

RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKO HIDRO (PLTPH) (ANALISIS DAYA BEBAN OUPUT PADA GENERATOR)

Ulil Amri¹, Zulfikar², Mahalla³

^{1,2,3}Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Lhokseumawe
E-mail : ulilamri950@gmail.com

Abstrak— Salah satu sumber energi terbarukan yang sangat berpotensi di Indonesia adalah pemanfaatan energi air. Pembangkit listrik energi terbarukan dengan memanfaatkan energi air bisa dibuat dalam skala besar maupun kecil. Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) adalah pembangkit listrik tenaga air yang mempunyai daya dari ratusan Watt sampai 5 kW. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk Mengetahui daya yang dapat dihasilkan generator, mempelajari dan menganalisis pengaruh tegangan terhadap penambahan beban output generator, dan mempelajari dan menganalisis pengaruh frekuensi terhadap naik turunnya beban yang terpasang. Metode pengambilan data lapangan dilakukan pada alat rancang bangun PLTPH. Setelah dilakukan pengujian, maka dapat diperoleh data yaitu putaran, tegangan dan frekuensi pada generator AC 1 fasa. Dari hasil perhitungan daya output yang dihasilkan generator, daya output yang dapat dihasilkan generator adalah sebesar 7,82838 watt. Tegangan maksimal yang dapat dihasilkan generator dari *prototype* PLTPH adalah sebesar 120 Volt pada kondisi tanpa beban. Dengan total beban terpasang yaitu sebesar 12 Watt. Tegangan yang dihasilkan generator dipengaruhi oleh variasi beban. Frekuensi maksimal yang dapat dihasilkan oleh generator adalah sebesar 14,1 Hz pada kondisi tanpa beban. Dimana perubahan nilai frekuensi diperoleh akibat fluktuasi beban yang terpasang.

Kata Kunci— PLTPH, Generator, Tegangan, Daya

I. PENDAHULUAN

Salah satu sumber energi terbarukan yang sangat berpotensi di Indonesia adalah pemanfaatan energi air. Pembangkit listrik energi terbarukan dengan memanfaatkan energi air bisa dibuat dalam skala besar maupun kecil. Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) adalah suatu pembangkit listrik tenaga air yang mempunyai daya dari ratusan Watt sampai 5 kW. Secara teknis, piko Hidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi), turbin dan generator.

Air merupakan sumber energi yang murah dan relatif mudah di dapat, karena pada air tersimpan energi potensial (pada air jatuh) dan energi kinetik (pada air mengalir). Tenaga air (Hydropower) adalah energi yang diperoleh dari air yang mengalir. Pada rancangan PLTPH ini penulis menggunakan jet pump sebagai penggerak utama untuk memutar turbin air.

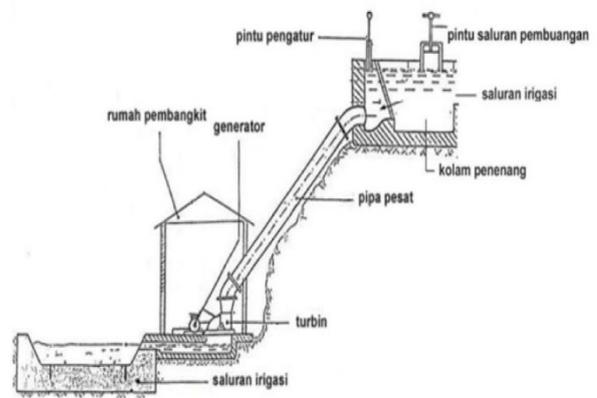
Pada perancangan PLTPH ini penulis menggunakan generator AC 1 phasa, Alasan penggunaan generator sinkron AC 1 phasa pada perancangan PLTPH ini karena dibandingkan dengan generator asinkron/induksi, ekitikasi generator sinkron AC lebih sederhana dikarenakan generator sinkron menggunakan magnet permanen. Kenaikan frekuensi akan berpengaruh pada penambahan tegangan listrik yang dihasilkan. Masalah pertama untuk mengendalikan kestabilan kualitas energi adalah frekuensi. Setelah frekuensi berada pada keadaan stabil, dilanjutkan pada tegangan, secara teoritis dan perancangan, generator yang bekerja pada frekuensi 50 Hz sudah dapat menghasilkan tegangan sebesar 220 Volt, namun akibat adanya penambahan beban akan mengakibatkan penurunan tegangan yang cukup besar. Masalah kedua adalah bagaimana mengatur arus penguat medan pada generator,

karena arus penguat medan langsung berpengaruh pada pengurangan dan penambahan tegangan tanpa mengganggu besarnya frekuensi yang ada, karena frekuensi hanya dipengaruhi oleh putaran sedangkan arus penguat medan dipengaruhi oleh aliran arus listrik searah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Umum PLTPH

