

Penyediaan Tenaga Listrik di Mariana menggunakan Energi Mikrohidro

Sulaiman
Teknik Elektro
Universitas Bina Darma
Palembang, Indonesia
sulaiman@binadarma.ac.id

Nina Paramytha IS
Teknik Elektro
Universitas Bina Darma
Palembang, Indonesia
nina_paramita@binadarma.ac.id

Abstrak— Untuk mengatasi lonjakan beban listrik di pedesaan yang belum terjangkau jaringan PLN maka sebagai salah satu pembangkit listrik yang dipertimbangkan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Pada PLTMH yang menjadi fokus adalah hubungan parameter air, seperti kecepatan aliran, debit, sudu turbin, diameter sudu, luas sudu, jumlah sudu turbin, bahan sudu turbin dan tempat PLTMH.

Perancangan PLTMH ini menggunakan kincir air yang dilaksanakan dengan memanfaatkan potensi sumber daya air yang terdapat pada aliran air di Desa Mariana. Perancangan didasarkan pada asumsi kebutuhan beban sebesar 10 kW, sehingga didapat debit air sebesar 0,656 m³/detik sedangkan penentuan tinggi jatuh air, menggunakan metode *water-filled tube* diperoleh sebesar 3,06 m. Kincir air yang direncanakan dalam PLTMH ini adalah kincir air jenis *over-shot* dengan jumlah sudu 8 buah pada putaran 31,39 rpm, diameter sudu kincir air 3,27 m, luas penampang kincir 1,05 m², panjang sudu 0,963 m dan lebar 0,32 m.

Kata Kunci— Air, debit air, kecepatan aliran air diameter sudu, jumlah sudu, generator.

I. PENDAHULUAN

Indonesia adalah Negara kepulauan yang terdiri dari daratan dan air. Potensi air sangat melimpah baik air asin (laut) maupun air tawar. Pemanfaatan energi air menjadi energi listrik masih sangat minim dibandingkan dengan energi fosil seperti minyak dan batu bara. Pada saat sekarang energi fosil tersebut cenderung hampir habis dan harganya mahal, oleh karena itu sangat perlu dikembangkan pemanfaatan energi lain, seperti energi terbarukan (energi air). Untuk mengembangkan energi air di Indonesia adalah sangat potensial dalam kapasitas yang besar dan jumlah yang banyak. Sedangkan untuk daerah Sumatera Selatan potensi air sangat melimpah terdiri dari air sungai dan air rawa. Pembangkit listrik untuk jaringan Sumatera bagian Selatan memiliki tegangan transmisi 70 KV, dan 150 KV, sedangkan tegangan pada jaringan distribusi primer kota Palembang adalah 20 KV serta tegangan jaringan distribusi skunder adalah 220 / 380 V.

Pada daerah yang krisis energi, maka energi alternatif dapat dikembangkan seperti energi matahari (solar cell), energi air. Di kota Palembang yang dialiri sungai Musi serta mempunyai lahan rawa yang luas mempunyai potensi untuk pengembangan energi air, baik air yang didapat dari sungai Musi maupun air yang berasal dari lahan rawa.

Oleh karena itu pada tulisan ini akan dibuat pembangkit listrik tenaga air dengan skala mikro (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hydro = PLTMH). Dengan adanya PLTMH yang ditempatkan pada lokasi pedesaan, diharapkan adanya nilai tambah pada masyarakat pedesaan, seperti peningkatan

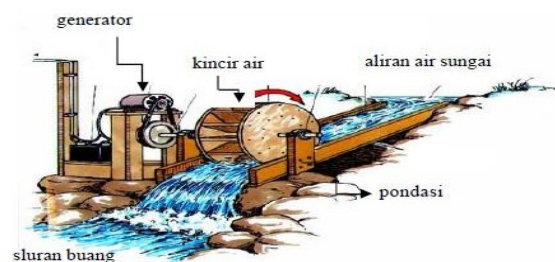
sumber daya manusia di sektor pendidikan, peningkatan taraf hidup masyarakat pedesaan di sektor ekonomi, serta dapat dijadikan proyek percontohan pengembangan pembangkit listrik dengan menggunakan energi terbarukan.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Pada umumnya PLTMH mempunyai tiga (3) komponen utama yang masing - masing memiliki fungsi yang sangat menentukan, yaitu : air, turbin air (kincir air), dan generator.

Untuk membangkitkan energi listrik mikrohidro, variabel putaran kincir air merupakan salah satu variabel yang menentukan didalam pembangkitan tegangan induksi pada generator.

