

Pengendalian Beban Generator Otomatis Berbasis PLC dan SCADA dengan Mempertimbangkan Arus pada Konsumen

Anton^a, Tuti Angraini^a dan Muhammad Ikhsan^b.

^a*Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Padang*

E-mail: anton.poli2000@gmail.com

^b*Alumni Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Padang*

ABSTRAK

Pengendalian pembangkit listrik Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMh) pada umumnya menggunakan perangkat Electronic Load Controller (ELC), yang memiliki beberapa kekurangan, antara lain kestabilan yang masih kurang dan harus dilakukan pemantauan secara berkala. Dengan adanya kelemahan tersebut pada penelitian ini dibuatlah alat pengendali beban generator menggunakan Programmable Logic Control dan Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA). Penelitian ini menggunakan beban complement yang dibutuhkan pada generator pembangkit listrik agar perubahan dari beban konsumen tidak mempengaruhi tegangan dan frekuensi dengan mempertahankan nilai arus set point yang telah didapatkan sebelumnya. Hasil Penelitian menunjukkan pemakaian sensor Arus, dapat mendeteksi perubahan arus untuk mengalihkan ke beban komplemen, sehingga dapat mempertahankan tegangan stabil 220,1 Volt sampai 223,1 volt.

Kata kunci

Pengendalian beban generator, PLC, SCADA dan Sensor Arus.

I. PENDAHULUAN

Mikrohidro tidak saja dapat memenuhi kebutuhan listrik untuk penerangan, tetapi juga dapat digunakan untuk menunjang kegiatan produktif skala kecil seperti pengolahan hasil pascapanen dan industry kerajinan rakyat. Energi yang ramah lingkungan dan energi yang mampu menjadi pemicu sekaligus katalis pertumbuhan ekonomi pedesaan merupakan sinergi dari menjaga lingkungan, melestarikan hutan dan daerah tangkapan air (*catchment area*) tanpa membuat masyarakat menjadi terbelakang. Sudah seyogyanya potensi mikro hidro ini dimanfaatkan seoptimal mungkin dengan mempertimbangkan beberapa aspek, antara lain aspek teknis, lingkungan, ekonomi dan sosial guna mewujudkan pemerataan energy listrik didesa tertinggal dan terpencil.[1]

Pusat Listrik Tenaga Mikro-hydro (PLTMh) adalah pusat yang memanfaatkan aliran air untuk menghasilkan tenaga listrik. Dalam menstabilkan aliran listrik yang dihasilkan oleh generator, perlu dilakukan sebuah pengontrolan penggunaan beban pada generator. PLTMh yang ada pada saat ini hanya menggunakan pengontrolan dengan perangkat elektronik yang memiliki beberapa kelemahan antara lain: kestabilannya yang masih kurang baik dan harus dilakukannya pemantauan pada PLTMh secara langsung dan terus menerus, sehingga akan membutuhkan biaya dan tenaga yang sangat banyak.[2]

Dengan adanya kelemahan tersebut, maka dilakukanlah pembaharuan dan pengembangan yang diharapkan bisa mengontrol PLTMh secara otomatis dengan system control beban dari generator tersebut menggunakan PLC, sertamungkinkan PLTMh tersebut dapat di monitoring dari jarak jauh menggunakan scada, sehingga dapat menghemat dari segi waktu dan biaya, serta dari beban yang tidak terpakai atau beban berlebih dapat dialihkan ke beban komplemen sehingga Tegangan dan frekuensi *output* tetap stabil.

II. TEORI DASAR

2.1 Generator

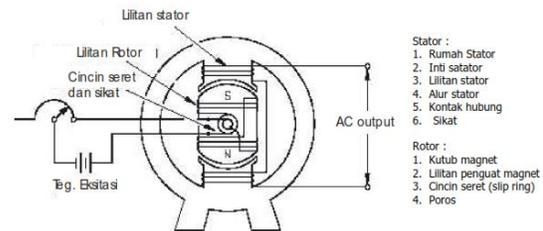
Generator arus bolak-balik berfungsi mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik arus bolak-balik. Generator Arus Bolak-balik sering disebut juga sebagai alternator, generator AC (alternating current), atau generator sinkron. Dikatakan generator sinkron karena jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator. Kecepatan sinkron ini dihasilkan dari kecepatan putar rotor dengan kutub-kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada stator. Mesin ini tidak dapat

dijalankan sendiri karena kutub-kutub rotor tidak dapat tiba-tiba mengikuti kecepatan medan putar pada waktu sakelar terhubung dengan jala-jala.[3] Generator arus bolak-balik dibagi menjadi dua jenis, yaitu:[3]

