

PERANCANGAN DAN PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO

Hernawan Aji Nugroho, Sunardi

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan
Kampus III, Jln. Prof. Dr. Soepomo, S.H. Umbulharjo, Yogyakarta 55161
e-mail : octoseven.1993@gmail.com

Abstact

The micro hydro power plants (MHP) development was carried out in Wonosobo, Central Java using several river and irrigation channels that already exist. In this study, flotation method was using to measure the flow of water whereas the high drop size was measured using the simple methods and with a roller meter and a wooden stick and then the flow of water was calculated by the Pythagoras formula. Based on the results of the study, the flow of water obtained in the location is $0.4901 \text{ m}^3 / \text{second}$ and the head is 5.6 m. Then the potential power that can be generated on the location from those research data can also be known is 13.556 kW. The development was done by several methods in order to get the maximum power that can be produced using the equipment that were already owned such as a turbine, a pulley, a penstock, and a generator with of 3kW capacity.

Keywords: turbines; AVR; water flow; head; power potential; penstock; water turbine; generator

Abstrak

Pembangunan pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) dilakukan didaerah Wonosobo, Jawa Tengah dengan memanfaatkan saluran sungai dan irigasi yang sudah ada. Pada penelitian ini pengukuran debit air menggunakan metode apung dan pengukuran tinggi jatuh air menggunakan metode sederhana dengan peralatan tongkat kayu dan rol meter kemudian debit air dihitung dengan rumus pythagoras. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh debit air yang tersedia dilokasi sebesar $0,4901 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan ketinggian jatuh air (head) sebesar 5,6 m. Kemudian dari data hasil penelitian tersebut dapat diketahui potensi daya yang mampu terbangkitkan dilokasi adalah 13,556 kW. Pembangunan dilakukan dengan beberapa metode agar mendapatkan daya maksimal yang mampu dihasilkan dengan menggunakan peralatan-peralatan yang sudah dimiliki seperti turbin, pulley, pipa pesat, dan generator berkapasitas 3kW.

Kata kunci: PLTMH; AVR; debit air; head; potensi daya; pipa pesat; turbin air; generator

1. Pendahuluan

Mikrohidro dikenal sebagai *white resources* dengan terjemahan bebas bisa dikatakan "energi putih". Dikatakan demikian karena instalasi pembangkit listrik seperti ini menggunakan sumber daya yang telah disediakan oleh alam dan ramah lingkungan. Dengan teknologi sekarang maka energi aliran air dapat diubah menjadi energi listrik. Mikrohidro hanyalah sebuah istilah. Mikro artinya kecil sedangkan hidro artinya air. Dalam prakteknya, istilah ini bukan merupakan sesuatu yang baku namun bisa dipastikan bahwa Mikrohidro pasti menggunakan air sebagai sumber energinya [1]. Tenaga potensial yang terkandung didalam air adalah akibat debit air yang mengalir di sungai dan adanya tinggi terjun, dengan memanfaatkan tenaga tersebut untuk dirubah menjadi energi mekanis dengan menggunakan turbin air kemudian disalurkan menuju generator sehingga menghasilkan energi listrik. Besarnya dapat dihitung dengan mengalikan angka gaya berat atau gravitasi, debit air dan tinggi terjun. Persamaan untuk besarnya daya yang terkandung dalam air adalah[2]:

$$P = g \times Q \times h \quad (1)$$

dimana :

