

Skripsi

**PERANCANGAN SISTEM KENDALI PLTMH 5 KW
DENGAN METODE *ELECTRONIC LOAD CONTROLLER* (ELC)**



Oleh :

ABD. MUKMIN H
105 82 1026 12

ACHMAD RIZKY FAJRIAL
105 82 1002 12

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2019

**PERANCANGAN SISTEM KENDALI PLTMH 5 KW DENGAN METODE
*ELECTRONIC LOAD CONTROLLER (ELC)***

Skripsi

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk
memperoleh gelar sebagai Sarjana Teknik

Program Studi Teknik Elektro

Prodi Teknik Elektro

Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Makassar

Disusun dan diajukan oleh :

ABD MUKMIN H

105 82 1026 12

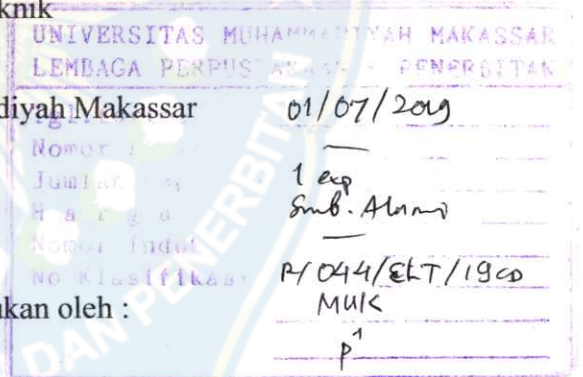
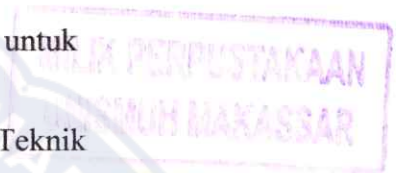
ACHMAD RIZKY FAJRIAL

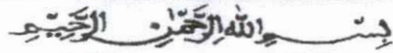
105 82 1002 12

PADA

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2019





HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **PERANCANGAN SYSTEM KENDALI PLTMH 5 KW DENGAN METODE ELECTRONIC LOAD CONTROL (ELC)**

Nama : 1. Abd. Mukmin H
2. Achmad Rizky Fajrial

Stambuk : 1. 10582 1026 12
2. 10582 1002 12

Makassar, 19 Juni 2019

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Pembimbing II

Rizal Ahdiyat Duyo, S.T.,M.T

Ir. Abdul Hafid, M.T

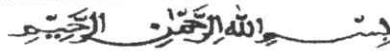
Mengetahui,

Ketua Jurusan Elektro



Adriani, S.T., M.T.

NBM : 1044 202



PENGESAHAN

Skripsi atas nama Abd. Mukmin H dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1026 12 dan Achmad Rizky Fajrial dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1002 12, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0003/SK-Y/20201/091004/2019, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Senin tanggal 17 Juni 2019.

Panitia Ujian :

Makassar,

15 Syawal 1440 H

19 Juni 2019 M

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. H. Abdul Rahman Rahim, SE., MM.

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. Ir. H. Muh. Arsyad Thaha, M.T

2. Penguji

a. Ketua : Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc

b. Sekretaris : Adriani, S.T., M.T

3. Anggota : 1. Suryani, S.T., M.T

2. Andi Faharuddin, S.T., M.T

3. Antarisubhi, S.T., M.T

Mengetahui :

Pembimbing I

Pembimbing II

Rizal Ahdiyat Duyo, S.T., M.T

Ir. Abdul Hafid, M.T

Dekan

Ir. Hamzah Al Imran, S.T., M.T., IPM

NBM : 855 500

PERANCANGAN SISTEM KENDALI PLTMH 5 KW DENGAN METODE ELECTRONIC LOAD CONTROLLER (ELC)

**Abd. Mukmin H ¹⁾, Achmad Rizky Fajrial ²⁾
105 82 1026 12 ¹⁾, 105 82 1002 12 ²⁾**

*Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar,
Jalan Sultan Alauddin NO. 259*

Email: miunwk14@gmail.com ¹⁾, rojateknikelektri@gmail.com ²⁾

ABSTAK

Perancangan sistem kendali PLTMH 5 kW dengan metode *Electonic Load Controler* (ELC) dibimbing oleh Rizal Ahdiyat Duyo, S.T., M.T. sebagai pembimbing satu dan Ir. Abd. Hafid, M.T sebagai pembimbing dua. Pada Tugas Akhir ini, dibuat sebuah rancangan rangkaian *Electronic Load Controller* (ELC) yang berfungsi mengendalikan beban keluaran generator agar memiliki keluaran frekuensi yang stabil ketika di konsumsi oleh beban konsumen. ELC yang dirancang ini menggunakan teknik *zero crossing detector* (ZCD) dalam melakukan pengaturan daya beban penyeimbang (*ballast load*), dalam penelitian ini menggunakan data PLTMH Bumiaji Kota Batu sebagai bahan rujukan untuk melakukan perancangan sistem kendali tersebut. ELC yang telah dirancang dapat di simulasikan dengan menggunakan perangkat lunak yakni MATLAB sehingga hasil kalkulasi kinerja dari rancangan tersebut dapat dilihat.

Kata kunci: PLTMH, *Electonic Load Controler* (ELC), *zero crossing detector*

CONTROL SYSTEM DESIGN MHP 5 KW LOAD USING ELECTRONIC CONTROLLER (ELC)

Abd. Mukmin H 1), Achmad Rizky Fajrial 2)

105 82 1026 12 1) 105 82 1002 12 2)

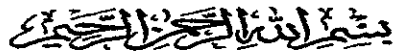
*Electrical Engineering Department, Faculty of Engineering, Unifersitas Muhammadiyah Makassar, Jalan Sultan Alauddin NO. 259
emai:miunwkl4@gmail.com¹⁾, rojateknikelektri@gmail.com²⁾*

ABSTRACT

The design of the control system of the MHP 5 kW with Electonic method Load controller (ELC) led by Rizal Ahdiyat Duyo, ST, MT as one mentor and Ir. Abd. Hafid, MT as mentors two. In this paper, we made a circuit design Electronic Load Controller (ELC) which controls the generator output load in order to have a stable frequency output when in consumption by the consumer. ELC is designed using the technique of zero crossing detector (ZCD) in setting power the load balancer (ballast load). In this study uses data MHPBumiaji Kota Batu as reference material to design a control system that has been designed tersebut. ELC can be simulated using the MATLAB software that kinerja calculation results of the design can be seen.

Keywords: MHP, Load electonic controller (ELC), zero crossing detector

KATA PENGANTAR



Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena rahmat dan Karunia-Nyalah sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini, dan dapat kami selesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan akademik yang harus di tempuh dalam rangka menyelesaikan Program Studi pada Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir kami adalah

“PERANCANGAN SISTEM KENDALI PLTMH 5 KW

DENGAN METODE *ELECTRONIC LOAD CONTROLLER (ELC)*“

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa di dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan-kekurangan, hal ini disebabkan penulis sebagai manusia biasa tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan baik itu ditinjau dari segi teknis penulisan maupun dari perhitungan-perhitungan. Oleh Karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran serta perbaikan guna kesempurnaan penulisan ini agar kelak dapat bermanfaat terutama bagi penulis sendiri

Skripsi ini dapat terwujud berkat adanya bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, kami mengucapkan terimakasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak Hamzah Al Imran, ST.,MT Sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Ibu Adriani, ST.,MT Sebagai Ketua Jurusan Elktro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Rizal Ahdiyat Duyo, ST.,MT Selaku pembimbing I dan Ir.Abd Hafid, MT selaku pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktu dalam membimbing kami.
4. Bapak dan ibu Dosen serta staf pegawai pada Fakultas Teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
5. Ayahanda dan Ibunda yang tercinta, Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih sayang, doa dan pengorbanannya terutama dalam bentuk materi dalam menyelesaikan kuliah
6. Rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik terkhususnya angkatan 2012, serta teman-teman yang tidak sempat saya sebut namanya yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga semua pihak tersebut di atas mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah SWT dan skripsi yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakat serta bangsa dan Negara, Aamiin

Makassar, Mei 2019

Abd Mukmin H dan Achmad Rizky Fajrial

DAFTAR ISI

	<i>Halaman</i>
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL.....	vi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar belakang	1
B. Rumusan masalah	2
C. Tujuan penelitian	2
D. Manfaat penelitian	3
E. Batasan masalah.....	3
F. Sistematika penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
A. Energi tenaga air	5
B. Klasifikasi Pembangkit listrik tenaga hidro	5
C. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH)	6
D. Prinsip kerja PLTMH.....	6
E. Konversi energy PLTH	7
F. Bagian – bagian PLTMH	8
G. Perhitungan teknis PLTMH.....	11
H. Pengendalian PLTMH.....	11