- a. Generator arus bolak-balik 1 fasa
- b. Generator arus bolak-balik 3 fasa

Konstruksi Generator Arus Bolak-balik

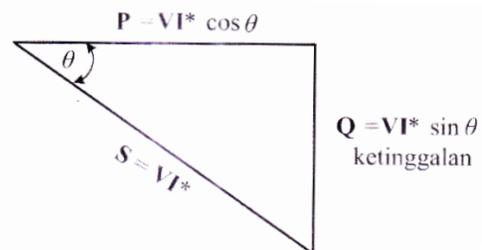
Konstruksi generator arus bolak-balik ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu: (1) stator, yakni bagian diam yang mengeluarkan tegangan bolak balik, dan (2) rotor, yakni bagian bergerak yang menghasilkan medan magnet yang menginduksikan ke stator. Stator terdiri dari badan generator yang terbuat dari baja yang berfungsi melindungi bagian dalam generator, kotak terminal dan *name plate* pada generator. Inti Stator yang terbuat dari bahan ferromagnetik yang berlapis-lapis dan terdapat alur-alur tempat meletakkan lilitan stator. Lilitan stator yang merupakan tempat untuk menghasilkan tegangan. Sedangkan, rotor berbentuk kutub sepatu (*salient*) atau kutub dengan celah udara sama rata (rotor silinder). Konstruksi dari generator sinkron ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Konstruksi Generator AC 1 Fasa.

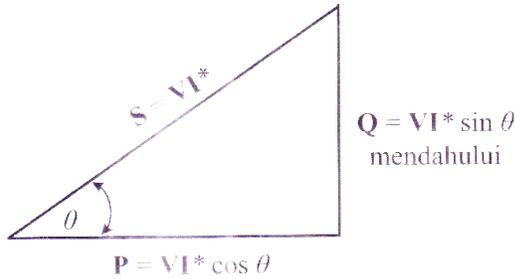
2.2 Segitiga Daya

Segitiga daya adalah sketsa daya kompleks, daya reaktif, dan daya aktif. Gambar 2 adalah sketsa dari segitiga daya yang bersifat induktif dengan sudut antara daya kompleks dan daya aktif adalah θ . [5]



Gambar 2. Segitiga Daya yang Bersifat Induktif.[5]

Untuk sketsa dari segitiga daya yang bersifat kapasitif dengan sudut antara daya kompleks dan daya aktif adalah θ adalah seperti Gambar 3.[5]



Gambar 3. Segitiga daya yang bersifat reaktif.

Jadi komponen-komponen segitiga daya dapat ditulis sebagai berikut:[5]

Daya aktif:

$$P = VI \cos\theta = Re VI \dots\dots\dots(1)$$

Daya reaktif:

$$Q = VI \sin\theta = Im VI \dots\dots\dots(2)$$

Daya kompleks:

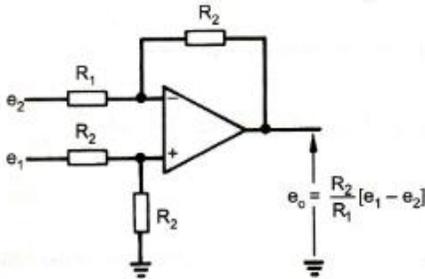
$$S = VI = VI \cos\theta - j VI \sin\theta = P - jQ \dots\dots(3)$$

Faktor daya (power factor):

$$p.f = \cos\theta \dots\dots\dots(4)$$

2.3 Rangkaian Penguat Differensial

Rangkaian pada gambar 4 memberikan gambaran prinsip kerja dari sebuah op-amp ideal yang beroperasi secara differensial sebagai sebuah pengurang.[9]



Gambar 4. Op-amp ideal sebagai pengurang.

