

# Evaluasi Kinerja IMAG pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Cokro Tulung Kabupaten Klaten

Mahalla<sup>1</sup>, Suharyanto<sup>2</sup>, M. Isnaeni B.S.<sup>3</sup>

**Abstract**—IMAG (Induction Motor as Asynchronous Generator) or induction motor that is used as an asynchronous generator having been widely used in micro-hydro Power Plant (MHP) usually in small capacity, i.e. below 100 Kw. The reason for the widespread popularity of induction generator is owing to its capability to generate the power from variable speed as well as constant speed prime movers, low unit cost, reduced maintenance, rugged and brushless rotors, absence of a separate d.c. source for excitation, absence of moving contacts, inherent overload protection, improved performance due to low transient impedance, natural protection against short circuit, there are many on the market etc. Their main disadvantage is poor voltage and frequency regulation under varying load and speed. Imag performance evaluation needs to be analyzed including it is voltage stability analysis and frequency analysis in expenses. Based on the analysis of the system in general, efficiency is 47,38% total imag and positions the turbine room and Imag are still far from flood-free area, so a high fall (head) can be increased from 1 m up to 2.21 m, this can increase the potential and generated power of 82.56% Based on the analysis of the daily load, major load changes affect changes in voltage and frequency output of the imag, this was due to the load current controller can not work fast (slow response) to divert the major load changes to the load apparent (ballast load). There are several methods that can be done to control the voltage and frequency, one method of which is to adjust the load (dummy load). The results of the analysis will be in the form of recommendations for improvement so that the MHP and the frequency of the voltage instability can be obtained to ensure the quality of the electricity generated by Imag at MHP system.

**Intisari**—IMAG atau motor induksi yang digunakan sebagai generator asinkron telah banyak digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMh) yang kapasitasnya kecil, yaitu dibawah 100 Kw. Alasan popularnya penggunaan IMAG adalah karena kemampuan untuk menghasilkan listrik dari variabel kecepatan serta kecepatan konstan penggerak mula, biaya yang murah, perawatan yang mudah, tidak memerlukan sumber dc untuk eksitasi, perbaikan kinerja karena impedansi transient yang rendah, perlindungan alami terhadap hubung singkat, banyak terdapat dipasaran dll. Kekurangan utamanya adalah pengaturan tegangan dan frekuensi pada saat terjadi perubahan beban dan kecepatan penggerak mula. Evaluasi kinerja dari IMAG pada sistem PLTMh perlu dilakukan, yaitu analisis stabilitas tegangan dan frekuensi dan analisis beban harian. Berdasarkan analisis sistem secara umum, efisiensi total IMAG adalah 47,38 % dan posisi ruang turbin dan IMAG masih jauh dari area banjir, sehingga tinggi jatuh (*head*) dapat ditingkatkan 1 meter menjadi 2,21 meter, hal ini dapat meningkatkan daya potensial dan daya terbangkit sebesar 82,56 %

Berdasarkan analisa beban harian, perubahan beban utama mempengaruhi perubahan tegangan dan frekuensi output dari IMAG, hal ini disebabkan karena pengontrol beban yang ada sekarang tidak bisa bekerja dengan baik untuk mengalihkan perubahan beban utama ke beban semu (*ballast load*). Ada beberapa metode yang bisa dilakukan untuk mengontrol tegangan dan frekuensi, salah satu metode adalah dengan mengatur beban (*dummy load*). Hasil analisa akan dijadikan rekomendasi untuk perbaikan PLTMh sehingga ketidakstabilan tegangan dan frekuensi bisa diatasi untuk menjamin mutu listrik yang dihasilkan oleh IMAG pada sistem PLTMh.

**Kata kunci**—PLTMh, generator asinkron, kestabilan, tegangan, frekuensi

## I. PENDAHULUAN

Permasalahan energi erat kaitannya dengan masalah-masalah lainnya, seperti masalah politik, ekonomi dan lingkungan. Pertumbuhan ekonomi yang baik pada suatu negara cenderung akan meningkatkan konsumsi energi sehingga cadangan energi yang ada juga akan semakin berkurang. Kondisi seperti ini dapat mengakibatkan energi menjadi komoditi yang sangat menjanjikan keuntungan, sehingga mendorong beberapa negara untuk melakukan kebijakan pengelolaan energi yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi energi dan mencari sumber energi baru dan terbarukan seperti energi air, angin, surya, gelombang laut, biomasa dan lain-lain.

Salah satu sumber energi terbarukan yang sudah dikembangkan menjadi energi listrik adalah energi air. Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMh) cocok diterapkan didaerah terpencil karena selain ekonomis, teknologi PLTMh juga ramah lingkungan bila dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD). Untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMh) dengan skala kecil, penggunaan generator induksi sangat tepat karena harga unitnya murah, konstruksinya kuat dan sederhana, mudah dalam pengoperasiannya dan memerlukan sedikit perawatan.

