

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN SISTEM KONTROL PENSTABIL TEGANGAN MENGGUNAKAN PLC M221 PADA PLTMH BINTANG ASIH

*Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :

EKO SAPUTRO
NPM : 1407220135



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**PERANCANGAN SISTEM KONTROL PENSTABIL TEGANGAN
MENGUNAKAN PLC M221 PADA PLTMH BINTANG ASIH**

*Diajukan Guna Melengkapi Tugas – Tugas dan Sebagai Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T) Program Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Telah Diteliti dan Disidng Pada Tanggal :
(18 Oktober 2018)

Oleh :
EKO SAPUTRO
1407220135

Pembimbing I

(Rimbawati, S.T, M.T)

Pembimbing II

(Cholish, S.T, M.T)

Penguji I

(Faizal Idris Pasaribu, S.T, M.T)

Penguji II

(M Syarif, S.T, M.T)

Diketahui dan Disahkan

Ketua Jurusan Teknik Elektro



(Faizal Idris Pasaribu, S.T, M.T)

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2018**

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : EKO SAPUTRO
NPM : 1407220135
Tempat / Tgl Lahir : Medan, 12 April 1996
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro



Menyatakan dengan ini sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir (skripsi) saya ini yang berjudul :

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

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena berhubungan material maupun non material, ataupun segala kemungkinan lain yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia di proses oleh tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas Akademik di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 20 Oktober 2018

Saya yang menyatakan



EKO SAPUTRO
1407220135

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: *Penstabil Tegangan, PLTMH, PLC TM221ME16R, Beban Komplemen, Sensor Arus, Sensor Tegangan.*

KATA PENGANTAR



Puji syukur kehadiran ALLAH.SWT atas rahmat dan karunianya yang telah menjadikan kita sebagai manusia yang beriman dan insya ALLAH berguna bagi alam semesta. Shalawat berangkaikan salam kita panjatkan kepada junjungan kita Nabi Besar Muhammad SAW yang mana beliau adalah suri tauladan bagi kita semua yang telah membawa kita dari zaman kebodohan menuju zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Tulisan ini dibuat sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kesarjanaan pada Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tugas akhir ini adalah **“Perancangan Sistem Kontrol Penstabil Tegangan Menggunakan PLC M221 Pada PLMTH Bintang”**.

Selesainya penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT, karena atas berkah dan izin-Mu saya dapat menyelesaikan tugas akhir dan studi di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Orang tua saya, yakni Ibunda (Nurhaina) tercinta, yang dengan cinta kasih & sayang setulus jiwa mengasuh, mendidik, dan membimbing dengan

segenap ketulusan hati tanpa mengenal kata lelah sehingga penulis bisa seperti saat ini.

3. Bapak Munawar Alfansury S.T, M.T, selaku Dekan Fakultas Tehnik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Faisal Irsan Pasaribu S.T, M.T, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Partaonan Harahap S.T, M.T, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Ibu Rimbawati S.T, M.T, selaku Dosen Pembimbing I dikampus yang telah memberi ide-ide dan masukkan dalam menyelesaikan penulisan laporan tugas akhir ini.
7. Bapak Cholish, S.T, M.T, selaku Dosen Pembimbing II dikampus yang selalu sabar membimbing dan memberikan pengarahan penulis dalam penelitian serta penulisan laporan tugas akhir ini.
8. Team Mahasiswa Mengabdi Desa Rumah Sumbul yang selalu bersemangat bekerja sekaligus belajar dengan sukarela tanpa mengenal kata lelah.
9. Bapak Rohimin dan Bapak Man, selaku warga Bintang Asih yang selalu menyediakan tempat tinggal serta konsumsi saat saya melakukan penelitian dilapangan.
10. Bang Imam Riki Hamdanu, S.T, Ban Yudi dan Bang Mirza, selaku teman sekaligus karyawan CV. MEDCON-E yang banyak membantu saya dalam melakukan penelitian ini.
11. Segenap Bapak & Ibu dosen di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

12. Sege nap, kepada teman seperjuangan Fakultas Teknik yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu serta Keluarga Besar Teknik Elektro 2014 yang selalu memberikan semangat dan suasana kekeluargaan yang luar biasa.

13. Serta semua pihak yang telah mendukung dan tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik & saran yang membangun dari sege nap pihak.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini dapat menambah dan memperkaya lembar khazanah pengetahuan bagi para pembaca sekalian dan khususnya bagi penulis sendiri. Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan terima kasih.

Medan, 17 Oktober 2018

Penulis

EKO SAPUTRO
1407220135

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1.Latar Belakang	1
1.2.Rumusan Masalah	3
1.3.Tujuan Penelitian	4
1.4.Batasan Masalah	4
1.5.Sistematika Penulisan	4
BAB II LANDASAN TEORI	6
2.1. Tinjauan Pustaka Relevan	6
2.2. Landasan Teori	8
2.2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro	8
2.2.2. Prinsip Kerja Mikrohidro	8
2.3.Komponen Utama Pembangkit Mikrohidro	11
2.3.1. Turbin	12
2.3.1.1.Berdasarkan Perubahan Momentum Fluida	13
2.3.1.2.Berdasarkan Kecepatan Spesifik	14

2.3.1.3. Berdasarkan Head dan Debit	15
2.3.2. Generator Sinkron	15
2.3.3. Sistem Kontrol Otomatis	16
2.4. Komponen-komponen Sistem Kontrol Penstabil Tegangan	18
2.4.1. Programmable Logic Controller	18
2.4.1.1. Prinsip Kerja PLC	19
2.4.2. PLC Modicon TM221ME16R	22
2.4.3. Modul Ekspansi	26
2.4.3.1. Ekspansi TM3DQ16R/G	26
2.4.4. Perangkat Lunak	27
2.4.3.1. SoMachine Basic	27
2.4.5. Relay	30
2.4.6. Current Transducer	31
2.4.7. Dioda Bridge	31
2.4.8. Lampu Pijar	32
2.4.9. Heater	32
2.4.10. Miniatur Circuit Breaker	33
2.4.11. Pilot Lamp	34
2.4.12. Battery Charger	34
2.5. Perancangan Sistem Comparasi PLC TM221ME16R	35
2.6. Beban Komplemen	35
2.7. Keuntungan Menggunakan PLC TM221ME16R Pada PLTMH	36
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	38
3.1. Lokasi Penelitian	38

3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian	39
3.2.5. Bahan Penelitian	39
3.2.6. Peralatan Penelitian	40
3.3. Jaringan Distribusi PLTMH Bintang Asih	41
3.4. Blok Diagram Sistem	42
3.5. Perancangan Sistem Kontrol Beban	43
3.5.1. Rangkaian Sistem Kontrol Penstabil Tegangan	43
3.5.2. Langkah-langkah Perakitan Sistem Kontrol Penstabil Tegangan	45
3.5.3. Rangkaian Automatic Battery Charger	46
3.5.4. Rangkaian Sensor Arus dan Sensor Tegangan Pada PLC	47
3.6. Flowchart Penelitian	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	49
4.1. Pengujian Perbandingan Beban Menggunakan PLC	50
4.2. Pengujian Kecepatan Sistem Pengontrolan Pada PLC	51
4.3. Pengujian Menggunakan Voltage Regulator dan Trafo CT Sebagai Tegangan Input Pada PLC	53
4.4. Pengujian Pembebanan Menggunakan Sistem Perbandingan Pada PLTMH Bintang Asih	55
4.5. Pengaplikasian Pada PLTMH Bintang Asih	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	60
5.1. Kesimpulan	60
5.2. Saran.....	61

DAFTAR PUSTAKA.....	62
LAMPIRAN	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro	9
Gambar 2.2 Karakteristik Input dan Output Pembangkit Listrik Mikrohidro	10
Gambar 2.3 Turbin Aliran Tangensial	12
Gambar 2.4 Model Turbin Aliran Aksial	13
Gambar 2.5 Model Turbin Aliran Aksial-Radial	13
Gambar 2.6 Empat Macam Runner Turbin Konvensional	15
Gambar 2.7 Konstruksi Generator Sinkron	16
Gambar 2.8 Prinsip kerja PLC	20
Gambar 2.9 Sistem Kerja CPU	20
Gambar 2.10 Komponen penyusun PLC	21
Gambar 2.11 Bentuk fisik PLC modicon TM221ME16R	24
Gambar 2.12 Komponen Pengontrol Pada PLC	24
Gambar 2.13 Indikator PLC	25
Gambar 2.14 Bentuk Fisik dan Bagian-bagian TM3DQ16R/G.....	27
Gambar 2.15 Relay	31

Gambar 2.16 Current Transformer	32
Gambar 2.17 Rangkain Dioda Bridge	32
Gambar 2.18 Lampu Pijar	33
Gambar 2.19 Elemen Pemanas	33
Gambar 2.20 Miniatur circuit breaker.....	34
Gambar 2.21 Pilot lamp	34
Gambar 2.22 Battrey charger	35
Gambar 2.23 Grafik Pemakaian Daya Beban Utama dan Beban Penyeimbang...	36
Gambar 3.1 Peta Lokasi PLTMH Bintang Asih	38
Gambar 3.2 Jaringan Distribusi Tegangan Rendah Langsung	41
Gambar 3.3 Blok Diagram Sistem	43
Gambar 3.4 Rangkaian Sistem Kontrol Penstabil Tegangan	44
Gambar 3.5 Rangkaian Automatic Charge Battery.....	46
Gambar 3.6 Rangkaian Sensor Arus dan Sensor Tegangan	47
Gambar 4.1 Grafik Perubahan Arus Pada Variasi Tegangan dan Daya Listrik....	50
Gambar 4.2 Grafik Perubahan Tegangan Dari <i>Voltage Regulator</i> dan Trafo CT	54
Gambar 4.3 Kenaikan Beban Pada Beban Komplemen	58
Gambar 4.4 Penurunan Beban Pada Beban Komplemen.....	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kecepatan Spesifik Turbin Konvensional	15
Tabel 2.2 Deskripsi fisik PLC Modicon TM221ME16R	25
Tabel 2.3 Deskripsi Indikator PLC	26
Tabel 2.4 Spesifikasi Ekspansi TM3DQ16R/G	27
Tabel 3.1 Daftar Bahan Yang Digunakan Untuk Rangkaian Pengontrolan	39
Tabel 4.1 Arus Listrik Dari Variasi Tegangan dan Daya Listrik	50
Tabel 4.2 Setting Waktu Pada <i>Output</i>	51
Tabel 4.3 Sinyal Masukkan Pada PLC Dalam Satuan Tegangan	53
Tabel 4.4 Pengujian Dengan Sistem Perbandingan	56
Tabel 4.5 Sistem Comparison PLC Saat Bekerja	57

LAMPIRAN

Lampiran (1) Gambar pengerjaan rangkaian penyeimbang beban

Lampiran (2) Gambar pengujian penyearah tegangan AC mejadi tegangan DC..

Lampiran (3) Gambar pengujian pengecasan baterai

Lampiran (4) Gambar pengerjaan komponen untuk pengujian

Lampiran (5) Gambar pengujian menggunakan lampu pijar

Lampiran (6) Gambar pengujian menggunakan lampu pijar dengan sistem

komparasi

Lampiran (7) Gambar sistem kontrol penyeimbang beban secara keseluruhan ...

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

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 di perlukan teknologi yang dapat di kembangkan di pedesaan berdasarkan sumber daya alam dan kearifan lokal yang dimiliki setiap wilayah. Sumber energi listrik merupakan salah satu penentu percepatan perkembangan masyarakat di pedesaan.

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 di layani 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 di adakanlah 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 di ubah saat terjadi perubahan beban, maka frekuensi dan tegangan listrik yang di hasilkan akan berubah yang dapat mengakibatkan kerusakan baik pada generator maupun di sisi beban [3].

Kualitas energi listrik di pengaruhi 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 di gunakan membutuhkan biaya yang mahal dan perawatan yang berat, membuat penggunaannya di pembangkit tenaga mikrohidro tidak ekonomis [5].

Alat penstabil tegangan yang di gunakan secara manual tidak efektif untuk di pakai maka di pasanglah sebuah peralatan penstabil tegangan secara otomatis. Kestabilan tegangan di tentukan 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 pengontrollan. Sistem otomasi tersebut memungkinkan pengguna untuk melakukan pekerjaan sehari-hari dengan mudah, yang sebelumnya tidak mampu di lakukan 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 dari pada 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 di atas maka penelitian ini akan membahas tentang PLC TM221ME16R. PLC adalah sebuah alat yang di gunakan untuk menggantikan komponen-komponen sistem pengendali konvensional yang dapat di program oleh bahasa pemrograman tertentu yang biasa di gunakan pada proses otomatisasi. Sistem penstabil tegangan secara otomatis bekerja mengatur daya yang di salurkan ke beban tiruan setiap terjadi perubahan frekuensi maupun tegangan akibat perubahan beban pada beban konsumen sehingga menjaga keseimbangan antara daya *input* dan daya *output*.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang penstabil tegangan yang bekerja secara otomatis menggunakan PLC TM221ME16R pada PLTMH Bintang Asih?
2. Bagaimana beban komplemen dapat berperan untuk menjaga kestabilan tegangan pada PLTMH Bintang Asih?

3. Bagaimana cara menyeimbangkan beban konsumen dan beban komplemen sehingga tidak terjadi lonjakan tegangan yang tidak seimbang?

1.3. Tujuan Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Untuk pengontrolan tegangan generator pada PLTMH Bintang Asih menggunakan PLC TM221ME16R.
2. Memudahkan operator pada saat bertugas menjaga pembangkit sehingga operator tidak harus *standby* menjaga pembangkit apabila pembangkit telah bekerja.
3. Merealisasikan sistem kontrol penstabil tegangan yang bekerja secara otomatis dengan menggunakan PLC TM221ME16R pada PLTMH Bintang Asih.

1.4. Batasan Masalah

Masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Beban yang digunakan pada pengujian sistem kontrol PLC TM221ME16R yaitu lampu pijar.
2. Analisis hanya menghitung perbandingan beban konsumen dan beban komplemen.
3. Program yang dibuat hanya melakukan sistem kerja komparasi pada PLC.

1.5. Sistematika Penulisan

Skripsi yang disusun memiliki sistematika sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pendahuluan merupakan bagian pertama yang menjabarkan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dari pengamatan yang dilakukan, dan sistematika penulisan.

BAB II TEORI DASAR

Bab ini membahas penjelasan tentang teori dasar yang digunakan pada pembuatan tugas akhir.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang gambaran dan penjelasan metode yang digunakan untuk penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas hasil pengujian alat dan menganalisa hasil percobaan dari alat tersebut.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan penulis tentang hasil perancangan sistem kontrol penstabil tegangan menggunakan PLC TM221ME16R pada PLTMH Bintang Asih.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka Relevan

Indonesia memiliki potensi alam yang sangat luas baik dalam sumber daya alam hasil bumi maupun yang masih berpotensi untuk di olah dan di kembangkan. Potensi energi listrik banyak tersebar di Indonesia dan perlu di galakkan terutama untuk daerah terpencil dan pedesaan yang jauh dari jaringan *on grid* [9]. Mengingat kapasitas dan jaringannya yang belum melingkupi seluruh daerah, sedangkan peningkatan kebutuhan masyarakat terhadap listrik kian bertambah dari waktu tahun ke tahun maka di harapkan terus di adakannya suatu pengembangan yang tiada henti untuk penggalian sumber energi baru demi kesejahteraan yang merata di setiap tempat [10].

Di suatu sisi yang lain, dimana kenaikan harga BBM juga telah mengurangi daya beli konsumen terutama masyarakat pedesaan dan masyarakat terpencil sehingga menyebabkan masalah-masalah baru yang dapat menurunkan tingkat ekonomi masyarakat desa [11]. Diharapkan dengan adanya peningkatan dan pengembangan dari pembangkit tenaga listrik dapat meringankan dan menjadikan masyarakat desa terpencil yang mandiri [12].

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik berskala kecil kurang dari 200 kW, yang memanfaatkan tenaga air sebagai sumber penghasil energi [13]. Mikrohidro termasuk sumber energi yang terbarukan dan layak disebut *clean energy* karena ramah lingkungan [14]. Dari segi teknologi, mikrohidro dipilih karena konstruksinya sederhana, mudah di operasikan, serta

mudah dalam perawatan dan penyediaan suku cadang. Secara ekonomi mikrohidro adalah pilihan energi yang dapat di andalkan karena biaya operasi dan perawatannya relatif murah, sedangkan biaya investasinya cukup bersaing dengan pembangkit listrik lainnya [15]. Dari sudut pandang sosial mikrohidro lebih di terima oleh masyarakat luas dan memiliki beberapa keunggulan, seperti pengurangan ketergantungan pada sumber bahan bakar fosil dan pengurangan emisi karbon ke atmosfer [16]. Mikrohidro biasa di buat dalam skala desa di daerah-daerah terpencil yang belum mendapat jaringan listrik *on grid*. Tenaga air yang di gunakan dapat berupa aliran air pada sistem irigasi, sungai yang di bendung atau air terjun [17].

Jaringan distribusi tenaga listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berhubungan langsung dengan konsumen. Bagian ini sangat menunjang penyaluran tenaga listrik ke konsumen, untuk itu di perlukan pengoperasiaan dan pemeliharaan jaringan distribusi tenaga listrik yang memadai. Pada penyaluran tenaga listrik, kehandalan jaringan distribusi harus benar-benar di perhatikan, karena dalam jaringan distribusi sangatlah besar kemungkinan terjadinya jatuh tegangan dan susut daya pada kawat penghantar serta susut daya yang terjadi pada transformator distribusi [18].

