

Studi Perencanaan PLTMH Dengan Menggunakan Electronic Load Controller Sebagai Penstabil Frekuensi, (Penelitian Di Sungai Siboli-Boli Dusun Siboli-Boli Desa Huta Bagasan Kabupaten Asahan)

Samuel Parhusip, Hasdari Helmi Rangkuti

Konsentrasi Teknik Energi, Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 Indonesia

amuelparhusip46@gmail.com; helmitom@yahoo.com.id

Abstrak

Kebutuhan energy Listrik untuk daerah-daerah terpencil di Indonesia merupakan hal yang penting. Pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) di Indonesia hingga tahun 2020 baru mencapai 2,5 % atau sekitar 10,5 giga watt dari total potensi yang dimiliki. Pemerintah menargetkan bauran energi nasional 23% bersumber dari energi terbarukan (EBT) di tahun 2025. Dusun Siboli-boli memiliki luas daerah 295 Ha terdiri 22 kepala keluarga dengan jumlah penduduk kurang lebih 110 orang yang mata pencaharian sebagian besar petani. Dusun Siboli-boli salah satu desa terpencil di Kecamatan Bandar Pasir Mandoge yang dikelilingi oleh gunung serta akses jalan ke desa tersebut sangat parah dan hanya dapat diakses menggunakan mobil khusus sehingga jaringan listrik PLN belum masuk ke wilayah Dusun Siboli-boli. Oleh karena itu diperlukan upaya pengembangan desain sistem pembangkit listrik untuk memasok listrik di desa tersebut dengan memanfaatkan aliran sungai siboli-boli. Menggunakan debit air sebesar 0,15 m³/s dengan perbedaan ketinggian (H) 15 m dan daya output PLTMH 12 kW, dengan biaya investasi sebesar Rp. 1.004.087.900 dan biaya operasional Rp. 37.845.840/tahun dengan penerimaan Rp. 145.201.555/tahun dan payback periode yaitu 9,3 tahun, biaya jual produksi listrik kemasyarakat sebesar Rp 1.352/kWh.

Kata Kunci: Energi Baru, Terbarukan, Pembangkit Listrik, Mikrohidro

I. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang memiliki potensi sumber daya energi terbarukan yang melimpah, diantaranya yaitu angin, surya, air, geotermal dan biomassa. Untuk sumber daya air, Indonesia memiliki potensi besar berdasarkan kondisi geografis Indonesia yang mempunyai banyak sungai dan bentuk topografi yang terdiri dari bukit-bukit.[2] Salah satu daerah yang cukup potensial adalah daerah Siboli-Siboli Desa Hutabagasan Kabupaten Asahan. Daerah tersebut merupakan daerah pegunungan yang dialiri banyak sungai-sungai besar maupun sungai kecil.

PLTMH adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (*head*) dan jumlah debit air. Tenaga air berasal dari aliran air yang dibendung dengan ketinggian tertentu dan memiliki debit sehingga dapat memutar turbin yang dihubungkan dengan generator listrik. Daerah Dusun Siboli-Siboli memiliki luas 295 Ha terdiri dari 22 kepala keluarga dengan jumlah penduduk kurang lebih dari 110 orang yang mata pencahariannya ialah petani. Dusun Siboli-Siboli Desa Hutabagasan merupakan daerah terpencil yang dikelilingi oleh gunung serta akses jalan ke desa tersebut sangat sulit dan hanya dapat diakses menggunakan mobil

yang memiliki gerdang 2, sehingga jaringan listrik PLN belum masuk ke wilayah Dusun Siboli-Siboli Desa Hutabagasan. Oleh karena itu diperlukan upaya pengembangan desain sistem pembangkit listrik untuk memasok listrik di desatersebut.

Beban listrik yang digunakan masyarakat yang selalu berubah-ubah baik itu pada pagi hari maupun malam hari akan mempengaruhi frekuensi generator, dimana PLTMH tidak menggunakan Governor sebagai pengatur debit yang bertujuan untuk menstabilkan daya keluaran dari PLTMH dengan beban listrik yang digunakan masyarakat, maka saya merencanakan untuk menggunakan ELECTRONIK LOAD CONTROLLER sebagai penstabil frekuensi generator.