Di sisi lain penggunaan generator induksi sebagai pembangkit listrik dapat mengakibatkan resiko terhadap kestabilan sistem pembangkit, khususnya kestabilan tegangan dan frekuensi. Hal ini sesuai dengan karakteristik dari generator induksi dimana apabila terjadi perubahan beban dan putaran maka akan diikuti oleh perubahan tegangan dan frekwensi, sehingga sistem pembangkit dikatakan tidak stabil.

## II. DASAR TEORI

### A. Prinsip Kerja IMAG

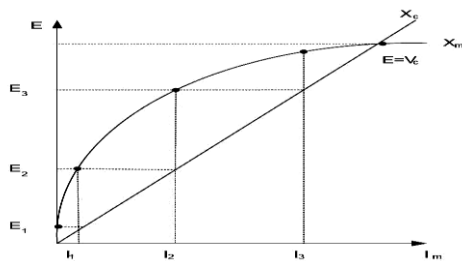
Generator induksi atau motor induksi yang digunakan sebagai generator asinkron sering digunakan untuk mencukupi suplai daya tambahan untuk beban di daerah terpencil dimana layanan saluran transmisi terbatas.

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 INDONESIA

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 INDONESIA (e-mail: suharyanto@te.ugm.ac.id, isnaeni@te.ugm.ac.id)

Dengan segala keunggulan yang disebutkan diatas adalah pilihan yang tepat untuk menggunakan generator asinkron. Penggunaan generator induksi pada sistem PLTMh dimana kincir air yang memutar generator tidak mengharuskan pada kecepatan sinkronnya. Dengan demikian, jika daya yang dibangkitkan tidak mensyaratkan frekwensi dan tegangan tetap maka generator dapat dioperasikan *stand alone*, atau terisolasi.

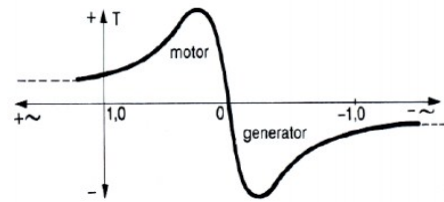
Pada saat generator induksi dioperasikan, diperlukan daya mekanis untuk memutar rotornya searah dengan arah medan putar melebihi kecepatan sinkronnya dan sumber daya reaktif untuk memenuhi kebutuhan arus eksitasinya. Kebutuhan daya reaktif dapat diperoleh dari jala – jala atau dari suatu kapasitor. Tanpa adanya daya reaktif, generator induksi tidak menghasilkan tegangan. Jika generator induksi terhubung dengan jala – jala, maka kebutuhan daya reaktif diambil dari jala – jala. Namun, bila generator induksi tidak terhubung dengan jala-jala, atau berdiri sendiri maka kebutuhan daya reaktif dapat disediakan dari suatu unit kapasitor. Kapasitor tersebut dihubungkan paralel dengan terminal keluaran generator. Kapasitor yang terpasang harus mampu memberikan daya reaktif yang dibutuhkan untuk menghasilkan fluksi di celah udara, sehingga di stator akan terbangkit tegangan induksi sebesar  $E1$ . Tegangan  $E1$  ini akan mengakibatkan arus mengalir ke kapasitor sebesar  $I_1$ . Dengan adanya arus sebesar  $I_1$  akan menambah jumlah fluksi di celah udara, sehingga tegangan di stator menjadi  $E2$ . Tegangan  $E2$  akan mengakibatkan mengalir arus kekapasitor sebesar  $I_2$  yang menyebabkan fluksi bertambah dan tegangan yang dibangkitkan juga akan meningkat. Proses ini terjadi sampai mencapai titik keseimbangan  $E=Vc$ , seperti pada Gbr. 1 di bawah ini:



Gbr. 1 Proses pembangkitan Tegangan

Kapasitas kapasitor yang dipasang sangat menentukan terbangkitnya tegangan atau tidak. Untuk terbangkitnya tegangan generator induksi kapasitas kapasitor yang dipasang harus lebih besar dari kapasitas kapasitor minimum yang diperlukan untuk proses eksitasi. Jika kapasitas kapasitor yang dipasang lebih kecil dari kapasitas kapasitor minimum yang diperlukan, maka tegangan pembangkitan tidak akan berhasil.

