots \dots \dots (11)$$

3. Perhitungan Daya Keluaran Generator (Pg)

Dengan mengasumsikan bahwa efisiensi generator ( $\eta_{\text{generator}}$ ) adalah sebesar 98 % maka didapatkan daya keluaran Generator (Pg) dengan menggunakan Persamaan (12) yaitu :

$$P_g = P_t \times \eta_{\text{generator}} \dots \dots \dots (12)$$

4. Selisih Daya Terbangkit Sebelum dan Sesudah Perancangan ( $\Delta P_g$ )

Dengan membandingkan head efektif aktual ( $H_{\text{eff act}}$ ) dengan head efektif ( $H_{\text{eff}}$ ) setelah dilakukan perancangan instalasi aliran air, maka dapat diperoleh selisih daya keluaran masing-masing head efektif (dengan menggunakan Persamaan 10) dengan debit air yang sama yaitu  $11 \text{ m}^3/\text{s}$ . Lalu dengan mengurangi harga daya keluaran generator setelah dilakukan perancangan instalasi aliran air ( $P_g$ ) dengan daya keluaran aktual PLTA Renun ( $P_{g'}$ ), maka selisih daya terbangkit sebelum dan sesudah perancangan ( $\Delta P_g$ ) dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan (13)

$$\Delta P_g = P_g - P_{g'} \dots \dots \dots (13)$$

Dimana  $P_{g'}$  adalah daya aktual PLTA yang dihitung dengan menggunakan Persamaan (10) dengan menggunakan  $H_{\text{eff act}}$ .

**4. Hasil dan Pembahasan**

Setelah dilakukan perancangan instalasi aliran air, maka dapat dihitung jumlah energi yang hilang pada instalasi.

4.1 Hilang Energi pada Pipa *Head Race* ( $\Sigma h_{\text{head race}}$ )

Data yang diperoleh dari perusahaan PLTA Renun PT. PLN (Persero) untuk hilang energi pada pipa *head race* ( $\Sigma h_{\text{head race}}$ ) adalah sebesar :

$$\Sigma h_{\text{head race}} = 18,2124 \text{ m}$$

**4.2 Kehilangan Energi pada Pipa Penstock ( $\Sigma h_{\text{penstock}}$ )**

Kehilangan energy pada pipa penstock terdiri dari 5 jenis diantaranya:

1. Kehilangan Energi Akibat Gesekan Antara Air dan Permukaan Pipa Penstock ( $h_{\text{f penstock}}$ )

Dengan menggunakan Persamaan (1) dan data panjang dan diameter pipa penstock diambil dari Tabel 1, dapat diperoleh harga hilang energi pada pipa ( $h_{\text{f pipa 1-5}}$ ) dan total hilang energi pada pipa ( $h_{\text{f total}}$ ) seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Head Losses Total Pipa Penstock

| $h_{\text{f pipa1}}$ | $h_{\text{f pipa2}}$ | $h_{\text{f pipa3}}$ | $h_{\text{f pipa4}}$ | $h_{\text{f pipa5}}$ | $h_{\text{f total}}$ |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 0,055                | 0,88                 | 0,8443               | 2,253                | 2,84                 | 6,8 m                |

2. Kehilangan Energi Akibat Belokan ( $h_{\text{lb}}$ )

Dengan menggunakan Persamaan (4) maka diperoleh harga hilang energi akibat belokan ( $h_{\text{lb}}$ ) sebesar :

$$h_{\text{lb}} = 0,426 \text{ m}$$

3. Kehilangan Energi Pada Katup Pipa ( $h_{\text{lv}}$ )

Dengan menggunakan Persamaan (5) maka diperoleh harga hilang energi pada katup pipa ( $h_{\text{lv}}$ ) sebesar :

$$h_{\text{lv}} = 0,051 \text{ m}$$

4. Kehilangan Energi Akibat Penyempitan ( $h_{\text{lc}}$ )

Dengan menggunakan Persamaan (6) maka diperoleh harga hilang energi akibat penyempitan ( $h_{\text{lc}}$ ) sebesar :

