

ANALISIS SISTEM HIBRIDA TEGANGAN PLN VS TEGANGAN PANEL SURYA 30 WP PADA OTOPEL *ELECTRIC VEHICLE* (EV)

Yesi Oktaviani^{1*)}, Syamsyarief Baqaruzi², Heriansyah³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Sumatera, Lampung

Email: yesi.13117018@studen.itera.ac.id¹, syamsyarief.baqaruzi@el.itera.ac.id², heriansyah@el.itera.ac.id³

Abstract – The rate of human population growth is accompanied by increasing technology to facilitate human work, one of which is transportation. With the application of environmentally friendly technology, many electric motor-based transportation tools have emerged. Autoped Electric Vehicle (OTEV) is a means of transportation that uses a battery as a power source to drive it. Intended for outdoor use so that it is considered effective by using solar energy as a backup source other than PLN. The charging source uses a hybrid system between PV and PLN which is regulated by relays and contacts on the gas handle. When the contact is in the on position, the source of charging can be done using PLN. And when the contact is in the off position, the charging source will be connected to the solar panel. The test results have been successfully implemented as planned.

Abstrak – Tingkat pertumbuhan populasi manusia diiringi dengan meningkatnya teknologi untuk mempermudah pekerjaan manusia salah satunya adalah transportasi. Dengan mulai diterapkannya teknologi ramah lingkungan, banyak bermunculan alat transportasi berbasis motor listrik. Otoped *Electric Vehicle* (OTEV) adalah salah satu alat transportasi yang menggunakan aki sebagai sumber *power* untuk menggerakannya. Diperuntukkan untuk di luar ruangan sehingga dinilai efektif dengan menggunakan sumber energi cahaya matahari sebagai sumber cadangan selain dari PLN. Sumber pengecasan menggunakan sistem hibrid antara PV dan PLN yang diatur oleh *relay* dan kontak pada *handle* gas. Ketika kontak pada posisi *on*, sumber pengecasan dapat dilakukan menggunakan PLN. Dan ketika kontak dalam posisi *off*, sumber pengecasan akan terhubung dengan panel surya. Pada hasil pengujian telah berhasil diterapkan sesuai dengan yang telah direncanakan.

Kata Kunci – Solar panels, PLN, Hybrid System, Charging, Discharging

I. PENDAHULUAN

Sumber daya alam Indonesia yang sangat melimpah terutama pada hasil bumi dan pertambangan menjadikan kecenderungan penggunaan sumber daya fosil sebagai sumber energi di bidang kelistrikan. Penggunaan sumber daya fosil secara terus menerus dapat menyebabkan

penipisan cadangan sehingga harus dialihkan pemanfaatannya menuju energi baru terbarukan. Banyak sumber energi ramah lingkungan mulai digunakan saat ini seperti energi angin, energi panas matahari, energi biomassa dan sebagainya. Penggunaan energi ramah lingkungan memiliki keuntungan sendiri karena sumber yang tidak terbatas dan bisa didapatkan secara gratis atau cuma-cuma.

Perkembangan teknologi mengalami kenaikan yang sangat pesat seiring dengan perkembangan populasi manusia. Teknologi mulai banyak digunakan dalam beberapa bidang seperti transportasi, komunikasi, keilmuan, kedokteran dan masih banyak lagi. Perkembangan pada bidang transportasi bukan hanya dalam bentuk adanya alat transportasi baru, namun juga pada bentuk penggunaan sumber energinya. Kendaraan yang diproduksi pada waktu sebelumnya banyak menggunakan bahan bakar minyak, namun saat ini telah banyak alat transportasi yang beralih menjadi kendaraan listrik untuk mengatasi permasalahan kekurangan bahan bakar.

Beberapa contoh alat transportasi yang menggunakan listrik seperti sepeda listrik, motor listrik, skuter listrik, mobil listrik, hingga mulai dikembangkannya pesawat listrik. Peralihan sumber energi tersebut yang meningkatkan daya saing untuk menciptakan inovasi-inovasi baru dalam bidang transportasi yang lebih ramah lingkungan. Salah satunya adalah mulai digunakannya skuter listrik atau otoped listrik sebagai alat transportasi yang mudah digunakan dan lebih ramah lingkungan karena tidak menimbulkan polusi udara.

