

# Penerapan dan Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Piko hidro dengan Turbin Propeller Open Flume TC 60 dan Generator Sinkron Satu Fasa 100 VA di UPI Bandung

**IHFAZH NURDIN EKA NUGRAHA, WALUYO, SYAHRIAL**

Jurusan Teknik Elektro – Institut Teknologi Nasional (ITENAS), Bandung

Email:ihfazzh@gmail.com

## **ABSTRAK**

*Pikohidro adalah pembangkit listrik tenaga air yang mempunyai daya dari ratusan Watt sampai 5 kW. Secara teknis, pikorohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi), turbin dan generator. Pikohidro dapat digunakan sebagai alternatif pengganti pembangkit listrik tenaga diesel berbahan bakar minyak dengan biaya operasional lebih tinggi dan tidak ramah lingkungan. Potensi alam yang dapat dijadikan suatu pembangkit pikohidro adalah aliran air sungai yang berada di UPI Bandung. Alat yang digunakan adalah turbin reaksi propeller open flume TC 60 dan generator sinkron satu fasa kapasitas 100 Watt, 200 – 220 volt, 90 Hz. Pengukuran pembebanan generator dilakukan pada saat tanpa beban dan berbeban menggunakan beberapa lampu untuk mengukur besar daya yang terbangkitkan. Hasil dari pengukuran pembebanan generator, menghasilkan daya listrik sebesar 71 watt, dengan tegangan tertinggi 5,5% dari 220 volt dan drop tegangan – 13,3% dari 220 volt, serta drop frekuensi – 19% dari 90 Hz.*

**Kata kunci:** picohydro, turbin, generator, frekuensi, tegangan.

## **ABSTRACT**

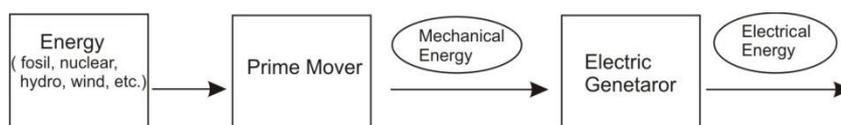
*A pcohydro is hydropower generator capacity that as hundreds of watts to 5 kW. Technically, ithas three main components: water (source of energy), turbine and generator. Picohydro can be used as an alternative to diesel power plants that using fuel oil, cost expensive and not environmentally friendly. A natural potential that can be used a picohydro generator river flow that was in UPI Bandung. The working tools a reaction turbine propeller open flume TC 60 and single phase synchronous generator capacity of 100 Watts, 200-220 volts, 90 Hz. The enerator measurements were no load and loaded by the lamps in order to measure the value of the generated power. The results were generated electric power of 71 watts, 5.5% highest voltage of 220 volts and – 13,3% voltage drop of 220 volts, and - 19% frequency drop of 90 Hz.*

**Keywords:** picohydro, turbine, generator, frecueny, voltage.

## 1. PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga air skala kecil atau yang lebih populer disebut mikrohidro dapat digunakan sebagai alternatif pengganti pembangkit listrik tenaga diesel berbahan bakar minyak yang operasional lebih tinggi dan tidak ramah lingkungan. Pembangkit listrik tenaga air skala kecil dinilai ramah lingkungan karena energi primernya menggunakan aliran air yang dapat diperbaharui. Indonesia memiliki cukup potensi tenaga air untuk membuat suatu pembangkit mikrohidro di daerah yang belum teraliri listrik. Listrik dari pembangkit mikrohidro selain digunakan untuk penerangan dan alat elektronik juga dapat memberdayakan potensi ekonomi masyarakat setempat. Mikrohidro atau Pikohidro merupakan sebuah istilah. Mikro artinya kecil sedangkan hidro artinya air. Hal yang membedakan antara istilah Mikrohidro dengan Pikohidro adalah output daya yang dihasilkan. Mikrohidro menghasilkan daya lebih rendah dari 500 KVA, sedangkan untuk pikohidro daya keluarannya berkisar antara 100 sampai 5000 watt. Secara teknis, Mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu aliran air (sumber energi), turbin dan generator. Terdapat lokasi yang dapat dijadikan tempat suatu pembangkit listrik tenaga pikohidro berupa saluran irigasi atau sungai kecil yang berlokasi di daerah Setiabudhi tepatnya di FPTK UPI Bandung. Lokasi sungai (irigasi) tersebut memiliki potensi aliran air yang cukup besar dan relatif stabil.