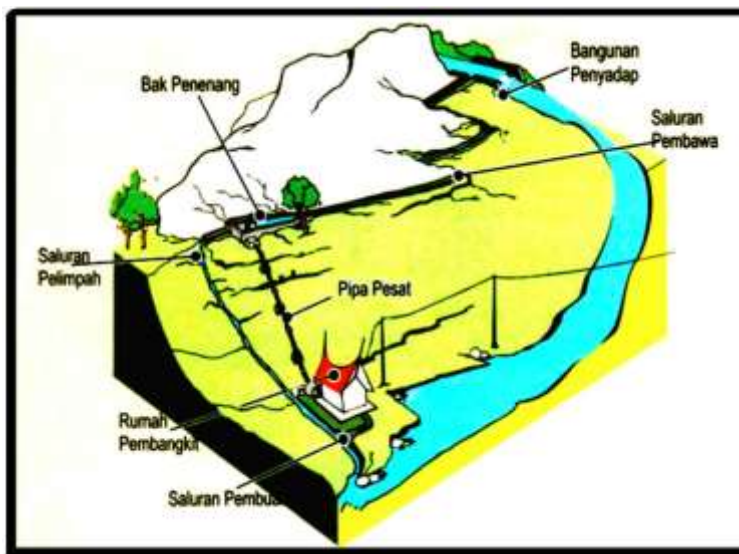
P = Daya nyata (kW)

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

Q = Besarnya debit air (m^3/s)

h = Besarnya tinggi terjun air (m)

PLTMH pada umumnya terdiri dari beberapa komponen okok seperti terlihat pada Gambar 1 [3].



Gambar 1. Komponen pokok PLTMH [3].

Generator adalah suatu sistem yang menghasilkan tenaga listrik dengan masukan tenaga mekanik. Generator berfungsi untuk mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga listrik [4]. AVR adalah sebuah system keistrikan yang berfungsi untuk menjaga agar tegangan generator tetap konstan dengan kata lain generator akan tetap mengeluarkan tegangan yang selalu setabil tidak terpengaruh pada perubahan beban yang selalu berubah-ubah [5].

Pada penelitian ini dilakukan pembangunan PLTMH didaerah Kertek, Wonosobo, Jawa Tengah menggunakan kincir air sebagai penggerak utama yang dihubungkan dengan generator berkapasitas 3kW melalui *pulley* transmisi.

2. Metode Penelitian

2.1. Pengukuran Data Lapangan

a. Pengukuran Debit Air

Pengukuran debit air dilakukan menggunakan metode yang ke 4 yaitu metode dengan menggunakan pelampung. Alat yang digunakan yaitu meteran, stopwatch, dan bola pingpong sebagai pelampung. Pengukuran dilakukan dengan cara yang sederhana yaitu dengan tahapan sebagai berikut:

- Mengukur jarak sampling aliran sungai yang akan digunakan sebagai daerah penelitian dari hulu sampai hilir menggunakan meteran. Area sampling dipilih berdasarkan jarak terdekat dengan lokasi rencana pembangunan.

- Mengukur kedalaman aliran sungai di daerah sampling yaitu pada bagian sisi kiri dan kanan serta pada bagian tengah sungai. Pengukuran ini dilakukan dengan bantuan bilah kayu yang dimasukan kedalam aliran air kemudian diukur panjang bilah kayu yang tenggelam dalam air menggunakan meteran.
- Mengukur lebar aliran sungai menggunakan meteran. Pengukuran ini dilakukan dengan cara mengambil sampel pada tempat yang sama dengan pengambilan sampel pengukuran kedalaman aliran air.
- Mengukur kecepatan aliran sungai dengan cara menjatuhkan bola pingpong kedalam aliran air pada daerah *sampling* dimulai dari hulu sampai hilir dan dihitung waktu tempuhnya menggunakan *stopwatch*.

b. Pengukuran Tinggi Terjun

Pengukuran ini menggunakan peralatan sederhana yaitu tongkat kayu dan rol meter kemudian dihitung dengan rumus *Pythagoras*, karena kondisi medan yang tidak terlalu sulit dan jaraknya cukup dekat. Cara pengukurannya adalah sebagai berikut:

- Mengukur panjang lintasan miring dari tebing
- Mengukur panjang lintasan datar menggunakan bantuan tongkat kayu kemudian diukur panjangnya menggunakan rol meter
- Kemudian dari hasil pengukuran sisi miring dan sisi datar digunakan untuk menghitung sisi tegak atau ketinggiannya, perhitungannya adalah sebagai berikut:

Diketahui:

Pajang sisi miring = 9m

Panjang sisi datar = 7m

Maka tingginya berdasarkan perhitungan dengan rumus *pythagoras* adalah 5,6m.

