

TUGAS AKHIR DIII

ANALISIS SISTEM PROTEKSI PADA *BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM (BESS)* DI PEMBANGKIT LISTRIK *HYBRID* SOLAR SUANA NUSA PENIDA



Oleh :

I Putu Agus Satria Wibawa

NIM. 2015313072

PROGRAM STUDI DIII TEKNIK LISTRIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI BALI

2023

TUGAS AKHIR DIII

Diajukan Untuk Menyelesaikan Program Pendidikan Diploma III

ANALISIS SISTEM PROTEKSI PADA *BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM (BESS)* DI PEMBANGKIT LISTRIK *HYBRID SOLAR* SUANA NUSA PENIDA



Oleh :

I Putu Agus Satria Wibawa

NIM. 2015313072

**PROGRAM STUDI DIII TEKNIK LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI BALI
2023**

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

ANALISIS SISTEM PROTEKSI PADA *BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM (BESS)* DI PEMBANGKIT LISTRIK *HYBRID SOLAR* SUANA NUSA PENIDA

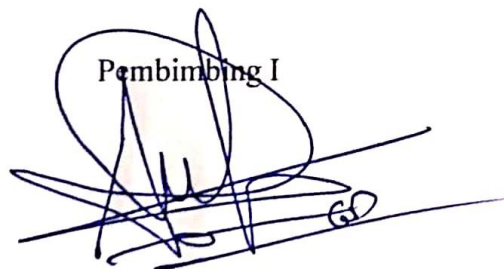
Oleh :

I Putu Agus Satria Wibawa
NIM. 2015313072

Tugas Akhir Ini Diajukan Untuk
Menyelesaikan Program Pendidikan Diploma III
Di
Program Studi DIII Teknik Listrik
Jurusan Teknik Elektro-Politeknik Negeri Bali

Disetujui Oleh :

Pembimbing I



Dr. Ir. I Wayan Jondra, M.Si
NIP. 196807061994031003

Pembimbing II



Ir. I Ketut Suryawan, MT
NIP. 196705081994031001

Disahkan Oleh
Jurusan Teknik Elektro
Ketua



Ir. I Wayan Raka Ardana, M.T.
NIP. 196705021993031005

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI LAPORAN TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : I Putu Agus Satria Wibawa
NIM : 2015313072
Program Studi : D-III Teknik Listrik
Jurusan : Teknik Elektro
Jenis Karya : Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, demikian menyetujui untuk memberikan kepada Politeknik Negeri Bali Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non Exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah yang berjudul: *ANALISIS SISTEM PROTEKSI PADA BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM (BESS) DI PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID SOLAR SUANA NUSA PENIDA* beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Politeknik Negeri Bali berhak menyimpan, mengalihmediakan atau mengalih formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat memublikasikan tugas akhir ini selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jimbaran, 10 September 2023
Yang Menyatakan



I Putu Agus Satria Wibawa
NIM. 2015313072

LEMBAR PERNYATAAN PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : I Putu Agus Satria Wibawa
NIM : 2015313072
Program Studi : D-III Teknik Listrik
Jurusan : Teknik Elektro

Menyatakan sesungguhnya bahwa Laporan Tugas Akhir yang berjudul *ANALISIS SISTEM PROTEKSI PADA BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM (BESS) DI PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID SOLAR SUANA NUSA PENIDA* adalah betul-betul karya sendiri dan bukan menjiplak atau hasil karya orang lain. Hal-hal yang bukan karya saya, dalam Tugas Akhir tersebut diberi tanda citasi dan ditunjukkan dalam daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan Tugas Akhir dan gelar yang saya peroleh dari Tugas Akhir tersebut.