Pembangkit listrik tenaga air skala piko pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan generator menghasilkan listrik. Prinsip pembangkit listrik tenaga Air skala piko ditunjukkan pada Gambar 1 .[1]



Gambar 1 layout PLTPH

Pada saluran irigasi ini terdapat penyaringan sampah untuk menyaring kotoran yang mengambang diatas air, kolam pengendap untuk mengendapkan kotoran, saluran pembuangan untuk membuang kelebihan air yang mengalir melalui saluran akibat banjir melalui pintu saluran pembuangan. Akhir dari saluran ini adalah sebuah kolam penenang (*forebay tank*) yang berfungsi untuk mengendapkan dan menyaring kembali air agar kotoran tidak masuk dan merusak turbin.

Pipa pesat (*penstock*) ini akan mengalirkan air ke rumah pembangkit (*power house*) yang terdapat turbin dan generator di dalamnya. Besar volume air yang masuk ke pipa pesat diatur melalui pintu pengatur. Turbin pada proses pembangkitan listrik ini berputar karena adanya pengaruh energi potensial air yang mengalir dari pipa pesat dan mengenai sudu-sudu turbin. Berputarnya turbin kemudian akan mengakibatkan generator juga berputar sehingga generator dapat menghasilkan listrik sebagai keluarannya. Besarnya daya listrik sebelum masuk ke turbin secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut.[1]

$$P_{in} \text{ turbin} = \rho \cdot Q \cdot h \cdot g \quad (1)$$

Sedangkan besar daya output turbin adalah sebagai berikut :

$$P_{out} \text{ turbin} = \rho \times Q \times h \times g \times \eta_{\text{turbin}} \quad (2)$$

Sehingga secara matematis daya real yang dihasilkan dari pembangkit adalah sebagai berikut :

$$P_g = \rho \times Q \times h \times g \times \eta_{\text{turbin}} \times \eta_{\text{generator}} \times \eta_{\text{tm}} \quad (3)$$

Dimana :

P_{in} turbin = daya masukan ke turbin (kW) P_{out} turbin =

daya keluaran dari turbin (kW) P_g = daya sebenarnya

yang dihasilkan (kW) ρ = massa jenis fluida (kg/m³)

Q = debit air (m³/s)

h = ketinggian efektif (m)

g = gaya gravitasi (m/s²)

B. Debit Air

Debit aliran adalah volume air yang mengalir dalam satuan tertentu. Debit air adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu. Prinsip pelaksanaan pengukuran debit adalah mengukur luas penampang basah, kecepatan aliran dan tinggi muka air tersebut. Debit air dapat dihitung dengan persamaan (4). [3]

$$Q = \frac{v}{t} \quad (4)$$

Keterangan :

Q = Debit Air

v = Volume

t = Waktu

C. Generator

Generator adalah suatu alat yang dapat mengubah tenaga mekanik menjadi energi listrik. Tenaga mekanik bisa berasal dari panas, air, uap, dan lain lain. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator bisa berupa Listrik AC (listrik bolak-balik) maupun DC (listrik searah). Prinsip dasar generator arus bolak-balik yaitu menggunakan hukum Faraday yang menyatakan jika sebatang penghantar berada pada medan magnet yang berubah-ubah, maka pada penghantar tersebut akan terbentuk gaya gerak listrik. Jika pada sekeliling penghantar terjadi perubahan medan magnet, maka pada penghantar tersebut akan dibangkitkan suatu gaya gerak listrik (GGL) yang sifatnya menentang perubahan medan tersebut.

Besar tegangan generator bergantung pada :[2]

1. Kecepatan putaran (N).
2. Jumlah kawat pada kumparan yang memotong fluks (Z).
3. Banyaknya fluks magnet yang dibangkitkan oleh medan magnet (f) .
4. Konstruksi Generator.