2.2. Bahan Penelitian

a. Turbin

Jenis turbin ditentukan berdasarkan data hasil penelitian debit air dan ketinggian lokasi, namun demikian keberadaan turbin bekas yang telah dimiliki menjadi prioritas untuk dimanfaatkan. Turbin memiliki spesifikasi seperti Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi turbin yang telah dimiliki

| Spesifikasi | Turbin 1 | Turbin 2 |
|-----------------------|----------|----------|
| Diameter (cm) | 100 | 130 |
| Lebar (cm) | 15 | 22 |
| Jumlah sudu (buah) | 20 | 16 |
| Jarak antar sudu (cm) | 15 | 25 |

b. Pulley

Jenis *pulley* ditentukan berdasarkan nilai rpm yang diinginkan untuk menggerakkan generator berdasarkan putaran turbin yang dihasilkan. Peneliti telah memiliki beberapa jenis *pulley* bekas dan menjadi prioritas untuk dimanfaatkan. *Pulley* memiliki spesifikasi seperti Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi pulley yang telah dimiliki

| Spesifikasi | Pulley 1 | Pulley 2 | Pulley 3 |
|----------------------|----------|----------|----------|
| Diameter Pulley (cm) | 70 | 50 | 22 |
| Diameter As (cm) | 5 | 3,5 | 3,5 |

c. Generator

Generator sebagai pembangkit listrik utama ditentukan setelah semua identifikasi keadaan lapangan selesai dan mendapatkan data yang tepat sehingga dapat menentukan kapasitas daya

maksimal yang mampu dibangkitkan generator. Peneliti juga telah memiliki generator bekas dengan spesifikasi seperti Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi generator yang telah dimiliki

| Spesifikasi | Data |
|--------------|----------|
| Tipe | ST-3 |
| Jumlah Phase | 1 |
| Daya | 3 kVA |
| Kecepatan | 1500 rpm |
| Jumlah Kutub | 4 buah |
| Frekuensi | 50 Hz |

d. Bendungan, Saluran Pembawa, dan Bak Penenang

Bendungan telah ada di lokasi penelitian. Bendungan ini terletak di sungai utama dan dari bendungan ini airnya dialirkan melewati intake ke saluran pembawa yang telah ada di lokasi penelitian. Saluran ini merupakan saluran yang digunakan untuk irigasi oleh warga sekitar. Kemudian dari saluran pembawa, air masuk ke bak penenang yang telah ada di lokasi penelitian sebelum akhirnya dialirkan ke pipa pesat.

e. Pipa Pesat

Pipa pesat digunakan sebagai jalur penghantar air dari bak tampungan menuju turbin.

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1. Hasil Identifikasi Lokasi

a. Luas Penampang Aliran Sungai

Pengukuran lebar dan kedalaman aliran sungai dilakukan dengan mengambil beberapa *sampling* dan diperoleh data seperti yang terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengukuran lebar dan kedalaman aliran sungai

| Titik | Lebar (L) (meter) | Kedalaman (H) (meter) | | | |
|---------|-------------------|-----------------------|------|--------|-------------|
| | | H1 | H2 | H3 | H rata-rata |
| Titik 1 | 2,00 | 0,47 | 0,42 | 0,51 | 0,467 |
| Titik 2 | 1,97 | 0,57 | 0,52 | 0,55 | 0,547 |
| Titik 3 | 1,91 | 0,58 | 0,63 | 0,54 | 0,583 |
| Titik 4 | 1,71 | 0,64 | 0,61 | 0,59 | 0,613 |
| Titik 5 | 1,68 | 0,63 | 0,62 | 0,62 | 0,623 |
| Jumlah | 9,27 | | | Jumlah | 2,833 |