I. Pengendalian PLTMH menggunakan ELC	13
J. <i>Electro Load Control</i> (ELC).....	14
BAB III METODE PENELITIAN	17
A. Waktu dan tempat penelitian	17
B. Jenis penelitian.....	17
C. Sumber data penelitian.....	17
D. Tahap penelitian.....	17
E. Alat dan bahan.....	18
F. Bagan alur penelitian.....	19
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	20
A. Analisa data PLTMH	20
B. Perancangan system ELC.....	23
C. Keterangan rancangan ELC.....	24
D. Hasil perhitungan.....	27
BAB V PENUTUP	38
A. Kesimpulan.....	38
B. Saran.....	38
DAFTAR PUSTAKA	39

DAFTAR GAMBAR

	<i>Halaman</i>
1) Gambar 2.1	7
2) Gambar 2.2	7
3) Gambar 2.3	8
4) Gambar 2.4	12
5) Gambar 2.5	13
6) Gambar 3.1	19
7) Gambar 4.1	21
8) Gambar 4.2	23
9) Gambar 4.3	23
10) Gambar 4.4	24
11) Gambar 4.5	24
12) Gambar 4.6	36
13) Gambar 4.7	37
14) Gambar 4.8	37

DAFTAR TABEL

	<i>Halaman</i>
1) Tabel 2.1.....	6
2) Tabel 2.2.....	15
3) Tabel 4.1.....	20
4) Tabel 4.2	25
5) Tabel 4.3	26



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pengaturan frekuensi merupakan hal yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Kondisi frekuensi yang kurang ataupun melebihi standar aman dapat mengakibatkan ketidakstabilan didalam sistem tenaga listrik dan pasti mengakibatkan kerugian dari sisi pembangkit, jaringan ataupun konsumen, yang berdampak pada berkurangnya umur dan efisiensi peralatan. Kondisi beban yang sifatnya fluktuatif dapat mengakibatkan frekuensi menjadi kurang ataupun melebihi standar aman 48 Hz s/d 52 Hz. Sehingga frekuensi sistem sangat penting untuk dikontrol. Pengaturan frekuensi biasanya dilakukan dengan menggunakan governor, namun sistem pengaturan frekuensi PLTMH dengan menggunakan governor memiliki beberapa kelemahan yaitu :

- 1) Ketidak mampuannya bereaksi cepat apabila terjadi perubahan beban secara mendadak
- 2) kurang menguntungkan secara ekonomis karena harganya yang mahal
untuk itulah perlu dirancang sebuah pengontrol frekuensi elektronis atau yang disebut dengan *Electronic Load Controller* (ELC) dimana ELC memiliki beberapa keunggulan yaitu :
 - a. ELC lebih murah
 - b. Tidak ada efek hammer water dalam perubahan beban
 - c. Memiliki keandalan lebih tinggi
 - d. Perawatan dan pengoperasian yang sederhana

Dari kondisi tersebut, kita bisa melihat bahwa ELC merupakan suatu peralatan kontrol frekuensi yang lebih menguntungkan dibandingkan dengan Governor. Kapasitas setiap pembangkit PLTMH biasanya berbeda-beda tergantung dari keadaan fisik dan letak geografis pembangkit, sehingga dalam setiap kapasitas pembangkit yang dibangun tentu dibutuhkan ELC dengan tingkat yang berbeda-beda pula maka penulis akan merancang skema ELC pada PLTMH yang ber skala kecil yaitu kapasitas 5 kW.

B. Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan antara lain :

- 1) Bagaimana komponen yang di gunakan dalam perancangan ELC pada PLTMH 5 KW .
- 2) bagaimana model rancangan (skema) ELC pada PLTMH 5 KW .
- 3) bagaimana menganalisa kinerja rancangan ELC pada PLTMH 5KW.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Untuk mengetahui komonen-komponen yang di gunakan dalam ELC pada PLTMH 5 KW
- 2) Untuk memperoleh model rancangan (skema) kontrol beban elektronik pada (ELC) pada PLTMH 5 KW
- 3) Mengetahui unjuk kerja ELC yang telah dirancang pada PLTMH 5 KW

D. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil perancangan ini adalah:

- 1) Untuk Menambah pengetahuan dan wawasan yang berkaitan dengan sistem pembangkitan listrik tenaga Mikro Hidro.
- 2) Sebagai bahan pembandingan antara teori yang diperoleh di bangku kuliah dengan kenyataan yang sebenarnya terjadi di lapangan.
- 3) Sebagai bahan bacaan dan informasi di lembaga Perguruan Tinggi Universitas Muhammadiyah Makassar pada Fakultas Teknik secara Umum dan Jurusan Teknik Elektro secara khusus.

E. Batasan Masalah

Untuk membatasi materi yang akan dibicarakan pada tugas akhir ini, maka penulis perlu membuat batasan cakupan masalah yang akan dibahas. Hal ini diperbuat supaya isi dan pembahasan dari tugas akhir ini menjadi lebih terarah dan dapat mencapai hasil yang diharapkan. Maka penulis membatasi penulisan Tugas Akhir ini dengan hal-hal sebagai berikut :

- 1) Membahas tentang pembangkit tenaga *Hidro* khususnya PLTMH 5KW.
- 2) Membahas tentang skema sistem kontrol beban elektronik pada PLTMH 5 KW

F. Sistematika Penulisan

Untuk mendapatkan gambaran umum isi tulisan, sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari 3 (tiga) bab, penulis membuat sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN : Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, serta maksud dan tujuan dari penelitian yang dilakukan serta sistematika penulisan dari laporan hasil penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA : Bab ini menjelaskan tentang teori-teori pendukung yang Berkaitan dengan judul perancangan.

BAB III METODE PENELITIAN : Bab ini menjelaskan tentang lokasi tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan, diagram balok dan gambar rangkaian penelitian, serta metode penelitian yang berisi langkah-langkah dalam proses melakukan perancangan.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN : Bab ini membahas tentang analisa daya yang terbangkitkan pada PLTMH yang telah di tentukan, bagaimana bentuk rancangan sistem pengontrolan beban terhadap PLTMH, hingga bagaimana perhitungan data pada kedua hal tersebut.

BAB V PENUTUP : Bab ini membahas tentang kesimpulan dan saran.

DAFTAR PUSTAKA : Berisi tentang daftar sumber referensi penulis dalam memilih teori yang relevan dengan judul penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Energi Tenaga Air

Besarnya tenaga air yang tersedia dari suatu sumber air bergantung pada besarnya head dan debit air. Dalam hubungan dengan reservoir air maka head adalah beda ketinggian antara muka air pada reservoir dengan muka air keluar dari kincir air/turbin air. Total daya yang terbangkitkan dari suatu turbin air adalah merupakan reaksi antara *head* dan debit air.

Selain memanfaatkan air jatuh *hydropower* dapat diperoleh dari aliran air datar.

B. Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Hidro

Pada dasarnya suatu pembangkit listrik tenaga hidro berfungsi untuk mengubah potensi tenaga air yang berupa aliran air (sungai) yang mempunyai debit dan tinggi jatuh (*head*) untuk menghasilkan energi listrik. Secara umum Pusat Listrik Tenaga Air terdiri dari :

- 1) Pembangkit listrik tenaga mikrohidro, (PLTMH)
- 2) Pembangkit listrik tenaga minihidro, (PLTM) dan
- 3) Pembangkit listrik tenaga Air. (PLTA)

Pembangkit listrik tenaga hidro dapat dikategorikan dan diklasifikasikan sesuai besar daya yang dihasilkannya, sebagaimana diperlihatkan pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Jenis Pembangkit Tenaga Air dan Kapasitasnya

No	JENIS	DAYA/KAPASITAS
1	PLTA	>5 MW (5.000 kW)
2	PLTM	100 kW < PLTM < 5.000 kW
3	PLTMH	5 kW < PLTMH < 100 kW

er : Severn Wye Energi Agency, www.swea.co.uk)

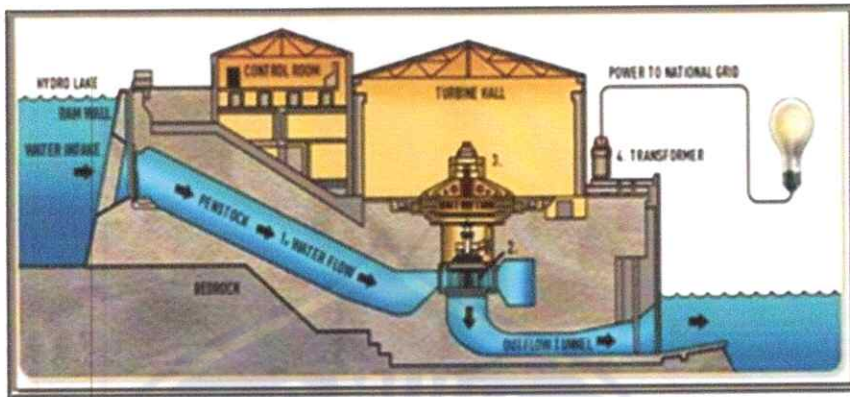
C. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

PLTMH adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik yang menggunakan air dengan kapasitas daya yang dihasilkan berkisar mulai 5kW sampai 100 kW.