Perubahan putaran yang disebabkan oleh perubahan kecepatan aliran air akan menyebabkan fluktuasi tegangan, sehingga diusahakan kecepatan aliran adalah tetap. Pada gambar 1 dapat dilihat Pembangkit Listrik Tenaga Mikro



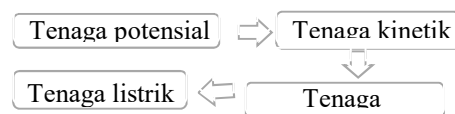
Gambar 1. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Dalam merencanakan pembangkit listrik tenaga air yang harus diketahui adalah sumber air dan lokasi sumber air yang mempunyai kecepatan agar dapat memutar sudu turbin air / kincir air yang akhirnya dapat membangkitkan tenaga listrik.

Untuk mengetahui sumber air dengan kecepatan yang diinginkan dapat dilakukan dengan dua cara yaitu :

- Mengukur kecepatan air,
- Menggunakan data yang sudah tersedia.

Perubahan tenaga potensial air menjadi tenaga listrik tidak langsung, melainkan melalui beberapa tahapan berturut - turut sebagai berikut :



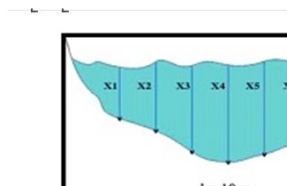
Gambar 2. Konversi Tenaga Potensial ke Tenaga Listrik

Cara untuk mengkonversi tenaga air menjadi tenaga listrik adalah dengan menampung tenaga air menggunakan sudu turbin atau sudu kincir air yang dihubungkan dengan poros ke generator.

Penelitian ini dilakukan di Mariana yang nantinya akan digunakan untuk membangun PLTMH di daerah tersebut sesuai dengan kebutuhan beban sebesar 10 kW. Pengukuran pada penelitian ini menggunakan metode apungan, dimana pengukuran dilakukan pada posisi aliran air yang menuju kincir air pada kondisi paling lurus dan memiliki persentase kemiringan yang paling rendah.

Variabel – variabel yang diperlukan pada penelitian ini didapat dengan cara sebagai berikut :

- a. Pengukuran kedalaman sungai dan waktu aliran air dilakukan di beberapa titik berbeda seperti ditunjukkan gambar 3.



Gambar 3. Pengukuran Kedalam Sungai

Langkah – langkah pengukuran :

1. Ukur kedalaman sungai sepanjang ± 25 m (lihat gambar 3).
2. Letakan pelampung pada aliran sungai, kemudian catat waktu yang ditempuh pelampung sepanjang 25 m (lihat gambar 4)

- b. Kincir Air.

Ukuran dari sudu kincir air diperoleh dari perhitungan dengan menggunakan data pengukuran dan perhitungan dari saluran air. Tahap yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Daya generator (P_{gen}) adalah besar daya elektrik yang dapat dibangkitkan oleh generator akibat berputarnya rotor generator yang dikopel dengan poros turbin. Untuk mendapat daya generator perlu dicari besar daya hidrolik (P_h) yang merupakan potensi sumber daya energi air pada suatu wilayah, yaitu [12]:

$$P_h = Q \cdot \rho \cdot g \cdot h \text{ Watt} = 9,81 \cdot Q \cdot h \quad (\text{kW}) \quad (1)$$

Pers. (1) digunakan jika PLTMH menggunakan turbin, sedangkan jika menggunakan kincir air maka persamaan (1) berubah menjadi persamaan (2), yaitu:

$$P_h = 9,81 \cdot Q \cdot h + 1/2 Q V^2 \quad (\text{kW})$$

atau :

$$P_h = Q \left(9,81 \cdot h + \frac{1}{2} V^2 \right) \quad (\text{kW}) \quad (2)$$

Dimana :

P_h = daya hidrolik (kW)

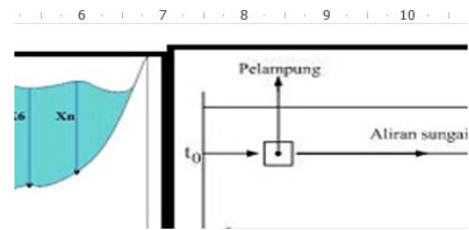
Q = debit air (m^3/s)

ρ = massa jenis air (= 1000 kg/m^3)

g = gravitasi bumi (= 9,81 m/s^2)

h = tinggi jatuh air (m)

V = kecepatan air menumbuk sudu (m/detik)