Berdasarkan data pengukuran lebar dan kedalaman air sungai dapat diketahui luas penampang aliran sungai seperti berikut:

$$A = L.H \tag{2}$$

$$A = 1,854 \text{ m} \times 0,567 \text{ m}$$

$$A = 1,0506 \text{ m}^2$$

b. Kecepatan Aliran Sungai

Pengukuran kecepatan aliran sungai yang memanfaatkan bola pingpong sebagai alat bantu pengukuran diperoleh hasil seperti terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengukuran waktu tempuh bola pingpong

| Pengulangan | Waktu (T) (detik) |
|---------------|----------------------|
| Pengulangan 1 | 9,40 |
| Pengulangan 2 | 9,95 |
| Pengulangan 3 | 10,62 |
| Pengulangan 4 | 9,12 |
| Pengulangan 5 | 9,67 |
| Jumlah | 48,76 |
| Rata-rata | 9,75 |

Berdasarkan data pengukuran kecepatan aliran sungai dapat diketahui seperti berikut:

$$V = P/T \quad (3)$$

$$V = 7 \text{ m} / 9,75 \text{ detik}$$

$$V = 0,718 \text{ m/detik}$$

c. Debit Air

Berdasarkan hasil perhitungan luas penampang dan kecepatan aliran air selanjutnya dilakukan perhitungan debit air dengan menggunakan nilai koefisien dasar sungai berbatu dan berpasir ($K = 0,65$) maka diperoleh hasil sebagai berikut:

$$Q = K.A.V \quad (4)$$

$$Q = 0,65 \times 1,0506 \text{ m}^2 \times 0,718 \text{ m/detik}$$

$$Q = 0,4901 \text{ m}^3/\text{detik}$$

d. Potensi Daya

Tenaga potensial yang terkandung didalam air adalah akibat debit air yang mengalir di sungai dan adanya tinggi terjun. Dengan diketahui tinggi terjun sebesar 5,6 meter, maka besar potensi daya adalah sebagai berikut:

$$P_p = g \times Q \times h \quad (5)$$

$$P_p = 9,8 \text{ m/s}^2 \times 0,4901 \text{ m}^3/\text{s} \times 5,6 \text{ m}$$

$$P_p = 26,897 \text{ kW}$$

Daya terbangkitkan dihitung dengan menggunakan batas efisiensi terendah ($\eta_p = 0,90$, $\eta_t = 0,70$, dan $\eta_g = 0,80$) maka dapat diperoleh hasil seperti berikut:

$$P_t = g \times Q \times h \times \eta_p \times \eta_t \times \eta_g \quad (6)$$

$$P_t = P_p \times 0,90 \times 0,70 \times 0,80$$

$$P_t = 13,556 \text{ kW}$$

3.2. Perancangan PLTMH

a. Pipa Pesat PVC

Pipa pesat menggunakan pipa PVC dengan diameter 3 inci = 0,076m dan panjang 9 meter. Dengan debit air $Q = 0,4901$ maka kecepatan pada pipa pesat dapat dihitung sebagai berikut:

$$A = \frac{1}{4}\pi d^2 \quad (7)$$

$$A = \frac{1}{4} \times 3,14 \times (0,076)^2$$

$$A = 0,0045 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{0,4901}{0,0045}$$

$$V = 108,9 \text{ m/s}$$

b. Pipa Pesat Besi

Pipa pesat menggunakan pipa besi dengan panjang 9m yang terbagi menjadi dua ukuran luas penampang yang berbeda. Dengan diameter pipa pesat $D_1 = 0,28 \text{ m}$ pada bagian depan dan $D_2 = 0,17 \text{ m}$ pada bagian ujung pipa maka kecepatan pipa pesat dapat dihitung sebagai berikut:

Perhitungan kecepatan pada saat air melewati pipa besar

$$A_1 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times (0,28)^2$$

$$A_1 = 0,062 \text{ m}^2$$

$$V_1 = \frac{0,4901}{0,062}$$

$$V_1 = 7,905 \text{ m/s}$$

Perhitungan kecepatan pada saat air melewati pipa kecil

$$A_2 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times (0,17)^2$$

$$A_2 = 0,023 \text{ m}^2$$

$$V_2 = \frac{0,4901}{0,023}$$

$$V_2 = 21,3 \text{ m/s}$$

c. Kincir Air/Turbin

Berdasarkan spesifikasi teknis kincir air dan mempertimbangkan ketersediaan kincir air yang sudah ada maka dipilih jenis breast-shot sebagai desain pembangunan.