Penelitian yang sebelumnya dilakukan oleh Nashrul Ma'au dengan penelitian yang berjudul “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Kedung Kabupaten Kediri” yang mana daya yang di dapat sebesar 29,8 kW [2] dan selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Rizky Monica Virgine dan Rudy Setiabudy dengan judul penelitian “Study Of Feasibility Planning Microhydro Power Plant in Kampung Mului, Paser” yang mana daya yang di dapat sebesar 116,08 kW [3] selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Gerico Putra dengan judul penelitian “Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Minihidro di Sungai Lae Pinang dan Sungai Sumonggo Kabupaten Humbang Hasundutan”

dimana daya yang di dapat sebesar 5,72 MW per unit [4]. Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, maka saya merencanakan untuk membangun pembangkit listrik tenaga mikrohidro dengan menggunakan Eletronic Load Governor sebagai penstabil frekuensi dengan tujuan untuk dapat mengaliri arus listrik di Dusun Siboli-Siboli Desa Hutabagasan Kabupaten Asahan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

PLTMH adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (*head*) dan jumlah debit air. Tenaga air berasal dari aliran air yang dibendung dengan ketinggian tertentu dan memiliki debit sehingga dapat memutar turbin yang dihubungkan dengan generator listrik.

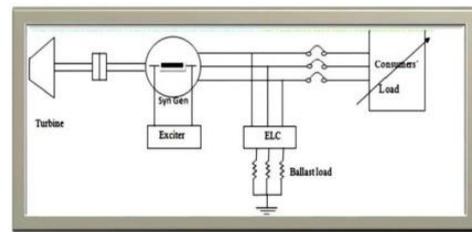
2.2 Pemilihan Lokasi PLTMH

Faktor yang di tentukan dalam pemilihan lokasi PLTMH adalah:

- Debit Air
- Kondisi Geologis dan Keadaan Air
- Faktor Sosial dan Ekonomis

2.3 *Electronic Load Controller*

Generator sinkron digunakan untuk menghasilkan tenaga listrik di pembangkit listrik tenaga air. Kecepatan putar generator tergantung pada dua faktor, yaitu kekuatan mekanik aliran air dan beban yang terhubung ke generator. Jika salah satu dari dua faktor ini berubah, kecepatan generator ini juga berubah, yang menyebabkan penurunan atau peningkatan putaran generator yang setara pada tegangan dan frekuensi outputnya. Untuk pengoperasian peralatan listrik yang efisien dan aman, level tegangan dan frekuensi harus dijaga dalam batas yang dapat ditoleransi. Variasi beban menyebabkan variasi kecepatan putar generator dan dengan demikian pada tegangan dan frekuensi listrik. Sistem mikro hidro tidak menggunakan pengatur kecepatan. Namun, kecepatan diatur secara tidak langsung dengan mempertahankan beban konstan pada generator dan turbin dengan menggunakan sirkuit elektronik yaitu *Electronic Load Controller*. Dengan ELC beban dipertahankan konstan pada generator untuk input air yang diberikan. *Electronic Load Controller (ELC)* merupakan perangkat elektronik yang dirancang untuk mengontrol daya keluaran generator yang digunakan dalam sistem pembangkit listrik tenaga mikro hidro.



Gambar 1. Generator Off-grid bekerja dengan ELC terhubung pada output

2.4 Debit Air

Debit air adalah kecepatan aliran air yang mengalir yang dikalikan dengan luas penampang.

2.5 Erosi dan Sedimentasi

Erosi dan Sedimentasi merupakan proses terlepasnya butiran tanah dari induknya di suatu tempat dan terangkutnya material tersebut oleh gerakan air atau angin kemudian diikuti dengan pengendapan material yang terdapat ditempatlain.

2.6 Tinggi Jatuh Air (Head)

Head merupakan tingi jatuh air dari posisi tertinggi menjuposisi terendah. Tinggi jatuh tersebut menentukan seberapa besar energi potensial air yang berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan PLTMH.

2.7 Pipa Pesat (Penstock)

Pipa pesat (*penstock*) adalah pipa yang berfungsi untuk mengalirkan air dari bak penenang (*forebaytank*) menuju rumah pembangkit (*power house*).

2.8 Turbin Air

Turbin air merupakan mesin yang bertujuan untuk mengambil energi kinetik dari arus air dengan cara berputar akibat aliran arus air yang melaluinya[5]

2.9 Generator

Generator merupakan mesin bergerak yang mengubah energi kinetik menjadi energi listrik. Generator merupakan bentuk kesatuan dari pada turbin untuk menghasilkan energi listrik. Turbin terhubung ke generator melalui bearingyang dihubungkan pada salah satu shaft turbin sehingga pada saat turbin berputarmaka rotor yang terdapat pada generator pun akan mengalami perputaran dan akan menginduksikan fluks pada stator dan akan menimbulkan energi listrik.

