

Perancangan Sistem Kontrol Penstabil Tegangan Menggunakan PLC M221 Pada PLTMH Bintang Asih

Rimbawati¹, Cholish², Eko Saputro¹, Partaonan Harahap¹

¹ Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Jl. Kapten Mochtar Basri No.3, 20238 Medan Sumatera Utara, Indonesia

² Politeknik Negeri Medan

Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, 20155 Kota Medan, Sumatera Utara, Indonesia

e-mail: rimbawati@umsu.ac.id

Abstrak— Pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro kestabilan tegangan merupakan faktor penting yang harus diperhatikan. Penelitian ini melakukan perancangan alat penstabil tegangan menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC) TM221ME16R dengan sistem komparasi. Beban komplemen yang digunakan berupa lampu pijar dan *heater*. Beban komplemen berfungsi sebagai penstabil tegangan apabila beban konsumen berubah-ubah sehingga tidak mempengaruhi tegangan dan frekuensi dengan mempertahankan nilai arus yang telah ditentukan. Penggunaan sensor arus bertujuan untuk mendapatkan atau mendeteksi perubahan arus pada beban konsumen dan mengalihkannya ke beban komplemen. Penggunaan sensor tegangan digunakan untuk mendeteksi terjadinya drop tegangan 190 Volt atau tegangan berlebih 250 Volt. Pada saat terjadinya drop tegangan 190 Volt maka penggunaan daya pada beban konsumen dialihkan sepenuhnya ke beban komplemen untuk menaikkan tegangan yang dihasilkan generator menjadi 220 Volt dan ketika terjadinya tegangan berlebih 250 Volt pada generator maka *heater* akan hidup selama 15 menit untuk menurunkan tegangan menjadi tegangan normal dengan nilai 220 Volt.

Kata kunci : PLTMH, PLC TM221ME16R, Beban Komplemen, Sensor Arus, Sensor Tegangan

Abstract— *In micro hydro power plants, voltage stability is an important factor that must be considered. This study conducted a voltage stabilizer design using a TM221ME16R Programmable Logic Controller (PLC) with a comparison system. The complement loads used are incandescent lamps and heaters. The complement load functions as a voltage stabilizer when the consumer's load changes so that it does not affect the voltage and frequency by maintaining a predetermined current value. The use of current sensors aims to obtain or detect current changes in consumer loads and divert them to complement loads. The use of a voltage sensor is used to detect a voltage drop of 190 volts or an excess of 250 volts. At the time of the 190 Volt voltage drop, the power use at the consumer load is completely transferred to the complement load to increase the voltage generated by the generator to 220 Volts and when there is an excess voltage of 250 Volts on the generator, the heater will live for 15 minutes to reduce the voltage to normal voltage with 220 Volt value.*

Keywords : PLTMH, PLC TM221ME16R, Complementary Load, Current Sensor, Voltage Sensor

I. PENDAHULUAN

Sebagian besar penduduk Indonesia bertempat tinggal di pedesaan. Kawasan pedesaan memiliki ciri-ciri antara lain: tingginya tingkat kemiskinan, rendahnya kualitas lingkungan pemukiman, serta tidak adanya fasilitas penerangan yang memadai[1]. Hal ini menyebabkan pembangunan pedesaan harus mendapat prioritas yang tinggi dalam pembangunan nasional. Salah satu tolak ukur keberhasilan pembangunan nasional adalah meningkatnya sumber daya manusia baik di perkotaan maupun di pedesaan. Untuk itu diperlukan teknologi yang dapat dikembangkan di pedesaan berdasarkan sumber daya alam dan kearifan lokal yang dimiliki setiap wilayah. Sumber energi listrik merupakan salah satu penentu percepatan perkembangan masyarakat dipedesaan.

Di provinsi Sumatera Utara masih terdapat desa-desa tertinggal. Terutama yang berada pada ketinggian 300-350m dpl. Wilayah Deli Serdang berada pada

ketinggian 0 s/d 400m dpl yang menyebabkan banyak desa-desa yang terletak di ketinggian 300 s/d 350m dpl. Hal ini berdampak pada penyediaan energi listrik *on grid* tidak dapat mensuplai kebutuhan penduduk[2]. Desa Rumah Sumbul dusun Bintang Asih kecamatan Tiga Juhar merupakan salah satu desa yang tidak dapat dilayani oleh energi listrik *on grid* karena sulitnya akses ke desa tersebut. Dengan memanfaatkan sumber daya alam yang dapat di pergunakan sebagai pembangkit energi listrik maka diadakanlah pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Dengan adanya pembangkit listrik tenaga mikrohidro seharusnya dapat meningkatkan kualitas kehidupan masyarakat didesa tersebut.

Pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro, perubahan beban akan berakibat langsung pada generator. Jika torsi turbin tidak diubah saat terjadi perubahan beban, maka frekuensi dan tegangan listrik yang dihasilkan akan berubah yang dapat

mengakibatkan kerusakan baik pada generator maupun disisi beban[3].

Kualitas energi listrik dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti fluktuasi tegangan, fluktuasi frekuensi, flicker, harmonisa dan kontinyuitas jaringan distribusi. Dari kesemua parameter tersebut kestabilan tegangan memiliki peranan yang sangat penting. Ketidakstabilan tegangan akan menyebabkan ketidakstabilan sistem secara keseluruhan, terutama untuk kualitas daya dari pembangkit ke konsumen[4].