Jimbaran, 10 September 2023
Yang Menyatakan



I Putu Agus Satria Wibawa
NIM. 2015313072

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan ke hadapan Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Penyusunan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Sistem Proteksi Pada *Battery Energy Storage System* (BESS) Di Pembangkit Listrik *Hybrid Solar* Suana Nusa Penida” tepat pada waktunya. Dalam penyusunan tugas akhir, penulis mendapatkan masukan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun secara tidak langsung. Oleh karena itu, melalui kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang maha Esa karena telah memberikan kelancaran dan perlindungan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Orang tua saya yang telah mendukung dan tidak pernah berhenti untuk memberikan doa demi kelancaran tugas akhir saya.
3. Bapak Ir. I Wayan Raka Ardana, MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bali.
4. Bapak I Made Aryasa Wiryawan, ST., MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Listrik Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bali.
5. Bapak, DR. Ir. I Wayan Jondra, M.Si. selaku Dosen Pembimbing I penulis yang telah bersedia membimbing penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.
6. Bapak, Ir. I Ketut Suryawan, MT selaku Dosen Pembimbing II penulis yang telah bersedia membimbing penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.
7. Pimpinan, staf dan karyawan PLHS Suana, yang telah membantu penulis selama proses penyusunan tugas akhir ini, dalam pengumpulan data yang diperlukan untuk menyusun tugas akhir ini.
8. Rekan dengan NIM. 2015744105 yang telah ikut serta meluangkan waktu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Rekan-rekan kelas EBT yang selalu memberikan dukungan selama proses pengerjaan tugas akhir ini.
10. Pihak-pihak lain yang tidak bisa disebutkan satu persatu

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari para pembaca demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi mahasiswa Politeknik Negeri Bali khususnya dan masyarakat umum.

Jimbaran, 10 September 2023

Penulis

I Putu Agus Satria Wibawa

ANALISIS SISTEM PROTEKSI PADA BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM (BESS) DI PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID SOLAR SUANA NUSA PENIDA

ABSTRAK

Battery Energy Storage System (BESS) merupakan salah komponen yang berperan penting dalam menjaga kualitas dan keandalan sistem, khususnya pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Keandalan sebuah sistem kelistrikan merupakan suatu hal yang menjadi prioritas. Salah satu cara untuk mempertahankan keandalannya adalah koordinasi sebuah sistem proteksi yang baik dan benar. Studi ini bertujuan untuk dapat menjabarkan spesifikasi baterai dan mengetahui bagaimana kelayakan sistem proteksi yang telah digunakan. Penjabaran studi ini dilakukan secara kuantitatif dengan analitik deskriptif untuk menganalisis proteksi arus lebih, tegangan lebih dan suhu tinggi pada komponen BESS di PLHS Suana Nusa Penida. Analisis dilakukan dengan membandingkan spesifikasi proteksi pada komponen dengan perhitungan yang telah dilakukan. Baterai yang digunakan pada sistem ini berjenis *lithium-ion phosphate*. Pada sistem proteksi arus lebih, nilai arus nominal yang terpasang 32A lebih rendah dari yang seharusnya 1032A dengan *capacity breaking* 200kA. Perbedaan ini mengakibatkan adanya penurunan daya konversi sebesar 34,7kW. Proteksi terhadap tegangan lebih memiliki tingkat pengamanan yang baik, spesifikasi arus pelepasan (8/20 μ s) 20 kA dengan level proteksi tegangan 3,2kV. BESS menggunakan sistem pendingin cairan yang mampu menjaga komponen berada pada suhu rata-rata permukaan 23.86-31.32 C° dimana suhu ini masih di bawah maksimal suhu yang diizinkan senilai 50 C°

Kata kunci : BESS, Proteksi, Arus lebih, Tegangan lebih, Suhu tinggi,

ABSTRACTION

Battery Energy Storage System (BESS) is a component that plays a vital role in maintaining system quality and reliability, especially in Solar Power Plants. The reliability of an electrical system is a matter of priority. One way to maintain reliability is to coordinate a good and correct protection system. This study aims to describe the specifications of the battery and find out how the feasibility of the protection system has been used. Description This study was carried out quantitatively with descriptive analysis to analyze overcurrent, overvoltage, and high-temperature protection of components best PLHS Suana Nusa Penida. The analysis is carried out by comparing the protection specifications on the components with the calculations that have been done. The battery used in this system is a lithium-ion phosphate type. In the overcurrent protection system, the installed nominal current is 32 A lower than it should be 1032A with a breaking capacity of 200kA. This difference results in a decrease in conversion power of 37.7kW. Overvoltage protection has a good level of protection, the discharge current specification (8/20 μ s) is 20 kA with a voltage protection level of 3.2kV. BESS uses a liquid cooling system that can keep components at an average surface temperature of 23.86-31.32 C° where this temperature is still below the maximum permitted temperature of 50 C°

