

LAPORAN TUGAS AKHIR / CAPSTONE DESIGN

HyCos: Perancangan *Hybrid Charge Controller System* sebagai Sinkronisasi Penyelaras Daya pada PLTS, PLTB, dan PLTMH



Penyusun:

Annisa Hasna Bilqis Azizah (18524084)

Dina Indri Astuti Risqi Anggraini (18524138)

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta

2022

HALAMAN PENGESAHAN

**HyCos: Perancangan *Hybrid Charge Controller System*
sebagai Sinkronisasi Penyelaras Daya pada PLTS, PLTB,
dan PLTMH**

Penyusun:

Annisa Hasna Bilqis Azizah (18524084)

Dina Indri Astuti Risqi Anggraini (18524138)

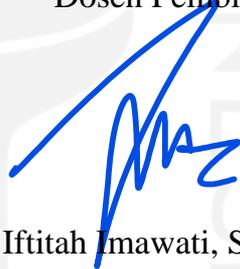
Yogyakarta, 25 Juli 2022

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2


Dr. Eng. Hendra Setiawan, S.T., M.T.

NIK. 025200526


Iftitah Imawati, S.T., M.Eng.

NIP. 215241301

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta

2022

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

HyCos: Perancangan *Hybrid Charge Controller System* sebagai Sinkronisasi Penyelaras Daya pada PLTS, PLTB, dan PLTMH



Disusun oleh:

Annisa Hasna Bilqis Azizah 18524084

Dina Indri Astuti Risqi Anggraini 18524138

Telah dipertahankan di depan dewan penguji
pada tanggal: 03 Agustus 2022

Susunan Dewan Penguji

Ketua Penguji

: Dr. Eng. Hendra Setiawan, S.T., M.T.

Anggota Penguji 1

: Husein Mubarak, S.T., M.Eng.

Anggota Penguji 2

: Deny Krisnanto, S.T.

Tugas akhir ini telah disahkan sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Tanggal: 03 Agustus 2022

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Yusuf Amrullah, S.T., M.Eng., Ph.D.

045240101

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini kami menyatakan bahwa:

1. Tugas Akhir ini tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar kesarjaan di suatu perguruan tinggi lainnya, dan sepanjang pengetahuan kami juga tidak mengandung karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi Tugas Akhir yang terkait hak milik, hak intelektual, paten merupakan milik bersama antaraa tiga pihak, yaitu penulis, dosen pembimbing, dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal ini, penggunaan informasi dan materi Tugas Akhir terkait paten maka akan didiskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak tersebut di atas.

Yogyakarta, 03 Agustus 2022



Annisa Hasna Bilqis Azizah (18524084)



Dina Indri Astuti Risqi Anggraini (18524138)

DAFTAR ISI

| | |
|---|-----------|
| HALAMAN PENGESAHAN | 2 |
| LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR | 3 |
| LEMBAR PERNYATAAN | 4 |
| DAFTAR ISI..... | 5 |
| RINGKASAN TUGAS AKHIR | 6 |
| BAB 1 : Definisi Permasalahan..... | 7 |
| BAB 2 : Observasi | 9 |
| BAB 3 : Usulan Perancangan Sistem..... | 12 |
| 3.1 Usulan Rancangan Sistem | 12 |
| 3.2 Metode Uji Coba dan Pengujian Usulan Rancangan Sistem | 20 |
| BAB 4 : Hasil Perancangan Sistem..... | 22 |
| 4.1 Kesesuaian Usulan dan Hasil Perancangan Sistem | 22 |
| 4.2 Kesesuaian Perencanaan dalam Manajemen Tim dan Realisasinya | 25 |
| 4.3 Analisis dan Pembahasan Kesesuaian antara Perencanaan dan Realisasi..... | 27 |
| BAB 5 : Implementasi Sistem dan Analisis..... | 28 |
| 5.1 Hasil dan Analisis Implementasi..... | 28 |
| 5.1.1 Pengujian 1: Pembangkit dengan 1 Sumber ON dan 2 Sumber OFF..... | 28 |
| 5.1.2 Pengujian 2: Pembangkit dengan 2 Sumber ON dan 1 Sumber OFF..... | 33 |
| 5.1.3 Pengujian 3: Pembangkit dengan 3 Sumber ON..... | 40 |
| 5.2 Pengalaman Pengguna | 47 |
| 5.3 Dampak Implementasi Sistem..... | 47 |
| 5.3.1 Teknologi..... | 47 |
| 5.3.2 Sosial | 48 |
| 5.3.3 Ekonomi | 49 |
| 5.3.4 Lingkungan | 49 |
| 5.3.5 Politik..... | 49 |
| BAB 6 : Kesimpulan dan Saran | 50 |
| 6.1 Kesimpulan | 50 |
| 6.2 Saran..... | 50 |
| DAFTAR PUSTAKA | 51 |
| LAMPIRAN – LAMPIRAN..... | 53 |

RINGKASAN TUGAS AKHIR

Indonesia merupakan negara dengan sumber kekayaan alam yang melimpah dengan potensi energi bersih dan terbarukan yang tinggi, seperti surya, air, angin, bioenergi, dan lain-lain. Potensi ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar pengganti yang ramah lingkungan sehingga dapat dijadikan sebagai salah satu kontribusi untuk menanggapi masalah terjadinya krisis energi. Berdasarkan target Indonesia yang tertuang dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) dan Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 maka diperlukan pembangunan proyek pembangkit EBT, salah satunya pembangunan pembangkit listrik EBT yang diantaranya merupakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Adapun ketiga sumber pembangkit tersebut memiliki sumber daya yang bervariasi dan cenderung fluktuatif tergantung dari pengaruh cuaca, temperatur, curah hujan, angin, dan lain-lain. Hal tersebut tentu sangat mempengaruhi kinerja dari pembangkit listrik EBT. Oleh karena itu, diperlukan sistem *controller* sebagai penyalur daya yang berfungsi untuk menstabilkan tegangan *output* yang fluktuatif agar dihasilkan daya yang lebih optimal dengan *losses* daya yang kecil. Adapun upaya yang dapat dilakukan oleh penulis yaitu membuat perancangan *hybrid charge controller system* (HyCos) sebagai sinkronisasi (penggabungan) penyalur daya pada PLTS, PLTB, dan PLTMH. Hasil dari perancangan tersebut didapatkan data bahwa sistem HyCos mampu bekerja selama 24 jam dengan daya operasional sistem sebesar 12V DC dan mampu bekerja dengan daya maksimum 300W. Terdapat media penyimpanan daya berupa baterai LiFePo₄ 12,8V yang dilengkapi dengan *battery management system* (BMS) sebagai sistem proteksi pada manajemen suplai daya baterai.

Hasil implementasi pengujian pada HyCos, diperoleh data bahwa tegangan operasional sistem mampu bekerja dengan konsumsi operasional daya <10%, hal ini dapat mengoptimalkan daya yang dihasilkan oleh hasil sinkronisasi ketiga pembangkit PLTS, PLTB, dan PLTMH. Adapun hasil pengujian sinkronisasi sistem ketiga sumber daya pembangkit terhadap beban DC diperoleh persentase rata-rata kontribusi setiap pembangkit yaitu pada PLTS 11,61%, PLTB 85,43%, dan PLTMH 48,20% dengan rata-rata arus *charging* hasil sinkronisasi sistem sebesar 0,73A. Sedangkan pengujian terhadap beban AC diperoleh persentase rata-rata kontribusi setiap pembangkit yaitu pada PLTS 4,22%, PLTB 41,17%, dan PLTMH 14,58% dengan rata-rata arus *charging* hasil sinkronisasi sistem sebesar 0,97A. Hal ini membuktikan bahwa pengujian ini sesuai dengan teori Hukum Kirchoff I dimana penjumlahan arus yang masuk sama dengan arus yang keluar. Namun, antara hasil penjumlahan dengan hasil pengukuran pada arus sinkronisasi sistem dengan penjumlahan arus setiap pembangkit memiliki selisih sedikit perbedaan, hal tersebut dikarenakan terjadi penggunaan arus yang digunakan untuk melewati sistem *controller* serta penggunaan alat ukur yang hanya memiliki efisiensi sekitar 90%.

Kehadiran HyCos mampu memberikan dampak bagi beberapa sektor bidang kehidupan yaitu dampak bagi inovasi pengembangan teknologi khususnya bidang energi terbarukan, dampak sosial dan lingkungan untuk masyarakat yang hidup di kawasan wilayah kaya sumber energi terbarukan sehingga mendapat pasokan energi listrik yang ramah lingkungan, dampak ekonomi karena dapat menekan biaya listrik akibat meningkatnya Tarif Dasar Listrik (TDL) pada tahun 2022, dan dampak politik bagi pemerintah karena dapat mendorong upaya pengembangan pembangkit listrik energi terbarukan sesuai dengan target yang telah dirancang pada RUEN dan Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017.

BAB 1 : Definisi Permasalahan

Indonesia merupakan sebuah negara dengan wilayah yang luas dan jumlah penduduknya yang tinggi [1]. Data dari Badan Pusat Statistik (BPS) menunjukkan bahwa laju pertumbuhan di Indonesia per tahun selama 2010 - 2020 rata-rata meningkat sebesar 1,25% [2]. Seiring dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk, pola konsumsi masyarakat terhadap kebutuhan energi listrik juga kian meningkat [3]. Penggunaan energi listrik di Indonesia sendiri masih menggunakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui. Terlihat komposisi penggunaan energinya yaitu batubara 45%, gas alam 27%, minyak sebesar 13%, dan sumber energi lain sebesar 15% [4]. Jika digunakan terus menerus, maka ketersediaan energi tak terbarukan akan habis dan menjadi salah satu penyebab terjadinya krisis energi dunia. Sementara itu, Indonesia memiliki potensi energi bersih dan terbarukan yang tinggi, seperti surya, air, angin, bioenergi, dan lain-lain. Potensi ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar pengganti yang ramah lingkungan sehingga dapat dijadikan sebagai salah satu kontribusi untuk menanggapi masalah terjadinya krisis energi.

Berdasarkan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), Indonesia memiliki target penggunaan Energi Baru Terbarukan (EBT) sebesar 31% atau setara dengan 167,7 GW total potensi EBT di tahun 2050. Namun, per Maret 2017 pembangkit listrik EBT baru mencapai 2% atau setara dengan 8,80 GW [5]. Untuk memenuhi capaian target tersebut, sesuai dengan Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 maka diperlukan pembangunan tambahan proyek pembangkit EBT sesuai dengan prospek peluang pengembangan EBT ke depan (*potential project*). Salah satunya pembangunan pembangkit listrik EBT, diantaranya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Data dari *International Renewable Energy Agency* (IRENA) menyebutkan bahwa energi surya di Indonesia memiliki potensi lebih dari 400 GW, angin dan air atau hidro memiliki potensi yang sama, yaitu sebesar 150 GW. Upaya yang telah dilakukan untuk mengimplementasikan target penggunaan EBT di Indonesia, hingga tahun 2020 implementasi energi surya mencapai 172 MW, energi angin mencapai 154 MW, dan air atau hidro mencapai 6.210 MW [6].

Sementara itu, pemerintah memiliki target kapasitas EBT per daerah yang tertuang dalam Rencana Umum Energi Daerah (RUED) pada tahun 2025 di 34 provinsi mencapai 47.658 MW. Target tertinggi berada di Provinsi Jawa Barat dengan target kapasitas energi mencapai 8.767 MW. Hingga tahun 2019, total kapasitas EBT yang sudah terpasang di Jawa Barat mencapai 3.184 MW (tertinggi se Indonesia). Secara astronomis daerah Jawa Barat terletak di $5^{\circ}50' - 7^{\circ}50'$ LS, sehingga membuat daerah Jawa Barat memiliki potensi paparan tenaga surya yang cukup besar dan lama penyinaran matahari yang cukup panjang. Diketahui rata-rata paparan sinar matahari di Jawa Barat sepanjang tahun 2021 mencapai 41,04 cd/jam. Selain itu, kepala Badan Meteorologi, Klimatologi,

dan Geofisika (BMKG) Stasiun Geofisika Bandung menyebutkan bahwa Jawa Barat memiliki potensi angin yang kencang dan potensi gelombang yang tinggi. Hal tersebut akibat dari bibit siklon tropis yang tumbuh di belahan bumi utara. Diketahui rata-rata potensi kecepatan angin di Jawa Barat sepanjang tahun 2021 mencapai 2,64 m/s, sedangkan rata-rata kecepatan debit air yang terletak di salah satu PLTMH terbesar di Jawa Barat yaitu PLTMH Melong sebesar 2×1.130 liter/detik [7].

Namun, setiap tahun kondisi cuaca akan berubah-ubah tergantung dari ukuran rata-rata dan variabilitas kuantitas pada variabel tertentu, seperti temperatur, curah hujan atau angin, variasi sinar matahari, dan lain-lain pada periode waktu tertentu yang merentang dari bulanan hingga tahunan [8]. Oleh karena itu, pada sistem pembangkit PLTS, PLTB, dan PLTMH akan menerima variabel sumber energi yang bervariasi dan berfluktuatif. Pada PLTS dipengaruhi oleh lama penyinaran matahari pada bumi, PLTB dipengaruhi oleh kecepatan angin yang berhembus, dan PLTMH dipengaruhi oleh ketinggian air dan jumlah debit air yang mengalir. Tentunya, hal ini akan mempengaruhi besar kecilnya daya listrik yang dihasilkan oleh sistem pembangkit. Oleh karena itu, untuk mengoptimalkan sumber daya listrik yang tersedia di suatu wilayah, penulis merancang sebuah *hybrid charge controller system* (HyCos) yang dibuat sebagai sinkronisasi penyelarasa daya pada pembangkit listrik *hybrid* berbasis EBT khususnya untuk PLTS, PLTB, dan PLTMH. Tentunya, dalam sistem pembangkit tenaga *hybrid* dibutuhkan desain sistem *controller* atau penyelarasa daya dalam rangka pengendalian proses suplai sumber daya listrik agar lebih stabil saat menuju ke beban [9].

Sebagai langkah awal dalam *prototyping* perancangan HyCos, maka terdapat batasan realistis *engineering aspect* diantaranya yaitu:

1. Daya *input* pembangkit total 300W
Sebagai perancangan awal dari pembuatan HyCos, maka daya *input* maksimal dari masing-masing pembangkit PLTS, PLTB, dan PLTMH hanya dibatasi memiliki daya total maksimal 300W dengan pengujian skala laboratorium.
2. Spesifikasi operasional sistem bekerja di tegangan 12V DC
3. Kondisi ketiga pembangkit menghasilkan daya listrik yang tidak bisa diprediksi dan bersifat fluktuatif tergantung dari cuaca dan sumber energi di alam.
4. Suhu sistem dibuat berdasarkan ketahanan suhu maksimal pada part komponen, yaitu 50°C
5. *Output* daya sistem dapat digunakan untuk beban DC dan AC berdaya maksimal 300W.

Adapun batasan masalah yang dilakukan dalam perancangan dan pengujian sistem HyCos yang dibuat yaitu:

1. Sistem pembangkit *input* yang dapat digunakan oleh HyCos yaitu:
 - a. PLTS arus DC 12V dengan kapasitas maksimal 100Wp

- b. PLTB arus DC 12V dengan kapasitas maksimal 100W
 - c. PLTMH arus AC 220V kapasitas maksimal 100W
2. Pengujian untuk pengukuran hasil sistem HyCos dilakukan dalam skala laboratorium di Laboratorium Sistem Tenaga Listrik, Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia

Tujuan dari usulan perancangan pembuatan HyCos ini adalah untuk memberikan solusi alternatif sistem penyalaras daya dari gabungan ketiga pembangkit yang dapat menghasilkan daya maksimum dengan *losses* yang kecil sehingga memiliki efisiensi yang optimal. Adanya perancangan HyCos diharapkan dapat bermanfaat sebagai upaya dalam pengembangan sistem *controller* untuk pembangkit listrik tenaga *hybrid* berbasis energi terbarukan.



BAB 2 : Observasi

Proses observasi dilakukan bertujuan untuk memastikan bahwa rancangan sistem yang diusulkan sesuai dengan batasan realistis yang ditentukan serta telah mengakomodasi kebutuhan awal *prototyping* yang telah disesuaikan dengan perancangan desain. Untuk mencapai hal tersebut, tahapan observasi diawali dengan mengumpulkan informasi-informasi dasar yang berkaitan dengan solusi akan kebutuhan sistem yang dirancang untuk menanggulangi permasalahan yang telah dirumuskan. Hasil observasi yang telah dilakukan oleh penulis ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Hasil observasi kumpulan referensi solusi sesuai dengan perancangan desain sistem

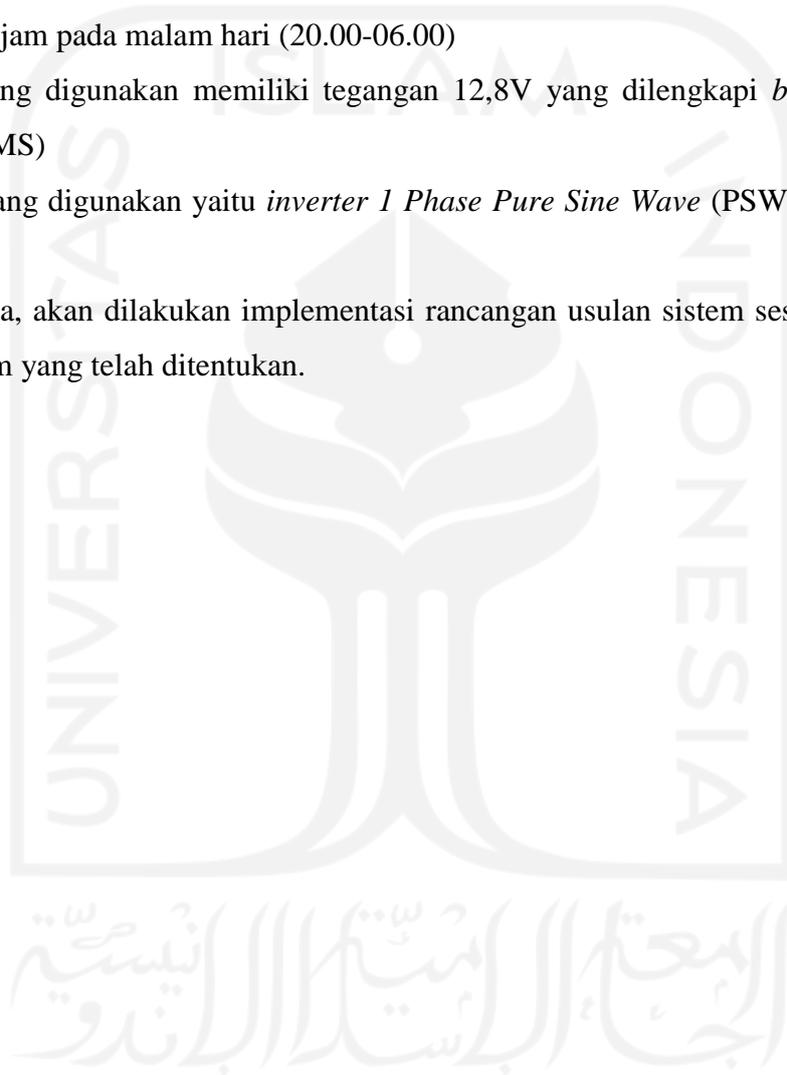
| Penulis | Usulan Solusi | Hasil / Evaluasi |
|------------------------|---|--|
| Muhammad Rafiq (2019) | Penggunaan dua pembangkit listrik, yaitu PLTS dan PLTB sebagai sumber dari sistem dan baterai sebagai penyimpan daya | Perancangan dari penelitian yang telah dilakukan mendapatkan hasil yang cukup baik. Dimana rangkaian sinkronisasi pembangkit listrik <i>hybrid</i> mampu melayani beban listrik AC sampai 236W. Selain itu, saat menggunakan <i>buck-boost converter</i> tegangan <i>input</i> pada <i>inverter</i> tetap konstan 12V dan masih sanggup untuk melayani pembebanan dengan daya maksimum sebesar 221W. Namun, tegangan yang dihasilkan oleh <i>solar charger controller</i> dan baterai berubah-ubah. |
| Alfredo Gusmao (2019) | Pengoptimalisasi pembangkit hibrid tenaga matahari, tenaga angin dan baterai dengan <i>controller</i> berbasis <i>artificial intelligent system</i> | Hasil simulasi dengan algoritma <i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO) dan penelitian yang telah dilakukan untuk memenuhi kebutuhan daya 3500W sudah cukup baik. Akan tetapi, tidak terdapat mekanisme untuk penentuan sistem <i>controller</i> yang digunakan pada masing-masing pembangkit yang telah dirancang. Selain itu, juga tidak terdapat mekanisme penentuan <i>controller</i> untuk <i>charging</i> dan <i>discharging</i> serta sensor-sensor yang digunakan. |
| Arief Kurniawan (2021) | Penggunaan dua pembangkit listrik, yaitu PLTS dan PLTMH sebagai sumber dari sistem dan digunakannya <i>smart relay</i> untuk <i>switching</i> otomatis dari PLTS ke PLTMH ketika beban melebihi kapasitas kemampuan <i>inverter</i> , yaitu 1000W | Hasil pengujian penelitian PLTMH yang dilakukan dengan beban 70% didapatkan daya maksimal yang dihasilkan sebesar 14,677W dan PLTS dengan beban 100% didapatkan daya maksimal yang dihasilkan sebesar 14,427W. Akan tetapi, pada penelitian yang dilakukan PLTMH hanya dapat menyalurkan dengan beban maksimal 70%, tidak seperti PLTS yang dapat menyalurkan beban hingga 100%. selain itu, tidak disebutkan <i>controller</i> yang digunakan untuk PLTMH. Selain itu, tidak disebutkan dalam analisis penelitian apakah <i>smart relay</i> yang digunakan melakukan <i>switching</i> atau tidak ketika beban melebihi 1000W. |