Tegangan pada terminal masukan pembalik (dengan menggunakan prinsip superposisi) dirumuskan oleh persamaan berikut:[9]

$$e^- = e_2 \frac{R_2}{R_1 + R_2} + e_0 \frac{R_1}{R_1 + R_2} \dots\dots\dots(5)$$

$$e^+ = e_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} \dots\dots\dots(6)$$

Op-amp akan berkerja untuk memaksa agar $e^- = e^+$. Sehingga,

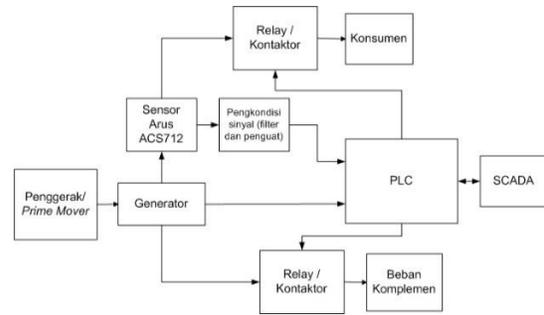
$$e_2 \frac{R_2}{R_1 + R_2} + e_0 \frac{R_1}{R_1 + R_2} = e_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} \dots\dots\dots(7)$$

atau,

$$e_0 = \frac{R_2}{R_1} (e_1 - e_2) \dots\dots\dots(8)$$

III. PERANCANGAN SISTEM

Agar dapat merancang suatu sistem dengan lebih baik, terlebih dahulu merancang blok diagram sistem yang akan dibuat. Blok diagram sistem yang akan dibuat diperlihatkan pada gambar 5.



Gambar 5. Blok Diagram Sistem Pengendalian Beban Generator

Blok diagram diatas dapat menjelaskan sistem kerja pengendalian beban otomatis menggunakan PLC dan SCADA. Pengerak/Prime Mover pada blok diagram diatas berfungsi untuk memutar generator penggerak diatas dapat berupa baling-baling angin, baling-baling air, mesin diesel, dan sebagainya. Namun dalam sistem kali ini digunakan motor listrik sebagai penggerak/Prime Mover. Motor listrik pemutar generator berputar dengan kecepatan yang stabil, kemudian putaran tersebut memutar generator sehingga dapat menghasilkan energi listrik. Energi listrik tersebut kemudian masuk ke sistem pengontrolan beban sebelum akhirnya siap dialirkan ke konsumen. Beban komplemen digunakan agar listrik generator tetap terpakai, karena jika tidak dipakai, maka tegangan dan frekuensi akan naik dan dapat membahayakan alat elektronik konsumen dan PLC pengendali beban komplemen tersebut.

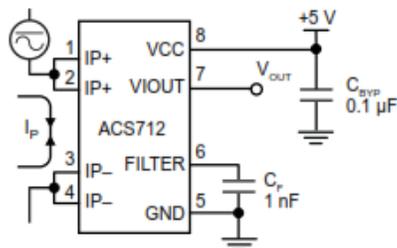
Agar dapat mengetahui seberapa besar beban yang harus dipakai, maka sebelumnya dilakukan pengujian untuk mendapatkan data *setpoint* arus yang akan digunakan. Nilai arus yang harus digunakan tersebut akan dipertahankan dengan beban komplemen. Sistem pengukuran arus menggunakan sensor ACS 712 20A yang telah diberikan pengkondisi sinyal agar tegangan hasil pengukuran yang keluar dari sensor arus tersebut dapat lebih besar dan dapat dibaca dengan mudah dengan modul ADC PLC XGB. Simpangan pengukuran yang lebih besar juga membuat pengukuran arus menjadi lebih presisi. Sensor arus ACS 712 20A digunakan untuk membaca pemakaian arus oleh konsumen, kemudian arus yang terpakai tersebut dikurangkan dengan arus *setpoint* untuk mengontrol beban komplemen sehingga pemakaian arus tidak kurang atau tidak lebih dari *setpoint* yang telah didapatkan dari hasil pengujian serta tegangan dan frekuensi dapat lebih stabil dan aman diterima oleh konsumen.

