

Rancang Bangun Stabilizer Tegangan Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Desa Surokonto Wetan Kabupaten Kendal

Alila Kanayadiba¹

Jurusan Informatika, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas PGRI Semarang

Gedung B Lantai 3, Kampus 1 Jl. Sidodadi Timur 24, Semarang

E-mail : alkanaya37@gmail.com¹

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja Electronic Load Controller (ELC) dengan Ballast Load terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah merancang, analisa, dan pengambilan data di Desa Surokonto Wetan, Kecamatan Paguruyung. Hasil dari penelitian ini menghasilkan putaran generator terhadap beban tanpa ELC mengalami penurunan, namun frekuensi yang dihasilkan tinggi yaitu 55 Hz yang berbanding lurus dengan putaran yang dihasilkan. Sebelum menggunakan ELC pada beban 60 Watt memiliki tegangan 276 Volt dan pada beban 120 Watt memiliki tegangan 246 Volt, setelah dipasang ELC tegangan menjadi 220 Volt, tetapi pada beban 180 Watt memiliki tegangan 180 Volt, sedangkan sesudah menggunakan ELC memiliki tegangan 180 Volt. Pada ELC yang telah diaplikasikan pada PLTMH di Desa Surokonto Kabupaten Kendal dapat mengatasi lonjakan tegangan dan frekuensi, dengan keluaran stabil dan didapatkan voltage regulasi 25,45% , dengan pembebanan 60 Watt, putaran 1360 rpm. Sedangkan voltage regulasi terendah sekitar 11,81% pada pemasangan beban lampu 120 Watt, dengan putaran 1135 rpm.

Kata Kunci: ELC , PLMTH , dan Ballast Load

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagian besar penduduk Indonesia sebenarnya tinggal di daerah pemukiman pedesaan. Lingkungan pedesaan memiliki ciri tingkat efisiensi kerja yang rendah, tingkat kemiskinan yang meningkat tanpa henti dan kualitas lingkungan yang rendah dari pemukiman pedesaan. Mengingat banyaknya penduduk Indonesia yang tinggal di daerah pedesaan, perbaikan negara harus mendapatkan kebutuhan yang tinggi dalam pergantian pembangunan publik. [7] (Pioh, J. E., Patras, L. S., & Lisi, F. 2016) .Ketersediaan listrik di pedesaan merupakan jalan menuju keseimbangan pembangunan di suatu negara karena listrik telah menjadi kebutuhan utama untuk menunjang kehidupan yang semakin maju, oleh karena itu dibuatlah sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air Mikrohidro (PLTMH) yang menggunakan air (aliran) sebagai sumber energi. PLTMH pada prinsipnya menggunakan perbedaan ketinggian dan berapa banyak air yang dikeluarkan untuk memutar poros turbin untuk menghasilkan energi mekanik.

Bangunan terjun dan gorong-gorong miring dapat digunakan di jaringan irigasi untuk mengatasi perbedaan ketinggian sepanjang trace saluran sebagai akibat dari kemiringan lahan yang cukup besar, kecuali pada lahan khusus biasanya tinggi terjun dari bangunan terjun dibuat tidak lebih dari 3 m. Pemanfaatan potensi tenaga air yang terdapat pada bangunan terjun dan got miring dengan tinggi terjun yang tidak besar ini dapat digunakan PLTMH skala kecil dengan kapasitas kurang dari 10.000 Watt.

Aliran air dalam suatu saluran dapat berupa aliran saluran terbuka maupun aliran pipa. Perbedaannya adalah pada aliran saluran terbuka harus memiliki permukaan bebas sedangkan aliran pipa tidak karena pada aliran pipa air harus mengisi seluruh saluran. Permukaan bebas dipengaruhi oleh tekanan udara, air yang terkurung dalam saluran tertutup tidak terpengaruh secara langsung dengan tekanan udara, kecuali tekanan hidrolik. Aliran laminar ditandai dengan lintasan partikel fluida sepanjang lintasan yang halus dan membentuk lapisan-lapisan tertentu, lintasan partikel yang berurutan mengikuti lintasan yang benar dengan harga bilangan Reynolds yaitu <2000 . Aliran turbulen ditandai dengan campuran antara lapisan-lapisan fluida yang berbeda terjadi pada harga bilangan Reynolds yang lebih tinggi yaitu >4000 Re, pada jenis aliran ini dimana hampir tidak terdapat garis edar tertentu yang dapat dilihat. [12] (Yanto, I. P. E. A., Giriantari, I. A. D., & Ariastina, W. G. 2021).

PLTMH mengalami perubahan beban yang mengakibatkan langsung pada generator, jika torsi turbin tidak diubah saat terjadi perubahan beban, maka frekuensi dan tegangan listrik yang dihasilkan akan berubah-ubah yang dapat mengakibatkan kerusakan baik di generator maupun pada beban. [8] (Rahayuningtyas, A., Santoso, T., & Furqon, M. 2012).

Permasalahan dalam sistem PLTMH adalah terjadinya fluktuasi frekuensi pada generator akibat perubahan beban utama. Frekuensi adalah indikator dari keseimbangan energi. Pasokan energi dengan frekuensi yang berkualitas baik akan menghindarkan peralatan konsumen dari kerusakan. Alat penstabil tegangan sistem governor jika digunakan membutuhkan biaya yang besar dan perawatan yang berat, sehingga penggunaannya pada PLTMH tidak ekonomis. [3] (Effendy, M. 2012). Fluktuasi yang bersifat continue dapat mengurangi tingkat stabilitas dari peralatan pada PLTMH. Alat penstabil tegangan yang digunakan secara manual tidak efektif untuk dipakai maka dipasanglah sebuah peralatan penstabil tegangan secara otomatis. Kestabilan tegangan ditentukan

oleh pengaturan penggunaan beban komplemen yang terintegrasi dalam suatu sistem yang terhubung parallel dengan beban konsumen. [4] (Busaeri, Nundang, Asep Andang, dan Nurul Hiron. 2016).

Sistem otomasi yang canggih semakin mengembangkan kemampuannya terutama pada sistem pengontrolan. Sistem otomasi tersebut memungkinkan pengguna untuk melakukan pekerjaan sehari-hari dengan mudah, yang sebelumnya tidak mampu dilakukan sendiri tanpa bantuan orang lain. [6] (Utomo, I. T. 2014) Perlindungan diperlukan dalam suatu PLTMH, untuk meningkatkan usia pemakaiannya dengan mencegah berbagai kerusakan, misalnya pada bagian beban, turbin, maupun generator maka digunakanlah sebuah alat yaitu Electronic Load Controller (ELC). Penentuan komponen ELC tergantung dari kelebihanannya dibanding ELC yang memiliki reaksi lebih cepat dibandingkan pengamanan lainnya. [9] (Slamet, S.(2012). ELC juga berfungsi sebagai pengendali beban agar beban tetap pada kondisi stabil.

Prinsip kerja dari ELC yakni mengontrol beban yang bertujuan menyeimbangkan antara daya yang dibangkitkan generator dengan daya yang digunakan oleh konsumen. [2] (Rizal, M. 2017) Ballast load berfungsi sebagai penampung kelebihan daya akibat berkurangnya beban pada konsumen, biasanya menggunakan air heater atau water heater. [1] ELC melakukan pembagian daya yang dibangkitkan generator antara beban konsumen dan beban komplemen dengan harapan mampu menjadikan nilai beban total pada generator menjadi tetap konstan sesuai dengan daya pembangkitannya sehingga generator akan memiliki nilai frekuensi yang stabil sesuai setpoint. Penambahan ELC pada sistem PLTMH dapat dijadikan solusi untuk menanggulangi permasalahan stabilitas frekuensi listrik hasil pembangkitan pada PLTMH.