Karena generator induksi dapat melakukan eksitasi sendiri maka generator tersebut dinamakan generator induksi penguatan sendiri. Mesin induksi yang beroperasi sebagai generator ini bekerja dengan slip yang lebih kecil dari nol ( $s < 0$ ), atau negatif. Kalau slip positif maka akan bekerja sebagai motor, sedangkan kondisi pengereman slip sama dengan 1. Kurva karakteristik mesin induksi adalah seperti Gbr. 2 di bawah ini:



Gbr 2. Kurva karakteristik mesin induksi

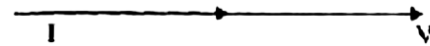
**B. Sifat Beban Listrik**

Dalam suatu rangkaian listrik selalu dijumpai suatu sumber dan beban. Bila sumber listrik DC, maka sifat beban hanya bersifat resistif murni, karena frekuensi sumber DC adalah nol. Reaktansi induktif ( $XL$ ) akan menjadi nol yang berarti bahwa induktor tersebut akan *short circuit*. Reaktansi kapasitif ( $XC$ ) akan menjadi tak berhingga yang berarti bahwa kapasitif tersebut akan *open circuit*. Jadi sumber DC akan mengakibatkan beban beban induktif dan beban kapasitif tidak akan berpengaruh pada rangkaian. Bila sumber listrik AC maka beban dibedakan menjadi 3 sebagai berikut :

• **Beban Resistif**

Beban resistif yang merupakan suatu resistor murni, contoh : lampu pijar, pemanas. Beban ini hanya menyerap daya aktif dan tidak menyerap daya reaktif sama sekali. Tegangan dan arus se-fasa. Secara matematis dinyatakan :

$$R = V / I \tag{1}$$

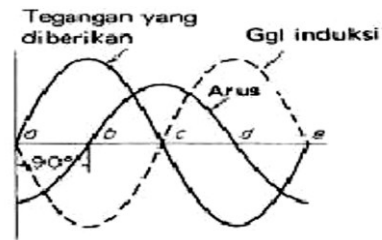


Gbr. 3 Arus dan tegangan pada beban resistif

• **Beban Induktif**

Beban induktif adalah beban yang mengandung kumparan kawat yang dililitkan pada sebuah inti biasanya inti besi, contoh : motor-motor listrik, induktor dan transformator. Beban ini mempunyai faktor daya antara 0 – 1 “lagging”. Beban ini menyerap daya aktif (kW) dan daya reaktif (kVAR). Tegangan mendahului arus sebesar  $\phi^\circ$ . Secara matematis dinyatakan :

$$XL = 2\pi f.L \tag{2}$$

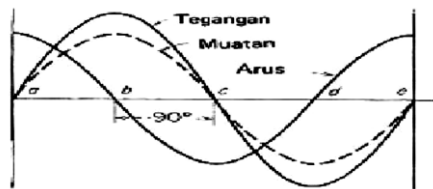


Gbr. 4 Arus, tegangan dan GGL induksi diri pada beban induktif

• **Beban Kapasitif**

Beban kapasitif adalah beban yang mengandung suatu rangkaian kapasitor. Beban ini mempunyai faktor daya antara 0 – 1 “leading”. Beban ini menyerap daya aktif (kW) dan mengeluarkan daya reaktif (kVAR). Arus mendahului tegangan sebesar  $\phi^\circ$ . Secara matematis dinyatakan :

$$XC = 1 / 2\pi fC \tag{3}$$



Gbr. 5 Arus, tegangan dan GGL induksi-diri pada beban kapasitif

C. Konsep Pengaturan Tegangan dan Frekuensi

Gaya gerak listrik pada generator dinyatakan dengan:

$$E = Cn\phi \tag{5}$$

dengan:

$E$  : Gaya gerak listrik (volt)

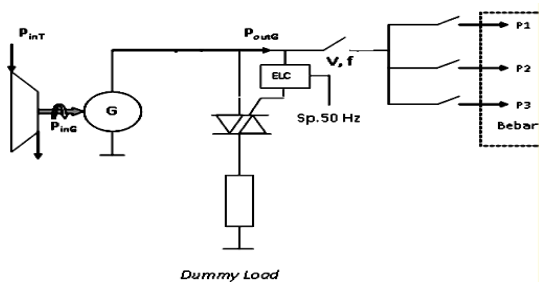
$C$  : konstanta

$\Phi$  : fluksi yang menghasilkan Var

$n$  : putaran yang menghasilkan Watt.

- Apabila terjadi penurunan beban maka putaran ( $n$ ) akan naik dan diikuti oleh naiknya frekuensi, jika fluksi ( $\Phi$ ) konstan maka generator akan mengalami tegangan lebih (*over voltage*).
- Apabila terjadi peningkatan beban maka putaran ( $n$ ) akan turun dan diikuti oleh turunnya frekuensi, jika fluksi ( $\Phi$ ) konstan maka generator akan mengalami penurunan tegangan (*voltage drop*).

