

**ANALISIS PENINGKATAN EFISIENSI SISTEM PEMBANGKIT  
LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO TALANG DIKUN DENGAN  
PENAMBAHAN *ENERGY STORAGE* DAN *ADAPTIVE INVERTER*  
*SYSTEMS***

**(Skripsi)**

**Oleh**

**Muhammad Reihan Putra Albatriq**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2022**

**ANALISIS PENINGKATAN EFISIENSI SISTEM PEMBANGKIT  
LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO TALANG DIKUN DENGAN  
PENAMBAHAN *ENERGY STORAGE* DAN *ADAPTIVE INVERTER*  
*SYSTEMS***

Oleh

**MUHAMMAD REIHAN PUTRA ALBatriQ**

**Skripsi**

**Sebagai salah satu syarat untuk mendapat gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDARLAMPUNG  
2022**

**ABSTRAK****ANALISIS PENINGKATAN EFISIENSI SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO TALANG DIKUN DENGAN PENAMBAHAN *ENERGY STORAGE* DAN *ADAPTIVE INVERTER SYSTEMS***

Oleh

**MUHAMMAD REIHAN PUTRA ALBATRIQ**

PLTMH merupakan pembangkit listrik dengan skala kecil yang memanfaatkan aliran air untuk menggerakkan turbin dan generator. Dusun Talang Dikun memanfaatkan PLTMH sebagai sumber energi listrik dengan beban yang digunakan hanya penerangan, sehingga saat siang hari akan terjadi perubahan beban yang cukup besar. Pada sistem PLTMH generator bekerja secara konstan, sehingga perubahan beban pada sistem akan menyebabkan tegangan sistem tidak stabil. Untuk mengatasi permasalahan tersebut umumnya digunakan *ballast load* sebagai penyeimbang beban, *ballast load* bertindak sebagai beban komplementer dan membuang kelebihan daya yang dihasilkan generator dalam bentuk panas. Daya berlebih yang dihasilkan oleh generator tersebut dapat dimanfaatkan untuk disimpan ke dalam *Energy Storage System* (ESS) sehingga efisiensi sistem akan meningkat. ESS dapat menyimpan dan memberikan daya sesuai kondisi beban dengan kontrol *Adaptive Inverter System* (AIS). AIS bersifat adaptif dengan masukan berupa simpangan tegangan pada sistem. Pada penelitian ini dilakukan simulasi penambahan ESS dan AIS pada PLTMH Dusun Talang Dikun. Hasil penelitian menunjukkan penambahan ESS dapat meningkatkan efisiensi sistem sebesar 28,9% dan memperbaiki tegangan sistem.

Kata Kunci : PLTMH, *Energy Storage System*, *Adaptive Inverter System*

**ABSTRACT*****ANALISYS OF TALANG DIKUN MICROHYDRO POWER PLANT SYSTEM  
EFFICIENCY ENHANCEMENT USING ENERGY STORAGE ADDITION  
AND ADAPTIVE INVERTER SYSTEMS*****By****MUHAMMAD REIHAN PUTRA ALBatriQ**

Microhydro is a small-scale power plant that utilizes the water flow to drive turbine and generator. Talang Dikun village used MHP as a source of electrical energy while the load only lightning, so that during the day there will quite a large load change. Generator in MHP system works constantly, so when the load on system changes it will cause the system voltage fluctuate. To solve this problem, ballast load generally used to load balancing, in the system ballast load as a complement load and removes the excess power generated by generator in the form of heat. The excess power generated by generator can be utilizes to be stored in the Energy Storage System (ESS) so the system efficiency will increase. The ESS can store and deliver power according to load conditions with the Adaptive Inverter System (AIS) control. AIS is an adaptive control with input in the form of voltage deviation in the system. In this study, a simulation of the addition of ESS and AIS was carried out at the Talang Dikun village MHP. The results showed that the addition of ESS can increase system efficiency by 28,9% and improve system voltage.

**Keywords :** MHP, Energy Storage System, Adaptive Inverter System

**Judul Skripsi**

**: ANALISIS PENINGKATAN EFISIENSI SISTEM  
PLTMH TALANG DIKUN DENGAN  
PENAMBAHAN *ENERGY STORAGE* DAN  
*ADAPTIVE INVERTER SYSTEM***

**Nama Mahasiswa**

**: Muhammad Reihan Putra Albatriq**

**Nomor Pokok Mahasiswa : 1855031008**

**Jurusan**

**: Teknik Elektro**

**Fakultas**

**: Teknik**

**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**

**Ir. Herri Gusmedi, S.T., M.T**  
**NIP. 197108131999031003**

**Ir. Khairudin, S.T., M. Sc., Ph.D.Eng**  
**NIP. 197007192000121001**

**2. Mengetahui**

**Ketua Jurusan  
Teknik Elektro**

**Herlinawati, S.T., M.T**  
**NIP. 197103141999032001**

**Ketua Program Studi  
Teknik Elektro**

**Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.**  
**NIP. 197404222000122001**

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua**

**: Ir. Khairudin, S.T., M. Sc., Ph.D.Eng** .....

**Sekretaris**

**: Ir. Herri Gusmedi, S.T.,M.T** .....

**Penguji**

**: Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc.** .....

**2. Dekan Fakultas Teknik**

**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.**

**NIP. 197509282001121002**

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 27 September 2022**



## SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang telah disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 03 Oktober 2022



**Muhammad Reihan Putra Albatriq**

NPM. 1855031008

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandarlampung, 25 Mei 2001. Penulis merupakan anak ketiga dari lima bersaudara dari pasangan Bapak Saripudin dan Ibu Wim Teristinawaty.