### 1.1 Proses Pembangkitan Energi Listrik



Gambar 1. Diagram alir proses pembangkitan energi listrik

Gambar 1 menjelaskan proses perubahan energi primer menjadi energi listrik, dimana dalam proses tertentu energi primer tersebut menggerakkan turbin sebagai mesin penggerak yang dikopel ke generator sehingga menghasilkan energi listrik.

### 1.2 Potensi Tenaga Air

Besarnya tenaga air yang tersedia dari suatu sumber air bergantung pada besarnya tinggi jatuh air dan debit air. Head adalah beda ketinggian antara muka air pada *reservoir* (kolam air) dengan muka air keluar dari kincir air/turbin air. Debit air adalah jumlah air yang mengalir melewati suatu titik dalam waktu yang ditentukan (meter kubik per detik). Energi potensial air dapat dihitung sebagai berikut (Arismunandar, 1975):

$$P = g \times Q \times H \text{ (kW)} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana  $P$  adalah Daya (kW),  $Q$  adalah *Flow rate* atau debit (meter kubik per detik),  $H$  adalah *Head* atau tinggi jatuh air (meter), dan  $g$  adalah gravitasi ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

### 1.3. Generator

Generator adalah suatu mesin yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Tenaga mekanis memutar kumparan kawat penghantar dalam medan magnet ataupun sebaliknya memutar magnet diantara kumparan kumparan kawat penghantar. (Ihfazh, 2010)

### 1.4. Magnet permanen

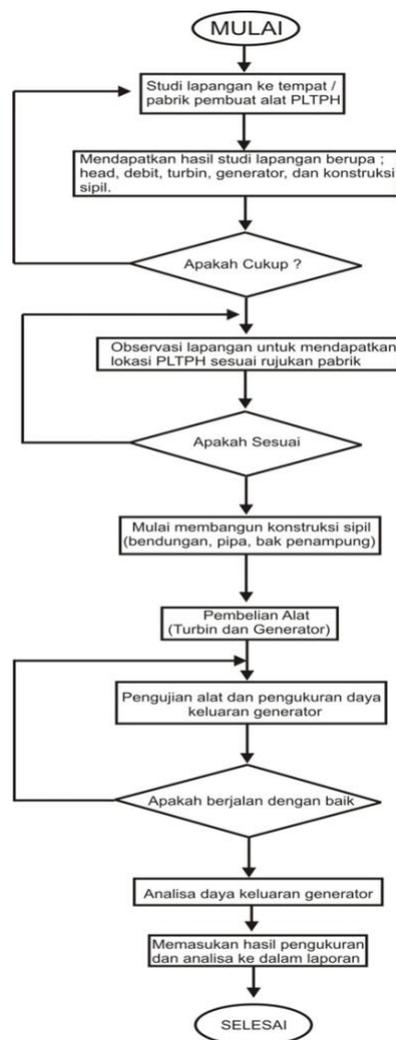
Magnet permanen (tetap) tidak memerlukan tenaga atau bantuan dari luar untuk menghasilkan daya magnet (berelektromagnetik). Magnet permanen tersebut dapat diaplikasikan pada generator yang digunakan pada kincir air maupun kincir angin untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik (Irasari, P dan Idayanti, N. 2009).

### 1.5. Lampu

Konsep dasar dari sebuah lampu adalah salah satu bentuk pemanfaatan radiasi elektromagnetik yang dihasilkan dari transfer energy fisik maupun kimiawi yang terjadi pada saat lampu menyala. Energi elektromagnetik tidak semuanya dapat terlihat oleh mata telanjang, hanya gelombang antara 380 nm sampai dengan 750 nm saja yang dapat dengan mudah diubah menjadi terlihat oleh manusia. Gelombang yang terlihat oleh manusia itulah yang selanjutnya merupakan cahaya yang dihasilkan lampu (Sukisno, T. dan Nugroho, Y. 2011).

