

PERENCANAAN DAN PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO SERTA INSTALASINYA UNTUK PENERANGAN KAWASAN HUTAN WISATA DI DESA BENU KECAMATAN TAKARI KABUPATEN KUPANG

Arbi Darmawan Gontani, Daniel Rohi, Julius Sentosa Setiadji
Program Studi Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra
Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236, Indonesia
arbigontani@gmail.com ; rohi@petra.ac.id ; julius@petra.ac.id

Abstrak – Kawasan hutan wisata desa Benu, Kabupaten Kupang, merupakan jalan penghubung ke daerah persawahan penduduk. Di kawasan ini juga sering diadakan acara adat oleh penduduk setempat. Sehingga dinas kehutanan berinisiatif untuk memberikan penerangan di kawasan tersebut, dengan memanfaatkan potensi sumber air yang terdapat di sekitar kawasan hutan.

Survei lokasi dilakukan untuk mendapatkan nilai debit air dan *head* yang disesuaikan dengan kondisi lokasi yang akan dilakukan pembangunan PLTMH. Metode yang dilakukan untuk mendapatkan debit air adalah dengan menggunakan metode *cross-section* sedangkan besarnya *head* ditentukan dengan menggunakan *tape-measure*.

Kawasan hutan wisata desa Benu memiliki debit air sebesar 0.039 m³/s dan *head* yang ditentukan sesuai lokasi sebesar 3 meter. Daya listrik yang dapat dihasilkan dari debit air dan *head* tersebut adalah sebesar 135 watt

Kata Kunci— pembangkit listrik tenaga mikro hidro, debit, head

I. PENDAHULUAN

PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro) merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang masih belum banyak dimanfaatkan di wilayah Indonesia (ESDM, 2003). Oleh karena itu perlu ditingkatkan penggunaan PLTMH di daerah yang berpotensi untuk dibangun mikrohidro, sehingga kebutuhan energi listrik tidak lagi bergantung kepada PLN (Perusahaan Listrik Negara).

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), dapat memberikan tambahan energi listrik alternatif bagi masyarakat setempat. Selain itu, PLTMH juga dapat digunakan sebagai pengadaan energi listrik di pedesaan, yang biasanya sulit dijangkau oleh jaringan PLN. Dengan demikian, masyarakat yang tinggal di daerah terpencil bisa menikmati listrik tanpa harus menunggu jaringan PLN yang entah kapan dapat mereka rasakan (Soetomo, 1975).

Pembangkit Listrik Tenaga Air adalah suatu pembangkitan energi listrik dengan mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik oleh turbin dan diubah lagi menjadi energi listrik oleh generator dengan memanfaatkan ketinggian dan kecepatan aliran air. Secara teknis, Mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air sebagai sumber energi, turbin dan generator.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro merupakan pembangkit listrik tenaga air berskala kecil yang menghasilkan daya kurang dari 200 kW.

Daya yang dihasilkan PLTMH dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$P = 9,8 \times H \times Q \times \eta_t \quad (W) \quad (1)$$

Dimana:

P = Daya yang dapat dihasilkan (W)

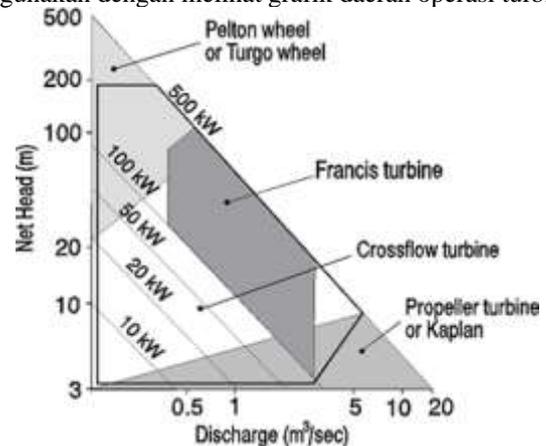
H = Tinggi jatuh air efektif (m)

Q = Debit Air (liter/detik)

η_t = Efisiensi Total

Dari rumus (1) terlihat bahwa berhasilnya suatu pembangkit tenaga air tergantung daripada usaha untuk mendapatkan tinggi jatuh air dan debit yang besar secara efektif dan ekonomis.