Penulis memiliki riwayat pendidikan antara lain : MIN 1 Pesawaran pada tahun 2007 hingga 2013, MTs N 1 Pesawaran pada tahun 2013 hingga 2016 dan SMA N 1 Gadingrejo pada tahun 2016 hingga 2018.

Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung pada tahun 2018 melalui jalur SMMPTN Barat (Seleksi Mandiri Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif berorganisasi pada Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) Universitas Lampung sebagai Sekretaris Departemen Kominfo pada Periode 2019 dan Sekretaris Umum HIMATRO pada Periode 2020. Kemudian pada tahun 2020 – 2022, penulis berkesempatan menjadi asisten di Laboratorium Sistem Tenaga Listrik serta menjadi asisten Mata Kuliah Menggambar Teknik dan Praktikum Analisa Sistem Tenaga. Selain proses perkuliahan, penulis juga pernah melaksanakan kerja praktik pada PT. Haleyora Power Area Metro dengan membahas topik tentang “Pemeliharaan Jaringan Tegangan Menengah 20kV Penyulang Stroberi PLN Area Metro” dan magang pada PLN UID Lampung. Selain hal tersebut, penulis juga pernah mengerjakan pekerjaan “Re-Drawing MEP Gedung Pasca Sarjana Unila” dan Perbaikan Jaringan PLTMH Talang Dikun.

## **PERSEMBAHAN**



Alhamdulillah rabbil'alamin, Puji Syukur kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala, Tuhan Yang Maha Esa dan Maha Besar atas segala rahmat dan hidayah-Nya serta Solawat kepada Nabi Muhammad Shallallahu Alaihi Wa Sallam yang selalu menjadi suri tauladan bagi kehidupan

### **KUPERSEMBAHKAN DENGAN TULLUS KARYA IN TERUNTUK**

"Ibunda Wm Teristinawaty dan Ayahanda Sariudin sebagai wujud cinta, kasih sayang, dan bakti atas segala yang telah diberikan. Juga tidak lupa kepada Kak Digma, Reivan, dan Risyad atas do'a dan motivasi yang selalu diberikan"

"Dosen Pembimbing dan Penguji serta Civitas Akademik Jurusan Teknik Elektro, terimakasih telah memberikan bimbingan, arahan, saran, dan ilmu yang sangat banyak selama perkuliahan serta pengerjaan skripsi ini"

"Tak lupa kepada teman-teman ELTICS 2018, terimakasih telah menemani, membantu, dan pembelajaran kepada saya selama duduk dibangku perkuliahan."

## **MOTTO**

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum sebelum mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri”

(QS. Ar-Rad:11)

“Allah tidak membebani seseorang itu melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(QS. Al-Baqarah:286)

“Raihlah ilmu dan untuk meraih ilmu belajarlah tenang dan sabar”

(Umar bin Khattab)

“Tidak mustahil bagi orang biasa untuk memutuskan menjadi luar biasa”

(Elon Musk)

## SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan Allah Subhanahu Wata'ala atas segala karunia, rahmat, dan nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini. Sholawat serta salam tidak lupa juga penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW sebagai suri tauladan yang baik seluruh umat manusia dan senantiasa mengharapkan syafaatnya di yaumul akhir kelak.

Skripsi dengan judul “**Analisis Peningkatan Efisiensi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Talang Dikun Dengan Penambahan *Energy Storage dan Adaptive Inverter system***” ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Allah SWT sebagai Zat yang selalu memberikan rahmat, karunia, serta berbagai nikmat-Nya yang telah diberikan sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua orangtua tercinta Bapak Saripudin dan Ibu Wim Teristinawaty, terimakasih atas segala kasih sayang, perhatian, dukungan, dan doa pada tiap jalan perjuangan selama penulis menempuh jalan untuk masa depan.
3. Kakak, kembaran, dan adik tersayang, Digma, Reivan, dan Risyad yang sudah memberikan masukan, dukungan, serta doa untuk penulis.
4. Bapak Dr. Sofwan Effendi, M.Ed. Selaku Plt Rektor Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
6. Ibu Herlinawati, S.T., M.T Selaku Kepala Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.

7. Ibu Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T. selaku Kepala Prodi Teknik Elektro Universitas Lampung.
8. Bapak Ir. Khairudin, S.T., M. Sc., Ph.D.Eng. selaku pembimbing utama dan telah memberikan bimbingan rutin, motivasi, arahan dan pandangan mengenai dunia pekerjaan kepada penulis disetiap kesempatan dengan baik dan ramah.
9. Bapak Ir. Herri Gusmedi, S.T.,M.T. selaku pembimbing pendamping dan telah memberikan bimbingan, masukan, arahan, dan ilmu yang sangat bermanfaat kepada penulis dengan baik
10. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M. Sc. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan, kritik dan saran yang membangun kepada penulis dalam pengerjaan skripsi ini.
11. Ibu Yetti Yuniati S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik (PA) yang telah memberikan nasihat, pengetahuan, arahan dan bimbingan yang membangun saat penulis menempuh perkuliahan mulai dari semester I hingga semester VIII.
12. Segenap Dosen dan staff di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu, wawasan dan pengalaman yang sangat bermanfaat bagi penulis kedepannya.
13. Segenap keluarga besar Laboratorium Sistem Tenaga Listrik : Pak Herri dan Pak Rachman atas kerjasamanya dan nasihatnya selama studi. Kepada Rekan Asisten STL 2018 : Naftali, Natasyah, Azis, Abdul, Syamil, Iqbal, Adrian, Ucok, dan Kidan yang telah memberikan semangat, motivasi untuk berjuang dan juga memberikan kebahagiaan setiap harinya di Lab. Dan untuk kakak-kakak asisten Lab. STL 2017 dan Kak Alfandi yang memberikan ilmu dan semangat. Untuk adik-adik asisten STL 2019 dan 2020: Fatur, Hadi, Aqil, Adam, Muchlas, Adrian, Riski, Saka, dan lainnya yang telah banyak membantu penulis.
14. Angkatan tercinta ELTICS 2018, terimakasih sudah menjadi rumah, saudara dan teman dalam segala kesusahan dan kebaikan yang sudah kalian berikan.
15. Segenap keluarga besar HIMATRO yang telah mengajarkan berorganisasi dan mengajarkan banyak hal dan juga menjadi rumah yang sangat nyaman selama kuliah. Sukses selalu Himpunanku HIMATRO Luar Biasa.