Skuter listrik biasanya digunakan di luar ruangan yang berkontak langsung dengan sinar matahari. Dengan sumber daya energi matahari yang sangat besar di Indonesia, akan sangat disayangkan jika tidak dimanfaatkan secara maksimal. Penggunaan panel surya sebagai salah satu sumber energi pada otoped listrik juga dapat meminimalisir pengeluaran dalam penggunaan listrik PLN. Namun, penggunaan panel surya saja tidak cukup untuk memenuhi daya yang dibutuhkan untuk menjalankan motor DC, sehingga diperlukan sumber lain yang lebih stabil untuk proses pengisian baterai. Untuk itu, dilakukan inovasi dengan sistem hibrida antara panel surya dengan PLN sebagai sumber energi untuk pengecasan baterai pada otoped EV.

II. PENELITIAN YANG TERKAIT

2.1 Tinjauan Penelitian

Puloeng Raharjo, Bambang Sujanarko, Triwahju Hardianto (2015) melakukan penelitian dengan merancang sistem hibrid solar cell – baterai – PLN menggunakan *programmable logic controllers*. Peneliti menggunakan panel surya sebesar 100Wp dan menggunakan sumber PLN untuk mengisi baterai 12V. Pengisian menggunakan panel surya mengalami keadaan puncak pada pukul 13.00, menghasilkan tegangan sebesar 20,03V dan arus 4,52A. Baterai terindikasi 100% pada tegangan 12,7V dan akan mengisi pada tegangan 11,8V atau 30-40% dari kapasitas tegangan aki. Sistem hibrid diatur berdasarkan tegangan pada panel surya yang harus melebihi 13V untuk dapat melakukan pengecasan dan baterai dapat digunakan ketika tegangannya lebih dari 11,8V. Sistem yang dirancang peneliti mengalami keberhasilan dan dapat dijalankan sesuai dengan perencanaan [1].

Muhammad Ridhwan Sufandi, Wiwit Indah Rahayu (2018) melakukan penelitian berupa perancangan sistem pengisian baterai dengan kombinasi sumber listrik dari PLN dan panel surya. Peneliti menggunakan 10 unit panel surya dengan total daya 2,4 kW dan tegangan kerjanya sebesar 54,5V. Penggunaan kombinasi sumber pengisian ini untuk mengurangi masa pengisian baterai. Ketika pada kondisi pengisian hanya menggunakan panel surya dibutuhkan waktu selama 29 jam 49 menit. Pada kondisi pengisian menggunakan dua sumber dari panel surya dan PLN akan membutuhkan waktu 14 jam 53 menit untuk mengisi baterai sebesar 333,34 Ah. Penelitian ini berhasil mengoptimalkan waktu pengisian baterai sebesar 200% lebih cepat dari sebelumnya, dan sistem yang dirancang dinilai layak untuk diterapkan di lapangan [2].

Liem Ek Bien, Ishak Kasim & Wahyu Wibowo (2008) melakukan penelitian dengan merancang sistem hibrid pembangkit listrik tenaga surya dengan jala-jala listrik PLN untuk rumah perkotaan. Peneliti merancang prinsip kerja satu arah dengan mengatur salah satu sumber untuk dapat bekerja. Panel surya dirancang dapat memenuhi kebutuhan daya listrik rumah tangga sebesar 30% dan PLN dapat memenuhi kebutuhan daya sebesar 70%. Daya yang dihasilkan panel surya sangat dipengaruhi oleh cuaca pada lingkungan tersebut, sehingga peneliti menggunakan data insolasi matahari terendah dalam satu tahun untuk menghitung beban yang dapat dipasok oleh panel surya. Perancangan ini menggunakan *switch controller* untuk mengatur sumber pemasok beban listrik rumah tangga. Sistem hibrid yang dirancang telah memenuhi persyaratan sesuai dengan kapasitas beban yang sudah diperhitungkan [3].

2.1 Tinjauan Komponen Penelitian

2.2.1 Panel Surya 30 Wp Polycrystalline

Panel surya atau yang biasa disebut dengan sel surya merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengubah energi matahari yang ditangkap dengan proses *photovoltaic* menjadi

energi listrik. Penggunaan panel surya sebagai sumber energi alternatif dinilai lebih menguntungkan dibandingkan dengan energi lainnya di Indonesia, karena potensi cahaya matahari yang besar dan didapatkan sepanjang hari. Tegangan listrik yang dihasilkan oleh panel surya ini menyesuaikan dengan penggunaan sel surya sendiri. Pada sistem ini digunakan panel surya dengan kapasitas 30Wp yang mampu menghasilkan tegangan sebesar 17,8 V dan arus sebesar 1,69 A.