Mikrohidro setidaknya harus memiliki beban komplemen sebelum sampai pada beban konsumen yang berfungsi untuk menjaga putaran generator agar tetap konstan walaupun beban berubah-ubah dari beban komplemen ke beban konsumen [19].

Mikrohidro ramah terhadap lingkungan karena tidak menghasilkan polusi udara atau limbah lainnya dan tidak merusak ekosistem sungai. Penyediaan listrik

menggunakan mikrohidro akan mengurangi pemakaian bahan bakar fosil untuk penerangan dan kegiatan rumah tangga lainnya [20]. Selain dari pada itu manfaat langsung yang di rasakan oleh masyarakat dari sumber daya air di harapkan dapat mendorong masyarakat memelihara daerah tangkapan air demi menjamin pasokan air bagi kelangsungan operasi mikrohidro [21].

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

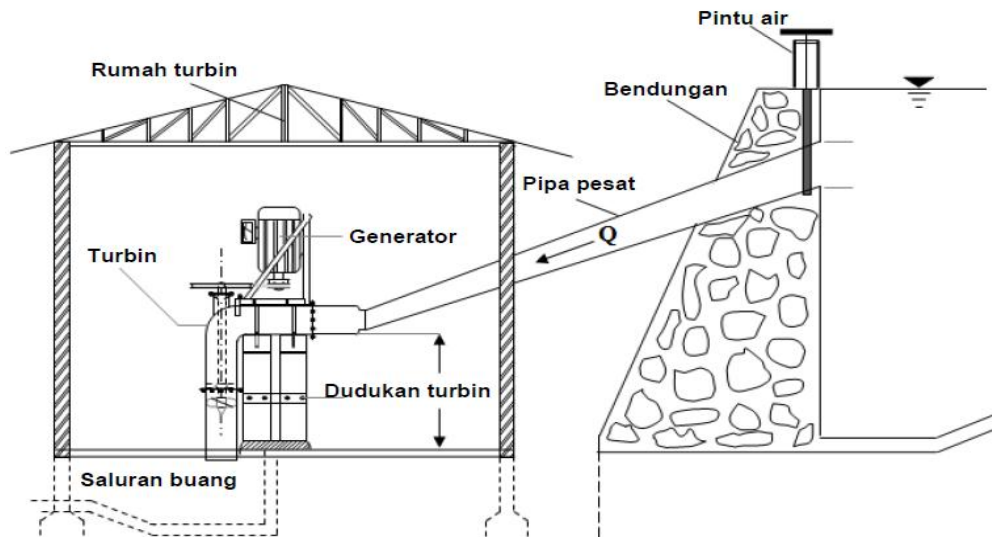
PLTMH adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air di bawah kapasitas 200 kW yang berasal dari saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjun dan debit air.

2.2.2. Prinsip Kerja Mikrohidro

Mikrohidro pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik 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 di manfaatkan sebagai tenaga penggerak turbin. Bendungan perlu di lengkapi dengan pintu air dan saringan sampah untuk mencegah masuknya kotoran dan endapan lumpur. Bendungan sebaiknya di bangun pada dasar sungai yang stabil dan aman terhadap banjir.

Di dekat bendungan di bangun bangunan pengambilan (*intake*). Kemudian di lanjutkan dengan pembuatan saluran penghantar yang berfungsi mengalirkan air dari *intake*. Saluran ini di lengkapi dengan saluran pelimpah pada setiap jarak

tertentu untuk mengeluarkan air yang berlebih. Saluran ini dapat berupa saluran terbuka dan saluran tertutup. Saluran ini di buat dengan di lengkapi *casing* yang berfungsi mengarahkan air ke *runner*. Pada bagian *casing* terdapat pengunci turbin.



Sumber: Academia.edu

Gambar 2.1 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Daya poros dari turbin ini harus di transmisikan ke generator agar dapat di ubah menjadi energi listrik. Generator yang di gunakan pada mikrohidro adalah generator sinkron satu fasa.

Sistem transmisi daya ini dapat berupa sistem transmisi langsung atau sistem transmisi daya tidak langsung, yaitu menggunakan sabuk atau *belt* untuk memindahkan daya antara dua poros sejajar. Keuntungan sistem transmisi langsung adalah lebih kompak, mudah di rawat, dan efisiensinya lebih tinggi. Tetapi sumbu poros harus benar-benar lurus dan putaran poros generator harus sama dengan kecepatan putar poros 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:

$$P = 9.8 \cdot Q_1 \cdot H \cdot \eta_T \cdot \eta_G \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

P = daya keluaran pembangkit

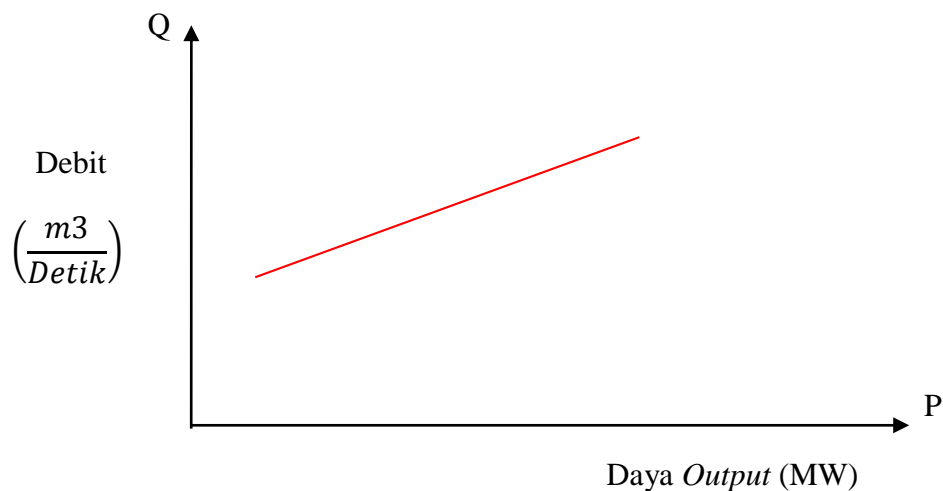
Q_1 = debit air rata-rata (m³/detik)

H = tinggi air (head) (meter)

η_T = efisiensi turbin

η_G = efisiensi generator

Untuk ketinggian air yang konstan bentuk karakteristik tersebut dapat di gambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.2 Karakteristik *Input-Output* Pembangkit Listrik Mikrohidro

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

$$Q_1 = \alpha_1 + \beta_1 \text{Phi} + \gamma_1 \text{Phi}^2 \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

Q_1 = debit air rata-rata (m³/detik)

Phi = keluaran pembangkit hidro

$\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ = konstanta

Keluaran ideal daya listrik dapat di hasilkan dengan pemasangan semua komponen pembangkit mikrohidro secara tepat. Pembangkit mikrohidro memiliki kelebihan di bandingkan dengan pembangkit listrik fosil di antaranya bebas polusi, biaya operasional rendah, dan cocok untuk daerah terpencil dan pelosok. Debit air di peroleh dengan mengalihkan luas penampang saluran air dengan kecepatan air sedangkan tinggi jatuh air atau *head* dapat di ukur menggunakan meteran.

2.3. Komponen Utama Pembangkit Mikrohidro

Pada umumnya PLTMH mempunyai tiga komponen utama yang masing-masing fungsinya sangat menentukan, yaitu: Turbin air, Generator, dan Sistem kontrol otomatis. Pada pembangkit, pengendalian putaran di maksudkan untuk mengendalikan putaran (frekuensi) generator sehingga pengendalian putaran dalam hal ini di utamakan berfungsi sebagai pengendali frekuensi generator. Perubahan putaran (frekuensi) generator dapat di sebabkan karena adanya perubahan daya penggerak. Jika daya air yang masuk ke turbin di buat selalu tetap sehingga daya penggerak turbin selalu tetap, maka frekuensi dan respon generator akan menjadi fungsi dari beban. Agar frekuensi yang di hasilkan oleh generator besarnya selalu

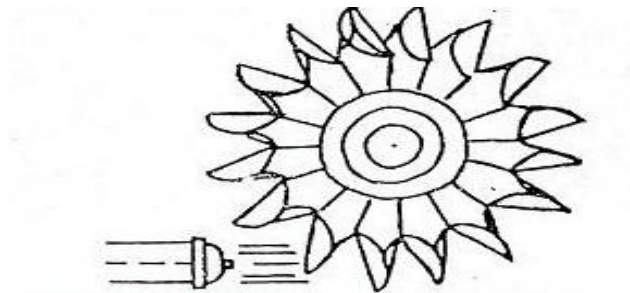
tetap, maka besar beban dari generator harus selalu tetap. Untuk itu di perlukan beban tiruan yang besar bebannya dapat di atur sesuai dengan pengurangan beban dari PLTMH. Beban tiruan ini disebut beban komplemen. Pada suatu kondisi beban tertentu (misal pada beban sebesar 75% beban penuh), daya air yang masuk ke turbin diatur sehingga di peroleh putaran generator yang di kehendaki. Jika pada beban konsumen terjadi penurunan beban sebesar ΔI , maka beban komplemen akan di lewati arus yang rata-ratanya akan sebesar penurunan arus akibat turunnya beban konsumen (ΔI). Dengan demikian generator akan di bebani dengan total beban yang selalu konstan.

2.3.1. Turbin

Turbin merupakan bagian penting dari sistem mikrohidro yang menerima energi potensial dari air dan mengubahnya menjadi energi putaran (mekanik). Kemudian energi mekanik ini akan memutar sumbu turbin pada generator. Terdapat beberapa jenis turbin berdasarkan aliran air masuk *runner*.

1. Turbin Aliran Tangensial

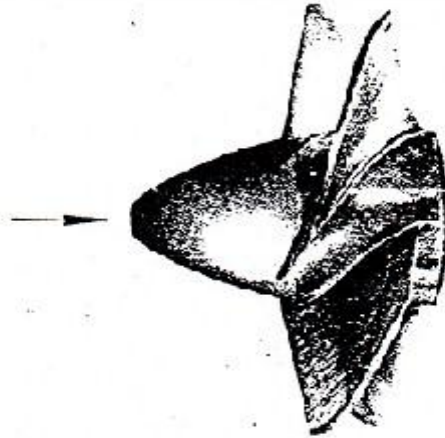
Pada kelompok turbin ini posisi air masuk *runner* dengan arah tangensial atau tegak lurus dengan poros *runner* mengakibatkan *runner* berputar, seperti turbin pelton dan turbin *cross-flow*.



Gambar 2.3 Turbin Aliran Tangensial

2. Turbin Aliran Aksial

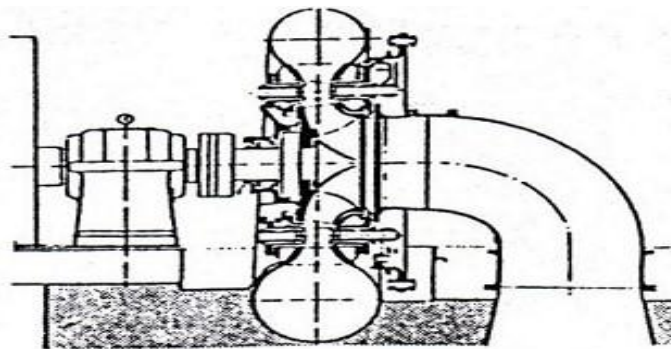
Pada turbin ini air masuk *runner* dan keluar *runner* sejajar dengan poros *runner*, turbin Kaplan atau *propeller* adalah salah satu dari tipe turbin ini.



Gambar 2.4 Model Turbin Aliran Aksial

3. Turbin Aliran Aksial – Radial

Pada turbin ini air masuk ke dalam *runner* secara radial dan keluar *runner* secara aksial sejajar dengan poros. Turbin francis adalah termasuk dari jenis turbin ini.



Gambar 2.5 Model Turbin Aliran Aksial-Radial

2.3.1.1. Berdasarkan Perubahan Momentum Fluida Kerjanya

Dalam hal ini turbin air dapat dibagi atas dua tipe yaitu:

1. Turbin Impuls.

Semua energi potensial air pada turbin ini di ubah menjadi menjadi energi kinetis sebelum air masuk atau menyentuh sudu-sudu *runner* oleh alat pengubah yang disebut nozel. Yang termasuk jenis turbin ini antara lain: turbin *pelton* dan turbin *cross-flow*.

2. Turbin Reaksi.

Pada turbin reaksi, seluruh energi potensial dari air di ubah menjadi energi kinetis pada saat air melewati lengkungan sudu-sudu pengarah, dengan demikian putaran *runner* di sebabkan oleh perubahan momentum oleh air. Yang termasuk jenis turbin reaksi di antaranya: turbin francis, turbin kaplan dan turbin *propeller*.

2.3.1.2. Berdasarkan kecepatan spesifik (n_s).

Yang dimaksud dengan kecepatan spesifik dari suatu turbin ialah kecepatan putaran *runner* yang dapat di hasilkan daya efektif 1 BHP untuk setiap tinggi jatuh 1 meter atau dengan rumus dapat di tulis:

$$n_s = n \cdot Ne^{1/2} / H_{ef}^{5/4} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

n_s = Kecepatan spesifik turbin

n = Kecepatan putaran turbin (rpm)

H_{ef} = Tinggi jatuh efektif (m)

Ne = Daya turbin efektif (HP).

Setiap turbin air memiliki nilai kecepatan spesifik masing-masing, Tabel 2.1 menjelaskan batasan kecepatan spesifik untuk beberapa turbin *konvensional*.

Tabel 2.1 Kecepatan Spesifik Turbin *Konvensional*

No	Jenis Turbin	Kecepatan Spesifik	Satuan
1.	<i>Pelton dan kincir air</i>	10 - 35	?
2.	<i>Francis</i>	60 - 300	?
3.	<i>Cross-Flow</i>	70 - 80	?
4.	<i>Kaplan dan propeller</i>	300 - 1000	?

2.3.1.3. Berdasarkan head dan debit.

Dalam hal ini pengoperasian turbin air disesuaikan dengan potensi *head* dan debit yang ada yaitu:

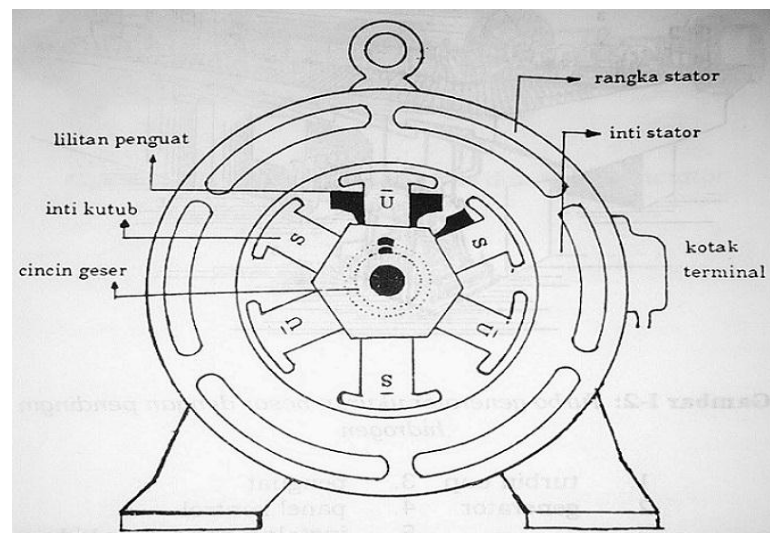
1. *Head* yang rendah yaitu di bawah 40 meter tetapi debit air yang besar, maka turbin *Kaplan* atau *propeller* cocok di gunakan untuk kondisi seperti ini.
2. *Head* yang sedang antara 30 sampai 200 meter dan debit relatif cukup, maka untuk kondisi seperti ini gunakanlah turbin francis atau *cross-flow*.
3. *Head* yang tinggi yakni di atas 200 meter dan debit sedang, maka gunakanlah turbin *inpuls* jenis *pelton*.

Pada pembangkit Mikrohidro Desa Bintang Asih jenis turbin yang di gunakan adalah turbin *propeller* di karenakan *Head* yang rendah namun memiliki debit air yang cukup besar.

2.3.2. Generator Sinkron

Generator sinkron atau *alternator* merupakan jenis mesin listrik yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan bolak-balik dengan cara mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Energi mekanis di peroleh dari putaran rotor yang

di gerakkan oleh penggerak mula (*prime mover*), sedangkan energi listrik di peroleh dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan stator dan rotornya. Generator sinkron dengan definisi sinkronya, mempunyai makna bahwa frekuensi listrik yang dihasilkan sinkron dengan putaran mekanis generator tersebut.



Gambar 2.6 Konstruksi Generator Sinkron

Secara umum generator sinkron terdiri atas stator, rotor, dan celah udara. Stator merupakan bagian dari generator sinkron yang diam sedangkan rotor adalah bagian yang berputar dimana di letakkan kumparan medan yang di suplai oleh arus searah dari eksiter. Celah udara adalah ruang antara stator dan rotor. Pada pembangkit Mikrohidro Desa Bintang Asih Generator yang di gunakan adalah generator AC Sinkron dengan kapasitas sebesar 3000 watt.

2.3.3. Sistem Kontrol Otomatis

Suatu sistem kontrol otomatis dalam suatu proses kerja berfungsi mengendalikan proses tanpa adanya campur tangan manusia (otomatis). Ada dua sistem kontrol pada sistem kendali/kontrol otomatis yaitu:

1. *Open Loop* (Loop Terbuka)

Suatu sistem kontrol yang keluarannya tidak berpengaruh terhadap aksi pengontrolan. Dengan demikian pada sistem kontrol ini, nilai keluaran tidak di umpan-balikkan ke parameter pengendalian.