Parameter penting dalam pengembangan suatu Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah kapasitas aliran air (debit) dan tinggi jatuh (head) dari sungai yang akan dikembangkan menjadi PLTMH.

D. Prinsip Kerja PLTMH

Secara teknis PLTMH memiliki tiga komponen utama yaitu air (hydro), turbin, dan generator. Prinsip kerja dari PLTMH sendiri pada dasarnya sama dengan PLTA hanya saja berbeda kapasitasnya atau besarnya. PLTMH pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian atau sudut kemiringan dan jumlah debit air per detik yang ada pada saluran irigasi, sungai, maupun air terjun. Aliran air akan memutar turbin sehingga akan menghasilkan energi mekanik. Energi mekanik turbin akan memutar generator dan generator menghasilkan listrik. Skema prinsip kerja PLTMH dapat dilihat pada gambar berikut :

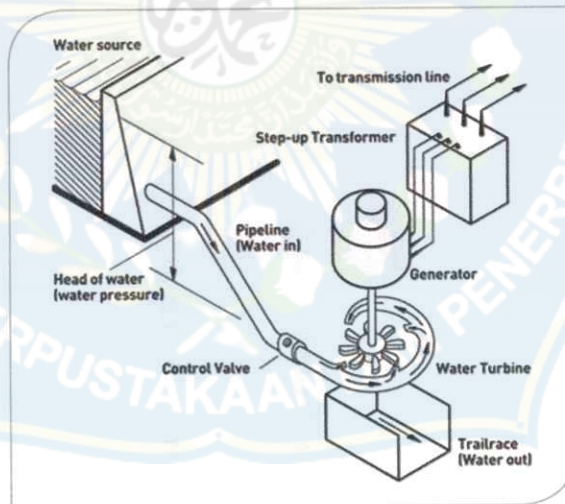


Gambar 2.1 Skema PLTMH

E. Konversi energi PLTMH

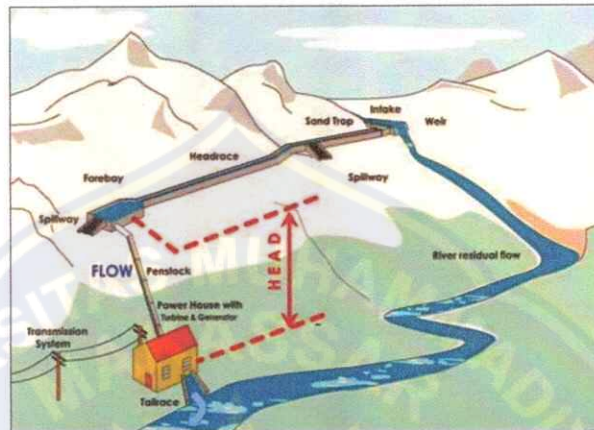
Konversi energi pada PLTMH terbagi atas tiga bagian yaitu:

Energi Potensial - Energi Mekanik - Energi Listrik



Gambar 2.2 Sistem PLTMH

F. Bagian - bagian PLTMH



Gambar 2.3 Bagian-Bagian PLTMH

Berdasarkan pada gambar diatas, PLTMH dibagi menjadi beberapa bagian diantaranya, yaitu:

1) Waduk (reservoir)

Waduk adalah danau yang dibuat untuk membandung sungai untuk memperoleh air sebanyak mungkin sehingga mencapai elevasi.

2) Bendungan (dam)

Dam berfungsi menutup aliran sungai – sungai sehingga terbentuk waduk. Tipe bendungan harus memenuhi syarat topografi, geologi dan syarat lain seperti bentuk serta model bendungan

3) Saringan (Sand trap)

Saringan ini dipasang didepan pintu pengambilan air, berguna untuk menyaring kotoran – kotoran atau sampah yang terbawa sehingga air menjadi bersih dan tidak mengganggu operasi mesin PLTMH.

4) Pintu pengambilan air (Intake)

Pintu Pengambilan Air adalah pintu yang dipasang diujung pipa dan hanya digunakan saat pipa pesat dikosongkan untuk melaksanakan pembersihan pipa atau perbaikan.

5) Pipa pesat (penstok)

Fungsinya untuk mengalirkan air dari saluran pngantar atau kolam tando menuju turbin. Pipa pesat mempunyai posisi kemiringan yang tajam dengan maksud agar diperoleh kecepatan dan tekanan air yang tinggi untuk memutar turbin. Konstruksinya harus diperhitungkan agar dapat menerima tekanan besar yang timbul termasuk tekanan dari pukulan air. Pipa pesat merupakan bagian yang cukup mahal, untuk itu pemilihan pipa yang tepat sangat penting.

6) Katub utama (main value atau inlet value)

Katub utama dipasang didepan turbin berfungsi untuk membuka aliran air, Menstart turbin atau menutup aliran (menghentikan turbin). Katup utama ditutup saat perbaikan turbin atau perbaikan mesin dalam rumah pembangkit. Pengaturan tekanan air pada katup utama digunakan pompa hidrolik.

7) Power House

Gedung Sentral merupakan tempat instalasi turbin air, generator, peralatan bantu, ruang pemasangan, ruang pemeliharaan dan ruang control. Beberapa instalasi PLTMH dalam rumah pembangkit adalah :

- a. Turbin, merupakan salah satu bagian penting dalam PLTMH yang menerima energi potensial air dan mengubahnya menjadi putaran (energi mekanis). Putaran turbin dihubungkan dengan generator untuk menghasilkan listrik.
- b. Generator, generator yang digunakan adalah generator pembangkit listrik AC. Untuk memilih kemampuan generator dalam menghasilkan energi listrik disesuaikan dengan perhitungan daya dari data hasil survei. Kemampuan generator dalam menghasilkan listrik biasanya dinyatakan dalam VoltAmpere (VA) atau dalam kilo volt Ampere (kVA).
- c. Penghubung turbin dengan generator, penghubung turbin dengan generator atau sistem transmisi energi mekanik ini dapat digunakan sabuk atau puli, roda gerigi atau dihubungkan langsung pada porosnya.

Sabuk atau puli digunakan jika putaran per menit (rpm) turbin belum memenuhi putaran rotor pada generator, jadi puli berfungsi untuk menurunkan atau menaikkan rpm motor generator. Roda gerigi mempunyai sifat yang sama dengan puli.

Penghubung langsung pada poros turbin dan generator, jika putaran turbin sudah lama dengan putaran rotor pada generator.

G. Perhitungan teknis PLTMH

Potensi daya mikrohidro dapat dihitung dengan persamaan daya:

$$(P) = 9.8 \times Q \times H_n \times \eta;$$

di mana:

P = Daya (kW)

Q = debit aliran (m³/s)

H_n = Head net (m)

9.8 = konstanta gravitasi

η = efisiensi keseluruhan.

