

PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MINIHIDRO (PLTM) 2 X 1500 KW DI KOTO GAEK KABUPATEN SOLOK SUMATERA BARAT

Dwi Candra Setyono¹, Slamet Supriyadi², Aan Burhanudin³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas PGRI Semarang

Gedung Pusat Lantai 3, Kampus 1 Jl. Sidodadi Timur 24, Semarang

Abstrak

Listrik merupakan salah satu kebutuhan manusia yang semakin hari terus bertambah seiring semakin padatnya populasi. Namun karena keterbatasan suplai tenaga listrik, saat ini belum semua wilayah di Indonesia teraliri arus listrik, terutama di daerah pedalaman, khususnya Koto Gaek Kabupaten Solok Sumatera Barat. Permasalahan ini diatasi dengan membangun pembangkit listrik tenaga minihidro, mengingat daerah ini cukup banyak aliran sungai yang berpotensi didirikan pembangkit listrik. Sehingga dipilih daerah aliran di Sungai Koto Gaek Kabupaten Solok Sumatera Barat untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga air. Berdasarkan hasil survei yang dilakukan di lokasi tersebut, didapatkan data awal berupa debit andalan (Q) sebesar $12 \text{ m}^3/\text{s}$ dari Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air (PSDA) Kabupaten Solok Sumatera Barat kemudian pengukuran tinggi jatuh air (H) yaitu $30,8 \text{ m}$. Nilai tersebut menunjukkan bahwa daerah ini berpotensi untuk dibangun sebuah pembangkit listrik tenaga minihidro. Untuk mengoptimalkan kinerja pembangkit dari segi mekanikal dan elektrikal, pemilihan turbin yang sesuai dari data daerah tersebut yaitu turbin francis. Perancangan turbin francis memiliki kecepatan spesifik $66,8 \text{ rpm}$ dan menghasilkan daya 1603 kW dipasang 2 unit turbin. Untuk diameter dalam runner $1,774 \text{ m}$ dan diameter luar runner $2,534 \text{ m}$ serta jumlah blade 33 buah. Berdasarkan parameter kelayakan di atas dari segi debit dan Head maka, proyek pembangkit listrik tenaga minihidro layak untuk dijalankan

Kata Kunci: Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM), Perancangan, Turbin Air

I. PENDAHULUAN

Tenaga listrik merupakan salah satu unsur penunjang yang sangat penting bagi pengembangan secara menyeluruh suatu bangsa. Pemanfaatan yang tepat menggunakan suatu alat ampuh untuk merangsang pertumbuhan perekonomian negara akhir-akhir ini permintaan akan pembangkit tenaga listrik semakin meningkat di negara-negara seluruh dunia. Ditinjau dari kebutuhan tenaga listrik secara umum, dapat dikatakan bahwa Negara Indonesia belum memadai untuk pemerataan sumber energi terutama di daerah pedalaman apalagi sekarang segala aktifitas masyarakat memanfaatkan energi listrik sebagai sumber energinya.

Solusi alternatif perlu dicarikan untuk mengatasi permasalahan ini. Sumatra Barat merupakan kawasan pegunungan yang sangat kaya dengan air. Banyaknya pegunungan yang masih asri atau belum dijamah oleh masyarakat sekitar membuat aliran air sungai di daerah Sumatra Barat masih lancar dan memiliki debit aliran air yang cukup besar. Mengetahui bahwa air merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui maka air bisa dijadikan suatu alternatif untuk menyuplai listrik untuk kebutuhan sehari-hari terutama bagi masyarakat pedalaman yang belum terjangkau oleh listrik.

Salah satu yang dapat direncanakan untuk mengurangi ketidakmerataan jangkauan aliran listrik di Sumatra Barat adalah dengan suatu pembangkit listrik tenaga minihidro (PLTM) yang menggunakan air sebagai sumber energi utamanya. Dalam tugas akhir ini diteliti tentang “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) 2 X 1500 KW di Koto Gaek Kabupaten Solok Sumatera Barat”. Dengan memanfaatkan aliran sungai di Nagari Muaro air biasanya dimanfaatkan oleh masyarakat untuk irigasi pertanian hingga kebutuhan sehari-hari. Sungai ini memiliki debit aliran sebesar 12 m³/s dan *Head* 30,8 m [10]. Sehingga dapat menjadi solusi dalam permasalahan energi listrik dengan membangun suatu pembangkit listrik tenaga minihidro (PLTM) di nagari tersebut.