Turbin A

Diketahui tinggi jatuh 5,6 meter = 220,47 inchi maka dapat dihitung kecepatan putaran kincir air sebagai berikut:

$$N_t = \frac{862 \times H^{1/2}}{D_1} \quad (8)$$

$$N_t = \frac{862 \times H^{1/2}}{D_1}$$

$$N_t = \frac{862 \times 220,47^{1/2}}{39,37}$$

$$N_t = 325,09 \text{ rpm}$$

Turbin B

Diketahui tinggi jatuh 5,6 meter = 220,47 inchi maka dapat dihitung kecepatan putaran kincir air sebagai berikut:

$$N_t = \frac{862 \times 220,47^{1/2}}{51,18}$$

$$N_t = 250,08 \text{ rpm}$$

d. Transmisi Mekanik

Dilakukan beberapa perhitungan dengan menggunakan dua generator dan dua turbin dengan ukuran diameter *pulley* yang berbeda, hasil perhitungan dapat dilihat perbandingan hasil putaran generator yang didapat seperti terlihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan putaran generator

| | Turbin A | Turbin B |
|--|----------|----------|
|--|----------|----------|

| | | |
|-------------|-------------|-------------|
| Generator A | 3792,73 rpm | 2917,6 rpm |
| Generator B | 4479,6 rpm | 3445,98 rpm |

e. Generator

Menggunakan generator sinkron satu phase seri ST-3 dengan kapasitas 3kVA. Generator ini memiliki 4 kutup sehingga memerlukan putaran rotor sebesar 1500 rpm untuk membangkitkan energi listrik dengan frekuensi 50 Hz.

3.3. Pembangunan PLTMH

Pembangunan meliputi pembuatan dan pemasangan bantalan generator, pemasangan turbin, hingga pemasangan *pulley* dan generator pada bantalan, kemudian dilakukan pengujian.

3.4. Hasil Pengukuran

a. Pengaplikasian dua generator

Pengaplikasian dua generator dengan memanfaatkan sebuah turbin diperoleh hasil seperti terlihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Pengukuran menggunakan dua generator

| No. | Pengukuran | Hasil |
|-----|-------------------------|----------|
| 1 | Putaran Turbin | 180 rpm |
| 2 | Putaran Pully Transmisi | 544 rpm |
| 3 | Putaran Generator A | 1383 rpm |
| 4 | Putaran Generator B | 1635 rpm |
| 5 | Tegangan Generator A | 210 Volt |
| 6 | Tegangan Generator B | 225 Volt |

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa dengan pengoprasian 2 buah generator menghasilkan tegangan 210 V dan 225 V untuk masing-masing generator.

b. Pembebanan

Dilakukan percobaan menggunakan beberapa jenis beban seperti terlihat pada Tabel 8. Diperoleh hasil pengukuran seperti pada Tabel 9.

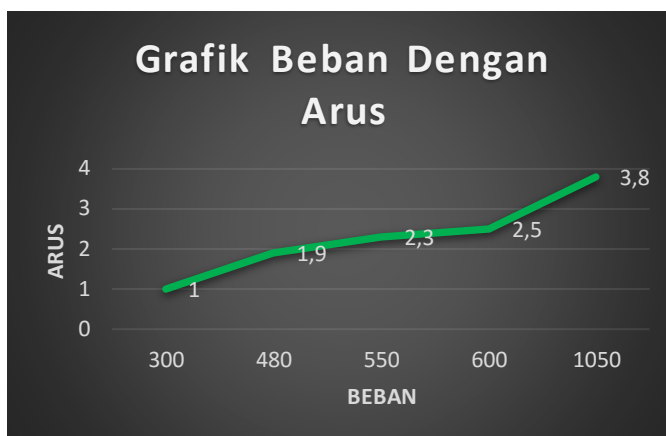
Tabel 8. Jenis-jenis beban

| No. | Beban |
|-----|----------------------|
| 1 | Lampu Pijar 40 Watt |
| 2 | Lampu Pijar 100 Watt |
| 3 | Bor Listrik 550 Watt |