Setelah diketahui potensi debit air serta ditentukan ukuran *head* yang disesuaikan dengan kondisi dilapangan, maka dapat ditentukan jenis turbin yang akan dipergunakan dengan melihat grafik daerah operasi turbin.



Gambar 1. Grafik Daerah Operasi Turbin

II. PERENCANAAN

Tahapan perencanaan merupakan bagian penting dalam tahapan pembangunan PLTMH. Perencanaan dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi lokasi akan dipasang pembangkit listrik mikro hidro.

1. Survei Potensi Air

Hasil pengukuran dan perhitungan potensi air akan menjadi acuan pembangunan PLTMH. Dari hasil pengukuran didapatkan panjang, lebar, dan tinggi (kedalaman) air pada saluran air serta waktu tempuh objek yang digunakan pada proses pengukuran. Data hasil pengukuran digunakan untuk melakukan proses perhitungan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

Tabel 1. Data Pengukuran Sumber Air

Percobaan	Panjang Saluran Air (m)	Lebar Saluran Air (m)	Tinggi Saluran Air (m)	Waktu (detik)
1	2	0.65	0.15	4,68
2				4,66
3				4,57
4				4,60
5				5,37
6				5,68
7				5,62
8				5,35
9				4,77
10				4,48
Rata-Rata				4,97

Data hasil pengukuran akan digunakan untuk melakukan proses perhitungan debit air dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = \frac{v}{t} \quad (2)$$

$$Q = \frac{(2 \times 0.65 \times 0.15) \text{ m}}{4.97}$$

$$Q = 0.039 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 39 \text{ liter/detik}$$

Dimana :

Q = Debit air (m³/s)

v = Volume (m³)

t = Waktu (s)

Didapatkan debit air sebesar 39 liter/detik. Debit air ini akan dijadikan acuan untuk merencanakan PLTMH.

2. Head

Ukuran *head* ditentukan dengan melihat kondisi lapangan, dan didapatkan ukuran head tertinggi sebesar 3 meter.



Gambar 2. Head setinggi 3 meter

3. Turbin dan Generator

Pemilihan jenis turbin dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan beberapa parameter. Dengan *head* sebesar 3 meter dan debit air sebesar 0.039 m³/s atau 39 liter/detik, berdasarkan grafik daerah operasi turbin pada gambar 1. maka dapat digunakan turbin jenis *Propeller*. Pemilihan turbin jenis *Propeller* dikarenakan turbin

dengan jenis *Propeller* dapat beroperasi dengan efektif pada *head* yang rendah (*Low Head*).

Turbin kemudian dikopel dengan generator, maka kecepatan putar generator dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$n = \frac{120 \times f}{p} \quad (3)$$

Dimana:

n = Kecepatan putar generator (rpm)

p = Jumlah kutub

f = Frekuensi (Hz)