Frekuensi merupakan indikator dari keseimbangan energi. Pasokan energi dengan frekuensi yang berkualitas baik akan menghindarkan peralatan konsumen dari kerusakan. Alat penstabil tegangan sistem governor jika digunakan membutuhkan biaya yang mahal dan perawatan yang berat, membuat penggunaannya di pembangkit tenaga mikrohidro tidak ekonomis[5].

Alat penstabil tegangan yang digunakan secara manual tidak efektif untuk dipakai maka dipasanglah sebuah peralatan penstabil tegangan secara otomatis. Kestabilan tegangan ditentukan oleh pengaturan penggunaan beban komplemen yang terintegrasi dalam suatu sistem yang terhubung paralel dengan beban konsumen[6].

Sistem otomasi yang canggih semakin mengembangkan kemampuannya terutama pada bidang sistem pengontrolan. Sistem otomasi tersebut memungkinkan pengguna untuk melakukan pekerjaan sehari-hari dengan mudah, yang sebelumnya tidak mampu dilakukan sendiri tanpa bantuan orang lain [7]. Pada umumnya pengendalian PLTMH menggunakan *electric load controller* (ELC), yang memiliki beberapa kekurangan antara lain kestabilan yang masih kurang dan harus dilakukan pemantauan secara berkala. Adapun sistem pengendalian berbasis *programmable logic controller* (PLC), lebih memiliki keuntungan daripada menggunakan sistem elektronik lainnya karena PLC mudah untuk di program dan di implementasikan. PLC beroperasi pada frekuensi tinggi untuk meminimalkan kerugian yang terjadi akibat arus harmonik. Harmonik dapat merusak peralatan listrik dan kualitas daya[8].

Berdasarkan kajian diatas maka penelitian ini akan membahas tentang PLCTM221ME16R. PLC adalah sebuah alat yang digunakan untuk menggantikan komponen-komponen sistem pengendali konvensional yang dapat diprogram oleh bahasa pemograman tertentu yang biasa digunakan pada proses otomatisasi. Sistem penstabil tegangan secara otomatis bekerja mengatur daya yang disalurkan ke beban tiruan setiap terjadi perubahan frekuensi maupun tegangan akibat perubahan beban pada beban konsumen sehingga menjaga keseimbangan antara daya input dan daya output.

II. STUDI PUSTAKA

A. Mikrohidro

Mikrohidro pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air perdetik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan menghasilkan listrik. Pembangunan PLTMH perlu diawali dengan pembangunan bendungan untuk mengatur aliran air yang akan dimanfaatkan sebagai tenaga penggerak turbin. Bendungan perlu dilengkapi dengan pintu air dan saringan sampah untuk mencegah masuknya kotoran dan endapan lumpur. Bendungan sebaiknya dibangun pada dasar sungai yang stabil dan aman terhadap banjir.

Di dekat bendungan dibangun bangunan pengambilan (intake). Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan saluran penghantar yang berfungsi mengalirkan air dari intake. Saluran ini dilengkapi dengan saluran pelimpah pada setiap jarak tertentu untuk mengeluarkan air yang berlebih. Saluran ini dapat berupa saluran terbuka dan saluran tertutup. Saluran ini dibuat dengan dilengkapi *casing* yang berfungsi mengarahkan air ke *runner*. Pada bagian casing terdapat pengunci turbin.

Karakteristik *input-output* dari pembangkit listrik tenaga mikrohidro menggambarkan hubungan antara penggerak *prime mover* (turbin air) yang berupa jumlah air yang disalurkan pada sudu turbin air dalam persamaan waktu dengan daya keluaran dari generator. Daya keluaran generator sebagai fungsi dari tinggi terjun dan debit air dinyatakan sebagai berikut:

$$P = 9.8 \cdot Q1 \cdot H \cdot \eta T \cdot \eta G \quad (1)$$

Keterangan:

- P = daya keluaran pembangkit
- Q1 = debit air rata-rata (m³/detik)
- H = tinggi air (head) m
- ηT = efisiensi turbin
- ηG = efisiensi generator

Oleh karena air terjun dianggap konstan, maka besar debit air sebagai fungsi daya keluaran pembangkit dapat didekatkan dengan persamaan orde dua:

$$Q1 = \alpha 1 + \beta 1 \text{ Phi} + \gamma 1 \text{ Phi}^2 \quad (2)$$

Keterangan:

- Q1 = debit air rata-rata (m³/detik)
- Phi = keluaran pembangkit hidro
- $\alpha 1, \beta 1, \gamma 1$ = konstanta

B. Programmable Logic Controller

Programmable Logic Controllers (PLC) adalah komputer elektronik yang mudah digunakan yang memiliki fungsi kendali untuk berbagai tipe dan tingkat kesulitan yang beraneka ragam. PLC ini

dirancang untuk menggantikan suatu rangkaian relaysequensial dalam suatu sistem kontrol. Selain dapat diprogram, alat ini juga dapat dikendalikan, dan dioperasikan oleh orang yang tidak memiliki pengetahuan di bidang pengoperasian komputer secara khusus. PLC ini memiliki bahasa pemrograman yang mudah dipahami dan dapat dioperasikan bila program yang telah dibuat dengan menggunakan *software* yang sesuai dengan jenis PLC yang digunakan. Alat ini bekerja berdasarkan *input-input* yang ada dan tergantung dari keadaan pada suatu waktu tertentu yang kemudian akan meng-ON atau meng-OFF kan *output-output*. Angka 1 menunjukkan bahwa keadaan yang diharapkan terpenuhi sedangkan angka 0 berarti keadaan yang diharapkan tidak terpenuhi. Fungsi dan kegunaan PLC sangat luas.