Berdasarkan hasil studi literatur yang telah dilakukan, secara umum dapat diketahui bahwa diperlukannya sistem *controller* sebagai sinkronisasi penyalur daya pada pembangkit listrik *hybrid* EBT, khususnya pada penggabungan daya listrik dari PLTS, PLTB, dan PLTMH. Selain itu, dibutuhkan juga sistem manajemen suplai daya baterai saat *charging* dan *discharging* agar baterai tidak mudah rusak sehingga memiliki umur yang panjang. Sinkronisasi dari ketiga daya ini

dirancang untuk mengoptimalkan sumber energi yang berada di lingkungan sekitar. Rancangan spesifikasi dari alat yang akan dirancang ditentukan sebagai berikut:

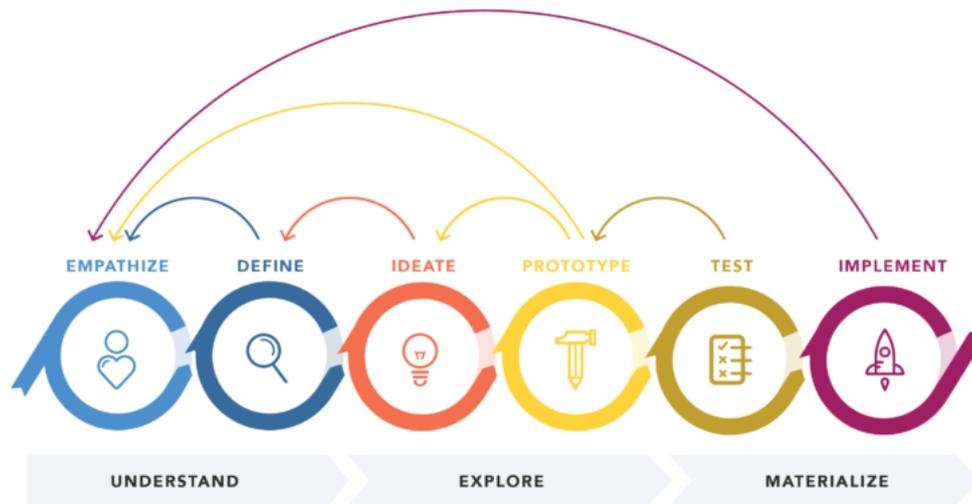
1. Daya maksimal yang dapat dikontrol dari total pembangkit sebesar 300W
2. Tegangan *storage* operasional sistem yang akan dikontrol sebesar 12V DC
3. Arus maksimal yang masuk ke operasional sistem sebesar 9A
4. Konsumsi daya perangkat maksimal 10% dari total daya yang dikontrol, yaitu 30W
5. *Output* sinkronisasi daya berupa sinyal DC untuk menuju ke baterai sebesar 14,2 V
6. Masa operasi sistem perangkat bekerja 24 jam, tetapi penggunaan daya hanya dilakukan selama 10 jam pada malam hari (20.00-06.00)
7. Baterai yang digunakan memiliki tegangan 12,8V yang dilengkapi *battery management system* (BMS)
8. *Inverter* yang digunakan yaitu *inverter 1 Phase Pure Sine Wave* (PSW) 300W 12V DC to 220V AC

Selanjutnya, akan dilakukan implementasi rancangan usulan sistem sesuai dengan kriteria spesifikasi sistem yang telah ditentukan.



BAB 3 : Usulan Perancangan Sistem

Pada tahap usulan perancangan sistem HyCos, terdapat beberapa tahapan yang perlu dilakukan sesuai dengan kebutuhan pengguna dalam *engineering design*. Adapun tahap-tahap yang dilakukan mengacu pada metode *design thinking*, yaitu suatu metode yang digunakan untuk menciptakan sebuah inovasi solusi berdasarkan permasalahan yang dihadapi oleh pengguna [10]. Pada metode *design thinking*, terdapat tahap *understand*, *explore*, dan *materialize*. Siklus perancangan *design thinking* ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Siklus metode *design thinking* [11]

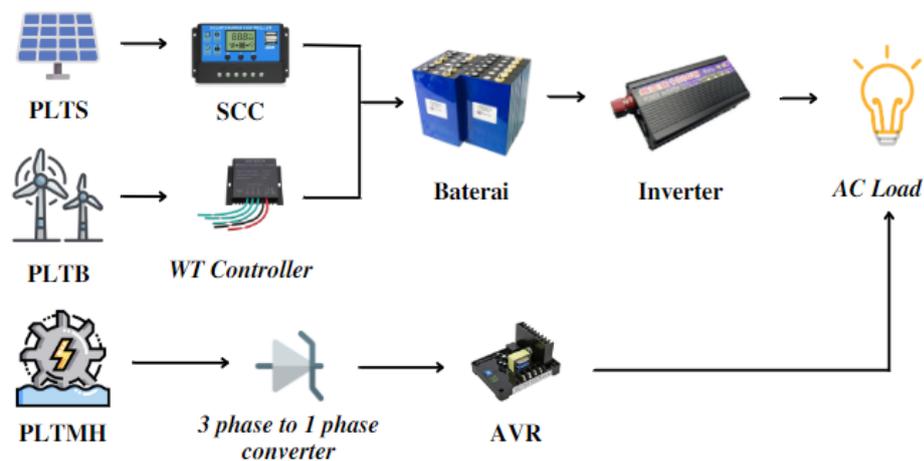
Tahap *understand* merupakan tahapan yang digunakan untuk mengidentifikasi suatu permasalahan dengan baik dan menentukan solusi yang tepat. Permasalahan yang didapat yaitu pola konsumtif masyarakat terhadap kebutuhan energi listrik yang tidak selaras dengan jumlah energi bahan bakar fosil saat ini. Tahap *explore* digunakan untuk mengumpulkan informasi melalui riset ilmiah berdasarkan pencarian beberapa artikel jurnal. Informasi yang didapat akan digunakan untuk menentukan spesifikasi desain sistem. Berdasarkan riset ilmiah yang telah dilakukan, solusi yang ditawarkan penulis untuk permasalahan tersebut adalah perancangan sistem *controller* yang dapat digunakan sebagai sinkronisasi penyalaras daya untuk tiga sumber pembangkit listrik berbasis EBT. Kemudian tahap *materialize*, yaitu tahapan yang digunakan untuk uji coba sistem hingga implementasi alat yang siap digunakan oleh pengguna. Pada tahap ini, dilakukannya perancangan untuk sistem, mulai dari desain sistem, implementasi alat, hingga analisis sistem. Namun, pada proses perancangan sistem tersebut didalamnya dapat terjadi perubahan, perbaikan, maupun penambahan yang bertujuan untuk memenuhi spesifikasi sistem dalam penggunaan HyCos.

3.1 Usulan Rancangan Sistem

Berdasarkan riset yang telah dilakukan pada tahap observasi, secara umum perancangan sistem *controller* sebagai sinkronisasi penyalaras daya untuk pembangkit listrik tenaga *hybrid*

masih terbatas hanya dua sumber pembangkit listrik. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Rafiq (2019) yang dijelaskan pada Tabel 2.1, yaitu dirancangnya sinkronisasi daya PLTB *stand alone* dan PLTS *stand alone* dengan sistem *controller* berupa *Solar Charge Controller* (SCC) dan *buck-boost converter* pada masing-masing pembangkit listrik yang dilengkapi dengan baterai sebagai media penyimpanan listrik. Keluaran daya dari kedua pembangkit listrik tersebut akan disinkronisasi yang nantinya akan masuk ke *Inverter* sehingga dapat digunakan untuk pembebanan daya AC hingga 221 watt. Hasil penelitian ini digunakan oleh penulis sebagai acuan untuk mengusulkan rancangan sistem. Adapun terdapat dua alternatif solusi yang ditawarkan oleh penulis, antara lain:

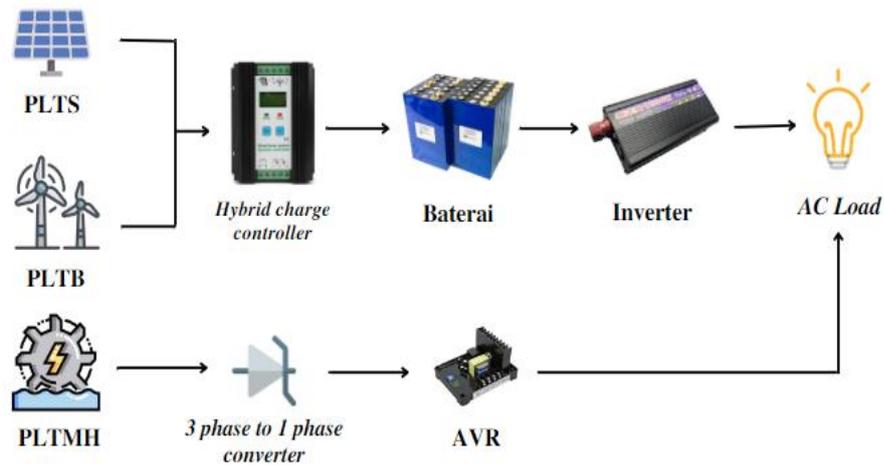
1. Sistem penyalaras daya pada PLTS, PLTB, dan PLTMH dengan skema rangkaian yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Skema rangkaian solusi 1

Berdasarkan skema rangkaian yang ditunjukkan pada Gambar 3.2, keluaran daya dari PLTS akan dihubungkan dengan *solar charge controller* (SCC) sebagai penstabil tegangan dari panel surya. Kemudian keluaran daya dari PLTB akan dihubungkan dengan *wind turbine controller* yang berperan sebagai penstabil tegangan dari generator yang terdapat pada turbin. Keluaran daya dari kedua pembangkit tersebut akan disinkronisasi dan disamakan tegangannya menjadi 12V DC. Pada keluaran daya dari PLTMH akan dihubungkan langsung menuju beban AC dengan tujuan untuk mengurangi rugi-rugi daya apabila di dalam sistem terdapat rangkaian sistem pengonversi DC ke AC, sehingga sistem *controller* yang dibutuhkan oleh PLTMH adalah *3 phase to 1 phase converter* dan *automatic voltage regulator* (AVR).

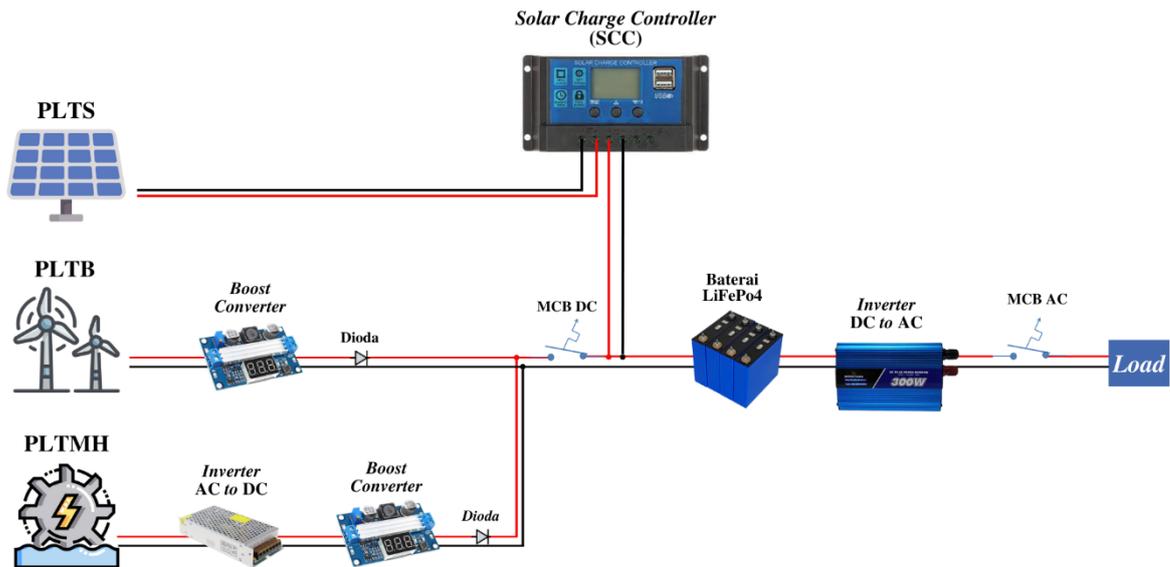
2. Sistem penyalaras daya pada PLTS, PLTB, dan PLTMH dengan skema rangkaian yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Skema rangkaian solusi 2

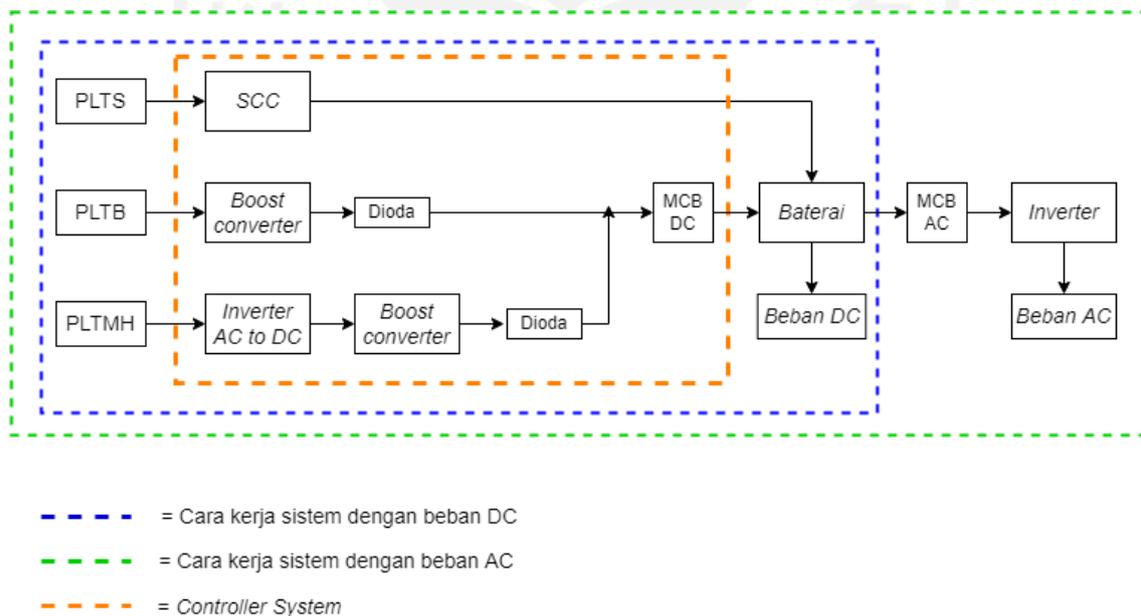
Berdasarkan skema rangkaian pada Gambar 3.3, terdapat penggunaan *hybrid charge controller* dengan dua sumber *input* pembangkit, yaitu PLTS dan PLTB. Kemudian, keluaran daya dari *hybrid charge controller* tersebut akan di-*setting* tegangannya menjadi 12V DC sesuai dengan tegangan pada baterai. Penggunaan *hybrid charge controller* tersebut diharapkan mampu memberikan keluaran daya listrik yang lebih optimal dan memiliki nilai efisiensi yang tinggi. Selain itu, keluaran daya pada PLTMH memiliki rancangan sistem seperti pada rangkaian solusi 1, yaitu keluaran daya dari PLTMH akan dihubungkan langsung menuju beban AC dengan tujuan untuk mengurangi rugi-rugi daya apabila di dalam sistem terdapat rangkaian sistem pengonversi DC ke AC, sehingga sistem *controller* yang dibutuhkan oleh PLTMH adalah *3 phase to 1 phase converter* dan *automatic voltage regulator (AVR)*.

Dari kedua alternatif tersebut, penulis memilih usulan solusi pertama dengan perubahan rangkaian *controller* yang digunakan pada PLTB berupa *boost converter* dan pada PLTMH berupa *inverter AC to DC* dan *boost converter*. Selain itu, sistem PLTS akan langsung terhubung dengan baterai sesuai dengan skematik pada SCC, sedangkan keluaran dari *boost converter* pada masing-masing sistem PLTB dan PLTMH akan disinkronisasi terlebih dahulu hingga selanjutnya akan dilanjutkan menuju baterai sebagai penyimpan daya. Skema dari rancangan sistem ini ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Skema rangkaian solusi 3

Perancangan *hybrid charge controller system* atau HyCos yang dibuat oleh penulis merupakan rangkaian sistem *controller* sebagai sinkronisasi penyalur daya pada PLTS, PLTB, dan PLTMH. Perancangan HyCos berfokus pada penyuplai daya PLTS dengan arus DC, PLTB dengan arus DC, dan PLTMH dengan arus AC. Adapun prinsip kerja dari sistem HyCos ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Diagram blok prinsip kerja HyCos

Prinsip kerja dari sistem HyCos yaitu mengatur penggabungan sumber daya listrik dari ketiga pembangkit yang dilanjutkan menuju baterai. Sistem *controller* yang digunakan yaitu menggunakan SCC, *boost converter*, dan *Inverter AC to DC*. *Boost converter* pada perancangan ini berperan sebagai penaik tegangan, dimana pada sistem ini tegangan yang berasal dari pembangkit listrik akan dinaikkan tegangannya menjadi tegangan yang sesuai dengan baterai.

