

Studi Analisis Eksitasi dan Governor Untuk Mengatur Tegangan dan Frekuensi Keluaran Generator Pada PLTMH Aek Raisen I

Ir. Barani Simanjorang, MT¹⁾, Ir. Sahat Siahaan, MT²⁾, Jubel Lasro Hutabarat³⁾

Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas HKBP Nommensen

Email : baranimanjorang@gmail.com

Abstract

Governor is a turbine speed regulator where the governor is the one who regulates the amount of water that enters the turbine as the initial driver. This arrangement is done by the governor unit that works with its functions in case of frequency changes in the system. Therefore the frequency raised is the same as that used by consumers, and the frequency will decrease if the power needs used by consumers are greater than those raised. Then the governor serves as a rotation guard on the generator to be in the frequency of 50 Hz. The change of a load will affect the output voltage of the generator, if the load rises then the generator output voltage drops and if the load drops then the generator output voltage rises. In order for the output voltage of the generator still needed a generator output voltage regulator.

Keywords: Turbin, Generator

Abstrak

Governor merupakan suatu alat pengatur kecepatan turbin dimana governor ini lah yang mengatur banyaknya air yang masuk ke turbin sebagai penggerak mula. Pengaturan ini dilakukan oleh unit governor yang bekerja dengan fungsinya apabila terjadi perubahan frekuensi dalam sistem. Oleh karenanya frekuensi yang di bangkitkan sama dengan yang digunakan oleh konsumen, dan frekuensi akan berkurang apabila kebutuhan daya yang digunakan oleh konsumen lebih besar dari yang dibangkitkan. Maka governor berfungsi sebagai penjaga putaran pada generator agar berada dalam frekuensi 50 Hz. Perubahan suatu beban akan mempengaruhi tegangan keluaran generator, apabila beban naik maka tegangan keluaran generator turun dan apabila beban turun maka tegangan keluaran generator naik. Supaya tegangan keluaran generator tetap diperlukan suatu pengatur tegangan keluaran generator.

Kata Kunci: Turbin, Generator

PENDAHULUAN

Keberadaan Pembangkit Listrik Tenaga Mini hidro (PLTMH) menjadi salah satu solusi alternatif untuk mendapatkan energi listrik yang mandiri. Terutama untuk daerah-daerah terpencil yang kesulitan untuk mendapatkan pelayanan listrik karena sulitnya jaringan listrik untuk mencapai daerah yang sulit dijangkau. Tingkat performansi dari suatu sistem pembangkit listrik terutama PLTMH ditentukan oleh frekuensi output yang dihasilkan. Kestabilan frekuensi sangat diperlukan dalam kelangsungan pelayanan tenaga listrik dari suatu pembangkit listrik. Pemakaian beban konsumen yang tidak menentu menyebabkan frekuensi yang berubah-ubah. Frekuensi yang tidak stabil merusak peralatan (beban) karena beban tidak bisa bekerja secara optimal. Frekuensi pada generator pembangkit listrik yang tidak mempunyai perangkat kestabilan apabila

terjadi perubahan beban maka terjadi fluktuasi frekuensi, apabila fluktuasi frekuensi atau perubahan nilai frekuensi yang tidak segera dikondisikan menuju set point sebesar 50 Hz akan mengakibatkan kerusakan pada sistem distribusi listrik.

Dengan melihat besarnya potensi air tiap daerah di Indonesia terutama di daerah Sumatera Utara yaitu desa Parsingkaman kecamatan Adiankoting Kabupaten Tapanuli Utara telah ada sebuah PLTMH yang dibangun dengan kapasitas 750 kW. Namun pada saat pengoprasian governor terkadang bekerja tidak stabil maka dilakukan analisa pada eksitasi dan governor untuk mengetahui tegangan dan frekuensi pada waktu yang telah ditentukan.

