RANCANG BANGUN PROTOTIPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH)

Fifi Hesty Sholihah [1], Ir. Joke Pratilastiarso, MT.[2]
Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Industri, PENS-ITS, Surabaya ,Indonesia,
e-mail: pipipiterus@yahoo.com [1]
Dosen Jurusan Teknik Elektro Industri, PENS-ITS,Surabaya ,Indonesia. [2]

Abstrak

Krisis listrik yang terjadi mendorong pengimplementasian energi terbarukan sebagai upaya untuk memenuhi pasokan listrik Negara. Pada proyek akhir ini telah dirancang sebuah prototip pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) sebagai upaya pemanfaatan energi potensial air. PLTMH beroperasi dengan cara memanfaatkan beda ketinggian air (head) yang menghasilkan debit. Debit berfungsi untuk menggerakkan turbin air yang akan memutar generator sebagai tujuan untuk menghasilkan listrik. Pada proyek akhir ini telah dibuat PLTMH dengan head 1.3 meter dan debit 2 lt/s mampu menghasilkan daya output 0.24 W. Kurang maksimalnya daya output dikarenakan pemilihan generator yang salah. Seharusnya generator yang digunakan adalah generator dengan torsi yang kecil karena debit yang dihasilkan juga kecil.

Kata kunci : ***krisis listrik, energi alternatif, PLTMH***

Abstract

Solution for electricity crisis is the implementation of renewable energy as an effort to fullfil country's electric necessary. In this final project, prototype of microhydro power plant has been created as an effort of hydropower implementation. Operation of microhydro power is by using level difference of water that creates debit. Debit can rotate a water turbin so generator can be rotated by turbin for generate electricity. In this final project, microhydro has a head 1.3 meter and debit 2 lt/s can generate output power 0.24 W. Output power is far of optimal because of wrong generator election. Generator for this plant should be has a small torque because output debit is just 2 lt/s.

Key words : ***electricity crisis, renewable energy, microhydro power plant***

1. Pendahuluan

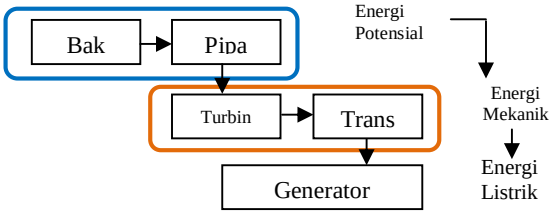
Listrik adalah sumber daya yang paling banyak digunakan karena memiliki banyak fungsi, diantaranya dalam menunjang kehidupan manusia, listrik digunakan sebagai catu alat-alat elektronik dan alat lainnya yang membutuhkan listrik. Listrik menopang kelangsungan di berbagai bidang, seperti halnya bidang industri, bidang pendidikan, dan lain sebagainya. Dengan demikian listrik menempatkan dirinya pada posisi pertama sebagai kebutuhan primer bangsa. Namun hal ini berbanding terbalik dengan terbatasnya bahan bakar yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik, karena pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil masih sangat diandalkan. Hal ini membuat banyak negara termasuk Indonesia mencari cara dalam pemanfaatan energi untuk menambah pasokan listrik guna memenuhi kebutuhan di berbagai bidang dan aspek kehidupan.

Selain mengandalkan pembangkit listrik berbahan bakar fosil, aplikasi yang diarahkan dalam pemanfaatan energi terbarukan yang ada di alam adalah pemanfaatan energi air, energi angin, energi matahari, dan panas bumi. Salah satu sumber energi terbarukan yang sangat berpotensi di Indonesia adalah pemanfaatan energi air dan apabila pemanfaatan energi tersebut secara meluas di seluruh wilayah Indonesia maka peluang keluar dari krisis listrik akan semakin besar mengingat bahwa terdapat banyak sungai yang berpotensi untuk dimanfaatkan dan semuanya menyebar di seluruh pulau-pulau besar yang ada di Indonesia.

Pada proyek akhir ini akan diuraikan tentang implementasi tenaga mikrohidro sebagai usaha untuk membangkitkan listrik. Untuk mendukung proyek akhir ini maka akan dilakukan simulasi dan perancangan.