1.2 Perumusan Masalah

Masalah stabilizer tegangan pada PLTMH ketika generator sedang tidak terbebani. Adapun yang menjadi masalah ketika diaplikasikan adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh unjuk kerja dari pengaplikasian ELC menggunakan Ballast Load untuk PLTMH ?
2. Bagaimana voltage regulasi ELC menggunakan Ballast Load terhadap fungsinya sebagai Load Controller ?

1.3 Tujuan Khusus

Tujuan khusus dari Rancang Bangun Stabilizer Tegangan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Desa Surokonto Wetan Kabupaten Kendal adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa kinerja ELC dengan Ballast Load terhadap PLTMH.
2. Menghitung voltage regulasi ELC menggunakan Ballast Load terhadap fungsinya dalam mengatasi variasi beban.

1.4 Manfaat Penulisan

Manfaat dari Rancang Bangun Stabilizer Tegangan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Desa Surokonto Wetan Kabupaten Kendal adalah sebagai berikut :

1. Bagi penulis, rancang bangun ini dapat dijadikan sebagai contoh pembelajaran terkait fungsi penguat tegangan yang berguna, khususnya dalam bidang pembangkit listrik. Salah satunya pada PLTMH yang termasuk EBT ramah lingkungan.
2. Bagi pembaca, rancang bangun ini dapat dijadikan sebagai sumber inovasi di bidang IPTEK EBT yang ramah lingkungan dan mudah digunakan.
3. Bagi intansi/ Perguruan Tinggi sebagai referensi bagi mahasiswa yang akan menempuh Tugas Akhir studi dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan studi.

1.5 Metodologi Penulisan Tugas Akhir

Penyusunan Tugas Akhir menggunakan metodologi sebagai berikut:

1. Metode Studi Pustaka

Metode ini dilakukan dengan mempelajari buku-buku referensi yang didapatkan saat kegiatan belajar di kampus, serta jurnal-jurnal tentang penguat tegangan menggunakan ELC dengan beban komplemen menggunakan ballast load dari internet, dimana materi didasari dengan konsep penguat tegangan dan potensi PLTMH di Indonesia.

2. Metode Bimbingan

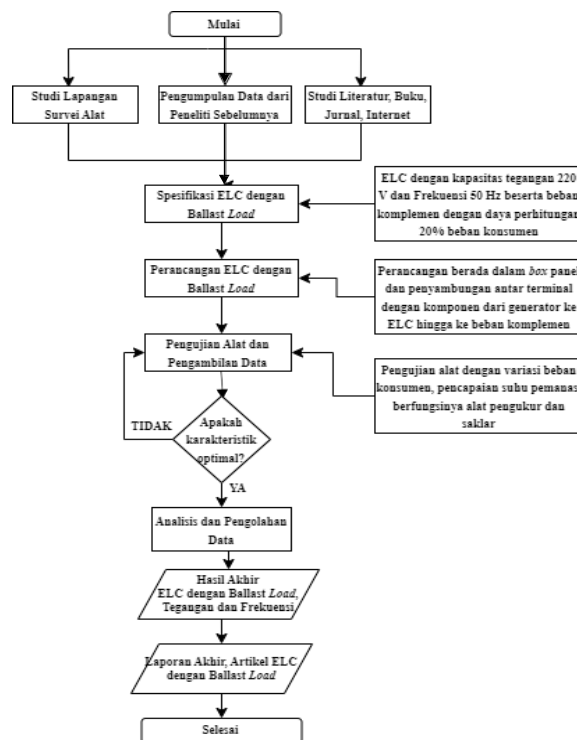
Metode ini bertujuan untuk mendapatkan pengarahan dari dosen pembimbing mengenai penyusunan sistematika laporan Sidang serta koreksi dan masukan selama proses pembuatan dan penyusunan Sidang.

II. METODOLOGI PENELITIAN

48. Metodologi Penelitian

Proses Pembuatan ELC dengan beban komplemen membutuhkan langkah-langkah yang harus dilakukan supaya dalam proses pengerjaan dapat terselesaikan. Langkah-langkah yang harus diselesaikan akan diuraikan sebagai berikut :

2.1 Tahapan Perancangan



Gambar 1 Diagram alir tahapan perancangan
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

2.2 Uraian Kegiatan Perancangan

Langkah-langkah penelitian diuraikan untuk mendapatkan pemahaman yang komprehensif, yaitu sebagai berikut :

2.2.1 Rancangan Anggaran Belanja

Tabel 3.1 Anggaran Pembuatan

No.	Jenis	Pengeluaran	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Total (Rp)
1.	Belanja Bahan					
	Tyristor/SCR		1	Buah	175.000	175.000
	Current Transformer		2	Buah	42.500	85.000
	Kontaktor 3 Phase		1	Buah	265.000	265.000
	MCB		3	Buah	21.500	64.500
	Ballast Load Heater		1	Buah	900.000	900.000
	Terminal Connection		1	Set	150.000	150.000
	Ampere Meter		2	Buah	175.000	350.000
	Pillot Lamps		2	Buah	8.500	17.000
	Hour Meter		1	Buah	72.500	72.500
	Voltmeter		1	Buah	61.000	61.000
	Frekuensi meter		1	Buah	115.000	115.000
	Push Button		2	Buah	25.000	25.000
	Trafo Step Down		1	Buah	16.500	16.500
	Box Panel		1	Buah	185.000	185.000
	Kabel Kawat Tembaga		10	Meter	15.000	15.000
	Kabel Duct		1	Set	27.000	27.000
	Din Rail		1	Meter	22.000	22.000
	SUB TOTAL					2.545.500
2.	Belanja Sewa					
	Sewa Pick Up					400.000
	Sewa Bengkel					500.000
	Sewa Alat Bending					160.000
	Sewa Alat Las & Grinda					337.000
	SUB TOTAL					1.397.000
3.	Perjalanan Lokal					

Kegiatan	664.500
Penyiapan Bahan	
Kegiatan	137.300
Pendampingan	
Kegiatan	478.000
Perancangan	
Kegiatan	230.000
Perangkaian	
Kegiatan Uji Coba	191.000
Kegiatan Evaluasi	167.000
SUB TOTAL	1.867.800
4. Lain-lain	
Uji Coba	250.000
Bahan Gambar	100.000
Tinta, Kertas dan	
Lain – Lain	150.000
Protokol Kesehatan	
C19	89.000
Pemotongan Bagian	
Bahan Besi	66.000
Alat Kebersihan	
Lahan	81.500
SUB TOTAL	736.000
GRAND TOTAL	6.546.800
GRAND TOTAL (Terbilang enam juta lima ratus empat puluh enam ribu delapan ratus rupiah)	

a. Persiapan

Langkah ini diawali dengan melakukan pencarian dan mendapatkan tambahan informasi mengenai ELC menggunakan beban komplemen ballast *load* melalui sumber literasi, buku-buku, internet, jurnal yang telah ada sebelumnya dan diskusi dengan dosen pembimbing. Tahap awal akan yang dilakukan untuk memulai pembuatan Tugas Akhir ini adalah menentukan judul terlebih dahulu yaitu tentang *Stabilizer* Tegangan pada PLTMH, selain itu juga melakukan survei terhadap harga, peralatan sekaligus bahan yang akan digunakan untuk perancangan.

b. Perancangan

Desain tahap awal perancangan dimulai dengan kebutuhan serta kelengkapan alat uji untuk mendukung proses awal pengujian karakteristik ELC yang sesuai dengan tujuan. Dalam proses ini harus benar-benar memahami alat yang akan dibuat dari mulai bahan, desain, diagram pengawatan serta kelengkapan alat uji dan alat bantu uji lainnya.