DASAR TEORI PLTA

Pengertian pembangkit listrik tenaga air (PLTA) bekerja dengan cara merubah energi potensial (dari dam atau air terjun) menjadi energi mekanik (dengan bantuan turbin air) dan dari energi mekanik menjadi energi listrik (dengan bantuan generator). Pembangkit listrik tenaga air konvensional bekerja dengan cara mengalirkan air dari dam ke turbin setelah itu air dibuang. Pada saat beban puncak air dalam lower reservoir akan di pompa ke upper reservoir sehingga cadangan air pada waduk utama tetap stabil.

Kapasitas PLTA diseluruh dunia ada sekitar 675.000 MW, serta dengan 3,6 minyak barrel minyak atau sama dengan 24% kebutuhan listrik dunia yang digunakan oleh 1 milyar orang. Dalam penentuan pemanfaatan suatu potensi sumber tenaga air bagi pembangkitan tenaga listrik ditentukan oleh tiga faktor yaitu:

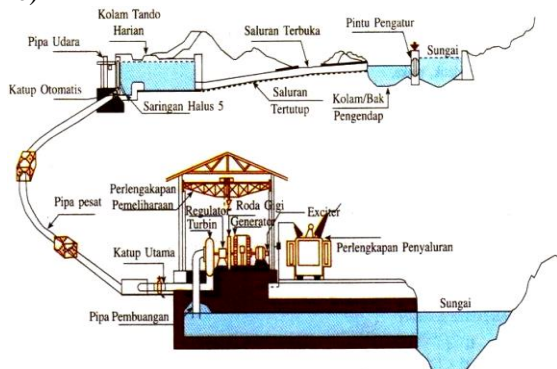
- Jumlah air yang tersedia, yang merupakan fungsi dari jatuh hujan dan atau salju.
- Tinggi terjun yang dapat dimanfaatkan, hal mana tergantung dari topografi daerah tersebut.
- Jarak lokasi yang dapat dimanfaatkan terhadap adanya pusat-pusat beban atau jaringan transmisi.

Daya yang dibangkitkan generator yang diputar oleh turbin adalah:

$$P = 9,81.Q.H . \eta \quad \dots\dots(1)$$

Berdasarkan output yang dihasilkan, Pembangkit Listrik Tenaga Air dibedakan atas:

- PLTA Mikro < 100 kW
- PLTA Mini 100 – 999 kW
- PLTA Kecil 1000 – 10.000 kW
- PLTA Besar > 10 MW



Gambar 1. Prinsip Kerja Pembangkit PLTA

Generator

Generator, dihubungkan dengan turbin melalui gigi-gigi putar sehingga ketika baling-baling turbin berputar maka generator juga ikut berputar. Generator selanjutnya merubah energi mekanik dari turbin menjadi energi elektrik. Generator di PLTA bekerja seperti halnya generator pembangkit listrik lainnya. Generator dihubungkan ke turbin dengan bantuan poros dan gearbox. Memanfaatkan perputaran turbin untuk memutar kumparan magnet didalam generator sehingga terjadi pergerakan elektron yang membangkitkan arus AC.

Generator listrik adalah sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanis. Generator terdiri dari dua bagian utama, yaitu rotor dan stator. Rotor terdiri dari 18 buah besi yang dililit oleh kawat dan dipasang secara melingkar sehingga membentuk 9 pasang kutub utara dan selatan. Jika kutub ini dialiri arus eksitasi dari Automatic Voltage Regulator (AVR), maka akan timbul magnet. Rotor terletak satu poros dengan turbin, sehingga jika turbin berputar maka rotor juga ikut berputar. Magnet yang berputar memproduksi tegangan di kawat setiap kali sebuah kutub melewati "coil" yang terletak di stator. Lalu tegangan inilah yang kemudian menjadi listrik.

Sistem Sinkronisasi PLMTH Aek Raisan I

Operasi paralel pusat-pusat tenaga listrik pada dasarnya merupakan perluasan bekerja paralel satu pembangkit dengan pembangkit yang lain, dengan tambahan resistansi dan reaktansi saluran-saluran interkoneksi. Proses menghubungkan paralel satu pembangkit tenaga listrik dengan pembangkit yang lainnya dinamakan sinkronisasi, atau dapat juga dikatakan bahwa Sinkronisasi pada pembangkit adalah memparalelkan kerja dua buah pembangkit atau lebih untuk mendapatkan daya sebesar jumlah pembangkit tersebut dengan syarat syarat yang telah ditentukan.

