

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Landasan teori ini berfungsi sebagai pedoman serta acuan dasar pemikiran dalam memahami permasalahan yang diteliti dalam pembuatan proyek akhir ini dalam memberikan dasar ilmiah yang kuat bagi penulis mengenai proses pembuatan, pengujian, dan analisis sistem yang mencakup konsep dasar pembangkit listrik tenaga surya dengan sistem *Off-Grid*. Adapun komponen-komponen utama PLTS seperti panel surya, *Solar charger controller*, baterai, BMS, dan MCB DC. Dengan adanya landasan teori, argumentasi penelitian dapat disusun secara lebih sistematis dan didukung oleh kajian ilmiah yang relevan. Serta menjadi acuan dalam menarik kesimpulan berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh. Adapun teori – teori yang berkaitan dengan pembuatan proyek akhir ini diantaranya sebagai berikut:

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya adalah sebuah sistem yang digunakan untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek *photovoltaic*. Menurut Hendi Bagja Nurjaman dan Trisna Purnama *Photovoltaic* merupakan fenomena fisika yang terjadi pada permukaan sel surya (*solar cell*) ketika menerima cahaya matahari kemudian diubah menjadi energi listrik. Hal ini disebabkan adanya energi foton cahaya yang membebaskan elektron - elektron mengalir dalam sambungan semikonduktor tipe n dan p yang menimbulkan arus listrik (Hendi Bagja Nurjaman & Trisna Purnama, 2022).

Jenis-jenis sistem pembangkit listrik tenaga surya terbagi menjadi tiga sistem diantaranya sebagai berikut:

- 1) PLTS *On-Grid* (Terkoneksi Jaringan) yang terhubung langsung dengan jaringan listrik PLN.

- 2) PLTS *Off-Grid* (Mandiri) sistem yang beroperasi secara mandiri dan sama sekali tidak terhubung dengan jaringan PLN ataupun sumber listrik lainnya.
- 3) PLTS *Hybrid* (Kombinasi) sistem yang merupakan gabungan dari sistem *On-Grid* dan sistem *Off-Grid*.

Menurut penelitian oleh Aas, Wasri, Hasanah dan Rahmad pada tahun 2021 ketersediaan energi matahari dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif dengan posisi geografis Indonesia yang berada disekitar garis khatulistiwa yang paling banyak sepanjang tahun sehingga dimanfaatkan dalam upaya memenuhi kebutuhan energi listrik.(Aas, Wasri, Hasanah; Rahmad, 2021).



Gambar 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

2.2.2 Sistem *Off-Grid*

Penelitian yang dibahas oleh Aas, Wasri, Hasanah dan Rahmad tahun 2021 yaitu PLTS *Off-Grid* ini tidak terhubung dengan jaringan listrik PLN. Sistem ini disebut *stand alone* yang hanya mengandalkan energi listrik matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian modul surya untuk menghasilkan energi listrik sesuai dengan kebutuhan. (Aas, Wasri, Hasanah; Rahmad, 2021). Keunggulan sistem *Off-Grid* ini dapat digunakan dilokasi terpencil maupun daerah yang terdampak bencana, ramah lingkungan, dan memiliki biaya operasional yang relatif rendah setelah terpasang.

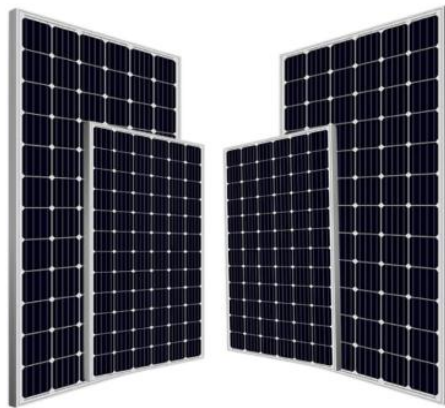
Kondisi gawat darurat akibat bencana alam ketersediaan listrik sering kali menjadi salah satu kebutuhan yang paling sulit dipenuhi karena rusaknya jaringan distribusi listrik atau terputusnya pasokan PLN. Dalam situasi ini,