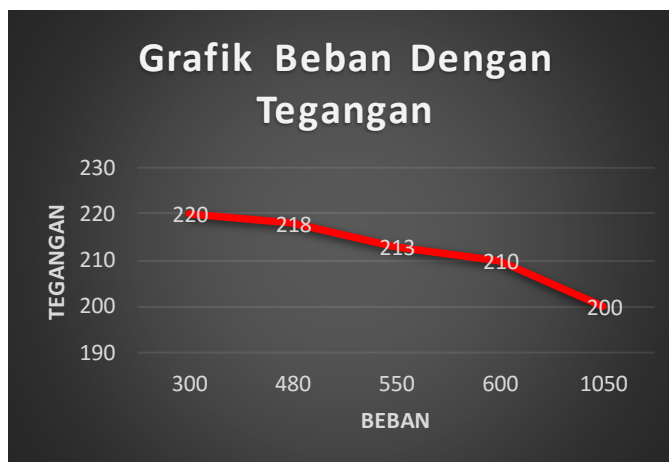
Tabel 9. Pengukuran Beban

| No. | Beban | Daya (Watt) | Arus (Ampere) | Tegangan (volt) |
|-----|-----------------------------|-------------|---------------|-----------------|
| 1 | Lampu Pijar | 300 | 1,0 | 220 |
| 2 | Lampu Pijar | 480 | 1,9 | 218 |
| 3 | Lampu Pijar | 600 | 2,5 | 210 |
| 4 | Bor Listrik | 550 | 2,3 | 213 |
| 5 | Lampu Pijar dan Bor Listrik | 1050 | 3,8 | 200 |

Hasil pengukuran ditampilkan dalam bentuk grafik seperti Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Grafik beban dengan arus



Gambar 3. Grafik beban dengan tegangan

Penggunaan bebean sampai dengan 1050 watt (lampu pijar dan bor listrik) menunjukan generator masih mampu memberikan daya yang cukup. Pembebanan tidak dilakukan hingga mencapai batas maksimal yang mampu dihasilkan oleh generator karena beban belum diperlukan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Telah dilakukan identifikasi lokasi dan terdapat sumberdaya yang mampu untuk digunakan sebagai tempat pembangunan PLTMH.
- Desain PLTMH telah berhasil dibuat berdasarkan data hasil identifikasi lokasi dan diperoleh daya maksimal yang dapat terbangkitkan (Pt) sebesar 13,556 kW.
- Pembangunan PLTMH dilakukan dengan berbagai rancangan untuk mengoptimalkan daya yang mampu dibangkitkan sehingga mampu menyuplai beban hingga 1050 Watt.

Referensi

- [1] Dream Indonesia. *Panduan Sederhana Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro*. 22 Oktober 2015. <http://dreamindonesia.me/2011/06/11/panduan-sederhana-pembangunan-pembangkit-listrik-tenaga-mikro-hidro-pltmh/>
- [2] Firmansyah, R., Utomo, T., Purnomo, H. *Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Gunung Sawur Unit 3 Lumajang*. Malang: Universitas Brawijaya.
- [3] Kadir, R. *Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Di Sungai Marimpa Kecamatan Pinembani*. 2010. Palu: Universitas Tadulako.
- [4] Sanjayaputra, Ardinatha. *Generator AC DC*. 22 Oktober 2015. <http://blogs.itb.ac.id/el2244k0112211029ardinathanjanjayaputra/2013/04/28/generator-ac-and-dc-miscellaneous-subjects-preparing-equipments-specifications/>
- [5] Ilham, Nur L., Hermawan. *Sistem Eksitasi Generator Dengan Menggunakan AVR di PT.GEO DIPA ENERGI Unit 1 Dieng*. Semarang: Universitas Diponegoro.