maka,

$$n = \frac{120 \times 50}{4}$$

$$n = \frac{6000}{4}$$

$$n = 1500 \text{ rpm}$$

4. Skema Turbin dan Generator pada sistem PLTMH

Spesifikasi Sistem

Jenis Turbin : *Propeller-Open Flume*

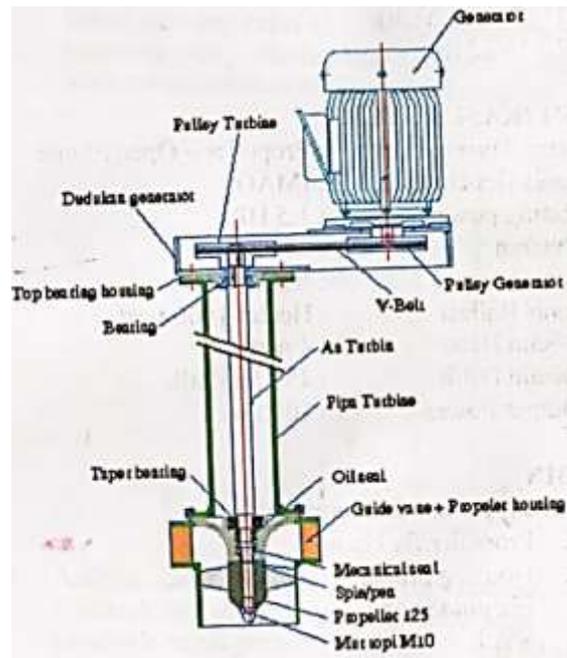
Rating Power : 1.5 HP

Putaran : 1500 rpm

Desain Head : 4 meter

Desain Debit : 45 liter/detik

Output Power : 1000 watt



Gambar 3. Skema Turbin dan Generator

Terdapat beberapa komponen utama dari Sistem PLTMH:

a. Turbin *Propeller*

Turbin akan berputar jika ada aliran air yang masuk. Kemudian putaran dari turbin akan diteruskan melalui as turbin ke puli turbin, kemudian putaran puli turbin akan diteruskan lagi ke puli generator dengan menggunakan *v-belt* sehingga generator dapat berputar dan menghasilkan energi listrik.

b. *Guide Vane*

Berfungsi untuk mengarahkan aliran air sehingga secara efektif meneruskan energi potensial air ke turbin.

Dengan demikian energi kinetik yang ada pada pancaran air akan menggerakkan turbin dan menghasilkan energi mekanik yang seterusnya memutar generator melalui puli.

c. Puli

Puli merupakan salah satu sistem transmisi mekanik yang sering dipakai pada PLTMH. Sistem transmisi tersebut berfungsi untuk mengubah kecepatan putar dari satu poros ke poros yang lain. Pada sistem PLTMH ini ukuran puli di turbin dan generator sama yaitu 12.5 cm.

d. V-Belt

Kegunaan dari V-Belt (Tali Kipas) adalah sebagai transmisi penghubung yang berfungsi meneruskan tenaga yang dihasilkan dari putaran puli turbin untuk menggerakkan puli pada generator, sehingga generator ikut berputar.

e. Generator

Menghasilkan energi listrik dari putaran mekanis puli turbin yang dihubungkan dengan menggunakan v-belt ke puli generator.

Dari proses survei lokasi, pengukuran dan perhitungan debit air, penentuan head yang disesuaikan dengan kondisi lapangan serta spesifikasi sistem yang tertera. Maka dapat dihitung efisiensi total sistem serta daya output yang dapat dibangkitkan oleh sistem.

Mengacu pada data spesifikasi dari sistem, berdasarkan rumus (1) didapatkan Efisiensi Total Sistem (η_t) sebesar:

$$P = 9,8 \times H \times Q \times \eta_t \text{ (kW)}$$

$$1000 = 9,8 \times 4 \times 45 \times \eta_t$$

$$\eta_t = \frac{1000}{9,8 \times 4 \times 45}$$

$$\eta_t = 0.567$$

$$\eta_t = 56.7 \%$$

Jadi, daya output yang dapat dibangkitkan oleh sistem sebesar:

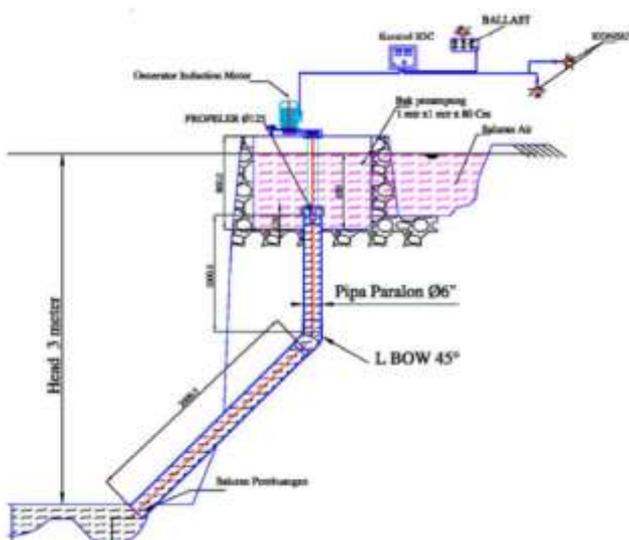
$$P = 9,8 \times H \times Q \times \eta_t \text{ (W)}$$