2. *Close Loop* (Loop Tertutup)

Suatu sistem kontrol yang sinyal keluarannya memiliki pengaruh langsung terhadap aksi pengendalian yang di lakukan. Sinyal *error* yang merupakan selisih dari sinyal masukan dan sinyal umpan balik (*feedback*), lalu di umpankan pada komponen pengendalian (*controller*) untuk memperkecil kesalahan sehingga nilai keluaran sistem semakin mendekati harga yang di inginkan. Keuntungan sistem loop tertutup adalah adanya pemanfaatan nilai umpan balik yang dapat membuat respon sistem kurang peka terhadap gangguan eksternal dan perubahan internal pada parameter sistem.

Kerugiannya adalah tidak dapat mengambil aksi perbaikan terhadap suatu gangguan sebelum gangguan tersebut mempengaruhi nilai prosesnya. Elemen dasar sistem otomasi terdapat tiga elemen dasar yang menjadi syarat mutlak bagi sistem otomasi, yaitu *power*, *program of instruction*, kontrol sistem yang kesemuanya untuk mendukung proses dari sistem otomasi tersebut. *Power* atau bisa dikatakan sumber energi dari sistem otomasi berfungsi untuk menggerakkan semua komponen dari sistem otomasi. Sumber energi dapat menggunakan energi listrik, baterai, ataupun Accu, semuanya tergantung dari tipe sistem otomasi itu sendiri.

Sistem otomasi dapat di definisikan sebagai suatu teknologi yang berkaitan dengan aplikasi mekanik, elektronik dan sistem yang berbasis komputer (komputer, PLC atau mikro). Semuanya bergabung menjadi satu untuk memberikan fungsi terhadap *manipulator* (mekanik) sehingga akan memiliki fungsi tertentu.

2.4. Komponen-komponen Sistem Kontrol Penstabil Tegangan

Sistem kontrol penstabil tegangan terdiri dari beberapa komponen yang membantu agar sistem kontrol tersebut bekerja secara maksimal, Antara lain:

2.4.1. Programmable Logic Controller

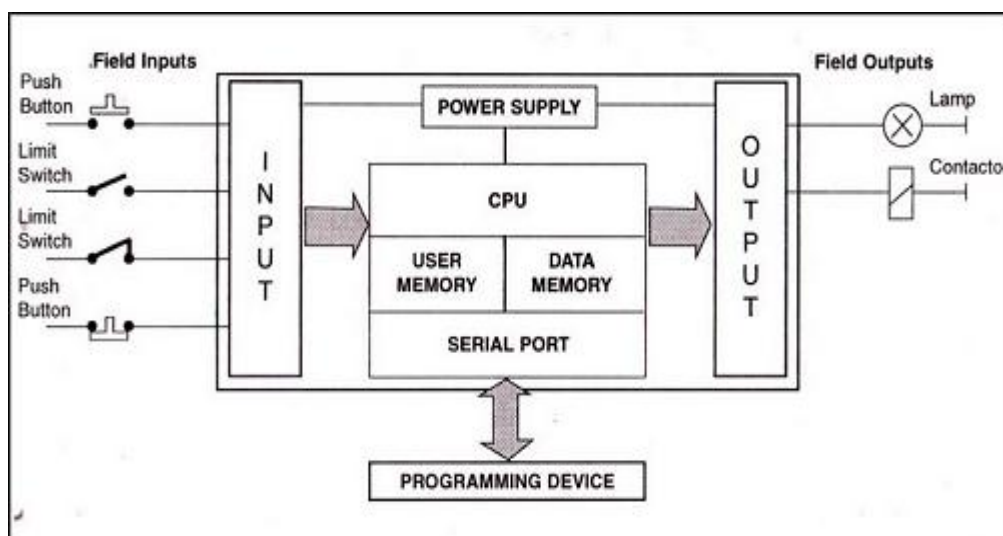
Programmable Logic Controllers (PLC) adalah komputer elektronik yang mudah digunakan yang memiliki fungsi kendali untuk berbagai tipe dan tingkat kesulitan yang beraneka ragam. PLC ini dirancang untuk menggantikan suatu rangkaian *relay sequensial* dalam suatu sistem kontrol. Selain dapat di program, alat ini juga dapat di kendalikan, dan di operasikan oleh orang yang tidak memiliki pengetahuan di bidang pengoperasian komputer secara khusus. PLC ini memiliki bahasa pemrograman yang mudah di pahami dan dapat di operasikan bila program yang telah di buat dengan menggunakan *software* yang sesuai dengan jenis PLC yang di gunakan. 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 di harapkan terpenuhi sedangkan angka 0 berarti keadaan yang di harapkan tidak terpenuhi. Fungsi dan kegunaan PLC sangat luas. Dalam prakteknya PLC dapat di bagi secara umum dan secara khusus. Secara umum fungsi PLC adalah sebagai berikut:

1. *Sekuensial Control*. PLC memproses *input* sinyal biner menjadi *output* yang di gunakan untuk keperluan pemrosesan teknik secara berurutan (*sekuensial*), disini PLC menjaga agar semua *step* atau langkah dalam proses sekuensial berlangsung dalam urutan yang tepat.
2. *Monitoring Plant*. PLC secara terus menerus memonitor status suatu sistem (misalnya temperatur, tekanan, tingkat ketinggian) dan mengambil tindakan yang di perlukan sehubungan dengan proses yang di kontrol (misalnya nilai sudah melebihi batas) atau menampilkan pesan tersebut pada operator.

2.4.1.1. Prinsip Kerja PLC

Prinsip kerja sebuah PLC adalah menerima sinyal masukan proses yang di kendalikan 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.

PLC memiliki dua bagian dasar, yaitu: *Input/Output interface system* dan *Central Processing unit*.

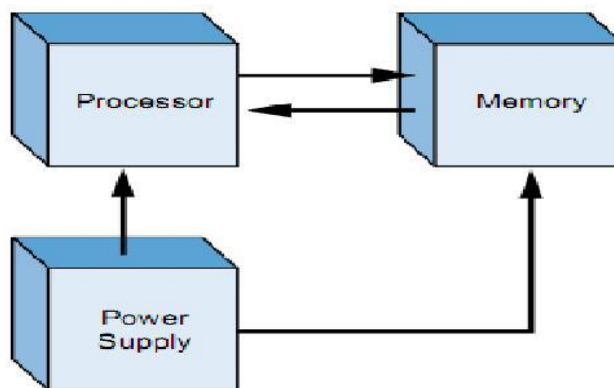


Gambar 2.7 Prinsip Kerja PLC

1. Input

Input yang akan masuk ke dalam CPU berupa *signal* dari sensor atau transduser. *Signal* sensor ini terdapat dua jenis, yaitu: *discrete signal* dan *analog signal*. *Discrete signal* berupa saklar biner dimana hanya sebuah *ON* atau *OFF signal* (1 atau 0, Benar atau salah), Contohnya: *push button*, *limit switch* dan *level sensor*. Sedangkan *analog signal* menggunakan prinsip rentang suatu nilai antara nol hingga skala penuh.

2. Central Processing Unit



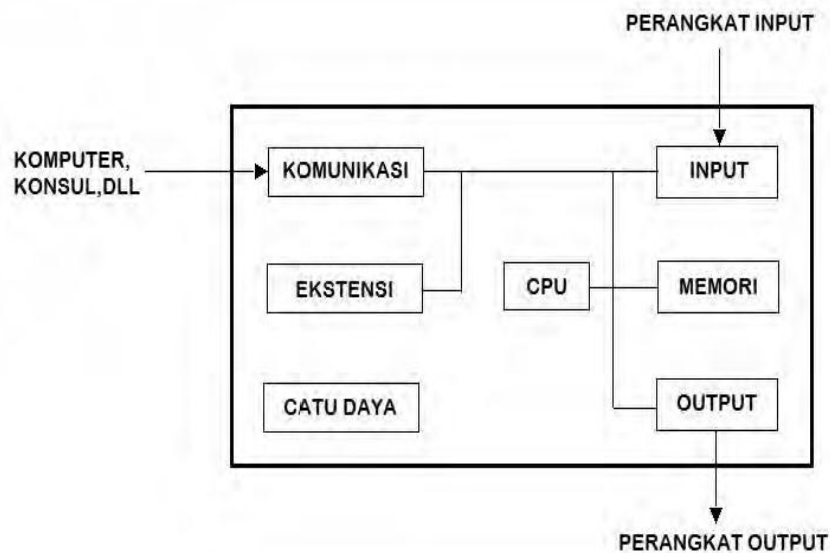
Gambar 2.8 Sistem Kerja CPU

Semua aktivitas atau pemrosesan data yang di ambil dari sensor (*data input*) terjadi pada *Central Processing Unit* (CPU). CPU ini memiliki tiga bagian utama, yaitu: *Processor*, *Memory System*, dan *System Power Supply*. *Processor* akan memproses *signal input* secara aritmatik dan *logic*, yaitu melakukan operasi logika, *sequential*, *timer*, *counter* dan mengolah fungsi-fungsi yang di inginkan berdasarkan program yang telah di tentukan. Selain itu, *processor* juga mengolah program yang ada di dalam memori,

serta mengatur komunikasi antara *input-output*, memori dengan *processor* itu sendiri.

3. Output

Hasil pemrosesan data yang di olah pada CPU berupa *signal* keluaran digital yang di kirim ke modul *output* untuk menjalankan aktuator. Aktuator ini dapat berupa motor listrik, solenoid, *heater*, *led display*, *injector*, *heater*, pompa, dan lain-lain.



Gambar 2.9 Komponen penyusun PLC

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

- a. CPU (*central processing unit*), merupakan otak dari sebuah PLC yang dapat menjalankan program, menyimpan dan mengambil data dari memori, membaca nilai input serta mengatur nilai *output*, memeriksa adanya kerusakan (*self-diagnosis*), serta dapat melakukan komunikasi dengan perangkat pembantu.

- b. Masukan atau *input*, merupakan masukan sinyal yang akan di olah oleh CPU. Perangkat *input* dapat berupa sensor atau, *push button* dan *switch*.
- c. Keluaran atau *output*, merupakan sinyal keluaran yang telah di olah oleh CPU. Perangkat *output* dapat berupa aktuator seperti lampu, *valve*, *blower*, motor dan lain-lain.
- d. Memori, merupakan tempat untuk menyimpan program dan data yang akan di jalankan dan diolah oleh CPU. Dalam PLC memori terdiri atas memori program untuk menyimpan program yang akan di eksekusi, memori data untuk menyimpan nilai-nilai hasil operasi CPU, nilai *timer* dan *counter*, serta memori yang menyimpan nilai kondisi *input* dan *output*. Biasanya PLC memiliki satuan memori dalam *word* (16bit).
- e. Fasilitas komunikasi, yang membantu CPU dalam melakukan pertukaran informasi atau data dengan perangkat lain, termasuk juga berkomunikasi dengan komputer untuk melakukan pemrograman dan pemantauan.
- f. Fasilitas ekspansi, untuk menghubungkan modul PLC dengan modul pengembangan *input/output* sehingga jumlah terminal I/O dapat di tingkatkan.
- g. Catu daya, untuk memberikan sumber tegangan kepada semua komponen dalam PLC. Biasanya sumber tegangan PLC adalah 220 VAC atau 24 VDC.

2.4.2. PLC Modicon TM221ME16R

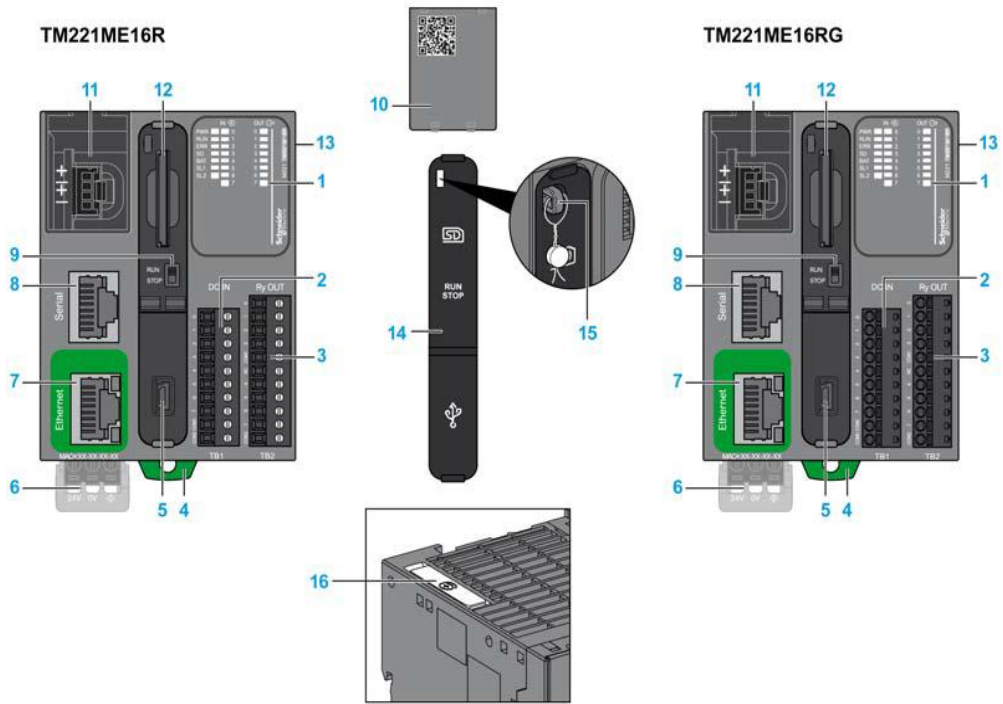
Schneider merupakan salah satu merk dagang elektronik yang terkenal dan memiliki berbagai macam kontroller dan komponen kelistrikan. PLC Modicon merupakan produk PLC Schneider yang di buat untuk kebutuhan industri. PLC ini dapat di konfigurasi dan di program dengan perangkat lunak *SoMachine Basic* dan

mendukung bahasa pemrograman IEC 61131-3 yang mencakup *instruction list*, *ladder diagram*, dan *grafcet*. Perangkat ini memiliki jumlah I/O sebesar 16,24 dan 40 yang dapat di ekspansi hingga 120 I/O serta memiliki memori sebesar 512 Kbyte (RAM) dan 1,5 Mbyte (FLASH). PLC TM221 terdiri dari beberapa tipe di antaranya adalah, TM221C16R, TM221C16T, TM221C16U, TM221C24R, TM221C24T, TM221C24U, TM221C40R, TM221C40T, TM221C40U, TM221CE16R, TM221CE16T, TM221CE16U, TM221CE24R, TM221CE24T, TM221CE24U, TM221CE40R, TM221CE40T, TM221CE40U, TM221M16R/G, TM221M16T/G, TM221M32TK, TM221ME16R/G, TM221ME16T/G, TM221ME32TK, Dengan jumlah I/O 16, 24 dan 40. Tipe PLC yang di gunakan dalam tugas akhir ini adalah 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 di bagian depan. Bentuk fisik dari PLC modicon TM221ME16R dapat di lihat pada gambar 2.10 di bawah ini.



Gambar 2.10 Bentuk Fisik PLC Modicon TM221ME16R

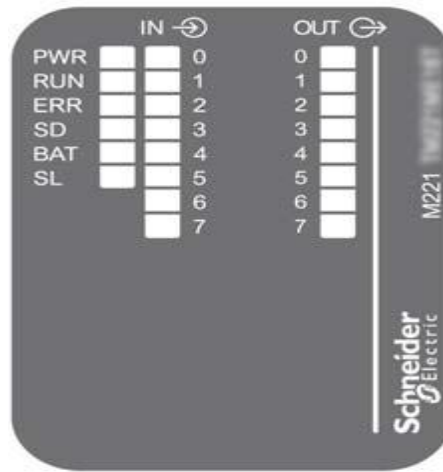


Gambar 2.11 Komponen Pengontrol Pada PLC

Tabel 2.2 Deskripsi fisik PLC Modicon TM221ME16R

N ^o	Description	Refer to
1	Status LEDs	–
2	Input removable terminal block	Rules for Removable Screw Terminal Block (<i>see page 93</i>)
3	Output removable terminal block	Rules for Removable Spring Terminal Block (<i>see page 94</i>)
4	Clip-on lock for 35 mm (1.38 in.) top hat section rail (DIN-rail)	DIN Rail (<i>see page 83</i>)
5	USB mini-B programming port / For terminal connection to a programming PC (SoMachine Basic)	USB mini-B programming port (<i>see page 328</i>)
6	24 Vdc power supply	Power supply (<i>see page 98</i>)
7	Ethernet port / RJ45 connector	Ethernet port (<i>see page 330</i>)
8	Serial line port 1 / RJ45 connector (RS-232 or RS-485)	Serial line 1 (<i>see page 333</i>)
9	Run/Stop switch	Run/Stop switch (<i>see page 60</i>)
10	Removable analog inputs cover	–
11	2 analog inputs	Analog Inputs (<i>see page 232</i>)
12	SD Card slot	SD Card Slot (<i>see page 62</i>)
13	I/O expansion connector	–
14	Protective cover (SD Card slot, Run/Stop switch and USB mini-B programming port)	–
15	Locking hook	–
16	Battery holder	Installing and Replacing the Battery (<i>see page 49</i>)

Bagian tampilan untuk melihat status kerja PLC dari lampu indikator



Gambar 2.12 Indikator PLC

Table 2.3 Deskripsi Indikator PLC

Label	Function Type	Color	Status	Description		
				Controller States ¹	Prg Port Communication	Application Execution
PWR	Power	Green	On	Indicates that power is applied.		
			Off	Indicates that power is removed.		
RUN	Machine Status	Green	On	Indicates that the controller is running a valid application.		
			Flashing	Indicates that the controller has a valid application that is stopped.		
			Off	Indicates that the controller is not programmed		
ERR	Error	Red	On*	EXCEPTION	Restricted	NO
			Flashing (with RUN status LED Off)	INTERNAL ERROR	Restricted	NO
			Slow flash	Minor error detected	Yes	Depends on the RUN status LED
			1 single flash	No application	Yes	Yes
SD	SD Card Access (see page 62)	Green	On	Indicates that the SD card is being accessed		
			Flashing	Indicates that an error was detected during the SD card operation.		
			Off	Indicates no access (idle) or no card is present.		
BAT	Battery (see page 40)	Red	On	Indicates that the battery needs to be replaced.		
			Flashing	Indicates that the battery charge is low.		
SL	Serial line 1 (see page 333)	Green	Off	Indicates that the battery is OK		
			On	Indicates the status of Serial line 1		
			Flashing	Indicates activity on Serial line 1		
			Off	Indicates no serial communication		
* ERR LED is also On during booting process						
NOTE: For information about the LEDs integrated into the Ethernet connector, refer to Ethernet Status LEDs (see page 337)						

2.4.3. Modul Ekspansi

Modul ekspansi adalah modul tambahan yang di sediakan oleh Schneider untuk memenuhi kebutuhan I/O. Ekspansi ini terdiri dari beberapa tipe di antaranya adalah: TM3DI16K, TM3DI16/G, TM3DI32K, TM3DI8A, TM3DI8/G, TM3DM24R/G, TM3DM8R/G, TM3DQ16R/G, TM3DQ16TK, TM3DQ16T/G, TM3DQ16UK, TM3DQ16U/G, TM3DQ32TK, TM3DQ32UK, TM3DQ8R/G, TM3DQ8T/G, TM3DQ8U/G. Ekspansi *output* yang di gunakan pada tugas akhir adalah ekspansi TM3DQ16R.