Keywords: BESS, Protection, overcurrent, overvoltage, high temperature

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	iii
LEMBAR PERNYATAAN PLAGIARISME	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
1.1 Latar Belakang Masalah	I-1
1.2 Rumusan Masalah.....	I-2
1.3 Tujuan Tugas Akhir	I-2
1.4 Manfaat Tugas Akhir	I-3
1.5 Batasan Tugas Akhir.....	I-3
1.6 Sistematika Tugas Akhir.....	I-3
BAB II LANDASAN TEORI.....	II-1
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	II-1
2.1.1 Prinsip Kerja Sel Surya.....	II-1
2.1.2 Sistem Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya	II-2
2.1.3 Sistem Distribusi Pembangkit Listrik Tenaga Surya	II-4
2.1.4 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	II-5
2.2 <i>Energy Storage System</i> (ESS).....	II-7
2.2.1 <i>Battery Energy System Storage</i> (BESS)	II-8
2.2.2 Komponen BESS	II-9
2.3 Sistem Proteksi	II-13
2.3.1 Tujuan Sistem Proteksi	II-13
2.3.2 Syarat Sistem Proteksi	II-14
2.3.3 Gangguan Sistem Tenaga Listrik.....	II-14
2.3.4 Upaya Mengatasi Gangguan.....	II-16
2.3.5 Sistem Proteksi Arus Lebih	II-17

2.3.6	Sistem Proteksi Tegangan Lebih	II-22
2.3.7	Sistem Proteksi Suhu Tinggi.....	II-30
BAB III METODOLOGI.....		III-1
3.1	Jenis Penelitian	III-1
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian.....	III-1
3.3	Tahap Penelitian	III-1
3.4	Pengumpulan Data.....	III-2
3.4.1	Data Primer	III-2
3.4.2	Data Sekunder.....	III-3
3.5	Pengolahan Data	III-3
3.6	Analisis Data.....	III-3
3.7	Hasil Yang Diharapkan.....	III-4
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....		IV-1
4.1	Gambaran Umum <i>Battery Energy Storage System</i> (BESS).....	IV-1
4.2	Pembahasan	IV-4
4.2.1	Data <i>Cubicle Battery</i>	IV-4
4.2.2	Data Inverter <i>Battery</i>	IV-5
4.2.3	Data Fuse	IV-6
4.2.4	Dara <i>Surge Protection Device</i>	IV-7
4.2.5	Data Transformator.....	IV-7
4.2.6	Data Suhu <i>Battery</i>	IV-7
4.2.7	Perhitungan Proteksi Arus Lebih.....	IV-11
4.2.8	Perhitungan Proteksi Tegangan Lebih.....	IV-13
4.3	Analisis	IV-14
4.3.1	Analisis Spesifikasi Baterai	IV-14
4.3.2	Analisis Sistem Proteksi Arus Lebih	IV-15
4.3.3	Analisis Sistem Proteksi Tegangan Lebih	IV-17
4.3.5	Analisis Sistem Proteksi Suhu Tinggi	IV-18
BAB V PENUTUP		V-1
5.1	Kesimpulan	V-1
5.2	Saran	V-2
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya ^[5]	II-2
Tabel 2. 2 Jenis-jenis sel surya ^[8]	II-6
Tabel 2. 3 Jenis-jenis baterai ^[1]	II-10
Tabel 2. 4 <i>Rated Impulse Voltage</i> ^[30]	II-30
Tabel 3. 1 Data primer yang diperlukan.....	III-2
Tabel 3. 2 Data sekunder yang diperlukan.....	III-3
Tabel 4. 1 Data <i>Cubicle Battery Energy Storage System</i> (BESS).....	IV-4
Tabel 4. 2 Data Rangkaian BESS	IV-4
Tabel 4. 3 Data Inverter <i>Battery</i>	IV-5
Tabel 4. 4 Data spesifikasi fuse yang terpasang	IV-6
Tabel 4. 5 Data spesifikasi SPD yang terpasang.....	IV-7
Tabel 4. 6 Data Transformator	IV-7
Tabel 4. 7 Suhu <i>Cubicle</i> 1	IV-8
Tabel 4. 8 Suhu <i>Cubicle</i> 2	IV-8
Tabel 4. 9 Suhu <i>Cubicle</i> 3.....	IV-8
Tabel 4. 10 Suhu <i>Cubicle</i> 4.....	IV-9
Tabel 4. 11 Suhu <i>Cubicle</i> 5.....	IV-9
Tabel 4. 12 Suhu <i>Cubicle</i> 6.....	IV-9
Tabel 4. 13 Suhu <i>Cubicle</i> 7	IV-10
Tabel 4. 14 Suhu <i>Cubicle</i> 8.....	IV-10
Tabel 4. 15 Suhu <i>Cubicle</i> 9.....	IV-10