Prinsip kerja sebuah PLC adalah menerima sinyal masukan proses yang dikendalikan lalu melakukan serangkaian instruksi logika terhadap sinyal masukan tersebut sesuai dengan program yang tersimpan dalam memori lalu menghasilkan sinyal keluaran untuk mengendalikan aktuator atau peralatan lainnya.

Berikut ini adalah penjelasan dari komponen-komponen yang menyusun PLC:

- CPU (*central processing unit*)
- Masukan atau *input*
- Keluaran atau *output*
- Memori
- Fasilitas komunikasi
- Fasilitas ekspansi
- Catu daya 220 VAC atau 24 VDC.

C. PLC Modicon TM221ME16R

PLC modicon TM221ME16R memiliki kapasitas 16 I/O terdiri dari 8 input dan 8 *output*, dengan tegangan masukan 24 VDC berada dalam kontak analog *input*, memiliki *port* untuk *Ethernet* dengan posisi terminal dan LED indikator yang tersebar dibagian depan. Bentuk fisik dari PLC modicon TM221ME16R dapat dilihat pada gambar 1 berikut :



Gambar 1. Bentuk Fisik PLC Modicon TM221ME16R

D. SoMachine Basic

SoMachine Basic merupakan perangkat lunak PLC yang digunakan untuk mengkonfigurasi, dan mengkomunikasikan seluruh alat yang tersambung dalam jaringan perangkat lunak tersebut termasuk logika dan kontrol yang terkait dengan fungsi otomatisasi. *SoMachine Basic* mempunyai fungsi-fungsi untuk memudahkan pengguna dalam menggunakannya serta dapat menghemat waktu pembuatan.

E. Relay

Relay adalah komponen elektronika berupa saklar elektronik yang digerakkan oleh arus listrik. Secara prinsip *relay* merupakan tuas saklar dengan lilitan kawat pada batang besi (solenoid) didekatnya. Ketika solenoid dialiri arus listrik maka tuas akan tertarik karena adanya gaya magnet yang terjadi pada solenoid sehingga kontak saklar akan menutup. Pada saat arus dihentikan, gaya magnet akan hilang maka tuas akan kembali ke posisi semula dan kontak saklar kembali terbuka. *Relay* biasanya digunakan untuk menggerakkan arus/tegangan yang besar (misalnya peralatan listrik 4 ampere 220 VAC) dengan memakai arus / tegangan yang kecil (misalnya 0.5 ampere 24 VDC). *Relay* yang paling sederhana ialah *relay* elektromekanis yang memberikan pergerakan mekanis saat mendapatkan energi listrik. *Relay* dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Relay

F. Current Transducer

Current Transducer (CT) merupakan peralatan yang berfungsi untuk membaca nilai arus pada beban. Nilai arus tersebut digunakan sebagai nilai referensi untuk melakukan perbandingan antara beban yang digunakan pada beban konsumen dan beban komplemen. Dikarenakan PLC menggunakan analog input maka PLC hanya membaca sinyal-sinyal masukan yang dihasilkan oleh sensor-sensor tersebut

sehingga PLC dapat menjalankan program sesuai dengan *setpoint* yang telah ditentukan.

G. Dioda Bridge

Dioda bridge atau jembatan diode merupakan suatu alat yang berfungsi sebagai penyearah arus bolak-balik AC menjadi arus searah DC.

H. Lampu Pijar

Pengaturan pembebanan pada PLTMH dengan menggunakan generator menjadi sesuatu hal yang harus dilakukan. Hal tersebut dilakukan dengan memasang beban penyeimbang berupa lampu pijar yang paralel terhadap generator. Beban penyeimbang adalah suatu sistem yang berfungsi untuk membuang energi listrik yang tidak di gunakan sehingga generator dapat berputar secara konstan.

I. Heater

Heater atau elemen pemanas merupakan alat yang memiliki fungsi sama seperti lampu pijar yaitu sebagai penyeimbang beban. *Heater* akan bekerja apabila beberapa bola lampu putus akibat beban yang terlalu tinggi. Apabila *heater* hidup maka listrik warga akan mati selama 15 menit.

J. Miniatur Circuit Breaker

Miniatur Circuit Breaker adalah sebuah komponen listrik yang berfungsi sebagai proteksi arus lebih yang disebabkan terjadinya beban lebih dan arus lebih karena adanya hubung singkat.

K. Battery Charger

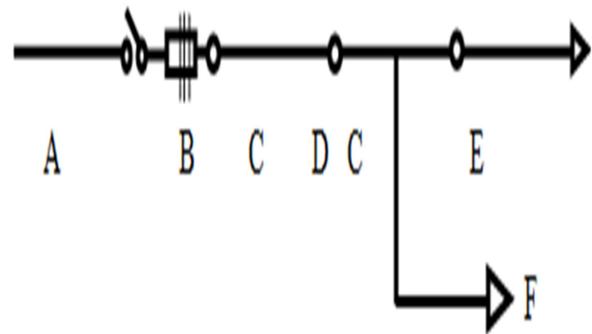
Battery charger adalah peranti yang digunakan untuk mengisi energi ke dalam *battery* (isi ulang) dengan memasukkan arus listrik melaluinya. Arus listrik yang dimasukkan nilainya 24 VDC.

