

PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO

Sunardi¹, Wahyu Sapto Aji²

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Ahmad Dahlan 55164 Yogyakarta

Email: sunardi@mti.uad.ac.id

ABSTRACT

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) dibangun di daerah Wonosobo Jawa Tengah memanfaatkan saluran sungai dan irigasi. Pembangunan bertujuan membantu memenuhi kebutuhan listrik masyarakat yang jauh dari jaringan listrik PLN. Pada penelitian ini pengukuran debit air menggunakan metode apung dan pengukuran tinggi jatuh menggunakan metode sederhana dengan peralatan tongkat kayu dan rol meter kemudian dihitung dengan rumus pythagoras. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh debit air yang tersedia dilokasi sebesar 0,4901 m³/detik dan ketinggian jatuh air (head) sebesar 5,6 m. Hasil tersebut digunakan perhitungan sehingga dapat diketahui potensi daya dilokasi sebesar 26,897 kW. Perhitungan menggunakan skala efisiensi pipa pesat, efisiensi turbin, dan efisiensi generator terendah diperoleh daya terbangkitkan sebesar 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 besi, dan generator sinkron satu phase berkapasitas 3 kW.

Kata kunci: PLTMH, debit air, head, pipa pesat, turbin air

PENDAHULUAN

Sejalan dengan perkembangan sosial, budaya dan ekonomi serta informasi, maka listrik telah menjadi salah satu kebutuhan pokok bagi masyarakat, bahkan untuk masyarakat terpencil dan masyarakat perdesaan. Disisi lain, kemampuan PLN dalam menyediakan tenaga listrik kepada masyarakat Indonesia merupakan kendala dan tantangan yang belum sepenuhnya diselesaikan. Berdasarkan data Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi (DJLPE) pencapaian rasio elektrifikasi baru mencapai 64% dan rasio desa berlistrik mencapai 88 % dari total sekitar 66.000 desa pada tahun 2008. Di sisi lain Indonesia memiliki begitu banyak potensi air yang belum dimanfaatkan secara optimal, yaitu sekitar 75,67 GW, namun baru sekitar 4,2 GW termanfaatkan dan diantaranya potensi untuk mini/mikrohidro sekitar 450 MW yang termanfaatkan sekitar 230MW. Pembangunan Pembangkit Listrik

Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) selama ini merupakan kegiatan dari usaha pelistrikan daerah pedesaan yang jauh dari jangkauan jaringan listrik milik PT. PLN. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan tenaga listrik di daerah pedalaman begitu besar sebagai konsekuensi globalisasi (komunikasi dan informasi) dan kegiatan produktif masyarakat, namun ketersediaan tenaga listrik sangat terbatas. Penelitian PLTMH ini merupakan salah satu cara untuk membantu memecahkan masalah kebutuhan energi listrik di daerah pedesaan yang berguna bagi kegiatan produktivitas masyarakat.

Penelitian ini juga ditujukan untuk memberikan referensi bagi studi maupun penelitian serupa yang akan dilakukan di tempat lain guna tercapainya kebutuhan energi listrik bagi kemajuan masyarakat. Penelitian ini akan digunakan sebagai acuan pembangunan PLTMH dengan memanfaatkan sumber daya yang bukan baru. Beberapa masalah yang diidentifikasi berdasarkan latar belakang

diantaranya tersedianya sumber daya air yang konstan dan berpotensi sebagai sumber tenaga listrik tetapi kurang dimanfaatkan, jarak lokasi dengan jaringan listrik milik PT. PLN yang jauh, dan kebutuhan akan tenaga listrik yang menjadi bahan pokok bagi kegiatan produktifitas masyarakat.

Selanjutnya dalam penelitian ini akan fokus pada bagaimana menguji kelayakan debit air, kemiringan aliran air, dan ketinggian lokasi sehingga dinyatakan layak dibangun PLTMH, bagaimana desain PLTMH yang sesuai dengansituasi dan kondisi lokasi, dan bagaimana proses pembangunan PLTMH mulai dari pemasangan turbin hingga menghasilkan energy listrik dan dilakukan pengujian dengan cara memberikan beban.