Pemilihan komponen yang digunakan untuk rancang bangun *stabilizer* tegangan :

1. *Box Panel*

Rancang bangun ini menggunakan panel dengan ukuran 50 x 35 x 20 cm, dengan pertimbangan bahwa panel dengan ukuran tersebut sudah cukup untuk tempat pengendalian dan perlindungan komponen penyusun ELC dari masalah alami maupun *human eror*.

2. *Ballast Load*

Rancang bangun ini menggunakan ballast dengan bahan pipa tembaga sebagai pemanas (*tubular heater*) dengan pertimbangan bahan resistif murni hingga kapasitas daya 3 kW \pm 20 % untuk mengalirkan daya yang tidak terpakai oleh beban.

3. *Mainboard*

Rancang bangun ini menggunakan *mainboard* dengan kapasitas daya 3 kW 1 phase dengan tegangan 220 V dan frekuensi 50 Hz. *Mainboard* menggunakan IC LM3914 dengan susunan bertingkat (*cascade*) untuk mengontrol pembagian beban.

4. *Trafo Stepdown*

Rancang bangun ini menggunakan trafo *stepdown* 12 Volt yang digunakan sebagai catu daya *mainboard*.

5. *Thyristor*

Rancang bangun ini menggunakan thyristor sebanyak 2 buah (TRIAC) yang disusun anti-paralel dengan fungsi sebagai proses penyulutan sudut α dari 0° hingga 180°.

6. *Trafo Arus*

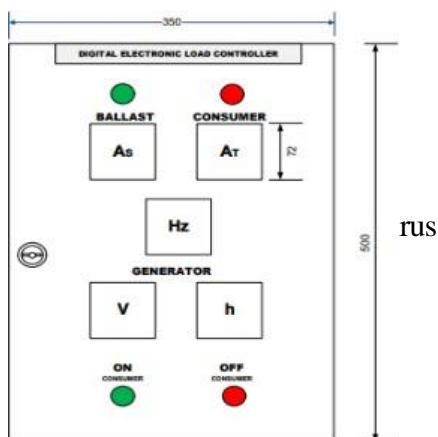
Rancang bangun ini menggunakan trafo arus 30/5 A berfungsi untuk melakukan pengukuran nilai arus pada alat ukur ampere meter digital.

7. Kontaktor

Rancang bangun ini menggunakan kontaktor 3 fasa 18-32 A yang salah satu terminalnya dihubungkan.

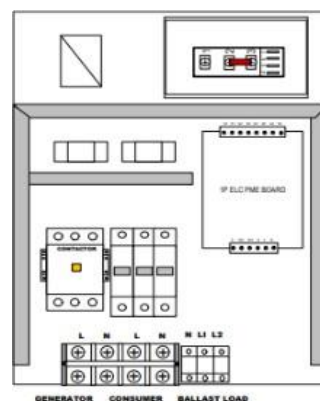
8. *Miniature Circuit Breaker* (MCB)

Rancang bangun ini menggunakan MCB 1 fasa dengan jenis yang digunakan *Single Pole Single Throw* (SPST) 20-32 A. Terdapat 3 buah MCB yang digunakan yaitu MCB proteksi, MCB Auto-Manual, MCB beban.



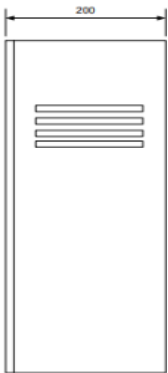
Gambar 2. Panel Tampak Depan

(Sumber: PT Protel Multi Energi, 2023)

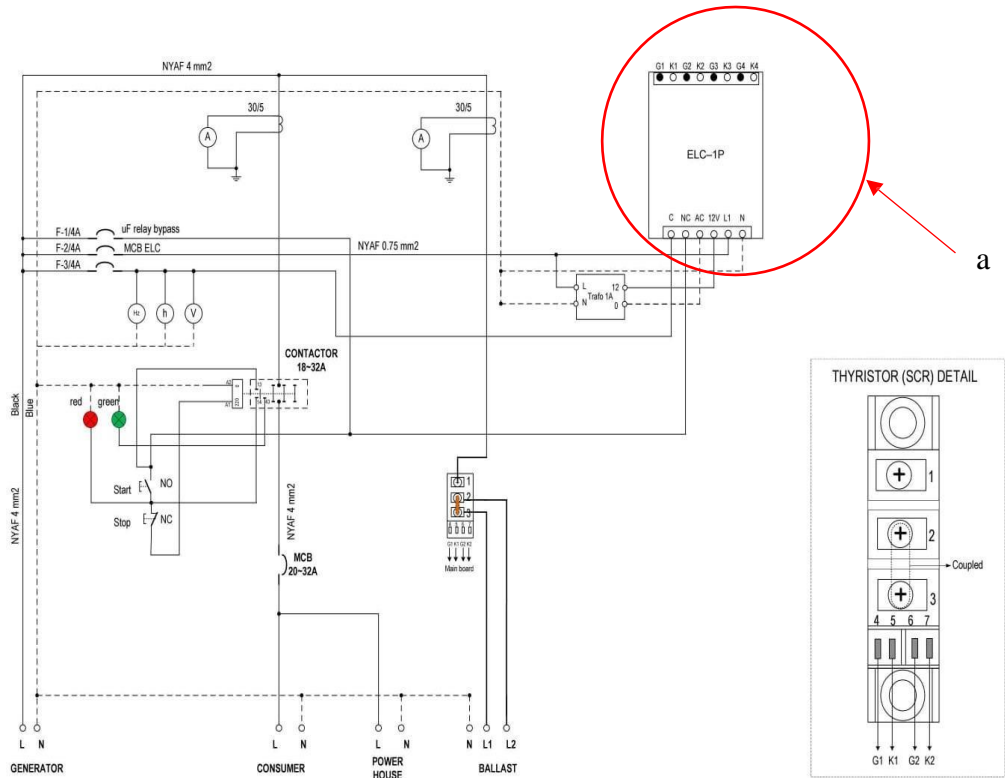


Gambar 3. Panel Bagian Dalam

(Sumber: PT Protel Multi Energi, 2023)