$$P = 9,8 \times 3 \times 39 \times 0.567 \text{ (W)}$$

$$P = 650 \text{ W}$$

Berdasarkan perhitungan, maka efisiensi dari sistem sebesar 56.7% dan daya output yang didapatkan dibangkitkan oleh sistem setelah dilakukan pembangunan PLTMH adalah sebesar 650 watt.

5. Perencanaan Instalasi Sipil



Gambar 4. Skema Instalasi Sipil

Agar PLTMH dapat bekerja, maka diperlukan instalasi sipil yang baik dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Ukuran bak turbin, disarankan berukuran 1x1 m.
2. Sistem penyaringan untuk menghindari sampah masuk ke dalam bak turbin.
3. Sistem pengatur air (pintu air) sebelum air masuk ke dalam bak turbin.
4. Desain bak turbin memperhitungkan level air dalam bak turbin. Level air minimal 80 cm dari blade dan level air maksimal di bawah kedudukan generator.
5. Harus dipastikan turbin dapat berdiri tegak.
6. Ujung bawah pipa hisap harus terendam air.

III. PEMBANGUNAN

Pembangunan dimulai dengan melakukan perbaikan saluran air yang sudah ada di kawasan hutan wisata. Saluran air ini akan difungsikan sebagai saluran pembawa pada sistem PLTMH. Fungsi dari saluran pembawa adalah untuk menampung air yang berasal dari beberapa mata air di sekitar hutan kemudian dialirkan menuju ke bak penenang. Ukuran saluran pembawa disesuaikan dengan ukuran saluran air yang sudah ada di kawasan hutan wisata. Ukuran Saluran Pembawa 30 meter x 0.65 meter x 0.30 meter.



Gambar 5. Saluran Pembawa

Langkah selanjutnya adalah membangun bak penenang yang berfungsi untuk menampung air dari saluran pembawa dan juga sebagai tempat turbin berdiri tegak. Ukuran bak penenang 4x1x1 meter.



Gambar 6. Bak Penenang

Kemudian, dilakukan pemasangan pipa hisap dengan menggunakan pipa berukuran 6 dim atau 6 inci. Fungsi dari pipa hisap ini sebagai saluran pembuangan air yang masuk ke dalam turbin. Pada sistem ini, besarnya nilai putaran turbin akan ditentukan dari tingginya pipa hisap yang terpasang. Semakin tinggi pipa hisap yang terpasang, maka akan semakin tinggi pula putaran turbin yang bisa didapatkan.



Gambar 7. Pipa Hisap

Pemasangan penyangkai, dilakukan untuk menyaring daun yang seringkali berguguran, sehingga dapat mengurangi kemungkinan turbin yang tidak dapat berputar karena tersumbat oleh daun yang masuk ke dalam turbin.



Gambar 8. Penyangkai

IV. PENGUJIAN

Tahapan pengujian dilakukan sebanyak 3 kali, masing-masing pengujian akan dibahas proses pengujian dan disertai tabel data hasil pengujian.