2.4.3.1. Ekspansi TM3DQ16R/G

Modul ekspansi TM3DQ16R/G merupakan ekspansi untuk digital *output*, untuk digital *output* tersedia hanya 8 *output* dan 16 *output*. Digital *output* digunakan untuk kontrol *on-off* yang mengenali logika 0 dan 1. Spesifikasi ekspansi TM3DQ16R/G tertera pada table 2.4.

Tabel 2.4 Spesifikasi Ekspansi TM3DQ16R/G

Reference	Channel	Channel Type	Voltage Current	Terminal Type / Pitch
TM3DQ16R/G	16	Relay Output	5 V : 37 mA / 24 V : 77 mA 2A relay outputs expansion module with 2 common lines and removable terminal block	Removable screw terminal blocks / 3.81 mm

Berdasarkan tabel di atas ekspansi menggunakan arus tegangan 5 V : 37 mA / 24 V : 77 mA. Untuk *output* ekspansi menggunakan relay 2 Ampere.



Gambar 2.13 Bentuk Fisik dan Bagian-bagian TM3DQ16R/G

Bagian-bagian pada gambar di atas adalah sebagai berikut:

1. LED untuk menampilkan I/O *channel* yang aktif.
2. *Clip-on lock* untuk bagian atas *section rail* (DIN-rail).
3. Terminal *block removable*.
4. Konektor ekspansi untuk TM3 I/O bus.
5. Pengunci *device* pada modul *device* sebelumnya.

2.4.4. Perangkat Lunak

Dalam tugas akhir ini, perangkat lunak yang akan di gunakan antara lain adalah *SoMachine Basic* yang di gunakan untuk membuat program *ladder* pada PLC.

2.4.4.1. SoMachine Basic

SoMachine Basic merupakan perangkat lunak PLC yang di gunakan 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.

SoMachine Basic memiliki beberapa kelebihan di antaranya:

1. Dapat meningkatkan efisiensi dengan kinerja yang fleksibel dan *scalable*. *Software* ini dapat dilakukan pergantian *controller* satu dengan *controller* lainnya, sementara dapat tetap mempertahankan logika dan konfigurasi. Beberapa versi *SoMachine Basic* dapat berjalan secara paralel dalam sebuah sistem serta dapat membantu memastikan kompatibilitas.
2. *Vijeo-Designer* dapat mengkonfigurasi dan mengkomunikasikan alat untuk perangkat kontrol gerak, IEC 61131-3 bahasa, mengintegrasikan konfigurasi *fieldbus*, ahli *diagnosis*, dan *men-debug*. Beberapa kemampuan lainnya ialah untuk pemeliharaan dan visualisasi termasuk *web visualization*.
3. Saat mesin mulai bekerja, maka *SoMachine* juga telah siap bekerja untuk menyediakan data yang sebenarnya pada PC. Sehingga *software* dapat menyederhanakan integrasi dan pemeliharaan.

Berikut ini ialah perangkat-perangkat yang dapat menggunakan perangkat lunak *SoMachine Basic*:

1. *Controller: Logic Controller* modicon M221, M238, M241, M251, dan M258, *Motion Controller* modicon LMC058, dan LMC078, HMI *Controller Magelis SCU, Magelis XBTGC dan XBTGC/GK, serta Drive Controller Altivar IMC*.
2. *I/O modules: Modicon TM2, TM3, TM5 dan TM7*.
3. HMI: *Wonderware, Magelis STO/STU Small Panels, Magelis GH/Magelis GK/Magelis GT Advanced Panels dan Magelis STO dan Magelis GTO Optimum Advanced Panels*.

Pada *software* untuk PLC, pada umumnya di gunakan model *Ladder Diagram* untuk melakukan pemrograman. Pada *ladder diagram* terdapat berbagai jenis objek pada *software* yang fungsinya berbeda-beda seperti *timer*, *counter*, *comparison*, dan *operation*. Berikut adalah penjelasan dari beberapa fungsi tersebut:

1. Timer

Timer pada *ladder diagram* berfungsi sebagai batas waktu pada program untuk berubah menjadi *open* atau *close*. *Timer* ada dua jenis yaitu *ON delay* dan *OFF delay*. *Timer* jenis *ON delay* akan membuat suatu kontak/rangkaian menjadi *ON/close* dengan waktu *delay* tertentu yang dapat di tentukan oleh pemrogram. Sedangkan *timer* jenis *OFF delay* akan membuat rangkaian menjadi *OFF/open* dengan waktu *delay* yang di tentukan oleh pembuat program.

2. Counter

Fungsi *counter* pada *software SoMachine Basic* adalah untuk menghitung dengan batas tertentu berapa kali suatu kontak aktif. Koil dari *counter* tersebut dapat di jadikan fungsi *compare* untuk menentukan pada kali keberapa suatu koil akan aktif. Jumlah *counter* yang dapat digunakan maksimum sampai 225 buah.

3. Comparison Block

Comparison Block atau fungsi *compare* berfungsi sebagai pembanding apakah suatu kontak akan *close* atau *open*. Apabila nilai yang tercantum pada *expression* cocok pada pembacaan nilai pada *compare*, maka *comparison block* akan aktif.

4. *Operation Block*

Operation Block berfungsi sebagai pemroses *input* analog dari *software SoMachine Basic*. Pada *operation block*, *input* analog akan di proses dan akan mengeluarkan bilangan bentuk desimal yang dapat di konversi kembali sesuai formulasi yang di masukkan oleh pembuat program.

2.4.5. **Relay**

Relay adalah komponen elektronika berupa saklar elektronik yang di gerakkan oleh arus listrik. Secara prinsip *relay* merupakan tuas saklar dengan lilitan kawat pada batang besi (*solenoid*) di dekatnya. Ketika *solenoid* di aliri arus listrik maka tuas akan tertarik karena adanya gaya magnet yang terjadi pada *solenoid* sehingga kontak saklar akan menutup. Pada saat arus di hentikan, gaya magnet akan hilang maka tuas akan kembali ke posisi semula dan kontak saklar kembali terbuka. *Relay* biasanya di gunakan 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 2.14 di bawah ini.



Gambar 2.14 Relay

Konfigurasi dari kontak-kontak *relay* ada tiga jenis, yaitu:

1. *Normally Open* (NO), apabila kontak-kontak tertutup saat *relay* di catu
2. *Normally Close* (NC), apabila kontak-kontak terbuka saat *relay* di catu
3. *Command* adalah basis dari *normally open* dan *normally close*

2.4.6. Current Transformer (CT)

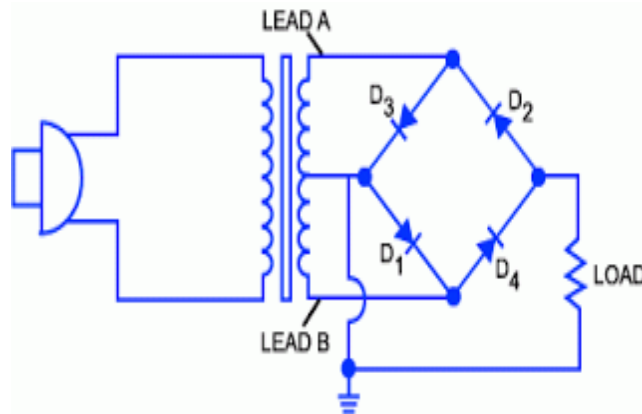
Current Transformer (CT) merupakan peralatan yang berfungsi untuk membaca nilai arus pada beban. Nilai arus tersebut di gunakan sebagai nilai referensi untuk melakukan perbandingan antara beban yang di gunakan pada beban konsumen dan beban komplemen. Di karenakan PLC menggunakan analog *input* maka PLC hanya membaca sinyal-sinyal masukan yang di hasilkan oleh sensor-sensor tersebut sehingga PLC dapat menjalankan program sesuai dengan *setpoint* yang telah di tentukan. *Current Transformer* (CT) dapat dilihat pada gambar 2.15 di bawah ini.



Gambar 2.15 Current Transformer

2.4.7. Dioda Bridge

Dioda bridge atau jembatan dioda merupakan suatu alat yang berfungsi sebagai penyearah arus bolak-balik AC menjadi arus searah DC. Skema *Dioda Bridge* dapat di lihat pada gambar 2.16 di bawah ini.



Gambar 2.16 Rangkain Dioda Bridge

2.4.8. 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 digunakan sehingga generator dapat berputar secara konstan. Lampu Pijar dapat dilihat pada gambar 2.17 di bawah ini.



Gambar 2.17 Lampu Pijar

2.4.9. Heater

Heater atau elemen pemanas merupakan alat yang memiliki fungsi sama seperti lampu pijar yaitu sebagai penyeimbang beban. *Heater* akan bekerja apabila generator mengalami tegangan berlebih dan *heater* juga akan bekerja apabila

beberapa bola lampu putus akibat beban yang terlalu tinggi. Apabila *heater* hidup maka listrik warga akan mati selama 15 menit. *Heater* dapat di lihat pada gambar 2.18 di bawah ini.



Gambar 2.18 Elemen Pemanas

2.4.10. Miniatur Circuit Breaker (MCB)

Miniatur Circuit Breaker adalah sebuah komponen listrik yang berfungsi sebagai proteksi arus lebih yang di sebabkan terjadinya beban lebih dan arus lebih karena adanya hubung singkat. *Miniatur Circuit Breaker* dapat di lihat pada gambar 2.19 di bawah ini.



Gambar 2.19 Miniatur Circuit Breaker

2.4.11. Pilot Lamp

Pilot lamp adalah sebuah lampu indikator yang di pasang untuk melakukan *monitoring* kelistrikan yang ada. *Pilot lamp* dapat di lihat pada gambar 2.20 di bawah ini.



Gambar 2.20 Pilot lamp

2.4.12. Battery Charger

Battery charger adalah peranti yang di gunakan untuk mengisi energi ke dalam *battery* (isi ulang) dengan memasukkan arus listrik melaluinya. Arus listrik yang di masukkan nilainya 24 VDC dapat di lihat pada gambar 2.21 di bawah ini.



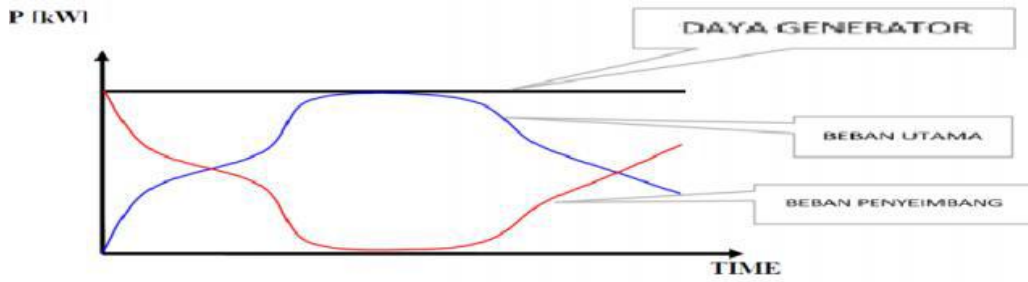
Gambar 2.21 Battrey Charger

2.5. Perancangan Sistem Comparasi PLC TM221ME16R

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 di sampling kemudian di bandingkan 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 di gunakan 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 di lakukan dengan mengatur tegangan masuk ke beban komplemen.

2.6. Beban Komplemen

Pengaturan pembebanan pada PLTMH skala kecil dengan menggunakan sistem kontrol yang terintegrasi menjadi sesuatu yang harus di lakukan. Hal tersebut di lakukan dengan memasang beban penyeimbang yang paralel terhadap beban utama. Beban penyeimbang adalah suatu sistem yang berfungsi sebagai *regulator* tegangan pada sebuah generator listrik. Beban penyeimbang atau disebut *ballast load* merupakan sebuah beban yang tegangan masuknya terkontrol dalam aplikasinya di gunakan untuk meratakan nilai beban total generator dengan beban utama. Dengan kata lain daya keluaran dari generator akan stabil meskipun terjadi perubahan konsumsi daya pada beban utama seperti tampak pada gambar 2.22 di bawah ini.



Gambar 2.22 Grafik Pemakaian Daya Pada Beban Utama dan Beban Penyeimbang.

Gaya gerak listrik pada generator di nyatakan dengan:

$$E = C n \Phi \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

E = Gaya gerak listrik (*Volt*)

C = konstanta

Φ = fluksi magnetik (*Webber*)

n = Kecepatan putaran rotor (*Rpm*)

Apabila terjadi penurunan beban maka putaran (n) akan naik dan di ikuti oleh naiknya frekuensi, jika fluksi (Φ) konstan maka generator akan mengalami tegangan berlebih (*over voltage*). Apabila terjadi peningkatan beban maka putaran (n) akan turun dan di ikuti oleh turunnya frekuensi, jika fluksi (Φ) konstan maka generator akan mengalami penurunan tegangan (*voltage drop*).

2.7. Keuntungan Penggunaan PLC TM221ME16R Pada PLTMH

Penggunaan PLC TM221ME16R pada PLTMH akan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Tegangan yang di dihasilkan generator akan stabil, sehingga menghindari kerusakan peralatan listrik (TV, lampu, dll).

2. Dapat menghindari kerusakan generator akibat kecepatan berlebih pada saat beban konsumen berkurang (*runaway speed*).
3. Tidak di perlukan lagi buka tutup *valve* turbin pada saat terjadi perubahan beban, sehingga pekerjaan operator lebih praktis dan efisien.
4. Tidak akan terjadi tekanan air balik (*water hammer*) pada pipa *penstock* yang di sebabkan penutupan *valve* turbin secara tiba-tiba.
5. Kemudahan dalam pemasangan, pengoperasian, dan perawatan.
6. PLC TM221ME16R mampu menerima perubahan beban yang besar dalam waktu yang sangat cepat.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) Dusun Bintang Asih, Desa Rumah Sumbul Tiga Juhar, Kec. STM Hulu, Kab. Deli Serdang.



Gambar 3.1 Peta Lokasi PLTMH Bintang Asih

3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan bahan dan peralatan sebagai penunjang pembuatan alat dan pengambilan data. Bahan dan peralatan yang di gunakan sebagai berikut:

3.2.1. Bahan Penelitian

Table 3.1 Daftar Bahan Yang Digunakan Untuk Rangkaian Pengontrolan

No	Nama Alat	Jumlah	Satuan
1.	PLC TM221ME16R	1	Buah
2.	Ekpansi TM3DQ16R	1	Buah
3.	Relay	24	Buah
4.	Terminal	2	Buah
5.	Kabel	2	Gulung
6.	Kabel Duct	1	Set Komplit
7.	Din Rail	1	Buah
8.	Current Transformer	1	Buah
9.	Trafo CT 220 V menjadi 10 Vdc	1	Buah
10.	Lampu Pijar	22	Buah
11.	Kontaktor	1	Buah
12.	Heater	4	Buah
13.	Box Panel	1	Buah
14.	Laptop	1	Buah
15.	Kabel Program PLC	1	Buah
16.	Software SoMachine Basic	1	Buah
17.	Voltage Regulator Manual	1	Buah

3.2.2. Peralatan Penelitian

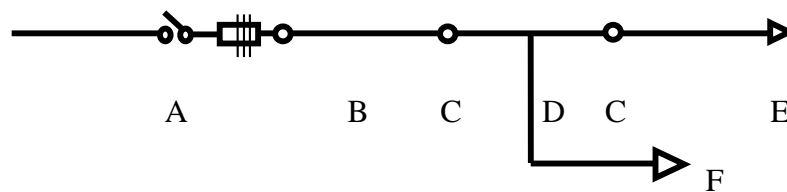
Adapun peralatan yang di gunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tang Ampere Digital, berfungsi untuk mengukur arus listrik pada sebuah kabel konduktor yang di aliri arus listrik dengan menggunakan dua rahang penjepitya (*Clamp*) tanpa harus memiliki kontak langsung dengan terminal listrik.
2. Multimeter Digital, berfungsi untuk mengukur tegangan listrik baik tegangan AC maupun DC, arus listrik dan tahanan listrik (resistansi). Multimeter digital juga berfungsi memeriksa hubung singkat (koneksi), memeriksa transistor, elco, diode, led, diode zener, dll.
3. Tang *Crimping* (Tang Press), berfungsi untuk pegencang kabel lug terhadap kabel. Dengan menggunakan Tang *Crimping* akan di pastikan kekuatan dan kekencangan sambungan antara kabel beserta soket nya lebih terjamin.
4. Obeng, berfungsi untuk memasang dan melepas skrup antar komponen. Bila di tinjau dari penampangnya, di bedakan menjadi 2, yaitu obeng pipih (-/min) dan obeng plus (+/kembang/bintang/philip).
5. Pisau *Cutter*, berfungsi untuk memotong sebuah benda. Pisau *cutter* terdiri dari dua bagian utama, yaitu bilah pisau dan gagang pisau. Bilah pisau terbuat dari logam pipih yang tepinya di buat tajam yang disebut mata pisau, sedangkan pegangan pisau (gagang pisau) berbentuk memanjang agar dapat di genggam dengan tangan.
6. Penggaris, berfungsi untuk mengukur dan membuat garis lurus pada panel.
7. Tespen, berfungsi untuk memeriksa atau mengetahui ada tidaknya suatu tegangan listrik.