Sistem ini juga menggunakan SCADA untuk memonitor dan mengontrol sistem kontrol beban dan arus yang terpakai oleh konsumen, sehingga operator hanya perlu memonitor dan mengontrol

sistem pengendali beban generator pada komputer dengan jarak yang jauh serta memungkinkan dapat dikontrol dan dimonitor melalui web.

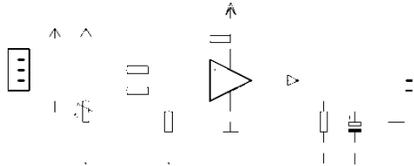
3.1 Sensor Arus ACS 712

Sensor arus ACS 712 20A merupakan sensor arus yang menggunakan medan magnet yang dihasilkan oleh aliran arus listrik atau yang disebut dengan *hall effect*. Medan magnet tersebut kemudian dikonversi menjadi tegangan searah yang variabel. Tegangan yang dihasilkan oleh sensor ACS 712 20A ini bervariasi tergantung pada arus yang mengalir pada jaringan listrik. Tegangan yang dihasilkan adalah 0V sampai dengan 4,8V dengan 0V adalah -20A, 4,8V adalah 20A dan untuk 0A tegangan keluarannya adalah 2,5V.



Gambar 6. Sensor Arus ACS 712 20A

Tegangan keluaran (hasil pembacaan arus) pada sensor arus ACS 712 20A ini berubah-ubah diatas 2,5V dan dibawah 2,5V ketika membaca arus pada tegangan AC. Hal inilah yang mengharuskan digunakannya rangkaian pengkondisi sinyal.



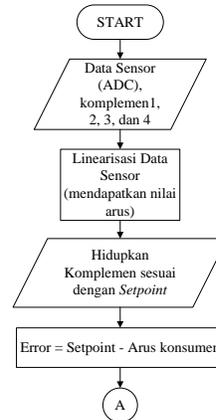
Gambar 7. Rangkaian Pengkondisi Sinyal Arus ACS 712 20A

Agar dapat membuat pembacaan arus pada 0A menjadi 0V maka digunakan rangkaian penguat differensial. Rangkaian ini akan menguatkan selisih kedua tegangan masukan sehingga sinyal/tegangan yang dikeluarkan pada rangkaian ini akan lebih kuat hingga 10V dan dapat dinolkan dengan menggunakan potensiometer untuk mengatur tegangan yang masuk ke gerbang negatif op-amp. Setelah rangkaian op-amp kemudian masuk ke rangkaian penyearah dan filter. Dioda yang digunakan adalah dioda yang dapat menerima frekuensi tinggi yaitu dioda 1N4148. Sinyal keluaran dari rangkaian penguat differensial akan disearahkan lalu difilter menggunakan kapasitor agar pembacaannya lebih halus. Resistor digunakan R9, digunakan untuk mengosongkan tegangan yang

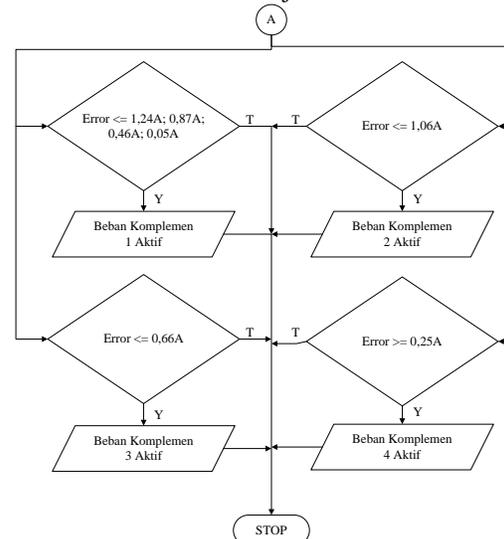
ada pada kapasitor sehingga apabila terjadi penurunan arus maka tegangan output pengkondisi sinyalpun akan menurun dengan cepat. Tegangan output yang terkondisi inilah yang akan dialirkan ke modul ADC pada PLC XGB.