2.10 Perhitungan Daya dan Energi

Cara kerja pembangkit listrik tenaga mikrohidro ini sangatbergantung pada tiga faktor, yaitu debit air, jatuh ketinggian, danefisiensi. Dari tiga faktor itu maka dapat di rumuskan bagaimana potensi suatu sungai jika dibangun pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLMTH) dan berapa daya keluarannya sebagai berikut (IJEAT,2013):

$$P=Qx Hx 9.8x \mu \quad (1)$$

2.11 Komponen-Komponen PLTMH

Dalam suatu lokasi, pembangkit listrik tenaga mikrohidro dapat dipetakan sebagai suatu sistem yang terdiri dari beberapa komponen bangunan sipil serta komponen elektrikal dan mekanikal. Beberapa komponen sipilnya seperti bendungan, saluran penyadap, saluran pembawa, saluran pelimpah, kolam penenang, pipa pesat, rumah pembangkit, dan saluran pembuang. Pada komponen elektrikal dan mekanikalnya terdapat komponen seperti turbin, generator, transmisi mekanik, panel, dan juga jaringan distribusi.

2.12 Prediksi Debit Air

Dalam penentuan dan memprediksi debit air sungai terdapat beberapa carayang cukup rumit. Dalam penelitian ini prediksi debit air dilakukan dengan metode pengukuran langsung. Agar data sesuai dengan keadaan dilapangan kegiatan pengukuran langsung akan banyak dilakukan di lokasi survei. Metode pengukuran langsung dapat menggunakan metode salt gulp, metode float atau pengukuran dengan alat *current meter flowatch* yang nantinya akan dipilih untuk dilakukan pada pengukuran di lokasi

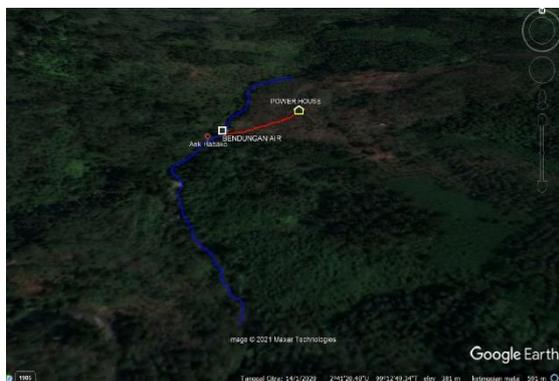
2.13 Evaluasi Proyek

Evaluasi ini diperlukan untuk melihat dan meninjau kelayakan pembangunan Pembangkit Listrik Minihidro (PLTMH) dengan berdasarkan biaya investasi, umur ekonomis, nilai masa kini dan priode pengembalian modal guna memberikan rekomendasi dalam pembangunan PLTMH.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

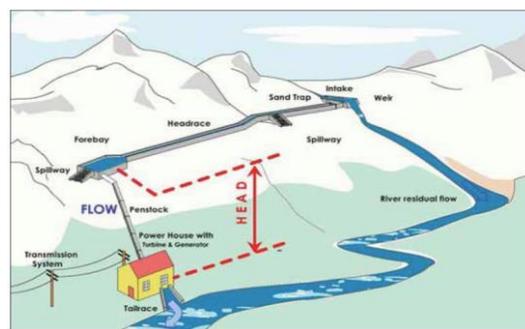
Adapun tempat penelitian akan dilaksanakan di Kabupaten Asahan Desa Hutabagasan Dusun Siboli-Siboli untuk mengetahui data beban harian, data debit air dan seberapa besar daya yang dapat dibangkitkan di Dusun Siboli-boli dengan koordinat $02^{\circ} 41'21.26''U$ $99^{\circ} 12'49.98''T$ yang dimana direncanakan pembangkit listrik



Gambar 2. Tempat Penelitian

3.2 Pelaksaan Penelitian

Dalam penelitian ini akan dilakukan kegiatan peninjauan lokasi, untuk menghitung debit air sungai, mengukur head (titik jatuh air) sebagai energi yang akan menggerakkan turbin pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro, pengaruh penambahan electronic load governor pada PLTMH, biaya investasi untuk membangun PLTMH, dan analisa ekonomi perencanaan pembangunan PLTMH dan penyajian hasil akhir serta kesimpulan. Adapun pada perencanaan PLTMH Sungai Habako seperti Gambar 3.1 di atas akan dibuat dengan jarak antara bendungan dengan *head tank* sejauh 1000 meter, di mana akan terdapat *water intake*, *sand trap*, *spillway*, *waterway*, dan saluran penenang sebelum menuju ke *head tank*. Kemudian dari *head tank* ke *power house* akan berjarak sejauh 560 meter dengan perbedaan elevasi 15 meter.