## 2. METODOLOGI PENERAPAN DAN ANALISIS PLTPH

### 2.1 Diagram Alir Penerapan



Gambar 2. Diagram Alir Penerapan

Gambar 2 merupakan teknis dari tahapan pada penerapan PLTPH mulai dari studi lapangan ke tempat pembuatan alat, mendapatkan prosedur penerapan, observasi lapangan, sampai pembangunan PLTPH. Kemudian dilakukan pengujian dan analisa, serta penyusunan laporan.

### 2.1.1 Pemilihan lokasi PLTPH

#### A. Perhitungan Debit Air

Volume air yang mengalir disebut debit air dan diukur dengan satuan liter/detik (Irfan, 2010).

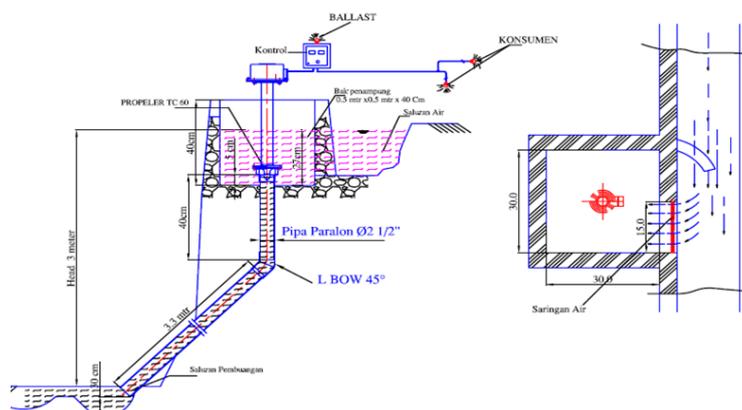
$$Q = v \times A \quad [m^3/detik] \dots\dots\dots (2)$$

#### B. Tinggi Jatuh Air (*Head*)

- i. Kondisi alam yaitu perbedaan tinggi antara lokasi bak penenang dan lokasi pembangkit; menentukan tinggi jatuhnya dengan mengukur kemiringan antara bak penampung/penenang dan rumah pembangkit atau dengan menggunakan theodolit.
- ii. Tinggi terjun yang sengaja dibuat, hal ini adalah untuk membangun PLTA dengan kapasitas pembangkit yang besar.

## 2.2. instalasi PLTPH

### 2.2.1 Instalasi Bangunan Sipil.



Gambar 3. Kontruksi sipil yang direkomendasi oleh pabrik

Gambar 3 memperlihatkan konstruksi sipil menurut buku panduan dari pabrik akan tetapi tidak mutlak untuk diikuti, tergantung dari letak keadaan geografis (Ihfazh, 2010).

### 2.3. Kriteria Pemilihan Turbin

- i. Faktor tinggi jatuhan air efektif (*Head*) dan debit yang akan dimanfaatkan untuk operasi turbin merupakan faktor utama yang mempengaruhi pemilihan jenis turbin.
- ii. Faktor daya (*power factor*) yang diinginkan berkaitan dengan head dan debit yang tersedia.
- iii. Kecepatan (putaran) turbin akan ditransmisikan ke generator. Sebagai contoh untuk sistem transmisi direct couple antara generator dengan turbin pada tinggi jath air 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.

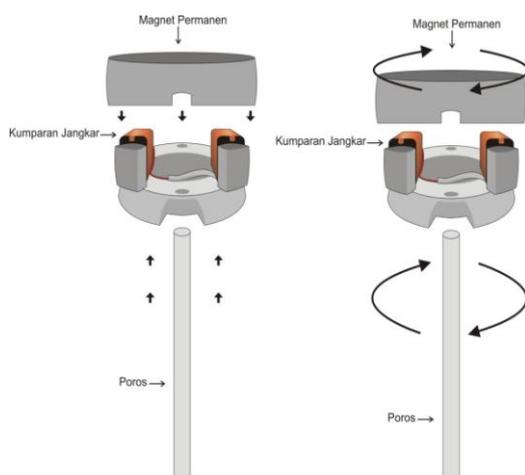
### 2.3.1 Propeller Open Flume TC 60.