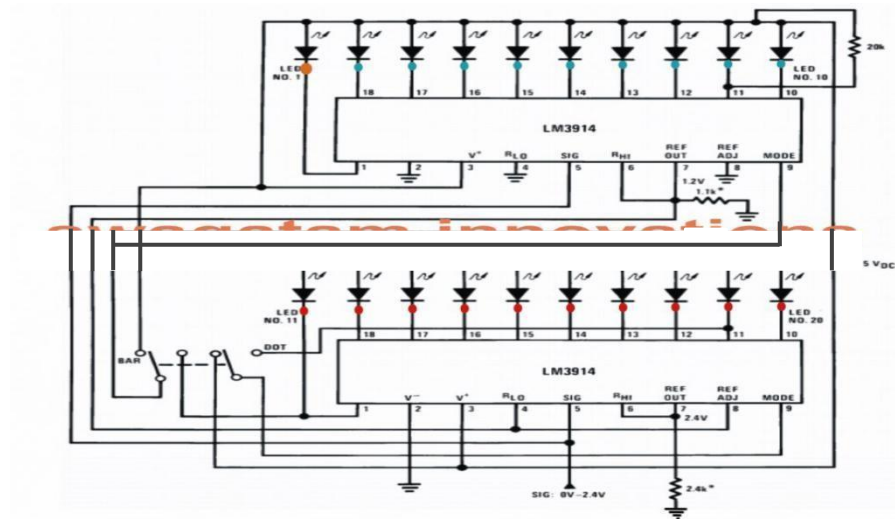


Gambar 4. Panel Tampak Samping
(Sumber: PT Protel Multi Energi)



Gambar 5. Diagram Pengawatan ELC

(Sumber: PT Protel Multi Energi, 2023)

Gambar 6. (a) *Circuit Diagram ELC*

(Sumber : <https://www.homemade-circuits.com/simple-electronic-load-controller-elc/>)

Tabel 3.2 Spesifikasi Generator

Nama		Keterangan
1.	Jenis Generator	: Dong Feng AC Synchronus Generator
2.	Daya Nominal	: 3 kW
3.	Tegangan Nominal	: 220 V
4.	Arus Nominal	: 13 A
5.	Frekuensi Nominal	: 50 Hz
6.	Putaran Nominal	: 1500 rpm
7.	Tegangan Eksitasi	: 42 V
8.	Arus Eksitasi	: 2 A

a. Pembuatan Alat

Tahapan sebelum pembuatan alat, dilakukan pemilihan konstruksi serta bahan agar rancangan yang diinginkan sesuai dengan spesifikasi dan data yang telah

diperoleh pada saat mempelajari buku teori dan buku pustaka sebelumnya serta mendapatkan hasil penelitian yang baik dan maksimal. Adapun alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Tang Ampere Digital
Tang ampere digital ini digunakan untuk mengukur arus listrik pada sebuah kabel yang dialiri arus listrik.
2. Multimeter Digital
Multimeter digital ini digunakan untuk mengukur tegangan listrik tegangan AC ataupun DC, arus listrik dan tahanan listrik (resistansi). Multimeter digital juga berfungsi memeriksa hubung singkat (koneksi), memeriksa kelayakan transistor, dioda, led.
3. Tang *Crimping* atau Tang *Press*
Alat yang berfungsi untuk mengencangkan kabel lug terhadap tembaga kabel, dengan menggunakan alat tersebut akan dipastikan kelayakan sambungan antara kabel terjamin aman dan bekerja lebih baik.
4. Obeng
Digunakan untuk memasang dan melepas skrup antar komponen, dalam hal ini untuk memasang skrup pada terminal tegangan. Bila ditinjau dari penampangnya, dibedakan menjadi dua, yaitu penampang pipih (-/min) dan penampang plus (+/kembang/bintang).
5. Pisau *Cutter*
Alat yang berfungsi untuk memotong sudut kabel atau apapun. Alat tersebut terdiri dari 2 bagian utama, yaitu mata pisau dan gagang pisau. Mata pisau terbuat dari logam pipih yang tepinya dibuat tajam, sedangkan pegangan pisau berbentuk memanjang agar dapat digenggam.
6. Penggaris atau mistar
Alat yang berfungsi untuk mengukur dan membuat garis pada panel.
7. Tespen
Alat yang berfungsi untuk mengetahui ada tidak suatu tegangan listrik pada konduktor.
8. Tang Potong
Alat yang berfungsi untuk memotong kabel atau kawat dan berfungsi juga sebagai membuka isolasi pada kabel.
9. Spidol Permanen
Alat yang berfungsi untuk memberi titik atau acuan ketika pengerjaan.
10. Bor Listrik

Alat yang berfungsi untuk melubangi padaudukan panel dan ballast *load*.

Bahan-bahan penstabil tegangan terdiri dari beberapa komponen yang membantu agar sistem kontrol tersebut bekerja secara maksimal, antara lain :

1. Thyristor Atau *Silicon Controlled Rectifier* (SCR)

Thyristor atau SCR adalah suatu perangkat elektronik yang berfungsi mengendalikan daya (AC) hingga 10 MW dengan ketentuan arus sebesar 2000 A pada tegangan 1800 V. Ketentuan frekuensi kerja SCR dapat mencapai 50 kHz. SCR terbuat dari bahan semikonduktor jenis silikon dengan pertimbangan kemampuannya terhadap temperatur dan daya tinggi.

Type : SKKT 92B12 E_i

V_{RSM} : 1300 V

V_{RRM} : 1200 V

I_{TRMS} : 150 A

I_{TAV} : 90 A

2. Trafo Arus

Trafo arus merupakan komponen yang berfungsi untuk melakukan pengukuran nilai arus pada instalasi listrik di sisi primer yang memiliki skala besar dengan menurunkan arus secara akurat serta teliti untuk keperluan pengukuran dan proteksi.

Type : MSQ30

Rated Current : 30A

Frequency : 50 / 60 Hz



Gambar 7. Trafo Arus

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

3. Kontaktor

Adalah komponen elektrik yang bekerja dengan induksi elektromagnetik pada kumparan tembaga yang dialiri tenaga listrik sehingga mengakibatkan terbentuknya medan magnet yang menyebabkan kontak bantu *Normally Open* (NO) akan menutup dan kontak bantu *Normally Close* (NC) akan membuka. Namun karena memiliki 3 fasa, biasanya alat tersebut memiliki setidaknya 3 saklar utama yang terdapat pada rangkaiannya.

Type : LC1D25

Pole : 3P

Voltage : 220 VAC

Current : 18 - 32 A

Kontak Bantu NO : 1

Kontak Bantu NC : 1



Gambar 8. Kontaktor

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

4. *Miniature Circuit Breaker* (MCB)

MCB merupakan sebuah perangkat elektromekanikal yang berfungsi untuk melindungi rangkaian listrik dari arus yang berlebihan. MCB dapat

memutuskan arus dengan otomatis ketika arus yang melewati MCB tersebut melebihi nominal yang ditentukan. Namun ketika arus dalam kondisi normal, MCB dapat berfungsi juga sebagai saklar yang dapat menghubungkan ataupun memutuskan arus listrik secara manual.

Type : HDB6s

Pole : 1P

Rated Current : 20 - 32 A Rated Voltage : 230/400 VAC



Gambar 9. *Miniature Circuit Breaker* (MCB)

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

5. Ballast Load

Ballast Load merupakan beban komplemen berupa pemanas udara sehingga ketika daya konsumen dijumlahkan dengan daya yang dialirkan ke beban komplemen sama dengan daya yang dibangkitkan oleh generator.

Phase : 1P

Voltage : 220 VAC

Power : 3kW

Terminal connection



Gambar 10. Ballast Load Heater

(Sumber :Dokumen Pribadi, 2023)

Terminal *connection* adalah komponen yang diperlukan untuk menyambung suatu blok atau bagian rangkaian listrik ke rangkaian lainnya.

6. Amperemeter

Amperemeter yaitu sebuah alat ukur kelistrikan yang digunakan untuk mengukur dan mengetahui nilai arus listrik.