Setelah itu, daya *output* pada *boost converter* akan dilanjutkan menuju baterai. Baterai pada sistem ini digunakan sebagai penyimpan sumber daya yang diperoleh dari ketiga sumber pembangkit listrik. Daya keluaran dari baterai dapat dilakukan untuk pengujian pada pembebanan berdaya DC. Sedangkan untuk pembebanan AC, baterai terlebih akan dihubungkan terlebih dahulu menggunakan *inverter*. Pada *inverter*, arus searah (DC) akan diubah menjadi arus bolak-balik (AC) sehingga sistem dapat digunakan untuk pembebanan AC. Adapun dasar standar keteknikan yang digunakan dalam perancangan sistem terkait aspek teknis pada sistem PLTS, PLTB, dan PLTMH. Standar keteknikan pada sistem PLTS berdasarkan dari SNI 04-6206:2000 dan SNI 8395:2017 ditunjukkan pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Standar keteknikan sistem PLTS [11], [12]

| Aspek | Syarat berdasarkan SNI |
|---------------------|--|
| Komponen sistem | Minimal meliputi: <ul style="list-style-type: none"> - Modul surya - <i>Controller/inverter</i> - <i>Combiner box</i> - Transformator - Panel distribusi - Penyangga <i>array</i> modul - Baterai dan <i>solar charge regulator</i> - Penangkal petir dan sistem pengamanan lainnya |
| Antar muka DC ke DC | Terdapat elemen-elemen berikut: <ul style="list-style-type: none"> - Sistem pemutus dan sekring - Konversi tegangan DC ke DC - Penghubung suplai DC tambahan - Perangkat penyaring - Perangkat pelindung, seperti isolasi antar daya masukan dan keluaran, pentanahan, petir, dll. |
| Penyimpanan | Dapat mencakup, seperti: <ul style="list-style-type: none"> - Jenis penyimpanan - Kapasitas penyimpanan - Batas pemakaian maksimum - Kendala lingkungan - Siklus umur pakai, dll. |
| Inverter | Parameter yang harus dispesifikasi, seperti: <ul style="list-style-type: none"> - Kondisi masukan: arus dan tegangan nominal, jangkauan arus dan tegangan, dan variasi dinamik dari tegangan masukan. - Kondisi keluaran: jumlah fasa, tegangan dan arus, distorsi harmonik, toleransi tegangan dan frekuensi, pembatas arus, karakteristik beban, faktor daya, dan efisiensi inverter |

Standar keteknikan pada sistem PLTB berdasarkan dari SNI 8398:2017 ditunjukkan pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Standar keteknikan sistem PLTB [13]

| Aspek | Syarat berdasarkan SNI |
|--------------------|---|
| Komponen mekanikal | Meliputi: <ul style="list-style-type: none"> - Rotor |

| Aspek | Syarat berdasarkan SNI |
|---------------------|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> - Nasel - <i>Drive train</i> - Unit transmisi mekanik (<i>gearbox</i> atau sabuk) - Poros utama - Rem dan kopling - Sistem geleng |
| Komponen elektrikal | Meliputi: <ul style="list-style-type: none"> - Generator turbin angin - Sistem penyimpanan - Inverter |
| Penyimpanan | Spesifikasi baterai penyimpan yang dipilih, adalah: <ul style="list-style-type: none"> - Tegangan nominal: 2 VDC, 6 VDC, atau 12 VDC - Jenis: <i>Lead-Acid</i> atau <i>Nickel-Cadmium</i>, Lithium Ion, dll. - Tipe: <i>deep discharge</i> atau biasa - Kapasitas dalam Ah, dipasang seri dan paralel - Efisiensi baterai - Umur pakai - Dimensi berat |
| Inverter | Pemilihan didasarkan pada: <ul style="list-style-type: none"> - Tipe <i>bidirectional</i> atau <i>single directional</i> - Tegangan masukan - Tegangan keluaran dan jenis (sinkron atau asinkron) - Dimensi dan berat |

Standar keteknikan pada sistem PLTMH berdasarkan dari SNI 7931:2013 ditunjukkan pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Standar keteknikan sistem PLTMH [14]

| Aspek | Syarat berdasarkan SNI |
|--|---|
| Komponen panel kontrol | Minimal meliputi: <ul style="list-style-type: none"> - <i>Amperemeter</i> beban tiap fasa - <i>Voltmeter</i> generator - Frekuensi meter analog - <i>Hour meter</i> - kWh meter - MCCB (<i>Moulded Case Circuit Breaker</i>) dengan nilai <i>breaking capacity</i> minimal 10 kA. - Terminal sambung kabel harus diberi label untuk mempermudah instalasi - Panel listrik harus dilengkapi dengan manual operasi dan diagram rangkaian listrik |
| Instalasi peralatan listrik dan pengaman | Kabel yang digunakan untuk sambungan generator ke kontrol panel adalah jenis NYHHY dengan ukuran yang dihitung sesuai dengan kapasitas daya pembangkit. Ukuran kabel minimum untuk sambungan, sebagai berikut: <ul style="list-style-type: none"> - Daya 5 kW dengan ukuran kabel $2 \times 6 \text{ mm}^2$ - Daya 5 kW – 10 kW dengan ukuran kabel $4 \times 6 \text{ mm}^2$ - Daya 10 kW – 15 kW dengan ukuran kabel $4 \times 10 \text{ mm}^2$ - Daya 15 kW – 20 kW dengan ukuran kabel $4 \times 16 \text{ mm}^2$ - Daya 20 kW – 25 kW dengan ukuran kabel $4 \times 25 \text{ mm}^2$ |

Standar keteknikan berdasarkan SNI untuk sistem PLTS, PLTB, dan PLTMH yang ditunjukkan pada Tabel 3.1, Tabel 3.2, dan Tabel 3.3 merupakan acuan yang digunakan untuk

menentukan spesifikasi komponen sekaligus inventarisasi kebutuhan luaran *project capstone design* yang digunakan. Spesifikasi komponen tersebut dilampirkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Spesifikasi komponen luaran *project capstone design*

| No | HyCos | Keterangan |
|----|---|---|
| 1. | <i>Solar Charge Controller</i> 12/24V 30A jenis <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM) | Sebagai <i>controller</i> untuk sistem PLTS |
| 2. | <i>Power supply AC to DC converter</i> 220V AC to 12V DC 10A | Sebagai penyearah daya <i>AC to DC</i> untuk sistem PLTMH |
| 3. | <i>Boost converter (Step-up to DC-DC Converter)</i> 3,0 - 35V to 3,5 - 35V 9A 100W | Sebagai penaik tegangan <i>DC to DC</i> dari sistem pembangkit pada PLTMH dan PLTB |
| 4. | Baterai LiFePo ₄ 50Ah 4S 12,8V | Sebagai penyimpanan daya |
| 5. | <i>Battery Management System</i> (BMS) 4S 12,8V 60A | Sebagai kontrol arus yang masuk dari pembangkit ke baterai agar baterai tidak cepat rusak |
| 6. | <i>Inverter Pure Sine Wave</i> (PSW) 1 phase 12V DC to 220 - 240V AC 300W 50Hz | Sebagai <i>converter</i> dari arus DC baterai ke arus AC beban |

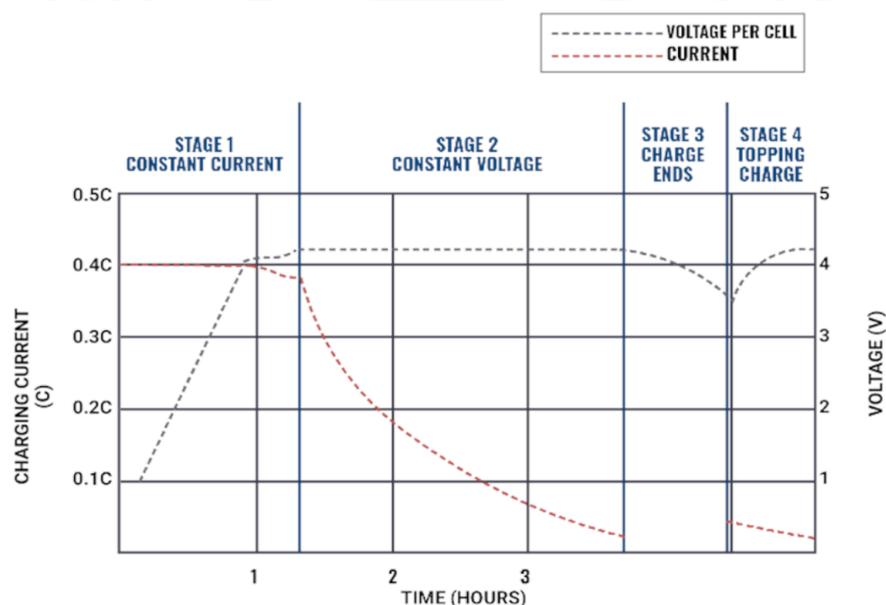
Pada PLTS digunakan SCC sebagai *controller* arus DC yang masuk dari panel surya. Pengaruh dari fluktuatifnya intensitas cahaya matahari yang mengenai panel surya, membuat arus DC yang dihasilkan memiliki tegangan yang bervariasi dan cenderung tidak stabil. Begitu juga dengan PLTB yang dipengaruhi oleh kecepatan angin yang berhembus dan PLTMH yang dipengaruhi oleh kecepatan debit air yang mengalir. Hal tersebut mengakibatkan arus listrik yang dihasilkan oleh masing-masing pembangkit memiliki tegangan yang bervariasi dan cenderung tidak stabil. Jika arus listrik yang bervariasi ini tidak dikontrol dengan baik, maka akan membuat manajemen suplai daya listrik ke baterai menjadi mudah rusak. Akibatnya, kapasitas tegangan pada baterai akan cepat berkurang dan membuat umur baterai menjadi lebih pendek.

Oleh karena itu, pada masing-masing pembangkit terdapat sistem *controller* yang disesuaikan dengan kebutuhan jenis pembangkit. Pada PLTS, digunakan SCC yang berfungsi untuk mengontrol arus listrik DC dari panel surya agar didapatkan arus *output* yang lebih stabil dan memiliki nilai tetap. Selain itu, penggunaan SCC berfungsi sebagai sistem proteksi pada baterai karena di dalamnya terdapat rangkaian dioda proteksi yang hanya melewatkan arus listrik DC dari panel surya ke baterai dan tidak dapat sebaliknya [3]. Hal tersebut bertujuan agar tidak terjadi arus balik yang mengakibatkan hubung singkat karena terjadi kesalahan tujuan arus listrik yang mengalir. Adapun jenis SCC yang digunakan pada perancangan HyCos yaitu *Pulse Width Modulation* (PWM) yang memanfaatkan modulasi lebar sinyal pulsa dari waktu t_{on} dan t_{off} . Jadi, nilai tegangan yang dikontrol oleh SCC secara otomatis akan di-*switch* dengan menyesuaikan tegangan kerja pada baterai hingga membuat tegangan yang dihasilkan menjadi konstan dan lebih

stabil. Hal tersebut juga berlaku apabila kondisi baterai telah mendekati kapasitas penuh, sehingga dapat memastikan bahwa kondisi baterai tidak mengalami *overcharging*.

Pada PLTB, digunakan rangkaian *boost converter (step-up DC to DC converter)* yang berfungsi untuk menaikkan tegangan dan menstabilkan tegangan. Hal tersebut terjadi ketika generator pada turbin tidak berputar secara maksimal akibat hembusan angin yang kecil dan membuat pengaruh ke arus listrik yang dihasilkan sehingga membuat tegangan dan daya yang dihasilkan semakin kecil. Rangkaian *boost converter* juga berlaku pada salah satu sistem *controller* pada PLTMH, yaitu ketika debit air yang mengalir memiliki kecepatan laju aliran yang kecil sehingga membuat tegangan dan daya yang dihasilkan semakin kecil. Selain itu, pada PLTMH terdapat *inverter AC to DC converter*, yaitu suatu rangkaian yang mengubah sinyal arus AC dari generator pada turbin air menjadi arus DC yang akan dialirkan menuju baterai. Hal tersebut dikarenakan PLTMH yang digunakan dalam pengujian menggunakan generator AC.

Rangkaian *boost converter* digunakan untuk mengatur tegangan agar tetap stabil di tegangan 14,2V. Hal tersebut diatur berdasarkan dengan kondisi empat *stage* pada baterai LiFePo₄ ketika berada dalam kondisi *charging* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Kondisi *stage* baterai LiFePo₄ [15]

Berdasarkan literatur yang diperoleh dari power-sonic.com (2022), pada umumnya tegangan baterai LiFePo₄ pada saat kondisi *stage 1* dilakukan pada arus 30% - 100% (0,3C hingga 1,0C) dari kapasitas baterai dengan waktu yang diperlukan sekitar 1 jam, dimana waktu yang diperlukan tersebut tiga kali lebih cepat apabila dibandingkan dengan baterai *sealed lead acid* (SLA). Pada *stage 2*, untuk membuat baterai lithium dalam kondisi 100% *state of charge* (SOC) diperlukan waktu sekitar 15 menit sehingga diperlukan waktu total 4 jam untuk pengisian daya pada baterai. SOC merupakan persentase kapasitas pada baterai dan pada *stage 3* berbeda dengan SLA, baterai

lithium tidak memerlukan *flood charge* sehingga dalam penyimpanan untuk jangka panjang, baterai lithium tidak dapat disimpan dalam kondisi 100% SOC. Maksimal pengisian daya pada baterai lithium 12,8V adalah sekitar 13,8V dengan pengisian daya baterai pada *stage 2* dibawah 15V. Pada kasus ini, tegangan baterai/sel mencapai ambang batas atas sebesar 3,33V. Jika baterai disusun 4S, maka jumlah tegangan baterai mencapai 13,34V.

Manajemen suplai daya baterai pada perancangan HyCos menjadi lebih terproteksi karena adanya *Battery Management System* (BMS). BMS berfungsi untuk mengatur dan menjaga baterai dari kondisi-kondisi yang dapat merusak baterai. Jenis BMS yang dipilih disesuaikan dengan kebutuhan pada desain sistem yang dirancang, yaitu dengan menghitung kebutuhan *charging* dan *discharging* pada baterai, yaitu sebagai berikut:

- $$Charging\ Rate = \frac{P_{in}}{V_{batt}} = \frac{300}{(3,2 \times 4)} = \frac{300}{12,8} = 23,43A \quad (3.1)$$

- $$Discharging\ Rate = \frac{P_{out}}{V_{batt}} = \frac{300}{(3,2 \times 4)} = \frac{300}{12,8} = 23,43A \quad (3.2)$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, nilai arus yang dibutuhkan untuk *charging* dan *discharging* pada baterai memiliki perbandingan 1:1. Oleh karena itu, jenis BMS yang dipilih yaitu BMS yang memiliki *balance function* untuk keperluan *charging* dan *discharging*.

Selanjutnya, keluaran daya pada baterai akan digunakan untuk pengujian terhadap beban arus DC dan arus AC (melalui *inverter*). Pengujian beban arus DC dilakukan terhadap 3 jenis motor dan pengujian juga dilakukan terhadap beban arus AC dengan menggunakan *inverter*. Jenis *inverter* yang dipilih yaitu *Pure Sine Wave* (PSW). *Inverter* PSW memiliki jenis gelombang sinus yang murni hingga disebut *clean power supply* dan memiliki distorsi harmonik yang rendah sehingga cocok digunakan untuk semua perangkat elektronik dan membuatnya tidak mudah cepat rusak.

3.2 Metode Uji Coba dan Pengujian Usulan Rancangan Sistem

Perancangan *hybrid charge controller* digunakan sebagai sinkronisasi penyalaras daya dari pembangkit listrik berbasis energi terbarukan seperti PLTS, PLTB, dan PLTMH. Oleh karena itu, alat ini cocok digunakan di daerah yang memiliki intensitas cahaya matahari yang tinggi, debit air yang tinggi, dan kecepatan angin yang tinggi. Namun, karena kondisi yang terbatas maka pengujian sistem hanya dilakukan di skala laboratorium. Pengujian sistem dilakukan di Laboratorium Sistem Tenaga Listrik dilakukan dengan menggunakan panel surya berkapasitas 20Wp, *prototype* PLTB yang digantikan dengan *power supply* 12V DC 3A, dan *prototype* PLTMH berkapasitas 100V AC 2A.

Pengujian sistem dapat dikatakan berhasil apabila sinkronisasi dari ketiga pembangkit dapat menghasilkan daya untuk menyuplai beban. Selain itu, masing-masing pembangkit dikatakan berhasil apabila dapat menyuplai daya pada beban yang ditandai dengan menyalnya lampu indikator. Adapun beberapa pengujian sistem yang dilakukan yaitu:

1. Pengujian *output* arus dan tegangan terhadap sistem pembangkit dengan asumsi kondisi 1 sumber pembangkit *on* dan 1 sumber pembangkit *off* dengan beban DC
2. Pengujian *output* arus dan tegangan terhadap sistem pembangkit dengan asumsi kondisi 2 sumber pembangkit *on* dan 1 sumber pembangkit *off* dengan beban DC
3. Pengujian *output* arus dan tegangan terhadap sistem pembangkit dengan asumsi kondisi 3 sumber pembangkit *on* dengan beban DC dan AC

Pengujian untuk beban arus DC dilakukan terhadap 3 jenis motor yaitu:

- Motor A dengan spesifikasi 0,79A 12V DC
- Motor B dengan spesifikasi 0,53A 12V DC
- Motor C dengan spesifikasi 0,63A 12V DC

Selain itu, juga dilakukan pengujian terhadap beban arus AC dengan komponen yang digunakan untuk pengujian beban arus AC yaitu lampu LED, kipas angin, motor AC 1 fasa, *vacuum cleaner*, dan *air purifier*.

BAB 4 : Hasil Perancangan Sistem

4.1 Kesesuaian Usulan dan Hasil Perancangan Sistem

Pada perancangan desain telah ditentukan seluruh rencana usulan perancangan dan spesifikasi yang akan dibuat. Akan tetapi, pada proses realisasi terdapat beberapa kendala teknis seperti alat yang tidak bekerja dengan baik ketika perancangan komponen (*hardware*) sehingga perlu dilakukannya beberapa perubahan rancangan dan spesifikasi sistem untuk mendapatkan hasil yang terbaik. Adapun perbandingan usulan desain dengan realisasi hasil produk sistem ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perbandingan usulan dan hasil perancangan sistem

| No | Spesifikasi | Usulan | Realisasi |
|----|---|---|---|
| 1 | Desain |  |  |
| 2 | Dimensi ($p \times l \times t$) | 50 × 50 × 20 cm | 40 × 30 × 18 cm |
| 3 | Bahan casing | Aluminium | Aluminium |
| 4 | Daya operasional <i>input-output</i> sistem | 1000W | 300W |
| 5 | $P_{in \max}$ PLTS | 150Wp | 100Wp |
| 6 | $P_{in \max}$ PLTB | 400W | 100W |
| 7 | $P_{in \max}$ PLTMH | 450W | 100W |
| 8 | MCB DC 1P | 100A | 10A |
| 9 | MCB AC 1P | 6A | 1A |
| 10 | Kapasitas baterai | 100Ah | 50Ah |
| 11 | <i>Output</i> beban | Hanya AC | DC dan AC |
| 12 | <i>Inverter</i> PSW 1 fasa 220V AC to 12V | 1000W | 300W |
| 13 | Indikator pembangkit | Lampu LED | Lampu LED, <i>voltmeter</i> , dan <i>amperemeter</i> |
| 14 | Indikator baterai | - | <i>LCD battery capacity meter</i> |

Dalam tahap pembuatan sistem, penulis mengacu pada standar keteknikan SNI 04-6206:2000 dan SNI 8395:2017 untuk sistem PLTS, SNI 8398:2017 untuk sistem PLTB, dan SNI 7931:2013 untuk sistem PLTMH. Berikut merupakan kesesuaian standar keteknikan yang digunakan pada realisasi sistem yang dirancang.

