

Perancangan beban komplemen pada PLTMH 1000 watt

Syahir Mahmud¹, Limbran Sampebatu²

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Makassar
Jalan Tanjung Alang No. 23, Makassar
Telp. (0411) 871038

e-mail : syahir@mut.co.id, elsampebatu@gmail.com

ABSTRAK

Pemakaian beban yang tidak menentu akan mengakibatkan frekuensi berubah dan membuat peralatan listrik (beban) mudah rusak. Perubahan beban sesuai permintaan beban konsumen ini sering terjadi pada PLTMH skala kecil. Sehingga penelitian ini menganalisis bentuk dan konfigurasi beban komplemen yang sesuai untuk digunakan pada PLTMH 1000 Watt guna mempertahankan putaran mesin PLTMH agar tetap konstan.

Penelitian ini menganalisis besaran perubahan permukaan plat metal yang dibutuhkan untuk mendapatkan beban senilai seratus watt. Jenis plat metal sebagai objek penelitian ini adalah plat stainless steel setebal satu mili meter yang dibuat berbentuk geometric segi empat. Plat metal tersebut disusun parallel satu sama lain dan diberi tegangan listrik kemudian dicelupkan dalam air secara bertahap sambil mengukur besar arus yang mengalir dalam rangkaian percobaan. Air yang digunakan adalah air PAM dan diperkaya dengan garam dapur hingga mencapai salinitas 0,05% gram/ml. Besar arus ini dikonversi menjadi daya yang mengalir ke dalam air. Hasil pengukuran ini dianalisis secara statistic sederhana untuk mendapatkan nilai daya (Watt) persatuan luas plat stainless steel.

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa rancangan beban komplemen secara praktis dapat digunakan untuk mengatasi perubahan beban PLTM 1000 Watt dengan sensitifitas beban 0,45A setara dengan luas permukaan elektroda 362 mm². Adapun jangkauan kemampuan beban komplemen hasil rancangan ini dari 80% sampai 2% beban PLTMH 1000 Watt. Dan tidak direkomendasikan untuk menggunakan elektroda satu kutub (single pole) karena akan berpotensi menimbulkan bahaya listrik disekitar tempat pemasangan PLTMH 1000Watt.

ABSTRACT

The use of erratic loads will result in frequency changes and make electrical equipment (loads) easily damaged. Changes in load according to the demands of consumer loads often occur in small-scale MHP. So this study analyzes the shape and configuration of the complement load that is suitable for use on a 1000 Watt MHP to maintain a constant rotation of the MHP engine.

This study analyzes the amount of change in the metal plate surface needed to get a load of one hundred watts. The type of metal plate as the object of this research is one milli meter stainless steel plate which is made in the form of a rectangular geometric. The metal plates are arranged in parallel with each other and given an electric voltage and then dipped in water gradually while measuring the amount of current flowing in the experimental circuit. The water used is PAM water and enriched with table salt to reach 0.05% gram / ml salinity. This large current is converted into power that flows into water. The results of this measurement are analyzed in simple statistics to get the power value (Watt) of the broad union of stainless steel plates.

The results show that the design of the complement load can be practically used to overcome changes in the 1000 Watt PLTM load with a load sensitivity of 0.45A equivalent to the electrode surface area of 362 mm². The range of the ability to complement the load of this design results from 80% to 2% of the 1000 Watt PLTMH load. And it is not recommended to use a single pole electrode (single pole) because it will potentially cause electrical hazards around the 1000Watt PLTMH installation site.

Keywords: PLTMH, design, complement load, metal plate

I. Pendahuluan

Energi merupakan kebutuhan pokok manusia. Sumber energi sekarang didominasi oleh sumber energi primer seperti minyak bumi, gas alam dan batu bara, padahal sumber energi primer tersebut semakin lama persediannya semakin menipis dan tidak dapat diperbaharui

oleh sebab itu dibutuhkan sumber energi alternatif untuk kehidupan yang akan datang. Salah satu sumber energi baru terbarukan adalah pemanfaatan arus laut dan dapat menggunakan turbin jenis Darreous-Savonius termodifikasi. Sumber energi lainnya yaitu pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH).

Pemilihan PLTMH sebagai sumber energi terbaharukan karena Indonesia kaya dengan potensi sumber daya air terlihat dari letak geografisnya. Mikrohidro adalah sumber pembangkit listrik terbatas yang memanfaatkan ketinggian aliran air pada level tertentu di sungai, yang kemudian digunakan untuk memutar turbin dan disambungkan ke generator, sehingga generator tersebut menghasilkan energi listrik yang dapat dimanfaatkan untuk sesuatu yang berguna. Dalam pembuatan mikrohidro diperlukan sebuah perancangan agar mikrohidro tersebut bekerja secara optimal, salah satunya yaitu mengatur putaran turbin generator dalam keadaan tetap agar tegangan dan frekuensi yang dihasilkan stabil. Tingkat performansi suatu sistem pembangkit listrik ditentukan oleh output hasil frekuensinya, terutama pembangkit listrik mikrohidro. Pemakaian beban yang tidak menentu akan membuat frekuensi berubah dan membuat peralatan listrik (beban) tersebut mudah rusak. Pengontrolan beban secara elektronik pada pembangkit listrik ini dapat meminimalkan kerusakan akibat frekuensi keluaran dari sistem distribusi yang tidak stabil, penggunaan kontrol beban secara elektronik lebih murah dibanding kontrol menggunakan governor, selain itu lebih ringkas dan praktis.