Konversi Energi dan Prinsip Dasar Pembangkit Listrik Tenaga Air - Teori pembangkit energi listrik didasarkan pada konversi energi potensial dari aliran air menjadi energi listrik. Didalam buku Panduan untuk Pembangunan pembangkit listrik Minihidro, 2010. Buku perencanaan PLTMH jakarta:IMIDAP menurut prinsip konservasi energi, keseimbangan energi pada aliran stedi akan mengikuti aturan sebagai berikut :

$$Z_A + \frac{P_A}{\rho g} + \frac{\alpha_A U_A^2}{2g} = Z_B + \frac{P_B}{\rho g} + \frac{\alpha_B U_B^2}{2g} + \Delta H_{AB} \quad (1)$$

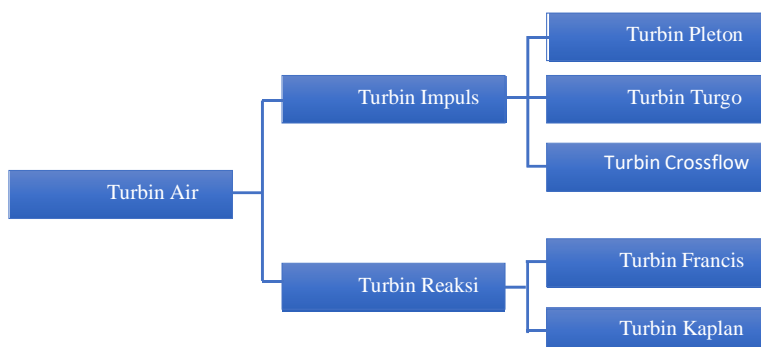
Dimana :
 Z_A dan Z_B = Elevasi antara permukaan A dan B (m)
 P_A dan P_B = Tekanan pada A dan B (Pa)
 U_A dan U_B = Kecepatan aliran (m/s)
 α = Koefisien distribusi aliran tidak seragam

Persamaan diatas menyatakan bahwa perbedaan ketinggian antara *Head* di A (H_A) dan *Head* di B (H_B) sama dengan *Head loss* ΔH_{AB} antara dua aliran penampang dimana *Head* adalah total energi aliran dengan berat air yang mengalir. Pada aliran permukaan bebas, persamaan diatas disederhanakan menjadi bentuk berikut:

$$\Delta H_{AB} = \frac{Z_A - Z_B + \alpha_A U_A^2 - \alpha_B U_B^2}{2g} \quad (2)$$

Dimana N_A dan N_B adalah masing masing elevasi dari permukaan bebas penampang aliran A dan B. Persamaan diatas menyatakan bahwa Head loss sama dengan beda ketinggian A dan B. Beda αU_A² – αU_B² akan sangat kecil atau bahkan sama dan Head loss sama dengan beda ketinggian A dan B.

Turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi :



Gambar 1. Klasifikasi Turbin

Pemilihan jenis turbin dapat ditentukan dengan mempertimbangkan parameter – parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin yaitu:

1. Faktor tinggi jatuhnya air efektif (*Net Head*) dan debit yang akan dimanfaatkan untuk operasi turbin merupakan faktor utama yang mempengaruhi pemilihan jenis turbin, sebagai contoh: turbin pelton efektif untuk operasi pada *Head* tinggi, sementara turbin propeller sangat efektif beroperasi pada *Head* rendah.
2. Faktor daya (power) yang diinginkan berkaitan dengan *Head* dan debit yang tersedia. Kecepatan (putaran) turbin yang akan ditransmisikan ke generator. Sebagai contoh untuk system transmisi direct couple antara generator dengan turbin pada *Head* rendah, sebuah turbin reaksi (*propeller*) dapat mencapai putaran yang diinginkan, sementara turbin pelton dan crossflow berputar sangat lambat (*low speed*) yang akan menyebabkan sistem tidak beroperasi.