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 (Dream Indonesia., 2011).

Firmansyah (2011) telah melakukan studi pembangunan PLTMH dengan daya 50 kW di desa Dompiong, Bendungan, Trenggalek untuk mewujudkan Desa Mandiri Energi (DME). PLTMH yang dibangun menggunakan jenis turbin *Cross Flow*. Penelitian serupa telah dilakukan oleh Way (2006) yaitu studi pembangunan PLTMH dengan daya 30 kW di desa Yaskoro distrik Antinyo, Sorong Selatan, Irian Jaya Barat. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan penerangan bagi masyarakat di desa Yaskoro yang secara geografis terletak jauh di pedalaman dan jauh dari jangkauan jaringan listrik PLN. PLTMH yang dibangun menggunakan jenis turbin *Propeler Oven Flume*. Susatyo dan Subekti (2009) melakukan pembangunan PLTMH di Desa Cibunar, Tasikmalaya, Jawa Barat. PLTMH yang dibangun dapat menghasilkan daya 30 kW dan dapat menerangi 54 kepala keluarga. PLTMH dibangun memanfaatkan aliran sungai Ciwalen dan menggunakan turbin *Cross Flow* sebagai penggerak utama.

STUDI LITERATUR

PLTMH

Komponen Pokok PLTMH diantaranya adalah dam/bendungan pengalih, bak pengendap, saluran pembawa, bak penenang, pipa pesat, rumah pembangkit, dan tailrace. Detil penjelasan seperti uraian berikut. Dam/Bendungan Pengalih dan *Intake (Diversion Weir and Intake)* berfungsi untuk menaikkan/mengontrol tinggi air dalam sungai secara signifikan sehingga memiliki jumlah air yang cukup untuk dialihkan ke dalam sebuah bak pengendap (*Settling Basin*). Bendungan dilengkapi dengan pintu air untuk membuang kotoran/lumpur yang mengendap. Perlengkapan lainnya adalah penjebak/saringan sampah. PLTMH umumnya merupakan pembangkit tipe *run off river* sehingga bangunan bendungan dan *intake* dibangun berdekatan. Berdasar pertimbangan stabilitas sungai dan aman terhadap banjir, dapat dipilih lokasi yang sesuai untuk membendung (*weir*) dan *intake*.

Tujuan dari *intake* adalah untuk memisahkan air dari sungai atau kolam untuk dialirkan ke dalam saluran, *penstock* atau bak penampungan. Tantangan utama dari bangunan *intake* adalah ketersediaan debit air yang penuh dari kondisi debit rendah sampai banjir. Selain itu juga sering kali adanya lumpur, pasir dan kerikil atau puing-puing dedaunan pohon sekitar sungai yang terbawa aliran sungai. Bak Pengendap (*Settling Basin*) berfungsi untuk penyalur yang menghubungkan *intake* dengan bak pengendap sehingga panjangnya harus dibatasi, mengatur aliran air dari saluran penyalur sehingga harus mencegah terjadinya kolam pusaran dan aliran turbulen serta mengurangi kecepatan aliran masuk ke bak pengendap sehingga perlu bagian melebar, sebagai bak pengendap adalah untuk mengendapkan sedimen dimana untuk detil desainnya perlu dihitung dengan formulasi hubungan panjang bak, kedalaman bak, antara kecepatan pengendap, dan kecepatan aliran, sebagai penimbunan sedimen, sehingga harus didesain mudah dalam pembuangan sedimen, dan sebagai *spillway* yang mengalirkan aliran masuk ke bagian bawah dimana mengalir dari *intake*.