8. Tang Potong, berfungsi untuk memotong kabel dan kawat serta berfungsi juga sebagai membuka tembaga pada kabel.
9. Spidol *Permanent*, berfungsi untuk memberi tanda (bacaan) pada saat pengerjaan panel kontrol.
10. Bor Listrik, berfungsi untuk membuat lubang pada panel kontrol.

3.3. Jaringan Distribusi PLTMH Bintang Asih

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 di tarik dan di isi tegangan langsung dari pembangkit tenaga listrik tanpa melalui transformator. Adapun cara pemasangan sistem jaringan distribusi tegangan rendah langsung seperti terlihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 3.2 Jaringan Distribusi Tegangan Rendah Langsung

Dimana:

- A = Pemutus dan Pengaman Tegangan 220 V
- B = Kabel Tegangan Rendah
- C = Tiang Jaringan
- D = Kawat Jaringan Konsumen

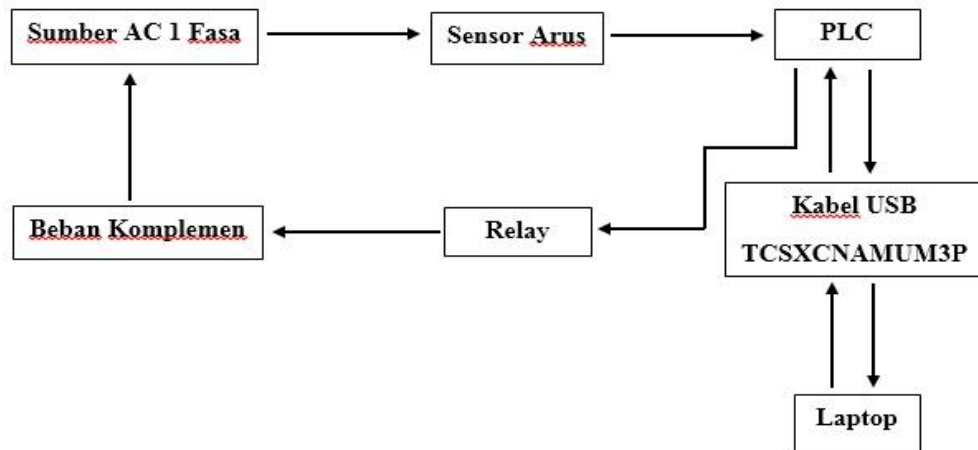
E = Pemakai / Konsumen

F = Beban Komplemen

Dari gambar di atas merupakan *single line diagram* dari jaringan PLTMH Bintang Asih. Daya yang di hasilkan oleh generator tidak langsung di distribusikan tetapi terlebih dahulu masuk kepada sistem kontrol penstabil tegangan menggunakan PLC yang berfungsi sebagai beban semu jika daya pembangkitan tidak di serap seluruhnya oleh konsumen agar generator tetap bekerja dengan normal. Daya yang di bangkitkan oleh generator sebesar 3kW yang mensuplai 21 rumah dan 1 musholla.

3.4. Blok Diagram Sistem

Pada penelitian ini untuk mendapatkan data yang di inginkan dan sesuai dengan tujuan awal maka di bawah ini adalah gambaran dari blok diagram sistem secara keseluruhan. Blok diagram tersebut menjelaskan bagaimana sistem bekerja mulai dari sumber daya, pembacaan nilai arus menggunakan sensor, nilai yang telah di dapatkan dari sensor arus di terima oleh PLC. PLC di hubungkan ke laptop dengan menggunakan kabel usb TCSXCNAMUM3P. Ketika program telah di buat PLC akan bekerja memutus atau menghubungkan aliran listrik ke beban komplemen. Beban komplemen di gunakan untuk menjaga kestabilan tegangan yang di hasilkan oleh generator dengan *setpoint* yang telah di tentukan pada saat membuat program yang di tanamkan pada PLC.



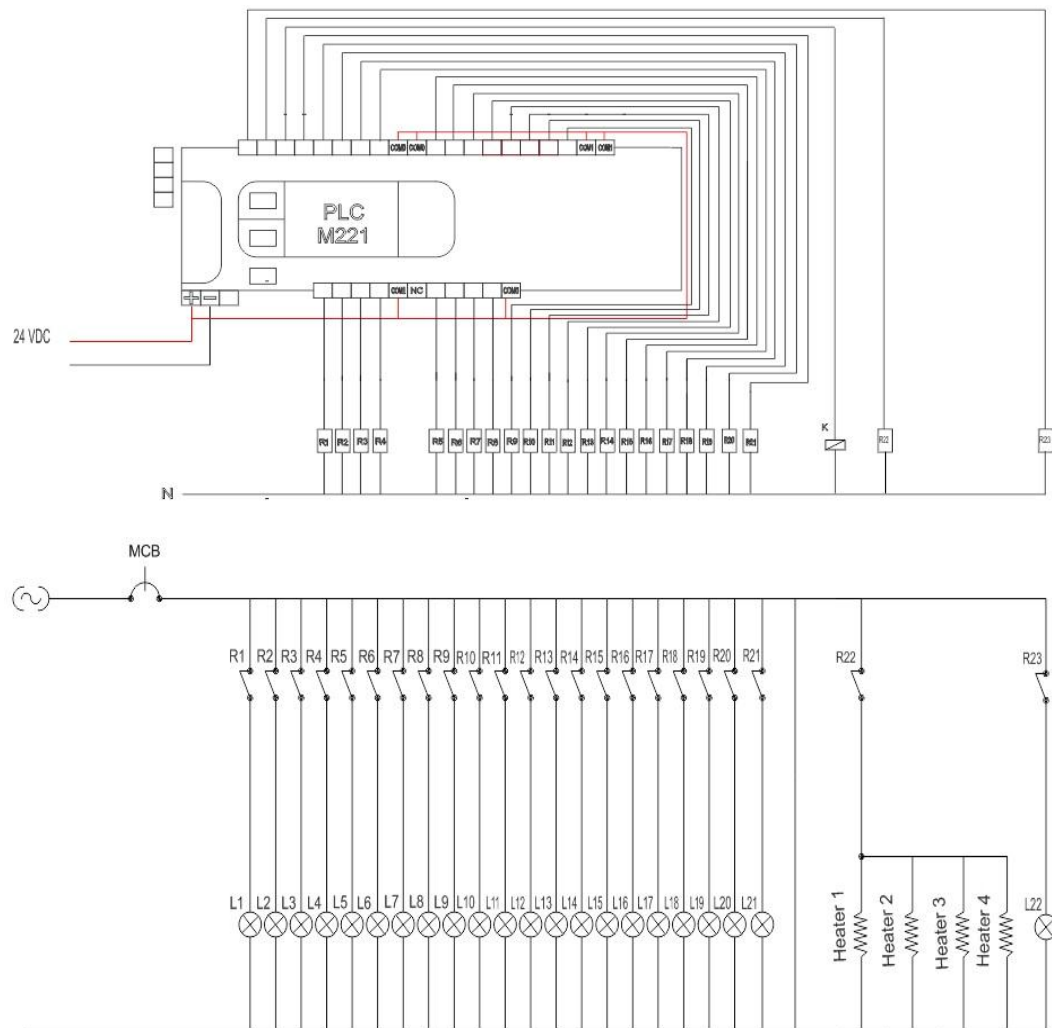
Gambar 3.3 Blok Diagram Sistem

3.5. Perancangan Sistem Kontrol Beban

Perancangan sistem kontrol beban merupakan suatu metode yang di pelajari dari analisa masalah-masalah yang terjadi di PLTMH Bintang Asih. Masalah yang paling sulit di atasi adalah menjaga kestabilan tegangan akibat dari banyak atau tidaknya pemakaian beban listrik yang mengakibatkan operator harus *standby* di rumah pembangkit dan pada panel kontrol. Jarak antara rumah pembangkit dan panel kontrol yang jauh mengakibatkan operator kewalahan dalam menjalani tugasnya. Maka dari itu perancangan sistem kontrol ini guna memudahkan kerja operator dan menjaga generator berputar secara konstan agar menghasilkan energi listrik yang stabil sesuai dengan *setpoint* yang di inginkan.

3.5.1. Rangkaian Sistem Kontrol Penstabil Tegangan

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



Gambar 3.4 Rangkaian Sistem Kontrol Penstabil Tegangan

Pada rangkaian ini di jelaskan 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 di hubungkan ke terminal masukan PLC. Kabel netral harus terhubung keseluruh beban komplemen.

Output PLC maupun *output* Ekpansi 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 di operasikan untuk menghubungkan dan memutuskan arus listrik ke beban komplemen.

3.5.2. Langkah-langkah Perakitan Sistem Kontrol Penstabil Tegangan

Dalam merancang sistem kontrol penstabil tegangan pada PLTMH Bintang Asih hal yang pertama harus di perhatikan adalah kapasitas *Prime Mover* (penggerak mula) yang akan di gunakan pada sistem, sehingga selanjutnya pemilihan komponen-komponen pada sistem kontrol dapat di lakukan dengan pertimbangan teknis dan ekonomis.

Langkah kedua adalah melakukan perancangan gambar sistem kontrol penstabil tegangan yang sesuai dengan spesifikasi kerja yang di inginkan seperti yang di jelaskan di subbab prinsip kerja sebelumnya.

Berikut adalah langkah-langkah perakitan sistem kontrol penstabil tegangan pada PLTMH Bintang Asih:

1. Perancangan dan perakitan Box

Box yang di gunakan berdimensi panjang 50 cm, lebar 15 cm dan tinggi 70 cm. Terdiri dari *box* utama untuk komponen-komponen pengontrollan penstabil tegangan.

2. Pemasangan kabel duct

Pemasangan *duct* atau jalur kabel di lakukan dengan memperhatikan tata letak dari komponen yang akan dipasang baik di dalam *box* utama maupun pada pintu

box. Pembuatan *duct* ini juga memperhatikan rangkaian sehingga memudahkan tahap perakitan selanjutnya yaitu tahap *wiring*.

3. Wiring

Wiring atau pengkabelan di laksanakan dengan memperhatikan gambar rancangan. Kabel yang di gunakan adalah kabel jenis NYAF 1 mm².

4. Pemasangan Komponen

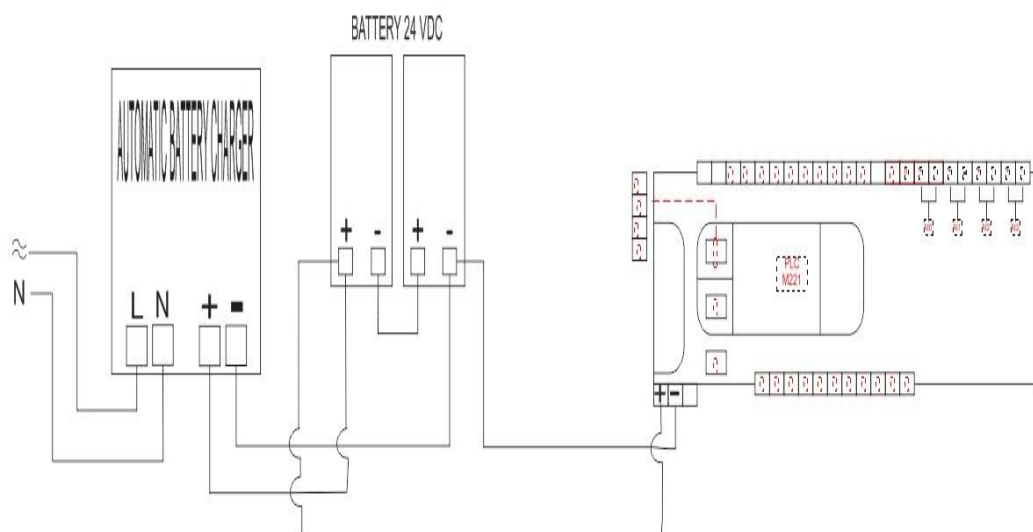
Pemasangan komponen di lakukan sesuai dengan gambar rancangan dan alur *wiring* yang di lakukan.

5. Pengontrolan PLC

Pengontrollan PLC di lakukan berdasarkan data-data dari analisa permasalahan yang sebelumnya sering terjadi pada PLTMH Bintang Asih.

3.5.3. Rangkaian Automatic Battery Charger

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

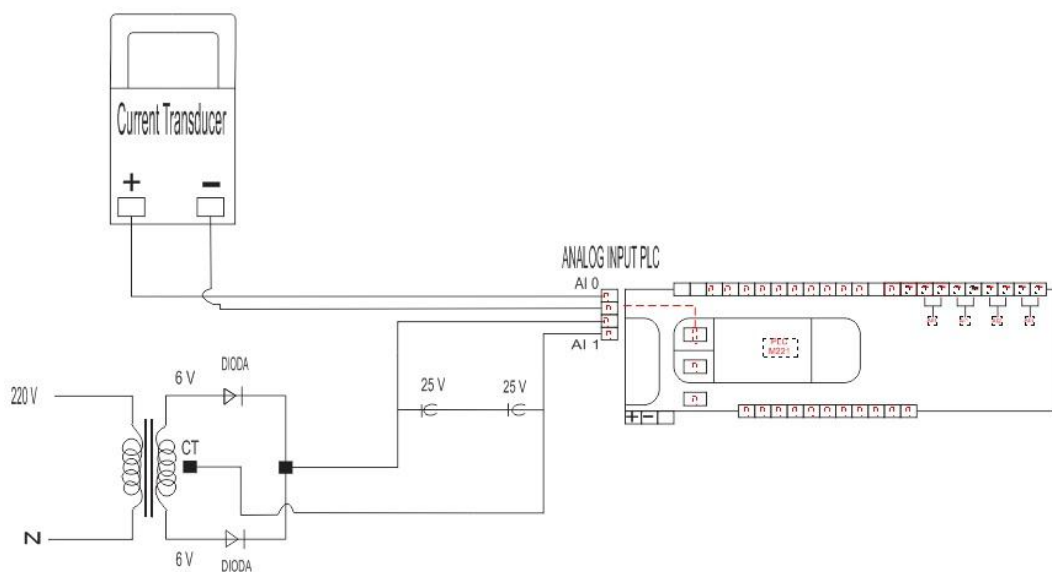


Gambar 3.5 Rangkaian Automatic Charger Battery

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.