Gambar 3. Skema Perencanaan PLTMH

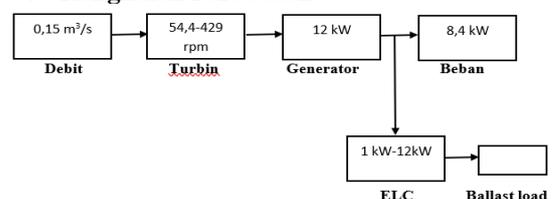
Siboli-boli memiliki penduduk sebanyak kurang lebih 110 orang dengan jumlah keluarga sebanyak 22 keluarga dan jumlah rumah 20 rumah, dimana masing-masing rumah akan dipasang beban sebesar 450 W, maka daya yang dibutuhkan oleh seluruh rumah di siboli-siboli sebesar 9.000 W atau 9 kW dengan tegangan sebesar 220 V dan frekuensi 50 Hz

3.3 Variabel Yang Diamati

Berikut variabel yang diamati dalam penelitian ini, yang meliputi:

- Debit dan *head* pada air
- Daya listrik yang dibangkitkan PLTMH dan yang dibutuhkan masyarakat serta hasil penjualannya
- Perancangan dan penggunaan Electronic Load Governor pada PLTMH
- Analisa ekonomi

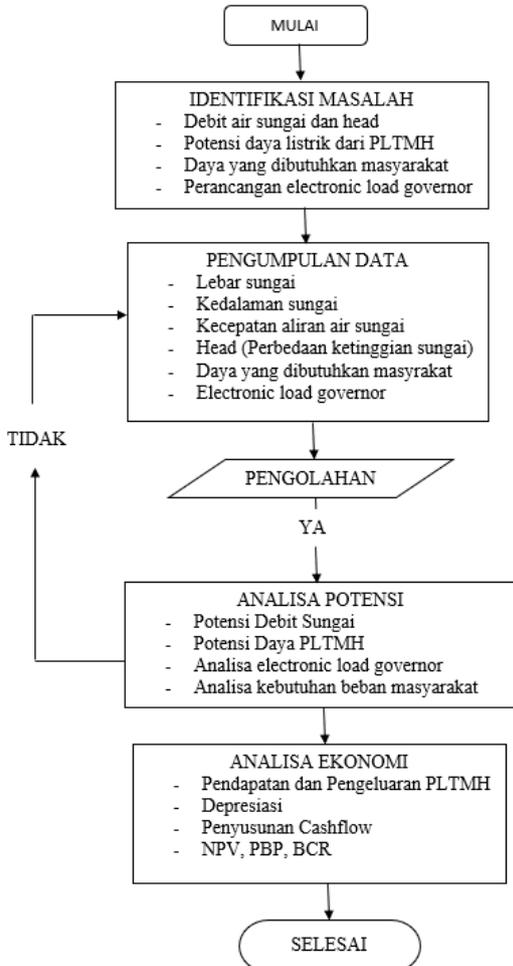
3.4 Rangkaian Percobaan



Gambar 4. Rangkaian Percobaan

PLTMH ini dirancang dengan menghitung dan merencanakan pemakaian beban di masyarakat dengan penggunaan beban sebesar 8,4 kW selanjutnya dengan pemakaian beban sebesar 8,4 kW di rancang dan dihitung menggunakan generator dengan keluaran daya sebesar 12 kW. Agar mencapai keluaran generator sebesar 12 kW maka digunakan Turbin Kaplan dikarenakan debit air yang hanya mencapai 0,15 m³/s.

3.5 Diagram Alur Penelitian



Gambar 5. Diagram Alur Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Profil Desa Hutabagasan Dusun Siboli-boli

Desa Hutabagasan Dusun siboli-boli merupakan salah satu desa 3T (Terdepan, Terpencil dan Tertinggal) yang belum di aliri listrik di Kabupaten Asahan, akses medan jalan yang sulit serta jumlah penduduk yang tidak banyak membuat Dusun Siboli-siboli belum dapat di aliri listrik oleh PLN. Dusun Siboli-boli ini dihuni oleh penduduk yang berjumlah kurang lebih 110 orang dengan 22 keluarga dan 20 rumah penduduk yang mata pencahariannya yaitu petani sawit. Pada penelitian ini, dilakukan rencana pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro dengan menggunakan Electronic Load Controller sebagai penstabil Frekuensi dengan skenario beban menggunakan 450 W di dusun

Siboli-boli.



Gambar 6. Rumah Warga

4.2 Perhitungan Beban

Tabel 1. Perhitungan beban

No	Peralatan yang digunakan	Daya (W)	Jumlah	Total Daya (W)
1	Lampu	25	80	2000
2	Televisi	120	20	2400
3	Kulkas	110	20	2200
4	Rice cooker	90	20	1800
Total Beban				8.400

Tabel 2. Data beban harian

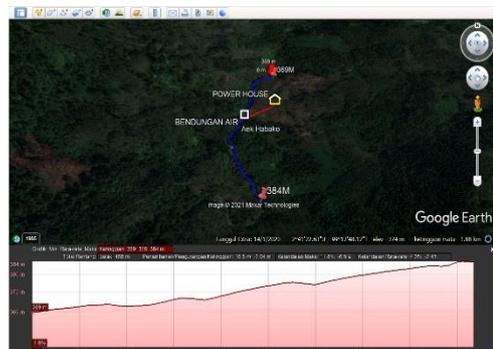
Hour	Load (kW)						
00	4,2	06	6,9	12	6,4	18	4,5
01	4,2	07	6,9	13	6,4	19	6,9
02	4,2	08	4	14	4	20	6,9
03	4,2	09	4	15	8	21	6,9
04	4,5	10	4	16	8	22	6,9
05	4,5	11	4	17	4	23	4,5