sistem PLTS *Off-Grid* portabel dapat menjadi solusi yang efektif karena mampu menghasilkan energi listrik secara mandiri tanpa bergantung pada jaringan listrik PLN. Dengan memanfaatkan panel surya sebagai sumber energi utama yang didesain menjadi portabel untuk memudahkan alat ini dipindahkan dengan cepat sesuai kebutuhan lapangan. Sistem *Off-Grid* ini memerlukan kapasitas baterai yang memadai agar kebutuhan energi dapat terpenuhi secara berkelanjutan dan memperhitungkan cadangan jika kondisi cuaca buruk.

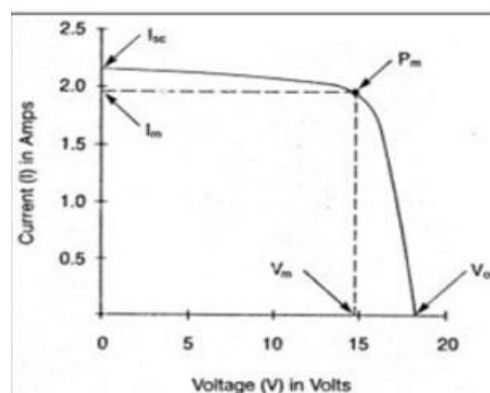
Dalam sistem *Off-Grid*, kapasitas panel surya dirancang sesuai dengan kebutuhan energi harian agar sistem dapat bekerja secara optimal. Menurut Nurul, Maula dan Yassir yaitu besar energi yang dihasilkan oleh PV sangat bergantung pada intensitas penyinaran matahari yang diterima oleh PV dan efisiensi *cell*. (Nurul, Maula & Yassir, 2024). Dalam pemasangan panel surya dapat disusun dalam konfigurasi seri maupun paralel sesuai kebutuhan tegangan dan arus pada sistem, sehingga dapat membantu meningkatkan efisiensi pembangkit energi dan memperpanjang umur komponen sistem.

2.2.3 *Monocrystalline Silicon*

Monocrystalline silicon merupakan panel surya yang memiliki banyak keunggulan, diantaranya terbuat dari silikon yang diiris tipis menggunakan bantuan mesin potong. Hasil irisan yang tipis tersebut membuat karakteristik *monocrystalline silicon* lebih menonjol. Selain itu, penampang *monocrystalline silicon* bisa menyerap cahaya matahari lebih optimal jika dibandingkan dengan jenis sel surya lainnya. Agar bisa berfungsi secara efisien cahaya harus memiliki kadar terang yang tinggi, jika cuaca sedang mendung dan berawan, *monocrystalline silicon* tidak bias menyerap energi matahari secara maksimal dan efisiensi panel berpotensi menurun. (Nabila Aprilia, 2023). Efisiensi konversi paling tinggi untuk type *monocrystalline silicon* yaitu 12%-18%.



Gambar 2.2 Panel Solar *Monocrystalline*



Sumber: Strong, Steven J, The Solar Electric House, p.58

Gambar 2.3 Grafik I-V *Curve*

Pada gambar grafik 2.3 menggambarkan keadaan sebuah sel panel surya beroperasi secara normal. Sel surya akan menghasilkan energi maksimum jika nilai V_m dan I_m juga maksimum. Sedangkan I_{sc} merupakan arus listrik maksimum pada nilai Volt = 0; I_{sc} berbanding langsung dengan tersedianya sinar matahari. Sedangkan V_{oc} adalah volt maksimum pada nilai arus nol; V_{oc} naik secara logaritma dengan peningkatan sinar matahari, karakter ini memungkinkan sel surya untuk mengisi ACCU. Energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS tidak 100% dapat digunakan, maka perlu adanya penambahan 40% daya listrik dari total daya yang digunakan.