L. Comparasi PLCTM221ME16R

Penggunaan PLC TM221ME16R adalah untuk pengaturan besar tegangan masuk ke beban komplemen dan beban konsumen. Salah satu metode pengaturan besar tegangan masuk ke beban komplemen adalah dengan menggunakan metode perbandingan antara tegangan generator dengan suatu besaran referensi. Besar tegangan generator akan disampling kemudian dibandingkan dengan suatu besaran referensi. Hasil dari perbandingan ini berupa sinyal yang akan menentukan sudut penyalan saklar elektronik otomatis yaitu *relay*. Alasan penggunaan relay sebagai saklar otomatis karena digunakan sebagai kontrol di tegangan VDC sesuai dengan PLC. Beban komplemen terdiri dari beban resistif murni yang besarnya konstan. Sehingga untuk mengatur besar beban komplemen dapat dilakukan dengan mengatur tegangan masuk ke beban komplemen.

III. METODE

Penelitian ini dilaksanakan di pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) Dusun Bintang Asih, Desa Rumah Sumbul Tiga Juhar, Kecamatan STM Hulu, Kabupaten Deli Serdang. Jaringan distribusi yang di pakai pada PLTMH Bintang Asih adalah jaringan distribusi sekunder. Jaringan distribusi sekunder merupakan jaringan tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan konsumen. Oleh karena itu besarnya tegangan distribusi sekunder ini adalah 220 V yang merupakan tegangan fasa-netral. Jaringan distribusi tegangan rendah langsung yaitu jaringan distribusi tegangan rendah yang ditarik dan diisi tegangan langsung dari pembangkit tenaga listrik tanpa melalui transformator. Adapun cara pemasangan sistem jaringan distribusi tegangan rendah langsung seperti terlihat pada gambar 3 berikut :



Gambar 3. Jaringan Distribusi Tegangan Rendah Langsung

Keterangan:

A = Pemutus dan Pengaman Tegangan 220 V

B = Kabel Tegangan Rendah

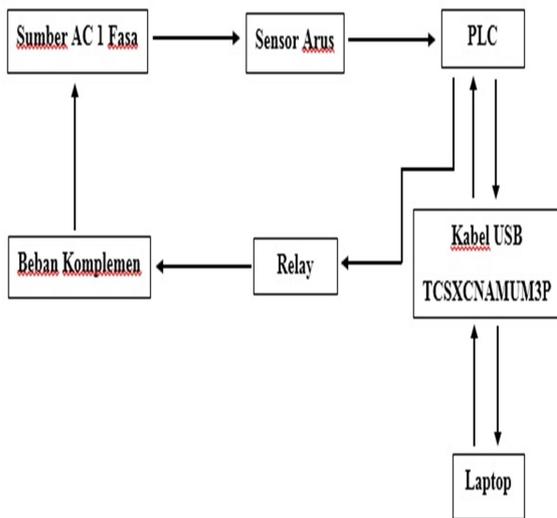
C = Tiang Jaringan

D = Kawat Jaringan Konsumen

E = Pemakai / Konsumen

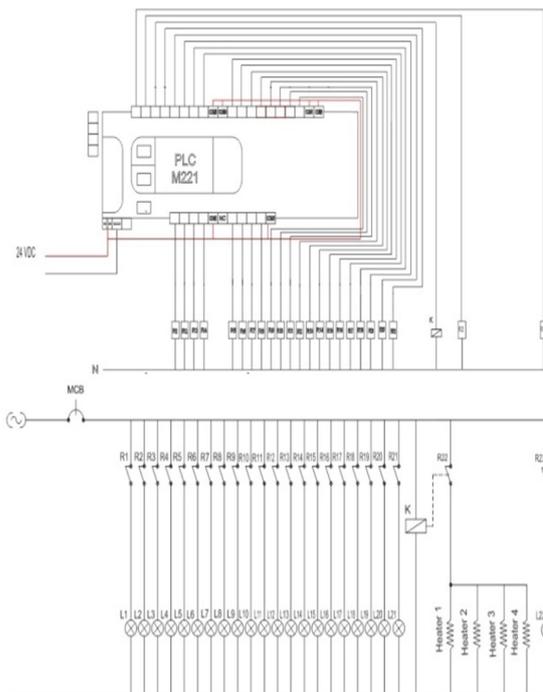
F = Beban Komplemen

Guna memudahkan dalam pengaplikasian maka di gambarkan dalam sebuah Blok Diagram yang menjelaskan sistem bekerja mulai dari sumber daya, pembacaan nilai arus menggunakan sensor, nilai yang telah di dapatkan dari sensor arus diterima oleh PLC. PLC dihubungkan ke laptop dengan menggunakan kabel usb TCSXCNAMUM3P. Ketika program telah dibuat PLC akan bekerja memutus atau menghubungkan aliran listrik ke beban komplemen. Beban komplemen digunakan untuk menjaga kestabilan tegangan yang dihasilkan oleh generator dengan *setpoint* yang telah di tentukan pada saat membuat program yang ditanamkan pada PLC.



Gambar 4. Blok Diagram Sistem

Rangkaian sistem kontrol penstabil tegangan merupakan rangkaian yang berfungsi sebagai regulator tegangan pada sebuah generator listrik. Dibawah ini terdapat gambar wiring diagram rangkaian sistem kontrol penstabil tegangan menggunakan PLC M221.



Gambar 5. Rangkaian Sistem Kontrol Penstabil Tegangan

Pada rangkaian ini dijelaskan secara singkat bagaimana perancangan dan pembuatan sistem Penstabil tegangan menggunakan PLC TM221ME16R. Pada penelitian ini PLC merupakan pengendali tegangan dari generator sebelum di alirkan ke beban konsumen.