4.3 Analisa Potensi Debit Air

Tabel 3. Data debit sungai Siboli-boli

Section	Luas Penampang (m ²)	Kecepatan (m/s)	Debit (m ³ /s)
1	0,27	0,68	0,18
2	0,24	0,6	0,14
3	0,23	0,67	0,15
Debit total			0,47
Debit Rata-rata			0,15

4.4 Analisis Head



Gambar 7. Data Elevasi alur Sungai

Dilihat dari Gambar 7 bisa kita tentukan bahwa perbedaan ketinggian alur Sungai Siboli-boli adalah 15 m, dimana ketinggian titik awal alur sungai Siboli-boli adalah 369 m dan ketinggian titik akhir alurnya setinggi 384 m.

4.5 Analisis Daya Listrik

$$Q=0,15m^3/s, p=1000kg/m^3, \eta=0,91 g= 9,8m/s^2, H=10m$$

$$P=Q \times p \times \eta \times g \times H$$

$$=0,15 \times 1000 \times 0,91 \times 9,8 \times 10$$

$$= 13.377 \text{ W}$$

$$= 13,37 \text{ kW}$$

4.6 Turbin Air

$$P_{\text{turbin}} = \eta_{\text{turbin}} \times P_s$$

$$= 0,85 \times 13,37 \text{ kW}$$

$$= 11,36 \text{ kW}$$

4.7 Generator

Perhitungan daya yang keluar pada generator adalah sebagai berikut;

$$P_{\text{generator}} = \eta_{\text{generator}} \times P_{\text{turbin}}$$

Efisiensi generator diasumsikan besarnya 90% sehingga;

$$P_{\text{generator}} = 0,9 \times 11,36 = 10,224 \text{ kW}$$

Maka daya keluaran generator adalah 10,224 kW.

Kapasitas daya generator yang terpasang pada sebuah pembangkit memiliki nilai setidaknya >10-20% dari hasil perhitungan daya generatornya, maka kapasitas daya generator terpasangnya adalah;

$$P_{\text{genterpasang}} = 10,224 + (10,224 \times 20\%) = 12,2688 \text{ kW}$$

4.8 Pipa Pesat (penstock)

Diameter penstock (D) sebesar 0,278 m dengantebal penstock (t) sebesar 1,72 mm dan menggunakan pipa PVC dengan panjang 15 m yang pemasangannya tidak di dalam tanah dengan kecepatan aliran air di dalam penstock sebesar 2,473 m/s

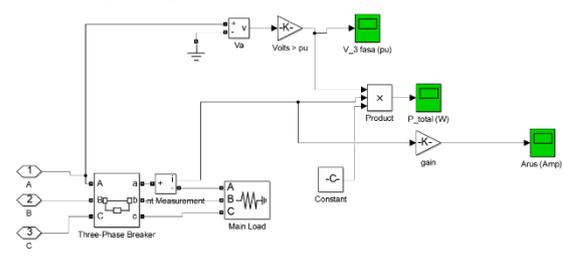
4.9 Potensi bangunan

- Bendungan (Dam)
- Bak Pengendap
- Saluran Air

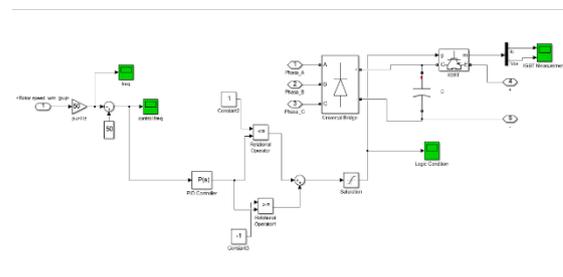
4.10 Electronic Load Control

Electronic Load Controller (ELC) merupakan perangkat elektronik yang dirancang untuk mengontrol daya keluaran generator yang

digunakan dalam sistem pembangkit listrik tenaga mikro hidro. ELC ini mempertahankan beban hampir konstan pada generator dan sama seperti mempertahankan beban konstan pada turbin, oleh karena itu pada input air yang konstan, generator menghasilkan tegangan dan frekuensi yang stabil. Electronic Load Control dirancang menggunakan MATLAB SIMULINK



Gambar 8. Rangkaian Beban



Gambar 9. Rangkaian Electronic Load Control

Disimulasikan dengan 5 variabel beban 12 kW, 11 kW, 10 kW, 9 kW, 8 kW. Simulasi beban 12 kW :