Gambar 4 memperlihatkan turbin yang digunakan berjenis Propeller Open Flume TC 60, turbin ini berputar antara kisaran 2700 rpm. Baling-baling turbin ini berdiameter 6 cm dan memiliki 5 sudu yang sudut kemiringannya  $\pm 35^\circ$  (Ihfazh, 2010).



Gambar 4. Bentuk fisik *Turbin propeller Open Flume TC 60*

### 2.4. GENERATOR SINKRON SATU FASA 100 VA



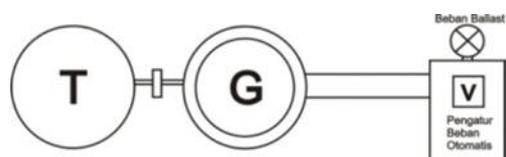
Gambar 5. Konstruksi generator sinkron satu fasa 100 VA

Gambar 5 memperlihatkan konstruksi dari generator sinkron satu fasa yang digunakan. Generator tersebut memiliki empat buah kutub, putaran turbin 2700 rpm, dan frekuensi 90 Hz.

#### 2.4.1 PENGUKURAN GENERATOR

##### A. Tanpa Beban

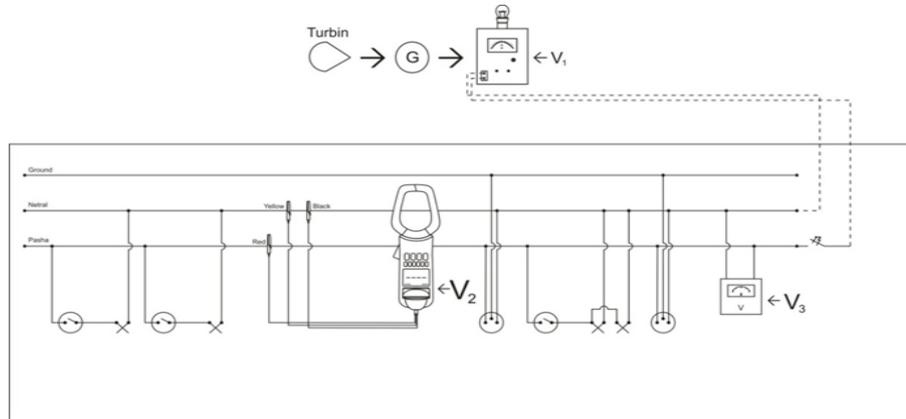
Gambar 6 memperlihatkan pengukuran generator pertama yang dilakukan adalah pengukuran tanpa beban.



Gambar 6. Pengukuran generator tanpa beban

## B. Beban Lampu

Gambar 7 merupakan gambar papan instalasi berupa sakelar dan kotak kontak, dan fitting lampu yang nantinya daya listrik dari generator akan disalurkan ke instalasi tersebut kemudian dilakukannya pemasangan lampu pada saat pengujian pembebanan.



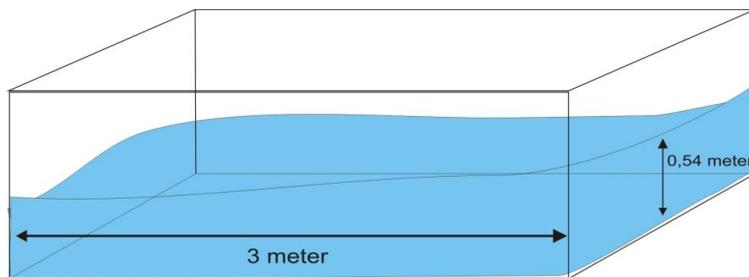
Gambar 7. Skema pengukuran daya generator berbeban

## 3. HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Debit Air

Gambar 8 memperlihatkan air mengalir pada saluran penampang yang berbentuk persegi panjang. Kedalaman air ( $p$ ) yang terhitung adalah 54 cm dan lebar ( $l$ ) permukaan air adalah 150 cm, dan waktu yang diterhitng untuk menempuh jarak sejauh 3 meter adalah 14 detik.