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Cara Kerja Sel Surya ^[4]	II-1
Gambar 2. 2 Diagram PLTS <i>off-grid</i> ^[5]	II-3
Gambar 2. 3 Diagram PLTS <i>on-grid</i> ^[5]	II-3
Gambar 2. 4 Sistem distribusi <i>AC-coupling</i> ^[6]	II-4
Gambar 2. 5 Sistem distribusi <i>DC-coupling</i> ^[6]	II-5
Gambar 2. 6 (a) Inverter PV ^[9] , (b) Inverter Baterai ^[10]	II-7
Gambar 2. 7 Struktur <i>Energy Storage System</i> (ESS) ^[1]	II-8
Gambar 2. 8 Baterai ^[4]	II-9
Gambar 2. 9 Transformator ^[14]	II-12
Gambar 2. 10 Karakteristik NH Fuse 1000A 690/700V ^[22]	II-18
Gambar 2. 11 <i>Fuse Cut-Off</i> ^[23]	II-19
Gambar 2. 12 NH Fuse ^[22]	II-20
Gambar 2. 13 Karakteristik <i>arrester</i> ^[26]	II-24
Gambar 2. 14 Elemen-elemen <i>arrester</i> jenis ekspulsi ^[27]	II-25
Gambar 2. 15 Elemen-elemen <i>arrester</i> jenis katup ^[27]	II-26
Gambar 2. 16 Sistem pendingin udara ^[33]	II-31
Gambar 2. 17 Sistem pendingin cairan ^[33]	II-32
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> Tahapan Penelitian.....	III-2
Gambar 4. 1 <i>Single line</i> diagram PLHS Suana	IV-2
Gambar 4. 2 Diagram Beban Nusa Penida.....	IV-3
Gambar 4. 3 SLD <i>Battery Energy</i>	IV-5
Gambar 4. 4 SLD Inverter <i>Battery</i>	IV-6
Gambar 4. 5 Diagram Suhu Permukaan masing-masing <i>cubicle</i>	IV-18

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Single Line Diagram Inverter Baterai	L-1
Lampiran 2.	Single Line Diagram Baterai	L-2
Lampiran 3.	Single Line Diagram PLHS Suana	L-3
Lampiran 4.	Datasheet Baterai.....	L-4
Lampiran 5.	Datasheet Inverter Baterai	L-6
Lampiran 6.	Datasheet Surge Protection Device	L-7
Lampiran 7.	Datasheet Kabel.....	L-8
Lampiran 8.	Data Arus Pada Masing-Masing Baterai Pada Tanggal 26 Juni 2023.....	L-9
Lampiran 9.	Data Hasil Pengukuran Suhu Permukaan Pada Masing-Masing Baterai Pada Tanggal 26 Juni 2023.....	L-10
Lampiran 10.	Data daya yang dibangkitkan PLHS dan PLTD tanggal 30 April 2023.....	L14
Lampiran 11.	Dokumentasi.....	L-15

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Keandalan sebuah sistem kelistrikan merupakan suatu hal yang menjadi prioritas utama. Terutama pada sistem pembangkit dan jaringan distribusi yang menjadi pemasok aliran daya menuju beban. Pentingnya menjaga keandalan sistem pembangkit dan distribusi guna mempertahankan keberlanjutan tenaga listrik menuju beban. Salah satu cara untuk mempertahankan keandalan koordinasi sebuah sistem proteksi yang baik dan benar pada sistem kelistrikan adalah dengan memperhatikan sistem proteksi yang digunakan. *Battery Energy Storage System* (BESS) merupakan salah satu komponen sistem tenaga listrik yang berperan sebagai penyimpanan daya khususnya pada pembangkit energi baru terbarukan [1]. BESS berperan sangat penting dalam menjaga kualitas dan keandalan sebuah sistem tenaga listrik, akan tetapi *Battery Energy Storage System* (BESS) dapat mengalami sebuah gangguan yang berakibat sangat fatal. Gangguan yang bisa terjadi pada sistem berupa gangguan hubung singkat, beban lebih, surja petir, dan lain-lain. Gangguan tersebut dapat menyebabkan terganggunya operasional dan kerusakan peralatan pada sistem tenaga listrik. Pada kerusakan yang lebih parah dapat mengakibatkan kegagalan sistem dan kerugian materiil dalam skala besar. Untuk menghindari efek kerusakan dan kerugian yang lebih besar, maka diperlukan suatu sistem proteksi tenaga listrik yang dapat beroperasi secara cepat dalam mengisolasi gangguan. Sistem proteksi memiliki fungsi untuk menjaga sistem tenaga listrik selalu stabil selama sistem berjalan, dengan cara mengenali gangguan yang terjadi dan memisahkan bagian sistem yang terganggu dari bagian lain yang masih dapat bekerja normal [2]. Dengan perkembangan sistem tenaga listrik yang semakin besar dan kompleks dibutuhkan kinerja sistem proteksi yang handal, sehingga dapat menjamin bahwa setiap gangguan yang terjadi pada sistem dapat diamankan dengan cepat. Jika adanya keterlambatan atau kegagalan dalam memisahkan bagian yang terganggu dapat menimbulkan kerugian baik dari sisi konsumen maupun dari sisi penyedia tenaga listrik.