Model kontrol beban pada PLTMh adalah seperti Gbr. 6 di bawah ini:

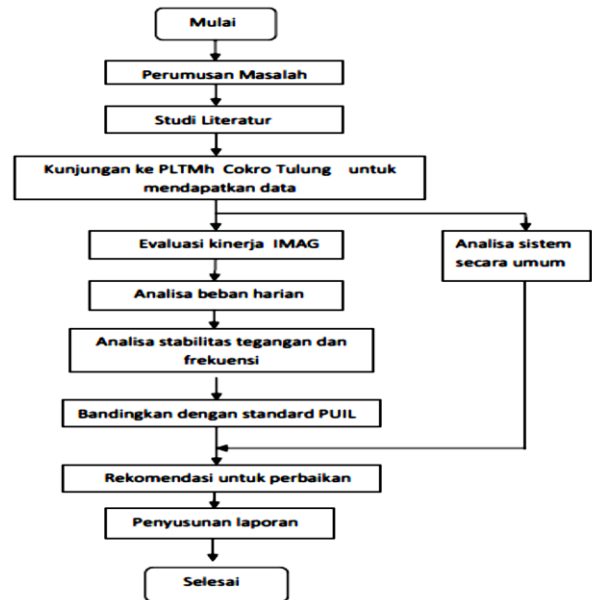


Gbr. 6 Model kontrol beban pada PLTMh

III. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan dalam beberapa tahapan, yaitu :

1. Merumuskan masalah.
2. Mencari buku-buku, makalah, jurnal yang berhubungan dengan tesis.
3. Mengumpulkan data-data yang diperlukan untuk penelitian ini. Pengumpulan data dilakukan dengan cara survey langsung ke lokasi PLTMh Cokro Tulung.
4. Melakukan evaluasi terhadap kinerja dari IMAG yang digunakan pada PLTMh Cokro Tulung dan juga evaluasi sistem secara umum.
5. Menganalisis beban harian
6. Menganalisis stabilitas tegangan dan frekuensi
7. Menganalisis dan perbaikan faktor daya
8. Kesimpulan dan rekomendasi untuk perbaikan.

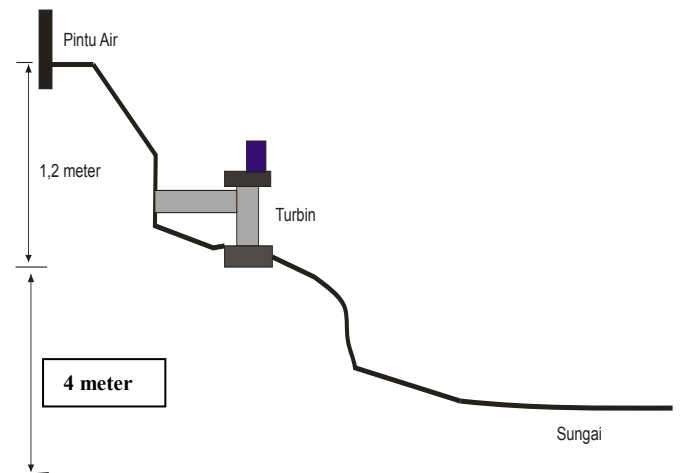


Gbr. 7 Diagram alir penelitian

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Sistem Secara Umum

Ilustrasi gambar konstruksi sistem PLTMh Cokro Tulung adalah seperti Gbr. 8 di bawah ini:



Gbr. 8 Ilustrasi Konstruksi PLTMh Cokro Tulung

Perhitungan Nilai Kapasitor

Berdasarkan data-data pada *nameplate* kedua unit IMAG yang ada pada PLTMh Cokro Tulung, maka dapat dihitung nilai kapasitor yang digunakan.

Data-data *nameplate*:

$P$  : 30 Kw,  $V$  : 220/380 volt,  $I$  : 99/57,3 A *delta, start*  
 $f$  : 50 Hz.,  $n$  : 1425 Rpm,  $p$  : 4 kutub

$$S = \sqrt{3} VI$$

$$S = 1,73 \cdot 380 \cdot 57,3$$

$$S = 37669,02 VA = 37,66 kVA.$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$Q = \sqrt{37,66^2 - 30^2} = 22,76 kVAR$$

Untuk sistem 1 fasa, maka:

$$Qc = 22,76 / 3 = 7,58 kVAR.$$

$$X_c = \frac{v^2}{Q_c}$$

$$X_c = \frac{220^2}{7580} = 6,38 \text{ ohm.}$$

$$C = 1 / 2\pi f \cdot X_c$$

$$C = 1 / 2.3,14.50.6,38$$

$$C = 499 \text{ }\mu\text{F.}$$

**Menghitung Daya Potensial Air**

Berdasarkan hasil pengukuran, didapat data-data untuk menghitung daya potensial air, yaitu:

- Luas penampang basah (*A*) = 1,37 meter<sup>2</sup>
- Kecepatan aliran air (*v*) = 1,59 meter/detik
- Debit air (*Q*) = 2,18 meter<sup>3</sup>/detik.
- Tinggi Jatuh (*H*) = 1,21 meter
- Gaya grafitasi (*g*) = 10 m/det<sup>2</sup>
- Massa jenis air (*ρ*) = 1

Sehingga dapat dihitung daya potensial air:

$$P_{potensial} = \rho \times g \times Q \times H$$

$$P_{potensial} = 1 \times 10 \times 2,18 \times 1,21$$

$$P_{potensial} = 26,378 \text{ kilo watt}$$

**Menghitung Efisiensi Total ( $\eta_{Total}$ )**

Berdasarkan data pengukuran pada panel kontrol seperti tabel I dibawah ini, maka dapat dihitung efisiensi total.

TABEL I  
DATA PANEL KONTROL

Tegangan (V)	Arus (R) (A)	Arus (S) (A)	Arus (T) (A)	Daya (kW)
220	18 s/d 20	18 s/d 20	18 s/d 20	12,5

$$\eta_{total} = (Daya Terbangkit / Daya Potensial) \times 100$$

$$\eta_{total} = (12.500 / 26.378) \times 100$$

$$\eta_{total} = 47,38 \%$$

Berdasarkan konstruksi yang ada sekarang, tinggi jatuh (*head*) masih dapat diturunkan lagi, dengan jarak aman dari banjir adalah 2 meter, maka ketinggian muka air dapat diturunkan lagi 1 meter ( $h=1.21+1=2.21$  m) sehingga daya potensial dan daya terbangkit setelah perubahan adalah :

$$P_{potensial} = \rho \times g \times Q \times H$$

$$P_{potensial} = 1 \times 10 \times 2,18 \times 2,21$$

$$P_{potensial} = 48,178 \text{ kilo watt}$$

$$P_{terbangkit} = \eta_{total} \times P_{potensial}$$

$$P_{terbangkit} = 47,38\% \times 48,178$$

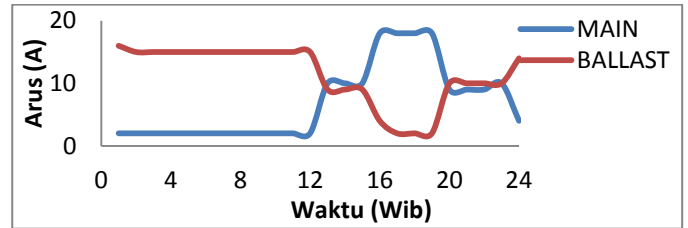
$$P_{terbangkit} = 22,82 \text{ kilo watt}$$

Dengan peningkatan *head* dari 1.21 meter menjadi 2.21 meter dapat meningkatkan daya potensial dari 26,378 kilo watt menjadi 48,178 kilo watt, dan daya terbangkit dari 12,5 kilo watt menjadi 22,82 kilo watt.

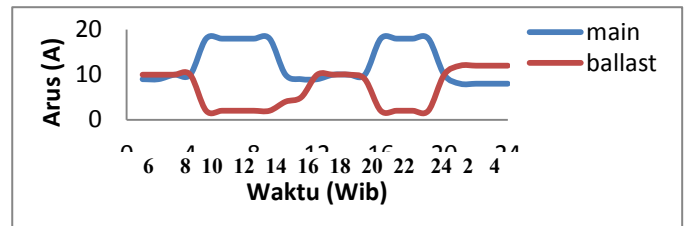
**B. Analisis Beban Harian**

Analisis beban harian dilakukan pada saat beban puncak dan beban normal, beban puncak terjadi pada hari minggu dan hari-hari libur lainnya, sedangkan beban normal terjadi pada hari-hari kerja. Berdasarkan data beban harian yang didapatkan dari hasil pembacaan Volt meter dan Ampere

meter selama hari Minggu dan hari Kamis, maka dapat digambarkan grafik beban harian.