Type	: MA202
Phase	: 1P
Range Current	: 50mA - 5A AC
Voltage Supply	: 240 VAC $\pm 20\%$, 110 VAC $\pm 20\%$
Range Frequency	: 50 / 60 Hz



Gambar 11. Amperemeter

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

7. *Pilot Lamp*

Pilot Lamp yaitu sebuah lampu indikator yang dipasangkan untuk melakukan pemantauan arus listrik yang mengalir di rangkaian.



Gambar 12. *Pilot Lamp*

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

8. Voltmeter

Voltmeter adalah sebuah alat untuk menunjukkan tegangan L-N generator.

Type : FT-72

Range Voltage : 0 – 300 VAC

Class : 1.5



Gambar 13. Voltmeter Generator

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

9. *Hourmeter*

Hourmeter adalah sebuah alat untuk menunjukkan jam operasional PLTMH.

Type : BZ142

Voltage : 220 VAC

Timeir Rangei : 0 - 99999 h

Frequency : 50 Hz



Gambar 14. *Hourmeter*

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

10. Frekuensi meter

Frekuensi meter adalah sebuah alat untuk menunjukan frekuensi generator.

Type : FT-72

Range Frequency : 45 - 55 Hz / 220 V

Class : 1.5



Gambar 15. Frekuensi meter

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

11. *Push Button*

Push Button atau tombol jenis saklar atau *switch* yang berfungsi sebagai input pada sebuah sistem elektronik. Ketika tombol ditekan, kontak saklar di dalamnya akan terhubung sehingga arus listrik dapat mengalir.



Gambar 16. *Push button*

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

12. *Box Panel*

Box panel adalah sebuah kotak atau *box* yang berisi berbagai jenis komponen elektronik dan listrik seperti saklar, pengaman, relay, kontaktor, *timer*, dan peralatan pengukuran. *Box panel* biasanya digunakan sebagai pusat pengendalian atau pengaturan pada sebuah sistem elektrik atau sistem otomasi.



Gambar 17. *Box panel*

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

13. Kabel adalah seutas atau sekelompok konduktor listrik yang digunakan untuk

menghantarkan listrik dari satu titik ke titik lainnya. Kabel terdiri dari konduktor yang dilapisi oleh isolator atau bahan isolasi yang berfungsi untuk melindungi konduktor dari kontak langsung dengan benda lain dan mencegah terjadinya korsleting.

14. Spesifikasi Utama ELC 1 Fasa

ELC Type : *Digital system with microcontroller*

Control method : *Phase angle control with PI algorithm, two steps*

Power : 1 - 20 kW

Voltage : 220 – 230 V

Phase/Freq : 1Phase/50 – 60 Hz

Freq. Accuracy : $< \pm 0.2$ Hz, @ 10 ms sensing

Protection : MCB, contactor, U/O freq, relay, lightning arrester (opsional)

Metering : 1P Amp. Meter ballast, 1P Amp. Meter konsumen, Volt, Hz, Hour

Ballast Load : *Tubular air heater* (pemanas udara), standar *industry*

b. Pengujian Alat sebelum Diaplikasikan

1. Meletakkan panel ELC pada tempat yang sedemikian rupa sehingga memudahkan dalam pengoperasian dan monitoring panel meter. Panel ELC harus dipasang pada tempat yang terhindar dari hujan, Cahaya matahari maupun orang yang tidak berkepentingan.
2. Pemasangan ballast *load* / *dummy load*, ballast *load* diletakan pada tempat tertutup yaitu terhindar dari hujan dan matahari.
3. Menyambungkan generator, output dari generator berupa kabel diberi nama dan menggunakan warna tertentu untuk identifikasi, yaitu sebagai berikut :
 - Phase L1 = Merah
 - Netral = Biru
 - Grounding = Kuning dengan strip hijau
4. Menyambungkan semua kabel dari generator, ballast *load* dan konsumen pada panel ELC. Perhatikan baik – baik urutan fasa dan sesuaikan warna kabel.
5. Menyalakan semua MCB pada posisi ON. Buka katup turbin perlahan sampai kondisi berikut tercapai :
 - Tegangan 230 V dan Frekuensi 50 Hz
 - Ampere meter *ballast load* 0 -10 A
6. Periksa kondisi sebagai berikut :
 - Getaran turbin dan generator
 - Temperatur bearing turbin dan generator
 - Suara – suara yang tidak normal
 - Konsidi *pulley* dan *belt*
 - Kebocoran pada pipa atau turbin
 - Bau yang tidak normal
7. Segera hentikan jika ada sesuatu yang tidak normal dan perbaiki.
8. Tambah bukaan katup turbin sampai ampere *ballast load* naik secara bertahap 30%, 60% dan 100% dari kapasitas pembangkit. Jika ampere *ballast load* sudah naik sampai 100% dari kapasitas pembangkit maka heater akan menjadi merah

dan panas, itu merupakan normal. Catat semua parameter listrik yang terukur.

9. Tekan tombol hijau (ON Konsumen) dan periksa frekuensi (Hz), tegangan (V) dan ampere ballast *load* (A).
 - Jika frekuensi kurang dari 50 Hz tambah bukaan turbin sampai kondisi normal tercapai
 - Jika frekuensi lebih dari 50 Hz kurangi bukaan turbin.
10. Kondisi normal adalah frekuensi 50 Hz dan ampere ballast *load* sekitar 10 – 15 % untuk cadangan daya.

e. Pengujian Alat dan Pengambilan Data

1. Rangkaian ELC setelah berada di dalam kotak panel listrik dengan alat ukur arus, tegangan dan frekuensi, selanjutnya ELC dapat dihubungkan ke generator sebagai sumber daya listrik. Kemudian, ELC juga dihubungkan dengan beban dan beban komplemen. Perlu diingat bahwa besarnya daya beban komplemen diatur kurang dan lebihnya 20% lebih besar dari daya yang dibangkitkan oleh generator.



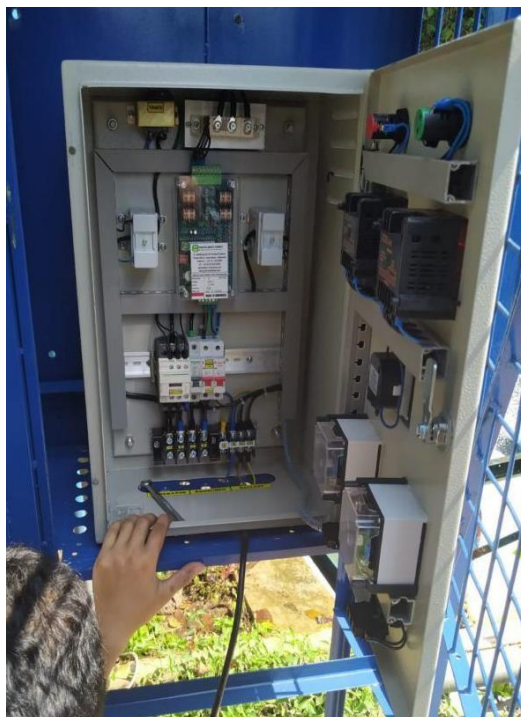
Gambar 18. Pemasangan Kabel dari Output Generator Menuju Input ELC