Pada turbin PLTMH skala kecil yang menggunakan generator induksi³ lebih praktis dilakukan pengaturan untuk mempertahankan putaran nominalnya, dalam arti bahwa generator dibebani dengan beban nominalnya sepanjang operasinya. Pembebanan demikian tidak menimbulkan perubahan frekuensi yang dapat merusak peralatan atau beban konsumen. Pengontrolan putaran turbin agar tetap konstan dapat dilakukan dengan mempertahankan beban nominalnya dengan cara menyediakan beban komplemen. Apabila beban generator bertambah maka beban komplemennya harus dilepas sesuai dengan besarnya penambahan beban. Namun apabila beban generator berkurang maka beban komplemen harus ditambahkan sebesar pengurangan beban yang keluar dari sistem pembangkit.

Pengaturan putaran mesin atau turbin PLTMH dapat dilakukan dengan menggunakan Electronic Load Control (ELC) yang akan mendeteksi perubahan beban untuk selanjutnya menentukan besar beban komplemen yang harus dimasukkan atau dilepaskan. Besaran beban komplemen ini harus dibuat sesuai besarnya tahapan-tahapan beban yang akan dilepaskan atau dimasukkan ke dalam sistem pembangkit.

Penelitian sebelumnya telah membuat design karakteristik turbin Darrieus-Savonius pada pemanfaatan arus laut menjadi energi mekanik, dilanjutkan dengan uji karakteristik turbin Darrieus-Savonius pada pemanfaatan arus laut yang diuji coba pada saluran air PDAM

Kota Makassar. Juga penelitian sebelumnya mengenai Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hydro berskala kecil yaitu 1000 Watt. Sehingga penelitian ini melengkapi PLTMH tersebut dengan sebuah ELC dan beban komplemen guna mendapatkan kinerja pembangkit yang stabil. Tahapan paling akhir adalah mendesign system control (ELC) agar system bisa berfungsi secara sempurna.

Masalah yang dihadapi para penggiat PLTMH skala kecil adalah bagaimana mengoperasikan PLTMH yang bebannya bervariasi mengikuti perubahan permintaan beban konsumen agar diperoleh putaran yang konstan guna memperoleh tegangan dan frekuensi yang konstan.

Pada penelitian ini dilakukan perancangan beban komplemen yang sesuai dengan PLTMH 1000 Watt. Beban komplemen berbahan plat stainless steel dibuat dengan berbagai macam bentuk dan konfigurasi yang bervariasi untuk mendapatkan yang terbaik dan sesuai dengan PLTMH 1000 Watt.

Manfaat dari penelitian ini adalah pengaplikasian teknologi sederhana untuk mendapatkan penyelesaian masalah bagi penggiat PLTMH skala kecil. Hasil penelitian secara keseluruhan dapat disosialisasikan kepada masyarakat luas khususnya bagi penggiat PLTMH skala kecil di daerah terpencil yang belum terjangkau oleh listrik Negara.

Penelitian ini akan menganalisis plat stainless steel sebagai elektroda beban komplemen dan air sebagai media resistansinya. Plat stainless steel yang digunakan berukuran tebal satu millimeter dengan bentuk segi empat dan dibuat konfigurasi berbagai jarak antara satu plat dengan plat lainnya dan atau berbagai variasi kedalaman pencelupan dalam air.

Tahapan penelitian yang telah dilaksanakan uji karakteristik turbin Darrieus Savonius termodifikasi¹ dan uji beban generator induksi. Banyak peneliti yang telah membuat berbagai macam beban komplemen dari berbagai macam bahan dan bentuk diantaranya coil perak dan yang lainnya. Dalam penelitian ini akan dilakukan perancangan beban komplemen dari bahan plat stainless steel dengan media air sebagai resistansinya yang nantinya akan diterapkan pada PLTMH skala kecil. Penelitian lanjutannya adalah merancang dan menguji coba ELC berdasarkan pengaturan arus dan pengaturan tegangan sebagai dasar controller untuk mengatur beban komplemen hasil rancangan penelitian ini.

II. Tinjauan Pustaka

Sebuah generator dalam operasinya dapat dibebani dengan beban yang bersifat resistif murni atau beban impedansi induktif-resistif. Beban resistif murni berupa lampu pijar, setrika, pamasak nasi (rice cooker) yang beroperasi

dengan power factor sama dengan satu. Sementara beban yang bersifat impedansi induktif-resistif dapat berupa lampu fluorocent, lampu led, pompa air dan lain-lainnya. Bagi masyarakat terpencil yang belum terjangkau oleh listrik Negara secara umum berkeinginan menggunakan listrik sebagai sumber cahaya mengingat sumber cahaya konvensional yang mereka gunakan umumnya berbasis minyak tanah yang butuh biaya dan waktu untuk mendapatkannya. Dari argument ini dapat dikatakan bahwa permintaan listrik bagi masyarakat terpencil dapat disediakan dengan PLTMH skala kecil dengan beban penerangan yang umum seperti lampu pijar, lampu sumpit (PL dan sejenisnya) atau lampu led yang power faktornya besar mendekati satu.