Umumnya tegangan yang keluar dari PLTMH adalah arus bolak-balik (AC, *alternating current*) dapat juga searah (DC, *direct current*). Tegangan AC dapat diubah menjadi tegangan tinggi secara mudah dan murah dengan menggunakan transformator, sehingga energi listrik dapat dijangkau pada jarak yang cukup jauh dari rumah pembangkit (*power house*) sehingga lebih ekonomis dan kerugian jaringan penghantarnya dapat diminimalkan. Keuntungan lain dari penggunaan arus AC ialah konstruksi generator AC yang lebih sederhana Arus AC menuntut frekuensi sistem tetap konstan terutama jika menggunakan motor induksi sebagai generator Untuk itu diperlukan pengaturan kecepatan putar generator di samping pengatur tegangan (*voltage regulator*).

Kombinasi pengadaan tenaga listrik AC dan DC pada prakteknya merupakan pilihan yang baik Penyimpanan tenaga listrik AC ke baterai (*accumulator*) memberikan alternatif lain bagi masyarakat yang tidak terjangkau jaringan listrik PLTMH untuk dapat menikmati penerangan komunikasi atau penerapan lainnya yang memerlukan tenaga listrik dalam jumlah kecil. Frekuensi yang dipakai untuk arus AC adalah 50 Hz Tegangan standar yang dihasilkan adalah 110 V dan atau 240 V untuk generator 1 fasa serta 240/ 415 V untuk generator 3 fasa.

Bagian utama generator terdiri dari bagian yang berputar disebut rotor dan bagian yang diam disebut stator. Diantara rotor dan stator terdapat celah udara. Pada generator sinkron kumparan medan terdapat pada rotor, sedangkan kumparan jangkarnya merupakan bagian yang diam. Generator induksi (asinkron) mempunyai kumparan jangkarnya pada stator, dan tidak terdapat kumparan medan karena generator induksi menggunakan prinsip imbas elektromagnet.[1]

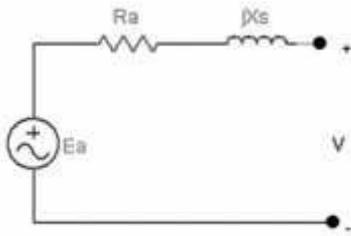
Spesifikasi generator adalah putaran 1500 rpm 50 Hz 3 fasa dengan keluaran tegangan 220V 380V Efisiensi generator secara umum adalah :

- a) Aplikasi <10 kVA, efisiensi 0,7-0,8.
- b) Aplikasi 10-20 kVA, efisiensi 0,8-0,85.

- c) Aplikasi 20-50 kVA efisiensi 0,85.
- d) Aplikasi 50-100 kVA efisiensi 0,85-0,9.
- e) Aplikasi >100 kVA efisiensi 0,9-0,95.

D. Prinsip Kerja Generator Sinkron

Mesin sinkron mempunyai kumparan medan pada rotor dan kumparan jangkar pada stator. Kumparan jangkar mempunyai bentuk yang sama dengan mesin induksi, sedangkan kumparan medannya dapat berbentuk kutub sepatu atau silinder.



Gambar 2 Rangkaian Ekuivalen Generatom Sinkron Perfasanya

Generator sinkron bekerja berdasarkan prinsip sbb :

1. Kumparan medan pada rotor akan mensuplai arus searah ke kumparan medan yang akan menimbulkan fluks.
2. Penggerak mula (Prime Mover) yang terkopel ke rotor beroperasi sehingga rotor berputar pada kecepatan nominalnya.

$$N = \frac{1}{P} f \tag{5}$$

dimana: n = Kecepatan putar rotor (rpm)
 P = Jumlah kutub rotor
 f = frekuensi (Hz)

Perputaran rotor akan memutar medan magnet yang dihasilkan kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan rotor akan diinduksikan pada kumparan jangkar sehingga pada kumparan jangkar terjadi fluks magnetik yang berubah-ubah. Perubahan fluks magnetik yang melingkupi kumparan akan menimbulkan ggl induksi pada ujung-ujung kumparan.[4]