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



Gambar 19. Bagian Dalam Panel ELC

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



Gambar 20. Komponen dibalik Pintu Panel

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



Gambar 21. Panel Tampak Depan

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

1. MCB yang dihubungkan antara generator dengan beban dimatikan (otomatis), sehingga daya generator akan mengalir sepenuhnya ke beban komplemen.
2. Transmisi dari *V belt & sprocket* yang menghubungkan putaran kincir air dijalankan untuk memutar generator hingga menghasilkan tegangan AC 220 V dengan frekuensi yang dibangkitkan 50 Hz dan pastikan arus sudah teralirkan ke beban komplemen, yang dapat diketahui dari amperemeter yang terpasang pada kotak panel.
3. Apabila tegangan generator mencapai sekitar 220 V dan frekuensi mencapai sekitar 50 Hz, maka beban layak untuk menerima arus generator dengan menghidupkan saklar (otomatis) yang menghubungkan generator dengan beban.
4. Saat beban sudah terhubung, dipastikan arus pada beban komplemen berkurang dan frekuensi generator harus tetap stabil pada angka sekitar 50 Hz dengan tegangan 220 V
5. Kemudian diuji unjuk kerja rangkaian ELC dengan mengubah-ubah besarnya beban, dalam kondisi seperti ini frekuensi dan tegangan generator akan tetap stabil.



Gambar 22. Pengujian Pembebanan

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

2.3 Pertimbangan Desain

a. *Automatic Voltage Regulator (AVR)*

Auto Voltage Regulator adalah alat untuk menjaga tegangan pada tegangan nominal dengan mengendalikan tegangan output generator. Penggunaan AVR untuk mengkondisikan tegangan AVR yang stabil pada tegangan nominalnya dengan tujuan menjaga tegangan pada beban atau *electrical device* yang digunakan, namun AVR akan bekerja terlalu berat bilamana putaran pada turbin tidak memenuhi putaran nominal pada generator, maka AVR akan memberi sinyal pada sensor eksitasi untuk memperbesar medan magnet agar putaran tetap stabil.

b. *Slide Regulator AC*

AC Regulator adalah rangkaian elektronika daya yang berfungsi untuk mengubah sumber listrik AC menjadi listrik AC dengan tegangan dan frekuensi yang dapat divariasii dengan slide yang terpasang pada regulator memungkinkan untuk mengubah tegangan dan frekuensi yang diinginkan. Diperlukan operator dan juga terpasang CB yang mana apabila arus melebihi kapasitas yang ditentukan akan trip, maka dari itu kurang efisien bila diaplikasikan pada PLTMH dengan frekuensi dan tegangan yang berubah ubah.

2.4 *Electronic Load Controller (ELC)*

ELC merupakan suatu sistem kontrol yang dapat menjaga kestabilan frekuensi di PLTMH. Prinsip kerja ELC adalah mengatur besar daya yang diserap sehingga setara dengan daya yang dihasilkan oleh generator. ELC membagi arus PLTMH ke beban konsumen dan ballast load, sehingga PLTMH akan tetap bekerja pada keadaan nominal meskipun beban berubah-ubah. [11] Metode yang dapat digunakan untuk mengontrol seberapa besar daya yang disalurkan menuju ballast

load adalah menggunakan beban kontinu dengan mengatur penyalan sudut fasa pada penyulutan thyristor.

ELC memiliki cara kerja sistem diturunkan dengan trafo *step down*, kemudian diteruskan ke rangkaian *Zero Crossing Detector* untuk diubah menjadi gelombang pulsa dan diubah menjadi tegangan DC yang sesuai dengan frekuensi sistem. Tegangan DC yang merupakan pengulangan dari frekuensi sistem, digunakan sebagai masukan mikroprosesor, sehingga jika terjadi perubahan frekuensi sistem maka mikroprosesor akan menyulut thyristor dan ballast *load* sesuai dengan hasil ukur frekuensi error. Penyulutan thyristor dilakukan dengan mengatur sudut fasa (*phase angle control*) sampai frekuensi nominal tercapai.

2.5 Ballast Load Heater

Ballast *load* atau *dummy load* adalah beban resistif tempat membuang daya berlebih pada saat pemakaian di konsumen berkurang. Ballast *load* terbuat dari bahan resistif murni yang dibuat dari lilitan kabel yang dilapisi keramik dengan casing *metal stainless*. Jenis ballast *load* yang digunakan adalah pemanas udara tipe *tubular air heater* atau *tubular water heater*.

Pemanas udara disusun dengan pengaman casing dan ditempatkan pada ruangan *indoor*/tertutup dengan sirkulasi udara bagus, sedangkan pemanas air ditempatkan di tangki dengan sirkulasi air yang mengalir. Mengingat gelombang yang dihasilkan pada ballast tidak sinusoidal dan tegangan bervariasi maka tidak disarankan untuk menggunakan peralatan elektronik biasa sebagai pengganti ballast *load* seperti motor, kipas, kulkas, dll. Kapasitas ballast biasanya $\pm 20\%$ diatas kapasitas daya desain turbin, misalkan turbin 10 kW maka, harus menggunakan ballast *load* ± 12 kW.

Hal ini untuk keamanan sistem dan menjaga jika daya yang dibangkitkan melebihi desain. Ballast *load* yang terlalu kecil akan mengakibatkan putaran generator tinggi (*overspeed*) dan frekuensi juga akan naik lebih dari 50 Hz. Hal ini berarti daya yang dibuang melebihi kapasitas daya ballast *load*, sedangkan ballast *load* yang terlalu besar dapat menyebabkan putaran generator yang kurang stabil.



Gambar 23. Ballast Load Heater dan ELC Box

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

2.6 Prinsip Kerja ELC

Prinsip kerja dari ELC yakni mengontrol beban yang bertujuan menyeimbangkan antara daya yang dibangkitkan oleh generator dengan daya yang digunakan oleh konsumen. [5] Dalam sistem ELC tiga fasa terdapat 6 buah thyristor dimana dinyatakan bahwa sudut penyalutannya dikeendalikan oleh rangkaian *trigger* dengan sudut α dari 0° sampai 180° dan beban konsumen berubah dari nol menjadi beban penuh. Daya yang mengalir ke beban dikendalikan dengan menunda sudut penyalutan (*firing angle*) dari thyristor.

Beban konsumen ketika mengalami penurunan, thyristor akan diaktifkan dengan sudut penyalutan yang diatur oleh AC *controller* dengan sudut α dari 0° sampai 180° . Proses ini mengakibatkan tegangan masuk dan daya dialirkan ke ballast *load* yang merupakan tahanan (*tubular air heater*) sehingga daya konsumen dijumlahkan dengan daya yang dialirkan ke ballast *load* sama dengan daya yang dibangkitkan oleh generator.

2.7 Karakteristik ELC

Governor atau biasa disebut dengan *guide vane* pada PLTMH merupakan peralatan mekanik yang berfungsi mengatur aliran air yang masuk ke dalam turbin agar tenaga air yang masuk turbin sesuai dengan daya listrik yang dikeluarkan oleh pembangkit sehingga putaran akan menjadi konstan. [10] Penggunaan *governor* tersebut kurang menguntungkan bila ditinjau secara ekonomis, karena harganya yang lebih mahal dibandingkan dengan peralatan elektronik seperti ELC. Produsen di dalam negeri masih belum sanggup bersaing dengan produksi luar negeri, baik dari segi kualitas maupun harganya, maka dari itu diperlukan desain kontrol beban elektronika atau sering disebut dengan ELC sebagai pengganti dari *governor*, maka dari itu ELC banyak digunakan pada PLTMH. Keunggulan dari penggunaan ELC yaitu :

1. Harga yang ekonomis
2. Ukuran yang tidak terlalu memakan tempat
3. Sebagai beban komplemen
4. Sebagai penstabil tegangan generator
5. Perawatan yang lebih mudah
- 6.