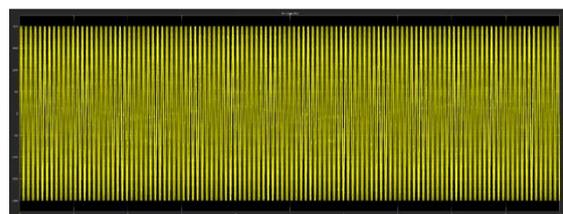
Setelah di input data lanjut me RUN kansimulasi, maka akan keluar grafik yang menunjukkan Daya konsumen sebesar 12 kW dengan Tegangan 400 V dengan Arus 17,4 A, jika dihitung menggunakan rumus daya :

$$P = V \times i \times \sqrt{3}$$

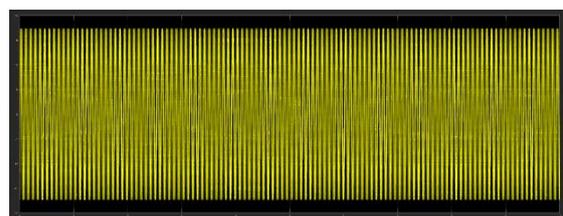
$$P = 400 \times 17,4 \times \sqrt{3}$$

$$P = 12.055,07$$

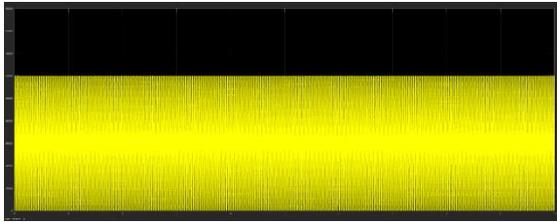
Seperti gambar grafik di bawah ini :



Gambar 10. Grafik Tegangan 400 V



Gambar 11. Grafik Arus 17,4 A



Gambar 12. Grafik Main Load 12 kW

Setelah input data selanjutnya untuk me RUN kan ELC maka diperlukan nilai R_d dengan rumus :

$$V_{DC} = \frac{3\sqrt{2}V_{LL}}{\pi}$$

$$R_d = \frac{V_{DC}^2}{P_d}$$

$$C = \frac{1 + \frac{1}{\sqrt{2}R_F}}{12 + R_d}$$

Dengan

$$V_{LL} = 400 \text{ V}$$

$$R_F = 5\%$$

Maka :

$$V_{DC} = \frac{3\sqrt{2} \cdot 400}{3,14}$$

$$V_{DC} = 540,463$$

$$R_d = \frac{540,463^2}{P_d}$$

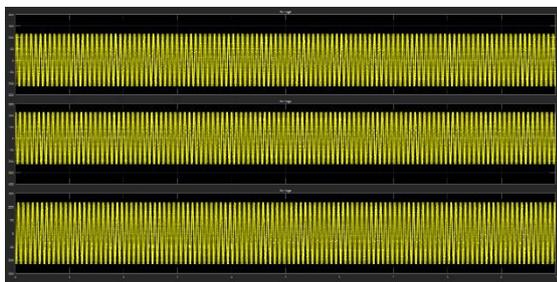
Dikarenakan daya yang di hasilkan oleh generator digunakan seluruhnya oleh beban, makadayanya di dump load tidak ada sehingga ketika 12000 W maka nilai

$R_d = 292.100,254$ maka nilai capasitornya ialah :

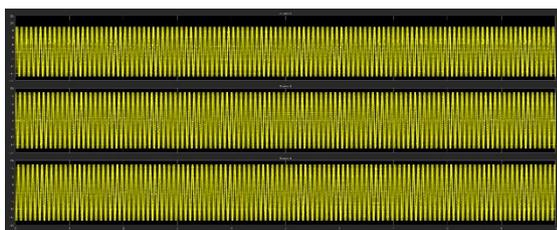
$$C = \frac{1 + \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 0,05}}{12 + 292.100,254}$$

$$C = 3,54425$$

jika di RUN kan maka grafiknya sebagai berikut :