Dalam menentukan jumlah panel surya yang dibutuhkan, penting memahami konsep *watt peak* (Wp). *Watt Peak* merupakan daya maksimum atau daya nominal tertinggi yang dapat dihasilkan dari sebuah panel surya. Di Indonesia, proses konversi energi matahari melalui sistem *photovoltaic*

optimalnya hanya berlangsung 6 jam. (Faisal Fadhlurrahman & Hadi Purnomo, 2022).

2.2.4 Baterai *litium ion polimer*

Baterai *Lifepo4* atau baterai *litium ion polimer* adalah jenis baterai yang banyak digunakan untuk perangkat *elektronik portabel*. Baterai *litium polimer* memiliki daya penghantar yang sangat cepat dan menyimpan elektronik polimer yang padat. Kemudian, baterai *lifepo4* tidak menggunakan *elektrolit polimer* kering yang berbentuk seperti lapisan plastik film tipis. Lapisan ini disusun berlapis-lapis di antara anoda dan katoda yang mengakibatkan pertukaran ion. (Alti et al., 2020).



Gambar 2.4 Baterai *Lifepo4*

Dalam sistem PLTS, baterai berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan panel surya pada siang hari. Energi tersebut dapat digunakan secara langsung untuk memenuhi kebutuhan beban sekaligus disimpan sebagai cadangan untuk digunakan pada saat intensitas sinar matahari berkurang atau pada malam hari. Baterai *lifepo4* memiliki keunggulan dalam pengecasan daya yang cepat, umur pemakaian sangat panjang dan dapat bertahan antara 3.000 hingga 7.000 siklus.

Penggunaan baterai tidak 100% dapat digunakan, hal ini disebabkan adanya rugi-rugi daya pada inverter yang dapat mencapai sekitar 5%, sehingga perlu dicadangkan daya sebesar 5% untuk mengatasi kehilangan energi tersebut.

Dengan demikian, kapasitas baterai ditentukan berdasarkan kebutuhan energi yang dinyatakan dalam satuan *watt – hour* (Wh).

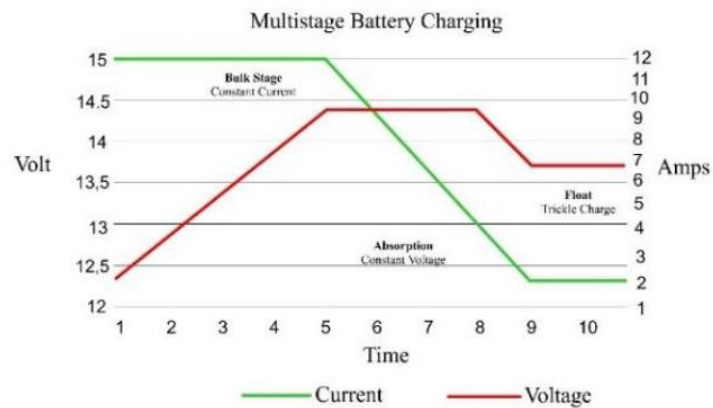
2.2.5 *Solar Charge Control* (SCC)

Solar charger controller merupakan salah satu komponen penting dalam sistem PLTS *Off-Grid* yang berfungsi mengatur aliran energi listrik dari panel surya ke baterai. Komponen ini berperan sebagai pengendali proses pengecasan daya agar baterai tidak mengalami kelebihan pengecasan (*overcharging*) maupun pengosongan daya yang berlebih (*overdischarging*). Dengan adanya SCC proses pengecasan baterai dapat berlangsung lebih aman dan efisien sehingga umur pakai baterai menjadi lebih panjang.

Menurut penelitian oleh Gallyh Purnama tahun 2023, SCC komponen yang sangat penting karena menjamin ketersediaan energi yang tersimpan di dalam baterai tetap terjaga dengan baik. Kemudian fungsi lain dari SCC ini yaitu mencegah pengurasan baterai dengan mematikan sistem jika daya yang tersimpan turun di bawah kapasitas 50% dan mengisi baterai pada level *voltase* yang benar. (Gallyh Purnama O., 2023). Ketika baterai telah mencapai kapasitas pengecasan maksimum, SCC akan secara otomatis mengurangi atau menghentikan proses pengecasan untuk mencegah kerusakan pada baterai. Sebaliknya, ketika kapasitas berada pada level rendah, SCC dapat mengatur penggunaan daya agar baterai tidak mengalami kerusakan akibat pengosongan yang terlalu dalam. Fungsi pengendalian ini sangat penting terutama pada sistem yang digunakan secara terus-menerus di lapangan.