Sinkronisasi atau menghubungkan paralel perlu dipenuhi syarat untuk sistem yang akan diparalelkan yaitu:

- Besar tegangan harus sama.
- Frekuensi harus sama (mempunyai frekuensi yang sama).

Proses sinkronisasi pada PLTMH Aek Raisan I

Mula-mula mengatur putaran turbin hingga mencapai putaran nominal 375 rpm. Setelah mencapai putaran nominal tersebut generator akan beroperasi dan menghasilkan tegangan 380 Volt dan frekuensi 50 Hz. Setelah itu sistem akan menyamakan tegangan hingga 380 Volt dan frekuensi 50 Hz dengan AVR agar memenuhi persyaratan interkoneksi terhadap generator. Setelah tegangan, frekuensi generator dengan sistem sudah sama maka lambang sinkronisasi dengan menggunakan arah jarum jam pada panel akan berhenti dan tidak bergerak-gerak ke kiri dan ke kanan sehingga dapat di sinkron kan dengan cara menekan tombol sinkron pada kotak panel.

Syarat utama agar generator dapat beroperasi adalah putaran turbin harus 375 rpm. Pada saat debit air menurun maka putaran turbin akan turun dan secara otomatis tegangan generator akan berkurang sehingga putaran turbin kembali normal. Untuk mengurangi penurunan output dari generator digunakan governor untuk melebarkan sirip dari sudut-sudut turbin agar air yang masuk melalui pipa pesat menuju turbin mempunyai tekanan yang lebih kuat terhadap sudut-sudut turbin. Sehingga putaran dari turbin dapat bertambah, setelah itu keluaran dari generator akan naik semaksimal mungkin.



Gambar 2. Synchroscope PLTMH Aek Raisan I

Ketepatan sudut fasa dapat dilihat dari Synchroscope. Bila jarum penunjuk berputar berlawanan arah jarum jam berarti frekuensi dan tegangan generator lebih rendah dan bila searah jarum jam berarti frekuensi dan tegangan generator lebih tinggi. Pada saat jarum jam telah diam dan menunjuk pada kedudukan vertikal berarti beda fasa generator

dan sistem telah 0 (nol) dan selisih frekuensi telah 0 (nol). Maka pada kondisi ini saklar diONkan.

METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah rancang bangun, setelah mengetahui tujuan yang akan dicapai maka dirancang rangkaian yang sesuai untuk keperluan yang dimaksud. Setelah rancangan rangkaian selesai dibuat kemudian dilanjutkan dengan membangun rancangan dalam bentuk rangkaian yang sebenarnya (hardware) sehingga dapat diuji dan dianalisa.

Diagram Blok Sistem

Governor adalah alat yang digunakan untuk mengontrol kecepatan dari penggerak mula / utama dari kecepatan berlebihan dan menstabilkan kecepatan putaran mesin yang diinginkan. *Governor* mengatur kecepatan rata-rata mesin atau penggerak mula apabila terjadi variasi kecepatan frekuensi beban. Jika beban motor konstan maka kecepatan motor konstan dari suatu siklus ke siklus lainnya. Jika beban meningkat, kecepatan motor menurun dan sudut *governor* akan bertambah dengan perubahan, sehingga menggerakkan katup terbuka untuk memperbanyak fluida kerja yang meningkatkan beban