16. Kepada *Support System* Naftali yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis, terimakasih untuk segalanya.
17. Kepada *Metro Squad* Azis, Abdul, dan Manda yang telah membantu dan menghibur penulis dalam penyelesaian Kerja Praktik hingga Skripsi.
18. Kepada teman-teman Mardi, Bobi, Ican, Muhyi, Maul, Fikri, Budi, Azis, Abdul, Manda, Rivian, dan Raja yang telah memberikan dukungan serta menghibur penulis selama proses perkuliahan.
19. Semua pihak yang terlibat dalam menyelesaikan laporan Skripsi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak demi kemajuan bersama. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandarlampung, 03 Oktober 2022



**Muhammad Reihan Putra Albatriq**

## DAFTAR ISI

### Halaman

<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iv</b>
<b>SURAT PERNYATAAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>viii</b>
<b>SANWACANA .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvii</b>
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan.....	2
1.3 Rumusan Masalah .....	2
1.4 Batasan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Hipotesis .....	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1 Penelitian Terdahulu.....	6
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) .....	7
2.2 <i>Energy Storage System (ESS)</i> .....	10
2.3 Adaptive Inverter System (AIS) .....	11
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>13</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	13

3.2	Alat dan Bahan .....	13
3.3	Metode Penelitian.....	14
3.4	Simulasi dan Pemodelan.....	15
3.5	Diagram Alir Penelitian.....	17
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>18</b>
4.1	Sistem PLTMH Dusun Talang Dikun .....	18
4.2	Perhitungan Kapasitas <i>Energy Storage System</i> .....	22
4.3	Simulasi Sistem .....	25
4.4	Analisa dan Pembahasan .....	40
<b>V. PENUTUP .....</b>		<b>50</b>
5.1	Kesimpulan.....	50
5.2	Saran .....	50
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>51</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 1. Spesifikasi Generator PLTMH.....	18
Tabel 2. Waktu dan Besar Penggunaan Daya .....	19
Tabel 3. Kapasitas <i>Energy Storage</i> .....	23

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1. Skema Perubahan Energi Pada PLTMH .....	9
Gambar 2. Skema Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro .....	9
Gambar 3. <i>Energy Storage System</i> .....	10
Gambar 4. Gambaran Sistem .....	14
Gambar 5. Skema Sistem PLTMH ketika Beban Terendah .....	15
Gambar 6. Skema Sistem PLTMH ketika Beban Penuh dan Penambahan Beban Sistem.....	16
Gambar 7. Diagram Alir Penelitian .....	17
Gambar 8. Grafik Penggunaan Daya Harian Dusun Talang Dikun .....	20
Gambar 9. <i>Single Line Diagram</i> Dusun Talang Dikun.....	21
Gambar 10. Grafik Energi Yang Dapat Digunakan .....	22
Gambar 11. Skenario 1 Kondisi Beban Terendah Tidak Terhubung ESS .....	25
Gambar 12. Skenario 2 Kondisi Beban Terendah Terhubung ESS Pada Pangkal Sistem (Node 2) .....	26
Gambar 13. Skenario 3 Kondisi Beban Terendah Terhubung ESS Pada Percabangan Sistem (Node 3) .....	27
Gambar 14. Skenario 4 Kondisi Beban Terendah Terhubung ESS Pada Ujung Talang Bawah (Node 14) .....	28
Gambar 15. Skenario 5 Kondisi Beban Terendah Terhubung ESS Pada Ujung Talang Dikun (Node 27) .....	29
Gambar 16. Skenario 6 Kondisi Beban Penuh Tidak Terhubung ESS .....	30

Gambar 17. Skenario 7 Kondisi Beban Penuh Terhubung ESS Pada Pangkal Sistem (Node 2) .....	31
Gambar 18. Skenario 8 Kondisi Beban Penuh Terhubung ESS Pada Percabangan Sistem (Node 3) .....	32
Gambar 19. Skenario 9 Kondisi Beban Penuh Terhubung ESS Pada Ujung Talang Bawah (Node 14) .....	33
Gambar 20. Skenario 10 Kondisi Beban Penuh Terhubung ESS Pada Ujung Talang Dikun (Node 27) .....	34
Gambar 21. Skenario 11 Penambahan Beban Sistem dan Tidak Terhubung ESS35	
Gambar 22. Skenario 12 Penambahan Beban Sistem dan Terhubung ESS Pada Pangkal Sistem (Node 2) .....	36
Gambar 23. Skenario 13 Penambahan Beban Sistem dan Terhubung ESS Pada Percabangan Sistem (Node 3).....	37
Gambar 24. Skenario 14 Penambahan Beban Sistem dan Terhubung ESS Pada Ujung Talang Bawah (Node 14) .....	38
Gambar 25. Skenario 15 Penambahan Beban Sistem dan Terhubung ESS Pada Ujung Talang Dikun (Node 27) .....	39
Gambar 26. Kontur Profil Tegangan Pada Tiap Skenario Kondisi Beban Terendah .....	42
Gambar 27. Grafik Total Rugi Daya Aktif Kondisi Beban Terendah .....	43
Gambar 28. Kontur Profil Tegangan Pada Tiap Skenario Kondisi Beban Penuh	44
Gambar 29. Grafik Total Rugi Daya Aktif Kondisi Beban Penuh .....	46
Gambar 30. Kontur Profil Tegangan Pada Tiap Skenario Kondisi Penambahan Beban .....	47
Gambar 31. Grafik Total Rugi Daya Aktif Kondisi Penambahan Beban .....	49