Secara umum, terdapat dua jenis *solar charger controller* yang banyak digunakan, yaitu PWM (*Pulse Width Modulation*) dan MPPT (*Maximum Power Tracking*). SCC tipe PWM memiliki desain yang lebih sederhana dan biaya yang relatif lebih rendah sehingga sering digunakan pada sistem berkapasitas kecil. Menurut penelitian yang dilakukan oleh wahidin dan teman-temannya yaitu *Solar charger controller* PWM pada umumnya memiliki tiga tahap pengecasan berbeda pada baterai (ACCU) yaitu:(Wahidin et al., 2022).

- 1) Tahap Massal (*Bulk Stage*)
- 2) Tahap Penyerapan (*Absorption*)
- 3) Tahap *Float*.



Gambar 2.5 Tahapan Pengisian Daya Baterai Pada Solar charge controller PWM (*Pulse Width Modulation*)

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Rama widyaja sikumbang tahun 2024 yaitu nilai efesiensi PWM relatif lebih rendah dengan rentang efesiensi 75%-80% terutama ketika tegangan panel surya jauh lebih tinggi dari pada tegangan baterai (Sikumbang, 2024).



Gambar 2.6 Pulse Width Modulation (PWM)

2.2.6 Battery Management System (BMS)

Battery Management system (BMS) atau sistem manajemen baterai adalah sistem elektronik yang mengelola baterai. Fungsi utama Battery Management system (BMS) diantaranya yaitu Balance Charger berfungsi untuk menyeimbangkan tegangan ketika pengisian atau ketika pengosongan atau penggunaan, overcharge protect berfungsi saat proses pengisian baterai. Ketika tegangan total mencapai nilai batas maksimum tertentu atau tegangan sel

baterai sudah mencapai nilai maksimumnya, maka arus pengecasan akan dihentikan, kemudian *overdischarger protect* berfungsi saat proses pengosongan baterai dengan beban.

Battery Management system (BMS) mempunyai perhitungan status pengecasan (*State Of Charge* atau Soc) dan status kesehatan (*State Of Health* atau SoH) baterai. Perhitungan ini sangat penting untuk mengelola penggunaan baterai secara efisien, merencanakan pengecasan ulang, dan memprediksi umur baterai. Dengan mengetahui Soc dan SoH, sistem dapat mengoptimalkan kinerja serta memperpanjang umur baterai. (Nouval Gazabi, 2024). Salah satu penggunaan BMS dalam pembuatan proyek akhir ini menggunakan tipe BMS Daly. BMS Daly ini dikenal memiliki fitur proteksi yang lengkap, dan cocok untuk jenis baterai *Lifepo4*, serta tersedia berbagai pilihan tegangan dan kapasitas arus sesuai dengan kebutuhan sistem. Secara umum, BMS Daly ini terdiri dari daya utama (B- , dan P-) dan kabel sensor panas dalam baterai. Terminal B- ini dihubungkan ke kutub negatif baterai, sedangkan P- digunakan sebagai jalur negatif atau ke beban.

Cara menentukan kapasitas *Battery Management System* (BMS) yang sesuai dengan memperhitungkan arus maksimum yang akan dikeluarkan dari baterai menuju beban. BMS memiliki rating arus yang lebih besar dari arus kerja sistem maka dapat diperhitungkan dibawah ini:

Rumus Dasar = Arus Beban dapat dihitung dengan :

$$I_{Beban} = \frac{P_{Beban}}{V_{Baterai}} \quad (2-1)$$

Keterangan :

I = Arus (A)

P = Daya Beban (W)

V = Tegangan Baterai (V)