Gambar 4. Pengukuran waktu pergerakan air sungai

Karena daya generator dipengaruhi oleh efisiensi pipa pesat (η_{pp}), efisiensi turbin (η_{tb}) dan efisiensi generator (η_{gen}), maka daya yang dibangkitkan oleh generator dituliskan sebagai berikut :

$$P_{gen} = \eta_{pp} \cdot \eta_{tb} \cdot \eta_{gen} \cdot Q \left(9,81 \cdot h + \frac{1}{2} V^2 \right) \quad (3)$$

Jika :

$$\eta_{tot} = \eta_{pp} \cdot \eta_{tb} \cdot \eta_{gen}$$

Maka :

$$P_{gen} = \eta_{tot} \cdot Q \left(9,81 \cdot h + \frac{1}{2} V^2 \right) \quad (4)$$

2. Luas penampang kincir air (A) didapat memakai persamaan daya generator, seperti yang diberikan berikut:

$$P_{gen} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot \eta_{tot} \quad (5)$$

Dimana :

P_{gen} = Daya generator (kW)

A = Luas penampang sudu (m^2)

η_{tot} = Efisiensi total

Sehingga :

$$A = \frac{2 \cdot P_{gen}}{\rho \cdot V^3 \cdot \eta_{tot}} \text{ m}^2 \quad (6)$$

3. Jari jari kincir air (r), didapat dari persamaan :

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

maka :

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (7)$$

4. Diameter sudu kincir air (d) = 2.r m.

5. Kecepatan putaran sudu kincir N :

$$N = \frac{60 \cdot \lambda \cdot V}{\pi \cdot d} \text{ rpm} \quad (8)$$

Dimana λ adalah *Tip Speed Ratio*, yang diperoleh dari persamaan :

$$\lambda = \frac{80}{\sqrt{\text{jumlah sudu}}} \quad (9)$$

Untuk jumlah sudu 8 buah, maka :

$$\lambda = \sqrt{\frac{80}{8}} = \sqrt{10} = 3,16 \quad (10)$$

6. Debit air sungai (Q) adalah :

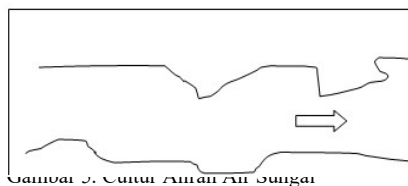
$$Q = A \times V \quad (\text{m}^3/\text{det}) \quad (11)$$

III. HASIL DAN ANALISA

A. Hasil Pengukuran.

Pengukuran masing - masing dilakukan sebanyak 5 kali dengan beberapa tahap dimana Hasil Pengukuran diberikan pada Tabel 1, yaitu :

a. Sungai :



Gambar 5. Cukur Air di Atas Sungai

1. Kedalaman sungai rata rata (h) sepanjang 25 m, adalah 3,06 m.
2. Waktu aliran sungai rata rata (t), adalah 12,6 detik.

TABEL I. HASIL PENGUKURAN

| NO | Pengukuran | Jumlah Pengukuran | | | | | \bar{x} |
|----|-----------------------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 1. | Kedalaman sungai (meter) | 3,2 | 3,4 | 2,9 | 2,7 | 3,1 | 3,06 |
| 2. | Waktu aliran sungai (detik) | 13 | 12 | 13 | 13 | 12 | 12,6 |

B. Hasil Perhitungan

Dari hasil pengukuran kita dapat menghitung variabel variabel yang dibutuhkan dalam perencanaan pembangkit Mikrohidro, yaitu :

a. Sungai, akan diperoleh debit air sebagai berikut :

1. Luas penampang permukaan sungai (A_s), dengan L (lebar sungai) sebesar 10 m (lihat gambar 3) dan X (kedalaman sungai) dari pengukuran sebesar 3,06 m didapat :

$$A_s = h.L \\ = 3,06 \times 10 = 30,6 \text{ m}^2$$

2. Kecepatan aliran sungai (V) = $\frac{\text{panjang sungai}}{\text{waktu}}$

$$= \frac{25}{12,6} = 1,98 \frac{\text{m}}{\text{detik}}$$

Berdasarkan prinsip dari metode apungan, nilai ini perlu dikalikan dengan sebuah faktor koreksi (f_k) yang nilainya diambil 0,86 untuk saluran dengan tepian dan dasar yang licin [12], sehingga:

$$V = 1,98 \times 0,86 = 1,7 \frac{\text{m}}{\text{detik}}$$

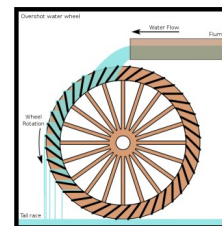
3. Debit air (Q) sungai = $A_s \cdot V$

$$= 30,6 \times 1,7 = 52,02 \text{ (m}^3/\text{detik)}$$

b. Kincir Air.