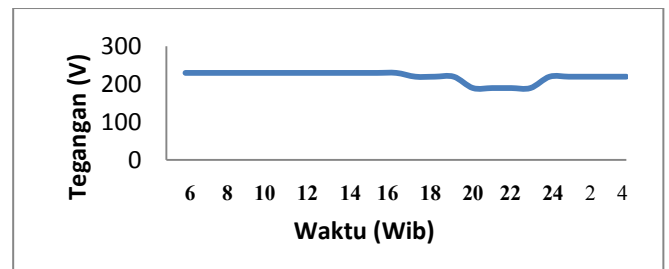
Gbr. 8 Grafik Beban Nyata Terhadap *Ballast Load* hari Kamis



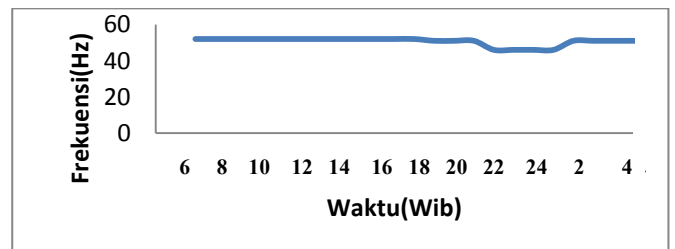
Gbr. 9 Grafik Beban Nyata Terhadap *Ballast Load* hari Minggu

**C. Analisis Stabilitas Tegangan dan Frekuensi**

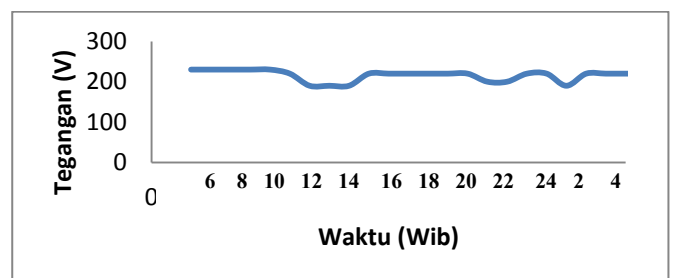
Berdasarkan data tegangan dan frekuensi yang diukur pada hari kamis tanggal 15 Maret 2012 dan pada hari Minggu tanggal 8 April 2012, maka dapat digambarkan grafik tegangan dan frekuensi seperti gambar di bawah ini:



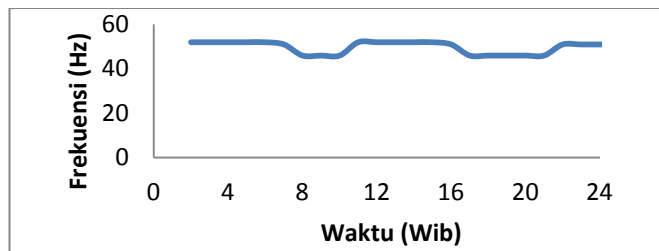
Gbr. 10 Grafik Output Tegangan pada hari Kamis



Gbr. 11 Grafik perubahan frekuensi hari Kamis



Gbr. 12 Grafik Stabilitas Tegangan pada Hari Minggu



Gbr. 13 Grafik Stabilitas Frekuensi Generator hari Minggu

#### D. Analisis dan Perbaikan Faktor Daya

Hasil pengukuran faktor daya per fasa dari kedua unit IMAG yang ada di PLTMh Cokro Tulung ternyata faktor dayanya berkisar antara 0,53 sampai 0,86. Untuk menghindari kerugian-kerugian akibat dari faktor daya yang rendah, maka faktor daya dapat diperbaiki dengan memasang kapasitor sebagai sumber daya reaktif. Perhitungan perbaikan faktor daya untuk tiap-tiap fasa dari kedua unit IMAG dapat dilakukan dengan mengacu pada data pengukuran sebagai berikut:

##### Generator 1

**Fasa R:**  $V : 234 \text{ volt}, I : 14,6 \text{ ampere}, P : 2,43 \text{ kW},$   
 $Pf : -0,72, Q : 2,31 \text{ kVar}, S : 3,41 \text{ kVA},$   
 $f : 55,7 \text{ Hz}.$

Perbaikan  $pf$  dari 0,72 menjadi 0,95

Nilai setelah perbaikan (*corrected*)  $pf$  adalah:

$\cos \theta = 0,95 \longrightarrow \sin \theta = 0,31$

$$S = P / \cos \theta$$

$$S = 2430 / 0,95 = 2557,8 \text{ VA} = 2,55 \text{ kVA}$$

$$I = S / V$$

$$I = 2557,8 / 234 = 10,9 \text{ A}$$

$$Q = S \sin \theta$$

$$Q = 2557,8 \cdot 0,31 = 798,4 \text{ VAR} = 0,79 \text{ kVAR}.$$

Daya reaktif yang diperlukan adalah:

$$Q_c = Q_1 - Q_2$$

$$Q_c = 2,31 - 0,79 = 1,52 \text{ kVAR}.$$

Kapasitas kapasitor adalah:

$$X_c = \frac{V^2}{Q_c}$$

$$X_c = \frac{234^2}{1520} = 36,02 \text{ ohm}.$$

$$C = 1 / 2\pi f \cdot X_c$$

$$C = 1 / 2 \cdot 3,14 \cdot 55,7 \cdot 36,02 = 79,3 \text{ } \mu\text{F}.$$

**Fasa S:**  $V : 230 \text{ volt}, I : 11,4 \text{ ampere}, P : 1,39 \text{ kW},$   
 $Pf : 0,53, Q : 2,24 \text{ kVar}, S : 2,61 \text{ kVA},$   
 $f : 55,8 \text{ Hz}.$