2. Konfigurasi Sistem

Pada gambar 2.1 ditunjukkan blok diagram dasar dari pembangkit listrik tenaga mikrohidro yang dibuat pada proyek akhir ini



2.1 Perencanaan Sistem

Data perencanaan sistem pembangkit mikrohidro disajikan dalam tabel di bawah ini. Dengan mengetahui nilai head dan diameter pipa pesat maka kapasitas aliran air dapat diketahui.

Tabel 2.1 Data Rancangan Sistem

Parameter	Value
Volume bendungan	450 liter
Head Gross	2.1 m
Jarak turbin ke bak penampung	1.97 m
Head Netto	1.3 m
Panjang pipa pesat	2.36 m
Diameter pipa pesat	¾ dan ½ dim

Luas penampang (A) pipa ¾ dim=0.000285m^2
Luas penampang (A) pipa ½ dim=0.000126m^2
Kecepatan aliran air $V = C\sqrt{2gH} = 16.238\, ft/s$

Debit air dihitung dengan rumus $Q = A.V$

$$Q_{penstock1} = (0.00307)(16.238) = 0.0498\, ft^3/s \approx 1.41\, lt/s$$

$$Q_{penstock2} = (0.00136)(16.238) = 0.0221\, ft^3/s \approx 0.6258\, lt/s$$

$$Q_{total} = 0.0498 + 0.0221 = 0.0719 cfs \approx 2.036\, lt/s$$

2.2 Perencanaan Turbin

Head sistem 1.3m dan debit air 2.036 lt/s maka turbin yang cocok adalah turbin crossflow.

Tabel 2.2 Data Rancangan Turbin*

Parameter	Value
Lebar sudu	5 cm
Diameter turbin	18 cm
Kecepatan turbin	251.208 rpm
Kecepatan spesifik turbin	29.19
Jumlah sudu	20
Daya output turbin	26.016 Watt

2.3 Perencanaan Transmisi Daya Mekanik

Pada proyek akhir ini menggunakan motor dc sebagai generator dengan spesifikasi 24V, 5A, 375rpm. Kecepatan nominal generator 375 rpm dan kecepatan putaran turbin 251 rpm, maka transmisi daya mekanik dapat dihitung sebagai berikut :

$$nD_{turbin} = nD_{generator}$$

$$251D_{turbin} = 375D_{generator}$$

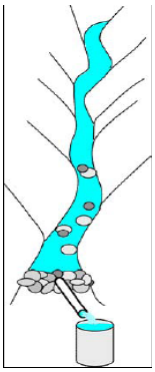
$$\frac{D_{turbin}}{D_{generator}} = \frac{375}{252} \approx \frac{1.5}{1}$$

3. Hasil Perencanaan

Pengujian dilakukan dengan cara pengukuran dan membandingkannya dengan perencanaan.

3.1 Pengujian Kapasitas Aliran Air

Pada gambar di bawah ini ditunjukkan cara pengukuran kapasitas aliran air.



$$Debit = \frac{Volume\ \ bejana/bak}{Waktu\ \ untuk\ memenuhi\ bejana}$$

Bejana yang digunakan memiliki volume 10.85 liter. sehingga pengukuran debit dapat dihitung sebagai berikut :

$$Debit_1 = \frac{10.851}{9.95} = 1.09\, lt/s$$

$$Debit_2 = \frac{10.851}{17.24} = 0.63\, lt/s$$

$$Debit_{total} = \frac{10.851}{5.37} = 2.02\, lt/s$$

Nilai debit terukur memiliki prosentase error sebagai berikut :

$$\%error = \frac{Debit\ teori - Debit\ \ praktek}{Debit\ teori} \times 100\%$$

$$= \frac{2.036 - 2.02}{2.036} \times 100\%$$

$$= 0.8\%$$

$$P = \rho\, Q\, g\, H$$

$$P = (1000)(0.00202)(9.81)(1.3)$$

$$P = 25.76 Watt$$

Terdapat selisih antara daya output turbin hasil rancangan dengan pengukuran yaitu :

$$\%error = \frac{Daya\ teori - Daya\ \ praktek}{Daya\ teori} \times 100\%$$

$$= \frac{26.016 - 25.76}{26.016} \times 100\%$$

$$= 0.98\%$$

3.2 Pengujian Kecepatan Putaran Turbin

Pengukuran kecepatan turbin dengan menggunakan tachometer menghasilkan pembacaan 230 rpm.