## **I. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kebutuhan akan energi listrik semakin meningkat seiring berjalannya waktu. Energi listrik merupakan suatu kebutuhan yang tidak dapat dipisahkan dalam kehidupan sehari-hari. Pemanfaatan energi listrik secara luas telah digunakan dalam kebutuhan rumah tangga, industri, instansi, dan sebagainya. Dibandingkan dengan energi lainnya, energi listrik mudah didistribusikan untuk dimanfaatkan dan mudah untuk diubah ke dalam bentuk energi lain.

Namun sampai saat ini masih adanya kesulitan yang dialami oleh PLN dalam menyalurkan listrik ke daerah terpencil. Kesulitan ini disebabkan oleh sulitnya akses untuk menjangkau daerah tersebut sehingga jaringan PLN tidak dapat masuk ke daerah tersebut. Oleh karena itu diambil alternatif lain untuk memperoleh listrik, seperti penggunaan mesin diesel dan memanfaatkan energi yang ada pada daerah terpencil seperti tenaga air untuk dijadikan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH).

Pemanfaatan energi air menjadi PLTMH tentunya tidak terlepas dari masalah yang ada seperti perubahan beban serta kurangnya suplai daya listrik konsumen. Ketika terjadi perubahan beban akan berpengaruh terhadap tegangan yang berubah-ubah, hal tersebut akan mengakibatkan peralatan elektronik rusak. Pada Dusun Talang

Dikun beban yang digunakan hanya penerangan sehingga akan terjadi perubahan beban yang signifikan ketika siang hari.

Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan *Energy Storage System*. Pada saat terjadi kelebihan daya *output* PLTMH dapat dimanfaatkan dengan cara dialirkan ke dalam *energy storage*. Sehingga dilakukan penelitian ini untuk mensimulasikan sistem PLTMH dengan penambahan *Energy Storage* dan *Adaptive Inverter System* yang diharapkan dapat mengatasi permasalahan tersebut serta meningkatkan efisiensi sistem PLTMH Dusun Talang Dikun.

## **1.2 Tujuan**

Tujuan penelitian ini adalah meningkatkan efisiensi sistem PLTMH dengan cara penambahan *Energy Storage* dan *Adaptive Inverter System*.

## **1.3 Rumusan Masalah**

Pada sistem PLTMH Dusun Talang Dikun menggunakan *Ballast Load* sebagai penyeimbang beban. Ketika terjadi perubahan beban, daya yang tidak digunakan konsumen dialirkan ke *ballast load* dalam bentuk panas. Daya yang tidak digunakan tersebut dapat dimanfaatkan dengan cara dialirkan ke dalam *Energy Storage System* sehingga efisiensi sistem akan meningkat.

#### **1.4 Batasan Penelitian**

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sistem PLTMH diasumsikan bekerja pada kondisi ideal.
2. Kondisi cuaca pada penelitian ini diasumsikan normal.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penambahan *Energy Storage* dan *Adaptive Inverter System* dapat meningkatkan efisiensi sistem dan kapasitas suplai daya.
2. Sebagai bahan referensi bagi *stake holder* untuk pengembangan sistem PLTMH.

#### **1.6 Hipotesis**

Penambahan *Energy Storage* dan *Adaptive Inverter System* pada PLTMH dapat meningkatkan efisiensi sistem serta meningkatkan kapasitas suplai daya listrik dengan cara mengoptimalkan output daya dari sistem PLTMH.

## 1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari lima bab yaitu sebagai berikut:

### BAB I. PENDAHULUAN

Bab I Pendahuluan berisi tentang latar belakang masalah, tujuan penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian, hipotesis dan sistematika penulisan.

### BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab II Tinjauan pustaka berisi mengenai teori yang berkaitan dan yang digunakan pada pengerjaan tugas akhir ini.

### BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab III Metodologi penelitian berisi mengenai informasi berkenaan tentang waktu dan tempat penelitian, peralatan yang digunakan, tahapan penelitian, skenario penelitian dan hasil yang diharapkan.

### BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab IV Hasil dan pembahasan berisi tentang hasil dari penelitian berupa simulasi yang telah dilakukan, pembahasan dari tugas akhir dan hasil penambahan skenario penempatan *Energy Storage* dan *Adaptive Inverter System*.

## BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab V Kesimpulan dan saran berisi mengenai kesimpulan dan saran setelah penulis selesai melakukan penelitian ini yang berdasarkan dari hasil dan pembahasan yang telah didapat.