Misalnya, diketahui data di suatu lokasi adalah sebagai berikut:

$Q = 300 \text{ m}^3/\text{s}^2$, $H_n = 12 \text{ m}$ dan $h = 0.5$. Maka,

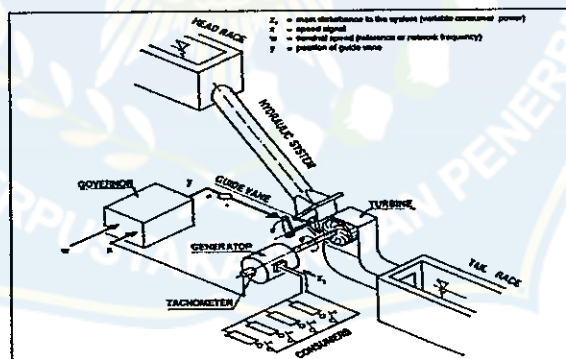
besarnya potensi daya (P) adalah:

$$\begin{aligned} P &= 9.8 \times Q \times H_n \times h \\ &= 9.8 \times 300 \times 12 \times 0.5 \\ &= 17\,640 \text{ W} \\ &= 17.64 \text{ kW} \end{aligned}$$

H. Sistem Kontrol PLTMH

Sistem kontrol berfungsi untuk menyeimbangkan energi input dan energi output dengan cara mengatur input (*flow*) atau mengatur output (listrik) sehingga sistem akan seimbang. Perubahan beban terhadap waktu peran sistem kontrol sangat penting untuk menjaga stabilitas sistem terutama kualitas listrik yang

dihasilkan pembangkit (tegangan dan frekuensi). Tujuan pengontrolan pada PLTMH adalah untuk menjaga sistem elektrik dan mesin agar selalu berada pada daerah kerja yang diperbolehkan. *Flow control* dapat diartikan sebagai pengaturan besarnya daya hidrolik berupa debit air yang masuk ke turbin dengan mengatur katup turbin (*guide vane*) biasanya yang dipakai adalah Governor dimana *Governor* mengatur putaran turbin sehingga frekuensi listrik relatif tetap konstan untuk berbagai kondisi beban. Untuk melakukan fungsinya tersebut, *governor* mengukur frekuensi yang dihasilkan generator dengan cara mengukur kecepatan putar poros generator tersebut karena frekuensi yang dihasilkan generator sebanding kecepatan putar poros generator. Kerugian sistem ini adalah ketidakmampuannya bereaksi cepat bila terjadi perubahan beban secara mendadak. Pengontrolan frekuensi PLTMH dengan governor akan digambarkan dalam gambar VI.2 berikut ini.

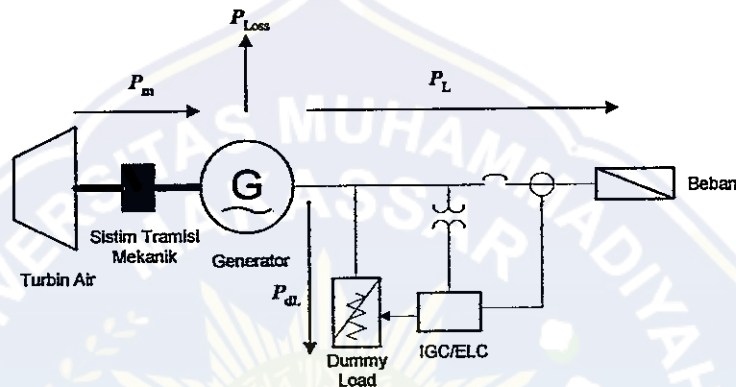


Gambar 2.4 Pengontrolan generator dengan Governor

Sehingga diperlukan suatu sistem yang lebih efisien lagi yaitu dengan menggunakan *Electronic Load Control* (ELC), dengan menggunakan ELC maka PLTMH akan tetap bekerja pada keadaan nominal walaupun beban konsumen berubah-ubah.

I. PENGENDALIAN PLTMH MENGGUNAKAN ELC

Pada sistem ini pengaturan beban dilakukan oleh *dummy load* (ballast), mengikuti fluktuasi beban, sehingga beban total yang dirasakan oleh generator tidak berubah. Berikut gambar ELC pada PLTMH



Gambar 2.5 Pengendalian PLTMH dengan sistem ELC

dimana :

Sistem pengendalian ELC relatif murah, namun terjadi banyak pembuangan energi produksi. Pada saat beban ringan, kelebihan energi produksi PLTMH dibuang melalui *dummy load* dengan cara pemanasan ataupun beban lain yang sifatnya resistif.

Inti dari ELC adalah pada pengaturan besar impedansi beban komplemen dengan menggunakan metode perbandingan antara arus konsumen dengan suatu besaran referensi. Besar arus yang masuk ke beban konsumen akan disampling kemudian dibandingkan dengan suatu besaran referensi.

J. ELECTRO LOAD CONTROL (ELC)

1) Pengenalan ELC

Electronic Load Control (ELC) adalah pengatur elektronik yang berfungsi sebagai pengatur frekuensi dan tegangan pada generator. Kontrol beban cocok untuk pembangkit listrik mikrohidro yang diterapkan di sungai (tanpa bendungan). ELC juga merupakan perangkat elektronik *solid state* yang dapat dirancang untuk mengatur daya output dari sistem tenaga mikrohidro. Mempertahankan torsi beban konstan pada turbin dapat menyebabkan tegangan dan frekuensi yang stabil dihasilkan oleh generator. Pengontrol mengkompensasi variasi dalam beban utama dengan secara otomatis memvariasikan jumlah daya yang dihaburkan dalam beban resistif, umumnya dikenal sebagai beban *ballasts* atau *dump*, untuk menjaga total beban pada generator dan turbin tetap konstan. Ada beberapa keuntungan dari pengontrol beban elektronik (ELC)

2) Prinsip kerja ELC

ELC bekerja berdasarkan sinyal frekuensi dan bekerja untuk mengontrol frekuensi. Rangkaian mainboard akan terus mengecek setiap perubahan frekuensi pada tiap setengah gelombang (10 ms) dan akan menyulut thyristor dan ballast load sesuai dengan frekuensi error yang terukur. Penyulutan Thyristor dilakukan dengan mengatur sudut fasa (phase angle control) sampai frekuensi set point tercapai (50 Hz). Frekuensi akan terus dijaga pada set point 50 Hz dengan accuracy $\pm$ Hz dengan waktu pemulihan (recovery time) sebesar ± 2 detik. Recovery time merupakan waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk kembali ke set point awal ketika terjadi perubahan beban. Respon controller dapat

diatur melalui dip switches dengan mengatur parameter Proportional Integral untuk mengatur kecepatan respon kontrol apakah lambat, sedang atau cepat disesuaikan dengan karakteristik beban dan sistem pembangkit. Sistem Dua Step Penyulutan thyristor dan ballast load dilakukan dengan cara mengatur penyalan sudut fasa (phase angle control) secara dua tahap. Ballast step pertama (R1,S1,T1) akan digunakan pada saat beban yang dialihkan 0 50% dari daya terbangkit, sedangkan tahap kedua (R2,S2,T2) hanya akan dinyalakan jika ballast step 1 tidak dapat menampung kelebihan beban atau daya yang dibuang sudah lebih dari 50%. Keuntungan metode ini adalah variasi pengendalian yang dapat dilakukan dari 0% - 100% power dengan distorsi gelombang yang lebih kecil. Selain itu kehandalan sistem lebih terjaga mengingat step kedua akan menjadi back up jika sistem step pertama mengalami masalah (misalnya ballast rusak, thyristor rusak,dll). Selain itu dengan sistem dua step dampak negative harmonic pada pembangkit dapat diminimalkan

3) Contoh Kondisi Operasi ELC

Contoh kondisi operasi ELC tertera pada table berikut:

Table 2.2 Tabel Contoh Operasi ELC

TURBIN	KONSUMEN	BALLAST	FREKUENSI	KONDISI		TINDAKAN
25 kW	10 kW	15 kW	F = 50 Hz	ELC BEKERJA	UNDERLOAD	Kurangi bukaan turbin
25 kW	18 kW	7 kW	F = 50 Hz	ELC BEKERJA	NORMAL	
25 kW	26 kW	0 kW	F < 50 Hz	ELC TIDAK BEKERJA	OVERLOAD	Tambah air atau kurangi beban

Selain itu ELC bekerja dengan mendeteksi dan mengatur frekuensi, bukan tegangan. Tegangan generator diatur dengan menggunakan Automatic Voltage Regulator (AVR) yang biasanya sudah menyatu dengan generatornya. Generator

dengan AVR biasanya dapat menjaga tegangan tetap stabil pada frekuensi 47.5-52.5 Hz. Pada generator tanpa AVR tegangan biasanya tidak terkendali dan tidak sebanding dengan frekuensi, terkadang frekuensi 50Hz tetapi tegangan output generator mencapai 250 Volt (L-N), sehingga disarankan untuk selalu menggunakan generator yang dilengkapi dengan AVR agar listrik yang dibangkitkan stabil dan lebih baik.



BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan Maret 2019, Kampus Universitas Muhammadiyah Makassar.

B. Jenis penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian simulasi sistem menggunakan *software* Matlab, dimana kondisi penelitian ini di desain dan di atur oleh peneliti dengan mengacu pada sumber-sumber rujukan/literature yang berkaitan dengan penelitian tersebut.

C. Sumber data penelitian

Sumber data penelitian yakni data yang diperoleh dari literatur dan hasil penelitian yang sudah ada, baik hasil penelitian eksperimental maupun penelitian survey atau langsung di lapangan yang terkait dengan penelitian ini.

D. Tahap penelitian

- 1) Melakukan study literatur dari berbagai sumber terkait baik itu buku, jurnal, dan karya tulis ilmiah lainnya tentang data PLTMH yang sesuai dengan sistem control yang akan di rancang. berkapasitas 5 kW, serta melakukan pengamatan dan pendataan melalui studi pustaka sesuai dengan data yang dibutuhkan untuk merancang desain *Electro Load Control* (ELC).
- 2) Menentukan komponen-komponen yang di gunakan serta kapasitas komponen dalam melakukan perancangan desain alat kontrol untuk simulasi.

- 3) Melakukan perhitungan pada alat kontrol (ELC) yang telah di rancang/desain dengan menggunakan alat yang telah di tentukan.

D. Alat yang digunakan

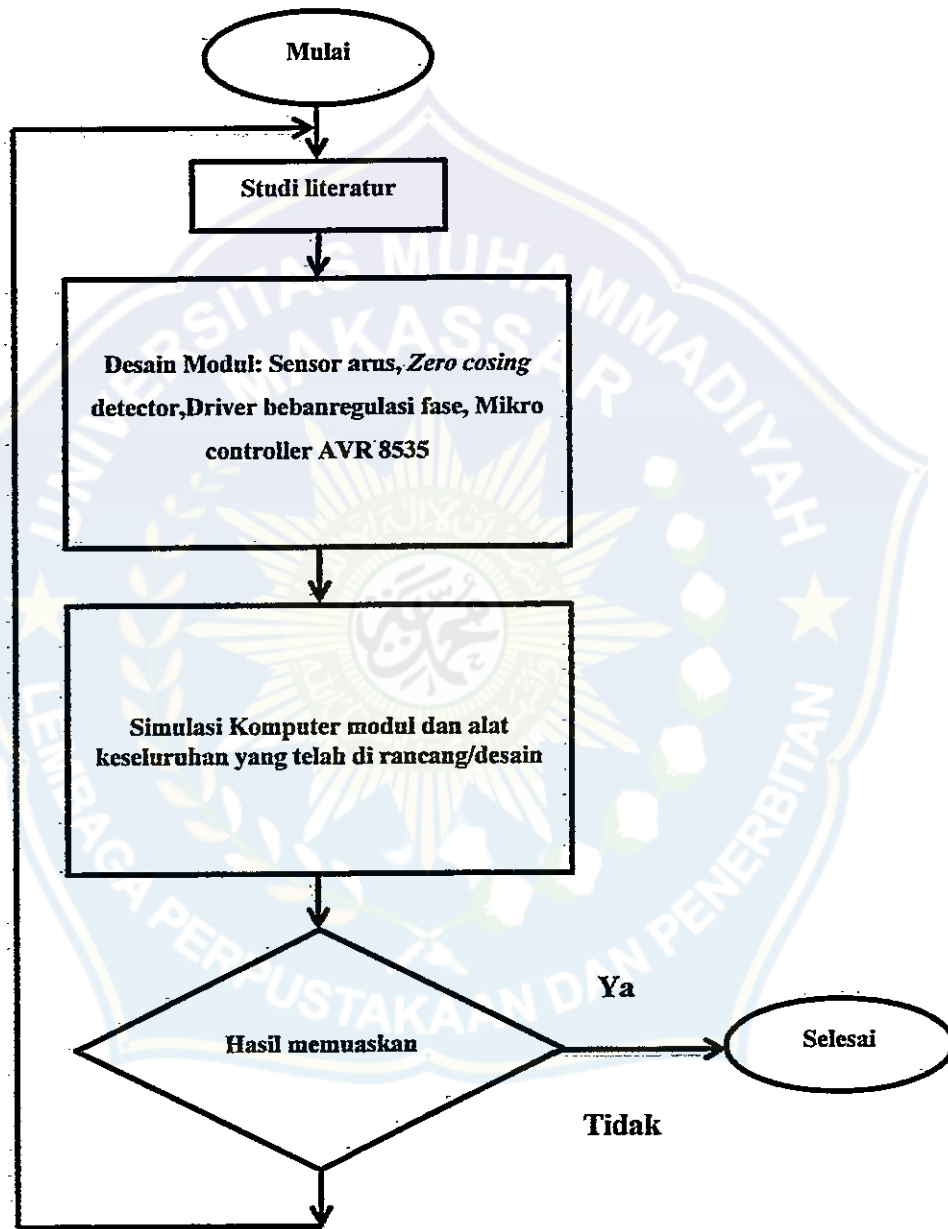
Spesifikasi perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Sistem operasi dalam penelitian yang digunakan peneliti adalah *Windows*.
- 2) Perangkat lunak yang digunakan untuk menghitung parameter listrik pada komponen rancangan adalah Matlab R2010a.

Sedangkan prangkat keras utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Komputer/ laptop

- 1) Kalkulator
- 2) Alat tulis
- 3) Buku/kertas

E. Bagan alur penelitian

Gambar 3.1 Flow Chart

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

A. Analisa data PLTMH

Dalam upaya mengetahui daya yang terbangkitkan pada PLTMH, penulis menggunakan sampel data hasil analisa pada PLTMH Bumiaji Kota Batu sebagai bahan rujukan untuk melakukan perancangan sistem kontrol.

1) Massa jenis air (*Density*)

Adapun massa jenis air yang dihasilkan PLTMH Bumiaji Kota Batu seperti pada tabel berikut :

Tabel 4.1 Massa jenis air (*Density*)

Temp (°C)	Density (kg/m ³)
+100	958.4
+80	971.8
+60	983.2
+40	992.2
+30	995.6502
+25	997.0479
+22	997.7735
+20	998.2071
+15	999.1026
+10	999.7026
+4	999.9720
0	999.8395
-10	998.117
-20	993.547
-30	983.854

2) Gambaran dan data parameter

Berikut adalah gambar peta situasi PLTMH Bumiaji Kota Batu,



Gambar 4.1 Peta Situasi PLTMH Bumiaji Kota Batu

Adapun data survey pada pembangkit tersebut yang di mana Debit yang di hasilkan adalah $0.25 \text{ m}^3/\text{dt}$ dan tinggi jatuh (*head*) yaitu 2.28 m, sehingga daya yang terbangkitkan adalah sebesar 5.50 kW.

3) Perhitungan Daya yang Terbangkitkan

Dengan menggunakan persamaan diatas, dan data parameter:

Efisiensi turbin dan generator ($\eta = 0,8$)

Massa jenis air (pada $t = 40^0\text{c}$, $\rho = 992.2 \text{ Kg/m}^3$)

Daya turbin

$$P = \eta \cdot \rho \cdot Q \cdot H$$

Dimana :

P = Daya yang terbangkitkan

η = Efisiensi total

ρ = Massa jenis air (kg/m^3)

Q = Debit pembangkit (m^3/dt)

H = Tinggi jatuh efektif (m)