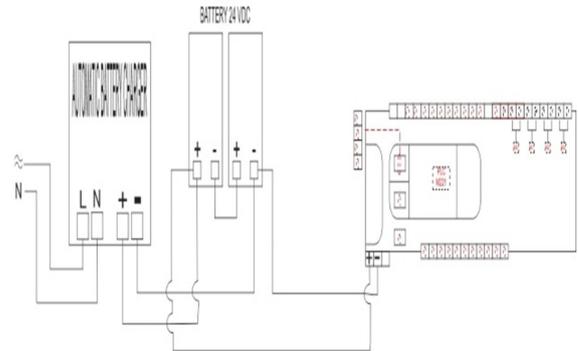
Dengan adanya sistem penstabil tegangan ini maka generator bekerja secara konstan sehingga dapat terus menerus menghasilkan daya listrik.

Daya masukan pada PLC berasal dari aliran baterai dengan kapasitas 24 Vdc. Daya keluaran baterai harus dihubungkan ke terminal masukan PLC. Kabel netral harus terhubung keseluruhan beban komplemen.

Output PLC maupun output Ekspansi akan terhubung ke semua rangkaian. Prinsip kerja PLC akan membandingkan pemakaian daya listrik beban konsumen dan daya listrik beban komplemen.

Relay adalah Saklar (Switch) yang dioperasikan untuk menghubungkan dan memutuskan arus listrik ke beban komplemen.

Tahap selanjutnya merangkain rangkaian *automatic charger battery* merupakan rangkaian yang berfungsi sebagai daya masukan terhadap PLC. Tegangan masukan pada PLC berupa tegangan DC yaitu 24 Volt.

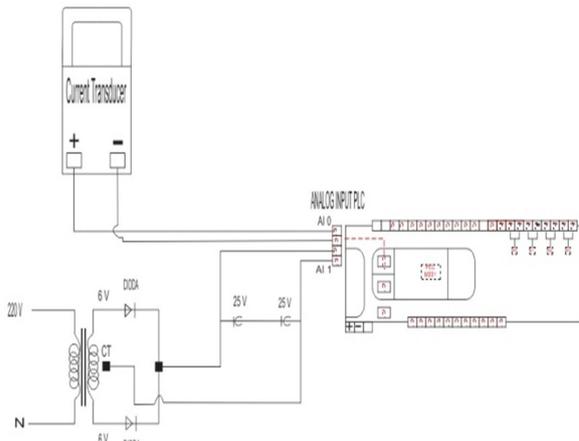


Gambar 6. Rangkaian Automatic Charger Battery

Prinsip kerja rangkaian *automatic charger battery* ini adalah mengubah tegangan listrik AC menjadi tegangan listrik DC sesuai dengan kriteria daya keluaran pada *automatic charger battery* dan pada masukan PLC.

Kemudian rangkaian sensor arus merupakan perangkat yang mendeteksi arus listrik di kawat penghantar beban utama yang menghasilkan sinyal. Sinyal dapat diketahui dengan cara mengukur menggunakan multimeter analog maupun multimeter digital yang di ukur dalam satuan amperemeter. Rangkaian sensor tegangan digunakan untuk melihat nilai daya yang dihasilkan oleh generator. Nilai AC yang dihasilkan oleh generator diubah menjadi nilai DC 12 Volt. Kedua sinyal tersebut dapat di manfaatkan untuk tujuan pengontrolan.

Prinsip kerja rangkaian sensor arus dan rangkaian sensor tegangan ini adalah untuk mendapatkan nilai daya yang dihasilkan oleh generator dan nilai pemakaian daya pada beban utama. Kemudian sinyal dari arus dikirim ke analog input pada PLC tujuannya untuk akuisisi data pada pengontrolan.



Gambar 7. Rangkaian Sensor Arus Dan Tegangan

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Perbandingan Beban Menggunakan PLC

Metode yang digunakan dalam pengujian alat ini adalah dengan melakukan pengamatan langsung pada sistem penyeimbang beban menggunakan PLC yang telah dibuat dan mengamati pembacaan alat ukur yang dipasang, serta respon yang di tujukan alat sesudah pemasangan sistem penyeimbang beban tersebut dengan besar daya beban pengujian yang divariasikan. Beban yang digunakan merupakan lampu pijar dan *heater*. Hasil keluaran dari hasil pengukuran alat ukur yang dipasang dapat berupa tabel dan gambar grafik.

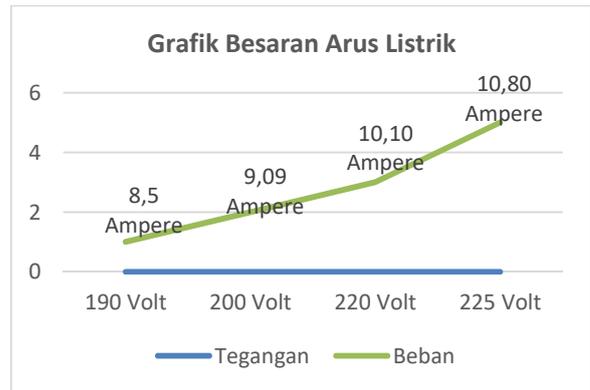
Pada pengujian perbandingan beban menggunakan variasi tegangan dengan nilai tegangan mulai dari 190 Volt, 200 Volt, 220 Volt, dan 225 Volt. Variasi daya listrik digunakan untuk menghidupkan beban komplemen berupa lampu pijar sebanyak 22 buah tiap-tiap lampu pijar nilainya 100 Watt. Untuk mencari nilai arus listrik pada keseluruhan beban maka digunakan *Current Transducer*. Sinyal arus listrik yang didapatkan oleh *current transducer* dari hasil pengukuran menggunakan multimeter dijadikan sebagai data acuan sistem komparasi pada *input* PLC.