$$\%error = \frac{Putaran\ teori - Putaran\ \ praktek}{Putaran\ teori} \times 100\%$$

$$= \frac{251.21 - 230}{251.21} \times 100\%$$

$$= 8.44\%$$

3.3 Pengukuran Daya Output Generator

Pengukuran kecepatan putaran turbin setelah dikopel dengan generator menjadi turun yaitu 60 rpm dengan tegangan output 12.4 Volt. Selanjutnya dilakukan pengukuran arus output generator dengan memberikan beban pada generator. Beban yang digunakan adalah lampu dc 2.5 V dengan arus 0.3 A. Hasil pengukuran disajikan dalam tabel sebagai berikut :

Tabel 3.1 Data Pengukuran Daya Output generator

R_{beban} (Ω)	$V_{terukur}$ (Volt)	$I_{terukur}$ (Ampere)	$P_{terukur}$ (Watt)
8.33	0.07	-	-

3.4 Analisa

Penurunan kecepatan turbin setelah dikopel dengan generator seharusnya tidak terjadi karena kecepatan turbin dan generator telah disamakan dengan menggunakan rasio pulley. Sedangkan pembebanan generator yang gagal dilakukan juga seharusnya tidak terjadi karena bila generator berputar pada kecepatan 60 rpm maka daya output yang seharusnya terukur adalah 19.2 watt, tentu dengan daya ini generator dapat mencatu beban dengan kapasitas 0.75 watt.

Kedua kasus di atas memiliki inti permasalahan yang sama yaitu generator tidak memiliki kekuatan untuk berputar atau dengan kata lain turbin tidak memberikan kekuatan atau tenaga untuk memutar generator. Atau dapat dikatakan torsi pada generator lebih besar daripada torsi yang diberikan turbin kepada generator.

Daya nominal generator adalah 120 Watt. Maka torsi generator dapat dihitung sebagai berikut :

$$P = T \times 2\pi \times n$$

$$T = \frac{P}{2\pi n} = \frac{120}{2\pi 375} = 0.051\,Nm$$

Daya output turbin adalah 25.76 Watt. Maka torsi turbin dapat dihitung sebagai berikut :

$$T = \frac{P}{2\pi n} = \frac{25.76}{2\pi 230} = 0.018\,Nm$$

Torsi yang dimiliki turbin adalah 0.018Nm sedangkan torsi generator adalah 0.051Nm. Hal ini berarti turbin kurang mampu untuk memutar generator sehingga kedua kasus di atas dapat terjadi pada sistem ini. Untuk memutar generator, turbin harus memiliki torsi 0.051Nm. Agar torsi turbin 0.051 Nm, maka cara-cara di bawah ini dapat ditempuh.

- Torsi turbin 0.051 Nm dengan kecepatan putaran turbin yang tetap

$$P = 0.051 \times 2\pi \times 230 = 73.66\,Watt$$

Untuk menghasilkan torsi sebesar 0.051 Nm maka turbin harus dapat menghasilkan daya output sebesar 73.66 watt. Hal ini berarti turbin harus meningkatkan daya outputnya 3 kali lebih besar dari perencanaan awal yaitu 25.76 Watt.