Luas penampang basah persegi panjang adalah:  $A$  (luas penampang basah) =  $0,54 \times 1,5 = 0,81 \text{ m}^2$ . Kecepatan air ( $v$ ) adalah:  $3,0/14 = 0,214 \text{ m/detik}$ . Debit air yang tersedia pada sungai dapat dihitung dengan menggunakan rumus  $Q = v \times A \times c$  ( $\text{m}^3/\text{s}^2$ ). Maka,  $Q = 0,81 \text{ m}^2 \times 0,214 \text{ m/s} \times 0,9 = 0,156 \text{ m}^3/\text{s} = 156,006 \text{ Liter/detik}$ .



Gambar 8. Debit air sungai

### 3.2 Tinggi Jatuh Air

Tinggi jatuh air 2,8 meter adalah terhitung dari permukaan air pada bak penampung sampai permukaan air sungai (pembuangan dari saluran pipa).

### 3.3 Perhitungan Daya

- $H_{net}$  = 2,80 m
- Q sungai = 156 liter/s

- c. Qd (debit desain) = 0,005 m<sup>3</sup>/s
- d. Gravitasi (g) = 9,8 m/s<sup>2</sup>
- e. Efisiensi turbin = 85%

Pertama besar daya input turbin :

$$\begin{aligned}
 P_{in} \text{ turbin} &= \rho \cdot Q \cdot H \cdot g \\
 &= 1000 \times 0,005 \times 2,8 \times 9,8 \\
 &= 137,2 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

Sedangkan besar daya output turbin adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P_{out} \text{ turbin} &= \rho \times Q \times H \times g \times \eta_{\text{turbin}} \\
 &= 1000 \times 0,005 \times 2,8 \times 9,8 \times 0,85 \\
 &= 116,62 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

### 3.4 Pengukuran Generator Sinkron 100 VA

#### A. Pengukuran Generator Tanpa Beban

Pengukuran generator sinkron tanpa beban menghasilkan tegangan dari nol sampai 275,9 volt, arus tidak dapat diketahui karena generator tidak terhubung ke beban.

#### B. Pengukuran Generator Berbeban

Tabel 3 berikut menampilkan data hasil dari pengukuran generator menggunakan beban resistif atau lampu pijar. Memerlihatkan hasil pengukuran generator dengan beban lampu pijar (resistif). Pengukuran menggunakan lampu pijar dilakukan sebanyak sembilan kali dengan beban bertahap dari 10 watt sampai 100 watt.

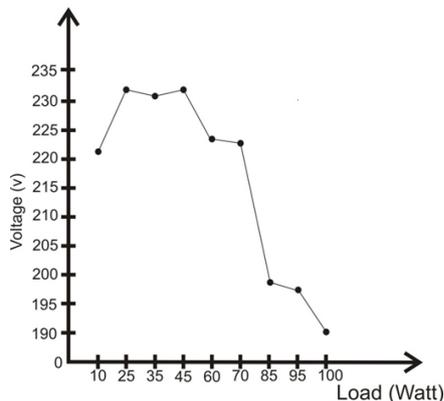
Tabel 1. Beban lampu pijar

No	Beban	Tegangan (V)	Arus (A)	frekuensi (Hz)	P (watt)	PF
1	10 watt LP	221,7	0,07	86,2	16	0,981
2	25 watt LP	232,4	0,09	90,3	19	0,981
3	35 watt LP	231,4	0,15	87,2	36	1
4	45 watt LP	232	0,23	81,4	53	1
5	60 watt LP	223,6	0,25	82,1	56	1
6	70 watt LP	222,6	0,32	82,1	72	1
7	85 watt LP	198,2	0,37	75,4	75	1
8	95 watt LP	197,7	0,38	75,8	75	1
9	100 watt LP	190,7	0,36	73,1	65	1