Pembangkit Listrik *Hybrid Solar* Suana, Nusa Penida merupakan salah satu pembangkit yang mendistribusikan daya untuk pulau Nusa Penida dan sekitarnya.

Pembangkit *Solar PV* yang dikombinasikan dengan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel memiliki kapasitas 4,2 MWp dan dilengkapi dengan *Battery Energy Storage System* (BESS) dengan kapasitas 3,3 MW menjadi *smoothing* daya pada saat meningkatnya konsumsi daya yang dibarengi dengan penurunan daya yang dihasilkan oleh pembangkit. Pada penelitian tugas akhir ini dengan judul “Analisis Sistem Proteksi *Pada Battery Energy Storage System* (BESS) Di Pembangkit Listrik *Hybrid Solar* Suana Nusa Penida” akan diadakan studi tentang sistem proteksi yang terpasang pada BESS di Pembangkit Listrik *Hybrid Solar* Suana, Nusa Penida guna mengetahui kesesuaian sistem proteksi yang terpasang terhadap sistem yang dilindungi. Sistem proteksi yang dikaji meliputi sistem proteksi arus lebih, tegangan lebih, dan suhu tinggi. Sehingga sistem proteksi yang terpasang perlu disesuaikan agar lebih handal dalam mengamankan sistem kelistrikan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. Bagaimana spesifikasi baterai pada sistem *Battery Energy Storage System* di Pembangkit Listrik *Hybrid Solar* Suana Nusa Penida.
2. Apakah sistem proteksi arus lebih yang digunakan telah sesuai pada sistem *Battery Energy Storage System* di Pembangkit Listrik *Hybrid Solar* Suana Nusa Penida.
3. Apakah sistem proteksi tegangan lebih yang digunakan telah sesuai pada sistem *Battery Energy Storage System* di Pembangkit Listrik *Hybrid Solar* Suana Nusa Penida.
4. Apakah sistem proteksi suhu tinggi yang digunakan mampu menjaga suhu baterai dalam keadaan optimal pada sistem *Battery Energy Storage System* di Pembangkit Listrik *Hybrid Solar* Suana Nusa Penida.

1.3 Tujuan Tugas Akhir

Adapun tujuan dari analisis sistem proteksi pada *Battery Energy Storage System* di Pembangkit Listrik *Hybrid Solar* Suana Nusa Penida sebagai berikut:

1. Dapat menganalisis spesifikasi baterai pada sistem *Battery Energy Storage System* di Pembangkit Listrik *Hybrid Solar* Suana Nusa Penida.
2. Dapat menganalisis sistem proteksi arus lebih pada sistem *Battery Energy Storage System* Di Pembangkit Listrik *Hybrid Solar* Suana Nusa Penida.

3. Dapat menganalisis sistem proteksi tegangan lebih pada sistem *Battery Energy Storage System* Di Pembangkit Listrik *Hybrid Solar* Suana Nusa Penida.
4. Dapat menganalisis sistem proteksi suhu tinggi pada sistem *Battery Energy Storage System* Di Pembangkit Listrik *Hybrid Solar* Suana Nusa Penida.

1.4 Manfaat Tugas Akhir

Dengan dilakukannya penelitian ini maka, penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dalam pendidikan baik secara langsung maupun tidak langsung. Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi Pembaca
Penelitian ini dapat memberikan informasi bagi pembaca tentang sistem proteksi pada *Battery Energy Storage System*
2. Bagi Lembaga.
Penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi bagi penelitian berikutnya yang lebih mendalam pada masa yang akan datang.