Tabel 1. Arus Listrik Dari Variasi Tegangan dan Daya Listrik

Tegangan	Comparasi	Beban
190 Volt	80	8,5 Ampere
200 Volt	82	9,09 Ampere
220 Volt	87	10,10 Ampere
225 Volt	88	10,80 Ampere

Berdasarkan grafik pada gambar 8 menunjukkan kenaikan arus listrik apabila tegangan listrik masukkan dinaikkan. Pada tegangan 190 Volt nilai arus listrik 8,5 Ampere, pada 200 Volt nilai arus listrik 9,09 Ampere, pada 220 Volt nilai arus listrik

10,10 Ampere, dan pada 225 Volt nilai arus listrik 10,80 Ampere.



Gambar 8. Grafik Perubahan Arus Pada Variasi Tegangan Dan Daya Listrik

B. Pengujian kecepatan sistem pada pengontrolan PLC

Pengujian kecepatan sistem pengontrolan beban pada PLC menggunakan sistem comparison (perbandingan). Output PLC disetting dengan waktu 1 detik untuk beban komplemen berupa lampu pijar dialokasikan ke 21 output pada PLC dan 1 output PLC disetting dengan waktu 1 menit untuk beban komplemen berupa heater. Sistem akan bekerja secara otomatis meng On-Off kan relay sesuai dengan perbandingan beban yang telah ditentukan.

Tabel 2. Setting Waktu Pada Output

Used	Adress	Type	Time base	Preset
X	%TM0	TON	1 s	15
X	%TM1	TOF	15 min	15
X	%TM2	TON	1 s	2
X	%TM3	TON	1 s	2
X	%TM4	TON	1 s	2
X	%TM5	TON	1 s	2
X	%TM6	TON	1 s	2
X	%TM7	TON	1 s	2
X	%TM8	TON	1 s	2
X	%TM9	TON	1 s	2
X	%TM10	TON	1 s	2
X	%TM11	TON	1 s	2
X	%TM12	TON	1 s	2
X	%TM13	TON	1 s	2
X	%TM14	TON	1 s	2
X	%TM15	TON	1 s	2
X	%TM16	TON	1 s	2
X	%TM17	TON	1 s	2
X	%TM18	TON	1 s	2
X	%TM19	TON	1 s	2
X	%TM20	TON	1 s	2
X	%TM21	TON	1 s	2

Berdasarkan dari tabel 2 pada *output* 1 disetting dengan nilai respon perubahan 1 detik, *output* 2 dengan nilai respon perubahan 1 menit, *output* 3 dengan nilai 1 detik, *output* 4 dengan nilai 1 detik, *output* 5 dengan nilai 1 detik, *output* 6 dengan nilai 1 detik, *output* 7 dengan nilai 1 detik, *output* 8 dengan nilai 1 detik, *output* 9 dengan nilai 1 detik, *output* 10 dengan nilai 1 detik, *output* 11 dengan nilai 1 detik, *output* 12 dengan nilai 1 detik, *output* 13 dengan nilai 1 detik, *output* 14 dengan nilai 1 detik, *output* 15 dengan nilai 1 detik, *output* 16 dengan nilai 1 detik, *output* 17 dengan nilai 1 detik, *output* 18 dengan nilai 1 detik, *output* 17 dengan nilai 1 detik, *output* 18 dengan nilai 1 detik, *output* 19 dengan nilai 1 detik, *output* 20 dengan nilai 1 detik, *output* 21 dengan nilai 1 detik, *output* 22 dengan nilai 1 detik. Pada beban 13 sampai 22 menggunakan lampu pijar 100 watt sebagai beban tiruan dan pada *output* 2 beban tiruan menggunakan *heater*.

Program yang telah dibuat berjalan mulai dari alamat sebelumnya ke alamat selanjutnya dan program memiliki perilaku mundur dengan data acuan dari nilai penggantian. Waktu tercepat dalam menjalankan program PLC TM221ME16R adalah 225 ms.

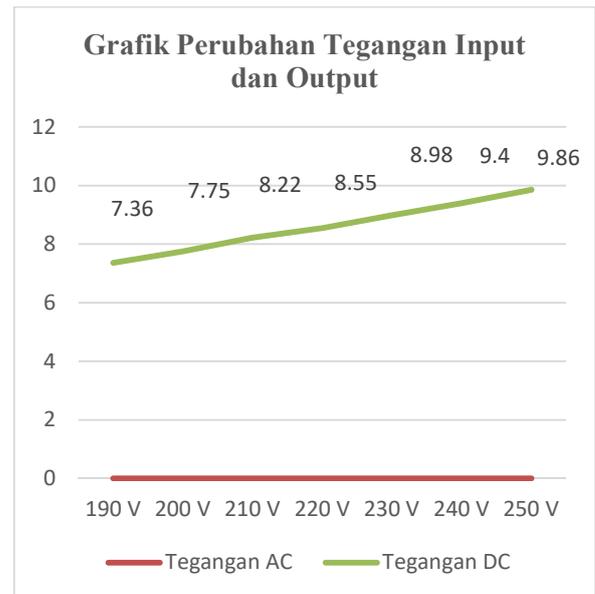
C. Pengujian Menggunakan Voltage Regulator dan Trafo CT Sebagai Tegangan Input Pada PLC

Pada pengujian ini menggunakan *voltage regulator* sebagai pengubah variasi tegangan dan trafo CT sebagai penyearah tegangan DC sebagai sinyal masukan ke Analog input pada PLC. Ada dua input yang terdapat dalam analog input PLC. Satu input dengan alamat %IW0.0 digunakan sebagai data acuan komparasi pada PLC dan satu lagi dengan alamat %IW0.1 digunakan sebagai data acuan tegangan yang dihasilkan oleh generator sebagai tegangan *input* pada PLC. Nilai tegangan masukkan antara 0...± 10 V. Pada sistem sistem kontrol beban ini menggunakan tegangan analog input dengan nilai 10 Volt. Dibawah ini terdapat tabel nilai-nilai hasil dari pengukuran tegangan masukan menggunakan Trafo CT dan *Voltage Regulator* sebagai variasi tegangan.