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai sistem PLTMH telah banyak dilakukan. Pada penelitian terdahulu telah membahas berbagai metode untuk menyempurnakan sistem PLTMH. Jong-Suk Ro *et al* [1] membahas skema kontrol pada PLTMH untuk kontrol frekuensi, tegangan, dan inersia dalam mode terhubung jaringan dan *standalone*. Kontrol PLTMH pada mode terhubung jaringan menggunakan metode *direct torsion control (DTC)*, *virtual synchronous machine (VSM)* dengan kontrol PD dan PID, dan kontrol prediktif model. Sedangkan pada mode *standalone* menggunakan kontrol *fuzzy logic* dan PI. Raja Singh *et al* [2] pada penelitian ini membahas penggunaan *Electronic Load Controller (ELC)* untuk menstabilkan tegangan dan frekuensi pada sistem PLTMH ketika terjadi beban penuh. Penggunaan ELC pada sistem PLTMH dinilai lebih efisien dan murah dibandingkan menggunakan *Hydraulic Governor (HG)*. Somnath Das *et al* [3] pada penelitian ini dilakukan kontrol daya pada PLTMH-PV menggunakan dua level kontrol. Pada kontrol level pertama dilakukan pengontrolan suplai daya pada sistem hibrid. Pada kontrol level kedua dilakukan pengontrolan aliran daya seimbang antara sumber dan beban. Irna Tri Yuniahastuti *et al* [4] membahas strategi kontrol frekuensi pada PLTMH menggunakan *Capacitive Energy Storage (CES)* dan PID, penentuan parameter dilakukan dengan menggunakan *Bat Algorithm (BA)*. R Luhtala *et al* [5] membahas kontrol inverter terhubung jaringan secara adaptif dengan *dq domain*. Pada penerapannya impedansi jaringan akan diukur secara

*online* dengan metode injeksi pseudo-random-binary-sequence dan fourier, kemudian parameter kontrol inverter disesuaikan secara adaptif. Nikhila Sanampudi [6] membahas kontrol tegangan dan frekuensi PLTMH menggunakan *Electronic Load Controller* (ELC), pada desain ELC dilakukan dengan menggunakan *uncontrolled rectifier* dan IGBT. Peadeep Paudel *et al* [7] membahas tentang penggunaan *battery bank* ketika terjadi beban puncak pada PLTMH sehingga ketika terjadi beban puncak baterai akan memasok energi listrik, metode kontrol yang digunakan adalah ELC, AC-DC konverter, dan buck konverter.

## **2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)**

Indonesia memiliki banyak wilayah dengan topografi perbukitan dan pegunungan yang ditempati penduduk. Pemukiman penduduk di wilayah tersebut memiliki pola menyebar atau terpencar, hal tersebut cukup menyulitkan pemerintah dalam menyediakan infrastruktur khususnya pada penyediaan energi listrik. Oleh karena itu, pemanfaatan sumber daya energi lokal semakin mendapat ruang dalam upaya memberikan layanan infrastruktur kelistrikan melalui pemanfaatan energi terbarukan, khususnya pada sumber daya air. Daerah pemukiman yang berada di pegunungan memiliki sungai-sungai dan mengalirkan air sepanjang tahun, hal tersebut dapat dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro [8].

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan bagian dari sumber energi baru terbarukan (EBT) yang memanfaatkan aliran air untuk menghasilkan energi listrik. Dalam penerapannya untuk mengonversi energi air menjadi energi listrik, PLTMH memanfaatkan ketinggian air dan debit air yang ada. Ketinggian air serta debit air akan dialirkan melalui pipa pesat. Pipa pesat ini akan mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik yang akan menggerakkan turbin generator. Turbin yang telah terkopel dengan generator akan menjadi penggerak mula bagi generator dan akan terjadi konversi energi mekanik menjadi energi listrik [9].

Daya yang dihasilkan dapat menjadi estimasi awal yang hitung dari tinggi jatuh efektif, debit andalan dan massa jenis air, potensi air dapat dicari menggunakan persamaan di bawah ini [10].

$$P_{hydro} = \rho \times g \times h \times Q \quad (1)$$

dimana :

$P_{hydro}$  = Potensi daya air (kW)

$\rho$  = massa jenis air (kg/m<sup>3</sup>)

$h$  = head (m)

$Q$  = debit (m<sup>3</sup>)

Daya yang dibangkitkan PLTMH dapat dihitung melalui persamaan :

$$P_g = P_{hydro} \times \eta_t \times \eta_g \quad (2)$$

dimana :

$\eta_t$  = efisiensi turbin

$\eta_g$  = efisiensi generator

Daya yang disalurkan ke pelanggan adalah daya dari generator yang telah dikurangi dari rugi-rugi pada jaringan.

$$P_{konsumen} = P_g - P_{losses} \quad (3)$$

Untuk menghitung rugi daya pada jaringan menggunakan persamaan :

$$P_{losses} = I^2 \times R \quad (4)$$

Sedangkan untuk menghitung efisiensi sistem menggunakan persamaan :

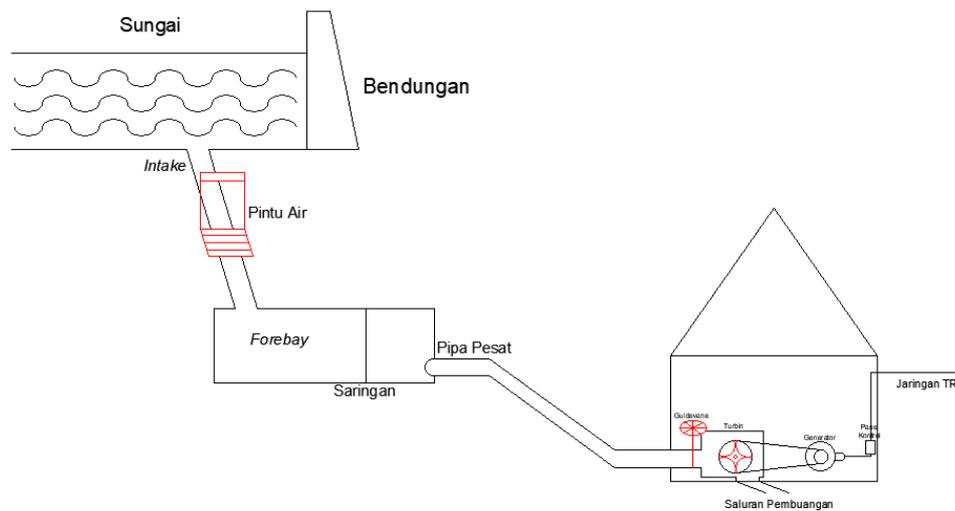
$$\text{Efisiensi Sistem} = \frac{\sum \text{Energi digunakan perhari}}{\sum \text{Produksi Energi PTLMH perhari} + \text{Rugi Daya}} \quad (5)$$

Bentuk dari pembangkit listrik tenaga mikrohidro sangat bervariasi, namun secara prinsip sama yaitu mengubah tenaga potensial air menjadi tenaga listrik. Berikut ini adalah blok diagram perubahan energi pada sistem PLTMH.