Tabel 1. Kriteria Pemilihan Turbin

JENIS TURBIN	RANGE KETINGGIAN (HEAD)
Kaplan dan Propeller	2 < H 40
France	10 < H 350
Pelton	50 < H 1300
Banki/Cross-Flow	3 < H 250
Turgo	3 < H 250

Kecepatan yang spesifik adalah perbandingan antara kecepatan putaran dari dua runner secara geometrik sama satu dengan lainnya, dimana diambil dari kondisi hukum persamaan, dan kecepatan spesifik dari runner yang mirip dalam sebuah grup dengan kecepatan putaran diperoleh ketika satu runner memiliki *Head* efektif $H = 1$ m dan output $P = 1$ Kw. Dapat dimengerti bahwa kecepatan spesifik adalah sebuah nilai numerik sebagai gambaran dari klasifikasi runner dihubungkan dengan tiga faktor yaitu *Head* efektif, output turbin dan kecepatan putaran (di kutip dari Turbin dan Pompa. Friez Dietzel. Erlangga. 1980) sebagai berikut:

$$N_s = (N \times P^{1/2}) / H^{5/4} \quad N = (N_s \times H^{5/4}) / P^{1/2} \quad (3)$$

Dimana :

N_s : Kecepatan spesifik (m-kw)

N : Kecepatan putaran turbin (rpm)

P : Output turbin (kW) = $9.8 \times Q \times H \times \eta$

H : Head efektif (m)

Q : Debit (m³/s)

η : Efisiensi maksimum (% , tetapi sebuah desimal digunakan dalam perhitungan)

$\eta = 82$ % untuk Turbin Pelton

$\eta = 84$ % untuk Turbin Francis

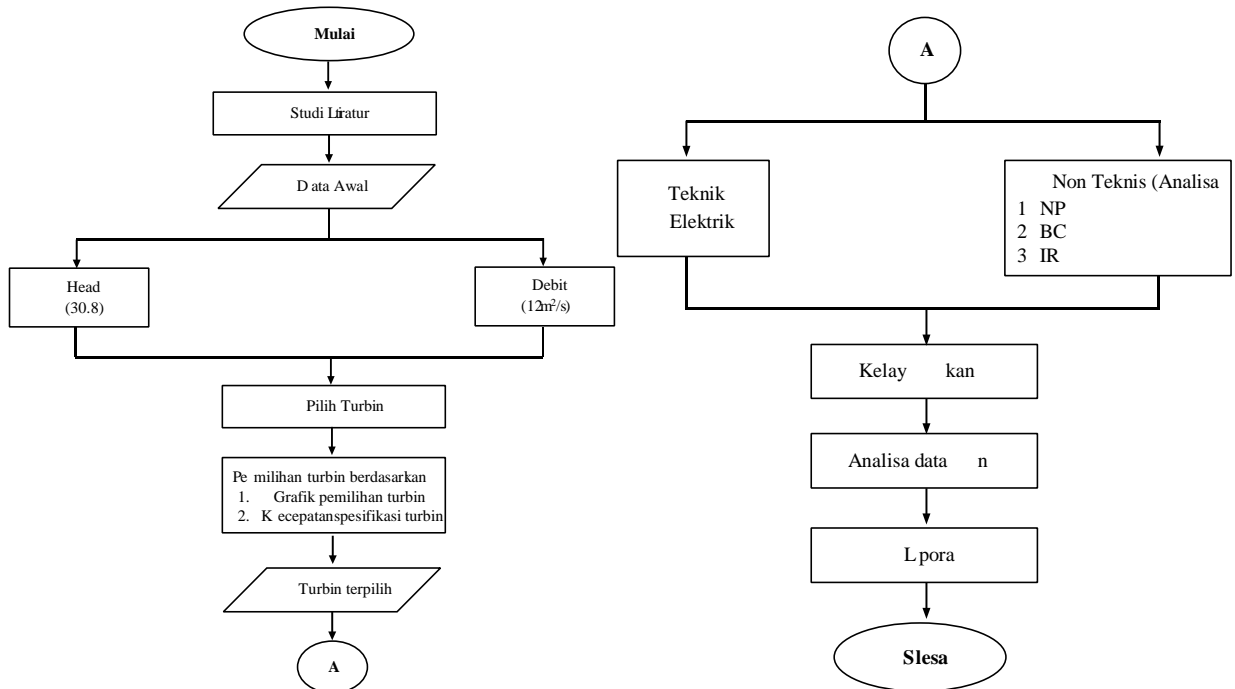
$\eta = 77$ % untuk Turbin Crossflow *

$\eta = 84$ % untuk Turbin Tubular S-type

Catatan : * 70% harus digunakan untuk setiap tipe dari turbin tipe Crossflow di Indonesia pada tahap sekarang karena efisiensi dari turbin di Indonesia sekarang tidak terlalu tinggi akibat kualitas fabrikasi.