3.2 Algoritma Program

Flowchart sistem kerja program (algoritma pemograman) dari sistem pengendalian beban generator otomatis ditampilkan pada gambar 8 dan 9 di bawah ini.



Gambar 8. Flowchart Kerja Sistem



Gambar 9. Flowchart Kerja Sistem (lanjutan)

Dari flowchart diatas dapat dijelaskan sistem kerja dari sistem pengendalian beban generator otomatis ini sebagai berikut:

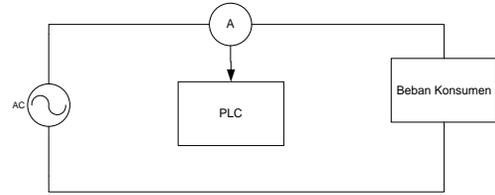
- A. Sebelum sistem dihidupkan, dipastikan dahulu generator telah berputar pada kecepatan yang stabil. Setelah generator berputar pada kecepatan stabil, sistem dihidupkan. Kemudian sistem akan langsung menghidupkan beban komplemen sesuai dengan *setpoint* yang didapatkan sebelumnya selama 5 detik sehingga tegangan generator

akan turun menjadi 220VAC. Tegangan tersebut sudah aman untuk sistem dan konsumen.

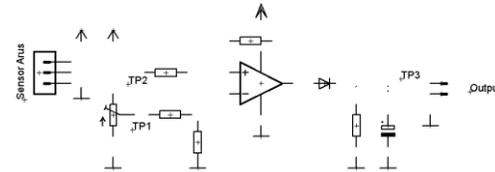
- B. Setelah 5 detik, kontaktor/relay yang memutus-hubungkan aliran listrik ke konsumen diaktifkan. Konsumen memakai aliran listrik dan menambah beban generator. Pemakaian listrik ini akan menambah besar arus yang melewati sensor arus sehingga tegangan keluaran pada sensor tersebut juga akan naik. *Output* sensor tersebut masuk ke pengkondisi sinyal dan selanjutnya masuk ke modul analog (adc) pada *channel* 0 (CH-0). Tegangan *output* sensor arus yang masuk ke *channel* 0 tersebut kemudian dikonversi menjadi data adc dengan range 0-4000 yang mewakili tegangan 0-10V. Data adc tersebut kemudian dilinearisasi sehingga didapatkan nilai arus yang sebenarnya.
- C. Pemakaian listrik generator mengakibatkan beban bertambah sehingga menyimpang dari *setpoint* yang selanjutnya disebut sebagai error. Nilai error didapatkan dari selisih dari *setpoint* dan arus yang mengalir ke konsumen.
- D. Nilai error dijadikan sebagai referensi dalam mengaktifkan beban komplemen sesuai dengan yang dijelaskan pada bagian sebelumnya yaitu perancangan beban komplemen.

IV. PENGUJIAN DAN HASIL
4.1 Pengujian Sensor Arus

Pembacaan arus dilakukan dengan melewati aliran listrik dari generator ke konsumen melalui sensor arus ACS 712. Sensor ini berkerja dengan membaca *hall effect* yang terjadi akibat aliran arus yang melalui sensor arus tersebut dan kemudian sensor ini akan mengeluarkan tegangan variabel sesuai dengan nilai arus yang mengalir di sensor tersebut. Kemudian tegangan tersebut masuk ke pengkondisi sinyal untuk dikuatkan dan difilter. Pengujian sensor arus dilakukan pada tegangan 220 VAC menggunakan listrik rumah dari beban 0W hingga 350W. Pengujian sensor arus dan rangkaian pengkondisi sinyal dilakukan berdasarkan gambar 10 dan gambar 11 dibawah ini:



Gambar10. Pengujian Sensor Arus dan Rangkaian Pengkondisi Sinyal



Gambar11. Titik Pengukuran Sensor Arus dan Rangkaian Pengkondisi Sinyal

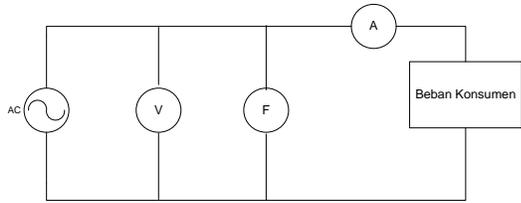
Berikut ini merupakan hasil pengukuran rangkaian sensor tegangan dengan menggunakan multimeter, tang amper, dan pengamatan pada data PLC