Sebuah PLTMH skala kecil dengan kapasitas 1000 Watt dapat dikontrol menggunakan beban komplemen yang sederhana dan terbuat dari plat stainless steel dengan media air. Media air merupakan bahan yang paling murah dan mudah didapat disekitar penempatan PLTMH skala kecil, dimensinya relative kecil, ringan dan dengan kapasitas daya yang besar.

Beban komplemen dalam dunia kelistrikan sering juga disebut sebagai dummy load. Alat ini merupakan suatu alat listrik yang berfungsi sebagai beban yang menyerap atau mengkonsumsi energy listrik⁵. Pada umumnya beban komplemen ini merupakan sebuah resistor besar yang terbuat dari berbagai macam bahan seperti lilitan tembaga, lilitan perak atau lempengan carbon. Dalam penggunaannya beban komplemen ini diberi tegangan sesuai dengan tegangan kerja alat atau pembangkit yang diuji. Tegangan kerja ini menyebabkan mengalirnya arus yang besar hingga mencapai nilai nominal alat yang diuji. Daya yang diserap oleh beban komplemen ini dibuang dalam bentuk panas pada lingkungan sekitarnya.

Pengendalian beban pada sistem PLTMH skala kecil merupakan suatu hal yang sangat sulit mengingat harga sistem kendalinya relative mahal dibandingkan dengan harga PLTMHnya sendiri. Seperti pada umumnya yang berlaku pada system pembangkit, PLTMH skala kecil juga mengalami perubahan parameter luaran sebagai konsekuensi perubahan beban dari konsumen. Luanan yang berubah tersebut adalah tegangan dan frekuensinya. Untuk mempertahankan parameter luaran tersebut dibutuhkan alat yang bisa mengatur besaran tertentu seperti arus eksitasi dan daya input pada PLTMH yang membutuhkan pengaturan tegangan dan frekuensi untuk mempertahankan kualitas luarannya. Dengan demikian pada suatu system PLTMH seharusnya dilengkapi dengan kendali parameter berpengaruh atau daya yaitu:

- a. Pengendali tegangan agar tegangan luaran tetap konstan pada berbagai kondisi

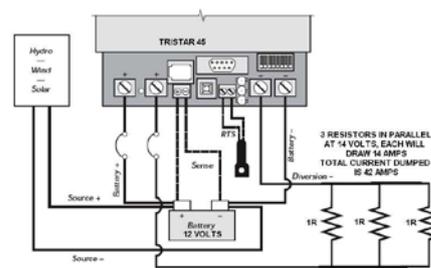
perubahan beban. Luran tegangan konstan dimaksudkan untuk menyelamatkan peralatan milik konsumen dan membuat nyaman bagi pengguna energi listrik. Adapun jenis alat yang digunakan sebagai pengatur tegangan agar tetap konstan disebut Automatic Voltage Regulator (AVR).

- b. Pengendali putaran agar prekuensi luaran tetap konstan pada berbagai kondisi perubahan beban oleh konsumen. Frekuensi konstan diharapkan untuk menghindari terjadinya kerusakan peralatan listrik khususnya peralatan listrik yang peka terhadap perubahan frekuensi seperti motor listrik yang sangat mempengaruhi putaran motor tersebut. Perubahan putaran motor ini sangat berpotensi menyebabkan kerusakan baik pada motornya sendiri maupun pada beban yang ditanggung oleh motor tersebut.
- c. Menjaga agar tidak ada kecepatan lebih pada saat beban generator kecil untuk menyelamatkan peralatan mekanik dan elektronik pada sisi pembangkit.

Pengendali daya yang dalam hal ini adalah mengendalikan putaran turbin agar frekuensi listrik yang dibangkitkan tetap konstan, secara umum dapat dibagi atas dua macam yaitu:

- a. ELC (Electronic Load Controller) atau DLC (Digital Load Controller) yang umum digunakan pada mesin sinkron.
- b. IGC (Induction Generator Controller) yang dipakai pada generator induksi.

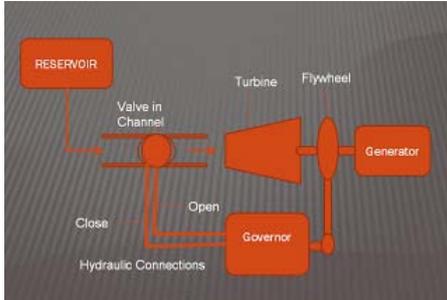
Pengontrolan dengan menggunakan ELC bertujuan agar besar daya yang dibangkitkan oleh generator selalu sama dengan kapasitas daya generator atau sesuai nilai (setelan) yang ditentukan. Besarnya daya ini adalah besar daya yang diserap oleh konsumen ditambah dengan daya yang dibuang ke beban komplemen (dummy load) sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 2.