II. METODE PENELITIAN

Flowchart Perencanaan PLTM – ini merupakan tahap-tahap yang akan dilaksanakan pada proses Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) 2 x 1500 kW Kec. Koto Gaek Kabupaten Solok



Gambar 2. Diagram Alir (Flowchart) Perencanaan PLTM

Berikut dasar-dasar perencanaan pembangkit listrik tenaga minihidro :

1. Data awal perancangan yang diketahui :
 - Head (H) : 30,8 m
 - Debit air (Q) : 12 m³ /det
 Data berikut didapatkan dari PT. Pembangkit Listrik
2. Metode Pemilihan Turbin, jenis turbin dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan parameter-parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin, yaitu:
 - a. Faktor tinggi jatuhnya air efektif (*Net Head*) dan debit yang akan dimanfaatkan untuk operasi turbin merupakan faktor utama yang mempengaruhi pemilihan jenis turbin, sebagai contoh: turbin pelton efektif untuk operasi pada Head tinggi, sementara turbin propeller sangat efektif beroperasi pada Head rendah.
 - b. Faktor daya (power) yang diinginkan berkaitan dengan Head dan debit yang tersedia.
 - c. Kecepatan (putaran) turbin yang akan ditransmisikan ke generator. Kecepatan spesifik (Ns), yaitu kecepatan putar turbin yang menghasilkan daya sebesar satu satuan daya pada tinggi jatuhnya air (Hnet) satu satuan panjang yang didefinisikan dengan formula:

$$N_s = \frac{(nt)\sqrt{P}}{(H)^{5/4}} \quad (4)$$

Dimana:

- nt = kecepatan putaran turbin (rpm)
- Q = debit aliran (m³ /det)
- H = Head efektif (m)
- = 66,8 rpm

Tabel 2. Kecepatan Spesifik Turbin Air

Jenis Turbin	Kecepatan Spesifik
Turbin Peleton	$12 \leq N_s \leq 25$
Turbin Prancis	$60 \leq N_s \leq 300$
Turbin <i>Crossflow</i>	$40 \leq N_s \leq 200$
Turbin <i>Propeller</i>	$250 \leq N_s \leq 1000$

3. Perancangan *Geometri Sudu* - Pada turbin, ketika melakukan perancangan geometri sudu turbin ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu tinggi jatuh air (*Head*), percepatan gravitasi bumi (*g*), massa jenis fluida yang memutar turbin (ρ), dan putaran turbin (*n*).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Data Potensi. Berdasarkan data yang didapatkan dari PT. Pembangkit Listrik di Koto gaek, Kabupaten Solok Sumatera Barat, didapatkan data berupa debit rata – rata (Q) sebesar 12 m³ /s dan tinggi jatuh (H) sebesar 30,8 m. Nilai tersebut menunjukkan bahwa daerah ini berpotensi untuk dibangun sebuah pembangkit listrik tenaga minihidro.
2. Perencanaan Mekanikal dan Elektrikal Kapasitas Pembangkit – Kapasitas pembangkit PLTA bergantung pada ketersediaan primer. Besarnya daya yang dibangkitkan ditentukan oleh besarnya nilai debit dan ketinggian jatuh air (*Head*) maka energi potensial juga akan semakin besar. Sehingga, daya yang dihasilkan oleh pembangkit juga akan semakin besar. Hal ini sesuai dengan persamaan berikut :

$$P = \rho \times g \times Q \times H \quad (5)$$

dimana ρ adalah massa jenis air dan *g* adalah gaya gravitasi.

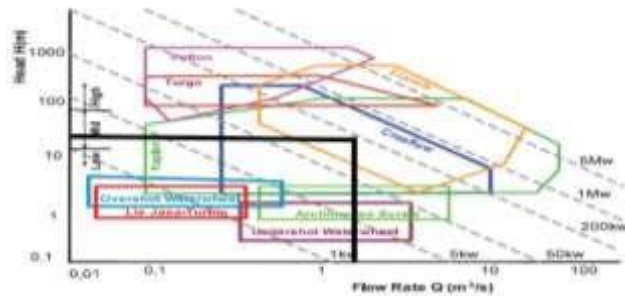
Besarnya daya total turbin di PLTM pada saat keadaan debit andalan dapat dilihat pada persamaan berikut dengan asumsi efisiensi turbin adalah sebesar 88.6%.