Jadi:

$$= 0,8 \times 992,2 \times 9,81 \times 0,25 \times 2,8$$

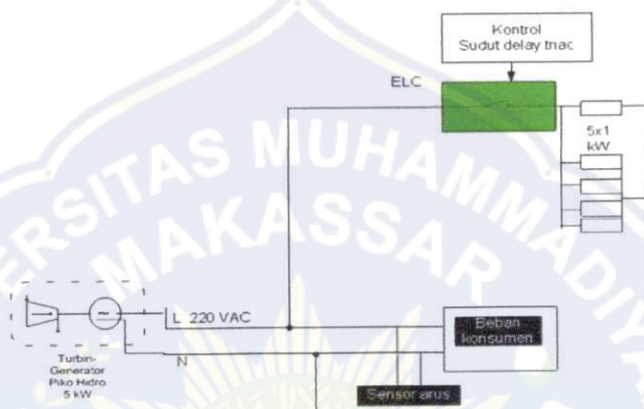
$$= 5450,74992 \text{ Watt}$$

$$= 5,451 \text{ kWatt}$$

B. Perancangan system ELC

1) Skema *Electro Load Control* Pada PLTMH 5kW

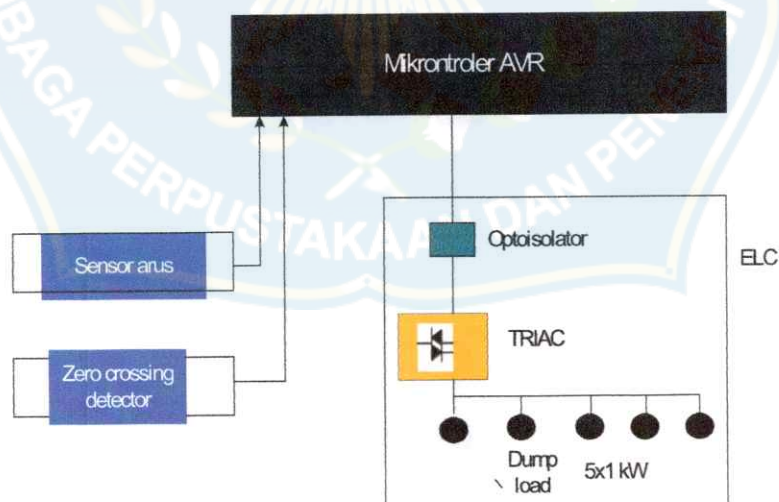
Berikut adalah hasil rancangan skema *Electro Load Control* Pada PLTMH 5kW



Gambar 4.2: Skema ELC Pada PLTMH 5 kWatt

2) Skema Kontrol Daya Pada *Dump Load*

Berikut adalah hasil rancangan Skema Kontrol Daya Pada *Dump Load*



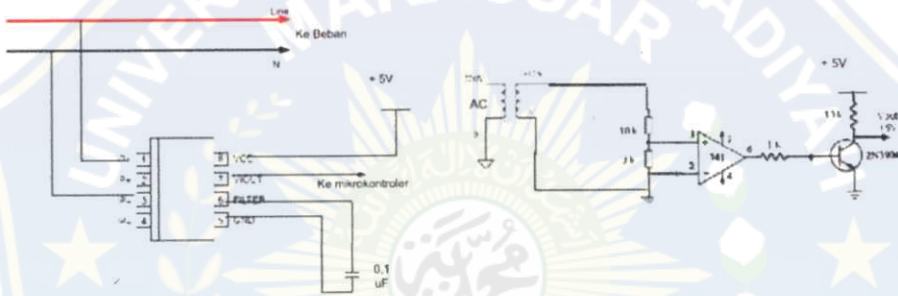
Gambar 4.3: Skema Kontrol Daya Pada Dump Load

C. Keterangan perancangan ELC

ELC yang di desain pada penelitian di susun dari beberapa subsistem atau modul yaitu:

1) Sensor arus

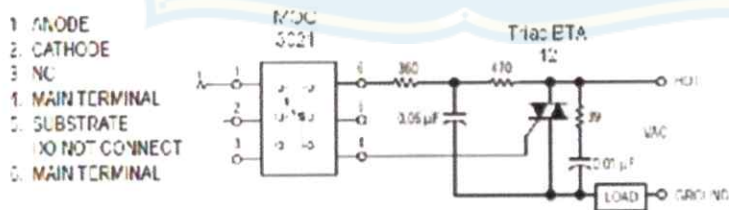
Sensor arus yang di gunakan jenis ACS 712x30 A dengan skema rangkaian seperti di perlihatkan gambar di atas.



Gambar 4.4: Skema rangkaian arus dan rangkaian *zero crossing detector*

2) Driver beban dengan kendali sudut fasa

Ada tiga bagian pokok pada driver beban yaitu: *zero crossing detector*, rangkaian Opto isolator dengan TRIAC, dan *dump load*.



Gambar.4.5 Skema rangkaian optoisolator dan triac

Pada rangkaian gambar diatas, sisi panas adalah sisi saluran (*line*) dan beban di hubungkan ke sisi dingin atau neutral. Resistor 39 ohm dan kapasitor 0.01 μF di pakai sebagai snubbing TRIAC, sedangkan resistor 470 ohm dan 0.05 μF berfungsi sebagai snubbing Optoisolator, pada rangkaian gambar di atas bebannya adalah *Dump load* berupa heater 1 kW.

3) Mikrokontroler AVR 8535

Fungsi Mikrokontroler AVR 8535 pada perancangan ELC adalah sebagai alat untuk membaca arus beban dari sensor arus dengan fasilitas ADC 10 bit yang di miliki Mikrokontroler AVR 8535. Nilai parameter listrik komponen yang terpakai pada modul untuk keperluan simulasi Komputer seperti di campurkan pada table berikut.

Tabel 4.2 Parameter listrik yang di gunakan dalam simulasi

Modul	Rating	Keterangan
Pembangkit	Generator Sinkron 1 ϕ Daya 5 kW 220 V, P= 4 kutub, $\cos \phi = 0.8$ $\text{rpm} = 1500/\text{min}$ $I_{FL} = 23 \text{ A}$	
Sensor arus	Range arus -30 0 30 AC-DC Output 0- 2.5 V 2.5- 5 V Sensitivitas 66 mV/A	Arus=0 , $V_{out} 2.5 \text{ V}$
ELC	Zero crossing detector	Modul
	Nilai umum Optoisolator MOC 3021	

	Sesuai data sheet	Berupa heater 5 unit
	Triac BTA30-600CW3G Tegangan 600V Arus maksimum 30 A	
	Dump load 5x 1 kW	
Mikrokontroler AVR 8535	Algoritma program yang benar sehingga dihasilkan pola operasi ELC sesuai yang diinginkan	

D. Data hasil perhitungan

Berikut ini adalah data hasil perhitungan beban PLTMH dengan menggunakan sistem *Electronoc Load Control* (ELC)

Tabel. 4.3 Hasil perhitungan

		Daya			
α (sudut trigger, der)	α (sudut trigger, rad)	VO (Volt)	Dump Load (W)	Daya Konsumen (W)	Delay trigger mikrokont (mikro detik)
1	0.017453	220	5000	0	55.556
2	0.034907	220	5000	0	111.11
3	0.05236	220	4999.8	0.2	166.67
4	0.069813	219.99	4999.6	0.4	222.22

5	0.087266	219.98	4999.3	0.7	277.78
6	0.10472	219.97	4998.8	1.2	333.33
7	0.12217	219.96	4998.1	1.9	388.89
8	0.13963	219.94	4997.1	2.9	444.44
9	0.15708	219.91	4995.9	4.1	500
10	0.17453	219.88	4994.4	5.6	555.56
11	0.19199	219.84	4992.5	7.5	611.11
12	0.20944	219.79	4990.3	9.7	666.67
13	0.22689	219.73	4987.7	12.3	722.22
14	0.24435	219.66	4984.7	15.3	777.78
15	0.2618	219.59	4981.2	18.8	833.33
16	0.27925	219.5	4977.3	22.7	888.89
17	0.29671	219.4	4972.8	27.2	944.44
18	0.31416	219.29	4967.7	32.3	1000
19	0.33161	219.17	4962.2	37.8	1055.6
20	0.34907	219.03	4956	44	1111.1
21	0.36652	218.88	4949.1	50.9	1166.7
22	0.38397	218.71	4941.7	58.3	1222.2
23	0.40143	218.53	4933.5	66.5	1277.8
24	0.41888	218.34	4924.7	75.3	1333.3
25	0.43633	218.13	4915.2	84.8	1388.9

26	0.45379	217.9	4904.9	95.1	1444.4
27	0.47124	217.65	4893.8	106.2	1500
28	0.48869	217.39	4881.9	118.1	1555.6
29	0.50615	217.11	4869.3	130.7	1611.1
30	0.5236	216.81	4855.8	144.2	1666.7
31	0.54105	216.49	4841.5	158.5	1722.2
32	0.55851	216.15	4826.3	173.7	1777.8
33	0.57596	215.79	4810.3	189.7	1833.3
34	0.59341	215.41	4793.4	206.6	1888.9
35	0.61087	215.01	4775.6	224.4	1944.4
36	0.62832	214.58	4756.8	243.2	2000
37	0.64577	214.14	4737.2	262.8	2055.6
38	0.66323	213.67	4716.6	283.4	2111.1
39	0.68068	213.19	4695.1	304.9	2166.7
40	0.69813	212.67	4672.6	327.4	2222.2
41	0.71558	212.14	4649.1	350.9	2277.8
42	0.73304	211.58	4624.7	375.3	2333.3
43	0.75049	211	4599.4	400.6	2388.9
44	0.76794	210.4	4573.1	426.9	2444.4
45	0.7854	209.77	4545.8	454.2	2500
46	0.80285	209.12	4517.5	482.5	2555.6