Table 1. Hasil pengukuran Sensor Arus dan Rangkaian Pengkondisi Sinyal

Tegangan (VAC)	Beban (W)	Arus (A)	TP1 (VDC)	TP2 (VDC)	TP3 (VDC)
220	0	0	1,16	2,47	0,4
220	50	0,15	1,16	2,48	0,45
220	100	0,34	1,16	2,48	0,55
220	150	0,54	1,16	2,48	0,68
220	200	0,74	1,16	2,48	0,78
220	250	0,94	1,16	2,49	0,9
220	300	1,14	1,16	2,49	1
220	350	1,34	1,16	2,49	1,1

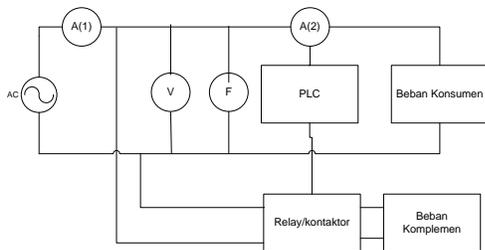
4.2 Pengujian Hubungan Beban Tanpa dan Menggunakan beban komplemen dan PLC

Pengujian beban generator tanpa menggunakan PLC ini adalah untuk membuktikan dan membandingkan pengendalian beban generator dengan menggunakan PLC. Pengujian ini dilakukan langsung dari generator ke beban konsumen tanpa beban komplemen. Pengujian dilakukan dari beban tertinggi (350W) hingga beban terendah yang masih aman untuk lampu pijar (150W) seperti pada gambar 12 dibawah ini.



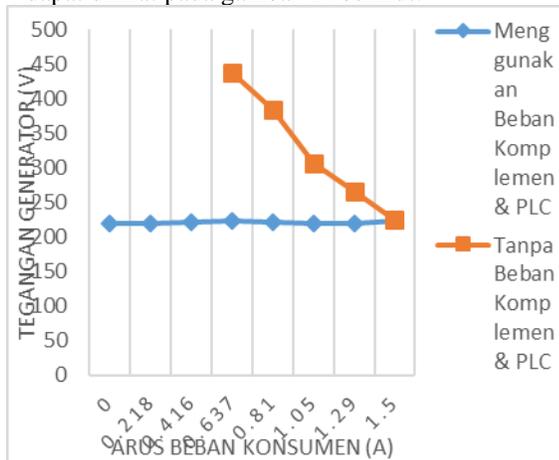
Gambar. 12 Pengujian beban secara langsung

Pengujian alat pengendali beban generator menggunakan PLC ini adalah untuk mengamati apakah sistem dapat bekerja dengan baik. Pada pengujian ini dilakukan pengukuran tegangan, arus, dan frekuensi PLC dengan menggunakan beban konsumen 0W hingga 350W dan beban komplemen 350W. Gambar 13 menjelaskan sistem pengujian alat secara keseluruhan.



Gambar 13. Pengujian alat Menggunakan PLC

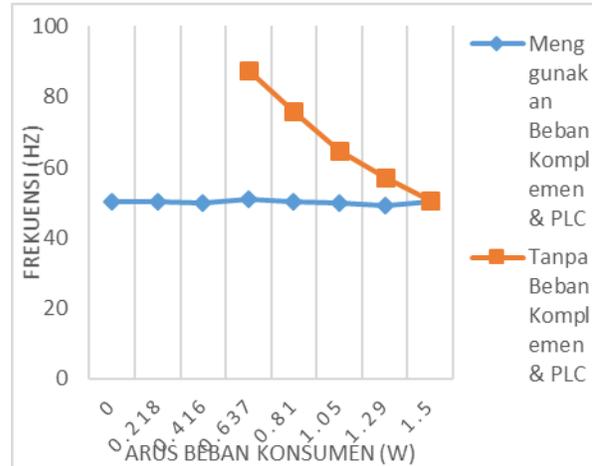
Perbandingan antara menggunakan PLC dan tanpa PLC dalam mengatur beban generator ini dapat dilihat pada gambar 14 berikut.