3.5.4. Rangkaian Sensor Arus dan Sensor Tegangan Pada PLC

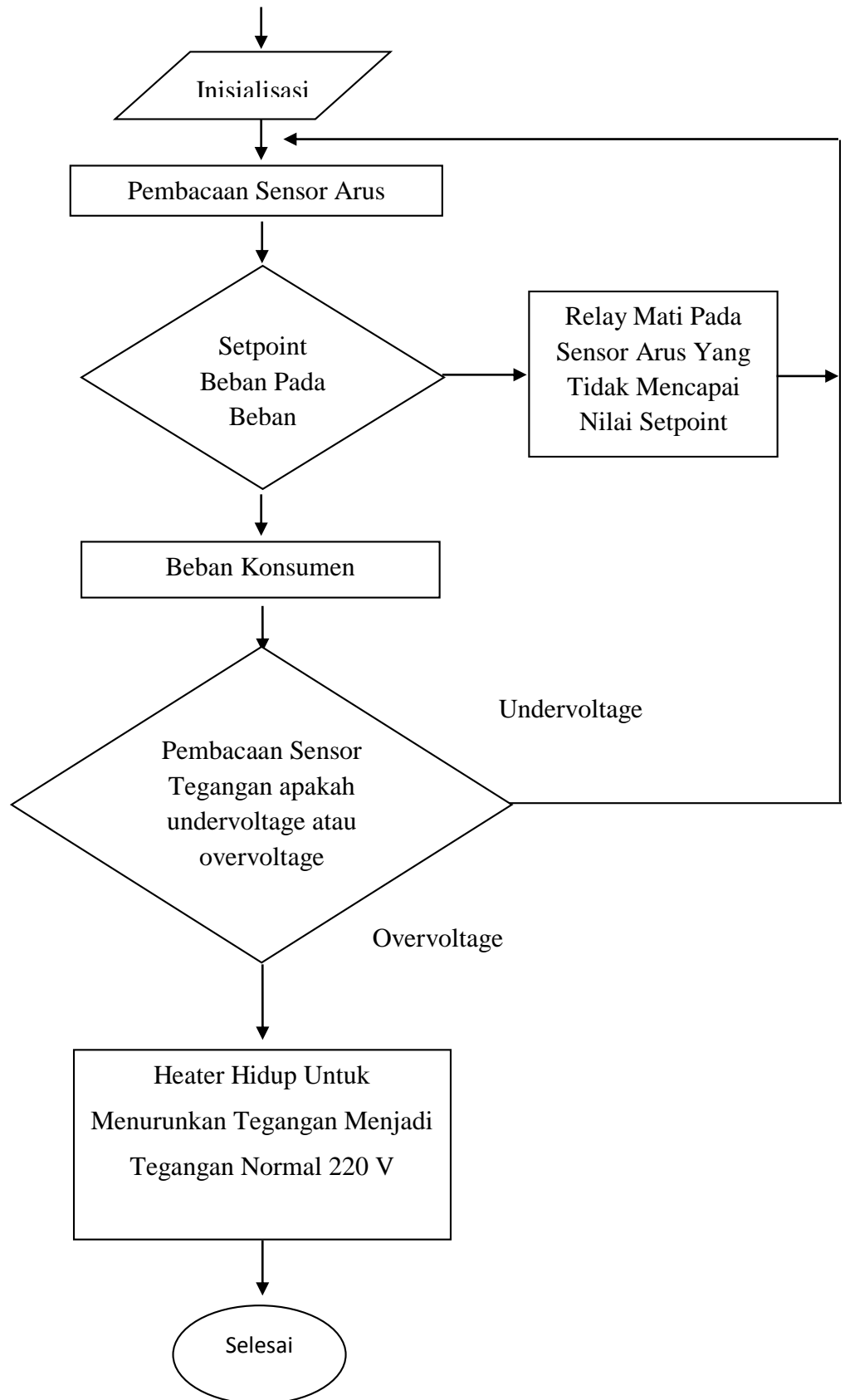
Rangkaian sensor arus merupakan perangkat yang mendeteksi arus listrik di kawat penghantar beban utama yang menghasilkan sinyal. Sinyal dapat di ketahui dengan cara mengukur menggunakan multimeter analog maupun multimeter digital yang di ukur dalam satuan amperemeter. Rangkaian sensor tegangan di gunakan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



Gambar 3.6 Rangkaian Sensor Arus dan Sensor Tegangan

Prinsip kerja rangkaian sensor arus dan rangkaian sensor tegangan ini adalah untuk mendapatkan nilai daya yang di hasilkan oleh generator dan nilai pemakaian daya pada beban utama. Kemudian sinyal arus di kirim ke analog *input* pada PLC tujuannya untuk akuisisi data pada pengontrollan.

3.6. Flowchart Program PLC Dengan Sistem Komparasi



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan di bahas tentang pengujian dan hasil dari analisa alat yang telah di buat. Pengujian di lakukan untuk mengetahui apakah alat yang di buat dapat bekerja sesuai prinsip kerja yang di inginkan atau tidak.

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

Tahap-tahap yang di lakukan dalam pengujian alat pengatur beban otomatis ini terdiri dari:

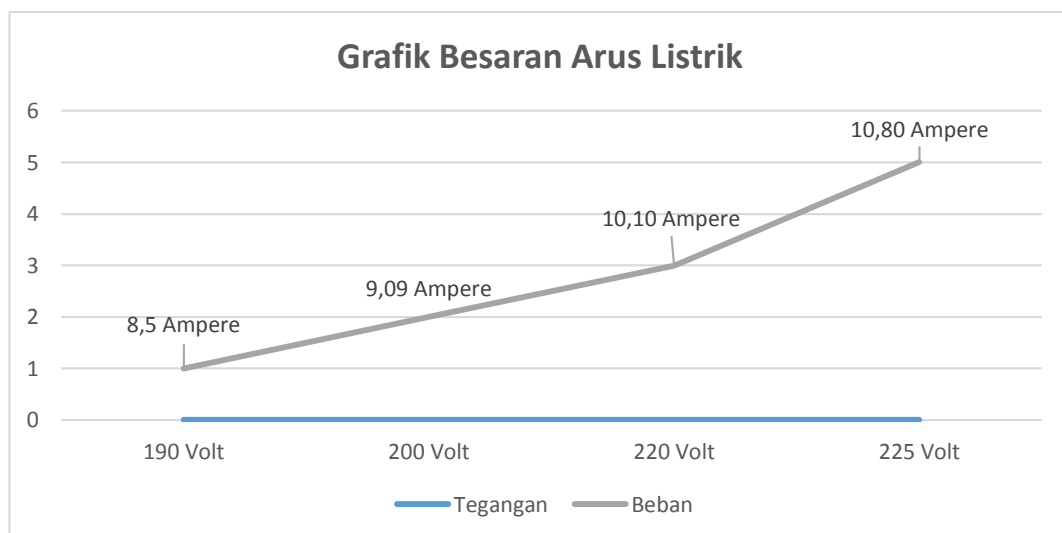
1. Pengujian perbandingan pembebanan PLC dengan variasi tegangan.
2. Pengujian kecepatan sistem pengontrollan menggunakan PLC.
3. Pengujian menggunakan *voltage regulator* dan trafo CT sebagai sinyal masukkan pada PLC.
4. Pengujian pembebanan generator menggunakan PLC. Cara pengujian PLC dilakukan pada saat generator menghasilkan tegangan 200 V, 220 V, dan 240 V.
5. Pengaplikasian sistem penstabil tegangan pada PLTMH Bintang Asih.

4.1. Pengujian Perbandingan Beban Menggunakan PLC

Pada pengujian perbandingan beban menggunakan variasi tegangan dengan nilai tegangan mulai dari 190 Volt, 200 Volt, 220 Volt, dan 225 Volt. Variasi daya listrik di gunakan 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 di gunakan *Current Transformer*. Sinyal arus listrik yang di dapatkan oleh *current transducer* dari hasil pengukuran menggunakan multimeter di jadikan sebagai data acuan sistem comparasi pada input PLC.

Tabel 4.1 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



Gambar 4.1 Grafik Perubahan Arus Pada Variasi Tegangan dan Daya Listrik

Berdasarkan grafik pada gambar 4.1 menunjukkan kenaikan arus listrik apabila tegangan listrik masukkan di naikkan. 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.

4.2. Pengujian Kecepatan Sistem Pengontrollan Pada PLC

Pengujian kecepatan sistem pengontrollan beban pada PLC menggunakan sistem *comparison* (perbandingan). *Output* PLC di *setting* dengan waktu 1 detik untuk beban komplemen berupa lampu pijar di alokasikan ke 21 output pada PLC dan 1 output PLC di *setting* 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 di tentukan.

Tabel 4.2 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

Used	Adress	Type	Time base	Preset
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 di atas pada *output* 1 di *setting* 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 di buat 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.

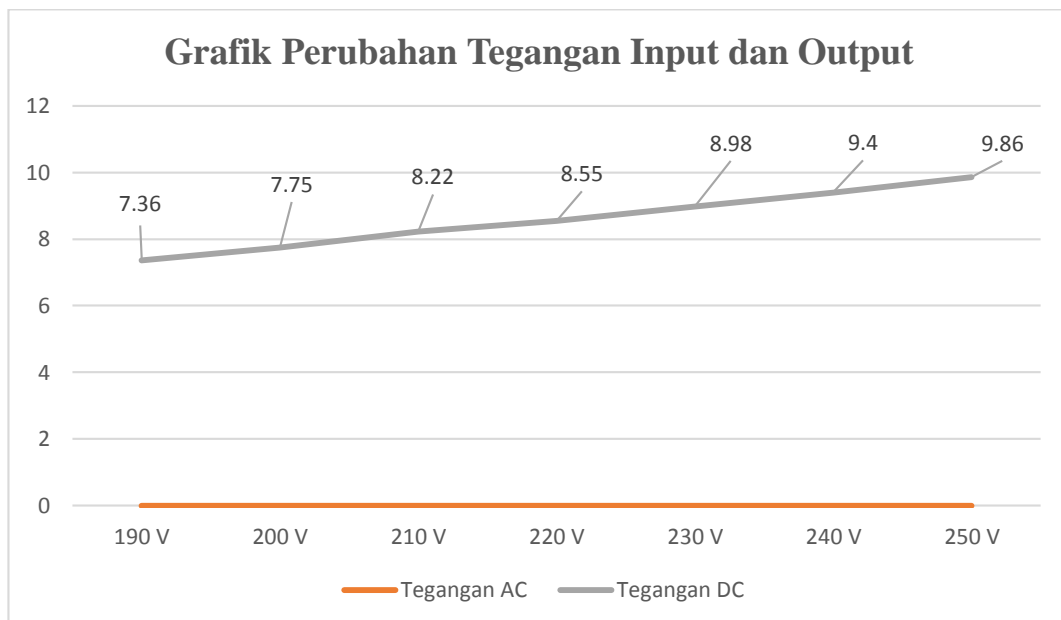
4.3. Pengujian Menggunakan Voltage Regulator dan Trafo CT Sebagai Tegangan Input Pada PLC

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 di gunakan sebagai data acuan comparasi pada PLC dan satu lagi dengan alamat %IW0.1 di gunakan sebagai data acuan tegangan yang di hasilkan oleh generator sebagai tegangan *input* pada PLC. Nilai tegangan masukkan antara $0 \dots \pm 10$ V. Pada sistem sistem kontrol beban ini menggunakan tegangan analog *input* dengan nilai 10 Volt. Di bawah ini terdapat tabel nilai-nilai hasil dari pengukuran tegangan masukan menggunakan Trafo CT dan *Voltage Regulator* sebagai variasi tegangan.

Tabel 4.3 Sinyal Masukkan 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 diatas dapat di ketahui 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 4.2 Grafik Perubahan Tegangan Dari *Voltage Regulator* dan Trafo CT

Berdasarkan grafik pada gambar 4.2 menunjukkan kenaikan tegangan DC ketika tegangan AC di naikkan. 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.

4.4. Pengujian Pembebanan Menggunakan Sistem Perbandingan Pada PLTMH Bintang Asih

Pengujian pembebanan pada PLTMH Bintang Asih di lakukan untuk mendapatkan jawaban apakah sistem pengontrolan beban dapat bekerja sesuai dengan *setpoint* yang telah di tentukan. Pengujian dengan cara memberikan variasi tegangan mulai dari 200 Volt, 220 Volt dan 240 Volt untuk mengetahui nilai arus pada masing masing beban yang di gunakan. Pengujian pertama dengan menggunakan tegangan paling rendah yang di hasilkan oleh generator dengan nilai tegangan 200 Volt. Pengujian kedua dengan menggunakan tegangan normal yang di hasilkan oleh generator dengan nilai tegangan 220 Volt. dan pengujian ketiga dengan menggunakan tegangan paling tinggi dengan nilai tegangan 240 Volt. Pengujian menggunakan variasi tegangan ini di lakukan untuk mengantisipasi apabila generator mengalami penurunan dan kenaikan pada tegangan di karenakan berubah-ubahnya nilai beban yang di gunakan pada beban konsumen. Nilai yang di lakukan untuk melakukan pengujian ini adalah untuk menetapkan nilai referensi tegangan yang di hasilkan oleh generator. Tegangan 200 Volt adalah nilai referensi tegangan yang paling rendah apabila iklim cuaca lagi kemarau. Tegangan 220 Volt adalah nilai tegangan normal yang di hasilkan oleh generator. Tegangan 240 Volt adalah nilai tegangan referensi paling tinggi apabila iklim cuaca di pembangkit sedang musim hujan.

Tabel 4.4 Pengujian Dengan Sistem Perbandingan

Jumlah Lampu	Tegangan 200 Volt		Tegangan 220 Volt		Tegangan 240 Volt	
	COM	Ampere	COM	Ampere	COM	Ampere
1	Comparasi 1-0	0,56A	Comparasi 1	0,51A	Comparasi 1-2	0,46A
2	Comparasi 5	1,12A	Comparasi 6	1,02A	Comparasi 6	0,93A
3	Comparasi 9	1,68A	Comparasi 10	1,53A	Comparasi 10	1,40A
4	Comparasi 13	2,24A	Comparasi 14	2,04A	Comparasi 15	1,87A
5	Comparasi 17	2,80A	Comparasi 18	2,55A	Comparasi 19	2,34A
6	Comparasi 21	3,37A	Comparasi 22	3,06A	Comparasi 23	2,81A
7	Comparasi 25	3,93A	Comparasi 26	3,57A	Comparasi 27	3,28A
8	Comparasi 29	4,49A	Comparasi 30	4,08A	Comparasi 32	3,75A
9	Comparasi 32	5,05A	Comparasi 34	4,59A	Comparasi 36	4,22A
10	Comparasi 36	5,61A	Comparasi 38	5,10A	Comparasi 40	4,69A
11	Comparasi 40	6,17A	Comparasi 42	5,61A	Comparasi 44	5,16A
12	Comparasi 44	6,74A	Comparasi 46	6,12A	Comparasi 48	5,63A
13	Comparasi 47	7,30A	Comparasi 50	6,63A	Comparasi 53	6,10A
14	Comparasi 51	7,86A	Comparasi 54	7,14A	Comparasi 57	6,57A
15	Comparasi 55	8,42A	Comparasi 58	7,65A	Comparasi 61	7,04A
16	Comparasi 59	8,98A	Comparasi 62	8,16A	Comparasi 65	7,51A
17	Comparasi 61	9,55A	Comparasi 66	8,67A	Comparasi 69	7,98A
18	Comparasi 67	10,11A	Comparasi 70	9,18A	Comparasi 74	8,45A
19	Comparasi 70	10,67A	Comparasi 74	9,69A	Comparasi 78	8,92A
20	Comparasi 74	11,23A	Comparasi 78	10,20A	Comparasi 82	9,38A
21	Comparasi 78	11,79A	Comparasi 82	10,71A	Comparasi 86	9,86A
22	Comparasi 81	12,35A	Comparasi 86	11,22A	Comparasi 90	10,32A

Berdasarkan pada tabel di atas nilai arus mengalami penurunan pada saat tegangan di naikkan. Penurunan arus listrik yang terjadi ketika tegangan listrik di naikkan sekitar 2.6%.

4.5. Pengaplikasian Pada PLTMH Bintang Asih

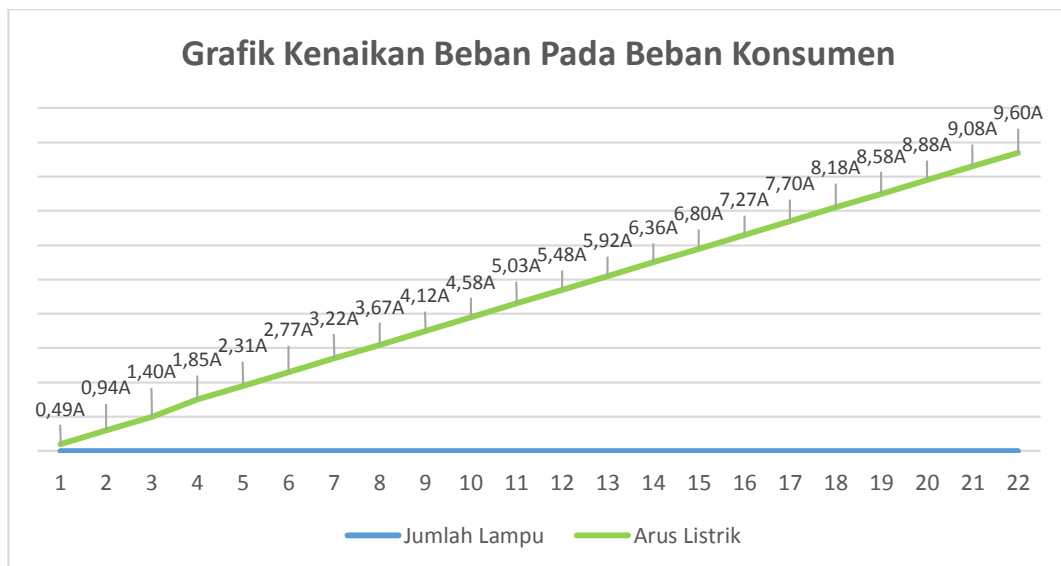
Pengaplikasian ini bertujuan untuk membantu kinerja PLTMH Bintang Asih dan bersifat membantu operator pada saat pembangkit bekerja (hidup). Dengan adanya sistem penyeimbang beban ini di harapkan pembangkit akan tetap beroperasi walaupun beban berubah-ubah.