Tabel 4.2 Kesesuaian standar SNI dengan realisasi sistem yang dirancang pada PLTS

| Aspek | Syarat berdasarkan SNI | Kesesuaian dengan sistem yang dirancang |
|---------------------|--|--|
| Komponen sistem | Minimal meliputi: <ul style="list-style-type: none"> - modul surya - <i>controller/inverter</i> - <i>combiner box</i> - transformator - panel distribusi - penyangga <i>array</i> modul - baterai dan <i>solar charge regulator</i>, - penangkal petir dan sistem pengamanan lainnya | Komponen yang terdapat pada sistem PLTS yang digunakan meliputi: <ul style="list-style-type: none"> - modul surya - <i>solar charge controller (SCC)</i> - inverter - baterai dan sistem manajemen baterai |
| Antar muka DC ke DC | Terdapat elemen-elemen berikut: <ul style="list-style-type: none"> - sistem pemutus dan sekring - konversi tegangan DC ke DC - penghubung suplai DC tambahan - perangkat penyaring - perangkat pelindung, seperti isolasi antar daya masukan dan keluaran, pentanahan, petir, dll. | Pada sistem <i>hybrid controller</i> yang dirancang untuk sistem PLTS digunakan SCC sebagai <i>controller</i> yang dapat berperan sebagai konversi tegangan DC ke DC dan penghubung suplai DC tambahan. Pada SCC juga terdapat PWM yang dapat membuat tegangan yang dihasilkan menjadi konstan dan lebih stabil. Selain itu, dalam sistem <i>hybrid controller</i> terdapat elemen-elemen berikut: <ul style="list-style-type: none"> - sistem pemutus dan sekring - perangkat pelindung, yaitu isolasi antar daya masukan dan keluaran. |
| Penyimpanan | Dapat mencakup, seperti: <ul style="list-style-type: none"> - jenis penyimpanan - kapasitas penyimpanan - batas pemakaian maksimum - kendala lingkungan - siklus umur pakai, dll. | Penyimpanan yang digunakan berupa baterai LiFePo ₄ 50 Ah 3,2V yang dirangkai 4S dengan tegangan 12,8 VDC. Batas pemakaian maksimum adalah 10 jam. |
| Inverter | Parameter yang harus dispesifikasi, seperti: <ul style="list-style-type: none"> - kondisi masukan : arus dan tegangan nominal, jangkauan arus dan tegangan, dan variasi dinamik dari tegangan masukan. - kondisi keluaran : jumlah fasa, tegangan dan arus, distorsi harmonik, toleransi tegangan dan frekuensi, pembatas arus, karakteristik beban, faktor daya, dan efisiensi inverter | Inverter yang digunakan memiliki spesifikasi berikut: <ul style="list-style-type: none"> - tegangan input: 12 volt - tegangan keluaran: 220 – 230 volt - <i>rated power</i>: 300W - <i>peak power</i>: 600W - 1 fasa - efisiensi inverter: > 92% |

Tabel 4.3 Kesesuaian standar SNI dengan realisasi sistem yang dirancang pada PLTB

| Aspek | Syarat berdasarkan SNI | Kesesuaian dengan sistem yang dirancang |
|---------------------|---|---|
| Komponen mekanikal | Meliputi: <ul style="list-style-type: none"> - Rotor - Nasel - <i>Drive train</i> - Unit transmisi mekanik (<i>gearbox</i> atau sabuk) - Poros utama - Rem dan kopling - Sistem geleng | Tidak terdapat komponen mekanikal dikarenakan untuk sistem PLTB menggunakan catu daya 12 volt untuk pengujian dengan skala laboratorium. |
| Komponen elektrikal | Meliputi: <ul style="list-style-type: none"> - Generator turbin angin - Sistem penyimpanan - Inverter | Tidak terdapat generator, namun terdapat sistem penyimpanan berupa baterai LiFePo ₄ dan inverter 1 fasa 300 W yang digunakan pada <i>hybrid charge controller system</i> . |
| Penyimpanan | Spesifikasi baterai penyimpan yang dipilih, adalah: <ul style="list-style-type: none"> - Tegangan nominal: 2 VDC, 6 VDC, atau 12 VDC - Jenis: <i>Lead-Acid</i> atau <i>Nickel-Cadmium</i>, Lithium Ion, dll. - Tipe: <i>deep discharge</i> atau biasa - Kapasitas dalam Ah, dipasang seri dan paralel - Efisiensi baterai - Umur pakai - Dimensi berat | Spesifikasi baterai yang digunakan pada sistem <i>hybrid controller</i> , meliputi: <ul style="list-style-type: none"> - Tegangan nominal 12,8 VDC - Jenis: Lithium Iron Phosphate - Tipe: <i>deep discharge</i> - Kapasitas 50 Ah dipasang seri - Efisiensi baterai $\pm 95\%$ - Dimensi: 185 × 135 × 29,3 mm - Berat: 1,5 kg/cell |
| <i>Inverter</i> | Pemilihan didasarkan pada: <ul style="list-style-type: none"> - Tipe <i>bidirectional</i> atau <i>single directional</i> - Tegangan masukan - Tegangan keluaran dan jenis (sinkron atau asinkron) - Dimensi dan berat | Inverter yang dipilih: <ul style="list-style-type: none"> - Tipe: <i>Single Directional</i> - Tegangan Masukan Sebesar 12,8 – 13,34 V Dc - Tegangan Keluaran Sebesar 220 V Ac - Dimensi: 17 × 10 × 5,5 cm - Berat: 700 gr |

Tabel 4.4 Kesesuaian standar SNI dengan realisasi sistem yang dirancang pada PLTMH

| Aspek | Syarat berdasarkan SNI | Kesesuaian dengan sistem yang dirancang |
|------------------------|--|---|
| Komponen panel kontrol | Minimal meliputi: <ul style="list-style-type: none"> - <i>Amperemeter</i> beban tiap fasa - <i>Voltmeter</i> generator - Frekuensi meter analog - <i>Hour meter</i> - kWh meter - MCCB (<i>Moulded Case Circuit Breaker</i>) dengan nilai <i>breaking capacity</i> minimal 10 ka. - Terminal sambung kabel harus diberi label untuk mempermudah instalasi | Sistem PLTMH yang digunakan untuk pengujian sistem <i>hybrid controller</i> berupa <i>prototype</i> dengan komponen panel kontrol meliputi: <ul style="list-style-type: none"> - <i>Voltmeter</i> generator - Frekuensi meter digital - Mcb dengan <i>breaking capacity</i> 4A - Tidak terdapat label pada sambungan kabel - Tidak terdapat manual operasi dan diagram rangkaian listrik pada panel listrik sedangkan pada sistem <i>hybrid controller</i> yang dirancang, digunakan <i>voltmeter</i> dan <i>amperemeter</i> pada sumber pembangkit untuk mengetahui |

| Aspek | Syarat berdasarkan SNI | Kesesuaian dengan sistem yang dirancang |
|--|---|---|
| | - Panel listrik harus dilengkapi dengan manual operasi dan diagram rangkaian listrik | tegangan dan arus yang dihasilkan dari sumber, MCB DC 10A untuk pemutus arus yang berasal dari sistem <i>hybrid controller</i> menuju ke sistem penyimpanan (baterai), MCB AC 10A untuk pemutus arus dari inverter menuju beban AC, dan label penamaan hanya digunakan pada indikator masing-masing pembangkit. |
| Instalasi peralatan listrik dan pengamanan | Kabel yang digunakan untuk sambungan generator ke kontrol panel adalah jenis NYHY dengan ukuran yang dihitung sesuai dengan kapasitas daya pembangkit. Ukuran kabel minimum untuk sambungan, sebagai berikut: <ul style="list-style-type: none"> - Daya 5 kW dengan ukuran kabel $2 \times 6 \text{ mm}^2$ - Daya 5 kW – 10 kW dengan ukuran kabel $4 \times 6 \text{ mm}^2$ - Daya 10 kW – 15 kW dengan ukuran kabel $4 \times 10 \text{ mm}^2$ - Daya 15 kW – 20 kW dengan ukuran kabel $4 \times 16 \text{ mm}^2$ - Daya 20 kW – 25 kW dengan ukuran kabel $4 \times 25 \text{ mm}^2$ | Digunakannya kabel jenis NYHY dengan ukuran kabel $2 \times 6 \text{ mm}^2$ pada <i>prototype</i> PLTMH dan kabel NYAF dengan ukuran kabel $1 \times 2,5 \text{ mm}^2$ pada sistem <i>hybrid controller</i> yang dirancang. |

4.2 Kesesuaian Perencanaan dalam Manajemen Tim dan Realisasinya

Realisasi perancangan dalam manajemen tim terdapat sedikit perubahan dari segi timeline pengerjaan dan rancangan anggaran belanja (RAB). Pada Tabel 4.5 ditunjukkan kesesuaian antara usulan dan realisasi *timeline* pengerjaan Tugas Akhir 2 dan pada Tabel 4.6 ditunjukkan kesesuaian antara usulan dan realisasi RAB pengerjaan Tugas Akhir 2.

Tabel 4.5 Kesesuaian *timeline* pengerjaan Tugas Akhir 2

| No | Kegiatan | Usulan waktu | Realisasi Pelaksanaan |
|----|------------------------------------|---------------|-----------------------|
| 1 | Pembelian alat dan bahan | Maret – April | Maret – Mei |
| 2 | Perancangan sistem dengan usulan | Maret – Juni | Maret – Juni |
| 3 | Testing dan validasi | Mei – Juni | Juni |
| 4 | Expo dan pengumpulan laporan akhir | Juli | Juli |

Tabel 4.6 Kesesuaian RAB pengerjaan Tugas Akhir 2

| No. | RAB Usulan | | | RAB Realisasi | | |
|-----|--|--------------|-------------------|---|-----------------|-------------------|
| | Jenis Pengeluaran | Usulan Biaya | | Jenis Pengeluaran | Realisasi Biaya | |
| | | Kuantitas | Total Harga (Rp.) | | Kuantitas | Total Harga (Rp.) |
| 1 | <i>Solar controller</i> komponen set | 1 pcs | 300.000,- | <i>Solar Charge Controller</i> PWM | 1 pcs | 90.000,- |
| 2 | Baterai 12V 100Ah LiFePo ₄ | 1 pcs | 2.100.000,- | Baterai 3,2V 50Ah LiFePo ₄ | 4 pcs | 1.000.000,- |
| 3 | <i>Inverter</i> 1 fasa 220V AC to 12V DC PSW 1000W | 1 pcs | 850.000,- | <i>Inverter</i> 1 fasa 220V AC to 12V DC PSW 300W | 1 pcs | 290.000,- |
| 4 | Stop kontak <i>weatherproof</i> | 1 pcs | 38.500,- | Stop kontak <i>weatherproof</i> | 1 pcs | 38.031,- |
| 5 | Terminal block PCB 8 pin | 1 pcs | 20.000,- | Terminal blok PCB 6 pin | 1 pcs | 9.500,- |
| 6 | MCB DC 100A 1P | 1 pcs | 110.000,- | MCB DC 125V 10A 1P | 1 pcs | 45.450,- |
| 7 | Panel box | 1 pcs | 870.000,- | Panel <i>box</i> | 1 pcs | 210.000,- |
| 8 | LED indikator | 3 pcs | 30.000,- | LED indikator | 3 pcs | 25.500,- |
| 9 | Skun | 8 pcs | 24.000,- | Skun | 28 pcs | 14.000,- |
| 10 | <i>Wind turbine controller</i> komponen set | 1 pcs | 500.000,- | <i>Step up DC to DC</i> 3.0 - 35V to 3.5 - 35V with digital 9A 100W | 2 pcs | 120.000,- |
| 11 | <i>Microhydro controller</i> komponen set | 1 pcs | 700.000,- | <i>Inverter</i> 220V AC to 12V DC 10A | 1 pcs | 100.000,- |
| 12 | - | - | - | Dioda 10A | 4 pcs | 28.000,- |
| 13 | Kabel AWG 4 | 5 meter | 285.000,- | - | - | - |
| 14 | Timah | 1 roll | 20.000,- | - | - | - |
| 15 | Solder | 1 pcs | 100.000,- | - | - | - |
| 16 | MCB AC 10A 1P | 1 pcs | 70.000,- | - | - | - |
| 17 | - | - | - | JBD LiFePO ₄ BMS 12,8V 4S 60A - Non Smart | 1 pcs | 255.000,- |
| 18 | - | - | - | <i>Amperemeter</i> dan <i>voltmeter</i> digital 0 - 100V DC 10A | 3 pcs | 78.000,- |
| 19 | - | - | - | <i>Display LCD</i> battery capacity meter | 1 pcs | 60.000,- |

| No. | RAB Usulan | | RAB Realisasi | | | |
|-----|-------------------|--------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| | Jenis Pengeluaran | Usulan Biaya | | Jenis Pengeluaran | Realisasi Biaya | |
| | | Kuantitas | Total Harga (Rp.) | | Kuantitas | Total Harga (Rp.) |
| | Total | | 6.017.500,- | Total | | 2.342.981,- |

4.3 Analisis dan Pembahasan Kesesuaian antara Perencanaan dan Realisasi

Pada proses perencanaan dan realisasinya terdapat beberapa hal yang diubah agar didapatkan hasil yang lebih baik. Perubahan tersebut juga didasari oleh referensi jurnal-jurnal yang terkait dengan sinkronisasi sistem dengan tiga pembangkit. Realisasi perancangan juga berdasarkan hasil diskusi dari tim dan dosen pembimbing. Berikut aspek-aspek atau pembahasan secara lebih detail tentang bagaimana kesesuaian antara perencanaan dan realisasinya pada Tugas Akhir / *Capstone Project* ini :

- Dari total 37 item yang direncanakan baik dari segi perancangan sistem, timeline pengerjaan, dan Rencana Anggaran Belanja (RAB), hanya 33 item yang dapat terlaksana sesuai dengan perencanaan awal. Dengan demikian, secara umum 89% perencanaan terealisasi.
- Pada rancangan usulan digunakan *solar controller* komponen set, *wind turbine controller* komponen set, dan *microhydro controller* komponen set. Pada realisasinya, *controller* yang digunakan untuk PLTS yaitu *solar charge controller* (SCC) jenis PWM, pada PLTB rangkaian *controller* yang digunakan yaitu *boost converter*, dan pada PLTMH rangkaian *controller* yang digunakan yaitu *inverter 1 phase 220V AC to 12V DC* untuk mengubah arus AC menjadi arus DC dan *boost converter*. Penggunaan SCC bertujuan untuk menstabilkan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya. Rangkaian *boost converter* digunakan untuk meningkatkan tegangan pada sistem pembangkit apabila terjadi drop tegangan yang diakibatkan oleh pengaruh cuaca yang buruk.
- Pada rancangan usulan digunakan baterai LiFePO₄ 12V 100Ah, sedangkan realisasinya menggunakan baterai LiFePO₄ 12,8V 4S 50Ah. Hal ini dikarenakan adanya penurunan spesifikasi P_{in} dan P_{out} pada sistem sehingga dengan spesifikasi tersebut baterai telah mencukupi kebutuhan dari sistem yang dirancang. Selain itu, penggunaan *Inverter* yang diusulkan menggunakan *Inverter 1 phase 220V AC to 12V DC PSW 1000W* pada realisasinya menjadi *Inverter 1 phase 220V AC to 12V DC PSW 300W*.
- Pada rancangan usulan, tidak terdapat sistem proteksi baterai berupa *Battery Management System* (BMS). Namun pada realisasinya, digunakan BMS agar manajemen suplai daya menuju baterai lebih terkontrol hingga tidak mengalami *overcharging* sehingga baterai tidak mudah rusak dan memiliki umur yang panjang.

BAB 5 : Implementasi Sistem dan Analisis

5.1 Hasil dan Analisis Implementasi

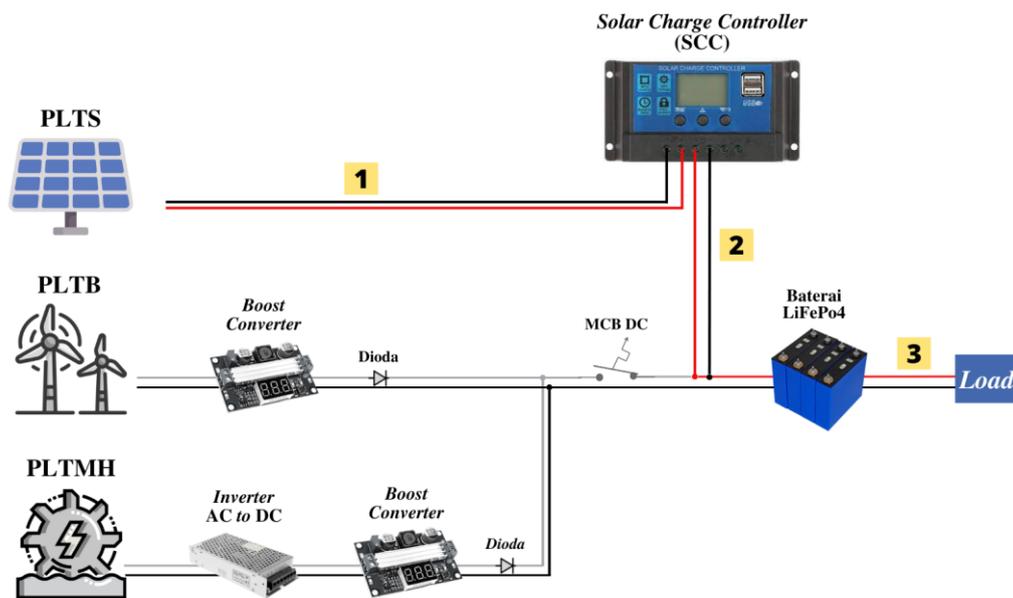
Pengujian sistem yang dilakukan dengan mengukur *output* terhadap arus dan tegangan dari sistem *controller* PLTS, PLTB, dan PLTMH menggunakan multimeter.

5.1.1 Pengujian 1: Pembangkit dengan 1 Sumber *ON* dan 2 Sumber *OFF*

Pengujian 1 dilakukan pengukuran terhadap arus dan tegangan pada ketiga sumber pembangkit yang sudah disinkronisasi pada sistem *controller*-nya menggunakan HyCos, namun dengan asumsi ketika berada dalam kondisi 1 sumber pembangkit *on* dan 2 sumber pembangkit *off*. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi sistem masing-masing pembangkit sebelum disinkronisasi.

a. PLTS *ON*, PLTB & PLTMH *OFF*

Pengujian sistem dilakukan terhadap tegangan dan arus pada sinkronisasi sistem *controller* ketiga pembangkit namun dalam kondisi PLTS *on*, PLTB & PLTMH *off*. Dimana pengujian dilakukan dengan menggunakan PLTS berkapasitas 20Wp. Pengujian arus dan tegangan dilakukan pada tiap komponen dalam sistem seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Pengukuran rangkaian PLTS

Dimana pengujian tersebut dilakukan terhadap:

1. Pengujian arus dan tegangan antara PLTS dengan SCC.
2. Pengujian arus dan tegangan antara SCC dengan baterai.
3. Pengujian arus dan tegangan antara baterai dengan *load*.

Adapun beban yang digunakan yaitu motor DC A, motor DC B, dan motor DC C. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil pengukuran PLTS

| Hasil Pengukuran | | Jenis Beban | | |
|------------------|---------------------|-------------|---------|---------|
| Titik Pengukuran | Besaran yang diukur | Motor A | Motor B | Motor C |
| 1 | Tegangan (V) | 12,62 | 12,62 | 12,6 |
| | Arus (A) | 0,18 | 0,17 | 0,19 |
| | Daya (W) | 2,27 | 2,15 | 2,39 |
| 2 | Tegangan (V) | 12,45 | 12,47 | 12,45 |
| | Arus (A) | 0,15 | 0,16 | 0,13 |
| | Daya (W) | 1,87 | 2,00 | 1,62 |
| 3 | Tegangan (V) | 12,34 | 12,35 | 12,33 |
| | Arus (A) | 0,2 | 0,2 | 0,27 |
| | Daya (W) | 2,47 | 2,47 | 3,33 |

Berdasarkan hasil pengukuran yang terlampir pada Tabel 5.1 dihitung efisiensi sistem PLTS untuk masing-masing beban dengan persamaan sebagai berikut.

$$\eta = \frac{P_{in}}{P_{out}} \times 100\% \quad (5.1)$$

Sehingga, didapatkan efisiensi sistem dengan masing-masing beban sebagai berikut.