Gambar 1. Skema Perubahan Energi Pada PLTMH

Berikut ini adalah skema dari pembangkit listrik tenaga mikrohidro.



Gambar 2. Skema Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

## 2.2 *Energy Storage System (ESS)*

*Energy storage system* merupakan metode dan teknologi yang digunakan sebagai penyimpanan energi seperti energi listrik, elektrokimia, kimia, mekanik, termal, dan lainnya [11]. Pada ESS dapat menyimpan dan melepaskan daya dalam jumlah yang dibutuhkan. Baterai merupakan jenis penyimpanan energi pertama yang umum ditemukan [12]. Penggunaan ESS pada sistem tidak terhubung jaringan dapat meningkatkan keandalan pasokan listrik, kualitas daya, mengurangi kebutuhan beban dari pembangkit listrik, dan menstabilkan tegangan serta frekuensi sistem. [13]

*Battery Energy Storage System (BESS)* merupakan jenis penyimpanan elektrokimia, dimana energi kimia yang tersimpan dapat dikonversikan menjadi energi listrik. Untuk menyimpan energi listrik ke dalam BESS, jika energi listrik tersebut sistem AC maka diperlukan konverter AC/DC agar daya listrik dapat disimpan ke dalam BESS. BESS juga digunakan sebagai alternatif untuk meningkatkan pasokan daya listrik ketika terjadinya beban puncak. BESS berfungsi juga untuk meningkatkan kualitas daya sistem, seperti pengeturan frekuensi, meningkatkan stabilitas, kompensasi harmonisa beban tidak seimbang, suplai *pulse load*, dan meningkatkan inerti sistem [14].



Gambar 3. *Energy Storage System*

BESS umumnya terdiri dari tiga bagian subsistem [11].

- a. Sistem baterai yang terdiri dari baterai yang terhubung dari banyak *cell* untuk menyesuaikan tegangan serta kapasitas yang diinginkan, *Battery Management System* (BMS), dan *Battery Thermal Management System* (B-TMS). BMS berfungsi untuk memproteksi *cell* baterai saat beroperasi dan memaksimalkan masa pakai baterai serta memantau parameter baterai seperti tegangan, arus, suhu, dan *state of charge* (SOC). B-TMS berfungsi mengontrol suhu baterai agar bekerja pada angka nominalnya.
- b. *Power Conversion System* (PCS) berfungsi untuk mengubah aliran daya antara jaringan dan baterai dengan kontrol tegangan sistem.
- c. *Energy Management System* (EMS) berfungsi untuk memantau, mengontrol, dan mengoptimalkan aliran daya pada sistem dan pendistribusian daya BESS.

### 2.3 Adaptive Inverter System (AIS)

Inverter merupakan salah satu alat elektronika yang memiliki fungsi untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Prinsip kerja dari inverter seperti *switch* otomatis yang saling membuka dan menutup secara bergiliran untuk mengubah arus searah menjadi arus bolak-balik. Frekuensi listrik yang digunakan oleh PLN adalah 50 Hz, berarti *switch* tersebut membuka dan menutup sebanyak 50 kali dalam satu detik. Komponen yang digunakan agar bisa membuka dan menutup secara otomatis sebanyak itu menggunakan mosfet yang dikontrol oleh sinyal. *Output* tegangan dan frekuensi dari inverter besarnya dapat diatur dan bentuk gelombang yang dihasilkan berupa gelombang kotak serta gelombang sinus.

Konsep *adaptive inverter system* merupakan bagian dari kontrol inersia virtual yang digunakan untuk stabilitas sistem dalam kontrol frekuensi. Implementasinya adalah untuk mengendalikan daya aktif dari sistem dengan cara memberikan daya ataupun

menyimpan daya dari sistem [15]. *Input* yang diberikan adalah frekuensi atau tegangan yang kemudian akan memberikan respon terhadap daya aktif pada sistem.

Sistem kontrol adaptif adalah sistem kontrol yang parameternya dapat diatur serta memiliki regulasi untuk mengatur parameter. Skema kontrol adaptif memiliki keluaran kinerja sistem yang mengikuti model acuan berdasarkan parameter yang ada. Parameter diatur berdasarkan simpangan input yang memiliki perbedaan antara keluaran sistem dan referensi model [16]. Fungsi AIS dapat menyesuaikan kondisi sistem dengan cara membaca simpangan input berupa tegangan nominal dan akan merespon sesuai dengan kebutuhan sistem.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Pelaksanaan kegiatan penelitian tugas akhir ini dilakukan di Laboratorium Sistem Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung. Dilaksanakan pada bulan Februari – September 2022.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Laptop Acer Z476-31TB dengan spesifikasi *processor* Intel Core i3-6006U dan sistem operasi Windows 10 64-bit.
2. Aplikasi Etap 19.0.1
3. Data pada PLTMH Dusun Talang Dikun.