$$\begin{aligned} P &= \rho \times g \times Q \times H \times \eta_T \\ &= 998 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 12 \text{ m}^3/\text{s} \times 30,8 \text{ m} \times 0,886 \\ &= 3,148,116.27 \text{ watt} \\ &= 3148.12 \text{ KW} \end{aligned}$$

Jika probabilitas debit air yang diambil adalah sekitar 50 % dari debit andalan, debit masing- masing turbin sebesar 1,671 m³/s,

$$\begin{aligned}
 P &= \rho \times g \times Q \times H \times \eta T \\
 &= 998 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 6 \text{ m}^3/\text{s} \times 30,8 \text{ m} \times 0,886 \\
 &= 1,603,006.633 \text{ Watt} \\
 &= 1603.01 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

- a. Pemilihan Turbin – Sehingga, pemilihan jenis turbin diperoleh berdasarkan besarnya nilai debit aliran air dan besar tinggi air jatuh (*head*). Dengan data hasil perancangan adalah debit sebesar 12 m³/s dan data *head* sebesar 30,8 m, jenis turbin yang ideal untuk dipakai dapat menggunakan grafik pemilihan turbin :



Gambar 3. Grafik Hasil Pemilihan Turbin

Digunakan 2 unit turbin dengan masing-masing kapasitas sebesar 2 x 1500 KW.

$$H_{\text{netto}} = 33 \times 0,886 \times 0,92 = 26,89 \text{ m}$$

Pertimbangan kenapa menggunakan turbin Francis :

1. Pengalaman pabrik turbin didalam negeri untuk memproduksi turbin jenis Francis
2. Efisiensi turbin francis cukup tinggi untuk berbagai kondisi beban
3. Pemeliharaan turbin francis lebih mudah dan murah
4. Kontruksi pekerjaan sipil untuk turbin francis lebih sederhana

Berikut merupakan data rekapitulasi perhitungan perancangan Turbin Francis :

Tabel 3. Rekapitulasi Perhitungan Pereancangan Turbin Francis

Data	Nilai
Data Terencana	
1. Debit	$6 \text{ m}^3 / \text{s}$
2. Head	30,8 m
3. Putaran Spesifik	66,8 rpm
4. Daya Terencana	1603 kW
5. Diameter Dalam Runner	1,774 m
6. Diameter Luar Runner	2,5343 m
Sudu Turbin	
7. Kecepatan absolut saat air memasuki turbin (C_1)	23,35 m/s
8. Jumlah Blade	33 buah
Segitiga Kecepatan Bagian Luar	
9. Kecepatan tangensial ujung sudu (u_1)	8,87 m/s
10. Kecepatan relatif air terhadap sudu (W_1)	17,587 m/s
11. Sudut β_1	$83,65^\circ$
Segitiga Kecepatan Bagian Dalam	
12. Kecepatan Tangensial (U_2)	0,0295 m/s
13. Kecepatan Relatif Bagian Dalam Sudu (W_2)	21,53 m/s
14. Kecepatan Absolut (C_2)	0,0788 m/s
15. Sudut Buang Air Bagian Dalam Sudu (α_2)	$89,92^\circ$
Perancangan Geometri Sudu	
16. Jari-jari kelengkungan sudu (r_b)	0,4136 m
17. Sudut kelengkungan sudu (δ)	$27,66^\circ$
18. Jarak antara titik masuk dengan titik keluar (d)	0,408 m
19. Jari-jari lingkaran pitch (rp)	1,168 m