Tabel 3. Sinyal Masukan Pada PLC Dalam Satuan Tegangan

Tegangan AC	Tegangan DC
190 V	7,36 V
200 V	7,75 V
210 V	8,22 V
220 V	8,55 V
230 V	8,98 V
240 V	9,40 V
250 V	9,86 V

Berdasarkan pada tabel 3 dapat diketahui pada saat generator menghasilkan tegangan 190 V maka tegangan keluaran dari trafo CT sebesar 7,36 V. pada tegangan 200 V maka tegangan keluaran dari trafo CT sebesar 7,75 V. pada tegangan 210 V maka tegangan keluaran dari trafo CT sebesar 8,22 V. pada tegangan 220 V maka tegangan keluaran dari trafo CT sebesar 8,55 V. pada tegangan 230 V maka tegangan keluaran dari trafo CT sebesar 8,98 V. pada tegangan 240 V maka tegangan keluaran dari trafo CT sebesar 9,40 V. pada tegangan 250 V maka tegangan keluaran dari trafo CT sebesar 9,86 V.



Gambar 9. Grafik Perubahan Tegangan Dari Voltage Regulator Dan Trafo CT

Berdasarkan grafik pada gambar 10 menunjukkan kenaikan tegangan DC ketika tegangan AC dinaikkan. Ketika tegangan AC nilainya 190 Volt pada tegangan DC yang disearahkan oleh trafo CT nilai tegangannya 7,36 Volt. Tegangan AC nilainya 200 Volt pada tegangan DC nilai tegangannya 7,75 Volt. Tegangan AC nilainya 210 Volt pada tegangan DC nilai tegangannya 8,22 Volt. Tegangan AC nilainya 220 Volt pada tegangan DC nilai tegangannya 8,55. Tegangan AC nilainya 230 Volt pada tegangan DC nilai tegangannya 8,98. Tegangan AC nilainya 240 Volt pada tegangan DC nilainya 9,4 Volt. Tegangan AC nilainya 250 Volt pada tegangan DC nilainya 9,86 Volt.

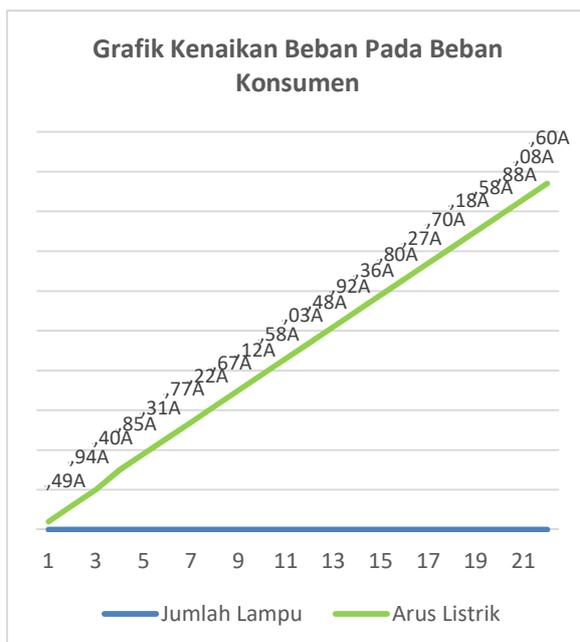
D. Pengaplikasian Pada PLTMH Bintang Asih

Pengaplikasian ini bertujuan untuk membantu kinerja PLTMH Bintang Asih dan bersifat membantu operator pada saat pembangkit bekerja (hidup). Dengan adanya sistem penyeimbang beban ini diharapkan pembangkit akan tetap beroperasi walaupun beban berubah-ubah.

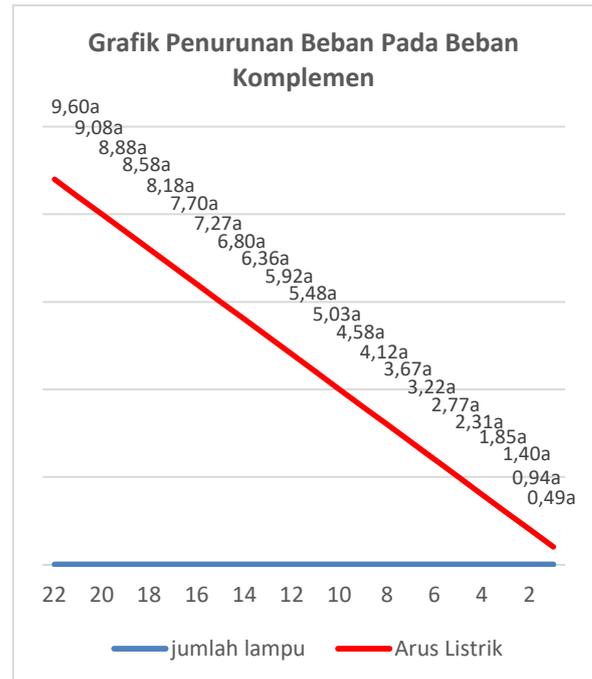
Tabel 4. Sistem *Comparison* PLC Saat Bekerja