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metode pengambilan data lapangan dilakukan pada alat rancang bangun PLTPH. Setelah dilakukan pengujian, maka dapat diperoleh data yaitu putaran, tegangan dan frekuensi pada generator AC 1 fasa. Data tersebut digunakan untuk melakukan analisis pada data rancang bangun PLTPH guna mendapatkan data putaran, tegangan dan frekuensi pada generator untuk di perhitungkan sehingga dapat mengamati dan menganalisa setiap perubahan yang terjadi ketika generator mengalami penambahan beban outputnya.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemilihan Generator

Pada penelitian ini untuk pemilihan generator yang digunakan pada modul rancang bangun PLTPH adalah menggunakan generator sinkron AC 1 fasa. Rotor pada generator sinkron AC 1 fasa menggunakan magnet permanen sebagai salah satu syarat untuk menghasilkan tegangan listrik. Daya maksimal yang mampu dihasilkan generator sebesar 1000 Watt dengan tegangan 220 Volt. Dengan kutub generator berjumlah 4 mampu menghasilkan putaran maksimal pada 1200 – 1500 rpm. Untuk lebih jelas mengenai spesifikasi generator dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Spesifikasi Generator Yang Digunakan

Spesifikasi Generator	
Tipe	Generator AC
Jumlah	1 Unit
Fasa	1 Fasa
Kapasitas (Daya)	1000 Watt
Tegangan	220 Volt
Jumlah Kutub	4
Putaran	1200 - 1500 RPM
Kondisi	2nd Ex Industri

B. Perhitungan Debit Air

Perhitungan debit air pada *prototype* PLTPH, penulis menggunakan debit air yang tertera pada *name plate* pompa air yang digunakan untuk penggerak turbin. Debit air yang tertera pada pompa adalah 90 liter/menit. Untuk memudahkan dalam perhitungan dan sesuai satuan standar internasional, satuan liter/menit dikonversikan terlebih dahulu ke satuan m³/s dengan perhitungan konversi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 90 \text{ l/ min} &= \dots \text{ m}^3/\text{s} \\
 &= 90 \times \frac{1}{1000} \frac{1}{60} \\
 &= 90 \times \frac{1}{1000} \times \frac{1}{60} \\
 &= 0,0015 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

Setelah dikonversikan ke satuan standard Internasional, maka debit air pada pompa yaitu 0,0015 m³/s.

C. Perhitungan Daya Output Generator

Sebelum menentukan daya output generator, penulis terlebih dahulu menentukan daya input dan output turbin untuk menentukan daya generator. Daya input turbin dapat dihitung menggunakan persamaan (1).

$$\begin{aligned}
 P_t &= \rho \times Q \times h \times g \\
 &= 1000 \times 0.0015 \times 1 \times 9.81 \\
 &= 14,715 \text{ w}
 \end{aligned}$$

Daya output turbin pelton dengan efisiensi turbin yang digunakan adalah 70% dapat dihitung dengan persamaan (2)

$$\begin{aligned}
 P_G &= \rho \times Q \times h \times g \times \eta \\
 &= 1000 \times 0.0015 \times 1 \times 9.81 \times 0.7 \\
 &= 10,3005 \text{ w}
 \end{aligned}$$

Daya output generator (P_g) PLTPH merupakan besaran beban yang mampu disuplai untuk mendapatkan daya generator (P_g) daya output (P_{out}) turbin dikalikan dengan efisiensi generator sesuai dengan yang ada pada *name plate*. Generator yang digunakan adalah generator sinkron AC 1 fasa dengan daya terpasang sebesar 1000 watt. Nilai efisiensi generator yang diambil adalah 0,8. Untuk mentransmisikan daya mekanik turbin ke generator dihubungkan dengan sabuk berjenis *V- belt* dengan mengansumsikan efisiensi transmisi 0,95. Maka daya generator dapat dihitung pada persamaan (3)

$$\begin{aligned}
 P_G &= \rho \times Q \times h \times g \times \eta \times \eta_t \times \eta_b \\
 &= 1000 \times 0.0015 \times 1 \times 9.81 \times 0.7 \times 0.8 \times \\
 &\quad 0.95 \\
 &= 7,82838 \text{ w}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, daya output generator yang dapat dihasilkan adalah 7,82838 watt.