Daya beban = 60W

Baterai *Lifepo4* = 12V

$$\text{Maka, } I_{\text{Beban}} = \frac{60 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 5 \text{ A}$$

Artinya, saat beban 60 watt bekerja maka baterai hanya mengalirkan arus sebesar 5A. dalam sistem penggunaan BMS biasanya digunakan faktor keamanan 2-3 kali arus kerja.

$$I_{\text{BMS}} = I_{\text{Beban}} \times 3$$

$$I_{\text{BMS}} = 5 \text{ A} \times 3$$

$$I_{\text{BMS}} = 15 \text{ A}$$

Sehingga didapatkan untuk kapasitas BMS yang mendekati dengan nilai yang telah diperhitungkan dalam pembuatan proyek akhir ini yaitu BMS tipe Daly 20A.



Gambar 2.7 Battery Management System (BMS)Tabel 2.1 Name Plate BMS

Tabel 2.1 Name Plate BMS

Perlindungan Pengecasan Berlebih/1 Sel	Perlindungan kelebihan pengisian/1 sel	3,65±0,005 V
	Penundaan perlindungan pengisian battery berlebih/1 sel	1±0,5 S
Perlindungan Pengosongan Berlebih/1 Sel	Perlindungan kelebihan Pengosongan /1 sel	2,7±0,05 V
	Penundaan perlindungan Pengosongan battery berlebih/1 sel	1±0,5 S

2.2.7 Miniatur Circuit Breaker (MCB) DC

Miniatur Circuit Breaker (MCB) DC merupakan proteksi yang digunakan untuk melindungi sistem kelistrikan arus searah (DC) dari gangguan arus berlebih maupun hubung singkat (*Short Circuit*). Penggunaan MCB DC sangat penting untuk menjaga keamanan komponen sistem seperti panel surya, *solar charger controller* (SCC), baterai dan beban dari potensi kerusakan akibat gangguan listrik. Dengan adanya MCB DC, resiko terjadinya kerusakan peralatan maupun kebakaran akibat gangguan kelistrikan dapat diminimalkan.

Penggunaan MCB DC memiliki nilai arus nominal tertentu yang harus disesuaikan dengan kapasitas sistem yang digunakan. Ketika arus yang mengalir melebihi batas kemampuan MCB, maka mekanisme pemutus akan bekerja secara otomatis untuk memutus rangkaian agar terhindar dari kerusakan lebih besar. Selain berfungsi sebagai proteksi, MCB DC juga dapat digunakan sebagai saklar pemutus saat proses perawatan atau pemeriksaan sistem dilakukan. Hal ini memberikan kemudahan dalam pengoperasian serta meningkatkan keselamatan ketika melakukan pemeliharaan peralatan.

Standar nasional mencakup persyaratan teknis dalam hal karakteristik kinerja, pengecekan dalam tanda atau label yang harus ada dalam sirkit pemutus arus listrik, pemasangan sirkit pemutus arus listrik, serta pengujian dengan tujuan agar dapat memastikan keselamatan dan keandalan operasi sehari-hari. (Ahmad Imron et al., 2018).



Gambar 2.8 *Miniature Circuit Breaker* (MCB) DC dan AC

2.2 Penelitian Terdahulu

Dari penelitian yang telah dilakukan oleh (Jaka Persada Sembiring; Try Susanto; Imas Stiyawan, 2023) yaitu perancangan alat PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) portabel dilakukan untuk menyediakan sumber energi listrik yang dapat digunakan untuk mengisi daya telepon genggam serta menyalakan lampu AC. Alat ini ditujukan bagi masyarakat yang beraktivitas diluar rumah, khususnya di wilayah yang belum terjangkau jaringan listrik. Berdasarkan hasil perancangan, total beban pemakaian harian sebesar 30 Watt. Dengan menggunakan panel surya berkapasitas 30 Wp, waktu yang dibutuhkan untuk mengisi penuh baterai berkapasitas 3.12 Ah adalah 7.48 Jam. Hasil pengujian pengisian baterai menggunakan panel sruya selama 4 jam di dua lokasi yang berbeda, yaitu di kawasan perumahan dan persawahan, menunjukkan adanya peningkatan tegangan baterai dengan selisih sebesar 0.6 Volt. Adapun PLTS portabel yang telah dirakit memiliki dimensi tinggi 53 cm, lebar 42 cm, ketebalan 27 cm, serta berat keseluruhan 6,7 kg.