Gambar 1. Diagram ELC

Governor didesain agar perputaran generator konstan dalam range yang dikehendaki dengan menambah atau mengurangi debit air yang masuk ke runner turbin untuk mempertahankan keseimbangan daya antara masukan daya (power input) dan

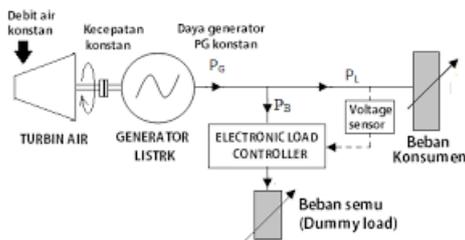
permintaan daya (power demand). Pada Gambar-3 dapat dilihat rangkaian kerja pembangkit listrik tenaga air dengan menggunakan governor. Kerugian dari sistem ini adalah ketidakmampuannya bereaksi cepat bila terjadi perubahan beban secara mendadak.



Gambar 2. Blok Diagram Governor PLTMH

II.1 Pengendalian PLTMH dengan ELC

Tujuan penggunaan ELC sebagai kendali adalah untuk mempertahankan frekuensi luaran dari generator tetap konstan. Pengendalian ini dilakukan dengan cara membagi keluaran daya generator menuju ke beban konsumen dan beban komplemen. Daya keluaran generator yang digunakan oleh konsumen berupa lampu penerangan, mesin-mesin listrik, pemanas, dan lain-lain sementara beban komplemen adalah beban yang menyerap energy listrik dan membuang ke alam sekitarnya dalam bentuk panas. Aliran daya antara generator, ELC, beban konsumen, dan juga beban komplemen dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Blok Diagram Pengendalian dengan ELC

Secara umum komponen ELC pada PLTMH terbagi atas 3 bagian seperti yang terlihat pada Gambar 3. Di dalam ELC tersebut terdapat komponen utama berupa sensor arus, rangkaian kendali atau control dan saklar elektronik yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

II.2 Sensor dan Rangkaian Kontrol

Sensor arus dan rangkaian kontrol berfungsi untuk mendeteksi perubahan arus beban yang dihasilkan generator sebagai akibat adanya perubahan beban konsumen. Perubahan arus pada beban konsumen langsung dibandingkan dengan harga referensi yang telah

ditentukan. Dan rangkaian kontrol akan memberikan aksi atas perubahan tersebut dengan mengaktifkan saklar elektronik untuk menutup dan menyambungkan beban komplemen ke generator.

II.3 Sakelar Elektronik

Berfungsi sebagai pemutus dan penghantar arus ke beban komplemen yang pengoperasiannya diatur oleh modul kontrol berdasarkan perubahan yang terjadi. Pengantaran dan pemutusan arus dilakukan secara elektronik yang lebih dikenal dengan istilah IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transmitter*). Modul kontrol digunakan dengan mendeteksi perubahan arus dan mengubahnya menjadi tegangan lalu mengaktifkan gate IGBT dengan perubahan arus yang terjadi. Sakelar elektronik tidak hanya dapat menggunakan IGBT, bisa juga menggunakan SCR, ataupun thyristor dan rangkaian elektronik lain yang sejenis.

II.4 Beban Komplemen.

Beban tambahan digunakan sebagai tempat pengalihan daya atas perubahan yang terjadi pada beban sebenarnya dengan tujuan untuk mempertahankan agar putaran generator konstan meskipun terjadi perubahan arus pada beban sebenarnya.

Penggunaan listrik oleh konsumen sangat bervariasi dan besarnya bisa berubah setiap saat. Debit air yang masuk ke inlet PLTMH konstan sebagai daya masukan turbin ke generator tidak mengalami perubahan sedangkan daya keluaran generator yang digunakan oleh konsumen berubah-ubah maka keseimbangan daya tidak akan tercapai. Hal ini akan mengakibatkan adanya perubahan kecepatan generator sehingga frekuensi akan berubah dengan sendirinya. Oleh karena itu, perlu ada penyesuaian antara beban generator dan daya masukannya dengan menempatkan beban penyeimbang di sisi keluaran generator. ELC dipasang di antara PLTMH dan beban konsumen seperti pada Gambar-4. ELC akan membagi arus beban dari generator secara proporsional ke beban yang sebenarnya dan beban komplemennya. Dengan menggunakan ELC maka PLTMH akan tetap bekerja pada beban nominalnya walaupun beban konsumen berubah-ubah. Besar beban total yang dihasilkan oleh generator dapat dilihat pada persamaan-1 berikut:

$$\text{Beban Generator} = \text{Beban Konsumen} + \text{Beban Komplemen} \quad \dots\dots\dots (1)$$

Untuk menentukan total kapasitas daya pada beban komplemen (P), dapat dilakukan dengan

cara mencari besar resistansi (R), yang berdasarkan pada persamaan 2 :

$$P = I^2 R \dots\dots\dots(2)$$

Untuk menghitung besarnya resistansi pada beban komplemen dapat dilakukan dengan dua cara yaitu:

- a. Menghitung besar resistansi dengan menggunakan beberapa tahapan beban komplemen yaitu menghitung resistansi beban komplemen dengan cara terlebih dahulu menentukan tingkat sensitifitas daya (Q) yang dapat diberikan oleh beban komplemen. Semakin banyak beban komplemen yang digunakan, maka tingkat sensitifitas beban komplemen akan semakin kecil. Jumlah resistor yang digunakan dapat menggunakan Persamaan 3:

$$n = \frac{P}{Q} \dots\dots\dots(3)$$

Dalam hal ini:

- n = jumlah tahapan beban komplemen
- P = Total beban komplemen yang harus disiapkan (Watt)
- Q = sensitifitas beban komplemen (Watt/tahap)

Dan besar resistor yang digunakan dapat dihitung dengan Persamaan-4

$$R = \frac{(V_{dc}^2)}{Q} \dots\dots\dots(4)$$

Yang dalam hal ini:

- R = Nilai resistansi beban komplemen (ohm)
- V_{dc} = Tegangan efektif luaran generator yang setara dengan tegangan arus searah (Volt).

- b. Menghitung resistansi beban komplemen dengan satu tahapan. Menghitung besar resistansi pada dummy load dapat menggunakan Persamaan-5 berikut:

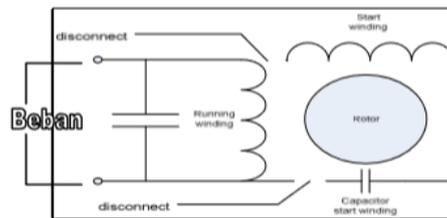
$$R = \frac{(V_{dc}^2)}{P} \dots\dots\dots(5)$$

Sistem pengendalian menggunakan ELC relatif murah. Pada saat beban ringan, kelebihan energi produksi PLTMH dibuang melalui beban komplemen yang kemudian dikonversi menjadi panas atau beban lainnya yang bersifat resistif

seperti pemanas air (water heater) atau pemanas udara (air heater). Besar kecilnya daya yang disalurkan ke beban tambahan dapat dilihat dari besarnya tegangan beban tambahan tersebut (tegangan beban komplemen). Semakin besar daya pada beban komplemen semakin besar pula tegangannya, dan sebaliknya jika tidak ada daya pada beban komplemen maka tegangan pada beban komplemen menjadi nol.

II.5 Motor Induksi sebagai Generator

Sebuah motor induksi type sangkar bajing (squirrel cage) satu fasa, 1,5 hp, 220 Volt, kecepatan nominal 1420 rpm, daya nominal (Pn)=1,11 kW, efisiensi (η)= 0%, faktor daya (cos Φ)=0.8 dapat digunakan menjadi Motor Induksi Sebagai Generator (MISG) untuk dibebani hingga 1000 Watt. Pada MISG yang bekerja *stand alone* diperlukan kapasitor untuk membangkitkan arus eksitasi. Gambar-5 memperlihatkan diagram pengawatan kapasitor pada motor induksi yang dioperasikan sebagai generator .



Gambar-5 Pemasangan Capacitor pada MISG

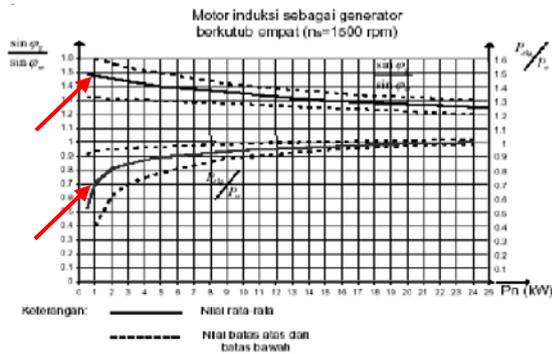
Daya keluaran motor induksi saat digunakan sebagai generator adalah:

$$Pelg = 0,7 * 1,11 \text{ kW} = 777 \text{ Watt} \dots\dots\dots(6)$$

Konstanta 0.7 diperoleh dari grafik perbandingan antara daya generator (Pelg) dengan daya nominal motor Pn adalah (Pelg/Pn) pada gambar 5, sehingga daya maksimum generator yang diijinkan adalah 777 Watt atau sekitar 70% daya nominal motor. Daya listrik masukan (Pin) saat motor induksi berfungsi sebagai generator adalah:

$$Pin = Pn / \dots\dots\dots(7)$$

$$Pin = 777/0,8 = 970 \text{ Watt}$$



Gambar- 6 Perbandingan P_{elg} dan P_n generator

Daya reaktif motor pada saat beban nominal adalah:

$$\cos \Phi = 0,8$$

$$\Phi = \arccos 0,8 = 36,87^\circ$$

Daya reaktif motor pada saat beban nominal adalah:

$$Q_m = P_{in} \tan \Phi = 970 \cdot \tan 36,87^\circ = 727 \text{ VAR}$$

Dengan menggunakan grafik pada Gambar 3 dapat diketahui rasio antara kebutuhan daya reaktif motor dan generator yang diwakili oleh perbandingan $\sin \Phi$, yaitu:

$$\frac{\sin \Phi_g}{\sin \Phi_m} = 1,46 \text{ (estimated)}$$

Maka kebutuhan daya reaktif generator adalah:

$$Q_g = 1,46 \times Q_m = 1,46 \times 727$$

$$= 1061,42 \text{ VAR}$$

Kapasitor yang ditambahkan pada motor yang difungsikan sebagai generator adalah:

$$C = \frac{Q_g}{V^2 2\pi f} = \frac{1061,42}{220^2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 6,98 \cdot 10^{-5} = 69,8 \mu\text{F}$$

Kapasitor dengan nilai $69,8 \mu\text{F}$ sulit diperoleh di pasaran, sehingga untuk mempermudah pengoperasian motor sebagai generator digunakan kapasitor dengan nilai $70 \mu\text{F}$.

III. Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental dan dilaksanakan di Laboratorium Terpadu Fakultas Teknik Universitas Atmajaya Makassar. Bentuk dan konfigurasi beban komplemen ini diuji coba dengan merendamnya dalam suatu wadah berisi air kemudian diberi tegangan 220 Volt hingga menghasilkan arus yang setara dengan seribu Watt. Panjang electrode yang menghasilkan arus setara dengan seribu watt tersebut dibagi menjadi sepuluh bagian yang setara dengan seratus watt yaitu tujuh milimeter. Langkah berikutnya beban komplemen diberi tegangan 220Volt dan dicelupkan kedalam cairan secara bertahap dengan ukuran tersebut di atas. Setiap

tahapan ini, arusnya diukur dan dicatat sampai mencapai panjang electrode maksimum. Pengukuran ini dilakukan dengan variasi jarak antara electrode. Hasil pengukuran ini di buatkan grafik arus sebagai fungsi panjang electrode untuk selanjutnya dinalisis guna memperoleh luasan electrode yang setara dengan seratus watt.

Adapun prosedur penelitian ini dilakukan beberapa langkah untuk mendapatkan hasil rancangan beban komplemen yang dapat digunakan pada PLTMH skala kecil sebagai berikut:

- Menentukan sensitifitas beban komplemen
- Besarnya beban yang dilepaskan yang kemudian disetarakan dengan besarnya beban komplemen yang akan diinjeksikan ke generator
- Membuat electrode berbentuk segi empat panjang sebagai beban komplemen.
- Bahan electrode dipilih dari bahan sisa pemasangan asesories LVTC (stainless steel plat). Kemudian dilakukan uji coba panjang celupan electrode yang setara dengan beban generator. Panjang celupan ini dibagi beberapa tahap dan diberi lubang dengan jarak yang setara dengan sensitifitas beban yang ditetapkan sebelumnya.
- Menyusun konfigurasi electrode dengan variasi jarak antar electrode.
- Konfigurasi electrode disusun sejajar dan diberi jarak variativ yaitu 20 mm, 30 mm dan 40 mm.
- Melakukan pengukuran arus yang mengalir pada beban komplemen yang dicelupkan dalam air guna mendapatkan daya persatuan luas dari beban komplemen pada setiap jarak atau tahapan (□ panjang electrode) yang setara dengan sensitifitas beban.
- Menentukan luas electrode yang bersesuaian dengan sensitifitas beban komplemen
- Analisis hasil pengukuran untuk mendapatkan kesimpulan.

IV. Hasil penelitian dan Pembahasan

Pada penelitian ini, dilakukan pengukuran arus yang mengalir antara dua electrode plat dari bahan stainless steel pada suatu resistansi yang medianya air bersalinitas. Ukuran electrode yaitu panjang 200 mm, lebar 20 mm dan tebalnya 0,65 mm. Bahan ini dipilih karena mudah didapat dipasaran tahan terhadap korosif. Penggunaan media air sebagai bahan resistansi merupakan upaya penggunaan bahan yang memang tersedia dimana PLTMH banyak digunakan. Hanya saja air yang secara umum mempunyai nilai resistifiti yang sangat besar (= 1,85 10⁸-mm) tidak dapat digunakan tanpa upaya rekayasa dengan cara menambahkan sedikit garam yang bertujuan sebagai katalisator untuk meningkatkan ion-ion bebas dalam air. Dalam penelitian ini digunakan air berkadar 0,05% gram garam dalam 1000 ml air. Hasil penelitian ini ditabulasi dan digambarkan dalam

bentuk grafik arus sebagai fungsi kedalaman elektroda dalam beberapa variasi jarak antara electrode.

Penelitian ini melakukan empat macam pengukuran besaran arus dengan variasi jarak antar elektroda dan variasi kedalaman elektroda yang tercelup dalam air. Jarak antar elektroda yaitu 20 mm, 30 mm, 40 mm dan sebuah elektroda satu kutub (single pole) sementara kedalaman elektroda yang tercelup ke dalam air bervariasi dari 1 mm sampai 78 mm dengan perubahan panjang elektroda yang terendam 7 mm dengan menetapkan sensitifitas kompensasi 100 Watt persatu tahapan beban komplemen.

Untuk menentukan panjang total elektroda yang harus terendam dalam air yang setara dengan kapasitas generator yang akan dikompensasi dilakukan dengan cara mencelupkan elektroda secara perlahan kedalam air pada tegangan elektroda 220 VAC hingga dicapai besar arus yang mengalir 4,55A atau setara dengan 1000 Watt. Pada percobaan awal ini dipilih jarak antar elektroda adalah 40 mm.