D. Analisa Daya Output Generator

Daya output generator diperoleh dari hasil pengujian yang dilakukan pada *prototype* rancang bangun PLTPH. Data hasil pengujian yang diambil berdasarkan bukaan valve pada 100%, 75%, dan 50%. Hasil pengujian daya output generator dengan bukaan valve 100% dapat dilihat pada Tabel 2.

Table 2 Data Hasil Pengujian PLTPH Dengan Bukaan Valve 100%

Beban (Watt)	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Generator (rpm)	Tegangan (Volt)	Arus (Amper)	Frekuensi (Hz)
0	170	423	120	0	14,1
3	102	260	75	0,05	8,7
6	85	219	70	0,11	7,3
9	78	201	55	0,20	6,7
12	75	192	50	0,30	6,4

Hasil pengujian daya output generator dengan bukaan valve 75% dapat dilihat pada Tabel 3.

Table 3 Data Hasil Pengujian PLTPH Dengan Bukaan Valve 75%

Beban (Watt)	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Generator (rpm)	Tegangan (Volt)	Arus (Amper)	Frekuensi (Hz)
0	159	416	115	0	14
3	100	255	70	0,05	8,5
6	85	219	60	0,13	7,3
9	79	199	55	0,20	6,6
12	74	191	50	0,30	6,4

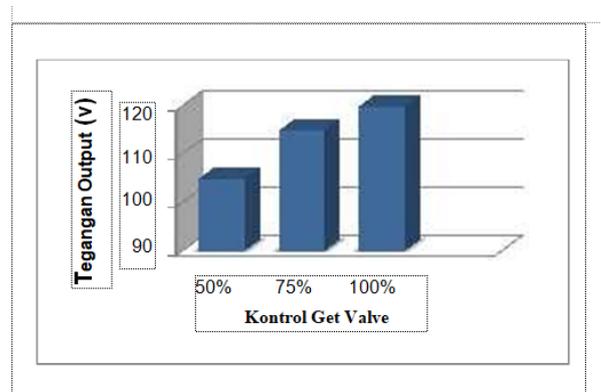
Hasil pengujian daya output generator dengan bukaan valve 50% dapat dilihat pada Tabel 4.

Table 4 Data Hasil Pengujian PLTPH Dengan Bukaan Valve 50%

Beban (Watt)	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Generator (rpm)	Tegangan (Volt)	Arus (Amper)	Frekuensi (Hz)
0	153	393	105	0	13,1
3	97	248	70	0,05	8,3
6	83	211	55	0,14	7,0
9	76	192	50	0,23	6,4
12	71	186	45	0,33	6,2

E. Analisa Pengaruh Kontrol Get Valve Terhadap Tegangan Output Tanpa Beban

Hasil analisa pengaruh kontrol get valve terhadap tegangan output generator dapat dilihat pada gambar 4.

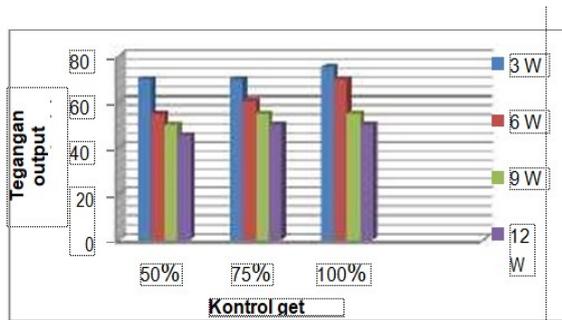


Gambar 4 Grafik Kontrol Valve Terhadap Tegangan Tanpa Beban Generator

Dari grafik pada gambar 4 dapat dianalisis bahwa pada *kontrol get valve 50%*, generator menghasilkan tegangan sebesar 105 V. Pada *kontrol get valve 75%*, generator menghasilkan 115 V. Pada *kontrol get valve 100%*, tegangan generator naik menjadi 120 V. Dari grafik dan analisis penulis menyimpulkan bahwa tegangan yang keluar pada generator berpengaruh terhadap kontrol get valve pada pembangkit. Kontrol get valve berfungsi untuk menyalurkan air melalui pipa. Pada kondisi kontrol get valve 100%, jumlah air yang disalurkan merupakan jumlah air maksimal dalam pipa yang dapat menghasilkan tekanan air untuk memutar turbin. Pada kondisi kontrol get valve 100% adalah putaran turbin maksimal yang dapat di transmisikan ke generator. Sehingga tegangan output yang dapat dihasilkan generator berpengaruh terhadap putaran turbin yang di transmisikan ke generator.