1. Potensi

Pada penelitian ini jenis kincir air yang digunakan adalah jenis *over-shot* (lihat gambar 6) dengan efisiensi maksimum sebesar 60 – 80% sehingga tidak lagi memerlukan pipa pesat, sedangkan antara kincir dan generator terdapat perangkat sistem transmisi yang merupakan kombinasi antara gardan mobil, gardan truk dengan efisiensi masing-masing adalah 0,8 serta puli dan sabuk V adalah 0,85. Efisiensi generator berkisar 85% sampai 95% [13].



Gambar 6. Kincir Air *over-shot*

Dengan mengasumsikan η_{pp} sebesar 75 %, η_{gen} adalah 95 %, dengan daya generator (P_{gen}) PLTMH di Desa Mariana yang dibutuhkan sebesar 10 kW, maka Debit air yang mengenai kincir air ditentukan berdasar persamaan (4), yaitu :

Jika :

$$\eta_{tot} = \eta_{pp} \cdot \eta_{tb} \cdot \eta_{gen} \\ = (0,75) \cdot (0,8) \cdot (0,85) \cdot (0,95) \\ \eta_{tot} = 0,4845$$

Maka :

$$P_{gen} = \eta_{tot} \cdot Q \left(g \cdot h + \frac{1}{2} V^2 \right) \\ 10 = (0,4845) \cdot Q \cdot \left((9,81) \cdot (3,06) + \frac{1}{2} (1,7)^2 \right) \\ 10 = (0,4845) \cdot Q \cdot (31,46) = 15,24 \cdot Q \\ Q = 10/15,24 = 0,656 \text{ m}^3/\text{detik}.$$

2. Luas penampang kincir air (A) untuk 8 buah sudu, didapat dari persamaan (6), yaitu:

$$A = \frac{(2)(10.000)}{(1.000)(1,7)^3(0,4845)} \text{ m}^2 \\ A = \frac{20.000}{2380,35} = 8,402 \text{ m}^2$$

Sehingga Luas penampang kincir air untuk 1 buah sudu adalah :

$$\frac{8,402}{8} = 1,05 \text{ m}^2$$

3. Jari jari kincir air (r), adalah : (persamaan (7)) :

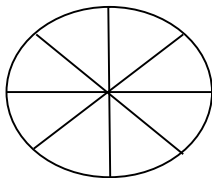
$$r = \sqrt{\frac{8,402}{\pi}} = \sqrt{2,676} = 1,636 \text{ m}$$

4. Diameter sudu kincir air (d) = 2r
= (2)(1,636) = 3,27 m
5. Kecepatan putaran sudu kincir (N), didapat dari persamaan (8) sedangkan λ didapat dari persamaan (10), yaitu :

$$N = \frac{60 \cdot \lambda \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{(60) \cdot (3,16) \cdot (1,7)}{\pi \cdot (3,27)} \text{ rpm}$$

$$= \frac{322,32}{10,268} = 31,39 \text{ rpm}$$

6. Sudu Turbin.
Kincir air dirancang dengan sudu turbin berjumlah 8 keping sudu seperti yang diberikan pada gambar (7) dan berbentuk trapezium (lihat gambar (8)).



Gambar 7. Sudu Turbin (8 keping sudu)



Gambar 8. Satu Satuan Sudu Turbin

Dari gambar 8 didapat Luas sudu kincir adalah :

$$\text{Luas} = \frac{(a+b) \cdot r}{2} \quad (12)$$

Dari perhitungan sebelumnya didapat :

$$1,05 = \frac{(a + b) \cdot 1,636}{2}$$

$$= 0,818 \cdot (a + b)$$

$$(a + b) = \frac{1,05}{0,818} = 1,284 \text{ m} \quad (13)$$

Pada penelitian ini panjang a dibuat 3 kali dari panjang b atau $a = 3b$, sehingga persamaan (13) menjadi:

$$3b + b = 1,284$$

$$4b = 1,284$$

$$b = 1,284 / 4 = 0,32 \text{ m}$$

Maka :

$$a = 3 \times 0,32 = 0,963 \text{ m}$$

7. Generator.
Pembangkit listrik pada penelitian menggunakan generator sinkron satu fasa kutub dalam dengan spesifikasi dasar berikut :
Daya = 10 kW, tegangan kerja 230 V,
 $f = 50 \text{ Hz}$, $n = 1500 \text{ rpm}$, $\cos \phi = 0,05$,
tegangan penguatan (V_f) = 49 V dan
arus penguatan (I_f) = 2,6 A