1.5 Batasan Tugas Akhir

Untuk memfokuskan permasalahan selama pembuatan tugas akhir agar permasalahan yang ada tidak keluar dari pokok pembahasan, maka diperlukan adanya Batasan masalah sebagai berikut :

1. Data yang digunakan adalah data dari Pembangkit Listrik *Hybrid Solar* Suana PT. Indonesia Power.
2. Pembahasan hanya menganalisis spesifikasi baterai, sistem proteksi arus lebih yang diakibatkan peningkatan jumlah beban, tegangan lebih, dan suhu tinggi pada *Battery Energy Storage System* di Pembangkit Listrik *Hybrid Solar* Suana.
3. Sistem proteksi arus lebih dan tegangan lebih yang ditelaah adalah pada sisi tegangan AC.

1.6 Sistematika Tugas Akhir

Adapun sistematika penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Merupakan bagian yang berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika tugas akhir.

BAB II : LANDASAN TEORI

Merupakan bagian yang berisikan tentang teori-teori dasar yang menunjang dalam pembahasan.

BAB III : METODOLOGI

Merupakan bagian yang berisi tentang tempat, waktu penelitian, teknik pengumpulan data, jenis data yang diperlukan, teknik pengolahan data, dan alur penelitian.

BAB IV : PEMBAHASAN DAN ANALISIS

Merupakan bagian yang berisikan tentang spesifikasi baterai, nilai proteksi arus lebih, tegangan lebih, dan sistem proteksi suhu.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan bagian yang berisikan tentang kesimpulan serta saran dari keseluruhan pembahasan dan analisis data.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis terhadap masalah yang terjadi, dapat ditarik sebuah kesimpulan sebagai berikut :

1. Baterai yang digunakan pada *Battery Energy Storage System* (BESS) di Pembangkit Listrik *Hybrid Solar* Suana Nusa Penida berjenis *Lithium Ion* dengan kapasitas 3.3MW. Pemilihan baterai ini didasari dengan tingginya nilai efisiensi yang mendekati 100% dibandingkan dengan baterai jenis lain. Dengan siklus baterai >1.000 kali dan masa pakai baterai dapat mencapai 10-15 tahun. Ini dapat mendukung fungsi BESS pada PLHS Suana sebagai *smoothing* daya yang memerlukan siklus baterai yang tinggi.
2. Karakteristik fuse yang terpasang pada komponen BESS dengan nilai arus nominal 1.000 Ampere dan I_{hs} sebesar 200kA. Sistem yang terpasang sudah dapat melindungi dari arus beban lebih yang dapat terjadi pada inverter dan baterai berdasarkan kapasitas komponen masing-masing tanpa merusak sistem proteksi yang digunakan. Namun fuse yang digunakan dengan nilai 1.000 Ampere dapat menurunkan besaran daya yang dapat dikonversi oleh inverter sebesar 34,7kW yang seharusnya nilai arus nominal untuk maksimal daya yang dapat dikonversi sebesar 1032 Ampere.
3. Sistem proteksi tegangan lebih pada BESS menggunakan *Surge Protection Device*. Jenis proteksi ini digunakan untuk sistem tenaga listrik tegangan renda. *Surge Protection Device* yang terpasang memiliki karakteristik tegangan operasi maksimum sebesar 750 V, Arus pelepasan dengan surja (8/20 μ s) sebesar 20kA, dan *Voltage Protection Rating* sebesar 3.2kV. Nilai kapasitas arus pelepasan yang terpasang lebih besar dari nilai arus yang dapat terjadi sebesar 5.540,26 Ampere dan *Voltage Protection Rating* dibawah 6kV dari batas yang diizinkan . Sistem proteksi ini sudah cukup baik untuk melindungi komponen BESS terhadap lonjakan tegangan yang dapat terjadi.
4. Sistem proteksi terhadap suhu tinggi yang terdapat pada BESS menggunakan jenis *Liquid cooling*. Sistem ini memberikan perlindungan baterai terhadap suhu tinggi yang diakibatkan oleh meningkatnya arus operasional baterai. Sistem ini

menjaga suhu baterai berada di bawah suhu maksimal operasional yang diizinkan. Suhu permukaan baterai yang tercatat selama operasional berada pada angka 23.86-31.32 C° dengan arus baterai rata-rata 15.29 Ampere. Ini mengindikasikan saat ini sistem dapat beroperasi dengan baik untuk tetap menjaga suhu baterai dalam keadaan ideal untuk menjaga siklus umur baterai.