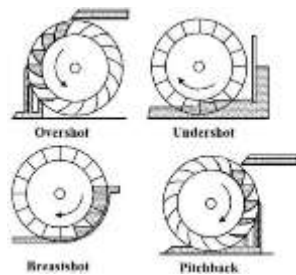
Saluran Pembawa (*Channel/Headrace*) seperti mengikuti kontur permukaan bukit untuk menjaga energi dari aliran air yang disalurkan. Bak Penenang (*Headtank*) berfungsi dari bak penenang adalah sebagai penyaring terakhir seperti settling basin untuk

menyaring benda-benda yang masih tersisa dalam aliran air, dan merupakan tempat permulaan pipa pesat (*penstock*) yang mengendalikan aliran menjadi minimum sebagai antisipasi aliran yang cepat pada turbin tanpa menurunkan elevasi muka air yang berlebihan dan menyebabkan arus baik pada saluran. Pipa Pesat (*Penstock*) dihubungkan pada sebuah elevasi yang lebih rendah ke sebuah turbin air. Kondisi topografi dan pemilihan skema PLTMH mempengaruhi tipe pipa pesat (*penstock*). Umumnya sebagai saluran ini harus didesain/dirancang secara benar sesuai kemiringan (*head*) sistem PLTMH.

Rumah Pembangkit (*Power House*) sesuai posisinya dapat diklasifikasikan kedalam tipe di atas tanah, semi di bawah tanah, di bawah tanah. Sebagian besara rumah pembangkit PLTMH adalah di atas tanah. *Tailrace* adalah saluran yang berfungsi untuk mengalirkan air dari power house setelah digunakan untuk memutar turbin ke saluran asal.

Penggerak Mula (*Prime Mover*) adalah bagian berputar yang langsung berhubungan dengan air. Ada dua jenis penggerak mula yang umum digunakan yakni kincir air dan turbin air (Saputra, B.A.). Konstruksi kincir air sederhana terdiri dari dua dinding lingkaran yang mengapit sudu-sudu dan pada pusat terdapat as (*shaft*) sebagai sumbu putar. Kincir air dapat dibuat dari bahan: kayu, bambu, plate besi, dan lain-lain. Turbin air adalah model yang lebih canggih dan dapat digunakan untuk pembangkit listrik mulai kapasitas kecil sampai besar. Selain itu tidak memerlukan banyak tempat untuk pemasangan, terlihat rapi, dan efisiensi tinggi.

Kincir air merupakan sarana untuk merubah energy air menjadi energy mekanik berupa putaran pada poros kincir. Adapun beberapa tipe kincir air seperti terlihat pada Gambar 1 yaitu Overshot, Undershot, Breastshot, dan Pitchback.



Gambar 1. Jenis-jenis Kincir Air

Turbin Air

Turbin air berperan untuk mengubah energi air (energi potensial, tekanan dan energi kinetik) menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros. Putaran poros turbin ini akan diubah oleh generator menjadi tenaga listrik (Kadir, 2010). Berdasarkan model aliran air masuk *runner*, maka turbin air dapat dibagi menjadi tiga tipe yaitu Turbin Aliran Tangensial, Aksial, dan Aksial-Radial.

Pada kelompok turbin aliran tangensial, posisi air masuk *runner* dengan arah tangensial atau tegak lurus dengan poros *runner* mengakibatkan *runner* berputar seperti terlihat pada Gambar 2a, contohnya *Turbin Pelton* dan *Turbin Cross-Flow*. Pada Turbin Aliran Aksial, air masuk *runner* dan keluar *runner* sejajar dengan poros *runner* seperti terlihat pada Gambar 2b. *Turbin Kaplan* atau *Propeller* adalah contoh dari tipe turbin ini. Pada Turbin Aliran Aksial-Radial, air masuk ke dalam *runner* secara radial dan keluar *runner* secara aksial sejajar dengan poros seperti terlihat pada Gambar 2c. *Turbin Francis* termasuk dari jenis turbin ini.



Gambar 2. Berbagai jenis Turbin Aliran (Bachtiar, A.N., 2009).