2.8 Pengaruh ELC terhadap Sistem

Voltage regulasi sebelum dan sesudah menggunakan ELC dapat dihitung dengan membandingkan output atau hasil yang diperoleh sebelum dan setelah penggunaan alat tersebut. Secara umum, rumus dapat dihitung menggunakan persamaan 2.1.

Voltage regulasi ELC (% V_r).

$$\% V_r = \frac{V_1 - V_2}{V_2} \times 100\%$$

Keterangan :

$\% V_r$ = Voltage Regulasi (%)

V_1 = Tegangan beban tanpa ELC (V)

V_2 = Tegangan beban dengan ELC (V)

GGL induksi (e_a) pada generator akan terinduksi pada kumparan jangkar generator (misalnya kumparan jangkar ditempatkan di stator) ketika rotor diputar di sekitar stator (misalnya kumparan medan di rotor). Besarnya kuat medan pada rotor dapat diatur dengan cara mengatur arus penguatan (I_f) yang diberikan pada rotor. Besarnya GGL induksi (e_a) yang dihasilkan kumparan jangkar generator ini dapat dijadikan dalam bentuk rumus sebagai berikut :

$$e_a = c \cdot n \cdot \phi \text{ (Volt)}$$

Keterangan :

c = konstanta mesin

$$= \frac{P \cdot z \cdot 10^{-12}}{a \cdot 60}$$

p = Jumlah kutub
(Buah) z = Jumlah
kawat (Buah)

a = Jumlah cabang edaran parallel (Buah)

n = putaran generator (rpm)

ϕ = Fluks/kutub (Webber)

Kecepatan putar generator sinkron akan mempengaruhi frekuensi listrik yang dihasilkan oleh generator. Rotor generator sinkron terdiri dari rangkaian elektromagnet dengan disuplai arus DC untuk membentuk medan magnet pada rotor. Medan magnet rotor ini bergerak pada searah putaran rotor. Hubungan antara kecepatan putar medan magnet pada rotor dengan frekuensi listrik pada stator adalah :

$$f = \frac{n \cdot p}{120} \text{ Hz}$$

Keterangan :

n = putaran generator (rpm)

p = jumlah kutub magnet pada rotor (buah)

2.9 Unjuk Kerja

2.9.1 Unjuk Kerja Rangkaian Sensor Frekuensi ELC

Gelombang keluaran generator yang diatur sebelum diubah menjadi gelombang segitiga, maka gelombang sinusoida keluaran dari generator terlebih dahulu diubah menjadi gelombang kotak (*block wave*) dan setelah itu diubah lagi menjadi gelombang pulsa sesaat (*pulse train*) ketika terjadi peralihan dari *high* ke *low*, begitu juga sebaliknya

2.10 Aliran Sebagai Saluran Terbuka

Aliran melalui saluran terbuka adalah saluran dimana air mengalir dengan muka bebas serta tekanan di permukaan air adalah sama (tekanan atmosfer). Kondisi aliran dalam saluran terbuka yang rumit berdasarkan kenyataan bahwa kedudukan permukaan yang bebas cenderung berubah sesuai waktu dan ruang, dan juga bahwa

kedalaman aliran, debit dan permukaan bebas adalah tergantung sama lain. Kondisi fisik saluran terbuka jauh lebih bervariasi dibandingkan dengan pipa. Kombinasi antara perubahan setiap parameter saluran akan mempengaruhi kecepatan yang dimana kecepatan tersebut akan menentukan keadaan dan sifat aliran. Aliran saluran terbuka dapat diklasifikasikan menjadi berbagai jenis dan diuraikan dengan berbagai cara. Berikut adalah beberapa jenis aliran pada saluran terbuka:

2.11 Aliran Sebagai Saluran Terbuka

Aliran melalui saluran terbuka adalah saluran dimana air mengalir dengan muka bebas serta tekanan di permukaan air adalah sama (tekanan atmosfer). Kondisi aliran dalam saluran terbuka yang rumit berdasarkan kenyataan bahwa kedudukan permukaan yang bebas cenderung berubah sesuai waktu dan ruang, dan juga bahwa

kedalaman aliran, debit dan permukaan bebas adalah tergantung sama lain. Kondisi fisik saluran terbuka jauh lebih bervariasi dibandingkan dengan pipa. Kombinasi antara perubahan setiap parameter saluran akan mempengaruhi kecepatan yang dimana kecepatan tersebut akan menentukan keadaan dan sifat aliran. Aliran saluran terbuka dapat diklasifikasikan menjadi berbagai jenis dan diuraikan dengan berbagai cara. Berikut adalah beberapa jenis aliran pada saluran terbuka:

2.11.1 Aliran laminar

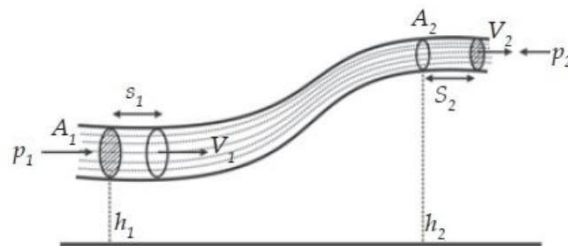
Aliran laminar ditandai dengan lintasan partikel fluida sepanjang lintasan yang halus dan membentuk lapisan-lapisan tertentu. Lintasan partikel yang berurutan mengikuti lintasan yang benar.

2.11.2 Aliran turbulen

Aliran Turbulen ditandai dengan campuran antara lapisan-lapisan fluida yang berbeda terjadi pada harga bilangan Reynolds yang lebih tinggi, pada jenis aliran ini dimana hampir tidak terdapat garis edar tertentu yang dapat dilihat.

Perbedaan antara aliran laminar dan turbulen berdasarkan kuantitatif dapat diketahui dengan menempatkan alat ukur kecepatan yang sensitif pada medan aliran. Apabila dilakukan pengukuran terhadap komponen kecepatan (misal dalam arah x), maka untuk aliran *steady* laminar dan turbulen akan diperoleh variasi kecepatan terhadap waktu. Untuk aliran laminar *steady*, kecepatan di satu titik tertentu tetap konstan terhadap perubahan waktu, sedangkan untuk aliran turbulen, grafik kecepatan menunjukkan bahwa kecepatan sesaat untuk, berfluktuasi secara acak.

Persamaan Bernoulli adalah ekspresi umum yang menghubungkan perbedaan tekanan antara dua titik yang berada di dalam tabung aliran untuk perubahan kecepatan dan perubahan ketinggian.