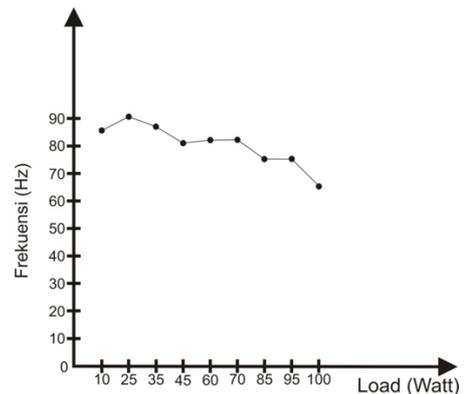
Tabel 1 memperlihatkan hasil pengukuran generator dengan beban lampu pijar (resistif). Pengukuran menggunakan lampu pijar dilakukan sebanyak sembilan kali dengan beban bertahap dari 10 watt sampai 100 watt.

Persamaan yang digunakan untuk mengetahui daya rata-rata pada pengujian

pembebanan generator menggunakan lampu: 
$$\frac{y - y_a}{y_b - y_a} = \frac{x - x_a}{x_b - x_a} \dots\dots\dots (2)$$



Gambar 9. (a) Karakteristik tegangan generator terhadap beban resistif



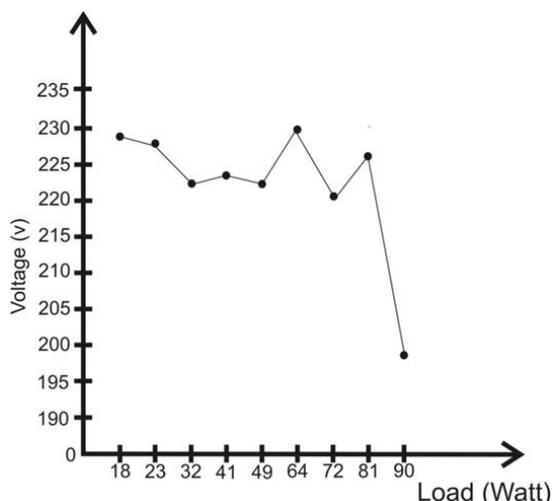
Gambar 9. (b) Hubungan antara frekuensi dan tegangan generator

Gambar 9(a) memperlihatkan nilai tegangan yang didapat dari hasil pengukuran. Tegangan tertinggi terdapat pada pengukuran ke empat dengan beban sebesar 45 watt yaitu 232 volt atau + 5,5 % dari 220 volt, sedangkan nilai terendah tegangannya adalah pada pengukuran ke sembilan dengan beban terpasang sebesar 100 watt yaitu 190,7 atau – 13,3 % dari 220 volt. Gambar 9(b) menjelaskan hubungan antara frekuensi dan tegangan, dimana saat beban pertama beban terpasang sebesar 10 watt nilai frekuensi sebesar 86,2 Hz dan pada pengukuran menggunakan beban tertinggi sebesar 100 watt frekuensinya turun sampai 73,1. Artinya bahwa beban berbanding terbalik dengan frekuensi, semakin besar beban yang terpasang maka nilai frekuensi akan turun.

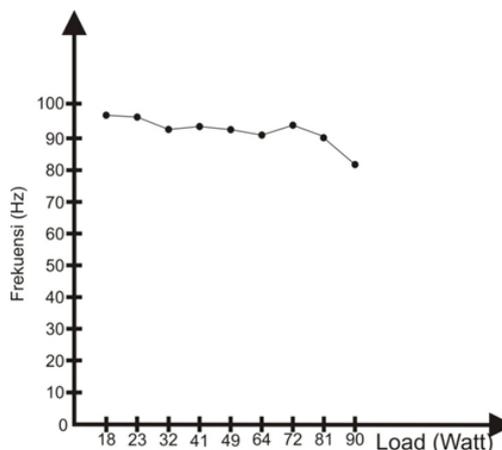
Tabel 2 memperlihatkan hasil pengukuran generator dengan beban lampu hemat energi (*compact flourescent lamp*). Beban terkecil adalah 18 watt dan beban terbesar sebesar 90 watt.