- Efisiensi sistem PLTS dengan beban motor DC A

$$\eta = \frac{P_{in}}{P_{out}} \times 100\% = \frac{2,27}{2,47} \times 100\% = 92,04\%$$

- Efisiensi sistem PLTS dengan beban motor DC B

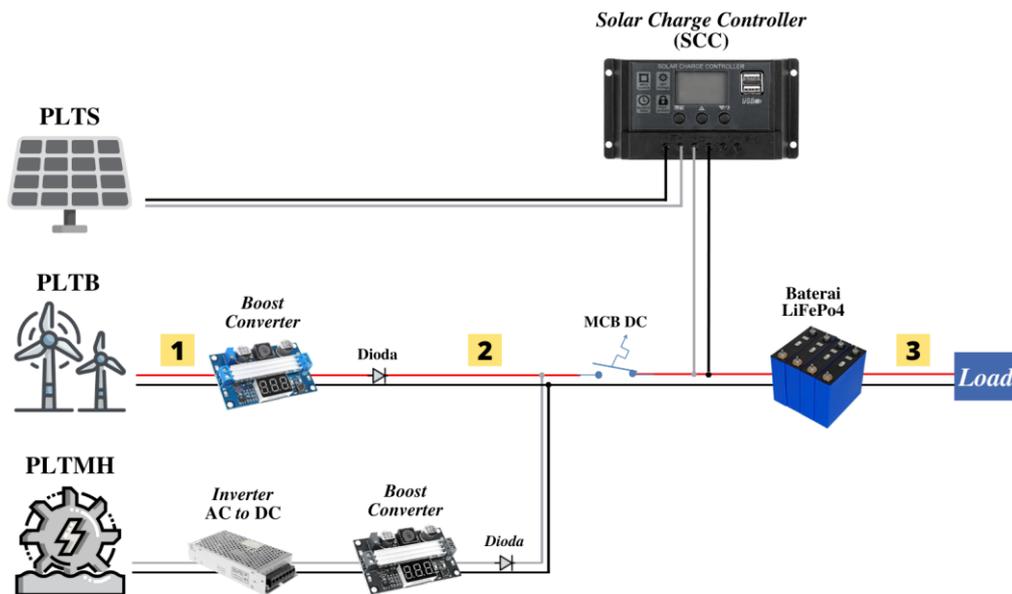
$$\eta = \frac{P_{in}}{P_{out}} \times 100\% = \frac{2,47}{2,15} \times 100\% = 86,86\%$$

- Efisiensi sistem dengan beban motor DC C

$$\eta = \frac{P_{in}}{P_{out}} \times 100\% = \frac{3,33}{2,39} \times 100\% = 71,91\%$$

b. PLTB ON, PLTS & PLTMH OFF

Pengujian sistem dilakukan terhadap tegangan dan arus pada sinkronisasi sistem *controller* ketiga pembangkit namun dalam kondisi PLTB *on*, PLTS & PLTMH *off*. Dimana pengujian dilakukan dengan menggunakan *power supply* 12V DC sebagai *prototype* PLTB. Pengujian arus dan tegangan dilakukan pada tiap komponen dalam sistem seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Pengukuran rangkaian PLTB

Dimana pengujian tersebut dilakukan terhadap:

1. Pengujian arus dan tegangan antara *output prototype* PLTB dengan *boost converter*.
2. Pengujian arus dan tegangan antara *output boost converter* dengan baterai.
3. Pengujian arus dan tegangan antara baterai dengan *load*.

Adapun beban yang digunakan yaitu motor DC A, motor DC B, dan motor DC C. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil pengukuran PLTB

| Hasil Pengukuran | | Jenis Beban | | |
|------------------|---------------------|-------------|---------|---------|
| Titik Pengukuran | Besaran yang diukur | Motor A | Motor B | Motor C |
| 1 | Tegangan (V) | 12,54 | 11,54 | 12,36 |
| | Arus (A) | 0,61 | 0,62 | 0,76 |
| | Daya (W) | 7,65 | 7,15 | 9,39 |
| 2 | Tegangan (V) | 14,03 | 14,02 | 15,27 |
| | Arus (A) | 0,32 | 0,33 | 0,38 |
| | Daya (W) | 4,49 | 4,63 | 5,80 |
| 3 | Tegangan (V) | 12,44 | 12,61 | 12,68 |
| | Arus (A) | 0,75 | 0,64 | 0,81 |
| | Daya (W) | 9,33 | 8,07 | 10,27 |

Berdasarkan hasil pengukuran yang terlampir pada Tabel 5.2 dihitung efisiensi sistem untuk masing-masing beban dengan persamaan (5.1) sehingga didapatkan efisiensi sistem PLTB pada masing-masing beban sebagai berikut.

- Efisiensi sistem PLTB dengan beban motor DC A

$$\eta = \frac{P_{in}}{P_{out}} \times 100\% = \frac{7,65}{9,33} \times 100\% = 81,99\%$$

- Efisiensi sistem PLTB dengan beban motor DC B

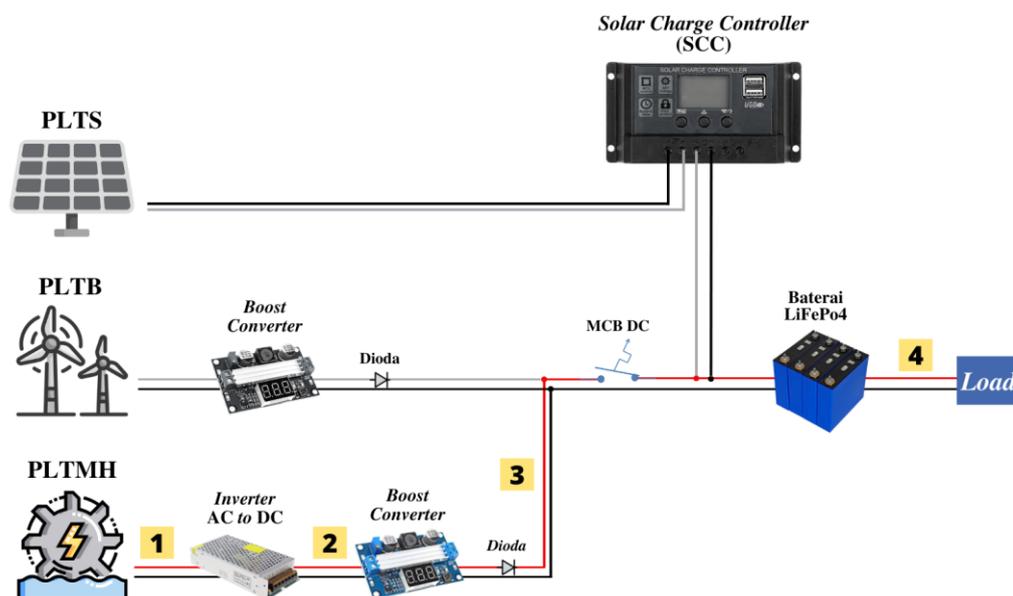
$$\eta = \frac{P_{in}}{P_{out}} \times 100\% = \frac{7,15}{8,07} \times 100\% = 88,65\%$$

- Efisiensi sistem PLTB dengan beban motor DC C

$$\eta = \frac{P_{in}}{P_{out}} \times 100\% = \frac{9,39}{10,27} \times 100\% = 91,46\%$$

c. PLTMH ON, PLTS & PLTB OFF

Pengujian sistem dilakukan terhadap tegangan dan arus pada sinkronisasi sistem *controller* ketiga pembangkit namun dalam kondisi PLTMH *on*, PLTS & PLTB *off*. Dimana pengujian dilakukan dengan menggunakan *prototype* PLTMH berkapasitas 100V AC 2A. Pengujian arus dan tegangan dilakukan pada tiap komponen dalam sistem seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Pengukuran rangkaian PLTMH

Dimana pengujian tersebut dilakukan terhadap:

1. Pengujian arus dan tegangan antara *prototype* PLTMH dengan *inverter AC to DC*.
2. Pengujian arus dan tegangan antara *output inverter AC to DC* dengan *boost converter*.
3. Pengujian arus dan tegangan antara *output boost converter* menuju baterai.
4. Pengujian arus dan tegangan antara baterai dengan *load*.

Adapun beban yang digunakan yaitu motor DC A, motor DC B, dan motor DC C. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil pengukuran PLTMH

| Hasil Pengukuran | | Jenis Beban | | |
|------------------|---------------------|-------------|---------|---------|
| Titik Pengukuran | Besaran yang diukur | Motor A | Motor B | Motor C |
| 1 (AC) | Tegangan (V) | 91,4 | 92,2 | 89,5 |
| | Arus (A) | 1,78 | 1,77 | 1,82 |
| | Daya (W) | 162,69 | 163,19 | 162,89 |
| 2 | Tegangan (V) | 11,81 | 11,82 | 11,82 |
| | Arus (A) | 0,14 | 0,2 | 0,42 |
| | Daya (W) | 1,65 | 2,36 | 4,96 |
| 3 | Tegangan (V) | 13,32 | 13,62 | 12,77 |
| | Arus (A) | 0,26 | 0,24 | 3,46 |
| | Daya (W) | 3,46 | 3,27 | 44,18 |
| 4 | Tegangan (V) | 13,19 | 13,09 | 12,72 |
| | Arus (A) | 0,14 | 0,23 | 0,54 |
| | Daya (W) | 1,85 | 3,01 | 6,87 |

Berdasarkan hasil pengukuran yang terlampir pada Tabel 5.1 dihitung efisiensi sistem untuk masing-masing beban dengan persamaan (5.1) sehingga didapatkan efisiensi sistem PLTMH pada masing-masing beban sebagai berikut.

- Efisiensi sistem PLTMH dengan beban motor DC A

$$\eta = \frac{P_{in}}{P_{out}} \times 100\% = \frac{1,65}{1,85} \times 100\% = 89,54\%$$

- Efisiensi sistem PLTMH dengan beban motor DC B

$$\eta = \frac{P_{in}}{P_{out}} \times 100\% = \frac{2,36}{3,01} \times 100\% = 78,52\%$$

- Efisiensi sistem PLTMH dengan beban motor DC C

$$\eta = \frac{P_{in}}{P_{out}} \times 100\% = \frac{4,96}{6,87} \times 100\% = 72,27\%$$

Terlihat dari hasil perhitungan sistem pada poin 5.1 (a), (b), dan (c), didapatkan rata-rata efisiensi sistem pada masing-masing PLTS, PLTB, dan PLTMH secara berturut-turut sebesar 83,60%, 87,37%, dan 80,11%

Pada efisiensi PLTS dapat dikatakan baik karena nilai daya yang dihasilkan dari panel surya dengan daya yang diserap oleh beban memiliki nilai selisih yang kecil. Adapun hasil pengukuran

yang tertera pada Tabel 5.1 dipengaruhi oleh beberapa parameter saat dilakukan pengujian sistem, yaitu iluminasi radiasi sinar matahari yang mengenai panel surya dengan cuaca berawan dan spesifikasi panel surya yang hanya sebesar 20Wp. Selain itu, nilai arus yang mengalir dari panel surya menuju SCC bergantung dengan kondisi pada baterai. Hal tersebut dikarenakan pada sistem PLTS, baterai yang digunakan juga menjadi penyuplai daya untuk SCC. Sehingga, ketika baterai dalam kondisi penuh, arus yang mengalir dari SCC menuju baterai akan otomatis di-cut oleh BMS.

Pada efisiensi PLTB dapat dikatakan cukup baik karena rata-rata persentase konsumsi daya yang digunakan mencapai lebih dari 10%, dimana nilai tersebut melebihi dari rancangan spesifikasi sistem yang dibuat. Namun, persentase tersebut tidak membuat daya efisiensi sistem menjadi lebih buruk. Adapun hal lain yang mempengaruhi yaitu karena digunakannya *power supply* 12V DC 3A sebagai pengganti PLTB. *Power supply* yang digunakan hanya menyalurkan tegangan dan arus sesuai dengan kebutuhan beban yang dihubungkan. Selain itu, *boost converter* yang terdapat sebagai sistem *controller* pada PLTB mengkonsumsi daya hingga 3,3% dari daya yang disuplai oleh *power supply*.

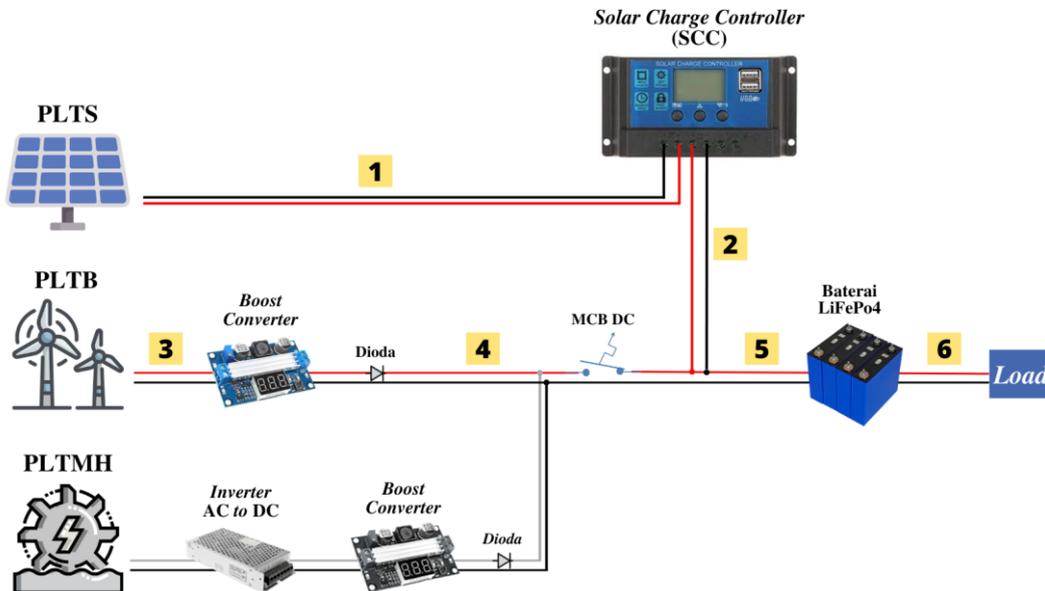
Pada efisiensi PLTMH dapat dikatakan cukup baik karena rata-rata persentase konsumsi daya yang digunakan mencapai lebih dari 10%, dimana nilai tersebut melebihi dari rancangan spesifikasi sistem yang dibuat. Namun, persentase tersebut tidak membuat daya efisiensi sistem menjadi lebih buruk. Adapun hal lain yang mempengaruhi yaitu PLTMH yang digunakan untuk pengujian merupakan sebuah *prototype* yang ada di laboratorium dengan spesifikasi 100V AC 2A. Selain itu, tidak terdapat rangkaian *controller* khusus pada *prototype* PLTMH. Sehingga, karakteristik arus yang dihasilkan terdapat banyak riak yang mengakibatkan daya yang masuk ke *inverter AC to DC* berkurang. Diketahui konsumsi daya yang digunakan untuk proses konversi AC to DC diketahui sebesar 1–2%, serta konsumsi daya yang digunakan untuk *boost converter* sebagai sistem *controller* pada PLTMH mengkonsumsi daya hingga 3,3% dari daya yang disuplai oleh *inverter AC to DC*.

5.1.2 Pengujian 2: Pembangkit dengan 2 Sumber ON dan 1 Sumber OFF

Pengujian 2 dilakukan pengukuran terhadap arus dan tegangan pada ketiga sumber pembangkit yang sudah disinkronisasi pada sistem *controllernya* menggunakan HyCos, namun dengan asumsi ketika berada dalam kondisi 2 sumber pembangkit *on* dan 1 sumber pembangkit *off*. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui besar persentase masing-masing pembangkit terhadap konsumsi daya pada sistem *controller* yang menuju ke beban dan besarnya arus *charging* yang masuk ke baterai setelah terjadi sinkronisasi 2 sumber pembangkit.

a. PLTS & PLTB ON, PLTMH OFF

Pengujian sistem dilakukan terhadap tegangan dan arus pada sinkronisasi sistem *controller* ketiga pembangkit namun dalam kondisi PLTS & PLTB *on*, PLTMH *off*. Pengujian arus dan tegangan dilakukan pada tiap komponen dalam sistem seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Pengukuran rangkaian sinkronisasi PLTS & PLTB

Dimana pengujian tersebut dilakukan terhadap:

1. Pengujian arus dan tegangan antara PLTS dengan SCC.
2. Pengujian arus dan tegangan antara *output* SCC dengan baterai.
3. Pengujian arus dan tegangan antara *prototype* PLTB dengan *boost converter*.
4. Pengujian arus dan tegangan antara *boost converter* dengan baterai.
5. Pengujian arus dan tegangan pada *output* sinkronisasi yang menuju ke baterai.
6. Pengujian arus dan tegangan antara baterai dengan *load*.

Beban yang digunakan untuk pengukuran yaitu motor DC A, motor DC B, dan motor DC C.