F. Analisa Pengaruh Kontrol Get Valve Terhadap Tegangan Output Dengan Beban

Pengaruh *kontrol get valve* terhadap tegangan output pada kondisi generator diberi beban dapat dilihat pada gambar 5.

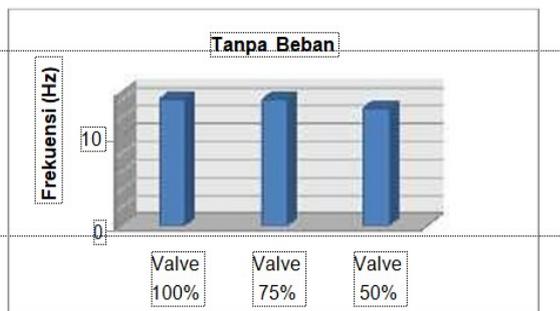


Gambar 5 Grafik Kontrol Get Valve Terhadap Tegangan Dengan Beban Generator

Pada gambar 5 dapat dianalisis bahwa pada *kontrol get valve 100%* dengan beban terpasang 3W, generator menghasilkan tegangan sebesar 75 V. Pada beban 6 W, generator menghasilkan tegangan 70 V. Pada beban 9 W, generator menghasilkan 55 V. Pada beban 12 W, generator menghasilkan 50V. Pada *kontrol get valve 75%* dengan beban 3 W, generator menghasilkan 70 V. pada beban 6 W, generator menghasilkan 60 V. Pada beban 9 W, generator menghasilkan 55 V. Pada beban 12 W, generator menghasilkan 50 V. Pada *kontrol get valve 50%* dengan beban 3 W, genetaor menghasilkan 70 V. Pada beban 6 W, generator menghasilkan 55 V. pada beban 9 W, generator menghasilkan 50 V, dan pada beban 12 W, generator menghasilkan 45 V. Dengan membandingkan perbedaan *kontrol get valve 100%* dengan 75% dimana tegangan keluaran generator mengalami penurunan tegangan akibat bertambahnya beban terpasang mulai dari 3 W hingga 12 W. Kondisi yang sama juga terjadi pada *kontrol get valve 50%* dimana tegangan turun dikarenakan putaran generator yang turun pula akibat putaran pada turbin yang rendah akibat tekanan air masuk yang rendah. Untuk tegangan yang dihasilkan generator dengan variasi beban dan *kontrol get valve* tidak stabil dikarenakan tegangan output dipengaruhi oleh jenis generator yang digunakan yaitu generator dengan rotor magnet permanen. Sehingga tegangan keluaran berpengaruh terhadap putaran generator.

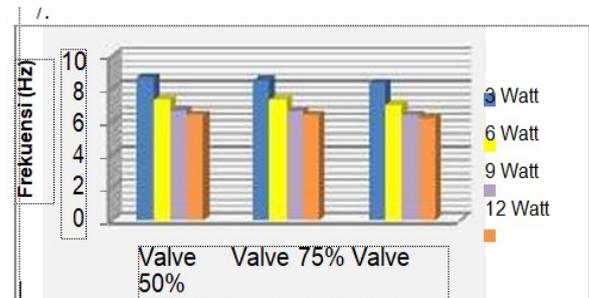
G. Analisa Pengaruh Frekuensi Output Generator Tanpa Beban

Pengaruh frekuensi output generator tanpa beban, dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6 Grafik Frekuensi Terhadap Output Generator

Dari gambar 6, pada pengujian frekuensi tanpa beban output generator dapat dianalisis bahwa pada kondisi valve 100% frekuensi yang mampu dihasilkan generator adalah 14,1 Hz. Pada kondisi valve 75% frekuensi yang mampu dihasilkan generator adalah 14 Hz. Pada kondisi valve 50% frekuensi yang mampu dihasilkan generator adalah 13,1 Hz. Setelah dianalisis dapat disimpulkan bahwa perubahan bukaan valve berpengaruh terhadap frekuensi yang dapat dihasilkan generator. Frekuensi yang dapat dihasilkan berpengaruh terhadap putaran generator, sehingga pada saat putaran generator berada pada putaran rendah, maka frekuensi yang dihasilkan semakin kecil, begitupula sebaliknya.