Tabel 4.5 Sistem Comparison PLC Saat Bekerja

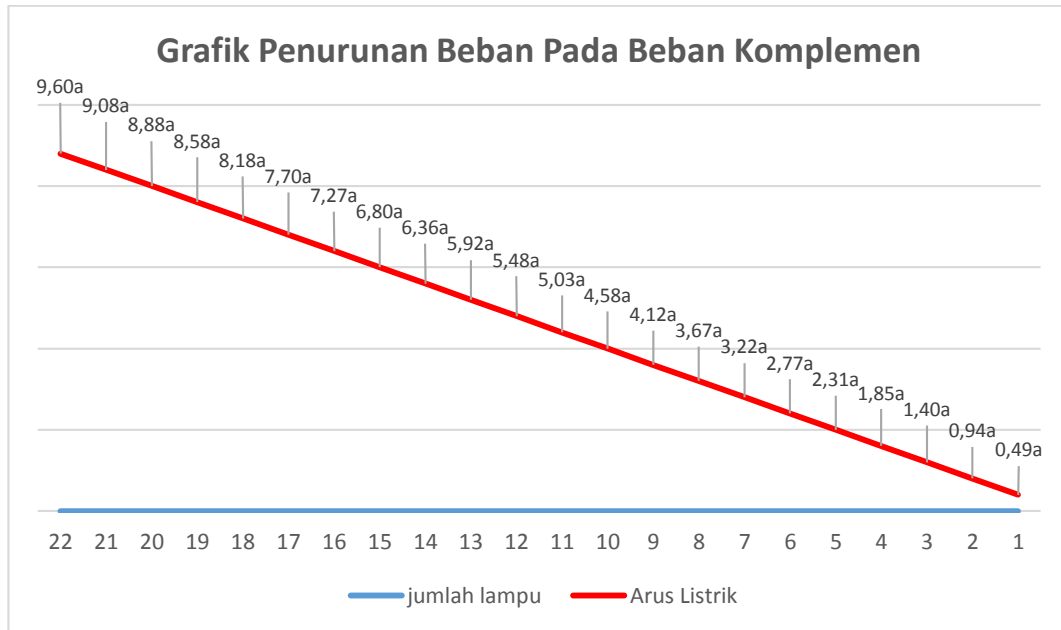
Jumlah Lampu	COM Pada Comparasi	Beban
22	Comparasi 87	9,60 Ampere
21	Comparasi 83	9,08 Ampere
20	Comparasi 79	8,88 Ampere
19	Comparasi 75	8,58 Ampere
18	Comparasi 71	8,18 Ampere
17	Comparasi 67	7,70 Ampere
16	Comparasi 63	7,27 Ampere
15	Comparasi 59	6,80 Ampere
14	Comparasi 55	6,36 Ampere
13	Comparasi 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

Jumlah Lampu	COM Pada Comparasi	Beban
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 4.5 menjelaskan bagaimana sistem comparasi PLC bekerja pada saat perpindahan penggunaan daya listrik dari beban komplemen ke beban konsumen. Beban komplemen akan mati atau mengalami penurunan pemakaian daya listrik di karenakan pemakaian pada beban utama. Penurunan daya yang di gunakan pada beban komplemen bervariasi sesuai dengan pemakaian pada beban utama.



Gambar 4.4 Kenaikan Beban Pada Beban Komplemen



Gambar 4.5 Penurunan Beban Pada Beban Komplemen

Berdasarkan grafik pada gambar 4.4 dan grafik gambar 4.5 di atas energi listrik yang di hasilkan oleh generator pertama-tama akan di alirkan ke beban komplemen. Beban komplemen atau beban penyeimbang adalah suatu sistem yang berfungsi sebagai regulator tegangan. Ketika beban utama di hidupkan 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.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian dapat di ambil beberapa kesimpulan, di antaranya:

1. 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 di gunakan untuk mendapatkan nilai daya yang di hasilkan oleh generator dan penggunaan sensor arus di gunakan untuk mendapatkan nilai perbandingan beban pada beban komplemen ke beban konsumen.
2. *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.
3. Pada saat terjadi perubahan tegangan *under voltage* dengan nilai tegangan 190 Volt daya yang di hasilkan 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 di hasilkan oleh generator dan penggunaan pada beban utama maka *heater* otomatis akan hidup selama 15 menit. Ketika *heater* hidup *heater* akan menurunkan

tegangan yang di hasilkan oleh generator sampai pada nilai tegangan normal 220 Volt.

5.2. Saran

Dari hasil perancangan dan pengujian dapat di ambil beberapa saran, di antaranya:

1. Perlu adanya kegiatan sosialisai kepada masyarakat dan kepada kegiatan pengabdian masyarakat untuk perawatan alat-alat pengontrollan penstabil tegangan menggunakan PLC agar alat-alat tersebut dapat bertahan lama dan dapat di gunakan secara terus menerus.
2. Demi menjaga ketersediaan pasokan air yang cukup untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro hendaklah para warga desa menjaga ekosistem alam di sekitar PLTMH tersebut.

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 terjadi 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.
- [9] N. U. Blum, R. Sryantoro Wakeling, and T. S. Schmidt, “Rural electrification through village grids - Assessing the cost competitiveness of isolated renewable energy technologies in Indonesia,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 22, pp. 482–496, 2013.

- [10] M. Hanmandlu and H. Goyal, "Proposing a new advanced control technique for micro hydro power plants," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 30, no. 4, pp. 272–282, 2008.
- [11] M. H. Hasan, T. M. I. Mahlia, and H. Nur, "A review on energy scenario and sustainable energy in Indonesia," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 4, pp. 2316–2328, 2012.
- [12] A. Sugiyono, "Pemberdayaan ekonomi masyarakat melalui pengembangan desa mandiri energi di Kabupaten Lampung Selatan," *J. Qual.*, vol. II, no. 8, pp. 50–58, 2012.
- [13] A. H. Elbatran, O. B. Yaakob, Y. M. Ahmed, and H. M. Shabara, "Operation , performance and economic analysis of low head micro-hydropower turbines for rural and remote areas : A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 43, pp. 40–50, 2015.
- [14] O. Paish, "Micro-hydropower : status and prospects," *Proc. Inst. Mech. Eng.*, vol. 216, no. May 2001, pp. 31–40, 2002.
- [15] J. A. Laghari, H. Mokhlis, A. H. A. Bakar, and H. Mohammad, "A comprehensive overview of new designs in the hydraulic, electrical equipments and controllers of mini hydro power plants making it cost effective technology," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 20, pp. 279–293, 2013.
- [16] A. Strupczewski, "Accident risks in nuclear-power plants," *Appl. Energy*, vol. 75, no. 1–2, pp. 79–86, 2003.
- [17] K. Kusakana, "A survey of innovative technologies increasing the viability of micro-hydropower as a cost effective rural electrification option in South Africa," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 37, pp. 370–379, 2014.
- [18] Waluyo, Soenarjo, and Akbar, "Perhitungan susut daya pada sistem distribusi tegangan menengah saluran udara dan kabel," *J. Sains dan Teknol. EMAS*, vol. 17, no. 3, 2007.

- [19] M. Kabalan, D. Tamir, and P. Singh, "Electrical load controller for rural micro-hydroelectric systems using a programmable logic controller," *2015 IEEE Canada Int. Humanit. Technol. Conf.*, pp. 1–4, 2015.
- [20] H. D. Ibrahim, N. M. Thaib, and L. M. A. Wahid, "Indonesian Energy Scenario to 2050 : Projection of Consumption , Supply Options and Primary Energy Mix Scenarios," *A Jt. Symp. Energy links between Russ. East Asia Dev. Strateg. XXI century*, p. 12, 2010.
- [21] A. Date and A. Akbarzadeh, "Design and cost analysis of low head simple reaction hydro turbine for remote area power supply," *Renew. Energy*, vol. 34, no. 2, pp. 409–415, 2009.

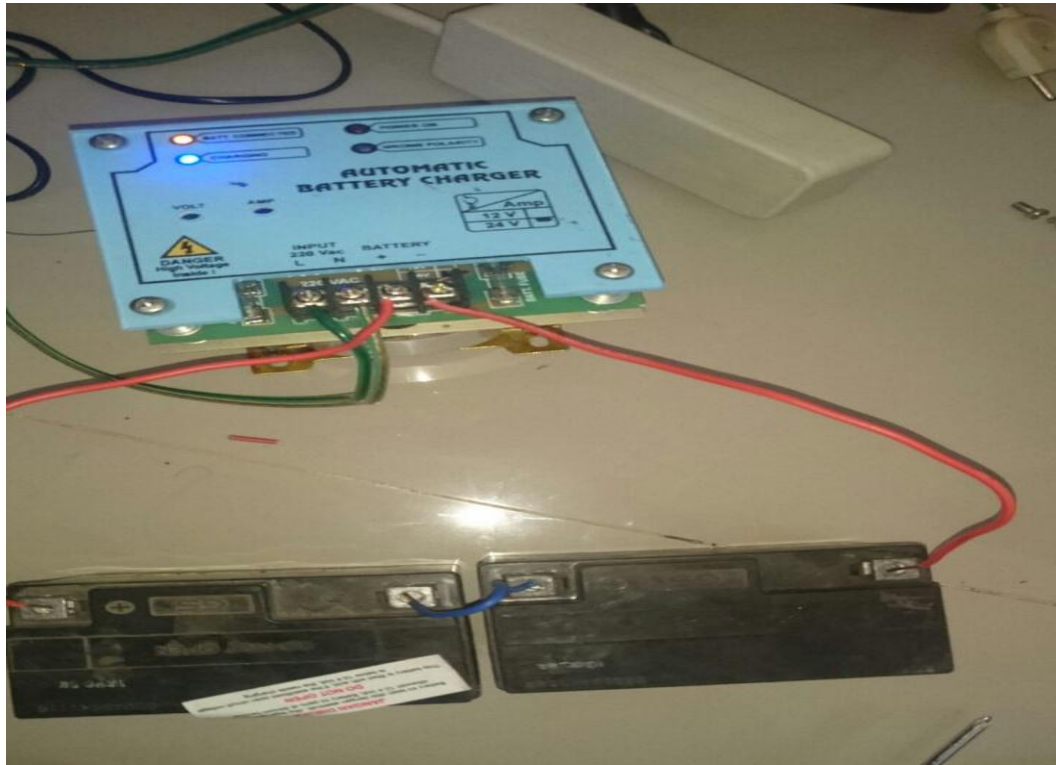
LAMPIRAN



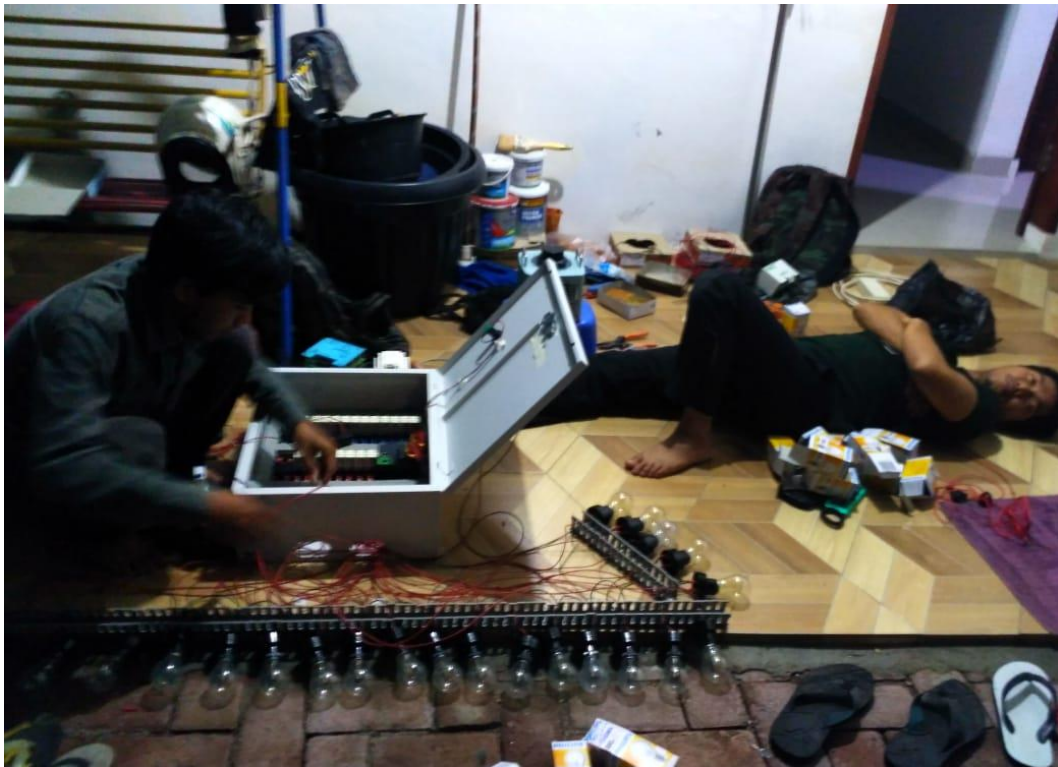
Gambar pengerjaan rangkaian penyeimbang beban



Gambar pengujian penyearah tegangan AC mejadi tegangan DC



Gambar pengujian pengecasan baterai



Gambar pengerjaan komponen untuk pengujian



Gambar pengujian menggunakan lampu pijar



Gambar pengujian menggunakan lampu pijar dengan sistem komparasi



Gambar sistem kontrol penyeimbang beban secara keseluruhan

PERANCANGAN SISTEM KONTROL PENSTABIL TEGANGAN MENGGUNAKAN PLC M221 PADA PLTMH BINTANG ASIH

Eko Saputro¹, Rimbawati, S.T, M.T², Cholish, S.T, M.T³

¹Mahasiswa dan ^{2,3}Dosen Fakultas Teknik

Program Studi Teknik Elektro

Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU)

Jl. Kapten Mukhtar Basri No.3 Medan, Sumatera Utara

Homepage : www.umsu.ac.id

Email : saputraeko808@gmail.com

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: Penstabil Tegangan, PLTMH, PLC TM221ME16R, Beban Komplemen, Sensor Arus, Sensor Tegangan.

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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]. 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 di layani oleh energi listrik *on grid* karena sulitnya akses ke desa tersebut. Pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro, perubahan beban akan berakibat langsung pada generator. Jika torsi turbin tidak di ubah saat terjadi perubahan beban, maka frekuensi dan tegangan listrik yang di hasilkan akan berubah yang dapat mengakibatkan kerusakan baik pada generator maupun di sisi beban [3]. Ketidakstabilan tegangan akan menyebabkan ketidakstabilan sistem secara keseluruhan, terutama untuk kualitas daya dari pembangkit ke konsumen [4]. Alat penstabil tegangan sistem governor jika di gunakan membutuhkan biaya yang mahal dan perawatan yang berat, membuat penggunaannya di pembangkit tenaga mikrohidro tidak ekonomis [5]. Alat penstabil tegangan yang di gunakan secara manual tidak efektif untuk di pakai maka di pasanglah sebuah peralatan penstabil tegangan secara otomatis [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 di lakukan sendiri tanpa bantuan orang lain [7]. PLC beroperasi pada frekuensi tinggi untuk meminimalkan kerugian yang terjadi akibat arus harmonik. Harmonik dapat merusak peralatan listrik dan kualitas daya [8].

II. LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Indonesia memiliki potensi alam yang sangat luas baik dalam sumber daya alam hasil bumi maupun yang masih berpotensi untuk diolah dan dikembangkan. Potensi energi listrik banyak tersebar di Indonesia dan perlu digalakkan terutama untuk daerah terpencil dan pedesaan yang jauh dari jaringan *on grid* [9]. Mengingat kapasitas dan jaringannya yang belum melingkupi seluruh daerah, sedangkan peningkatan kebutuhan masyarakat terhadap listrik kian bertambah dari waktu tahun ke tahun maka diharapkan terus diadakannya suatu pengembangan yang tiada henti untuk pengalihan sumber energi baru demi kesejahteraan yang merata di setiap tempat [10].

Di suatu sisi yang lain, dimana kenaikan harga BBM juga telah mengurangi daya beli konsumen terutama masyarakat pedesaan dan masyarakat terpencil sehingga menyebabkan masalah-masalah baru yang dapat menurunkan tingkat ekonomi masyarakat desa [11]. Diharapkan dengan adanya peningkatan dan pengembangan dari pembangkit tenaga listrik dapat meringankan dan menjadikan masyarakat desa terpencil yang mandiri [12].

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik berskala kecil kurang dari 200 kW, yang memanfaatkan tenaga air sebagai sumber penghasil energi [13]. Mikrohidro termasuk sumber energi yang terbarukan dan layak disebut *clean energy* karena ramah lingkungan [14]. Dari segi teknologi, mikrohidro dipilih karena konstruksinya sederhana, mudah dioperasikan, serta mudah dalam perawatan dan penyediaan suku cadang. Secara ekonomi mikrohidro adalah pilihan energi yang dapat di andalkan karena biaya operasi dan perawatannya relatif murah, sedangkan biaya investasinya cukup bersaing dengan pembangkit listrik lainnya [15]. Dari sudut pandang sosial mikrohidro lebih diterima oleh masyarakat luas dan memiliki beberapa keunggulan, seperti pengurangan ketergantungan pada sumber bahan bakar fosil dan pengurangan emisi karbon ke atmosfer [16]. Mikrohidro biasa dibuat dalam skala desa di daerah-daerah terpencil yang belum mendapat jaringan listrik *on grid*. Tenaga air yang di gunakan dapat berupa aliran air pada sistem irigasi, sungai yang dibendung atau air terjun [17].

Jaringan distribusi tenaga listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berhubungan langsung dengan konsumen. Bagian ini sangat menunjang penyaluran tenaga listrik ke konsumen, untuk itu diperlukan pengoperasian dan pemeliharaan jaringan distribusi tenaga listrik yang memadai. Pada penyaluran tenaga listrik, kehandalan jaringan distribusi harus benar-benar diperhatikan, karena dalam jaringan distribusi sangatlah besar kemungkinan terjadinya jatuh tegangan dan susut daya pada kawat penghantar serta susut daya yang terjadi pada transformator distribusi [18].

Mikrohidro setidaknya harus memiliki beban komplemen sebelum sampai pada beban konsumen yang berfungsi untuk menjaga putaran generator agar tetap konstan

walaupun beban berubah-ubah dari beban komplemen ke beban konsumen [19].