Gambar 14. Grafik Tegangan Generator Terhadap Arus Beban Konsumen Menggunakan PLC Dan Tanpa PLC.

Berdasar kangambar 14, terlihat jelas perbedaan antara pengendalian beban generator menggunakan PLC dan tanpa menggunakan PLC. Tanpa menggunakan PLC tegangan generator akan konstan pada 220V hanya saat generator mengalirkan arus ke beban sebesar 1,5 A atau pada saat terbebani 350W dan saat arus beban berkurang maka tegangan generator ini akan naik hingga

tegangan generator di tingkat yang sangat membahayakan beban lampu pijar, berbeda halnya dengan menggunakan PLC, tegangan generator akan tetap konstan terhadap perubahan arus beban konsumen. Sedangkan untuk perubahan frekuensi dapat dilihat pada gambar 14 berikut.



Gambar 14. Grafik Frekuensi Terhadap Arus Beban Konsumen Menggunakan beban komplemen dan PLC dan Tanpa beban komplemen dan PLC.

V. KESIMPULAN

Pada bagian terakhir ini penulis mengambil beberapa kesimpulan dari perancangan, pengujian, simulasi, analisa, serta aplikasinya, yaitu:

1. saat beban yang berlebih dari pemakaian konsumen dapat dialihkan pada beban *complement*, sehingga beban total pada generator akan tetap stabil.
2. Tegangan akan cenderung konstan jika beban komplemen generator dikontrol PLC, tegangan berkisar 220,3 V sampai 223,1 V.
3. Jika arus generator kurang dari arus *setpoint* maka tegangan dan frekuensi generator akan naik.
4. Tegangan dan frekuensi turun ketika diberi beban selain lampu pijar 2x25W dan 100W.
5. Pada saat beban komplemen generator tidak dikontrol oleh PLC, tegangan akan konstan 220V hanya pada saat generator terbebani 350 watt.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PS, Widodo. 2012. "Pembangkit Listrik dengan Potensi Sumber Energi Setempat sebagai Wujud Pemerataan Energi Listrik di Desa Tertinggal dan Terpencil (Studi Kasus di Desa

- Munggu Kecamatan Ngabang, Kabupaten Landak)”. *Jurusan teknik mesin*, 8(3):151 – 164.
- [2] Hardiansyah.,EkaFirmansyah., dan M Isnaeni BS. 2012. “Pengendalian Beban Generator Secara Otomatis dengan Algoritma PID Pada PLTMH Berbasis PLC”. *Jurnal Teknologi*, 5(2): 114-121.
- [3] Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan. 2003. *Teori Dasar Generator*. Yogyakarta: Departemen Pendidikan Nasional.
- [4] Nahvi, Mahmood., Joseph Edminister. 2011. *Schaum’s Outline Teori dan Soal-soal Rangkaian Listrik*. Terjemahan oleh Gunawan Prasetyo, Wiwit Kastawan. Jakarta: Erlangga.
- [5] Cekdin, Cekmas., Taufik Barlian. 2013. *Rangkaian Listrik*. Edisi 1. Yogyakarta: Andi.
- [6] Apriyadi, Reno. 2013. “Pengendali Beban PLTMH Secara Otomatis Berbasis PLC dan Scada”. *Tugas Sarjana*. Padang: Teknik Elektro Politeknik Universitas Andalas.
- [7] Rakhmawati, Renny. 2010. “Design Of Var, Watt, Pf Digital Metre Single Phase”. *Jurnal Teknologi*,10(2): 60-114.
- [8] Jufri, Hilman HR., Nasruddin M.N., Bisman P. 2011. “Rancang Bangun Alat Ukur Daya Arus Bolak-Balk Berbasis Mikrokontroler Atmega 8535”. *Jurnal Teknologi*, 2(1):1-9.
- [9] Clayton, George., Steve Winder. 2005. *Operational Amplifiers*. terjemahan olhe Wayan Santika. Jakarta: Erlangga