1. Pengujian 1

Tabel 2. Hasil Pengujian 1

KETERANGAN	DATA	PERCOBAAN 1
Tanpa Beban	RPM Turbin	1500
	RPM Generator	1500
	Kondisi Air	Stabil
	Tegangan	220 volt
	Arus	0
	Daya Output	0
Berbeban	RPM Turbin	1400
	RPM Generator	1400
	Kondisi Air	Habis ± 5 Menit
	Tegangan	180 volt
	Arus	0.8 ampere
	Daya Output	150 watt

Pada percobaan pertama, pada kondisi tanpa beban, menghasilkan tegangan sebesar 220 volt dan putaran turbin serta generator sebesar 1500 RPM. Ketika diberikan beban sebesar 150 watt, didapatkan tegangan sebesar 180 volt dan putaran turbin serta generator sebesar 1400 RPM. Kondisi level air pada saat sistem berbeban ikut menurun, hal ini disebabkan turbin berusaha untuk mempertahankan putaran generator sehingga volume air yang dipergunakan semakin banyak dan mengakibatkan suplai air habis hanya dalam waktu 5 menit setelah sistem diberikan beban. Kondisi ini sangat tidak ideal untuk sistem beroperasi.

2. Pengujian 2

Tabel 3. Hasil Pengujian 2

KETERANGAN	DATA	PERCOBAAN 2
Tanpa Beban	RPM Turbin	1200
	RPM Generator	1200
	Kondisi Air	Stabil
	Tegangan	180 volt
	Arus	0
	Daya Output	0
Berbeban	RPM Turbin	Tidak Dilakukan Pengujian Beban
	RPM Generator	Tidak Dilakukan Pengujian Beban
	Kondisi Air	Tidak Dilakukan Pengujian Beban
	Tegangan	Tidak Dilakukan Pengujian Beban
	Arus	Tidak Dilakukan Pengujian Beban
	Daya Output	Tidak Dilakukan Pengujian Beban

Pada percobaan kedua, dilakukan penggantian turbin yang memiliki sudu-sudu lebih sempit. Jarak antara sudu-sudu turbin pada percobaan 1 sebesar 3 cm (Gambar 9.) dan diganti dengan turbin yang memiliki jarak antara sudu-sudu turbin sebesar 2 cm (Gambar 10). Tujuan penggantian turbin adalah untuk menghambat suplai air yang keluar dari bak penenang. Hasilnya suplai air tidak berkurang akan tetapi putaran generator yang dihasilkan hanya sebesar 1200 RPM. Hal ini dikarenakan suplai air yang masuk ke turbin berkurang, sehingga putaran turbin melemah dan putaran generator juga ikut melemah. Dengan tegangan yang dihasilkan pada saat tanpa beban sebesar 180 volt, maka diputuskan tidak melakukan pengujian dengan beban, karena ketika sistem diberikan beban, maka tegangan akan turun. Dengan nilai tegangan tanpa beban hanya 180 volt, maka dapat dipastikan ketika diberikan beban, tegangan sistem akan menurun jauh dari nominal nilai tegangan kerja.



Gambar 9. Turbin yang memiliki jarak antar sudu 3 cm



Gambar 10. Turbin yang memiliki jarak antar sudu 2 cm

3. Pengujian 3

Tabel 4. Hasil Pengujian 3

KETERANGAN	DATA	PERCOBAAN 3
Tanpa Beban	RPM Turbin	1200
	RPM Generator	1500
	Kondisi Air	Stabil
	Tegangan	200 volt
	Arus	0
Beban	Daya Output	0
	RPM Turbin	1000
	RPM Generator	1250
	Kondisi Air	Stabil
	Tegangan	170 volt
	Arus	0.8 ampere
	Daya Output	135 watt

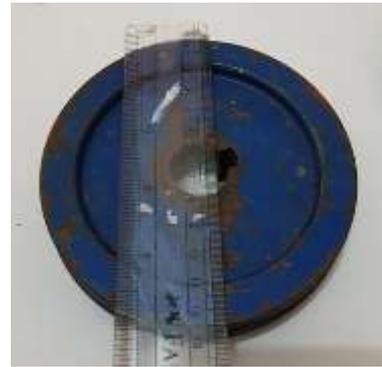
Pada percobaan ketiga dilakukan penggantian puli generator menjadi lebih kecil. Dengan menggunakan rumus perbandingan, maka didapatkan ukuran puli generator sebesar:

$$\frac{12.5}{1500} = \frac{x}{1200}$$

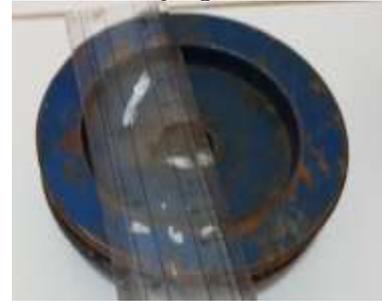
$$1500x = 15.000$$

$$x = 10 \text{ cm}$$

Puli generator diganti dengan puli yang berukuran 10 cm (Gambar 12.) dan Puli turbin tetap sebesar 12.5 cm (Gambar 11.). Hal ini bertujuan agar putaran generator dapat mencapai 1500 RPM. Dari hasil pengujian didapatkan putaran generator sebesar 1500 RPM dan tegangan yang dihasilkan oleh generator sebesar 200 volt saat tanpa beban, dan pada saat diberikan beban mencapai 135 watt, nilai tegangan menurun menjadi 170 volt dan putaran generator turun menjadi 1250 RPM.



Gambar 11. Puli yang berukuran 12.5 cm



Gambar 12. Puli yang berukuran 10 cm

Dari ketiga percobaan di atas, diputuskan untuk menggunakan sistem seperti pada percobaan ketiga, walaupun daya yang dihasilkan hanya sebesar 135 watt, tapi kondisi level air tetap stabil dibandingkan dengan percobaan 1 serta sistem PLTMH dapat beroperasi 24 jam tanpa henti.

Sistem tidak dapat beroperasi dengan maksimal, karena adanya pergantian turbin sehingga debit air yang masuk ke dalam turbin tidak sebanyak seperti pada percobaan 1 dan mempengaruhi putaran generator yang dihasilkan. Putaran generator yang dihasilkan pada saat sistem diberikan beban hanya mencapai 1250 RPM. Hal ini mengakibatkan tegangan yang dihasilkan sistem rendah. Kemudian nilai tegangan juga dipengaruhi oleh beban yang diberikan. Ketika beban semakin besar maka *drop* tegangan akan semakin besar sehingga tegangannya akan semakin turun. Nilai tegangan menurun dari 200 volt menjadi 170 volt. Beban yang digunakan berupa 10 buah lampu LED 10.5 watt untuk kawasan hutan wisata dan 3 buah lampu LED 10.5 watt untuk rumah tinggal.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan dari proses pengujian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem PLTMH *Propeller Open Flume* yang mempunyai kebutuhan debit air sebanyak 45 liter/detik dan *head* 4 meter tidak dapat beroperasi dengan maksimal ketika dipasang pada lokasi dengan ketersediaan sumber air sebesar 39 liter/detik dan *head* sebesar 3 meter. Sistem menghasilkan daya *output* sebesar 135 watt. Hal ini hanya merupakan 20% dari daya *output* yang direncanakan (650 watt).
2. Turbin yang dipakai pada PLTMH ini adalah turbin yang memiliki jarak antara sudu-sudu sebesar 2 cm, sehingga suplai air menjadi stabil.
3. Diameter puli turbin yang dipakai sebesar 12.5 cm, sedangkan diameter puli generator sebesar 10 cm. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan putaran generator sebesar 1500 RPM.

4. Nilai tegangan yang dihasilkan oleh generator sebesar 200 volt saat tanpa beban, dan ketika diberikan beban sebesar 135 watt, nilai tegangan menurun menjadi 170 volt.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ESDM. (2003). *Kebijakan pengembangan energi terbarukan dan konservasi energi (energi hijau)*. Jakarta: Departemen ESDM.
- [2] Jasa, L., Ardana, I. P., Priyadi, & Purnomo. (2017). *Mikro hidro*. Yogyakarta: Teknosain.
- [3] Nugroho, & Sallata. (2015). *Pembangkit listrik tenaga mikro hidro*. Yogyakarta: Andi Offset.
- [4] Rewu, O. (2016). *Proyek plta*. Yogyakarta: Teknosain.
- [5] Soetomo. (1975). *Sistem listrik mikrohidro untuk melestarikan desa*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.