5.2 Saran

Untuk meningkatkan keandalan sistem proteksi yang digunakan dapat dilakukan beberapa perubahan sebagai berikut :

1. Peningkatan nilai arus nominal sistem proteksi arus lebih pada BESS untuk memaksimalkan daya yang dapat dikonversi oleh inverter.
2. Perlu dilakukan kajian kembali untuk sistem proteksi pada sisi tegangan Dc untuk memastikan kelayakan sistem proteksi yang digunakan tanpa terpengaruh oleh proteksi beban Ac.
3. Perlu dilakukan kajian kembali pada sistem proteksi suhu tinggi pada BESS pada saat kondisi baterai dalam keadaan *charging* atau *discharging* dengan nilai arus maksimal.
4. Untuk mencari nilai kalkulasi yang lebih detail dapat menggunakan *software* ETAP (*Electric Transient Analysis Program*) agar mendapatkan *koefisien-koefisien* yang lebih baik dan mengurangi adanya *human error* pada saat kalkulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Indriani and I. Garniwa, “Optimasi *Battery Energy Storage System* Dalam Mengatasi *Renewable Energy Intermittency* dan *Load Leveling*,” *Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)*, vol. 4, no. 1, pp. 11–20, Mar. 2022, doi: 10.32528/elkom.v4i1.7216.
- [2] A. Azis, D. Irine, and K. Febrianti, “Analisis Sistem Proteksi Arus Lebih Pada Penyulang Cendana Gardu Induk Bungaran Palembang,” *Jurnal Ampere*, vol. 4, no. 2, 2019.
- [3] A. N. Afandi *et al.*, “Rancang Bangun *Off-Grid System* Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Sebagai Modul Pembelajaran Bagi Mahasiswa Universidade Oriental De Timor Lorosa’e (*Unital*)”. Teknik Elektro, Universitas Negeri Malang, Des. 2021 [Online]. Available: www.researchgate.net (Accessed : 20 juni 2023)
- [4] J. Heri and S. T. Mt, “Pengujian Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Solar Cell* Kapasitas 50wp.” *Jurnal Teknik Bidang Teknik*, vol.3, no 1, 2012
- [5] Kurniawan, Izaf Aulia, “Analisa Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Pemanfaatan Lahan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Paiton,” Department Of Engineering Physics Faculty Of Industrial Technology Sepuluh Nopember Institute Of Technology Surabaya, Surabaya, 2016.
- [6] F. Lo Franco, A. Morandi, P. Raboni, and G. Grandi, “Efficiency comparison of DC and AC coupling solutions for large-scale PV+BESS power plants,” *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 16, Aug. 2021, doi: 10.3390/en14164823.
- [7] B. Hari Purwoto, M. F. Alimul, and I. Fahmi Huda, “Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif.” *Jurnal Teknik Elektro*, vol.18, no 1, pp. 10-14, 2018
- [8] T. Alamsyah, A. Hiendro, And Z. Abidin, “Analisis Potensi Energi Matahari Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Panel *MonoCrystalline* Dan *Poly-Crystalline* Di Kota Pontianak Dan Sekitarnya,” Universitas Tanjungpura Pontianak, Pontianak, 2021

- [9] Huawei, “SUN2000-215KTL-H0 Smart String Inverter”. [online].available : <https://solar.huawei.com/> (Accessed : 27 juni 2023)
- [10] Hitachi ABB, “PS1000 utility-grade power conversion system” .[online].available : <https://search.abb.com/library/Download> (Accessed : 27 juni 2023)
- [11] Z. Salam and A. Ab. Rahman, “Efficiency for photovoltaic inverter: A technological review,” in *2014 IEEE Conference on Energy Conversion (CENCON)*, IEEE, Oct. 2014, pp. 175–180. doi: 10.1109/CENCON.2014.6967497.
- [12] M. T. Lawder *et al.*, “Battery energy storage system (BESS) and battery management system (BMS) for grid-scale applications,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 102, no. 6, pp. 1014–1030, 2014, doi: 10.1109/JPROC.2014.2317451.
- [13] Yaved Pasereng Tondok, “Perencanaan Transformator Distribusi 125 kVA” *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, Vol.8, No.2 Mei-Agustus 2019
- [14] Trafoindonesia, “Trafoindo catalogue oil immersed transformers” .[online].available : <https://www.trafoindonesia.com/pdf/> (Accessed : 27 juni 2023)
- [15] Wahyudi Sarimun, “Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik”, I. Bekasi: Garamond, 2012.
- [16] F. M. Posundu, L. S. Patras, I. F. Lisi, and M. Tuegeh, “Penentuan Kapasitas CB Dengan Analisa Hubung Singkat Pada Jaringan 70 kV Sistem Minahasa.” *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, Vol.2, No.1, 2013
- [17] Umar Nur, Aleks, “Analisis Setelan Relai Arus Jaringan 20 Kv Pada Gardu Induk Pare-Pare” Universitas Muhammadiyah Makassar, Makasar, 2018
- [18] T. Aryanto and S. Sunardiyo, “Frekuensi Gangguan Terhadap Kinerja Sistem Proteksi di Gardu Induk 150 KV Jepara.” *Jurnal Teknik Elektro*, Vol. 5, No. 2, Juli - Desember 2013
- [19] A. S. Sampeallo and P. J. Fischer, “Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Jaringan Pemakaian Sendiri Pltu Bolok Pt. Smse (Ipp) Unit 3 Dan 4 Menggunakan Software Etap 12.6.0.” *Jurnal Media Elektro*, Vol.8, No.1, 2019