Jenis panel surya yang digunakan pada sistem ini adalah panel surya *poly-cristalline*. Panel surya jenis ini memiliki susunan kristal secara acak sehingga membutuhkan luas permukaan yang lebih luas jika dibandingkan dengan jenis monokristalin untuk menghasilkan daya yang sama. Efisiensi dari jenis panel ini juga lebih rendah sehingga harga belinya pun lebih murah. Meskipun efisiensi dari jenis *poly-cristalline* ini lebih rendah namun akan tetap stabil diberbagai cuaca baik ketika sinar matahari terik maupun mendung. Jenis panel surya monokristalin efisiensinya akan tinggi hanya jika sinar matahari terik, dan ketika dalam cuaca berawan efisiensinya akan turun drastis. Untuk mengetahui bentuk dan spesifikasi dari panel surya ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan Tabel 3.1. di bawah ini

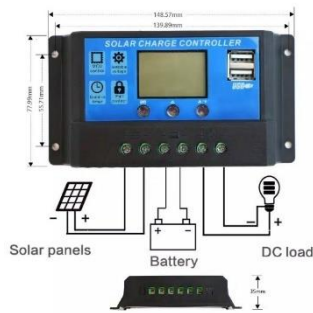


Gambar 2. 1 Panel Surya Poly-cristalline 30Wp

2.2.2 Solar Charge Controller

Solar charge controller (SCC) merupakan suatu peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan mengambil dari baterai untuk dihubungkan ke beban. SCC ini juga dapat mengontrol pengisian aki agar tidak terjadi pengisian berlebih atau *overcharging* ketika baterai telah terisi penuh. Penggunaan SCC ini sangat penting bagi aki karena tegangan yang dihasilkan panel surya bernilai fluktuatif atau berubah-ubah bergantung dengan suhu dan intensitas cahayanya, sehingga aki akan menerima tegangan yang tidak konstan dapat menyebabkan kerusakan pada aki itu sendiri.

Solar charge controller ini memiliki satu input yang terhubung ke panel surya dan memiliki dua *output* yang terhubung ke baterai atau aki dan beban. SCC ini dilengkapi dengan proteksi dioda yang berfungsi untuk mencegah kembalinya tegangan DC dari aki menuju panel surya jika terjadi perbedaan tegangan, sehingga arus hanya dapat mengalir dari panel surya menuju aki saja dan tidak berlaku untuk sebaliknya. Untuk bentuk dan spesifikasi dari alat ini dapat dilihat pada Gambar 3.3 dan Tabel 3.3 di bawah ini



Gambar 2. 2 Solar Charge Controller

2.2.3 Accumulator

Accumulator atau yang biasa disebut aki merupakan suatu komponen yang digunakan untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia. Aki ini biasanya digunakan pada suatu kendaraan yang tidak terhubung langsung dengan sumber listrik. Dengan penyimpanan energi listrik pada aki dapat menghidupkan beberapa komponen elektronik yang terdapat pada kendaraan tersebut. Aki yang digunakan berjenis aki kering dengan kapasitas 12V/12Ah sebanyak 2 buah yang akan disusun secara seri untuk menaikkan tegangannya. Aki kering memiliki keunggulan yaitu tidak memerlukan perawatan khusus seperti aki basah. Aki basah harus diperiksa secara berkala volume air didalamnya untuk proses perawatan. Namun, pada aki basah hal itu tidak diperlukan karena aki kering menggunakan gel sebagai cairannya yang memiliki tingkat penguapan yang sangat kecil dan tidak terbuang ke luar ruangan sehingga volumenya tetap terjaga. Dengan proses perawatan yang tidak sulit, harga aki kering juga lebih mahal jika dibandingkan aki basah. Untuk mengetahui bentuk dan spesifikasinya dapat dilihat pada Gambar 2.2 dan Tabel 2.2 di bawah ini