$$h_{\text{lc}} = 0,03 \text{ m}$$

5. Kehilangan Energi Akibat Pemasangan Pipa Cabang Dua ( $h_{\text{lcd}}$ )

Dengan menggunakan Persamaan (7) maka diperoleh harga hilang energi akibat penyempitan ( $h_{\text{lcd}}$ ) sebesar :

$$h_{\text{lcd}} = 1,0 \text{ m}$$

Maka total hilang energi pada pipa penstock ( $\Sigma h_{\text{penstock}}$ ) adalah:

$$\Sigma h_{\text{penstock}} = 9,2274 \text{ m}$$

Dengan menggunakan Persamaan (8) maka diperoleh jumlah total hilang energi disepanjang saluran air ( $H_{\text{total}}$ ) yaitu :

$$H_{\text{total}} = 27,4398 \text{ m}$$

Dan dengan demikian dapat diperoleh harga head efektif yang baru ( $H_{eff}$ ) yaitu  $H_{eff} = 440$  m dengan menggunakan Persamaan (9)

#### 4.3 Perhitungan Daya Keluaran Generator ( $P_g$ )

Untuk menghitung daya keluaran generator terlebih dahulu dihitung daya hidrolisis ( $P_t$ ) dan daya keluaran turbin ( $P_t$ ).

##### 1. Perhitungan Daya Hidrolisis ( $P_h$ )

Dengan menggunakan Persamaan (10) diperoleh Daya Hidrolisis ( $P_h$ ) sebesar :

$$P_h = 47242272 \text{ Watt}$$

$$P_h = 47 \text{ MW}$$

##### 2. Perhitungan Daya Keluaran Turbin ( $P_t$ )

Dengan menggunakan Persamaan (11) diperoleh Daya Keluaran Turbin ( $P_t$ ) sebesar:

$$P_t = 41100776,64$$

$$P_t = 41 \text{ MW}$$

##### 3. Perhitungan Daya Keluaran Generator

Dengan menggunakan Persamaan (12) diperoleh Daya Keluaran Generator ( $P_g$ ) sebesar:

$$P_g = 40278761,1$$

$$P_g = 40 \text{ MW}$$

##### 4. Selisih Daya Terbangkit Sebelum dan Sesudah Perancangan ( $\Delta P_g$ )

Dengan menggunakan Persamaan (10) maka dapat dihitung harga daya keluaran generator sebelum perancangan ( $P_g'$ ) adalah :

$$P_g' = 39784430,85 \text{ Watt}$$

Dengan demikian selisih daya terbangkit sebelum dan sesudah modifikasi ( $\Delta P_g$ ) dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan (13) sebesar  $\Delta P_g = 494 \text{ KW}$ .

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Didapatkan daya keluaran generator meningkat menjadi 40,2 MW dari semula sebesar 39,7MW.
2. Diperoleh peningkatan daya sebesar 494 KW.
3. Kehilangan tinggi tekan air (*head losses*) akibat gesekan pada permukaan pipa berpengaruh sangat besar terhadap daya output PLTA.

## 6. Daftar Pustaka

- [1] Kadir, Abdul. **Energi**, Universitas Indonesia, Jakarta : 1982.
- [2] Sularso, MSME, Ir. **Pompa dan Kompresor**, PT. Pradnya Paramita, Jakarta : 2000.
- [3] Saragih, Darman F, Dipl.Ing., M.T. **Mekanika Fluida**, Politeknik Negeri Medan, Medan : 2004.
- [4] Lister. **Mesin Dan Rangkaian Listrik**, Erlangga, Jakarta : 1993.
- [5] Erhaneli dan Ferdinal Rutaf, 2013. "Pembangkit Tenaga Listrik Minihidro Di Desa Guguak Ampek Kandang Kecamatan 2x11 Kayu Tanam Kabupaten Padang Pariaman", Jurusan Teknik Elektro ITP – Padang.