Pemilihan jenis turbin dapat ditentukan berdasarkan kelebihan dan kekurangan dari jenis-jenis turbin, khususnya untuk suatu desain yang sangat spesifik. Pada tahap awal, pemilihan jenis turbin dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan parameter-parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin, yaitu (Kadir, 2010) 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 *proppeller* sangat efektif beroperasi pada head rendah, faktor daya (*Power*) yang diinginkan berkaitan dengan *head* dan debit yang tersedia, dan kecepatan (Putaran) turbin yang akan ditransmisikan ke generator. Sebagai contoh untuk sistem 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.

Speed Reducer (perubah kecepatan) adalah alat yang berfungsi untuk merubah (menaikkan atau menurunkan) kecepatan putaran. *Speed reducer* yang diperlukan dalam mikrohidro adalah penaik kecepatan karena putaran penggerak mula biasanya lambat, oleh karena itu harus dipercepat agar putaran yang direkomendasikan pada generator dapat dicapai (pada umumnya generator memiliki putaran 1500 rpm). Kecepatan putaran yang tepat pada sisi generator diperlukan sebagai salah satu syarat agar listrik yang dihasilkan baik. Bila putaran generator tidak tepat (kurang atau melampaui batas yang direkomendasikan) dapat merusak peralatan listrik dan termasuk generator itu sendiri. Oleh karena itu diperlukan perhitungan yang tepat untuk memilih *speed reducer* pada pembangkit listrik (Saputra, B.A.).

Generator dan AVR

Generator adalah suatu sistem yang menghasilkan tenaga listrik dengan masukan tenaga mekanik. Generator berfungsi untuk mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga listrik yang mempunyai prinsip kerja sebagai berikut (Sanjayaputra, A.,2013); “Bilamana rotor diputar maka belitan kawatnya akan memotong gaya-gaya magnet pada kutub magnet, sehingga terjadi perbedaan tegangan, dengan dasar inilah timbullah arus listrik, arus melalui kabel/kawat yang ke dua ujungnya dihubungkan dengan cincin geser. Pada cincin-cincin tersebut menggeser sikat-sikat, sebagai terminal penghubung keluar.”

AVR (*Automatic Voltage Regulator*) 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 (Ilham, N., dan Hermawan).

METHODOLOGI

Penelitian ini menggunakan bahan sebagai berikut, yaitu turbin, *pulley*, generator, dan pipa pesat. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah rol meter, stopwatch, multimeter, tachometer, dan bola pingpong.

Pengukuran Debit Air

Debit air adalah banyaknya air yang mengalir dalam waktu 1 detik. PLTMH membutuhkan pasokan air yang konstan untuk menggerakkan turbin agar bisa membangkitkan tenaga listrik sepanjang tahun.

Pengukuran dilakukan dengan cara yang sederhana yaitu dengan tahapan sebagai berikut:

1. Mengukur jarak sampling aliran sungai yang akan digunakan sebagai daerah penelitian dari hulu sampai hilir menggunakan. Area sampling dipilih berdasarkan jarak terdekat dengan lokasi rencana pembangunan.
2. 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. Pengukuran ini dilakukan diarea daerah sampling dengan pembagian lima tempat sebagai sampel kemudian diambil rata-rata.
3. Mengukur lebar aliran sungai menggunakan meteran. Pengukuran ini dilakukan dengan cara mengambil sampel pada tempat yang sama dengan pengambilan sampel pengukuran kedalaman aliran air.
4. 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. Pengukuran ini dilakukan dalam lima kali percobaan dan diambil nilai rata-rata.

Pengukuran Tinggi Terjun

Cara pengukurannya adalah sebagai berikut:

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

Diketahui panjang sisi miring = 9 m, panjang sisi datar = 7 m maka tingginya berdasarkan perhitungan dengan rumus pythagoras adalah 5,6 m.

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.

HASIL DAN DISKUSI

Pengukuran Lebar dan Kedalaman Aliran Sungai dilakukan di lima titik dengan rata-rata 0,567 m. Pengukuran Kecepatan Aliran Sungai dilakukan lima kali pengulangan dengan hasil rata-rata 9,7 m/detik.