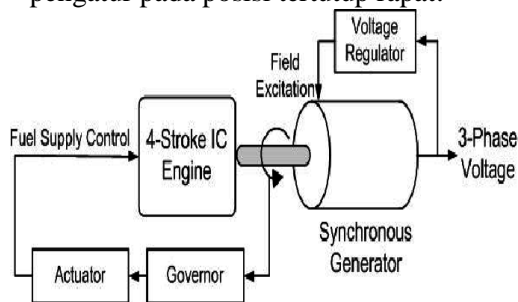
1. Penurunan kecepatan, atau berkurangnya kecepatan mesin dari tanpa beban ke beban penuh yang dinyatakan dalam putaran/menit atau sebagai presentase dari kecepatan normal/ rata-rata.
2. Pengaturan Isohkorik, yaitu mempertahankan kecepatan mesin konstan pada segala beban, pengaturan kecepatan yang mungkin dari penurunan kecepatan nol.
3. Kepekaan/sensitif atau perubahan kecepatan yang diperlukan sebelum *Governor* akan melakukan gerakan.
4. Kestabilan yaitu kemampuan mengatur waktu mempertahankan kecepatan mesin yang diinginkan tanpa naik turun atau konstan.
5. Ayunan, yaitu naik turun yang kontinyu dari mesin terhadap kecepatan yang diperlukan meskipun ketika beban tidak bertambah.
6. Ketangkasan, kecepatan aksi pengatur. Biasanya dinyatakan sebagai waktu dalam detik yang diperlukan *governor* untuk menggerakkan kendali bahan bakar dari

kedudukan tanpa batasan bahan sampai beban penuh.

7. Daya dari pengatur, gaya yang ditimbulkan pada governor untuk mengatasi tahanan dalam sistem kendali bahan bakar.

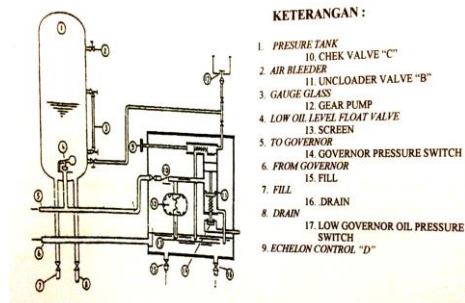
Konstruksi pengaturan dari governor bermacam-macam berdasarkan tipenya, karena itu bagian ini hanya membicarakan macam beban sentrifugal saja.

- a. Putar tuas pengontrol putaran kearah katup throttle karburator, membuka dan mengunci dengan memutar tuas kupu-kupu.
- b. Tempatkan obeng pada lubang poros pengatur dan putarlah sehingga beban pengatur. Seperti dibicarakan di atas, pengaturannya harus dipasang sedemikian rupa sehingga waktu katup throttle karburator terbuka lebar waktu beban pengatur pada posisi tertutup rapat.



Gambar 3. Diagram Governor

Sistem Minyak Tekan

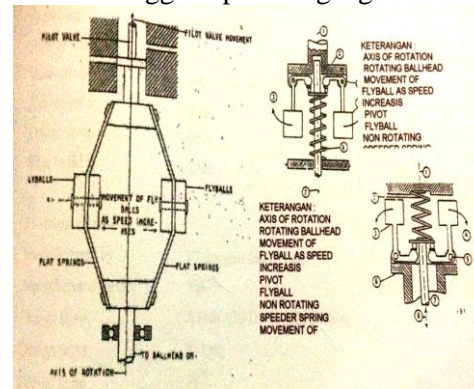


Gambar 4. Sistem minyak tekan governor

Sistem minyak governor terdiri dari pompa, sump tank, saluran minyak dan tangki tekan. Tangki tekan merupakan sumber minyak pada governor untuk menggerakkan servoarm MIV dan guide vane. Level minyak pada tangki tekan di pertahankan $\frac{1}{3}$ hingga level $\frac{1}{4}$ dari volume tangki tekan. Apabila tekanan kurang dari 60 bar maka kompresor akan hidup, setelah tekanannya mencapai 60 bar maka kompresor akan mati kembali.

Pilot Valva dan Relay Valve

Pilot Valve dan Relay Valve merupakan dua peralatan yang mempunyai prinsip kerja yang hampir sama. Pilot Valve dikendalikan oleh speed sensor. Pada dasarnya Pilot Valve ini berfungsi untuk menaikkan daya dorong atau tarik yang langsung dari tuas dengan gaya besar sehingga dapat mengangkat tuas servo.



Gambar 5. Pilot Valve yang digerakkan secara langsung dan tidak langsung.