Hasil pengukuran sistem ditunjukkan pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil pengukuran sinkronisasi PLTS & PLTB

| Hasil Pengukuran | | | Jenis Beban | | |
|------------------|------------------|---------------------|-------------|---------|---------|
| Pengukuran | Titik Pengukuran | Besaran yang diukur | Motor A | Motor B | Motor C |
| PLTS | 1 | Tegangan (V) | 12,49 | 12,5 | 12,59 |
| | | Arus (A) | 0,16 | 0,09 | 0,14 |
| | | Daya (W) | 2,00 | 1,13 | 1,76 |
| | 2 | Tegangan (V) | 12,34 | 12,37 | 12,42 |
| | | Arus (A) | 0,13 | 0,05 | 0,12 |

| Hasil Pengukuran | | | Jenis Beban | | |
|---------------------|---|--------------|-------------|-------|-------|
| | | Daya (W) | 1,60 | 0,62 | 1,49 |
| PLTB | 3 | Tegangan (V) | 12,06 | 12,31 | 12,24 |
| | | Arus (A) | 0,79 | 0,59 | 0,63 |
| | | Daya (W) | 9,53 | 7,26 | 7,71 |
| | 4 | Tegangan (V) | 13,96 | 13,97 | 13,97 |
| | | Arus (A) | 0,74 | 0,4 | 0,47 |
| | | Daya (W) | 10,33 | 5,59 | 6,57 |
| Sinkronisasi sistem | 5 | Tegangan (V) | 12,35 | 12,36 | 12,41 |
| | | Arus (A) | 0,84 | 0,43 | 0,46 |
| | | Daya (W) | 10,37 | 5,31 | 5,71 |
| Pembebanan | 6 | Tegangan (V) | 12,4 | 12,62 | 12,75 |
| | | Arus (A) | 0,78 | 0,6 | 0,81 |
| | | Daya (W) | 9,67 | 7,57 | 10,33 |

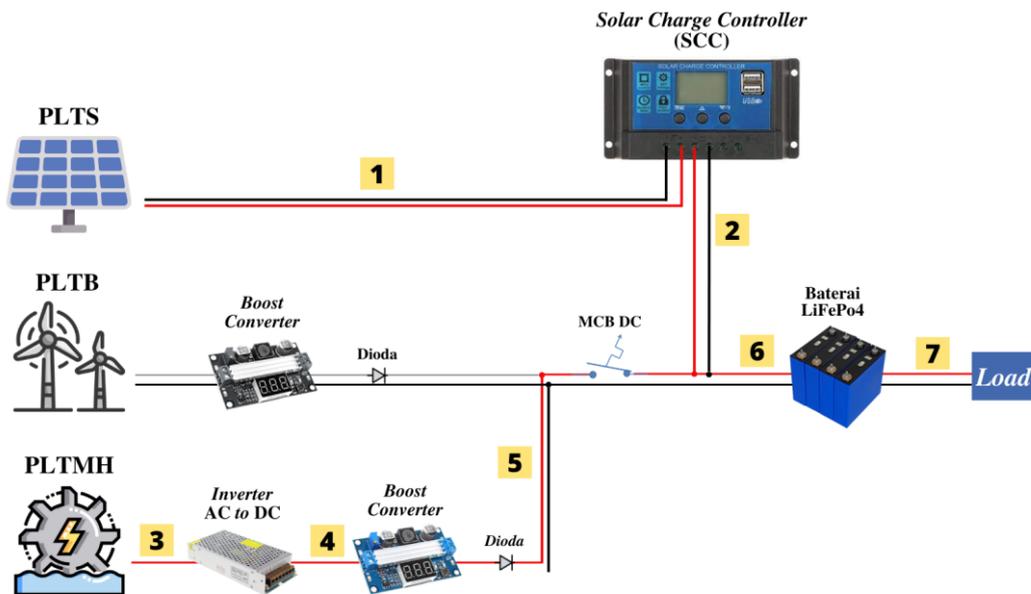
Berdasarkan data yang diperoleh pada Tabel 5.4 dapat diketahui besar persentase kontribusi PLTS & PLTB terhadap konsumsi daya pada sistem *controller* hingga menuju beban yang ditunjukkan pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Persentase kontribusi PLTS & PLTB terhadap beban

| Beban | PLTS (%) | PLTB (%) |
|---------|----------|----------|
| Motor A | 20,66 | 98,50 |
| Motor B | 14,86 | 95,92 |
| Motor C | 17,07 | 74,67 |

b. PLTS & PLTMH ON, PLTB OFF

Pengujian sistem dilakukan terhadap tegangan dan arus pada sinkronisasi sistem *controller* ketiga pembangkit namun dalam kondisi PLTS & PLTMH *on*, PLTB *off*. Pengujian arus dan tegangan dilakukan pada tiap komponen dalam sistem seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Pengukuran rangkaian sinkronisasi PLTS & PLTMH

Dimana pengujian tersebut dilakukan terhadap:

1. Pengujian arus dan tegangan antara PLTS dengan SCC.
2. Pengujian arus dan tegangan antara *output* SCC dengan baterai.
3. Pengujian arus dan tegangan antara *prototype* PLTMH dengan *inverter AC to DC*.
4. Pengujian arus dan tegangan antara *inverter AC to DC* dengan *boost converter*.
5. Pengujian arus dan tegangan antara *boost converter* dengan baterai.
6. Pengujian arus dan tegangan pada *output* sinkronisasi yang menuju ke baterai
7. Pengujian arus dan tegangan antara baterai dengan *load*.

Beban yang digunakan untuk pengukuran yaitu motor DC A, motor DC B, dan motor DC C.

Hasil pengukuran sistem ditunjukkan pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Hasil pengukuran sinkronisasi PLTS & PLTMH

| Hasil Pengukuran | | | Jenis Beban | | |
|------------------|------------------|---------------------|-------------|---------|---------|
| Pengukuran | Titik Pengukuran | Besaran yang diukur | Motor A | Motor B | Motor C |
| PLTS | 1 | Tegangan (V) | 12,62 | 12,62 | 12,6 |
| | | Arus (A) | 0,19 | 0,09 | 0,16 |
| | | Daya (W) | 2,40 | 1,14 | 2,02 |
| | 2 | Tegangan (V) | 12,45 | 12,47 | 12,45 |
| | | Arus (A) | 0,16 | 0,08 | 0,13 |
| | | Daya (W) | 1,99 | 1,00 | 1,62 |
| PLTMH | 3 | Tegangan (V) | 61,5 | 65,68 | 70,4 |
| | | Arus (A) | 0,19 | 0,4 | 0,18 |

| Hasil Pengukuran | | | Jenis Beban | | | |
|------------------|---------------------|--------------|--------------|-------|-------|-------|
| | 4 | Daya (W) | 11,69 | 26,27 | 12,67 | |
| | | Tegangan (V) | 11,97 | 11,99 | 11,99 | |
| | | Arus (A) | 0,38 | 0,32 | 0,36 | |
| | 5 | Daya (W) | 4,55 | 3,84 | 4,32 | |
| | | Tegangan (V) | 13,97 | 13,97 | 13,97 | |
| | | Arus (A) | 0,29 | 0,39 | 0,37 | |
| | Sinkronisasi Sistem | 6 | Daya (W) | 4,05 | 5,45 | 5,17 |
| | | | Tegangan (V) | 12,44 | 12,45 | 12,44 |
| | | | Arus (A) | 0,42 | 0,41 | 0,4 |
| Pembebanan | 7 | Daya (W) | 5,22 | 5,10 | 4,98 | |
| | | Tegangan (V) | 12,14 | 12,5 | 12,56 | |
| | | Arus (A) | 0,9 | 0,6 | 0,83 | |
| | | Daya (W) | 10,93 | 7,50 | 10,42 | |

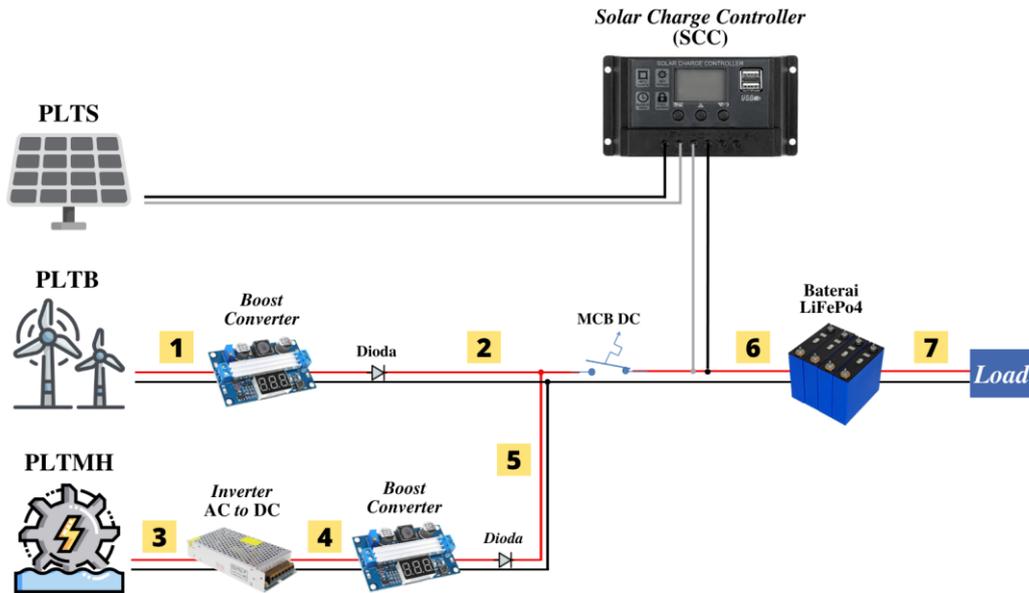
Berdasarkan data yang diperoleh pada Tabel 5.6 dapat diketahui besar persentase kontribusi PLTS & PLTMH terhadap konsumsi daya pada sistem *controller* hingga menuju beban yang ditunjukkan pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Persentase kontribusi PLTS & PLTMH terhadap beban

| Beban | PLTS (%) | PLTMH (%) |
|---------|----------|-----------|
| Motor A | 21,95 | 41,63 |
| Motor B | 15,14 | 51,16 |
| Motor C | 19,34 | 41,41 |

c. PLTB & PLTMH ON, PLTS OFF

Pengujian sistem dilakukan terhadap tegangan dan arus pada sinkronisasi sistem *controller* ketiga pembangkit namun dalam kondisi PLTB & PLTMH *on*, PLTS *off*. Pengujian arus dan tegangan dilakukan pada tiap komponen dalam sistem seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Pengukuran rangkaian sinkronisasi PLTB & PLTMH

Dimana pengujian tersebut dilakukan terhadap:

1. Pengujian arus dan tegangan antara *prototype* PLTB dengan *boost converter*.
2. Pengujian arus dan tegangan antara *output boost converter* dengan baterai.
3. Pengujian arus dan tegangan antara *prototype* PLTMH dengan *inverter AC to DC*.
4. Pengujian arus dan tegangan antara *inverter AC to DC* dengan *boost converter*.
5. Pengujian arus dan tegangan antara *output boost converter* dengan baterai.
6. Pengujian arus dan tegangan pada *output sinkronisasi* yang menuju ke baterai.
7. Pengujian arus dan tegangan antara baterai dengan *load*.

Adapun beban yang digunakan yaitu motor DC A, motor DC B, dan motor DC C. Hasil pengukuran sistem ditunjukkan pada Tabel 5.8.

Tabel 5. 8 Hasil pengukuran sinkronisasi PLTB & PLTMH

| Hasil Pengukuran | | | Jenis Beban | | |
|------------------|------------------|---------------------|-------------|---------|---------|
| Pengukuran | Titik Pengukuran | Besaran yang diukur | Motor A | Motor B | Motor C |
| PLTB | 1 | Tegangan (V) | 12,21 | 12,3 | 12,36 |
| | | Arus (A) | 0,61 | 0,62 | 0,76 |
| | | Daya (W) | 7,45 | 7,63 | 9,39 |
| | 2 | Tegangan (V) | 14,33 | 14,31 | 14,31 |
| | | Arus (A) | 0,32 | 0,33 | 0,38 |
| | | Daya (W) | 4,59 | 4,72 | 5,44 |
| PLTMH | 3 (AC) | Tegangan (V) | 96,1 | 99,8 | 96,1 |
| | | Arus (A) | 0,11 | 0,1 | 0,17 |

| Hasil Pengukuran | | | Jenis Beban | | | |
|------------------|---------------------|--------------|--------------|-------|-------|-------|
| | 4 | Daya (W) | 10,57 | 9,98 | 16,34 | |
| | | Tegangan (V) | 11,99 | 11,99 | 11,99 | |
| | | Arus (A) | 0,34 | 0,28 | 0,36 | |
| | 5 | Daya (W) | 4,08 | 3,36 | 4,32 | |
| | | Tegangan (V) | 13,99 | 14 | 13,99 | |
| | | Arus (A) | 0,25 | 0,19 | 0,27 | |
| | Sinkronisasi Sistem | 6 | Daya (W) | 3,50 | 2,66 | 3,78 |
| | | | Tegangan (V) | 12,5 | 12,51 | 12,52 |
| | | | Arus (A) | 0,49 | 0,46 | 0,5 |
| Pembebanan | 7 | Daya (W) | 6,13 | 5,75 | 6,26 | |
| | | Tegangan (V) | 12,44 | 12,61 | 12,68 | |
| | | Arus (A) | 0,75 | 0,64 | 0,81 | |
| | | Daya (W) | 9,33 | 8,07 | 10,27 | |

Berdasarkan data yang diperoleh pada Tabel 5.8 dapat diketahui bahwa besar persentase masing-masing pembangkit terhadap konsumsi daya pada sistem *controller* hingga menuju beban ditunjukkan pada Tabel 5.9.

Tabel 5. 9 Persentase kontribusi pembangkit terhadap beban

| Beban | PLTB (%) | PLTMH (%) |
|---------|----------|-----------|
| Motor A | 79,83 | 43,69 |
| Motor B | 94,49 | 41,60 |
| Motor C | 91,46 | 42,03 |

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada pengujian 2, yaitu ketika sumber pembangkit kondisi 2 sumber *on* dan 1 sumber *off*, pada beban akan membutuhkan konsumsi daya yang lebih besar dibandingkan dengan 1 sumber pembangkit. Hal tersebut dikarenakan terjadi penggabungan antara distribusi energi yang dihasilkan oleh sinkronisasi daya oleh PLTS & PLTB, PLTS & PLTMH, dan PLTB & PLTMH. Sehingga total energi yang dihasilkan menjadi lebih besar dan total energi yang dibutuhkan untuk konversi energi pada sistem *controller* menjadi lebih kecil, seperti yang terlihat pada perbandingan nilai daya antara sumber dengan beban. Hal tersebut dikarenakan pada masing-masing komponen yang terdapat pada sistem *controller* yang dapat mengkonsumsi daya sebesar 1–3,3%, selain itu terdapat konversi daya pada *inverter AC to DC* pada PLTMH yang dapat mengkonsumsi daya sebesar 1–2% dari total daya yang dihasilkan oleh

PLTMH. Selain itu, pengujian dilakukan dalam kondisi ketika baterai dalam kondisi *charging* (tidak penuh), sehingga sebagian daya yang berasal dari kedua sumber digunakan untuk menyuplai baterai.

Arus hasil sinkronisasi sistem yang diketahui pada Tabel 5.4 (titik pengujian nomor 5), Tabel 5.6 (titik pengujian nomor 6), dan Tabel 5.8 (titik pengujian nomor 6) merupakan arus *charging* untuk pengisian baterai. Data yang diperoleh berdasarkan pengujian pada masing-masing beban ditampilkan pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Arus *charging* hasil sinkronisasi sistem

| Beban | Sumber | Arus (A) |
|---------|--------------|----------|
| Motor A | PLTS & PLTB | 0,84 |
| | PLTS & PLTMH | 0,43 |
| | PLTB & PLTMH | 0,46 |
| Motor B | PLTS & PLTB | 0,42 |
| | PLTS & PLTMH | 0,41 |
| | PLTB & PLTMH | 0,4 |
| Motor C | PLTS & PLTB | 0,49 |
| | PLTS & PLTMH | 0,46 |
| | PLTB & PLTMH | 0,5 |

Berdasarkan Tabel 5.10 dapat diketahui bahwa rata-rata arus *charging* untuk pengisian baterai dari hasil sinkronisasi sistem PLTS & PLTB sebesar 0,58A, PLTS & PLTMH sebesar 0,43A, dan PLTB & PLTMH sebesar 0,45A. Arus *charging* dari hasil sinkronisasi sistem tersebut didapatkan sesuai dengan teori Hukum Kirchoff I dimana arus masuk sama dengan arus keluar seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$\Sigma I_{masuk} = \Sigma I_{keluar} \quad (5.3)$$

$$I_1 = I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

Dimana arus masuk merupakan arus yang berasal dari sumber pembangkit dan arus keluar merupakan arus hasil sinkronisasi sistem. Namun, pada hasil pengukuran pada penjumlahan tersebut terdapat selisih nilai arus. Selisih tersebut didapatkan akibat penggunaan arus yang melewati sistem *controller* serta penggunaan alat ukur yang digunakan memiliki efisiensi sekitar 90%. Hal tersebut menjadi penyebab ketidaksesuaian antara hasil perhitungan dengan hasil pengukuran untuk hasil nilai arus dari sinkronisasi sistem.

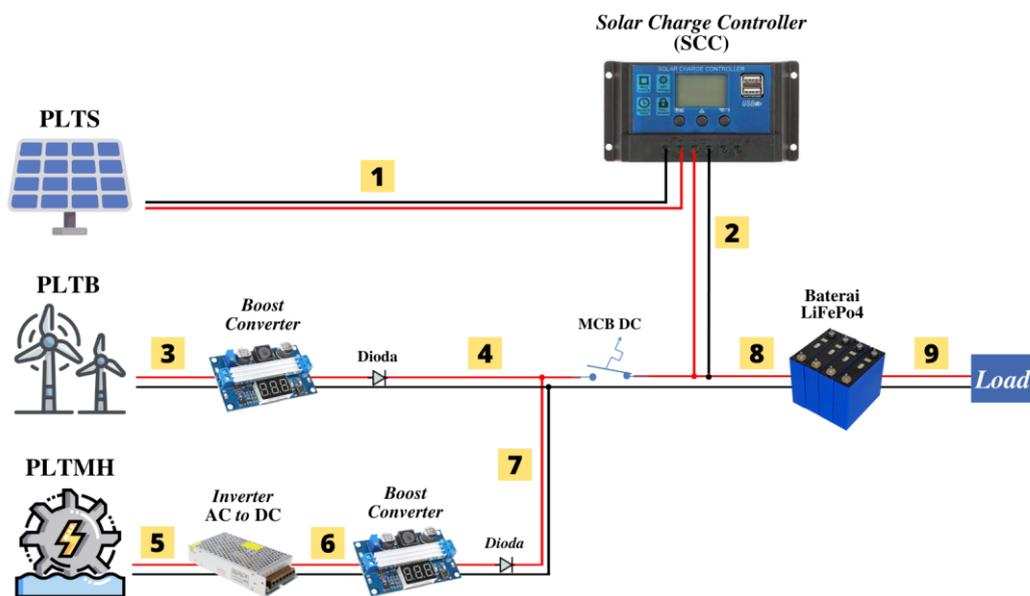
5.1.3 Pengujian 3: Pembangkit dengan 3 Sumber ON

Pengujian 3 dilakukan pengukuran terhadap arus dan tegangan pada ketiga sumber pembangkit yang sudah disinkronisasi pada sistem *controllernya* menggunakan HyCos, dengan

asumsi ketika 3 sumber pembangkit *on*. Adapun pengujian dilakukan terhadap beban DC dan AC (menggunakan *inverter*). Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar persentase masing-masing pembangkit terhadap konsumsi daya pada sistem *controller* hingga menuju beban dan besarnya arus *charging* yang masuk ke baterai setelah terjadi sinkronisasi 3 sumber pembangkit.

a. PLTS, PLTB, & PLTMH ON (Pengujian Beban DC)

Pengujian sistem dilakukan terhadap tegangan dan arus pada sinkronisasi sistem *controller* ketiga pembangkit dalam kondisi *on* terhadap beban DC. Pengujian arus dan tegangan dilakukan pada tiap komponen dalam sistem seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Rangkaian sinkronisasi PLTS, PLTB, dan PLTMH

Dimana pengujian tersebut dilakukan terhadap:

1. Pengujian arus dan tegangan antara PLTS dengan SCC.
2. Pengujian arus dan tegangan antara *output* SCC dengan baterai.
3. Pengujian arus dan tegangan antara *prototype* PLTB dengan *boost converter*.
4. Pengujian arus dan tegangan antara *output boost converter* dengan baterai.
5. Pengujian arus dan tegangan antara *prototype* PLTMH dengan *inverter AC to DC*.
6. Pengujian arus dan tegangan antara *output inverter AC to DC* dengan *boost converter*.
7. Pengujian arus dan tegangan antara *output boost converter* dengan baterai.
8. Pengujian arus dan tegangan pada *output* sinkronisasi yang menuju ke baterai.
9. Pengujian arus dan tegangan antara baterai dengan *load*.