Tabel 2. Beban Lampu Hemat Energi (*compact flourescent lamp*)

No	Beban	Tegangan (V)	Arus (A)	frekuensi (Hz)	P (watt) / S (VA)	PF
1	18 watt LHE	229,7	0,14	96,4	22 VA	0,651
2	23 watt LHE	228,4	0,17	96,2	39 VA	0,691
3	32 watt LHE	222,3	0,23	94,4	39 watt	0,769
4	41 watt LHE	223,2	0,25	95,2	44 watt	0,792
5	49 watt LHE	222,0	0,26	94,3	46 watt	0,797
6	64 watt LHE	230,6	0,32	92,5	63 watt	0,859
7	72 watt LHE	221,1	0,32	96,9	69 watt	0,848
8	81 watt LHE	227,8	0,36	91,2	84 watt	0,852
9	90 watt LHE	198,4	0,40	82,9	69 watt	0,857



Gambar 10. (a) Karakteristik tegangan generator terhadap beban LHE



Gambar 10. (b) Hubungan antar frekuensi dan tegangan generator

Gambar 10(a) memperlihatkan nilai tegangan yang didapat dari hasil pengukuran. Tegangan tertinggi terdapat pada pengukuran keenam dengan beban sebesar 64 watt yaitu 230,6 volt atau + 4,82 % dari 220 volt, sedangkan nilai terendah tegangannya adalah pada pengukuran ke sembilan dengan beban terpasang sebesar 90 watt yaitu 198,4 atau – 9,82 % dari 220 volt. Gambar 10(b) memperlihatkan hubungan antara frekuensi dan tegangan generator menggunakan beban lampu hemat energi (*compact flourescent lamp*).

### C. Analisa Pengukuran Generator Menggunakan Beban Lampu Pijar dan Lampu Hemat Energi.

#### i. Daya pada pengukuran lampu pijar

Persamaan 2 merupakan rumus yang digunakan untuk mengetahui daya rata-rata pengujian pembebanan pada generator.

$$\frac{y - y_a}{y_b - y_a} = \frac{x - x_a}{x_b - x_a}$$

$$\frac{y - 72}{75 - 72} = \frac{220 - 222,6}{198,2 - 222,6}$$

$$\frac{y - 72}{3} = 0,106$$

$$y - 72 = 0,319$$

$$y_1 = 72,31 \text{ watt}$$

Besar daya rata-rata yang diperoleh dari hasil pengujian pembebanan menggunakan lampu pijar adalah 72,31 watt.

**ii. Daya pada pengukuran lampu hemat energi (*compact flourescent lamp*)**

$$\frac{y - y_a}{y_b - y_a} = \frac{x - x_a}{x_b - x_a}$$

$$\frac{y - 63}{69 - 63} = \frac{220 - 230,6}{221,1 - 230,6}$$

$$\frac{y - 63}{9} = 1,115$$

$$y - 63 = 6,69$$

$$y_2 = 69,69 \text{ watt}$$

Besar daya rata-rata yang diperoleh dari hasil pengujian pembebanan menggunakan lampu pijar adalah 69,69 watt.

**iii. Daya rata-rata**

$$\frac{y_1 + y_2}{2} = 72,31 + 69,69 / 2 = 142 / 2 = 71 \text{ watt}$$

Daya yang terbangkitkan dari hasil pengukuran sebesar 71 watt pada tegangan 220 volt. Sehingga didapatkan efisiensi generator : Daya pengukuran / Daya Output Turbin =  $71 / 116,62 \times 100 \% = 60 \%$ .