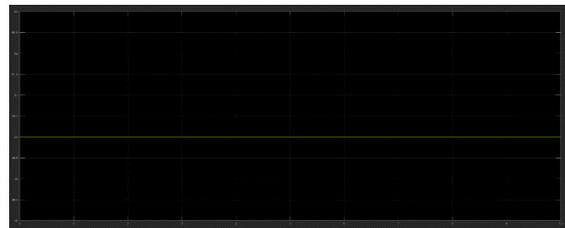
Gambar 13. GrafikTegangan di Beban 220V



Gambar 14. GrafikArus di Beban 17,5 A



Gambar 15. GrafikTegangan, Arus di Dump Load dan Capacitor



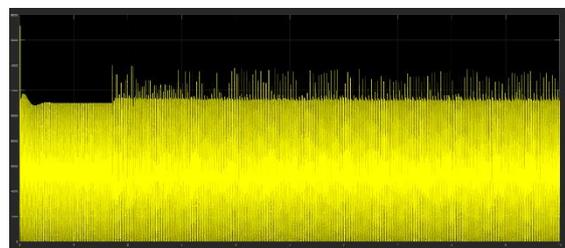
Gambar 16. Grafik Frekuensi 50 Hz



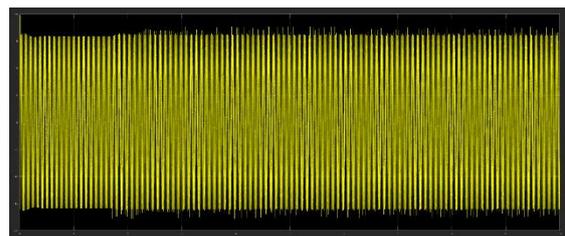
Gambar 17. Grafik Logic Control

Dari grafik di atas maka dapat diketahui bahwa Electronic Load Control tidak bekerja dikarenakan daya yang dihasilkan generator sebesar 12 kW dipergunakan sepenuhnya oleh beban sehingga sensor frekuensi tidak mendeteksi adanya penurunan atau naiknya frekuensi (50 Hz) sehingga logic control dalam keadaan terbuka atau 0 sehingga nilai tegangan dan arus di dump load 0.

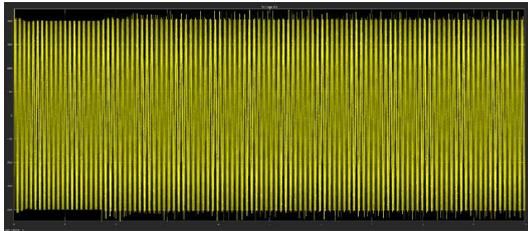
Simulasi Kedua menggunakan permintaan beban sebesar 11 kW, unuk menghitung nilai R_d dan nilai Capacitor samaseperti disimulasi pertama. Seperti gambar grafik di bawah ini.



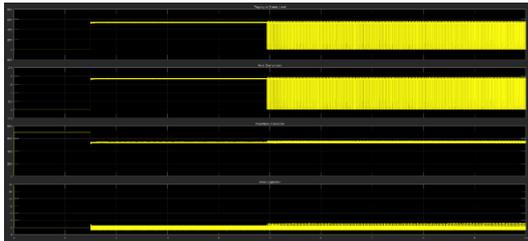
Gambar 18. Grafik Main Load 11 kW



Gambar 19. GrafikArus 15,9 A



Gambar 20. Grafik Tegangan 400 V



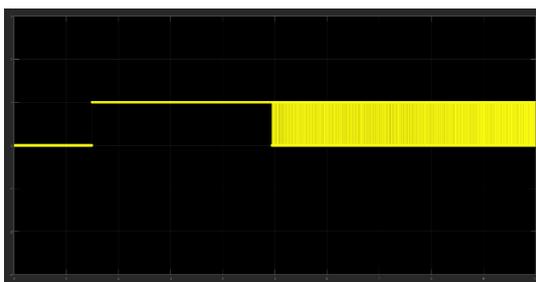
Gambar 21. Grafik Tegangan dan Arus di Dump Load dan Capacitor



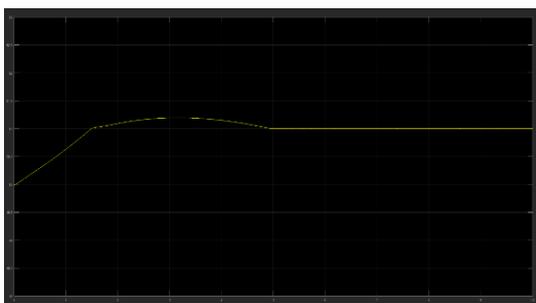
Gambar 22. Grafik Tegangan di Beban



Gambar 23. Grafik Arus di Beban



Gambar 24. Grafik Logic Control



Gambar 25. Grafik Frekuensi

Data Hasil Keluaran 11 kW

Tabel 4. Data hasil keluaran daya 11 kw

Tegangan Dump Load	550 V
Arus Dump Load	1,85 A
Tegangan Beban	230 V
Arus Beban	16 A
Frekuensi	51 Hz
Logic Control	1
Tegangan Beban 3 Fasa	400 V
Arus Beban 3 Fasa	15,9