Berdasarkan hasil penelitian dan perhitungan, maka dibuat desain pembangunan PLTMH dengan menggunakan generator berkapasitas 3 kVA dan menggunakan dua buah turbin bekas yang sudah dimiliki. Pembangunan meliputi pemasangan pipa pesat baru dan turbin baru. Beberapa komponen PLTMH seperti bendungan, saluran pembawa, dan bak penenang sudah tersedia dan peneliti tidak dimungkinkan melakukan perubahan. Selain menggunakan pipa pesat baru dan turbin baru peneliti juga melakukan beberapa percobaan dengan memanfaatkan turbin dan pipa pesat yang sudah terpasang untuk mendapatkan hasil yang maksimal.

Pada penggunaan pipa pesat berupa PVC dengan diameter 3 inci = 0,076 m dan panjang 9 meter, dengan debit air $Q = 0,4901$ maka luas penampang pipa dan kecepatan pada pipa pesat dapat dihitung sebagai berikut:

Luas penampang pipa $A = \frac{1}{4}\pi d^2 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times (0,076)^2 = 0,0045 \text{ m}^2$

Kecepatan aliran pada pipa $V = \frac{0,4901}{0,0045} = 108,9 \text{ m/s}$

Pipa pesat menggunakan pipa besi dengan panjang 9 meter yang terbagi menjadi dua ukuran luas penampang yang berbeda. Berdasar 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 luas penampang pipa dan kecepatan pada saat air melewati pipa besar

$$A_1 = \frac{1}{4}\pi d^2 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times (0,28)^2 = 0,062 \text{ m}^2$$

$$V_1 = \frac{0,4901}{0,062} = 7,905 \text{ m/s}$$

Perhitungan luas penampang pipa dan kecepatan pada saat air melewati pipa kecil

$$A_2 = \frac{1}{4}\pi d^2 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times (0,17)^2 = 0,023 \text{ m}^2$$

$$V_2 = \frac{0,4901}{0,023} = 21,3 \text{ m/s}$$

Turbin/Kincir Air

Turbin menggunakan turbin bekas yang sudah tersedia di lokasi pembangunan. Pada kincir air, air beroperasi pada tekanan atmosfer dan air mengalir melalui sudu-sudu, yang mengakibatkan kincir berputar pada putaran tertentu. Berdasarkan spesifikasi teknis kincir air pada Tabel 1 dan mempertimbangkan ketersediaan kincir air yang sudah ada maka dipilih jenis *breast-shot* sebagai desain pembangunan.

Turbin A

Turbin A memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Diameter turbin = 1m = 39,37inci

Lebar turbin = 15cm

Jarak antar sudu = 15cm

Jumlah sudu = 20

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

$$N_t = \frac{862 \times H^{1/2}}{D_1} = \frac{862 \times 220,47^{1/2}}{39,37} = 325,09 \text{ rpm}$$

Karakteristik turbin ditentukan berdasarkan beberapa faktor seperti berikut:

1. Faktor Kecepatan

Dengan $D = 1 \text{ m}$, $N_t = 325,09 \text{ rpm}$ maka diperoleh hasil sebagai berikut:

$$\varphi = \frac{1 \times 325,09}{84,6 \times \sqrt{5,6}} = 1,624$$

2. Kecepatan Satuan

Dengan $D = 1 \text{ m}$, $N_t = 325,09 \text{ rpm}$ maka diperoleh hasil sebagai berikut:

$$N_{11} = \frac{93,85 \times 1}{\sqrt{5,6}} = 137,38 \text{ rad/s}$$

3. Debit Satuan

Dengan $D = 1 \text{ m}$, dan $Q = 0,4901 \text{ m}^3/\text{s}$, maka diperoleh hasil sebagai berikut:

$$Q_{11} = \frac{0,4901}{1^2 \sqrt{5,6}} = 0,207 \text{ m}^3/\text{s}$$

4. Putaran Spesifik

Dengan $P = 3 \text{ kw}$, $H = 5,6 \text{ m}$, dan $N_t = 325,09 \text{ rpm}$ maka diperoleh putaran spesifik turbin sebagai berikut:

$$N_s = \frac{325,09 \times 3^{0,5}}{5,6^{5/4}} = 65,36 \text{ rad/s}$$

Turbin B

Turbin B memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Diameter turbin = 1,3 m = 51,18 inci