Pada pengujian generator menggunakan beban lampu pijar dan lampu hemat energi terjadi drop tegangan beserta hubungan frekuensi dengan beban. Hal pertama penyebabnya adalah pengaruh dari konversi energi mekanik ke energi listrik, semakin besar daya listrik yang dibutuhkan maka semakin besar pula energi mekaniknya, sehingga mengakibatkan putaran mekanik menjadi turun. Kedua, dapat dibuktikan dengan teori  $E_a = c n \phi$ , jika

konstanta dan fluks magnitnya tetap sedangkan putaran mekanik mengalami penurunan, maka ggl pada generator mengalami penurunan juga. Ketiga drop tegangan disebabkan oleh reaktansi sinkron ( $X_s$ ) yang besar. Hasil dari pengujian didapat ggl generator tanpa

beban sebesar 275,9 volt pada frekuensi 90 Hz, kemudian generator dibebani lampu pijar 25 watt, tegangan terukur sebesar 232 volt dengan arus 0,09 ampere pada frekuensi yang sama 90 Hz. Sehingga didapat harga  $X_s$  dengan cara :

$$i. V = V_1 - V_2 = 275,9 \text{ volt} - 232 \text{ volt} = 439,9 \text{ volt}$$

$$ii. \text{ Arus} = 0,09 \text{ ampere}$$

$$\text{Maka } X_s = \frac{V}{I} = 439,9 / 0,09 = 487,8 \Omega$$

**5. KESIMPULAN DAN SARAN****5.1 Kesimpulan**

Dari hasil pembahasan pada bab-bab sebelumnya mengenai perancangan pembangkit listrik tenaga pikohidro, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Untuk tegangan stabil 220 volt, beban maksimal yang dapat terpasang sebesar 71 watt.

2. Drop tegangan terjadi saat beban lebih dari 71 watt.
3. Penggunaan beban diterapkan untuk penerangan dengan menggunakan lampu, mengingat nilai frekuensi yang tinggi yaitu maksimal 90,6 Hz.

## **5.2 Saran**

Selanjutnya untuk perbaikan dan pengembangan penelitian ini, disarankan beberapa hal yaitu:

1. Mengingat Energi air dan potensial yang tersedia di sungai tersebut cukup besar, hal yang memungkinkan untuk dibangun lebih dari satu pembangkit dengan kapasitas yang sama.
2. Pintu air pada bendungan ini manual sehingga untuk mengatur laju air pada bak penampung perlu dipasang pintu air yang lebih mudah dikendalikan. Bukan hanya berdasarkan teknis namun berdasarkan faktor ekonomis.
3. Pada PLTPH ini, head yang tercapai 2,8 meter. Untuk meningkatkan daya keluaran listrik maka disarankan head tersebut mesti memenuhi ketentuan dari buku panduan yaitu 3 meter. Caranya adalah dengan merubah konstruksi sipil bak penampung, tanpa mengganggu laju air pada pipa saluran dari bendungan.

## **DAFTAR RUJUKAN**

- Arismunandar, A. Dan Susumu Ku. (1975). *Teknik Tenaga Listrik : Pembangkit Dengan Tenaga Air. Jilid I*. Jakarta. PT. Pradnya Paramita.
- Ihfazh Nurdin Eka Nugraha. (2010). *Unjuk Kerja Generator Sinkron Satu Fasa Pada Pembangkit Listrik Pikohidro Berkapasitas Sampai 100 VA*. Proyek akhir Ahli Madya pada FPTK UPI Bandung; tidak diterbitkan.
- Irfan Nurabidin. (2010). *Sistem Turbin Pada Pembangkit Listrik Skala Kecil (Pikohidro) 100 VA*. Proyek akhir Ahli Madya pada FPTK UPI Bandung; tidak diterbitkan.
- Irasari, P dan Idayanti, N. (2009). "Aplikasi Magnet Permanen BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> dan NdFeB Pada Generator Magnet Permanen Kecepatan Rendah Skala Kecil". *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 11 (1), 38-41.
- Sukisno, T. dan Nugroho, Y. (2011). "Analisis Pengaruh Kombinasi Lampu Pijar, TL Dan Lampu Hemat Energi Terhadap Kualitas Daya Listrik Di Rumah Tangga". 210-221.