Pada penelitian yang dibahas oleh (Aldi Destia Lesmana; Rohul Rizki Mubaroq Hartman; Astri Wahyuningtyas; Irzaman⁴, 2019) membahas tentang perancangan TEDAPIS (Tenda Darurat Pintar Bertenaga Panel Surya) sebagai solusi penyediaan energi listrik bagi korban bencana alam. TEDAPIS dirancang untuk menghasilkan listrik dengan keluaran setara standar kebutuhan rumah tangga, yaitu 220 V, 50 Hz. Tujuan penelitian ini adalah menyediakan sumber energi yang mampu memenuhi kebutuhan dasar selama kondisi darurat, seperti penerangan, pengisian daya perangkat elektronik (*smartphone* dan perangkat pintar lainnya), serta pemantauan suhu dan kelembapan di dalam tenda. Fitur-fitur tersebut diharapkan dapat meningkatkan kenyamanan, keamanan dan efektivitas penanganan korban selama masa tanggap darurat.

Penelitian berikutnya yang dilakukan oleh (Dandi Widhi Ramadhan; Yusuf Ismail Nakhoda; Ni Putu Agustini, 2020) membahas tentang rancang bangun pembangkit listrik portabel berbasis sistem *hybrid* tenaga surya dan angin yang dirancang sebagai sumber energi listrik di tempat pengungsian korban bencana alam. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada panel surya, semakin tinggi intensitas sinar matahari yang diterima, semakin besar pula tegangan dan arus yang

dihasilkan. Pada kondisi cuaca cerah, panel surya menghasilkan tegangan maksimum sebesar 20 V dengan arus 1.16 A. Sementara itu, hasil pengujian turbin angin menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan angin berbanding lurus dengan tegangan yang dihasilkan. Tegangan maksimum yang diperoleh mencapai 24 V pada kecepatan putaran turbin 360 rpm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi panel surya dan turbin angin dalam sistem *hybrid* memiliki potensi yang baik sebagai sumber energi listrik yang andal untuk mendukung kebutuhan listrik di lokasi pengungsian saat terjadi bencana.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Randis; Syaeful, 2021) yaitu membahas tentang perancangan dan pembuatan sistem PLTS portabel yang memanfaatkan panel surya sebagai sumber pembangkit listrik. Sistem ini dirancang dengan dimensi yang ringkas (mini) dan bersifat portabel sehingga mudah dibawa ke berbagai lokasi, bahkan dapat dimasukkan ke dalam tas ransel untuk memudahkan pengguna. Seluruh komponen utama ditempatkan di dalam sebuah box panel yang berfungsi melindungi perangkat dari benturan maupun paparan air. Box panel yang digunakan memiliki ukuran 35 cm x 35 x 12 cm, sehingga sistem tetap praktis tanpa mengurangi fungsi dan keamanannya.

Adapun penelitian yang dilakukan oleh (Kusumastuti & Endryansyah; Kholis, 2022) membahas tentang rancang bangun PLTS portabel untuk menyuplai daya *mobile charger berbasis internet of things (IoT)*. Sistem ini dirancang untuk memudahkan pengguna dalam melakukan pengisian daya baterai telepon genggam, terutama di lokasi yang tidak memiliki akses listrik. Pada penelitian ini, perangkat ditempatkan dalam sebuah toolbox berbahan plastik yang tebal dan kokoh berukuran 17 inci sehingga mudah dibawa serta mampu melindungi komponen di dalamnya. Komponen utama yang digunakan meliputi panel surya, mikrokontroler, sensor dan stop kontak yang saling terintegrasi untuk mendukung proses pengisian daya sekaligus pemantauan sistem secara berbasis *Iot*. Dari semua penelitian yang telah penulis sebutkan di atas. Maka, penulis merangkumnya dalam tabel 2.1 dibawah ini :

Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul	Kelebihan	Kekurangan
1.	Jaka Persada Sembiring; Try Susanto; Imas Stiyawan, 2023	Rancang Bangun Sistem Solar Panel Portabel	Kelebihan Penelitian ini alat yang dikembangkan tidak hanya mampu menyuplai daya untuk mengisi daya telepon genggam dan menyalakan lampu AC tetapi juga dilengkapi sistem monitoring tegangan dan arus secara <i>real-time</i> berbasis Arduino dengan memanfaatkan sensor ACS712 dan sensor tegangan DC sehingga kondisi kerja panel surya dapat dipantau secara langsung melalui LCD.	Kekurangan pada penelitian ini terletak pada penggunaan baterai berkapasitas relatif kecil yaitu 3.5 Ah serta durasi pengisian baterai hingga penuh mencapai 7.48 jam. pengujian juga hanya dilakukan selama 4 jam pada kondisi cuaca tertentu sehingga belum menunjukkan perfoma alat dalam berbagai kondisi lingkungan. Selain itu, sistem hanya menggunakan satu panel surya berkapasitas 30 Wp, sehingga kemampuan daya yang dihasilkan masih terbatas dan secara keseluruhan penelitian ini belum membahas secara rinci mengenai efesiensi sistem , umur pakai baterai dan lainnya.

No	Peneliti	Judul	Kelebihan	Kekurangan
2.	Aldi Destia Lesmana; Rohul Rizki Mubaroq Hartman; Astri Wahyuningtyas; Irzaman ⁴ , 2019	TEDAPIS (Tenda Darurat Pintar Bertenaga Panel Surya) sebagai solusi penyediaan energi listrik bagi korban bencana alam	TEDAPIS memiliki keunggulan berupa kemampuan mengirimkan SMS yang berisi informasi mengenai kondisi pengungsi di lokasi tenda, sehingga dapat mendukung respons yang lebih cepat dari pihak terkait. Sistem ini juga dilengkapi dengan fitur pengendalian lampu secara otomatis serta memanfaatkan Raspberry Pi sebagai pengendali utama dan media pemantauan seluruh sistem.	Keterbatasan penelitian ini terletak pada kapasitas tenda yang hanya mampu menampung sekitar 4 orang, sehingga kurang sesuai untuk digunakan dalam kondisi pengungsian dengan jumlah korban yang lebih banyak. Selain itu, penerapan TEDAPIS di beberapa lokasi, terutama di daerah terpencil, masih menghadapi kendala dalam proses pengoperasian dan pemanfaatannya. Komponen elektronik serta sistem komunikasi yang digunakan juga rentan mengalami kerusakan akibat kondisi cuaca ekstrem. Kemudian, dimensi tenda yang digunakan yaitu 3 m x 2.48 m x 2.28 m, menjadikan ruang yang tersedia

No	Peneliti	Judul	Kelebihan	Kekurangan
				terbatas untuk menampung lebih banyak pengungsi maupun penambahan peralatan pendukung.
3.	Dandi Widhi Ramadhan; Yusuf Ismail Nakhoda; Ni Putu Agustini, 2020	Rancang Bangun Pembangkit Listrik Portabel Tenaga Surya dan Angin dengan Sistem Hybrid untuk tempat Pengungsi dan Bencana Alam	Penelitian ini memiliki kelebihan yang terletak pada penerapan sistem <i>hybrid</i> yang menggabungkan dua sumber (Panel Surya dan Angin). Hasil Penelitian ini menunjukkan bahwa intensitas cahaya matahari, kecepatan angin dan besar beban mempengaruhi performa sistem serta pengujian ini dilengkapi dengan pengujian panel surya, turbin angin, inverter, serta analisis kapasitas baterai.	Penelitian ini memiliki kekurangan yaitu sistem masih sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca karena keluaran panel surya bergantung pada intensitas sinar matahari dan turbin angin bergantung.
4.	Randis; Syaeful Akbar 2021	Rancang Bangun Sistem Mini	Penelitian ini menggunakan model PLTS portabel	Penelitian ini memiliki kekurangan dalam pengujian alat