Maka beban maksimal (I_{maks}) yang dapat dipikul generator , adalah :

$$P = V \times I \times \cos \phi$$

$$I = \frac{P}{V \cdot \cos \phi} = \frac{10.000}{(220)(0,8)}$$

$$I = 56,818 \text{ ampere}$$

C. Analisa

Dari hasil pengukuran dan perhitungan “Penyediaan Tenaga Listrik di Desa Mariana menggunakan Energi Mikrohidro” dapat dianalisa bahwa :

1. Pada kedalaman sungai 3,06 m, diperoleh kecepatan aliran air sebesar 1,7 m/det air.
2. Untuk memenuhi kebutuhan daya di Desa Mariana sebesar 10 kW, didapat debit air sebesar 0,656 m³/detik dan, luas penampang kincir sebesar 1,05 m².
3. Diameter sudu kincir air 3,27 m, panjang sudu 0,963 m dan lebar 0,32 m, jumlah sudu 8 pada putaran 31,39 rpm.
4. Beban maksimal yang dapat dilayani generator adalah 65,818 Ampere

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilaksanakan dapat disimpulkan :

1. Untuk memenuhi kebutuhan daya di Desa Mariana sebesar 10 kW, maka pada penelitian ini secara teoritis didapat debit air sebesar 0,656 m³/detik, kedalam sungai 3,06 m, dan kecepatan aliran air 1,7 m/det.
2. Kincir air yang direncanakan dalam PLTMH ini adalah kincir air jenis *over-shot* dengan diameter sudu kincir air 3,27 m, luas penampang kincir 1,05 m², panjang sudu 0,963 m dan lebar 0,32 m, jumlah sudu 8 pada putaran 31,39 rpm.
3. Sistem pendukung yang direncanakan pada penelitian terdiri atas beberapa elemen mesin diantaranya poros, pasak, bantalan rol silinder, serta sistem transmisi mekanik dengan rasio total 48,45 %, yang terdiri atas gardan mobil, gardan truk, serta puli dan sabuk untuk menghubungkan poros kincir dengan poros generator
4. Beban maksimal dari generator adalah 56,818 Ampere
5. Pembangkit listrik mikrohidro dengan kapasitas 10 KW dapat digunakan sebagai listrik pedesaan yang berfungsi untuk penerangan rumah dan untuk suplai listrik sektor peternakan berupa peternakan ayam bertelur dan peternakan ikan.
6. Pembangkit listrik mikrohidro 10 KW ini hanya dirancang untuk aliran air satu arah

REFERENSI

- [1] Buyer, A.: *Micro Hydro Power System*, Natural Resources Canada, 2008.
- [2] Notosudjono, D. : *Perencanaan PLTMH di Indonesia*. BPPT., Hal 68, 2002.
- [3] Mandiri, Y, *Perencanaan PLTMH - Padasuka*, Yayasan Bina Desa Mandiri, Bandung, 2007.
- [4] Masonyi, *Water Power Development*, Volume – 1, Low Head Power Plants, 2007.
- [5] Mashudi, D, *Pembangkit Energi Listrik*, Erlangga, Jakarta, Hal 138, Akademi Kiado, Budapest, 2005.
- [6] PUIL, *Peraturan Umum Instalasi Listrik*, PLN, Jakarta, Hal 602, 2000.
- [7] Subroto, I. 2002. *Perencanaan PLTM di Indonesia*. BPPT. Jakarta
- [8] Theraja, BL.2001 . *Electrical of Tehnology*. 8th.Prentice Hall International Inc. New York. 1.215 hal.
- [9] Wibawa, U. 2006. *Sumber Daya Energi*. Universitas Brawijaya. Malang. Hal 128.
- [10] Zuhail. 2001. *Dasar Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jembatan, Jakarta, Hal 88
- [11] Indra Bagus Kristiarno Revitalisasi pembangkit listrik tenaga mikro hidro (pltmh) nawangan pacitan revitalisation micro hydro power plant (mhp) nawangan pacitan 2013.
- [12] Unggul Wibawa, Ir., M.Sc, Hari Santoso, Ir., Ms., I.G.A. Dharmayana, ST: Perancangan Kincir Air Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), Desa Bendosari Kecamatan Pujon Kabupaten Malang, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- [13] Niemann, G. dan Winter, H. 1992. *Elemen Mesin*. Jakarta: Erlangga.