Adapun beban yang digunakan yaitu motor DC A, motor DC B, dan motor DC C. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Hasil pengukuran PLTS, PLTB, dan PLTMH

| Hasil Pengukuran | | | Jenis Beban | | |
|---------------------|------------------|---------------------|-------------|---------|---------|
| Pengukuran | Titik Pengukuran | Besaran yang diukur | Motor A | Motor B | Motor C |
| PLTS | 1 | Tegangan (V) | 12,66 | 12,69 | 12,69 |
| | | Arus (A) | 0,11 | 0,07 | 0,14 |
| | | Daya (W) | 1,39 | 0,89 | 1,78 |
| | 2 | Tegangan (V) | 12,57 | 12,6 | 12,6 |
| | | Arus (A) | 0,08 | 0,05 | 0,1 |
| | | Daya (W) | 1,01 | 0,63 | 1,26 |
| PLTB | 3 | Tegangan (V) | 12,24 | 12,28 | 12,32 |
| | | Arus (A) | 0,64 | 0,52 | 0,78 |
| | | Daya (W) | 7,83 | 6,39 | 9,61 |
| | 4 | Tegangan (V) | 14,3 | 14,31 | 14,3 |
| | | Arus (A) | 0,35 | 0,28 | 0,42 |
| | | Daya (W) | 5,01 | 4,01 | 6,01 |
| PLTMH | 5 | Tegangan (V) | 96,2 | 96,4 | 96,3 |
| | | Arus (A) | 0,13 | 0,1 | 0,1 |
| | | Daya (W) | 12,51 | 9,64 | 9,63 |
| | 6 | Tegangan (V) | 11,99 | 11,99 | 11,99 |
| | | Arus (A) | 0,4 | 0,32 | 0,39 |
| | | Daya (W) | 4,80 | 3,84 | 4,68 |
| | 7 | Tegangan (V) | 13,99 | 14 | 13,99 |
| | | Arus (A) | 0,3 | 0,27 | 0,32 |
| | | Daya (W) | 4,20 | 3,78 | 4,48 |
| Sinkronisasi Sistem | 8 | Tegangan (V) | 12,56 | 12,6 | 12,61 |
| | | Arus (A) | 0,69 | 0,48 | 0,73 |
| | | Daya (W) | 9,04 | 6,05 | 7,82 |
| Pembebanan | 9 | Tegangan (V) | 11,98 | 12,63 | 12,62 |
| | | Arus (A) | 0,79 | 0,61 | 0,84 |
| | | Daya (W) | 9,46 | 7,70 | 10,60 |

Berdasarkan data yang diperoleh pada Tabel 5.10 dapat diketahui bahwa besar persentase masing-masing pembangkit terhadap konsumsi daya pada sistem *controller* hingga menuju beban DC ditunjukkan pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Persentase kontribusi pembangkit terhadap beban DC

| Beban | PLTS (%) | PLTB (%) | PLTMH (%) |
|---------|----------|----------|-----------|
| Motor A | 14,71 | 82,77 | 50,68 |
| Motor B | 11,53 | 82,88 | 49,80 |
| Motor C | 8,58 | 90,65 | 44,11 |

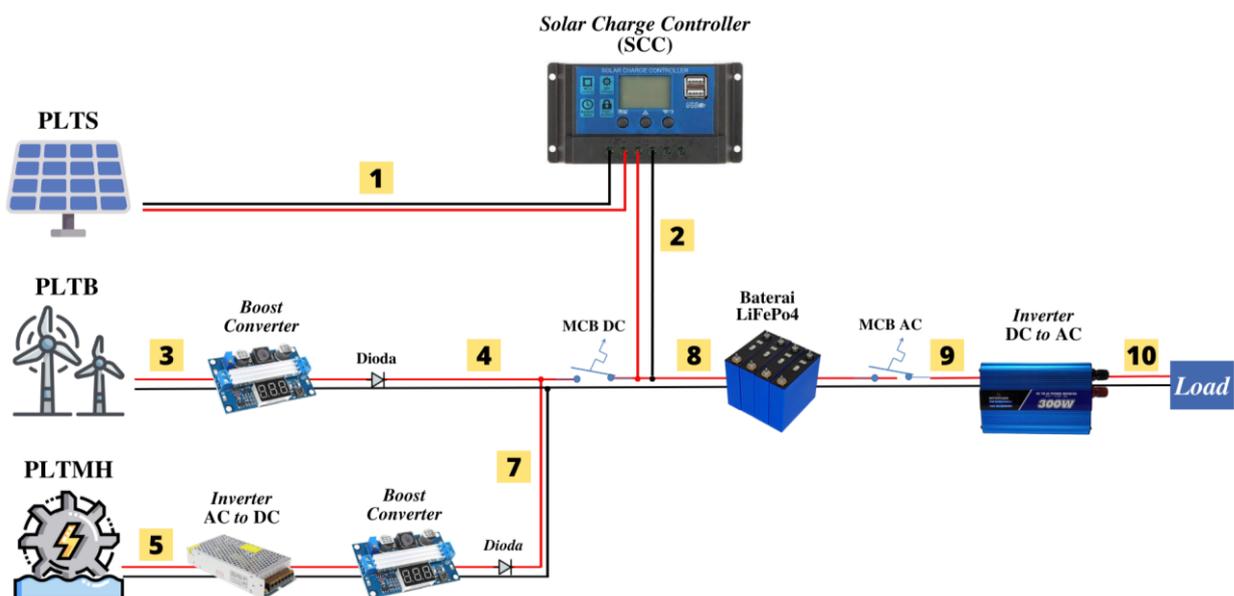
Arus hasil sinkronisasi sistem yang diketahui pada Tabel 5.11 (titik pengujian nomor 8) merupakan arus *charging* untuk pengisian baterai. Data yang diperoleh berdasarkan pengujian pada masing-masing beban ditampilkan pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Arus *charging* hasil sinkronisasi sistem

| Beban | Sumber | Arus (A) |
|---------|---------------------|----------|
| Motor A | PLTS, PLTB, & PLTMH | 0,69 |
| Motor B | PLTS, PLTB, & PLTMH | 0,48 |
| Motor C | PLTS, PLTB, & PLTMH | 0,73 |

b. PLTS, PLTB, & PLTMH ON (Pengujian Beban AC)

Pengujian sistem dilakukan terhadap tegangan dan arus pada sinkronisasi sistem *controller* ketiga pembangkit dalam kondisi *on* terhadap beban AC. Pengujian arus dan tegangan dilakukan pada tiap komponen dalam sistem seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Rangkaian sinkronisasi PLTS, PLTB, dan PLTMH (dengan inverter untuk beban AC)

Dimana pengujian tersebut dilakukan terhadap:

1. Pengujian arus dan tegangan antara PLTS dengan SCC.
2. Pengujian arus dan tegangan antara *output* SCC dengan baterai.
3. Pengujian arus dan tegangan antara *prototype* PLTB dengan *boost converter*.
4. Pengujian arus dan tegangan antara *output boost converter* dengan baterai.
5. Pengujian arus dan tegangan antara *prototype* PLTMH dengan *inverter AC to DC*.
6. Pengujian arus dan tegangan antara *output inverter AC to DC* dengan *boost converter*.
7. Pengujian arus dan tegangan antara *output boost converter* dengan baterai.
8. Pengujian arus dan tegangan pada *output* sinkronisasi yang menuju ke baterai.
9. Pengujian arus dan tegangan antara baterai dengan *inverter*.
10. Pengujian arus dan tegangan antara *inverter* dengan beban AC.

Adapun beban AC yang digunakan yaitu beban lampu LED, kipas angin, motor AC 1 fasa, *vacuum cleaner*, dan *air purifier*. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Hasil pengukuran PLTS, PLTB, dan PLTMH (dengan inverter untuk beban AC)

| Hasil Pengukuran | | | Jenis Beban | | | | |
|------------------|------------------|--------------|-------------|-------------|-----------------|-----------------------|---------------------|
| Pengukuran | Titik Pengukuran | Pengukuran | Lampu LED | Kipas Angin | Motor AC 1 fasa | <i>Vacuum Cleaner</i> | <i>Air Purifier</i> |
| PLTS | 1 | Tegangan (V) | 12,62 | 12,52 | 12,41 | 11,72 | 12,48 |
| | | Arus (A) | 0,1 | 0,11 | 0,14 | 0,12 | 0,09 |
| | | Daya (W) | 1,26 | 1,38 | 1,74 | 1,41 | 1,12 |
| | 2 | Tegangan (V) | 12,52 | 12,41 | 12,19 | 11,57 | 12,35 |
| | | Arus (A) | 0,07 | 0,07 | 0,09 | 0,08 | 0,05 |
| | | Daya (W) | 0,88 | 0,87 | 1,10 | 0,93 | 0,62 |
| PLTB | 3 | Tegangan (V) | 12,37 | 12,32 | 12,49 | 12,25 | 12,59 |
| | | Arus (A) | 1,06 | 0,97 | 1,04 | 1,14 | 1,07 |
| | | Daya (W) | 13,11 | 11,95 | 12,99 | 13,97 | 13,47 |
| | 4 | Tegangan (V) | 14,31 | 14,3 | 14,3 | 14,27 | 14,28 |
| | | Arus (A) | 0,68 | 0,62 | 0,65 | 0,74 | 0,66 |
| | | Daya (W) | 9,73 | 8,87 | 9,30 | 10,56 | 9,42 |
| PLTMH | 5 (AC) | Tegangan (V) | 95,7 | 91,3 | 92,3 | 82,7 | 93,6 |
| | | Arus (A) | 0,14 | 0,18 | 0,15 | 0,14 | 0,23 |
| | | Daya (W) | 13,40 | 16,43 | 13,85 | 11,58 | 21,53 |
| | 6 | Tegangan (V) | 12 | 11,99 | 11,99 | 11,95 | 11,99 |

| Hasil Pengukuran | | | Jenis Beban | | | | |
|-------------------------------------|------------------|--------------|-------------|-------------|-----------------|-----------------------|---------------------|
| Pengukuran | Titik Pengukuran | Pengukuran | Lampu LED | Kipas Angin | Motor AC 1 fasa | <i>Vacuum Cleaner</i> | <i>Air Purifier</i> |
| | | Arus (A) | 0,38 | 0,36 | 0,33 | 0,37 | 0,46 |
| | | Daya (W) | 4,56 | 4,32 | 3,96 | 4,42 | 5,52 |
| | 7 | Tegangan (V) | 14,01 | 14,18 | 14,18 | 14,01 | 14,18 |
| | | Arus (A) | 0,3 | 0,28 | 0,38 | 0,35 | 0,08 |
| | | Daya (W) | 4,20 | 3,97 | 5,39 | 4,90 | 1,13 |
| Sinkronisasi Sistem | 8 | Tegangan (V) | 12,35 | 12,35 | 12,11 | 11,54 | 12,32 |
| | | Arus (A) | 0,94 | 0,95 | 1,06 | 1,11 | 0,78 |
| | | Daya (W) | 11,61 | 11,73 | 13,20 | 11,31 | 9,61 |
| Pembebanan <i>inverter AC to DC</i> | 9 | Tegangan (V) | 12,42 | 12,44 | 11,73 | 11,86 | 12,31 |
| | | Arus (A) | 2,4 | 2,82 | 3,53 | 2,92 | 1,95 |
| | | Daya (W) | 29,81 | 35,08 | 41,41 | 34,63 | 24,00 |
| Pembebanan (AC) | 10 | Tegangan (V) | 215,4 | 226,8 | 227,7 | 224 | 213 |
| | | Arus (A) | 0,11 | 0,83 | 1 | 1,36 | 0,06 |
| | | Daya (W) | 23,69 | 188,24 | 227,7 | 304,64 | 12,78 |

Berdasarkan data yang diperoleh pada Tabel 5.14 dapat diketahui bahwa besar persentase masing-masing pembangkit terhadap konsumsi daya pada sistem *controller* hingga menuju beban AC ditunjukkan pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Persentase kontribusi pembangkit terhadap beban AC

| Beban | PLTS (%) | PLTB (%) | PLTMH (%) |
|-----------------------|----------|----------|-----------|
| Lampu LED | 4,23 | 43,99 | 15,30 |
| Kipas Angin | 3,93 | 34,07 | 12,30 |
| Motor 1 Fasa | 4,20 | 31,37 | 9,56 |
| <i>Vacuum Cleaner</i> | 4,06 | 40,32 | 12,77 |
| <i>Air Purifier</i> | 4,68 | 56,12 | 22,98 |

Arus hasil sinkronisasi sistem yang diketahui pada Tabel 5.14 (titik pengujian nomor 8) merupakan arus *charging* untuk pengisian baterai. Dimana data yang diperoleh ditampilkan pada Tabel 5.16.

Tabel 5. 16 Arus *charging* hasil sinkronisasi sistem

| Beban | Sumber | Arus (A) |
|-----------------------|---------------------|----------|
| Lampu LED | PLTS, PLTB, & PLTMH | 0,94 |
| Kipas Angin | PLTS, PLTB, & PLTMH | 0,95 |
| Motor 1 Fasa | PLTS, PLTB, & PLTMH | 1,06 |
| <i>Vacuum Cleaner</i> | PLTS, PLTB, & PLTMH | 1,11 |
| <i>Air Purifier</i> | PLTS, PLTB, & PLTMH | 0,78 |

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap sinkronisasi ketiga sumber daya PLTS, PLTB, dan PLTMH terhadap beban DC dan AC diketahui bahwa ketiga sumber daya tersebut memberikan daya yang optimal secara rata sesuai dengan spesifikasi masing-masing beban DC dan AC. Tentunya, persentase daya yang diberikan oleh ketiga sumber daya pembangkit tersebut rata sesuai dengan spesifikasi masing-masing pembangkit. Adapun data yang diperoleh berdasarkan Tabel 5.11 yaitu hasil tegangan dan arus yang dibutuhkan oleh beban motor A 9,46W, beban motor B 7,70W, dan beban motor C 10,60W. Berdasarkan data tersebut diperoleh rata-rata persentase setiap pembangkit yang diberikan terhadap beban DC yaitu pada PLTS 11,61%, pada PLTB 85,43%, dan PLTMH sebesar 48,20%.

Berdasarkan Tabel 5.11 pada titik pengukuran 8 didapatkan arus *charging* untuk pengisian baterai dengan beban motor A 0,69A, beban motor B sebesar 0,48A, dan beban motor C sebesar 0,73A. Sehingga, diketahui rata-rata arus *charging* dari hasil sinkronisasi sistem yaitu 0,63A. Hasil tersebut membuktikan bahwa hasil sinkronisasi sistem yang berasal dari tiga sumber pembangkit memberikan kontribusi arus yang lebih besar untuk kebutuhan proses *charging* pada baterai dalam menyuplai daya beban.

Sedangkan pengujian pada beban AC diketahui bahwa sistem dapat memberikan daya hingga mencapai 304,64W pada beban *vacuum cleaner*. Hal tersebut sesuai dengan rancangan spesifikasi maksimum daya *output* sistem yang dapat diberikan kepada beban AC. Adapun untuk pengujian lain seperti yang terlihat pada Tabel 5.13 diketahui sistem dapat memberikan daya pada lampu LED sebesar 23,69W, pada kipas angin sebesar 188,24W, pada motor 1 fasa sebesar 227,70W, dan pada *air purifier* sebesar 12,78W. Sehingga, berdasarkan data tersebut dapat diketahui rata-rata persentase setiap pembangkit yang diberikan terhadap beban AC yaitu pada PLTS 4,22%, pada PLTB 41,17%, dan PLTMH sebesar 14,58%.

Berdasarkan Tabel 5.13 didapatkan rata-rata arus *charging* hasil sinkronisasi sistem sebesar 0,73A dan pada Tabel 5.14 didapatkan rata-rata arus *charging* hasil sinkronisasi sistem sebesar 0,97A. Hasil tersebut membuktikan bahwa hasil sinkronisasi sistem yang berasal dari tiga sumber

pembangkit memberikan kontribusi arus yang lebih besar untuk kebutuhan proses *charging* pada baterai dalam menyuplai daya beban. Arus *charging* dari hasil sinkronisasi sistem tersebut didapatkan sesuai dengan teori Hukum Kirchoff I dimana arus masuk sama dengan arus keluar seperti yang ditunjukkan pada persamaan (5.2). Namun, pada hasil pengukuran pada penjumlahan tersebut terdapat selisih nilai arus. Selisih tersebut didapatkan akibat penggunaan arus yang melewati sistem *controller* serta penggunaan alat ukur yang digunakan memiliki efisiensi sekitar 90%. Hal tersebut menjadi penyebab ketidaksesuaian antara hasil perhitungan dengan hasil pengukuran untuk hasil nilai arus dari sinkronisasi sistem.

5.2 Pengalaman Pengguna

Setelah perancangan HyCos dapat diselesaikan dengan baik, langkah selanjutnya yaitu melakukan uji coba HyCos di lingkungan Fakultas Teknologi Industri (FTI) Universitas Islam Indonesia (UII). Hasil, kendala, dan aksi/perbaikan pengujian sistem oleh pengguna dijelaskan pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Pengalaman pengguna

| No | Fitur/Komponen | Capaian | Aksi/Perbaikan |
|----|----------------|--|---|
| 1 | Fungsi | Berfungsi sebagai sinkronisasi penyalur daya pada PLTS, PLTB, dan PLTMH hingga bisa menghasilkan daya <i>output</i> yang optimal | Mempertahankan fungsi komponen yang sudah berjalan dengan baik |
| 2 | Kemudahan | Daya <i>input</i> yang masuk ke sistem HyCos dapat dibaca oleh pengguna melalui lampu indikator dan pembacaan <i>voltmeter</i> dan <i>amperemeter</i> yang terpasang pada <i>cover box</i> | Mempertahankan fitur komponen indikator yang memudahkan pengguna untuk membaca arus dan tegangan dari pembangkit yang masuk ke sistem HyCos |
| 3 | Keamanan | Apabila terjadi lonjakan arus <i>input</i> yang melebihi spesifikasi sistem dapat teratasi dengan baik karena adanya penggunaan MCB | Mempertahankan penggunaan MCB yang berfungsi sebagai proteksi sistem |

5.3 Dampak Implementasi Sistem

Pada proses pembuatan HyCos tentunya terdapat beberapa dampak implementasi sistem yang terjadi dari berbagai bidang seperti teknologi, sosial, ekonomi, dan politik.

5.3.1 Teknologi

Perancangan HyCos digunakan untuk sinkronisasi *output* daya yang berasal dari sistem pembangkit listrik *hybrid* EBT. Terdapat beberapa riset mengenai perancangan *hybrid charge controller*, salah satunya yaitu penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Rafiq (2019) dengan judul: Sinkronisasi Pembangkit Listrik *Hybrid* (Angin dan Surya) Berbasis DC-AC *Inverter*. Penelitian tersebut merancang pembangkit listrik *hybrid* dengan dua sumber pembangkit energi

listrik yaitu angin dan matahari. Pada penelitian tersebut digunakan media penyimpanan daya listrik berupa baterai, akan tetapi tidak dijelaskan bagaimana manajemen suplai daya listrik seperti penggunaan jenis baterai hingga perhitungan *battery management system* (BMS). Selain itu, terdapat penggunaan *buck converter* sebagai pengatur tegangan DC.

Selain itu, terdapat penelitian serupa yang dilakukan oleh Arief Kurniawan (2021) dengan judul: Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (*Photovoltaic* dan Mikrohidro) Menuju Desa Mandiri Energi. Penelitian tersebut merancang pembangkit listrik *hybrid* dengan dua sumber pembangkit energi listrik, yaitu matahari dan air. Sama seperti penelitian dari penelitian sebelumnya, penelitian tersebut menggunakan baterai sebagai media penyimpanan daya listrik, akan tetapi tidak dijelaskan bagaimana manajemen suplai daya listrik. Pada penelitian yang dilakukan Arief Kurniawan digunakan *smart relay* untuk *switching* otomatis dari PLTS ke PLTMH ketika beban melebihi kapasitas kemampuan *inverter*, yaitu 1000W.

Sedangkan, pada perancangan *hybrid charge controller system* yang penulis buat memiliki sumber pembangkit listrik dengan 3 jenis sumber yaitu matahari, air, dan angin. Kemudian, dijelaskan manajemen suplai daya listrik yang digunakan, yaitu penggunaan baterai jenis LiFePo₄ yang dipilih sebagai media penyimpanan listrik dan penggunaan serta perhitungan BMS agar dapat mengontrol arus yang masuk dari pembangkit ke baterai sehingga tidak membuat baterai lebih mudah rusak. Selain itu, digunakan rangkaian *boost converter* untuk mengatur tegangan DC pada *output* PLTMH dan PLTB agar nilai tegangan sesuai dengan manajemen suplai daya listrik pada baterai. Pada Tabel 5.15 ditampilkan perbandingan riset antara sistem yang telah dengan usulan sistem yang dibuat terkait perancangan *hybrid charge controller* pada pembangkit listrik *hybrid* EBT.