No	Peneliti	Judul	Kelebihan	Kekurangan
		Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Portabel	dengan box panel berukuran mini yang dilengkapi dengan perangkat atau media cantolan sehingga mudah dibawa dan dipasang sesuai kebutuhan. Penelitian ini juga melakukan pengujian terhadap tegangan dan arus pada kekuaran lampu DC maupun port Usb menggunakan sensor dan Arduino.	yang masih terbatas pada skala laboratorium dan belum dilakukan pada kondisi penggunaan nyata dilapangan. Selain itu, penelitian ini belum menyajikan analisis mengenai efesiensi panel surya, waktu pengisian baterai, dan kapasitas penyimpanan daya. Di samping itu, panel surya dipasang terpisah dari box panel, sehingga pengguna harus melakukan proses pemasangan dan penyimpanan secara terpisah yang dapat mengurangi kepraktisan dalam penggunaan alat.
5.	Hanifah Kusumastuti , Endryansya	Rancang bangun PLTS Portabel untuk <i>Supply</i>	Kelebihan dalam penilitian ini terletak pada pengembangan sistem PLTS portabel yang tidak hanya berfungsi	Kekurangan dalam penelitian ini yaitu hanya menggunakan satu panel surya dengan kapasitas 100 Wp yang dipasang

No	Peneliti	Judul	Kelebihan	Kekurangan
	h, Nur Kholis 2021	<i>Mobile Charger Berbasis Internet Of Thing</i>	sebagai sumber energi untuk pengisian daya yang menggunakan teknologi <i>Internet Of Things</i> (IoT) melalui aplikasi Blynk, NodeMCU ESP8266, dan ATmega328P sehingga pengguna dapat melakukan monitoring dan control penggunaan energi secara <i>real-time</i> melalui <i>smartphone</i> .	diluar <i>toolbox</i> , sehingga kurang praktis dalam proses pemasangan, pemindahan dan penyimpanan perangkat. Selain itu, sistem monitoring berbasis <i>Internet of Things</i> (IoT) yang digunakan masih bergantung pada ketersediaan koneksi internet, sehingga kinerjanya dapat terganggu ketika dioperasikan di daerah yang memiliki jaringan internet terbatas.

Berdasarkan hasil penelitian–penelitian terdahulu yang telah dikaji, masih terdapat beberapa keterbatasan, seperti desain yang kurang praktis, ketergantungan pada mikrokontroler maupun koneksi internet, serta belum optimalnya sistem untuk mendukung kebutuhan listrik darurat di lokasi bencana. Oleh karena itu, penelitian-penelitian tersebut menjadi referensi bagi penulis dalam merancang PLTS *Off-Grid* dengan sistem portabel guna mengatasi kondisi darurat bencana.

Pada proyek akhir ini, penulis memfokuskan pada perancangan dalam pembuatan kerangka yang portabel, aman, dan fleksibel, sehingga mudah dibawa, dipindahkan dan dioperasikan di lokasi terdampak bencana. Sistem dirancang untuk memenuhi kebutuhan listrik dasar, khususnya penerangan dan pengisian daya alat

komunikasi dengan menggunakan beban DC tanpa memanfaatkan mikrokontroler, sehingga sistem menjadi lebih sederhana, mudah dalam pengoperasian, serta memiliki tingkat keandalan yang lebih tinggi.

Penggunaan Sistem PLTS *Off-Grid* ini dipilih karena mampu beroperasi secara mandiri tanpa bergantung pada jaringan listrik PLN yang umumnya mengalami gangguan atau pemadaman ketika terjadinya bencana. Dengan adanya sistem PLTS portabel ini, kebutuhan energi listrik darurat dapat terpenuhi secara cepat, efisien dan berkelanjutan sehingga dapat membantu proses evakuasi, komunikasi serta aktivitas penanganan bencana di lapangan.