Jumlah Lampu	COM Pada Comparasi	Beban
22	Comparasi 87	9,60 Ampere
21	Comparasi 83	9,08 Ampere
20	Comparasi 79	8,88 Ampere
19	Comparasi 75	8,58 Ampere
18	Comparasi 71	8,18 Ampere
17	Comparasi 67	7,70 Ampere
16	Comparasi 63	7,27 Ampere
15	Comparasi 59	6,80 Ampere
14	Comparasi 55	6,36 Ampere
13	Comparasi 51	5,92 Ampere
12	Comparasi 47	5,48 Ampere
11	Comparasi 43	5,03 Ampere
10	Comparasi 39	4,58 Ampere
9	Comparasi 35	4,12 Ampere
8	Comparasi 31	3,67 Ampere
7	Comparasi 27	3,22 Ampere
6	Comparasi 23	2,77 Ampere
5	Comparasi 19	2,31 Ampere
4	Comparasi 15	1,85 Ampere
3	Comparasi 10	1,40 Ampere
2	Comparasi 6	0,94 Ampere
1	Comparasi 2	0,49 Ampere

Berdasarkan Tabel 4 menjelaskan bagaimana sistem komparasi PLC bekerja pada saat perpindahan penggunaan daya listrik dari beban komplemen ke beban konsumen.



Gambar 10. Kenaikan Beban Pada Beban Komplemen



Gambar 11. Penurunan Beban Pada Beban Komplemen

Berdasarkan grafik pada gambar 11 dan grafik gambar 12 diatas energi listrik yang dihasilkan oleh generator pertama-tama akan dialirkan ke beban komplemen. Beban komplemen atau beban penyeimbang adalah suatu sistem yang berfungsi sebagai regulator tegangan. Ketika beban utama dihidupkan maka beban komplemen berupa lampu pijar akan mati. Jumlah lampu pijar yang mati sesuai dengan nilai arus dari pemakaian pada beban utama. Maka dengan kata lain daya keluaran dari generator akan stabil meskipun terjadi perubahan daya pada beban utama.

V. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan dan pengujian dapat diambil beberapa kesimpulan, diantaranya dalam perancangan sistem kontrol penstabil tegangan yang bekerja secara otomatis menggunakan PLC TM221ME16R dengan memanfaatkan analog *input* yang terdapat pada PLC. Penggunaan analog *input* dikarenakan analog *input* menggunakan prinsip rentang suatu nilai. Penggunaan sensor tegangan digunakan untuk mendapatkan nilai daya yang dihasilkan oleh generator dan penggunaan sensor arus digunakan untuk mendapatkan nilai perbandingan beban pada beban komplemen ke beban konsumen. *Output* PLC pada sistem komparasi di *setting* dengan waktu 1 detik untuk beban komplemen berupa lampu pijar dan 15 menit untuk beban komplemen berupa *heater* sehingga beban komplemen dapat berperan aktif untuk menjaga kestabilan tegangan pada generator walaupun beban berubah-ubah dari beban komplemen ke beban konsumen. Pada saat terjadi perubahan tegangan *under voltage* dengan nilai tegangan 190 Volt daya yang dihasilkan oleh

generator maka saluran listrik ke beban konsumen akan padam dan ketika tegangan mengalami *over voltage* dengan nilai tegangan 250 Volt akibat dari perubahan daya yang dihasilkan oleh generator dan penggunaan pada beban utama maka *heater* otomatis akan hidup selama 15 menit.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. & F. Rahayuningtyas, “Sistem Pengaturan Beban Pada Mikrohidro Sebagai Energi Listrik Pedesaan,” pp. 13–20, 2012.
- [2] D. I. D. Terpencil, D. I. Sumatera, V. On, and S. Utara, “(Implementation Of Renewable Energy Utilization Policies In Fulfillment Of Electricity Needs At Isolated,” pp. 61–76, 2017.
- [3] Slamet, “Pengendali Beban Elektronik Tiga Fasa Menggunakan Mikro Kontroler Pada Pembangkit Listrik Mikro Hidro (PLTMH),” *Ketenagalistrikan Dan Energi Terbarukan*, vol. 11, no. 1, pp. 67–80, 2012.
- [4] E. Nw, “Perencanaan Optimal Sistem Kontrol AVR (Automatic Voltage Regulator) Untuk Memperbaiki Kestabilan Tegangan Dengan Menggunakan Algoritma Genetik,” pp. 1–11.
- [5] K. K. Frekuensi, “Stabilisasi frekuensi dengan metoda histerisis,” vol. 2, no. 2, pp. 114–120, 2016.
- [6] M. Effendy, “Sensor tegangan berfungsi untuk mendeteksi perubahan tegangan generator pada saat t erjadi perubahan beban konsumen ; Keluaran dari rangkaian berupa tegangan DC .,” vol. 8, no. September, pp. 154–162, 2012.
- [7] D. Wifi, J. E. T. Pioh, L. S. Patras, and I. F. Lisi, “Pengendalian Motor Listrik Dari Jarak Jauh Dengan Menggunakan Software Zelio Soft 2,” vol. 5, no. 2, 2016.
- [8] T. Anggraini, “Pengendalian Beban Generator Otomatis Berbasis PLC dan SCADA dengan Mempertimbangkan Arus pada Konsumen,” Padang, 2015.