Katup Distribusi

Katup distribusi untuk guide vane dioperasikan oleh minyak tekan yang dikontrol melalui pendulu valve, kemudian mengoperasikan. Governor merupakan suatu alat yang harus menjaga stabilitas terhadap fluktuasi kecepatan unit turbin generator. Karena itu generator dilengkapi dengan system control seperti:

1. Speed dropp
2. Speed level control
3. Gate limit control
4. Sistem proteksi

HASIL DAN ANALISIS

Data Hasil Pengamatan Lapangan

Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan di PLTMH AEK RAISAN terdapat beberapa komponen yang diamati antara lain:

Tabel 1. Profil Pembangkit PLTMH Aek Raison I

JUMLAH PEMBANGKIT	1 (SATU)
KAPASITAS TERPASANG	750 KW
DAYA MAMPU	650 KW
POLA OPERASI	ISOLATED 20 KV
LETAK POWER HOUSE	SEMI BAWAH TANAH
TYPE PLTMH	RUN OF RIVER
HEAD	14,5 METER
DEBIT	6,2 M ³

PANJANG PENSTOCK	12 METER
DIAMETER PENSTOCK	1,96 METER

Table 2. Spesifikasi Turbin PLTMHAek Raisan I

No	Item	Parameter
1	Turbin	Francis
2	Putaran	375 rpm
3	Head	14,5 m
4	P	790 kW

Tabel 3. Spesifikasi Generator PLTMH Aek Raisan I

No	Item	Parameter	
1	Tegangan	400 Volt	
2	Frekuensi	50 hertz	
3	Cos φ	0,8	
4	Type	SDGB 8063 - 16	
5		Y 400 Volt	
6	KVA	940kVA	1358 Amp
7	Exitation	35.3 Volt	4.38 Amp
8	Isollasi kelas	F / H JP 23	
9	Merk	RELIANCE	

Gaya Air

$$F_a = \rho \cdot A \cdot v \tag{3}$$

Dengan:

$$\rho = 1000 \text{ (massa air)}$$

$$A = (\pi / 4) \cdot D^2 \tag{4}$$

$$v = \text{kecepatan air} = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \tag{5}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 14,5} = 16,86 \frac{m}{s} \tag{6}$$

Sehingga,

$$F_a = 1000 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 1,95^2 \cdot 16,86 = 50.372 \text{ N} \tag{7}$$

Maka gaya air yang bekerja pada PLTMH Aek Raisan I adalah 50.372 N

Daya yang dibangkitkan

Daya yang dihasilkan oleh generator tergantung dari debit air yang mengalir, ketinggian jatuh air efisiensi bersama dari turbin dan generator itu sendiri. Daya yang

dapat dihasilkan oleh generator dapat dihitung dengan menggunakan rumus

$$P_g = 9,81 \cdot \eta \cdot H \cdot Q \text{ (KW)} \tag{8}$$

Dari data dapat dihitung bahwa daya yang dapat dihasilkan oleh turbin sebagai berikut dimana air yang masuk ke turbin sebesar 6,2 m³/s dengan tingkat efisiensi dari turbin 0,8 dan ketinggian air jatuh terhadap turbin 14,5 meter dan gravitasi bumi 9,81 m/s². Dari rumus diatas dapat dihitung daya yang dihasilkan generator ialah :

$$\begin{aligned} P_g &= 9,81 \cdot \eta \cdot H \cdot Q \\ &= 9,81 \cdot 0,8 \cdot 14,5 \cdot 6,2 \text{ m}^3/s \\ &= 705,553 \text{ kw} \end{aligned}$$

Daya Rata-rata Generator

Daya keluaran dari generator merupakan tujuan yang ingin dicapai dimana daya yang dihasilkan generator tersebut diharapkan semaksimal mungkin atau dengan efisiensi yang tinggi. Untuk menentukan besar kapasitas daya yang dihasilkan oleh generator, dibutuhkan beberapa parameter yang berkaitan dengan daya. Penghitungan daya keluaran generator seharusnya dihitung tiap fasa, karena perbedaan tegangan tiap fasa kecil maka penghitungan daya keluaran dari generator menggunakan rumus:

$$P = \sqrt{3} \cdot V_{\text{rata-rata}} \cdot I_{\text{rata-rata}} \cdot \cos \phi \tag{9}$$

P₁, P₂ ... P₂₄ menyatakan daya keluaran generator PLTMH Aek Raisan I setiap jamnya.