Agar turbin dapat menghasilkan daya sebesar 73.66 watt maka ketinggian jatuh air dan kapasitas aliran air harus diubah agar dapat menghasilkan daya yang diinginkan.

$$P = \rho\, Q\, g\, H$$

$$73.66 = (1000)(Q)(9.81)(H)$$

$$Q\,H = 0.0075$$

Jika nilai tinggi jatuhan air atau head sistem (*H*) tetap yaitu 1.3 meter, maka debit (*Q*) atau kapasitas aliran air harus ditambah menjadi 5.76 ≈ 6 liter per sekon. Jika untuk mendapatkan debit 2.02 liter per sekon membutuhkan 2 pipa pesat, maka jika debit yang dikehendaki 6 liter per sekon maka harus ada 6 pipa pesat yang terpasang dari bak penampung menuju turbin. Hal ini sangat tidak efisien karena nozzle turbin tidak mampu memuat 6 pipa pesat lagipula bak penampung pada saluran pelimpah akan cepat penuh karena air yang keluar dari turbin sangat banyak. Semakin banyak air yang keluar dari turbin maka semakin berkurang volume bak penampung utama, sehingga debit air selanjutnya akan berkurang. Dan bila ingin \volume bak penampung tetap maka harus ada 6 pompa untuk mengembalikan air dari saluran pelimpah menuju bak penampung utama.

Jika nilai debit (Q) tetap, maka head (H) harus ditambah menjadi 3.72 meter sehingga head total menjadi 4.5 meter. Hal ini juga dirasa masih kurang efisien karena pada proyek akhir ini pembuatan pembangkit listrik tenaga mikrohidro dalam bentuk prototip, head dengan ketinggian 4.5 meter terlalu tinggi untuk bentuk yang prototip.

- Torsi turbin 0.051 Nm dengan daya ouput turbin yang tetap

Torsi turbin dibuat agar bernilai 0.051 Nm dengan daya output yang tetap yaitu 25.76, sehingga besar ketinggian head dan besar kapasitas aliran air tidak berubah.

$$25.76 = 0.051 \times 2\pi \times n$$

$$n = \frac{25.76}{0.051 \times 2\pi}$$

$$n = 80.4\,rpm$$

Kecepatan putaran turbin yang rendah akan menghasilkan torsi yang cukup untuk memutar generator. Perubahan kecepatan putaran turbin dapat dilakukan dengan menggunakan rasio pulley. Agar kecepatan turbin lebih rendah dari generator maka pulley yang kecil dipasang di turbin dan pulley yang besar dipasang di generator. Rasio pulley yang digunakan 80.4 : 375 atau sama dengan 1 : 4.6.

Dengan menggunakan rasio pulley untuk mendapatkan torsi turbin yang

dikehendaki jauh lebih efektif daripada menambah kapasitas aliran air atau head sistem.

3.5 Pembuktian Analisa

3.5.1 Pengukuran Kecepatan

Analisa dibuktikan dengan mengubah rasio pulley yang awalnya 4:1 menjadi 1:4. Pengukuran kecepatan putaran dilakukan pada poros turbin dengan menggunakan tachometer. Kecepatan putaran turbin ketika open loop atau tanpa beban yang terukur adalah 180 rpm. Sedangkan putaran turbin yang diinginkan adalah 80.4 rpm. Selisih ini menghasilkan prosentase error sebesar :

$$\%error = \frac{180 - 80.4}{180} \times 100\%$$
$$= 55.33\%$$

Jika turbin berputar dengan kecepatan 180 rpm maka kecepatan generator adalah 45 rpm, namun pengukuran kecepatan putaran pada poros generator dengan menggunakan tachometer 25 rpm. Tegangan output generator tanpa beban adalah 2.36 Volt.

Tegangan output generator secara teori dapat dihitung sebagai berikut

$$V_{out\ generator} = \frac{25}{375} \times 24V = 1.6V$$

$$I_{out\ generator} = \frac{25}{375} \times 5A = 0.33A$$

Dengan demikian dayaoutput maksimal generator adalah 0.53 Watt.