Gambar 7 Grafik Frekuensi Terhadap Beban Output Generator

Dari grafik pada gambar 7, pada pengujian frekuensi dengan variasi beban output generator dapat dianalisis bahwa pada bukaan valve 100% dengan beban 3 Watt, frekuensi yang mampu dihasilkan generator adalah 8,7 Hz. Pada beban 6 Watt, frekuensi yang dihasilkan generator adalah 7,3 Hz. Pada beban 9 Watt, frekuensi yang mampu dihasilkan generator adalah 6,7 Hz. Pada beban 12 Watt, frekuensi yang mampu dihasilkan generator adalah 6,4 Hz. Pada bukaan valve 75% dengan beban 3 Watt, frekuensi yang dihasilkan generator adalah 8,5 Hz. Pada beban 6 Watt, frekuensi yang dihasilkan generator adalah 7,3 Hz. Pada beban 9 Watt, frekuensi yang dihasilkan generator adalah 6,6 Hz. Pada beban 12 Watt, frekuensi yang mampu dihasilkan generator adalah 6,4 Hz. Pada bukaan valve 50% dengan beban 3 Watt, frekuensi yang mampu dihasilkan generator adalah 8,3 Hz. Pada beban 6 Watt, frekuensi yang dihasilkan generator adalah 7,0 Hz. Pada beban 9 Watt, frekuensi yang mampu dihasilkan generator adalah 6,4 Hz. Pada beban 12 Watt, frekuensi yang mampu dihasilkan generator adalah 6,2 Hz. Dari hasil analisis diatas maka dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan variasi beban output generator, frekuensi yang mampu dihasilkan generator mengalami penurunan nilai frekuensi.

H. Analisis Daya Output PLTPH Dengan Daya Output Secara Teoritis

Daya Output pada *prototype* PLPH yang direncanakan sebelumnya berdasarkan pada perhitungan adalah sebesar 7,828 W. Hasil dari pengeluaran generator saat pengujian, *prototype* PLTPH mampu menyuplai daya beban terpasang 3 W, 6 W, 9 W, dan 12 W. Secara keseluruhan, jumlah total

beban yang mampu dihasilkan pembangkit yaitu 12 W. Hasil ini sedikit berbeda dari daya output yang direncanakan yaitu 7,828 W. Penyebab daya keluaran generator melebihi dari daya yang direncanakan dipengaruhi oleh penambahan jumlah nozzle pada *prototype* PLTPH. Sehingga tekanan air yang masuk ke turbin lebih kuat untuk memutar turbin. Akibat putaran turbin yang tinggi maka putaran generator ikut bertambah akibat dari bantuan transmisi mekanik berupa *pulley* dan sabuk *V-Belt*. Sehingga daya output yang dihasilkan generator mampu menyuplai beban hingga 12 W.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Dari hasil perhitungan daya output yang dihasilkan generator, daya output yang dapat dihasilkan generator adalah sebesar 7,82838 watt.
2. Tegangan maksimal yang dapat dihasilkan generator dari *prototype* PLTPH adalah sebesar 120 Volt pada kondisi tanpa beban. Dengan total beban terpasang yaitu sebesar 12 Watt. Tegangan yang dihasilkan generator dipengaruhi oleh variasi beban.
3. Frekuensi maksimal yang dapat dihasilkan oleh generator adalah sebesar 14,1 Hz pada kondisi tanpa beban. Dimana perubahan nilai frekuensi diperoleh akibat fluktuasi beban yang terpasang.

REFERENSI

- [1] Sukadi. *Perencanaan Konstruksi Sipil PLTMH*. Jakarta: Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi (2018).
- [2] Busono T, & Purwanto.. *Memilih Generator Dan Perancangan Jaringan Sistem Distribusi Listrik PLTMH*. Jakarta: Direktorat Pembelajaran, Dit Belmawa, Kemendiknas RI (2018).
- [3] Siswadi. *Analisis Tekanan Pompa Terhadap Debit Air* (2017).
- [4] Wahyu S. *Prinsip Kerja Generator Sinkron* (2014).