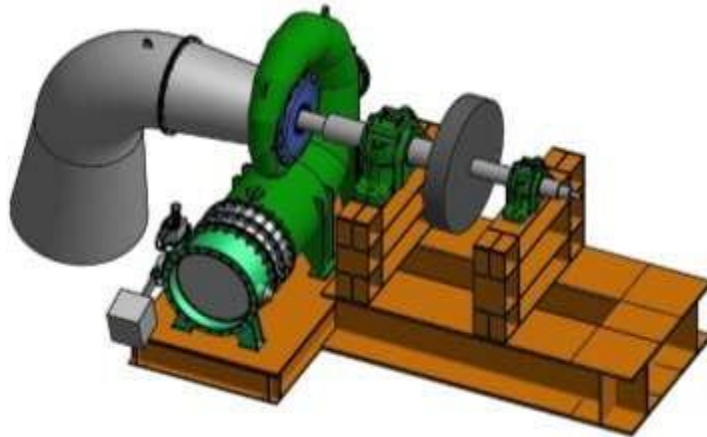
- b. Pemilihan Generator - Terdapat dua jenis generator yang bisa digunakan untuk PLTM , yaitu Generator sinkron dan generator induksi. Generator sinkron penggunaannya sudah demikian luas pada PLTM, sedangkan generator induksi teknologi penggunaannya masih baru berkembang dan umumnya digunakan dalam kapasitas kecil. Selain itu, generator sinkron lebih mudah dioperasikan dan lebih mudah ditemukan dipasaran. Inti lilitan dinamo terbuat dari material tembaga. Pemilihan lilitan tembaga dipilih karena memiliki efisiensi daya hantar listrik yang tinggi. Sesuai dengan desain PLTM, turbin francis dengan daya $2 \times 1500 \text{ kW}$.

Besarnya daya keluaran generator pada PLTM pada keadaan debit andalan dengan probabilitas 50 % sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P &= \rho \times g \times Q \times H \times \eta_t \times \eta_g \\ &= 998 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 6 \text{ m}^3/\text{s} \times 30,8 \text{ m} \times 0,886 \times 0,98 \\ &= 1554916,141 \text{ watt} \\ &= 1554 \text{ KW} \end{aligned}$$

- c. Design Guide Vane : Fungsi guide vane adalah untuk mengatur kapasitas air menuju runner turbin dengan arah dan kecepatan tertentu. Untuk arah kecepatan dan kapasitas air yang menuju runner sepanjang busur jatuhnya tegak lurus. Perencanaan ini pada dasarnya untuk menentukan sudut antar.
- d. Draft Tube : Merupakan bagian yang berfungsi untuk meneruskan air dari turbin ke saluran pembuangan dengan menggunakan tinggi jatuh air.
- e. Perancangan Sistem Transmisi, berdasarkan data dan perhitungan sebelumnya maka :
Daya transmisi (Pt) : 1603 kW
Putaran turbin (n1) : 66,8 rpm
Putaran generator (n2) : 3000 rpm

Berikut hasil gambar teknik Turbin Prancis :



Gambar 4. Gambar Teknik Turbin Prancis

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan dari beberapa perhitungan yang dilakukan berdasarkan teori yang ada, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemilihan turbin yang sesuai untuk PLTM yaitu turbin francis dengan kecepatan spesifik (ns) 66,8 rpm dengan daya 2 x 1500 kW dan dipasang 2 unit turbin.
2. Perancangan turbin francis dengan diameter luar runner 2,5343 m dan diameter luar dalam 1,774 m serta jumlah blade 33 buah.
3. Generator yang digunakan yaitu Generator Sinkron 3 Phasa dengan putaran 1000 Rpm, Frekuensi Aliran Listrik 50 Hz dengan Jumlah katub 3.

V. REFERENSI

- [1] Arismunandar Wiranto. (1977). Penggerak Mula Turbin. Bandung: ITB.
- [2] Dinas Pengolahan Sumber Daya Air (PSDA). 2015
- [3] Direktorat Jendral Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.2010. Modul Pelatihan Studi Kelayakan Pembangunan Mini Hidro. Jakarta: IMIDAP
- [4] Direktorat Jendral Listrik dan Pemanfaatan Energi. 2010. Pedoman Studi Kelayakan PLTMHSipil. Jakarta : IMIDAP
- [5] NN2. 2013. How does Francis turbine work? Tersedia <http://www.learnengineering.org/2014/01/how-does-francis-turbine-work.html>
- [6] Hanania, Jordan. 2016. Kaplan Turbine. Tersedia http://energyeducation.ca/encyclopedia/Kaplan_turbine
- [7] NN3. 2016. Waterwheel Design for Microhydro Energy. Tersedia <http://www.alternative-energy-tutorials.com/hydroenergy/waterwheeldesign.html>
- [8] Panduan Untuk Pembangunan Pembangkit Listrik Mini Hidro. 2010. Buku Perencanaan PLTMH. Jakarta: IMIDAP
- [9] Shpetin Lajqi, Nastin Lajqi, Begir Hamdi, 2016. Design and construction of mini hydropower propeller turbine
- [10] Sulardi, Sumardi, Bambang.1991.Pembangkit Listrik Tenaga Air.Jakarta