Perbaikan  $pf$  dari 0,53 menjadi 0,95

Nilai setelah perbaikan (*corrected*)  $pf$  adalah:

$$S = 1463,1 \text{ VA} = 1,46 \text{ kVA}$$

$$I = 6,3 \text{ A}$$

$$Q = 453,5 \text{ VAR} = 0,45 \text{ kVAR}.$$

Daya reaktif yang diperlukan adalah:

$$Q_c = 2,24 - 0,45 = 1,79 \text{ kVAR}.$$

Kapasitas kapasitor adalah:

$$X_c = 9,55 \text{ ohm}$$

$$C = 96,7 \text{ } \mu\text{F}$$

**Fasa T:**  $V : 232 \text{ volt}, I : 12,8 \text{ ampere}, P : 2,07 \text{ kW}$   
 $Pf : 0,70, Q : 2,08 \text{ kVar}, S : 2,87 \text{ kVA}$   
 $f : 55,7 \text{ Hz}.$

Perbaikan  $pf$  dari 0,70 menjadi 0,95

Nilai setelah perbaikan (*corrected*)  $pf$  adalah:

$$S = 2178,9 \text{ VA} = 2,17 \text{ kVA}$$

$$I = 9,39 \text{ A}$$

$$Q = 675,4 \text{ VAR} = 0,67 \text{ kVAR}.$$

Daya reaktif yang diperlukan adalah:

$$Q_c = 1,41 \text{ kVAR}.$$

Kapasitas kapasitor adalah:

$$X_c = 38,17 \text{ ohm}.$$

$$C = 74,8 \text{ } \mu\text{F}.$$

##### Generator 2

**Fasa R:**  $V : 234 \text{ volt}, I : 10,4 \text{ ampere}, P : 1,97 \text{ kW}$   
 $Pf : 0,81, Q : 1,50 \text{ kVar}, S : 2,37 \text{ kVA}$   
 $f : 55,8 \text{ Hz}.$

Perbaikan  $pf$  dari 0,81 menjadi 0,95

Nilai setelah perbaikan (*corrected*)  $pf$  adalah:

$$S = P / \cos \theta$$

$$S = 2073,6 \text{ VA} = 2,07 \text{ kVA}$$

$$I = S / V$$

$$I = 8,86 \text{ A}$$

$$Q = 642,8 \text{ VAR} = 0,64 \text{ kVAR}.$$

Daya reaktif yang diperlukan adalah:

$$Q_c = 0,86 \text{ kVAR}.$$

Kapasitas kapasitor adalah:

$$X_c = 63,66 \text{ ohm}.$$

$$C = 44,9 \text{ } \mu\text{F}.$$

**Fasa S:**  $V : 231 \text{ volt}, I : 14,7 \text{ ampere}, P : 2,73 \text{ kW}$   
 $Pf : -0,80, Q : 2,08 \text{ kVar}, S : 3,41 \text{ kVA}$   
 $f : 55,3 \text{ Hz}.$

Perbaikan  $pf$  dari -0,80 menjadi 0,95

Nilai setelah perbaikan (*corrected*)  $pf$  adalah:

$$S = 2873,6 \text{ VA} = 2,87 \text{ kVA}$$

$$I = S / V$$

$$I = 12,43 \text{ A}$$

$$Q = 890,8 \text{ VAR} = 0,89 \text{ kVAR}.$$

Daya reaktif yang diperlukan adalah:

$$Q_c = 1,19 \text{ kVAR}.$$

Kapasitas kapasitor adalah:

$$X_c = 44,84 \text{ ohm}.$$

$$C = 64,2 \text{ } \mu\text{F}.$$

**Fasa T:**  $V : 232 \text{ volt}, I : 14,0 \text{ ampere}, P : 2,71 \text{ kW}$   
 $Pf : 0,84, Q : 1,82 \text{ kVar}, S : 3,37 \text{ kVA}$   
 $f : 55,9 \text{ Hz}.$