- [20] J. Anttila, “Automating of Low Voltage Network Fuse Protection Planning,” M.S. Tesis, Aalto University, Otaniemi 2019. [Online]. Available: www.aalto.fi (Accessed : 30 juni 2023)
- [21] D. Guna Melengkapi Sebagian Syarat, “Analisis Short Circuit Untuk Pemilihan Fuse Link Pada Sistem 1 Fasa Sutm 20 Kv Di Desa Tubanan Rayon Bangsri,” Universitas Islam Nahdlatul Ulama, Jepara, 2019
- [22] SIBA, “Fuses For Semiconductor Protection Selection Ac 690/700 V Guide.” [Online]. Available: <http://www.sibafuse.cn/> (Accessed : 30 juni 2023)
- [23] Eaton, “ Current-Limiting-Fuses,” [Online]. Available: <https://www.eaton.com/> (Accessed : 30 juni 2023)
- [24] H. Yani, N. Aminah, Nofiansah, and M. Oktarani, “Analysis of Breaking Capacity Calculation on Busbar Room Panel at PT Trias Indra Saputra,” *International Journal of Research in Vocational Studies (IJRVOCAS)*, vol. 2, no. 3, pp. 44–50, Dec. 2022, doi: 10.53893/ijrvocas.v2i3.141.
- [25] A. Hsb, A. Hasibuan, “Penentuan Nilai Arus Pemutusan Pemutus Tenaga Sisi 20 KV pada Gardu Induk 30 MVA Pangururan,” *Journal Of Electrical Technology*, Vol.3, No.1, 2018.
- [26] Tasbir. Muh, “Analisa Peralatan *Lightning Arrester* Pada Gardu Induk Bolangi 150 Kv.” Universitas Muhammadiyah Makassar, Makasar, 2020
- [27] Ir. T. S. Hutaeruk M.E.E, “Gelombang Berjalan Dan Proteksi Surja”, I. Jakarta: ERLANGGA, 1991.
- [28] A. Rousseau and P. Gruet, “Surge protective devices selection for true installations,” in *2010 30th International Conference on Lightning Protection (ICLP)*, IEEE, Sep. 2010, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICLP.2010.7845929.
- [29] Društvo za Telekomunikacije, “Instalacija uređaja za zaštitu od prenapona u električnim instalacijama”, *19th Telecommunications Forum (TELFOR)*, 2011 22-24 Nov. 2011, Belgrade, Serbia.

- [30] K. Parmenter and J. Spangler, "Proper Design of the Power Supply's Input EMI Filter Protects against Power Line Transients," *Power Sources Manufacturers Association*, Dec. 2018. [Online]. Available: https://www.pσμα.com/HTML/newsletter/Q1_2019/page12.html (Accessed : 1 juli 2023)
- [31] F. Leng, C. M. Tan, and M. Pecht, "Effect of Temperature on the Aging rate of Li Ion Battery Operating above Room Temperature," *Sci Rep*, vol. 5, Aug. 2015, doi: 10.1038/srep12967.
- [32] Merinda. Laurien, "Analisis Manajemen Termal Pada Sistem Pendingin Sel Baterai Li-Ion Bentuk Prismatik Dengan Variasi Laju Aliran Massa Dan Lebar Channel Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD)." Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017
- [33] Warner, Jon. "The Handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design." XALT Energy, Midland, MI, USA
- [34] Hardani, "Metode Penelitian Kualitatif & Kuantitatif", 1st ed. Mataram: CV. Pustaka Ilmu Group Yogyakarta, 2020.