### 3.3 Metode Penelitian

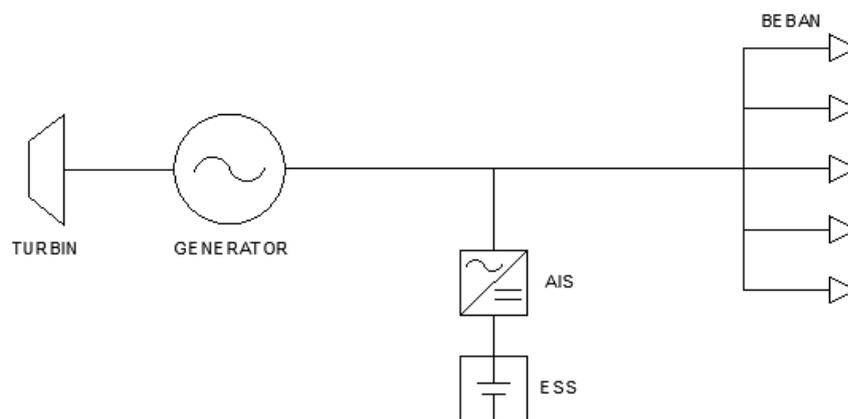
Dalam tugas akhir ini masalah yang dihadapi adalah bagaimana membuat simulasi sistem PLTMH dengan penambahan *Energy Storage System* dengan menggunakan aplikasi etap. Untuk menyelesaikan masalah tersebut akan melalui beberapa langkah, diantaranya sebagai berikut:

#### 1. Studi Literatur

Pada tahap ini, penulis mempelajari dan mengumpulkan literatur mengenai pemodelan dan simulasi PLTMH. Literatur tersebut berasal dari beberapa sumber, seperti buku, jurnal ilmiah, dan penelitian terdahulu.

#### 2. Perancangan sistem PLTMH dengan penambahan ESS dan Adaptive Inverter system

Pada tahap ini dibuat rangkaian sistem PLTMH dengan penambahan ESS. Serta dilakukan perhitungan daya yang dapat dimanfaatkan untuk disimpan ke dalam ESS. Adapun rancangan sistem yang dibuat pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 1 berikut.



Gambar 4. Gambaran Sistem

#### 3. Pengambilan dan Pengolahan Data

Pada tahap ini, pengambilan dan pengolahan data dilakukan dengan melakukan simulasi sistem melalui parameter yang meliputi nilai tegangan dan daya pada sistem. Hasil dari tahap ini adalah menganalisis data daya dan tegangan pada

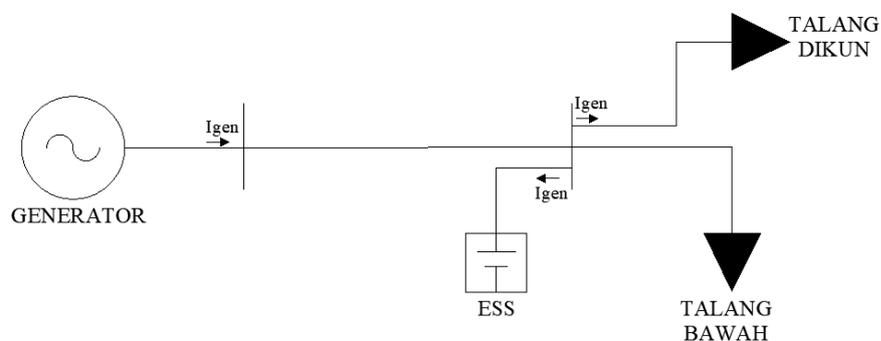
sistem PLTMH dengan penambahan ESS dan *adaptive inverter system* pada aplikasi etap.

#### 4. Pembuatan Laporan

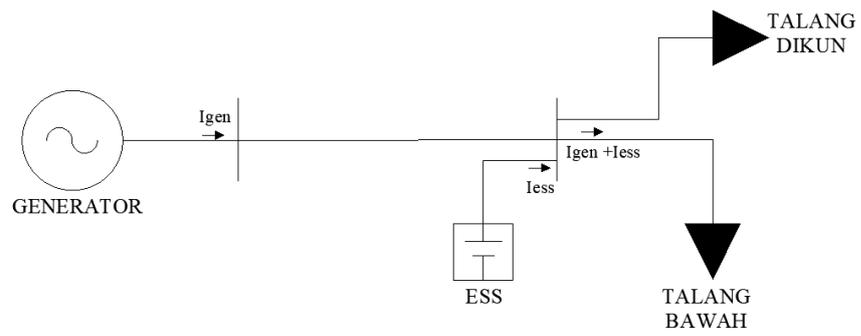
Pada tahap ini penulis menyajikan hasil dari penelitian dalam bentuk laporan akhir. Hasil penelitian ini adalah menganalisis data dari respon tegangan dan daya pada sistem PLTMH dengan penambahan ESS dan *adaptive inverter system* pada aplikasi etap. Laporan ini digunakan sebagai bentuk tanggungjawab penulis terhadap tugas akhir yang telah dilakukan dan digunakan untuk melakukan seminar akhir.

### 3.4 Simulasi dan Pemodelan

Pada tugas akhir ini dilakukan dalam tiga kondisi, kondisi pertama adalah ketika terjadi beban terendah atau suplai daya listrik yang berlebih maka daya listrik yang dihasilkan oleh generator akan dialirkan dan disimpan ke dalam ESS. Kondisi yang kedua adalah ketika terjadi beban penuh daya listrik yang disuplai berasal dari generator serta daya yang telah tersimpan pada ESS. Kondisi yang ketiga adalah dilakukannya penambahan beban pada Dusun Talang Dikun. Berikut ini skema model yang akan dibuat.