Perbaikan  $pf$  dari 0,84 menjadi 0,95

Nilai setelah perbaikan (*corrected*)  $pf$  adalah:

$$S = 2710 / 0,95 = 2852,6 \text{ VA} = 2,85 \text{ kVA}$$

$$I = S / V$$

$$I = 2852,6 / 232 = 12,29 \text{ A}$$

$$Q = S \sin \theta$$

$$Q = 2852,6 \cdot 0,31 = 884,3 \text{ VAR} = 0,88 \text{ kVAR}.$$

Daya reaktif yang diperlukan adalah:

$$Q_c = Q_1 - Q_2$$

$$Q_c = 1,82 - 0,88 = 0,94 \text{ kVAR}.$$

Kapasitas kapasitor adalah:

$$X_c = 57,25 \text{ ohm}.$$

$$C = 49,7 \text{ } \mu\text{F}$$

#### V. KESIMPULAN

- Berdasarkan analisis sistem secara umum, dapat disimpulkan bahwa posisi ruang turbin dan IMAG masih jauh dari area banjir, sehingga tinggi jatuh (*head*) dapat ditingkatkan 1 meter. Dengan menambah tinggi jatuh

(head) dari 1,21 meter menjadi 2,21 meter, dapat meningkatkan daya potensial dari 26,378 Kilo Watt menjadi 48,178 Kilo Watt, dan daya terbangkit dari 12,5 kilo watt menjadi 22,82 kilo watt.

- Berdasarkan analisis beban harian, total arus beban utama (*main load*) ditambah dengan arus beban semu (*ballast load*) tidak selalu sama pada setiap waktu, hal ini berarti bahwa beban total yang dipikul oleh IMAG juga tidak selalu sama.
- Perubahan beban utama mempengaruhi tegangan dan frekuensi output dari IMAG, hal ini disebabkan karena pengontrol beban yang ada sekarang tidak bisa bekerja dengan baik dalam mengatur beban.
- Perbaikan faktor daya sampai dengan 0,95 untuk tiap-tiap fasa pada kedua unit IMAG dapat mengurangi daya semu (kVA), daya reaktif (kVAR) dan arus (I) pada IMAG sehingga dapat bekerja dengan lebih efisien.
- Untuk perbaikan faktor daya, kapasitor bisa dipasang paralel dengan panel distribusi. Untuk mengatasi *over compensation* akibat perubahan beban maka perlu dipasang alat pengatur faktor daya atau APFR (*automatic power factor Regulator*).

#### REFERENSI

- [1] Bhim Singh and V. Rajagopal, Electronic Load Controller For Islanded Asynchronous Generator In Picohydro power Generation, *Indian Institute of Technology Delhi*.
- [2] Bucur Luștea dan Ioan Borlea, Aspects of asynchronous generators parallel operation, "*Politehnica*" University of Timișoara, Romania .
- [3] Fauzan, 2012, "Studi perbaikan Faktor Daya Beban Induktif dengan Kompensator Reaktif seri menggunakan saklar pemulih energi magnetik". Tesis Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi UGM.
- [4] Fathy M.M.Bassiouny, Performance Analysis of Self Excited Induction Generators, Department of Electronic Technology College of Technology at Dammam, K.S.A.
- [5] J. P. Ngoma Cand. Sc.(Eng), dkk .2008, Compensation of reactive power of asynchronous generator at small hydro power, *Energetics and electrical engineering, Haykosi npaii BHTV, 2008, № 2*.
- [6] Karim H. Youssef, dkk.(2008) A New Method for Voltage and Frequency Control of Stand-Alone Self-Excited Induction Generator Using PWM Converter with Variable DC link Voltage, *American Control Conferenc*
- [7] Khairul Amri, (2009), Kajian Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Sungai Air Kule Kabupaten Kaur, Program Studi Teknik Sipil Universitas Bengkulu
- [8] Nguyen Tung Linh dan Trinh Trong Chuong, Voltage stability analysis of grids connected wind generators, *Electric Power University dan Ha Noi University of Industry*
- [9] R. C. Bansal, 2005, Three-Phase Self-Excited Induction Generators: An Overview, *IEEE Transactions On Energy Conversion, VOL. 20, NO. 2*.
- [10] Rolf Widmer dan alex Arter, 1992, Village Electrification, *SKAT, Swiss Centre for Development Cooperation in Technology and Management*.
- [11] Shailendra Sharma and Bhim Singh, 2010. Performance Evaluation of Asynchronous Generator Based Islanded Wind Energy Conversion System , *16th National Power System Conference, 15th-17th December, 2010* .
- [12] Subramanian Kulandhaivelu dan K.K.RAY, 2011. Load Control of A 3-Ø Self-Excited Asynchronous Generator, *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), ISSN : 0975-5462 Vol. 3 No. 2 Feb 2011*.
- [13] Vlastimil Šantin, 2010, Mathematical Modelling Of Doubly-Fed Asynchronous Generator, *Intensive Programme "Renewable Energy Sources" , May 2010, Železná Ruda-Špičák, University of West Bohemia, Czech Republic*.
- [14] Wasimudin Surya S, Analisa Karakteristik Motor Induksi Sebagai Generator (MISG) Pada pembangkit listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMh), Jurusan Pendidikan Teknik Elektro UPI – Bandung..