47	0.8203	208.44	4488.3	511.7	2611.1
48	0.83776	207.74	4458.1	541.9	2666.7
49	0.85521	207.01	4426.9	573.1	2722.2
50	0.87266	206.26	4394.8	605.2	2777.8
51	0.89012	205.48	4361.7	638.3	2833.3
52	0.90757	204.68	4327.7	672.3	2888.9
53	0.92502	203.85	4292.7	707.3	2944.4
54	0.94248	202.99	4256.8	743.2	3000
55	0.95993	202.11	4220	780	3055.6
56	0.97738	201.21	4182.3	817.7	3111.1
57	0.99484	200.28	4143.6	856.4	3166.7
58	1.0123	199.32	4104.1	895.9	3222.2
59	1.0297	198.34	4063.7	936.3	3277.8
60	1.0472	197.33	4022.5	977.5	3333.3
61	1.0647	196.29	3980.4	1019.6	3388.9
62	1.0821	195.23	3937.5	1062.5	3444.4
63	1.0996	194.14	3893.8	1106.2	3500
64	1.117	193.03	3849.3	1150.7	3555.6
65	1.1345	191.89	3804	1196	3611.1
66	1.1519	190.73	3758	1242	3666.7
67	1.1694	189.54	3711.3	1288.7	3722.2

68	1.1868	188.33	3663.9	1336.1	3777.8
69	1.2043	187.09	3615.8	1384.2	3833.3
70	1.2217	185.82	3567.1	1432.9	3888.9
71	1.2392	184.53	3517.7	1482.3	3944.4
72	1.2566	183.22	3467.7	1532.3	4000
73	1.2741	181.88	3417.2	1582.8	4055.6
74	1.2915	180.51	3366.1	1633.9	4111.1
75	1.309	179.12	3314.6	1685.4	4166.7
76	1.3265	177.71	3262.5	1737.5	4222.2
77	1.3439	176.27	3210	1790	4277.8
78	1.3614	174.81	3157	1843	4333.3
79	1.3788	173.33	3103.7	1896.3	4388.9
80	1.3963	171.82	3049.9	1950.1	4444.4
81	1.4137	170.3	2995.9	2004.1	4500
82	1.4312	168.74	2941.6	2058.4	4555.6
83	1.4486	167.17	2887	2113	4611.1
84	1.4661	165.57	2832.1	2167.9	4666.7
85	1.4835	163.96	2777.1	2222.9	4722.2
86	1.501	162.32	2721.9	2278.1	4777.8
87	1.5184	160.66	2666.5	2333.5	4833.3
88	1.5359	158.98	2611.1	2388.9	4888.9

89	1.5533	157.28	2555.5	2444.5	4944.4
90	1.5708	155.56	2500	2500	5000
91	1.5882	153.83	2444.5	2555.5	5055.6
92	1.6057	152.07	2388.9	2611.1	5111.1
93	1.6232	150.29	2333.5	2666.5	5166.7
94	1.6406	148.5	2278.1	2721.9	5222.2
95	1.6581	146.69	2222.9	2777.1	5277.8
96	1.6755	144.86	2167.9	2832.1	5333.3
97	1.693	143.02	2113	2887	5388.9
98	1.7104	141.16	2058.4	2941.6	5444.4
99	1.7279	139.28	2004.1	2995.9	5500
100	1.7453	137.39	1950.1	3049.9	5555.6
101	1.7628	135.49	1896.3	3103.7	5611.1
102	1.7802	133.57	1843	3157	5666.7
103	1.7977	131.63	1790	3210	5722.2
104	1.8151	129.69	1737.5	3262.5	5777.8
105	1.8326	127.73	1685.4	3314.6	5833.3
106	1.85	125.76	1633.9	3366.1	5888.9
107	1.8675	123.78	1582.8	3417.2	5944.4
108	1.885	121.79	1532.3	3467.7	6000
109	1.9024	119.79	1482.3	3517.7	6055.6

110	1.9199	117.77	1432.9	3567.1	6111.1
111	1.9373	115.75	1384.2	3615.8	6166.7
112	1.9548	113.73	1336.1	3663.9	6222.2
113	1.9722	111.69	1288.7	3711.3	6277.8
114	1.9897	109.65	1242	3758	6333.3
115	2.0071	107.6	1196	3804	6388.9
116	2.0246	105.54	1150.7	3849.3	6444.4
117	2.042	103.48	1106.2	3893.8	6500
118	2.0595	101.41	1062.5	3937.5	6555.6
119	2.0769	99.346	1019.6	3980.4	6611.1
120	2.0944	97.274	977.51	4022.5	6666.7
121	2.1118	95.2	936.26	4063.7	6722.2
122	2.1293	93.124	895.87	4104.1	6777.8
123	2.1468	91.047	856.36	4143.6	6833.3
124	2.1642	88.97	817.73	4182.3	6888.9
125	2.1817	86.893	779.99	4220	6944.4
126	2.1991	84.817	743.17	4256.8	7000
127	2.2166	82.743	707.27	4292.7	7055.6
128	2.234	80.672	672.31	4327.7	7111.1
129	2.2515	78.604	638.28	4361.7	7166.7
130	2.2689	76.54	605.2	4394.8	7222.2

131	2.2864	74.481	573.08	4426.9	7277.8
132	2.3038	72.428	541.92	4458.1	7333.3
133	2.3213	70.381	511.72	4488.3	7388.9
134	2.3387	68.341	482.49	4517.5	7444.4
135	2.3562	66.309	454.23	4545.8	7500
136	2.3736	64.286	426.93	4573.1	7555.6
137	2.3911	62.273	400.61	4599.4	7611.1
138	2.4086	60.27	375.25	4624.8	7666.7
139	2.426	58.278	350.86	4649.1	7722.2
140	2.4435	56.298	327.43	4672.6	7777.8
141	2.4609	54.331	304.95	4695.1	7833.3
142	2.4784	52.378	283.42	4716.6	7888.9
143	2.4958	50.44	262.83	4737.2	7944.4
144	2.5133	48.517	243.17	4756.8	8000
145	2.5307	46.611	224.44	4775.6	8055.6
146	2.5482	44.722	206.61	4793.4	8111.1
147	2.5656	42.851	189.69	4810.3	8166.7
148	2.5831	40.999	173.65	4826.4	8222.2
149	2.6005	39.168	158.48	4841.5	8277.8
150	2.618	37.358	144.17	4855.8	8333.3
151	2.6354	35.569	130.7	4869.3	8388.9

152	2.6529	33.804	118.05	4881.9	8444.4
153	2.6704	32.063	106.2	4893.8	8500
154	2.6878	30.348	95.143	4904.9	8555.6
155	2.7053	28.658	84.846	4915.2	8611.1
156	2.7227	26.997	75.291	4924.7	8666.7
157	2.7402	25.363	66.456	4933.5	8722.2
158	2.7576	23.76	58.32	4941.7	8777.8
159	2.7751	22.188	50.856	4949.1	8833.3
160	2.7925	20.648	44.041	4956	8888.9
161	2.81	19.141	37.85	4962.1	8944.4
162	2.8274	17.67	32.255	4967.7	9000
163	2.8449	16.236	27.231	4972.8	9055.6
164	2.8623	14.839	22.748	4977.3	9111.1
165	2.8798	13.483	18.779	4981.2	9166.7
166	2.8972	12.168	15.295	4984.7	9222.2
167	2.9147	10.897	12.266	4987.7	9277.8
168	2.9322	9.6713	9.6626	4990.3	9333.3
169	2.9496	8.4939	7.4531	4992.5	9388.9
170	2.9671	7.3671	5.6068	4994.4	9444.4
171	2.9845	6.2938	4.0921	4995.9	9500
172	3.002	5.2772	2.877	4997.1	9555.6

173	3.0194	4.3213	1.9291	4998.1	9611.1
174	3.0369	3.4306	1.2158	4998.8	9666.7
175	3.0543	2.6106	0.70406	4999.3	9722.2
176	3.0718	1.8685	0.36068	4999.6	9777.8
177	3.0892	1.2139	0.15223	4999.8	9833.3
178	3.1067	0.6608	0.045118	5000	9888.9
179	3.1241	-0.2336	0.005640	5000	9944.4