Diperoleh panjang total elektroda yang tercelup adalah 70 mm dan menghasilkan arus 4,55 Amper setara 1000 Watt. Dengan demikian dapat ditentukan tahapan kompensasi 100 Watt pertahap adalah 7 mm. Dari uraian diatas dilakukan percobaan pengukuran dan diperoleh hasil pengukuran sebagaimana dinyatakan pada lampiran dan dibahas pada bagian berikut laporan ini. Air yang digunakan adalah air PAM yang diperkaya dengan zat garam dapur dengan konsentrasi 0,05%.

Pengukuran arus elektroda terhadap perubahan kedalaman celupan elektroda di air dilakukan seperti diperlihatkan pada Gambar-6 berikut ini. Hasil pengukuran arus dan kedalaman celupan elektroda dilakukan dengan

konfigurasi jarak antar dua elektroda 20 mm, 30 mm, 40 mm dan elektroda satu kutub.



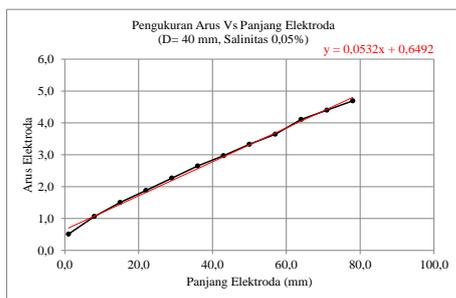
Gambar-6. Setelan kedalaman elektroda 2 mm pada jarak 20 mm

Pengukuran pada setiap konfigurasi dilakukan minimum 72 kali pengukuran (konfigurasi elektroda satu kutub) dan maksimum 144 kali pengukuran (konfigurasi jarak antar elektroda 40 mm). Masing-masing hasil pengukuran dari setiap konfigurasi dibuatkan persamaan regresi untuk mendapatkan hubungan antara kedalaman celupan elektroda dan besarnya arus yang mengalir pada elektroda beban komplemen. Dari persamaan regresi ini dihitung kembali panjang elektroda yang tercelup yang setara dengan besar arus 0,45 Amper yang sebelumnya ditetapkan sebagai sensitifitas beban komplemen. Hasil perhitungan untuk keempat konfigurasi tersebut dinyatakan dalam Tabel-1 berikut.

Sebagai contoh diperlihatkan data rerata hasil pengukuran sebagaimana dinyatakan dalam Tabel-1 dianalisis dan diperoleh beberapa penjelasan sebagai berikut.

Tabel-1 Rerata Arus Vs Panjang Elektroda (Jarak Elektroda 40 mm, Salinitas 0,05% gr/ml)

Rerata Arus Elektrode (A)	0,51	1,06	1,5	1,88	2,27	2,65	2,97	3,33	3,65	4,11	4,40	4,69
Panjang Elektrode yang Tercelup (mm)	1,0	8,0	15,0	22,0	29,0	36,0	43,0	50,0	57,0	64,0	71,0	78,0



Gambar-7. Rerata Arus Vs Panjang Elektroda dengan Jarak Elektroda 40 mm

Dari Tabel-1 di atas dibuat grafik hubungan antara rerata arus dengan panjang elektroda tercelup kedalam air sebagaimana dinyatakan pada Gambar-7.

Dari grafik pada gambar-7 di atas diperoleh persamaan regresi yang menyatakan hubungan arus elektroda dan panjang elektroda yang tercelup kedalam air dengan persamaan regresi :

$$y=0,0532x+0,6492 \dots\dots\dots (8)$$

dalam hal ini, y adalah arus elektroda dan x adalah panjang elektroda yang tercelup kedalam air.

Dengan menggunakan persamaan 8 diperoleh hasil sebagaimana dinyatakan dalam Tabel-1 baris ke-enam. Dari Tabel-1 ini dapat dijelaskan bahwa apabila generator kehilangan beban sebesar 0,45A (yang dipilih sebagai sensitifitas beban komplemen) berarti beban komplemen harus mengambil alih beban tersebut. Namun konsekwensi dari pemilihan persamaan regresi yang diperoleh menyebabkan tidak mungkin didapat karena bernilai negative. Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada kondisi ini terjadi ketidak linearan hasil pengukuran.

Berdasarkan kenyataan tersebut di atas, maka dipilih beban komplemen terkecil yang bisa diberikan oleh alat ini adalah 2 kali sensitifitas beban komplemen atau setara dengan 0,9 A. Selanjutnya setiap tahapan perubahan arus sebesar nilai sensitifitasnya masih dapat dilayani oleh beban komplemen ini sampai pada nilai satu dari terakhir yaitu 4,5 Amper. Pada tahapan akhir yaitu 0,05 Amper membutuhkan perubahan luasan yang setara dengan panjang elektroda 0,9 mm sudah sulit untuk diakomodir oleh beban komplemen ini.

Dari hasil perhitungan ini terlihat bahwa beban komplemen dapat melayani perubahan beban generator 1000 Watt dengan baik dalam

batas kehilangan beban sebesar 0,9 Amper atau 20% dari beban nominalnya sampai dengan 98,9% beban nominalnya atau setara 4,5 Amper.