3.5.2 Pengukuran Daya Output Generator

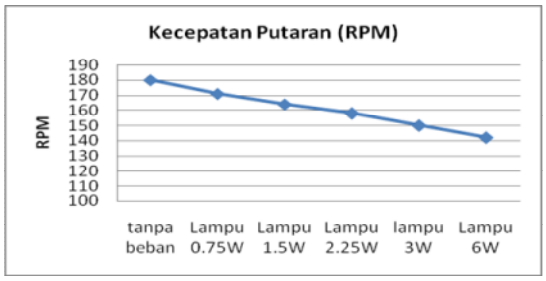
Beban yang digunakan adalah lampu DC 2.5 V 0.3 A (0.75 Watt) yang disusun seri dan lampu DC 12V 0.5 A (6 Watt). Lampu DC 0.75 watt dihubungkan seri untuk mendapatkan daya yang besar. Tabel di bawah ini menyajikan hasil pengukuran tegangan output generator, arus output generator, dan putaran pada poros turbin.

Tabel 3.2 Data Pengukuran Daya Output generator

Beban	V (Volt)	I (Ampere)	P (Watt)	RPM
Tanpa beban	2.36	-	-	180
1 lampu	1.03	0.2	0.206	171
2 lampu	1.07	0.2	0.214	164
3 lampu	1.13	0.2	0.226	158
4 lampu	1.2	0.2	0.24	150
Lampu 6W	0.96	0.25	0.24	142

Tabel 3.3 Hasil Pengujian Daya Output

Beban	Daya yg dibutuhkan beban (W)	Daya output maksimal (W)	Daya yang diterima beban (W)
1 lampu	0.75	0.53	0.206
2 lampu	1.5		0.214
3 lampu	2.25		0.226
4 lampu	3		0.24
Lampu 6W	6		0.24



4. Kesimpulan

Setelah dilakukan proses perencanaan, pembuatan dan pengujian alat serta dari data yang didapat dari perencanaan dan pembuatan rancang bangun prototip pembangkit listrik tenaga mikrohidro, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Dengan head netto 1.3 m dan debit 2.02 lt/s, turbin menghasilkan daya output sebesar 25.76 Watt
2. Unjuk kerja turbin sudah sesuai dengan perancangan karena prosentase error yang dihasilkan sangat kecil yaitu 0.98%
3. Transmisi menggunakan pulley-belt tidak hanya berdasarkan dari rasio kecepatan antara turbin dan generator saja tetapi juga berdasarkan torsi turbin dan generator.
4. Pada proyek akhir ini bila menggunakan rasio pulley berdasarkan kecepatan putaran maka generator tidak menghasilkan daya, namun bila menggunakan rasio pulley berdasarkan torsi generator mampu menghasilkan daya output.
5. Dengan menggunakan rasio pulley berdasarkan torsi maka arus listrik dapat dihasilkan namun tegangan yang dihasilkan sangat kecil. Karena tegangan berhubungan dengan RPM, menggunakan rasio pulley berdasarkan torsi menghasilkan RPM yang kecil.
6. Daya output maksimal yang dihasilkan oleh generator adalah 0.24W
7. Permasalahan utama yang mengakibatkan daya output generator sangat kecil adalah pemilihan generator yang kurang tepat

5. Daftar Pustaka

[1] Norman, Jim.”ABS Hydro”. **ABS Alaskan Inc**

[2] Penche, Celso dan Dr Ingeniero de Minas,”Layman’s Guidebook on How to Develop a Small Hydrosite”.**European Small Hydropower Association**, Belgia,1998.

[3] Basyirun,”**Mesin Konversi Energi**”.2008

[4] Mockmore, C.A dan Fred Merryfield,”The Banki Water Turbine”.**Oregon State College**, 1949.

[5] Integrated Microhydro Development and Application Program,”Studi Kelayakan Pembangunan Mikrohidro”.**Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral**.2010

LAMPIRAN

Desain Lebar Sudu dan Diameter Turbin

$$L = \frac{144\ Q\,N}{862\ C\,k\,H\sqrt{2g}}$$

Dimana L adalah lebar sudu turbin, Q adalah debit, N adalah kecepatan turbin air, C adalah koefisien air pada nozzle yang bernilai 0.98, k adalah koefisien yang bernilai antara 0.075 – 0.10, H adalah head netto, dan g adalah percepatan gravitasi bumi.

$$L = \frac{144\,Q\,N}{862\ (0.98)(0.087)\,H\sqrt{2g}} = 0.244\,{}^{Q\,N}\!/_{H}$$