Daya keluaran generator setiap jam:

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot 396,0 \text{ V} \cdot 870,0 \text{ A} \cdot 0,8 = 477,380 \text{ kW}$$

$$P_2 = \sqrt{3} \cdot 397,6 \text{ V} \cdot 870,0 \text{ A} \cdot 0,8 = 479,309 \text{ kW}$$

$$P_3 = \sqrt{3} \cdot 397,6 \text{ V} \cdot 870,0 \text{ A} \cdot 0,8 = 479,309 \text{ kW}$$

$$P_4 = \sqrt{3} \cdot 395,6 \text{ V} \cdot 870,0 \text{ A} \cdot 0,8 = 476,898 \text{ kW}$$

$$P_5 = \sqrt{3} \cdot 395,6 \text{ V} \cdot 890,0 \text{ A} \cdot 0,8 = 487,861 \text{ kW}$$

$$P_6 = \sqrt{3} \cdot 396,0 \text{ V} \cdot 880,0 \text{ A} \cdot 0,8 = 482,868 \text{ kW}$$

$$P_7 = \sqrt{3} \cdot 395,0 \text{ V} \cdot 890,0 \text{ A} \cdot 0,8 = 487,121 \text{ kW}$$

$$P_8 = \sqrt{3} \cdot 395,0 \text{ V} \cdot 890,0 \text{ A} \cdot 0,8 = 487,121 \text{ kW}$$

$$P_9 = \sqrt{3} \cdot 395,0 \text{ V} \cdot 890,0 \text{ A} \cdot 0,8 = 487,121 \text{ kW}$$

$$P_{10} = \sqrt{3} \times 395,0 \text{ V} \times 883,3 \text{ A} \times 0,8 \\ = 483,454 \text{ kW}$$

$$P_{11} = \sqrt{3} \times 393,0 \text{ V} \times 883,3 \text{ A} \times 0,8 \\ = 481,006 \text{ kW}$$

$$P_{12} = \sqrt{3} \times 393,0 \text{ V} \times 883,3 \text{ A} \times 0,8 \\ = 481,006 \text{ kW}$$

$$P_{13} = \sqrt{3} \times 390,3 \text{ V} \times 863,3 \text{ A} \times 0,8 \\ = 466,886 \text{ kW}$$

$$P_{14} = \sqrt{3} \times 390,3 \text{ V} \times 863,3 \text{ A} \times 0,8 \\ = 466,886 \text{ kW}$$

$$P_{15} = \sqrt{3} \times 395,0 \text{ V} \times 850,0 \text{ A} \times 0,8 \\ = 465,228 \text{ kW}$$

$$P_{16} = \sqrt{3} \times 395,0 \text{ V} \times 850,0 \text{ A} \times 0,8 \\ = 465,228 \text{ kW}$$

$$P_{17} = \sqrt{3} \times 396,3 \text{ V} \times 850,0 \text{ A} \times 0,8 \\ = 466,759 \text{ kW}$$

$$P_{18} = \sqrt{3} \times 397,3 \text{ V} \times 840,0 \text{ A} \times 0,8 \\ = 462,432 \text{ kW}$$

$$P_{19} = \sqrt{3} \times 396,0 \text{ V} \times 860,0 \text{ A} \times 0,8 \\ = 471,893 \text{ kW}$$

$$P_{20} = \sqrt{3} \times 400,0 \text{ V} \times 850,0 \text{ A} \times 0,8 \\ = 471,117 \text{ kW}$$

$$P_{21} = \sqrt{3} \times 397,0 \text{ V} \times 860,0 \text{ A} \times 0,8 \\ = 473,085 \text{ kW}$$

$$P_{22} = \sqrt{3} \times 397,0 \text{ V} \times 860,0 \text{ A} \times 0,8 \\ = 473,085 \text{ kW}$$

$$P_{23} = \sqrt{3} \times 397,0 \text{ V} \times 860,0 \text{ A} \times 0,8 \\ = 473,085 \text{ kW}$$

$$P_{24} = \sqrt{3} \times 397,0 \text{ V} \times 860,0 \text{ A} \times 0,8 \\ = 473,085 \text{ kW}$$