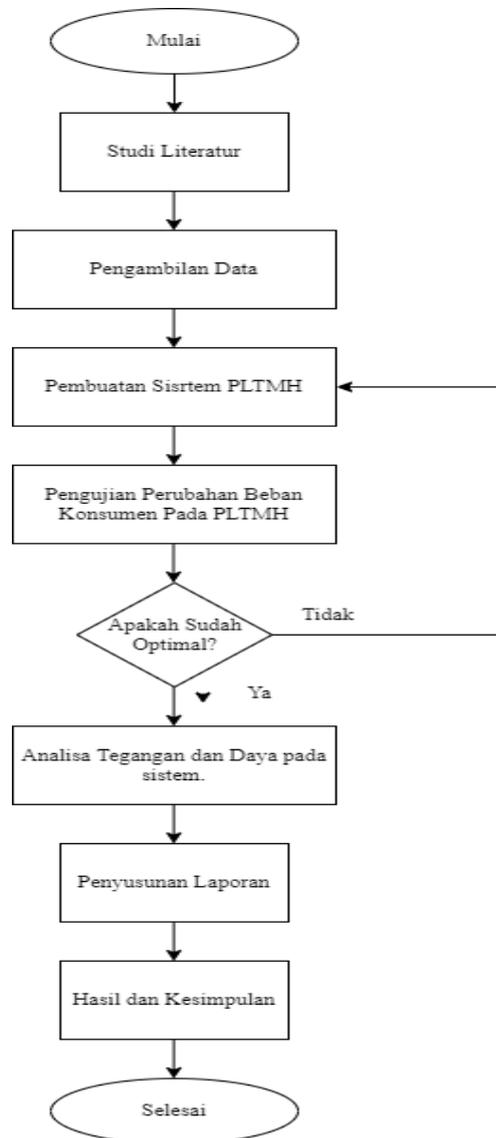
Gambar 5. Skema Sistem PLTMH ketika Beban Terendah



Gambar 6. Skema Sistem PLTMH ketika Beban Penuh dan Penambahan Beban Sistem

### 3.5 Diagram Alir Penelitian

Penyelesaian penelitian ini terdapat beberapa tahapan, untuk mempermudah dalam melaksanakannya diperlukan diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

## **V. PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

Penambahan *Energy Storage* dan *Adaptive Inverter System* pada sistem PLTMH Dusun Talang Dikun mampu meningkatkan efisiensi sistem sebesar 28,9%, mengoptimalkan daya keluaran PLTMH, dan memperbaiki jatuh tegangan pada sistem dengan cara memberikan daya atau menyimpan daya.

### **5.2 Saran**

Saran untuk penelitian selanjutnya dapat membahas kualitas daya dan gangguan dengan adanya penambahan ESS pada sistem PLTMH, serta membahas secara spesifik kontrol antara sistem PLTMH dan ESS.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jong-Suk Ro, dkk. (2020). “Control Methods for Standalone and Grid Connected Micro-Hydro Power Plants With Synthetic Inertia Frequency Support: A Comprehensive Review”. *IEEE Access*, vol.8 2020. No.176313.
- [2] Raja Singh, dkk. (2018). “Review and experimental illustrations of electronic load controller used in standalone Micro-Hydro generating plants”. *Eng. Sci. Tech., Int. J.* <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2018.07.006>.
- [3] Somnath Das, dkk. (2018). “A Control Strategy for Power Management of an Isolated Micro Hydro-PV-Battery Hybrid Energy System”. ICEES. 978-1-5386-3695-4\$31.00.
- [4] T Irna, dkk. (2016). “Load Frequency Control (LFC) of Micro-hydro Power Plant with Capacitive Energy Storage (CES) using Bat Algorithm (BA)”. International Seminar on Application for Technology of Information and Communication. 147-151.
- [5] R Luhtala, dkk. (2017). “Adaptive Control of Grid-Connected Inverters Based on Real-Time Measurements of Grid Impedance: DQ-Domain Approach”. IEEE. 978-1-5090-2998-3/17/\$31.00. 69-75.
- [6] N. Sanampudi dan P. Kanakasabapathy (2020), “Integrated voltage control and frequency regulation for stand-alone micro-hydro power plant”, *Materials Today: Proceedings*, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.403>
- [7] P Paudel dan S Wasti. (2018). “Peak Demand Management in Micro Hydro using Battery Bank”. *Hydro Nepal*. Issue No. 22.
- [8] Purwanto. 2017. “Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PTMH) Sebuah Pilihan”. Jakarta. LIPI. 5-6.

- [9] S Ginting, dkk. (2018). “*Monitoring of Electrical Output Power-Based IoT for Micro-Hydro Power Plant*”. 2-3.
- [10] Abi M, dkk. (2018). “Potensi Energi Tahunan PLTMH Berdasarkan Simulasi Waktu di Sungai Kedung Pasang Kabupaten Pacitan”. Surakarta. E-Jurnal Matriks Teknik Sipil. 205-204
- [11] ADB Avenue. 2018. “Handbook On Battery Energy Storage System”. Manila. Asian Development Bank. 1-13.
- [12] Energy Market Authority.(2019). “Handbook for Energy Storage Systems”. Singapore. EMA
- [13] G Varvara, dkk. (2020). “*Experimental Accuracy Assessment of Energy Storage System Mathematical Model*”. Rusia. IEEE. 110-113. 978-1-7281-9706-7/20/\$31.00
- [14] H Salman, dkk. (2019). “*Hybrid energy storage system for microgrids applications: A review*”. Iran. Journal Energy Storage. 543-570. <https://doi.org/10.1016/j.est.2018.12.017>
- [15] O Mohammed, dkk. (2019). “*Virtual Synchronous Generator: An Overview*”. NIJOTECH. Vol. 38, No. 1, pp. 153 – 164.
- [16] A. Purwadi dan A. Mega. (2021). “*Model Reference Adaptive Control For Single Phase Buck Boost Inverter*”. Surabaya. IPTEK. 148-150. DOI: 10.12962/j20882033.v32i3.6950