Mikrohidro ramah terhadap lingkungan karena tidak menghasilkan polusi udara atau limbah lainnya dan tidak merusak ekosistem sungai. Penyediaan listrik menggunakan mikrohidro akan mengurangi pemakaian bahan bakar fosil untuk penerangan dan kegiatan rumah tangga lainnya [20]. Selain dari pada itu manfaat langsung yang dirasakan oleh masyarakat dari sumber daya air diharapkan dapat mendorong masyarakat memelihara daerah tangkapan air demi menjamin pasokan air bagi kelangsungan operasi mikrohidro [21].

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga

Mikrohidro

PLTMH adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air dibawah kapasitas 200 kW yang berasal dari saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjun dan debit air.

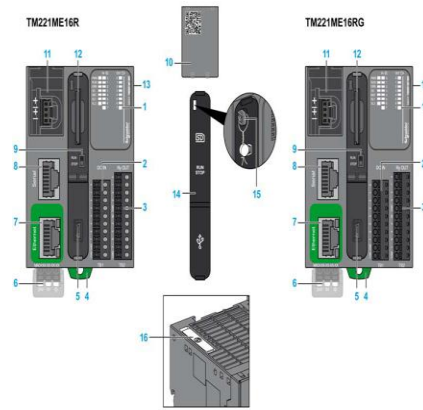
2.3 Programmable Logic Controller

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 *relay sequensial* 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.

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 2.11 dibawah ini.



Gambar 2.3 Bentuk fisik PLC modicon TM221ME16R



Gambar 2.3.1 Komponen Pengontrol Pada PLC

2.4 Ekspansi TM3DQ16R/G

Modul ekspansi TM3DQ16R/G merupakan ekspansi untuk digital *output*, untuk digital *output* tersedia hanya 8 *output* dan 16 *output*. Digital *output* digunakan untuk kontrol *on-off* yang mengenali logika 0 dan 1. Ekspansi TM3DQ16R/G dapat dilihat pada gambar 2.16 dibawah ini.



Gambar 2.4 Bentuk Fisik dan Bagian-bagian TM3DQ16R/G

2.5 Perangkat Lunak

Dalam tugas akhir ini, perangkat lunak yang akan digunakan antara lain adalah *SoMachine Basic* yang digunakan untuk membuat program *ladder* pada PLC.

2.6 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.

2.7 Current Transducer (CT)

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. *Current Transducer* (CT) dapat dilihat pada gambar 2.16 dibawah ini.



Gambar 2.7 Current Transducer

2.8 Perancangan Sistem Comparasi PLC

TM221ME16R

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 di lakukan dengan mengatur tegangan masuk ke beban komplemen.

PLC TM221ME16R mampu menerima perubahan beban yang besar dalam waktu yang sangat cepat.

III. METODOLOGI PENELITIAN

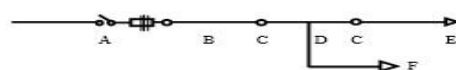
3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) Dusun Bintang Asih, Desa Rumah Sumbul Tiga Juhar, Kec. STM Hulu, Kab. Deli Serdang.

3.2 Jaringan Distribusi PLTMH Bintang

Asih

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 dibawah ini:



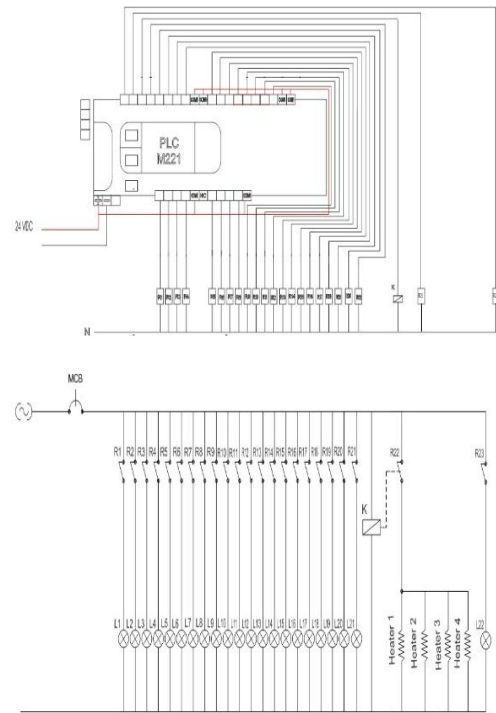
Gambar 3.2 Jaringan Distribusi Tegangan Rendah Langsung

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

Dari gambar diatas merupakan *single line diagram* dari jaringan PLTMH Bintang Asih. Daya yang dihasilkan oleh generator tidak langsung di distribusikan tetapi terlebih dahulu masuk kepada sistem kontrol penstabil tegangan menggunakan PLC yang berfungsi sebagai beban semu jika daya pembangkitan tidak diserap seluruhnya oleh konsumen agar generator tetap bekerja dengan normal. Daya yang dibangkitkan oleh generator sebesar 3kW yang mensuplai 21 rumah dan 1 musholla.

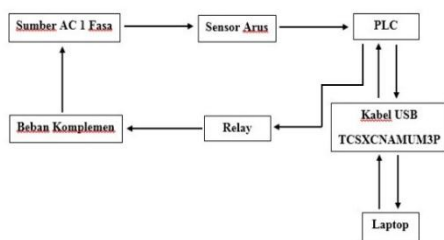
gambar wiring diagram rangkaian sistem kontrol penstabil tegangan menggunakan PLC M221.



Gambar 3.4 Rangkaian Sistem Kontrol Penstabil Tegangan

3.3 Blok Diagram Sistem

Pada penelitian ini untuk mendapatkan data yang diinginkan dan sesuai dengan tujuan awal maka dibawah ini adalah gambaran dari blok diagram sistem secara keseluruhan.



Gambar 3.3 Blok Diagram Sistem

3.4 Rangkaian Sistem Kontrol Penstabil Tegangan

Rangkaian sistem kontrol penstabil tegangan merupakan rangkaian yang berfungsi sebagai regulator tegangan pada sebuah generator listrik. Dibawah ini terdapat

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.

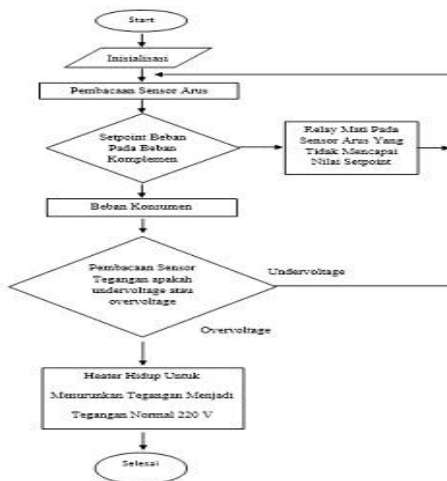
Daya masukan pada PLC berasal dari aliran baterai dengan kapasitas 24 Vdc. Daya keluaran baterai harus dihubungkan ke terminal masukan PLC. Kabel netral harus terhubung keseluruhan beban komplemen.

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.

3.5 Flowchart Program PLC Dengan

Sistem Komparasi



IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas tentang pengujian dan hasil dari analisa alat yang telah dibuat. Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah alat yang dibuat dapat bekerja sesuai prinsip kerja yang di inginkan atau tidak.

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.

Tahap-tahap yang dilakukan dalam pengujian alat pengatur beban otomatis ini terdiri dari:

6. Pengujian perbandingan pembebanan PLC dengan variasi tegangan.
7. Pengujian kecepatan sistem pengontrollan menggunakan PLC.
8. Pengujian menggunakan *voltage regulator* dan trafo CT sebagai sinyal masukkan pada PLC.

9. Pengujian pembebanan generator menggunakan PLC. Cara pengujian PLC dilakukan pada saat generator menghasilkan tegangan 200 V, 220 V, dan 240 V.
10. Pengaplikasian sistem penyeimbang beban pada PLTMH Bintang Asih.

4.1. Pengujian Perbandingan Beban

Menggunakan PLC

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 Tranducer*. Sinyal arus listrik yang didapatkan oleh *current tranducer* dari hasil pengukuran menggunakan multimeter dijadikan sebagai data acuan sistem comparasi pada input PLC.

Tabel 4.1 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



Gambar 4.1 Grafik Perubahan Arus Pada Variasi Tegangan dan Daya Listrik

Berdasarkan grafik pada gambar 4.1 menunjukkan kenaikan arus listrik apabila tegangan listrik dimasukkan 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.

4.2 Pengujian Kecepatan Sistem

Pengontrollan Pada PLC

Pengujian kecepatan sistem pengontrollan beban pada plc menggunakan sistem *comparison* (perbandingan). *Output* PLC di *setting* dengan waktu 1 detik untuk beban komplemen berupa lampu pijar dialokasikan ke 21 output pada PLC dan 1 output PLC di *setting* 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 4.2 Setting Waktu Pada *Output*

Used	Address	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 diatas pada *output* 1 di *setting* 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* 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.

4.3 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 comparasi 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 $0... \pm 10$ 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 4.3 Sinyal Masukkan 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 diatas 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 4.2 Grafik Perubahan Tegangan Dari Voltage Regulator dan Trafo CT

Berdasarkan grafik pada gambar 4.4 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.

4.4 Pengujian Pembebanan Menggunakan Sistem Perbandingan Pada PLTMH Bintang Asih

Pengujian pembebanan pada PLTMH Bintang Asih dilakukan untuk mendapatkan jawaban apakah sistem pengontrollan beban dapat bekerja sesuai dengan *setpoint* yang telah ditentukan. Pengujian dengan cara memberikan variasi tegangan mulai dari 200 Volt, 220 Volt dan 240 Volt untuk mengetahui nilai arus pada masing masing beban yang digunakan. Pengujian pertama dengan menggunakan tegangan paling rendah yang dihasilkan oleh generator dengan nilai tegangan 200 Volt. Pengujian kedua dengan menggunakan tegangan normal yang dihasilkan oleh generator dengan nilai tegangan 220 Volt. dan pengujian ketiga dengan menggunakan tegangan paling tinggi dengan nilai tegangan 240 Volt. Pengujian menggunakan variasi tegangan ini dilakukan untuk mengantisipasi apabila generator mengalami penurunan dan kenaikan pada tegangan dikarenakan berubah-ubahnya nilai beban yang digunakan pada beban konsumen. Nilai yang dilakukan untuk melakukan pengujian ini adalah untuk menetapkan nilai referensi tegangan yang dihasilkan oleh generator. Tegangan 200 Volt adalah nilai referensi tegangan yang paling rendah apabila iklim cuaca lagi kemarau. Tegangan 220 Volt adalah nilai tegangan normal yang dihasilkan oleh generator. Tegangan 240 Volt adalah nilai tegangan referensi paling tinggi apabila iklim cuaca di pembangkit sedang musim hujan.

Tabel 4.4 Pengujian Dengan Sistem Perbandingan

Jumlah Lampu	Tegangan 200 Volt		Tegangan 220 Volt		Tegangan 240 Volt	
	COM	Ampere	COM	Ampere	COM	Ampere
1	Comparasi 1-0	0,56A	Comparasi 1	0,51A	Comparasi 1-2	0,46A
2	Comparasi 5	1,12A	Comparasi 6	1,02A	Comparasi 6	0,93A
3	Comparasi 9	1,68A	Comparasi 10	1,53A	Comparasi 10	1,40A
4	Comparasi 13	2,24A	Comparasi 14	2,04A	Comparasi 15	1,87A
5	Comparasi 17	2,80A	Comparasi 18	2,55A	Comparasi 19	2,34A
6	Comparasi 21	3,37A	Comparasi 22	3,06A	Comparasi 23	2,81A
7	Comparasi 25	3,93A	Comparasi 26	3,57A	Comparasi 27	3,28A
8	Comparasi 29	4,49A	Comparasi 30	4,08A	Comparasi 32	3,75A
9	Comparasi 32	5,05A	Comparasi 34	4,59A	Comparasi 36	4,22A
10	Comparasi 36	5,61A	Comparasi 38	5,10A	Comparasi 40	4,69A
11	Comparasi 40	6,17A	Comparasi 42	5,61A	Comparasi 44	5,16A
12	Comparasi 44	6,74A	Comparasi 46	6,12A	Comparasi 48	5,63A
13	Comparasi 47	7,30A	Comparasi 50	6,63A	Comparasi 53	6,10A
14	Comparasi 51	7,86A	Comparasi 54	7,14A	Comparasi 57	6,57A
15	Comparasi 55	8,42A	Comparasi 58	7,65A	Comparasi 61	7,04A
16	Comparasi 59	8,98A	Comparasi 62	8,16A	Comparasi 65	7,51A
17	Comparasi 61	9,55A	Comparasi 66	8,67A	Comparasi 69	7,98A
18	Comparasi 67	10,11A	Comparasi 70	9,18A	Comparasi 74	8,45A
19	Comparasi 70	10,67A	Comparasi 74	9,69A	Comparasi 78	8,92A
20	Comparasi 74	11,23A	Comparasi 78	10,20A	Comparasi 82	9,38A
21	Comparasi 78	11,79A	Comparasi 82	10,71A	Comparasi 86	9,86A
22	Comparasi 81	12,35A	Comparasi 86	11,22A	Comparasi 90	10,32A

Berdasarkan pada tabel diatas nilai arus mengalami penurunan pada saat tegangan dinaikkan. Penurunan arus listrik yang terjadi ketika tegangan listrik dinaikkan sekitar 2.6%.

4.5 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 4.5 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 4.5 menjelaskan bagaimana sistem comparasi PLC bekerja pada saat perpindahan penggunaan daya listrik dari beban komplemen ke beban konsumen. Beban komplemen akan mati atau mengalami penurunan pemakaian daya listrik dikarenakan pemakaian pada beban utama. Penurunan daya yang digunakan pada beban komplemen bervariasi sesuai dengan pemakaian pada beban utama.



Gambar 4.4 Kenaikan Beban Pada Beban Komplemen



Gambar 4.5 Penurunan Beban Pada Beban Komplemen

Berdasarkan grafik pada gambar 4.4 dan grafik gambar 4.5 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 DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian dapat diambil beberapa kesimpulan, diantaranya:

4. 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.
5. 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.
 6. 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. Ketika *heater* hidup *heater* akan menurunkan tegangan yang dihasilkan oleh generator sampai pada nilai tegangan normal 220 Volt.

5.2 Saran

Dari hasil perancangan dan pengujian dapat diambil beberapa saran, diantaranya:

3. Perlu adanya kegiatan sosialisasi kepada masyarakat dan kepada kegiatan pengabdian masyarakat untuk perawatan alat-alat pengontrollan penyeimbang beban menggunakan PLC agar alat-alat tersebut dapat bertahan lama dan dapat digunakan secara terus menerus.
4. Demi menjaga ketersediaan pasokan air yang cukup untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro hendaknya para warga desa menjaga ekosistem alam di sekitar PLTMH tersebut.

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.
- [9] N. U. Blum, R. Sryantoro Wakeling, and T. S. Schmidt, "Rural electrification through village grids - Assessing the cost competitiveness of isolated renewable energy

- technologies in Indonesia,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 22, pp. 482–496, 2013.
- [10] M. Hanmandlu and H. Goyal, “Proposing a new advanced control technique for micro hydro power plants,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 30, no. 4, pp. 272–282, 2008.
- [11] M. H. Hasan, T. M. I. Mahlia, and H. Nur, “A review on energy scenario and sustainable energy in Indonesia,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 4, pp. 2316–2328, 2012.
- [12] A. Sugiyono, “Pemberdayaan ekonomi masyarakat melalui pengembangan desa mandiri energi di Kabupaten Lampung Selatan,” *J. Qual.*, vol. II, no. 8, pp. 50–58, 2012.
- [13] A. H. Elbatran, O. B. Yaakob, Y. M. Ahmed, and H. M. Shabara, “Operation , performance and economic analysis of low head micro-hydropower turbines for rural and remote areas : A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 43, pp. 40–50, 2015.
- [14] O. Paish, “Micro-hydropower : status and prospects,” *Proc. Inst. Mech. Eng.*, vol. 216, no. May 2001, pp. 31–40, 2002.
- [15] J. A. Laghari, H. Mokhlis, A. H. A. Bakar, and H. Mohammad, “A comprehensive overview of new designs in the hydraulic, electrical equipments and controllers of mini hydro power plants making it cost effective technology,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 20, pp. 279–293, 2013.
- [16] A. Strupczewski, “Accident risks in nuclear-power plants,” *Appl. Energy*, vol. 75, no. 1–2, pp. 79–86, 2003.
- [17] K. Kusakana, “A survey of innovative technologies increasing the viability of micro-hydropower as a cost effective rural electrification option in South Africa,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 37, pp. 370–379, 2014.
- [18] Waluyo, Soenarjo, and Akbar, “Perhitungan susut daya pada sistem distribusi tegangan menengah saluran udara dan kabel,” *J. Sains dan Teknol. EMAS*, vol. 17, no. 3, 2007.
- [19] M. Kabalan, D. Tamir, and P. Singh, “Electrical load controller for rural micro-hydroelectric systems using a programmable logic controller,” *2015 IEEE Canada Int. Humanit. Technol. Conf.*, pp. 1–4, 2015.
- [20] H. D. Ibrahim, N. M. Thaib, and L. M. A. Wahid, “Indonesian Energy Scenario to 2050 : Projection of Consumption , Supply Options and Primary Energy Mix Scenarios,” *A Jt. Symp. Energy links between Russ. East Asia Dev. Strateg. XXI century*, p. 12, 2010.
- [21] A. Date and A. Akbarzadeh, “Design and cost analysis of low head simple reaction hydro turbine for remote area power supply,” *Renew. Energy*, vol. 34, no. 2, pp. 409–415, 2009.