Dari penghitungan diatas, maka dapat dicari rata-rata daya yang dihasilkan oleh generator tiga fasa dengan persamaan :

$$P_{\text{rata-rata}} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_{24}}{24}$$

$$P_{\text{rata-rata}} = \frac{11884,481}{24}$$

$$P_{\text{rata-rata}} = \frac{(477,380 + 479,309 + 479,309 + 476,898 + 487,898 + 482,861 + \\ 487,121 + 487,121 + 487,121 + 483,454 + 481,006 + 481,006 + \\ 466,886 + 466,886 + 465,228 + 465,228 + 466,759 + 462,432 + \\ 471,893 + 471,117 + 473,085 + 473,085 + 473,085 + 473,085)}{24}$$

$$P_{\text{rata-rata}} = 495,186 \text{ kW}$$

Jadi daya rata-rata yang dihasilkan oleh generator pembangkit listrik PLTMH Aek Raisan I adalah sebesar 495,186 Watt.

Efisiensi Generator PLTMH Aek Raisan I

Daya keluaran dari generator merupakan tujuan yang ingin dicapai dimana daya yang

dihasilkan generator tersebut diharapkan semaksimal mungkin atau dengan efisiensi yang tinggi. Untuk mengetahui efisiensi daya pada generator digunakan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \quad (10)$$

Dimana (P_{in}) generator sama dengan daya yang dikeluarkan oleh turbin

$$\eta = \frac{495,186 \text{ W}}{705,553 \text{ W}} \times 100\% = 70,18\% \quad (11)$$

Setelah dilakukan penelitian (studi lapangan) terhadap PLTMH Aek Raisan I maka dapat diketahui daya yang masuk ke generator sebesar 705,553 kW. Generator tersebut hanya mampu menghasilkan daya sebesar 495,186 kW dengan efisiensi 70,18%. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu: adanya rugi-rugi pada generator pembangkit, debit air yang tidak konstan dan usia generator yang mengakibatkan generator tidak berfungsi maksimal.

KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan dapat dituliskan:

- 1) Governor pada PLTMH Aek Raisan I berkerja dengan menggunakan gaya sentrifugal dimana berdasarkan penghitungannya putaran turbin yg diatur oleh governor adalah 362,8 rpm
- 2) Bersarakan hasil perhitungan frekuensi yang dihasilkan generator PLTMH Aek Raisan I adalah 48,3 Hz
- 3) Dari hasil Perhitungan berdasarkan teori dapat diketahui daya yang dihasilkan generator adalah 705,553 kw
- 4) Daya rata-rata yang dihasilkan oleh generator pembangkit listrik PLTMH Aek Raisan I adalah sebesar 495,186 Watt.
- 5) Efisiensi generator pembangkit listrik pada PLTMH Aek Raisan I hanya 70,18%. Hal ini disebabkan oleh faktor debit air yang tidak konstan, adanya rugi-rugi pada generator dan usia generator.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dandekar, M.M dan Sharman, K.N. *Pembangkit Listrik Tenaga Air*. Depok : UI-PRESS. 1991
- [2] Marsudi, Djiteng. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta : Graha Ilmu. 2006
- [3] Nagpal, G.R. *Power Plant Engineering*. Delhi-6 : Khanna Publishers

- [4] Laksono, Heru Diby. *Kendali Sistem Tenaga Listrik dengan Matlab*. Yogyakarta: Graha Ilmu. 2014.
- [5] Lie Jasa dan I Putu Ardana. *Mikro Hidro; Strategi Memanfaatkan Energi Murah dan Ramah Lingkungan*. Denpasar: Teknosain. 2016.
- [6] Charles.A. Gross. *Power System Analysis*, John Wiley & sons. 1979.