Lebar turbin = 22cm

Jarak antar sudu = 25cm

Jumlah sudu = 16

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

$$N_t = \frac{862 \times H^{1/2}}{D_1} = \frac{862 \times 220,47^{1/2}}{51,18} = 250,08 \text{ rpm}$$

Karakteristik turbin ditentukan berdasarkan beberapa faktor seperti berikut:

1. Faktor Kecepatan

Dengan $D = 1,3 \text{ m}$, $N_t = 250,08 \text{ rpm}$ maka diperoleh hasil sebagai berikut:

$$\phi = \frac{1,3 \times 250,08}{84,6 \times \sqrt{5,6}} = 1,624$$

2. Kecepatan Satuan

Dengan $D = 1,3 \text{ m}$, $N_t = 250,08 \text{ rpm}$ maka diperoleh hasil sebagai berikut:

$$N_{11} = \frac{250,08 \times 1,3}{\sqrt{5,6}} = 137,38 \text{ rad/s}$$

3. Debit Satuan

Dengan $D = 1,3 \text{ m}$, dan $Q = 0,4901 \text{ m}^3/\text{s}$, maka diperoleh hasil sebagai berikut:

$$Q_{11} = \frac{0,4901}{1,3^2 \sqrt{5,6}} = 0,123 \text{ m}^3/\text{s}$$

4. Putaran Spesifik

Dengan $P = 3 \text{ kw}$, $H = 5,6 \text{ m}$, dan $N_t = 250,08 \text{ rpm}$ maka diperoleh putaran spesifik turbin sebagai berikut:

$$N_s = \frac{250,08 \times 3^{0,5}}{5,6^{5/4}} = 50,28 \text{ rad/s}$$

Pembangunan PLTMH setelah terpasang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pembangunan Mikrohidro

Hasil Pengukuran

1. Pengukuran generator tanpa menggunakan pully transmisi

Pengaplikasian satu generator baik generator A maupun generator B tanpa pully transmisi diperoleh putaran turbin sebesar 389 rpm dengan hasil pengukuran seperti Tabel 1.

Tabel 1. Satu Generator Tanpa Pulley

Generator A		Generator B	
Putaran	Tegangan	Putaran	Tegangan
1080 rpm	105 Volt	1173 rpm	112 Volt

2. Pengukuran menggunakan generator B menggunakan pulley transmisi

Pengaplikasian generator B dengan pulley transmisi diperoleh hasil pengukuran seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Pulley Transmisi Satu Generator

Pengukuran	Hasil
Putaran Turbin	180 rpm
Putaran Pully Transmisi	672 rpm
Putaran Generator	1617 rpm
Tegangan Generator	225 Volt

Hasil pengukuran dengan rancangan desain menggunakan pulley transmisi menghasilkan tegangan 225V yang sesuai dengan yang diinginkan sehingga bisa dikatakan berhasil.

3. Pengukuran menggunakan dua generator

Tabel 3. Dua Generator

Pengukuran	Hasil
Putaran Turbin	180 rpm
Putaran Pully Transmisi	544 rpm
Putaran Generator A	1383 rpm
Putaran Generator B	1635 rpm
Tegangan Generator A	210 Volt
Tegangan Generator B	225 Volt

Tabel 4. Pengukuran Beban

Beban	Daya (Watt)	Arus (Ampere)	Tegangan (volt)
Lampu Pijar	300	1,0	220
Lampu Pijar	480	1,9	218
Lampu Pijar	600	2,5	210
Bor Listrik	550	2,3	213
Lampu Pijar dan Bor Listrik	1050	3,8	200

Hasil pengukuran ditampilkan dalam bentuk grafik seperti Tabel 4 dan Gambar 4 serta Gambar 5.