Tegangan keluaran TRIAC dengan beban resistif $V_{O(RMS)}$ versus sudut perlambatan penyalan (α).

$$V_{O(RMS)} = V_s \sqrt{\frac{1}{\pi} \left[(\pi - \alpha) + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right]}$$

Dengan

$$V_s = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \text{Nilai rms tegangan suplai}$$

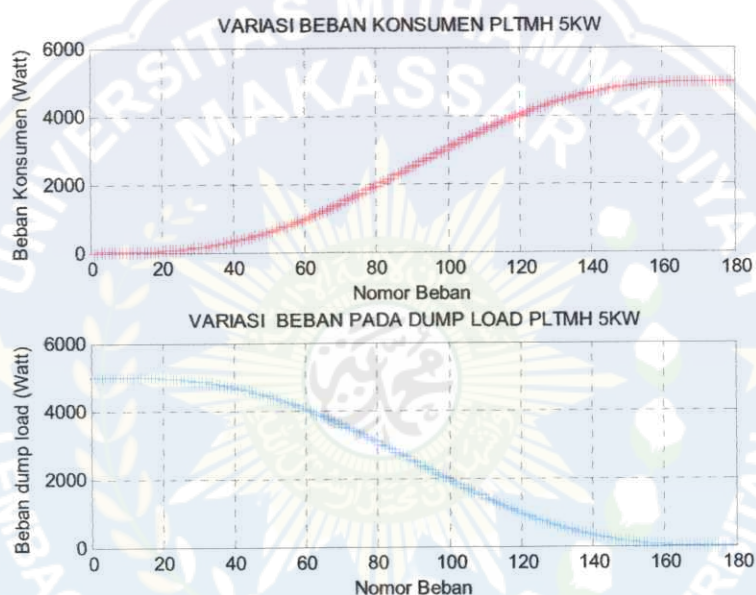
Dengan sudut perlambatan penyalan (α), dan rus efektif keluaran $I_0 = \frac{V_0}{R}$.

Daya Beban $P_o = I_o^2 \times R$. Berdasarkan persamaan diatas tegangan V_o didapat seperti yang dicantumkan pada table 1.

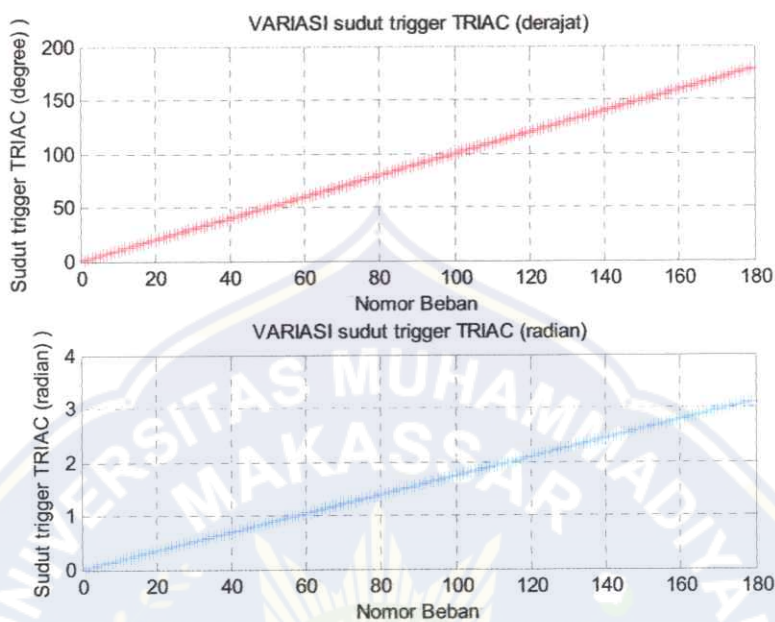
Kontrol penyalan TRIAC dilakukan oleh mikrokontroler. Hubungan sudut penyalan dengan delay sebagai berikut:

$180^\circ = (T/2)$, Periode gelombang sumber tegangan $T=1/f$, dan $f=50$ Hz, sehingga periode = $1/50 = 20$ mili detik.

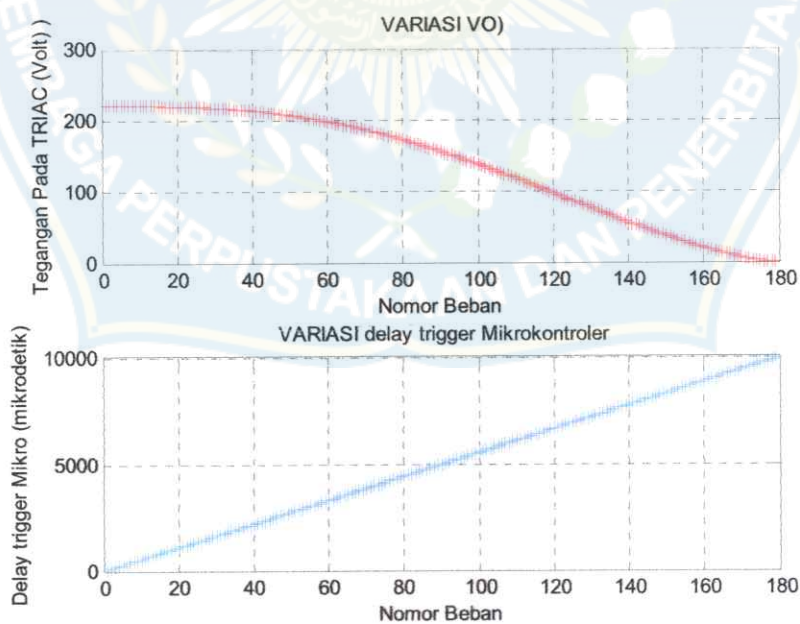
$1^\circ = 10/180 = 1/18$ mili detik atau 55, 56 mikro detik (lihat hasil table 1)



Gambar 4.6 Variasi Daya Konsumen dan Daya Dump Load



Gambar 4.7 Variasi sudut penyalan TRIAC



Gambar 4.8 Variasi tegangan VO dan waktu delay penyalan TRIAC

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

- 1) Beban komplemen (*Dump Load*), misalnya berjenis beban resistif dapat digunakan untuk menjaga kestabilan tegangan generator saat terjadi fluktuasi pemakaian daya oleh beban konsumen karena beban komplemen berfungsi menggantikan beban konsumen yang berkurang.
- 2) Modul *Electronic Load Controller* (ELC) mampu mendeteksi perubahan beban konsumen lalu melakukan pemicu pada komplemen TRIAC untuk mengaktifkan beban komplemen yang diinginkan agar beban tetap sinkron.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, penulis mendapatkan saran sebagai berikut:

- 1) Menggunakan spesifikasi yang lebih tinggi dari alat yang dibuat untuk kapasitas PLTMH yang lebih besar.
- 2) Simulasi yang dilakukan sudah menghasilkan respon yang baik maka perlu adanya penerapan secara nyata agar dapat dinikmati oleh masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Arismunandar, Dr. dan Dr. Susumumu Kuwahara, Jakarta : 1974
Pembangkitan dengan tenaga air, Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik,
Jilid I.
2. Majalah Kina, No.1-2008, Departemen Perindustrian RI
<http://insyaansori.blogspot.com/2014/02/pembangkit-listrik-tenaga-mikro-hidro.html>
3. Hasan, Achmad, Pengontrol Beban Elektronik pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro, P3 Teknologi Konversi dan Konservasi Energi, Deputi Teknologi Informasi, Energi, Material dan Lingkungan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
4. PROJECT ELC Sejak tahun 2010 s/d 2015 ELC PME telah beroperasi di lebih dari 430 lokasi PLTMH dengan kapasitas mulai kw dan total daya terpasang ± 7.5 MW. ELC tersebar di seluruh Indonesia dan telah di Ekspor ke beberapa Negara seperti : Malaysia, Philippine, Thailand, Australia, Turkey, Switzerland, Iran, Francis, Pakistan, South Africa, Kenya, Mozambique, Ethiopia, Nigeria,.
5. Jurnal Instek, Abdul Hafid, Rahmania, tahun 2018 Analisis Pengendalian Beban Elektronik Untuk Pembangkitan Listrik Tenaga Pikohidro Dengan Metode Kendali Sudut Fase Dan Beban Biner.