Pada saat generator 1000Watt kehilangan beban sebesar 0,9 Amper maka elektroda beban komplemen harus diaktifkan atau dicelupkan kedalam air sebesar 4,7 mm atau setara dengan 207,7 mm². Selanjutnya setiap terjadi perubahan beban generator tersebut sebesar 0,45 Amper maka elektroda beban komplemen akan diubah sepanjang 8,5 mm atau setara dengan 362 mm².

Dari data hasil analisis dan perhitungan pada Tabel-2 dapat ditentukan pilihan jenis elektroda terbaik yang dapat digunakan pada pembangkit PLTMH 1000Watt.

Dari tiga pilihan alternative konfigurasi elektroda beban komplemen yaitu 20 mm, 30 mm dan 40 mm diperoleh jarak elektroda terbaik adalah 40 mm dengan pertimbangan bahwa memindahkan atau mengatur tahapan beban komplemen yang berjarak besar (8,5 mm > 7,4 mm) mempunyai potensi error yang lebih kecil dibandingkan dengan yang berjarak kecil seperti 7,4 mm atau 5,0 mm.

Tabel 2. Resume Hasil Penelitian Kesetaraan Luas PenampangElektroda terhadap Daya 100 watt

RESUME HASIL PENELITIAN
KESETARAAN LUAS PENAMPANG ELEKTRODA TERHADAP DAYA 100 WATT
(Salinitas Air 0,05%)

Sensitifitas Beban Komplemen (Amp)	-	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45		Δ Panjang Elektrode (mm)	Luas Penampang Elektroda (mm ²) setara 100W
Arus Beban Generator (Amp)	3,65	3,20	2,75	2,30	1,85	1,40	0,95	0,50	0,05	0,05	0,05		
Arus Beban Komplemen (Amp)	0,90	1,35	1,80	2,25	2,70	3,15	3,60	4,05	4,50	4,55			
Panjang Elektrode Terbenam (mm) - Jarak 20 m m	2,1	7,1	12,1	17,1	22,1	27,1	32,1	37,1	42,1	42,6	5,0	220	
Panjang Elektrode Terbenam (mm) - Jarak 30 m m	1,6	9,0	16,4	23,8	31,3	38,7	46,1	53,5	61,0	61,8	7,4	320	
Panjang Elektrode Terbenam (mm) - Jarak 40 m m	4,7	13,2	21,6	30,1	38,5	47,0	55,5	63,9	72,4	73,3	8,5	362	
Panjang Elektrode Terbenam (mm) 1 Pole	1,2	4,1	7,0	9,9	12,8	15,7	18,6	21,5	24,4	24,7	2,9	133	

Luas permukaan elektroda yang tercelup pada setiap tahapan dalam batas linearnya adalah 362 mm² atau setara dengan perubahan panjang elektroda yang tercelup kedalam air adalah 8,4 mm².

Penggunaan elektroda satu kutub (single pole) tidak direkomendasikan karena akan berpotensi menimbulkan bahaya kecelakaan listrik di sekitar pemasangan PLTMH 1000Watt, karena salah satu kutubnya harus dicelupkan kedalam air.

V. Kesimpulan

Dari pembahasan pada bagian sebelumnya ditentukan kesimpulan hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

Hasil rancangan beban komplemen secara praktis dapat digunakan untuk mengatasi perubahan beban PLTM 1000 Watt dengan sensitifitas beban 0,45A setara dengan luas permukaan elektroda 362 mm²

Jangkauan kemampuan beban komplemen hasil rancangan ini dari 80% sampai 2% beban PLTMH 1000 Watt

Tidak direkomendasikan untuk mengkompensasi beban PLTMH kurang dari 20% dan kurang dari 2%

Tidak direkomendasikan untuk menggunakan elektroda satu kutub (single pole) karena akan berpotensi menimbulkan bahaya listrik disekitar tempat pemasangan PLTMH 1000.

Daftar Pustaka

1. Syahir Mahmud dkk, 2014. Desain Dan Uji Karakteristik Turbin Darrieus-Savonius Pada Proses Pemanfaatan Arus Laut Menjadi Energi Mekanik. Makassar. 2014
2. Inggih Surya Permana dkk, Rancang bangun pengontrolan beban secara elektronik pada pembangkit listrik, 2010.
3. Machmud Effendi, Rancang Bangun Motor Induksi Sebagai Generator pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohydro. 2009
4. Katie Wright, Bird Electric Corp, Dummy Load and smart choise, Techspeak2005.
5. SSP_JI-05, version 1.0, Produced by the Fre e Range Salvage Server Project. January 2005
6. Hugh Piggots, Using a high power resistor as a dump load, 2010 <http://scoraigwind.co.uk/using-a-high-power-resistor-as-a-dump-load/>
7. Mechanical Governer Controlled Micro Hydro Power plant-Schematic 2010, <http://mechgovernor-giki.blogspot.com/2010/10/mechanical-governer-controlled-micro.html>
8. https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jis/article/download/2387/pdf_2
9. Chapallaz, 2002, J.M., J.Dos Ghali, P. Eichenberger, G. Fisher, Manual on Induction Motors Used as Generators, GTZ, Eschborn