Gambar 4. Grafik beban dengan arus



Gambar 5. Grafik beban dengan tegangan

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

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

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

Saran yang diusulkan peneliti untuk pengembangan dan pembangunan PLTMH adalah:

1. Pembangunan PLTMH dilakukan dengan desain sesuai analisa data hasil identifikasi lokasi agar

diperoleh daya maksimal sesuai potensi daya yang mampu terbangkitkan dilokasi.

2. Desain PLTMH dibuat dengan menggunakan turbin *cross flow* dengan perhitungan penempatan posisi turbin dan pipa pesat yang sesuai.
3. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan beban hingga batas daya maksimal yang mampu dibangkitkan sesuai spesifikasi generator yang digunakan.
4. Dilakukan pengukuran dan analisa frekuensi listrik yang terbangkitkan apakah sesuai dengan yang seharusnya yaitu 50 Hz sampai 60 Hz.

Rancangan ini dapat dikembangkan lagi untuk pengoperasian PLTMH secara otomatis dan pengendalian jarak jauh.

DAFTAR PUSTAKA

- Bachtiar, Asep Neris. *Karakteristik Turbin Cross Flow*. 22 Oktober 2015. <https://aseppadang.wordpress.com/>
- 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/>
- Dunia Listrik. *AVR (Automatic Voltage Regulator)*. 15 Juni 2009. <http://dunia-listrik.blogspot.co.id/2009/06/avr-automatic-voltage-regulator.html>
- Efendi, Z.K. (2011). *Perancangan Kincir Air Untuk PLTA Mini Di Kanagarian Sungai Batuang*. Padang: Universitas Bung Hatta.
- Firmansyah, R., Utomo, T., Purnomo, H. *Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Gunung Sawur Unit 3 Lumajang*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Ilham, Nur L., Hermawan. *Sistem Eksitasi Generator Dengan Menggunakan AVR di PT.GEO DIPA ENERGI Unit 1 Dieng*. Semarang: Universitas Diponegoro.

- Keen, R.G. (2004). *ST Series Single-Phase AC Synchronous Generator Instruction For Operation and Maintenance*.
- Sanjayaputra, Ardinatha. *Generator AC DC*. 22 Oktober 2015. <http://blogs.itb.ac.id/el2244k0112211029ar/dinathasanjayaputra/2013/04/28/generator-ac-and-dc-miscellaneous-subjects-preparing-equipments-specifications/>
- Saputra, B.A. *Pembangkit Listrik*. 22 Oktober 2015. https://www.academia.edu/9363152/PEM_BANGKIT_LISTRIK
- Shegi. (2011). *Studi Potensi Air Dan Ketersediaan Potensi Tenaga Listrik Di Talang Lintang Pada Rancang Bangun PLTMH 5kW*. Skripsi. Palembang: Universitas Muhammadiyah Palembang.
- Susatyo, A. & Subekti, R.A. (2009). *Implementasi Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Kapasitas 30kW di desa Cibunar Kabupaten Tasikmalaya Jawa Barat*. Prosiding Seminar Nasional Daur Bahan Bakar. Diselenggarakan oleh Puslit Tenaga Listrik dan Mekatronik – LIPI : Serpong.
- Way, J.M. (2006). *Perencanaan Pusat Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Dengan Kapasitas Daya 30kW (Studi Kasus di desa Yaksoro Distrik Aitinyo Kabupaten Sorong Selatan Propinsi Irian Jaya Barat)*. Tugas Akhir. Cimahi: Universitas Jendral Achmad Yani.
- Zulfkar, D., Siswoyo, H., Utomo, T. (2012). *Perancangan PLTMH Tipe Kincir Air Di Kecamatan Pasrujambe Kabupaten Lumajang*. Malang: Universitas Brawijaya.