Dari grafik dan Tabel di atas maka dapat diketahui bahwa Electronic Load Control bekerja dengan benar.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh berdasarkan penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. PLTMH ini akan di bangun di Dusun Siboli-boli dengan penduduk sebanyak 22 Keluarga dengan jumlah masyarakat sebanyak 110 orang dengan rumah penduduk sebanyak 20 rumah.
2. Secara aspek teknis, PLTMH ini akan di rancang di sungai siboli-boli dengan daya yang dapat dihasilkan listrik sebesar 13,37 kW, menggunakan generator tiga fasa 400 V, 50 Hz dengan daya generator terpasang 12 kW menggunakan turbin Kaplan dengan daya turbin sebesar 11,36 kW dengan memanfaatkan debit air sebesar 0,15 m³/s, menggunakan pipa penstock berdiameter 0,14 m dan ketebalan pipa 0,004 m dengan memanfaatkan tinggi jatuh air (head) sebesar 15 m.
3. Secara aspek finansial, dana investasi untuk pembangunan PLTMH sebesar Rp.388.289.000 dengan pendapatan PLTMH sebesar Rp. 145.201.555 /tahun dan biaya pengeluaran sebesar Rp. 37.845.840/ tahun dengan depresiasi sebesar Rp.25.442.010 dan cash-flow sebesar Rp. 107.355.715 dengan Pay Back Periode 3,6 Tahun.
4. Electronic Load Control dirancang menggunakan matlab Simulink dengan simulasi menggunakan 5 beban yaitu 12 kW, 11 kW, 10 kW, 9 kW, 8 kW
5. ELC berfungsi untuk menstabilkan frekuensi dengan beban yang berubah-ubah dengan cara merubah besaran nilai arus sesuai dengan perubahan beban, semakin besar beban maka arus semakin kecil, semakin kecil beban maka arus semakin besar atau berbanding terbalik

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan terhadap penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Diperlukannya penelitian lebih lanjut tentang perancangan sistem Electronic Load Control agar dapat mengatur nilai perubahan beban dan capacitor secara otomatis.
2. Pada penelitian selanjutnya diharapkan membahas secara rinci mengenai Electronic Load Control lebih banyak lagi.
3. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi pemanfaatan Energi Baru Terbarukan (EBT) untuk daerah - daerah yang terpencil yang belum teraliri listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tim Komunikasi, “Kajian Penyediaan dan Pemanfaatan Migas, Batubara, EBT dan Listrik,” *Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia*, 2017.
- [2] Ma’ali Nashrul, “ Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Kepung Kabupaten Keidiri”, Institut Teknologi Sepuluh November, 2017
- [3] Rizky Monica Virgine, Rizky Setiabudy, “*Study Of Feasibility Planning Micro Hydro Power Plant in Kampung Mului, Paser*” Department Of Elictrical Engineering Universitas Indonesia Depok, Indonesia, 2019
- [4] Gerico Putra, “Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Minihidro (PLTMH) Di Sungai Lae Pinang Dan Sungai Sumonggo Kabupaten Humbang Hasundutan”, Universitas Sumatera Utara, 2020
- [5] Chow, VenTe. (2009). *Open-Channel Hydraulics*. The Blackburn Press.
- [6] Silitonga, Arridina Susan dan Husin Ibrahim. 2020. *Buku Ajar Energi Baru Dan Terbarukan*. Sleman: Deepublish. O.F. Patty. 1995. *Tenaga Air Edisi Pertama*. Jakarta. Erlangga.
- [7] Rahmayanti, Mutia Isti. 2017. ”Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Minihidro (PLTMH) di Sungai Citarum Hulu Kabupaten Bandung Barat”. Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya Malang
- [8] Dietzel, Fritz. 1993. *Turbin, Pompa dan Kompresor*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [9] Wijaya, Wisnu, dkk. ”Analisa Perencanaan Pembangkit Listrik Minihidro di Sungai Lowongan Kecamatan Kedungbanten Kabupaten Bayumas”. Universitas Diponegoro. Semarang, 2012.
- [10] Arifin, Moh. Zaenal. 2017. “Analisa Unjuk Kerja dan Tingkat Kavitasipada Turbin Francis di PT PJB Unit PLTA Sutami”. Skripsi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- [11] M, M Dandekar, K, N Sharman. *Pembangkit Listrik Tenaga Air*. Universitas Indonesia. 1991.
- [12] Sulvian, Robert Lee. 1977. *Power Sistem Planning*, McGraw Hill. New York.
- [13] Centre For Rudal Technology. *Manual Book On Micro-Hydrodevelopment*. Tripureshowe, Khathmandu Nepal. 2005.
- [14] Rahayu, S. dkk, 2009. *Monitoring Air Di Daerah Aliran Sungai*. World Agroforestry Center ICRAF Asia Tenggara. Bogor.
- [15] Asroridan Eko Yudianto. 2018. ”Perencanaan Turbin Air Kapasitas 2x1MW di PLTMH Cianten 1 Kabupaten Bogor”. *Jurnal. Malang: Politeknik Negeri Malang*.
- [16] De Garmus, E. Paul, dkk. 2001. *Ekonomi Teknik jilid 2*. Jakarta: Prenhallindo.