Mengingat bentuk palung dan alur sungai yang berubah-ubah, maka dalam pemilihan lokasi pengukuran debit harus dipertimbangkan pengaruh pola aliran dalam palung sungai. Besarnya debit dihitung menurut rumus *Velocity Area Method* yaitu sebagai berikut :

Berdasarkan Jurnal of *Civil and Environmental Engineering* didapatkan rumus sebagai berikut :

$$Q = A \times v$$

Keterangan :

$$Q = \text{Debit} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$A = \text{Luas penampang basah (m}^2\text{)}$$

$$v = \text{Kecepatan aliran fluida} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Berdasarkan Makalah Aliran Fluida Pada Saluran Terbuka didapatkan rumus sebagai berikut :

$$p_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

Keterangan :

p_1 = tekanan fluida pada sisi masukan (Pa)

ρ = massa jenis $\frac{kg}{m^3}$

g = percepatan gravitasi $\frac{m}{s^2}$

h_1 = tinggi tekan pada sisi masukan (m)

v_1 = kecepatan aliran fluida masukan $\frac{m}{s}$

p_2 = tekanan fluida pada sisi keluaran (Pa)

h_2 = tinggi tekan pada sisi masukan (m)

v_2 = kecepatan aliran fluida keluaran $\frac{m}{s}$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Hasil Pengujian

Tabel 3.1 merupakan data hasil sebelum menggunakan ELC. Parameter pengukuran meliputi putaran generator (rpm), tegangan yang mengalir ke beban (Volt), tegangan dari generator (Volt), arus yang mengalir ke konsumen (Ampere), arus yang mengalir ke Ballast (Ampere), dan besar pembebanan.

Tabel 4.1 Data Hasil Sebelum Menggunakan ELC

Beban (Watt)	Putaran Generator (rpm)	Tegangan Beban (Volt)	Arus Beban (Ampere)
0	1845	300	0
60	1750	276	0.322
120	1500	246	0.581
180	1290	180	0.685
240	1115	135	0.840
300	1075	120	0.950

360	985	105	1.153
420	940	96	1.250
480	915	87	1.348
540	845	81	1.448
600	815	75	1.545
660	790	75	1.630
720	780	75	1.840
760	760	75	2.100

Data-data sebelum menggunakan ELC tersebut menunjukkan putaran melebihi 1500 rpm dan tegangan beban melebihi 220 Volt sehingga dapat mengakibatkan kerusakan pada generator dan peralatan konsumen.

Data-data tersebut menunjukkan hasil pengujian karakteristik kincir air pada debit air 1.815 m³/s dan kecepatan aliran konstan 5.069 m/s dengan melakukan variasi beban dengan sebenar-benarnya.

1. DAFTAR NOTASI (satuan harus menggunakan system Satuan Internasional (SI))

P	=	Daya x 1000	[kW]
		Daya x 1000 kW	[MW]
		Daya	[W]
f	=	Frekuensi	[Hz]
α	=	Sudut	[°]
V	=	Tegangan	[Volt]
A	=	Luas penampang	[m ²]
n	=	Kecepatan putaran	[rpm]
Q	=	Debit	$\frac{m^3}{s}$
v	=	Kecepatan	$\frac{m}{s}$

η	=	Efisiensi	[%]
e	=	Medan magnet	[Volt]
C	=	Konstanta	
p	=	Jumlah kutub	[Buah]
z	=	Jumlah kawat	[Buah]
a	=	Jumlah cabang edaran paralel	[Buah]
ϕ	=	Fluks	[Webber]

IV. KESIMPULAN

Hasil yang diperoleh dari penelitian yang berjudul “Rancang Bangun Stabilizer Tegangan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Desa Surokonto Kabupaten Kendal” dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil yang diperoleh dari pengujian (Tabel 4.1), pada beban 60 Watt memiliki putaran generator 1750 rpm kemudian pada beban 120 Watt memiliki putaran generator 1500 rpm, maka hubungan antara putaran generator dengan beban, semakin besar beban maka putaran akan semakin kecil.
2. Berdasarkan data yang ada di tabel 4.2 , pada beban 120 Watt memiliki tegangan generator 220 Volt kemudian pada beban 180 Watt memiliki tegangan generator 180 Volt, maka hubungan antara tegangan generator dengan beban, semakin besar beban maka tegangan akan semakin kecil.
3. Kinerja ELC bekerja pada beban 0 Watt sampai 120 Watt karena pada beban tersebut tegangannya melebihi 220 Volt, sehingga ELC akan mengalirkan kelebihan daya menuju ballast load akibat berkurangnya beban.
4. *Voltage* regulasi tertinggi sekitar 25,45 % pada pemasangan beban lampu 60 Watt. Sedangkan *voltage* regulasi terendah sekitar 11,81% pada pemasangan beban lampu 120 Watt. Pada beban 180 Watt sampai 760 Watt menunjukan nilai *voltage* regulasi 0% hal ini disebabkan pada beban 180 Watt sampai 760 Watt ELC tidak bekerja karena tegangan konsumen tidak melebihi 220 Volt.

VI. REFERENSI

- Afandi A.N. 2010. "Pengendalian Beban Mikrohidro". Teknik Elektro Universitas Negeri Malang : 8.
- AlHafizh. 2011. *Aliran Fluida Pada Saluran Terbuka*. Pelatihan Mekanika Fluida. 25 Desember 2011.
- Ardianto, M., Joke, P., dan Prima Dewi, P. 2019. "Electric Load Controller Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro." Prosiding SENTIKUIN (Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur).
- Busaeri, Nundang, Asep Andang, dan Nurul Hiron. 2016. "Stabilisasi Frekuensi dengan Metoda Histerisis." *Jurnal Siliwangi Seri Sains dan Teknologi*. 2.2.
- Effendy, Machmud. 2012. "RANCANG BANGUN ALAT KONTROL BEBAN ELEKTRONIK DIGITAL PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMh) OFF-GRID." *Jurnal Gamma*. 8.1.
- Erdyan Setyo, W., Rifan, M., dan Teguh, U. 2014. "Perancangan Electronic Load Controller (Elc) Sebagai Penstabil Frekuensi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh)." *Jurnal Mahasiswa TEUB*. 2.5.
- Pioh, Janeer E.T., Patras, L.S., a dan Lisi, F. 2016. "Pengendalian Motor Listrik dari Jarak Jauh dengan Menggunakan Software Zelio Soft 2 dan Wifi,". *E-Journal Teknik Elektro dan Komputer*. 5.2.
- Rahayuningtyas, Ari, Teguh Santoso, dan Maulana Furqon. 2012. " Sistem pengaturan beban pada mikrohidro sebagai eincrgii listrik pedesaan." Prosiding SNaPP: Sains, Teknologi 3.1 : 13-20.
- Slamet, S. 2012. "PENGENDALI BEBAN ELEKTRONIK TIGA FASA MENGGUNAKAN MIKRO KONTROLER PADA PEMBANGKIT LISTRIK MIKRO HIDRO (PLTMH)." *Ketenagalistrikan dan Eincrgii Terbaru* 11.1 : 67-80.
- Utomo, T., Lunde, A., dan Riswandha Yusuf At, T. 2021. "Rancang Bangun ELC (Electronic Load Controller) sebagai Pengendali Beban PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro) Kali Jari." *Jurnal EiEiCCiS (Electrics, Electronics, Communications, Controls, Informatics, Systems)* 15.2 : 36-42.
- Warsito, S., Syakur, Abdul., dan Nugroho, Agus Adhi. 2005. Studi awal perencanaan sistem mekanikal dan kelistrikan pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Prosiding Seminar Nasional Teknik Ketenagalistrikan SNTKI, Semarang.
- Yanto, I. P. Ei. April, Giriantari, I. A. D. i, dan Aristina, W. G. 2021 "Perencanaan Sistem Kelistrikan PLTMH Banjar Dinas Mekar Sari." *Jurnal Majalah Ilmiah Teknologi Elektro* 20.1.