Dengan nilai k = 0.087. Jika $N = \left(\frac{862}{D_1}\right)\sqrt{H}$,

$$L = \frac{144\ Q}{(0.98)(0.087)\left(\sqrt{H}\right)\left(\sqrt{2g}\right)(D_1)} = 210.5\,{}^{Q}\!/_{D_1\sqrt{H}}$$

$$L.D_1 = \frac{(210.5)(0.0719)}{\sqrt{4.2651}} = 7.328$$

Hasil tersebut sudah dikonversikan ke satuan inchi. dari hasil tersebut dilakukan pemilihan lebar sudu turbin dan diameter turbin. Namun perancangan yang dilakukan juga perlu mempertimbangkan beberapa aspek. Misalnya pemilihan lebar sudu turbin adalah 5 cm atau setara dengan 1.9685 inchi. Nilai ini dipilih karena terdapat dua pipa pesat yang masuk ke turbin dengan diameter masing-masing adalah $^{3}/_{4}$ dan $^{1}/_{2}$ dim.

Jika lebar sudu turbin adalah 1.9685 inchi, maka diameterluar turbin adalah :

$$L.D_1 = 1.9685 D_1 = 7.328$$
$$D_1 = 3.7226 \approx 9.45cm$$

Diameter turbin 9.45 cm terlalu kecil jika nantinya akan dikopel dengan generator. Oleh karena itu dipilih diameter luar turbin 18cm.

$$Diameter\ \ dalam\ \ turbin\ (D_2) = {}^{2}/_{3}\,(D_1)$$
$$D_2 = {}^{2}/_{3}\,(18) = 12\,cm$$

Desain Kecepatan dan Perhitungan Daya Turbin

Kecepatan turbin dapat dihitung dengan menggunakan rumus $N = \left(\frac{862}{D_1}\right)\sqrt{H}$. Dimana nilai diameter luar turbin (D_1) adalah 18cm atau setara dengan 7.08661 inchi dan head netto (H) adalah 1.3 meter atau setara dengan 4.2651ft.

$$N = \left(\frac{862}{7.08661}\right)\sqrt{4.2651} = 251.208\ rpm$$

Daya turbin pada efisiensi maksimum :

$$P = \rho..Q.g.H$$
$$= (1000)(0.00204)(9.81)(1.3) = 26.016 watt$$

Kecepatan spesifik turbin :

$$Ns = \frac{n.\sqrt{P}}{H^{5/4}} = \frac{251.208\sqrt{0.026016}}{1.3^{1.25}} = 29.19$$

Desain Ketebalan Semburan dan Jumlah Sudu Turbin

Ketebalan semburan (s_o) dapat didekati dengan perhitungan di bawah ini :

$$s_o = \frac{144\,A}{L}$$

Dimana A adalah luas area semburan atau luas penampang pipa pesat yang masuk ke dalam turbin. Namun karena terdapat dua pipa maka luas area semburan dapat dihitung dari pembagian debit total dengan kecepatan air.

$$A = \frac{Q_{total}}{V} = \frac{0.0719}{16.238} = 0.00442\,ft^2$$

Nilai luas area semburan disubsitusikan ke persamaan ketebalan semburan

$$s_o = \frac{144\,(0.00442)}{1.9685} = 0.827 \approx 2.1006cm$$

Jarak antar sudu pada turbin dapat dilakukan dengan perhitungan di bawah ini :

$$ketebalan\ \ sudu\ turbin\,(s_1) = kD_1$$
$$= (0.087)(7.08661)$$
$$= 0.616 \approx 1.56cm$$

$$Jarak\ \ antar\ \ sudu\,(t) = \frac{s_1}{\sin\beta_1}$$
$$= \frac{0.616}{\sin 30°} = 1.232 \approx 3.1cm$$

$$Jumlah\ \ sudu\,(n) = \frac{\pi D_1}{t} = \frac{3.14(7.08661)}{1.232}$$
$$= 18.06\ \text{(digunakan 20 sudu)}$$