Tabel 5.18 Perbandingan riset sistem *hybrid charge controller system*

| No. | Fitur/Komponen | Sistem HyCos | Sistem Muhammad Rafiq | Sistem Arief Kurniawan |
|-----|---------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1 | Sumber pembangkit | Matahari, angin, dan mikrohidro | Matahari dan angin | Matahari dan mikrohidro |
| 2 | Baterai | LiFePo ₄ | Tidak tercantum jenis baterai | Tidak tercantum jenis baterai |
| 3 | Manajemen suplai daya listrik baterai | BMS JBD <i>Non-Smart</i> | Tidak ada | Tidak ada |
| 4 | Pengatur tegangan DC | <i>Boost converter</i> | <i>Buck-Boost converter</i> | Tidak ada |

5.3.2 Sosial

Pada daerah yang berpotensi memiliki ketiga sumber energi alam (matahari, angin, dan air), HyCos akan mempermudah masyarakat untuk memanfaatkan ketiga energi tersebut menjadi

pembangkit listrik EBT sehingga masyarakat juga mendapatkan pasokan listrik yang berasal dari lingkungan sekitarnya.

5.3.3 Ekonomi

Tarif Dasar Listrik (TDL) pada tahun 2022 diprediksi akan meningkat akibat pemangkasan subsidi listrik untuk PLN hingga 8,13%. Untuk mencegah masyarakat menengah ke bawah tidak terdampak langsung oleh kenaikan TDL, maka salah satu solusi yang tepat untuk mengatasi permasalahan tersebut dengan memanfaatkan sumber daya alam yang tersedia di suatu wilayah untuk digunakan sebagai sumber energi pembangkit listrik EBT (matahari, angin, dan air). Oleh karena itu, terciptanya HyCos memiliki tujuan yang selaras karena dapat mensinkronisasi pembangkit listrik *hybrid* EBT hingga terciptanya daya listrik yang optimal. Jika HyCos dapat diimplementasikan dengan baik oleh pengguna, maka dapat membantu pengguna untuk mengurangi beban tagihan biaya listrik oleh PLN.

5.3.4 Lingkungan

Jika sumber daya alam yang berada di suatu wilayah di Indonesia dapat dimanfaatkan dengan baik sebagai sumber energi pembangkit listrik EBT, maka hal tersebut bisa dijadikan sebagai salah satu upaya yang memberikan kontribusi untuk menanggapi masalah terjadinya krisis energi di lingkungan sekitar. Terciptanya HyCos merupakan dukungan teknologi untuk para stakeholder dalam perencanaan pembangunan pembangkit listrik *hybrid* EBT.

5.3.5 Politik

Jika kemudahan fitur yang ditawarkan oleh HyCos dapat diterima dengan baik oleh para stakeholder dalam perencanaan pembangunan pembangkit listrik *hybrid* EBT, maka keberhasilan pembangunan proyek tersebut akan menjadi suatu upaya untuk memberikan dukungan terhadap Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 dan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) mengenai penggunaan EBT di Indonesia yang ditargetkan sebesar 31% atau setara dengan 167,7 GW pada tahun 2050.

BAB 6 : Kesimpulan dan Saran

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan yang telah dilakukan pada *hybrid charge controller system* (HyCos) sebagai sinkronisasi penyalaras daya pada PLTS, PLTB, dan PLTMH maka dapat didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. HyCos mampu berfungsi sebagai sinkronisasi penyalaras daya pada ketiga sumber pembangkit listrik, yaitu PLTS, PLTB, dan PLTMH yang dibuktikan dengan pengujian sistem menggunakan beban DC dan AC.
2. HyCos dapat memberikan suplai daya yang efektif untuk digunakan pada peralatan rumah tangga dengan daya maksimal sebesar 300W DC dan 300W AC.
3. Konsumsi daya operasional sistem memiliki *losses* yang kecil dengan persentase <10% dari total daya yang dapat dikontrol oleh HyCos.
4. Hasil arus sinkronisasi sistem pada arus *charging* didapatkan arus yang lebih besar setiap terjadi penambahan sumber pembangkit yang *on*. Hal ini sesuai dengan teori Hukum Kirchoff I dimana penjumlahan arus yang masuk sama dengan arus yang keluar.
5. Pada pengujian sinkronisasi ketiga pembangkit terhadap beban DC didapatkan rata-rata persentase kontribusi setiap pembangkit yaitu pada PLTS 11,61%, pada PLTB 85,43%, dan PLTMH 48,20% dengan rata-rata arus *charging* hasil sinkronisasi sistem sebesar 0,73A
6. Pada pengujian sinkronisasi ketiga pembangkit terhadap beban AC didapatkan rata-rata persentase kontribusi setiap pembangkit yaitu pada PLTS 4,22%, pada PLTB 41,17%, dan PLTMH sebesar 14,58% dengan rata-rata arus *charging* hasil sinkronisasi sistem sebesar 0,97A.

6.2 Saran

Menyadari bahwa sistem yang telah dirancang masih membutuhkan pengembangan, berikut merupakan beberapa saran yang dapat membantu dalam pengembangan untuk penelitian selanjutnya.

1. Pengujian secara langsung di suatu wilayah yang terdapat ketiga sumber pembangkit listrik EBT (matahari, angin, dan air).
2. Pengembangan sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) agar pengguna dapat monitoring tegangan, arus, dan daya *output* dari ketiga sumber pembangkit setiap saat.
3. Peningkatan kapasitas total daya *input* agar semakin besar total daya *output* yang dihasilkan sehingga dapat digunakan untuk kebutuhan perangkat elektronik dengan daya yang besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tampubolon, A P. and Adiatma, J C, "Laporan Status Energi Bersih Indonesia", *Institute for Essential Services Reform (IESR)*, Jakarta, March 2019
- [2] Badan Pusat Statistik (BPS), "Hasil Sensus Penduduk 2020," 21 Januari 2021. <https://www.bps.go.id/pressrelease/2021/01/21/1854/hasil-sensus-penduduk-2020.html> (diakses 14 Oktober 2021)
- [3] Rafiq, M, "Sinkronisasi Pembangkit Listrik Hybrid (Angin dan Surya) Berbasis DC-AC Inverter", Tugas Akhir, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan, 2019
- [4] A. I. Agung, "Potensi Sumber Energi Alternatif dalam Mendukung Kelistrikan Nasional". *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, vol. 2(2) , pp. 892-897, 2013
- [5] *Institute for Essential Services Reform (IESR)*, "ENERGI TERBARUKAN: Energi untuk Kini dan Nanti", May 2017
- [6] *International Renewable Energy Agency (IRENA)*, "Energy Profile: Indonesia", Sept. 29, 2021
- [7] CNN Indonesia, "BMKG: Potensi Angin Kencang di Jabar Efek Bibit Siklon 92W," Oktober 2021. <https://www.cnnindonesia.com/teknologi/20211005201103-199-703796/bmkg-potensi-angin-kencang-di-jabar-efek-bibit-siklon-92w> (diakses 3 November 2021).
- [8] Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, "Mengenal Perubahan Iklim," 2017. <http://ditjenppi.menlhk.go.id/kcpi/index.php/info-iklim/perubahan-iklim> (diakses 11 Maret 2021).
- [9] A. Gusmao, "Desain Kontrol Pembangkit Listrik Hibrid Tenaga Surya, Tenaga Angin, dan Baterai," *Thesis*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2019
- [10] A. A. Razi, "Penerapan Metode Design Thinking pada Model Perancangan UI/UX Aplikasi Penanganan Laporan Kehilangan dan Temuan Barang Tercecer," *Demandia: Jurnal Desain Komunikasi Visual, Manajemen Desain, dan Periklanan*, vol. 03, no. 02, hlm. 75–93, Sep 2018.
- [11] Badan Standarisasi Nasional (BSN), "Sistem Pembangkit Daya Fotovoltaik Terrestrial - Umum dan Pedoman." <https://akses-sni.bsn.go.id/viewsni/baca/2409>, <https://akses-sni.bsn.go.id/viewsni/baca/7314> (diakses 24 Juli 2022).
- [12] Badan Standarisasi Nasional (BSN), "Panduan Studi Kelayakan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Fotovoltaik," 24 Juli 2022. <https://akses-sni.bsn.go.id/viewsni/baca/7314>
- [13] Badan Standarisasi Nasional (BSN), "Panduan Studi Kelayakan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu," 24 Juli 2022. <https://akses-sni.bsn.go.id/viewsni/baca/7317>

- [14] Badan Standarisasi Nasional (BSN), “Perancangan Kapasitas dan Layout Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Jenis Cross-Flow sampai dengan Daya Terbangkit 25kW,” 24 Juli 2022. <https://akses-sni.bsn.go.id/viewsni/baca/5592>
- [15] Power Sonic, “How to Charge Lithium Iron Phosphate (LiFePo4) Batteries,” 2022. <https://www.power-sonic.com/blog/how-to-charge-lithium-iron-phosphate-lifepo4-batteries/> (diakses 28 Juni 2022).



LAMPIRAN – LAMPIRAN

▪ Logbook Kegiatan Selama Proses Tugas Akhir 2

Tabel 6.1 Logbook Kegiatan

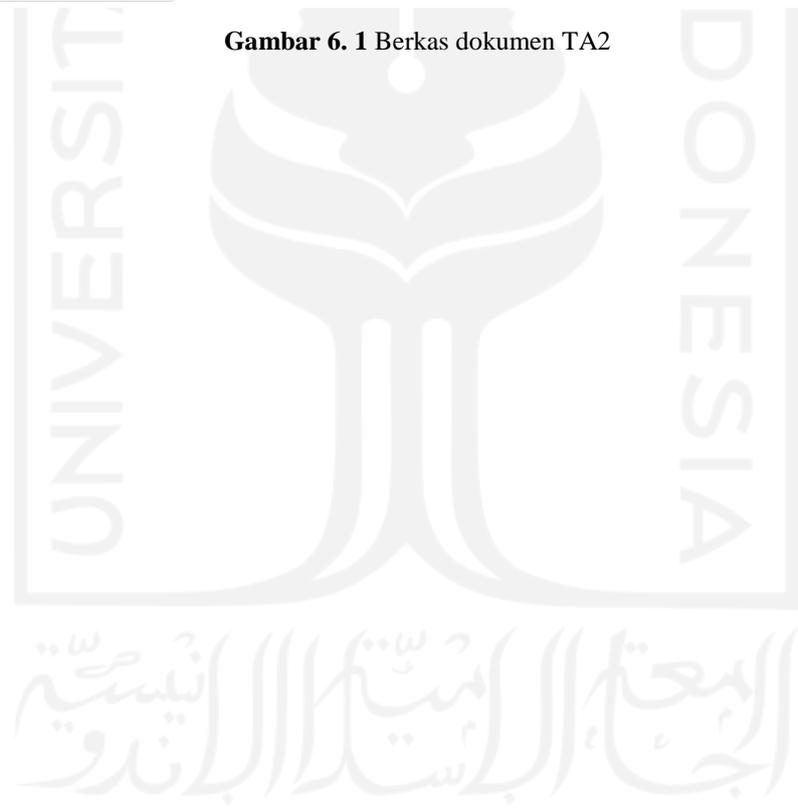
| Hari, Tanggal | Deskripsi Kegiatan |
|-----------------------|--|
| Selasa, 1 Maret 2022 | Mencari literatur tentang PWM |
| Rabu, 2 Maret 2022 | Mencari literatur tentang controller dan prinsip kerja PWM pada baterai |
| Kamis, 3 Maret 2022 | Mencari literatur tentang baterai, khususnya mengenai <i>drop voltage</i> , <i>state of charge</i> , dan <i>step charging</i> baterai |
| Senin, 14 Maret 2022 | Cek spesifikasi panel surya, <i>wind turbine simulator</i> , prototipe mikrohidro simulator yang ada di Laboratorium Sistem Tenaga Listrik |
| Kamis, 24 Maret 2022 | Menyelesaikan rangkaian <i>charge controller</i> , membeli modul PWM generator, menghitung kembali spesifikasi rangkaian yang dibutuhkan |
| Selasa, 29 Maret 2022 | Uji coba controller panel surya |
| Rabu, 30 Maret 2022 | Bimbingan ke-1 TA2, evaluasi hasil bimbingan dengan mendesain ulang rangkaian dan menghitung ulang spesifikasi sistem alat yang dibutuhkan |
| Kamis, 31 Maret 2022 | Uji coba controller panel surya menggunakan SCC PWM |
| Selasa, 5 April 2022 | Uji coba controller panel surya menggunakan SCC PWM dan buck converter |
| Jumat, 8 April 2022 | Belajar kembali mengenai PWM |
| Senin, 11 April 2022 | Uji coba <i>boost converter</i> 12 to 14V DC menggunakan sumber <i>power supply</i> , |
| Selasa, 12 April 2022 | Uji coba paralel rangkaian buck converter dan <i>boost converter</i> pada rangkaian <i>power supply</i> serta PWM generator |
| Kamis, 14 April 2022 | Uji coba controller panel surya menggunakan SCC PWM dan buck converter |
| Jumat, 15 April 2022 | Bimbingan ke-2 TA2 |
| Senin, 18 April 2022 | Uji coba ambil data arus dan tegangan masing-masing controller dengan variabel resistor 220 ohm, 470 ohm, 1300 ohm, dan 1000 ohm |
| Selasa, 19 April 2022 | Membuat rangkaian penyearah menggunakan trafo |
| Kamis, 12 Mei 2022 | Menghitung kebutuhan BMS |
| Jumat, 13 Mei 2022 | Membuat list kebutuhan komponen dan membeli komponen |
| Senin, 16 Mei 2022 | Membuat rangkaian dan pengujian sistem |
| Selasa, 24 Mei 2022 | Menghitung desain 3D untuk <i>case</i> rangkaian sistem |
| Jumat, 27 Mei 2022 | Membuat desain 3D untuk <i>case</i> rangkaian sistem dengan autodesk fusion 360 |
| Senin, 6 Juni 2022 | Melakukan pengukuran pada pengujian sistem |
| Senin, 13 Juni 2022 | Membuat implementasi desain 3D untuk <i>case</i> rangkaian sistem |
| Senin, 20 Juni 2022 | Menyusun laporan akhir TA2 |

▪ **Dokumen TA201 dan TA202**

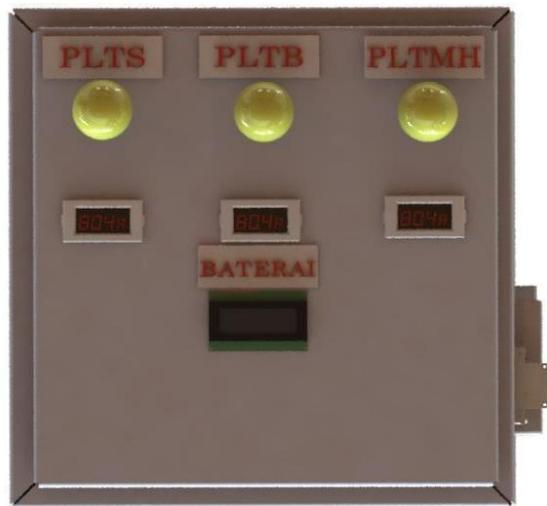
Shared with me > Tugas Akhir > TA > Dokumen TA2 >



Gambar 6. 1 Berkas dokumen TA2



- **Desain 3D Produk**

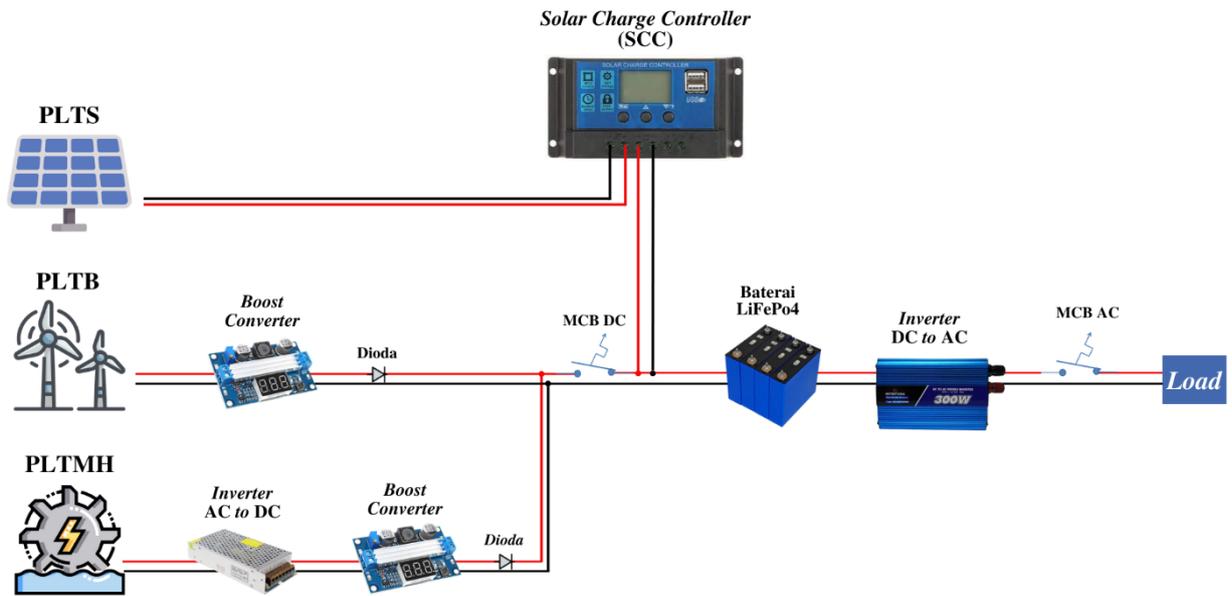


Gambar 6.2 Desain 3D tampak depan



Gambar 6.3 Desain 3D tampak samping

- **Skematik Elektronik Keseluruhan**



Gambar 6.4 Rangkaian elektronik



- Dokumentasi Keuangan

Gambar 6.5 RAB realisasi

| RAB Realisasi | | |
|---|-----------------|--------------------|
| Jenis Pengeluaran | Realisasi Biaya | |
| | Kuantitas | Total Harga (Rp.) |
| <i>Solar Charge Controller PWM</i> | 1 pcs | 90.000,- |
| Baterai 3,2V 50Ah LiFePo ₄ | 4 pcs | 1.000.000,- |
| <i>Inverter 1 fasa 220V AC to 12V DC PSW 300W</i> | 1 pcs | 290.000,- |
| Stop kontak <i>weatherproof</i> | 1 pcs | 38.031,- |
| Terminal block PCB 6 pin | 1 pcs | 9.500,- |
| MCB DC 125V 10A 1P | 1 pcs | 45.450,- |
| <i>Panel box</i> | 1 pcs | 210.000,- |
| LED indikator | 3 pcs | 25.500,- |
| Skun | 28 pcs | 14.000,- |
| <i>Step up DC to DC 3.0 - 35V to 3.5 - 35V with digital 9A 100W</i> | 2 pcs | 120.000,- |
| <i>Inverter 220V AC to 12V DC 10A</i> | 1 pcs | 100.000,- |
| Dioda 10A | 4 pcs | 28.000,- |
| JBD LiFePO ₄ BMS 12,8V 4S 60A - <i>Non Smart</i> | 1 pcs | 255.000,- |
| <i>Amperemeter dan voltmeter digital 0 - 100V DC 10A</i> | 3 pcs | 78.000,- |
| <i>Display LCD battery capacity meter</i> | 1 pcs | 60.000,- |
| Total | | 2.342.981,- |