Gambar 2.3 Accumulato

2.2.4 Relay 12V 5 Kaki

Relay memiliki banyak jenis yang sering digunakan dalam suatu rangkaian elektronika. Relay 5 kaki 12V merupakan jenis relay yang digunakan dalam subsistem ini. Relay berperan sebagai saklar yang mengatur sumber pengecasan dan hubungan antar kedua aki. Relay 5 kaki ini memiliki kode sesuai dengan fungsi dari setiap kakinya yang berbeda-beda. Dari 5 kaki tersebut terdapat kaki VCC yang digunakan untuk menghubungkan relay dengan power supply, dan satu kaki yang lainnya terdapat GND. Ketiga kaki yang lain mengatur hubungan antar kaki. Posisi yang pertama adalah NO (Normally Open), posisi dari relay yang akan mendapatkan tegangan. Posisi yang kedua adalah NC (Normally Close),

posisi awal dimana relay tidak mendapatkan tegangan. Dan posisi ketiga adalah CO (Change Over), posisi yang akan terhubung dengan NO atau NC bergantung dengan ada atau tidaknya tegangan yang terhubung dengan relay.



Gambar 2. 3 Relay 5 Kaki 12V

2.2.5 Charger (Adaptor)

Charger sebagai media pengecasan yang berasal dari PLN berupa listrik AC untuk mengisi daya pada aki berupa listrik DC. Pada charger ini dilengkapi dengan rangkaian kontroler untuk mengubah tegangan dan arus AC menjadi DC. Rangkaian kontroler tersebut terdiri dari trafo dan dioda sebagai penyearah tegangan AC menjadi DC agar dapat disimpan ke dalam aki (baterai). Pada charger yang digunakan merupakan charger yang memiliki output 12V dan 24V dengan arus maksimal 10A. Charger ini akan otomatis mendeteksi berapa tegangan aki yang terhubung pada sisi output, ketika terhubung 12V maka lampu pada indikator 12V akan menyala dan ketika tegangan aki 24V maka lampu indikator 24V akan menyala. Mode pengisian aki juga dapat diatur menyesuaikan dengan kapasitas aki yang digunakan. Untuk aki kering dengan kapasitas 4-60Ah dapat menggunakan mode normal ketika mengisi daya untuk menghindari overcurrent pada saat pengisian. Untuk aki basah dengan kapasitas >60Ah dapat menggunakan mode fast charging untuk mempercepat waktu pengisian aki.



Gambar 2. 4 Charger (Adaptor)

2.2.6 Battery Equalizer Balancer

Battery Equalizer Balancer berfungsi untuk menyamakan pengisian pada kedua baterai atau lebih yang dihubungkan secara seri. Ketika baterai dihubungkan secara seri, pada proses pengisian baterai terkadang memiliki beda tegangan antar kedua baterai yang menyebabkan ketidakseimbangan kapasitas baterai. Battery Equalizer Balancer ini akan membandingkan tegangan pada saat kedua baterai terhubung secara seri dan akan menyala ketika salah satu baterai memiliki tegangan yang lebih tinggi. Perbandingan ini dilakukan dengan membandingkan tegangan tertinggi yang dimiliki oleh kedua baterai, dan akan mengatur arus pengisian agar kedua baterai memiliki kondisi tegangan yang sama.



Gambar 2. 5 Battery Equalizer Balancer

2.2.7 Step Down DC-DC Converter

Step Down DC-DC Converter merupakan suatu rangkaian elektronika yang memiliki fungsi untuk menurunkan tegangan DC. Pada sistem ini menggunakan regulator LM2596 yang memiliki batas beban arus maksimum sebesar 3A. Modul ini memiliki beberapa komponen penyusun rangkaian *buck converter* seperti komponen *switching*, *control drive*, dioda, induktor, kapasitor dan resistor load. Modul ini dapat beroperasi pada tegangan input sebesar 3-35V DC, dan untuk tegangan output dapat diatur dengan memutar var adjuster pada modul menyesuaikan dengan tegangan output yang diinginkan. Pada OTEV ini menggunakan tiga buah modul LM2596 untuk menyuplai tegangan pada modul GPS, GSM dan LCD sebesar 5V, dan menyuplai tegangan arduino sebesar 9V.



Gambar 2. 6 Step Down DC-DC Converter LM2596

III. PERANCANGAN

3.1 Metodologi Penelitian

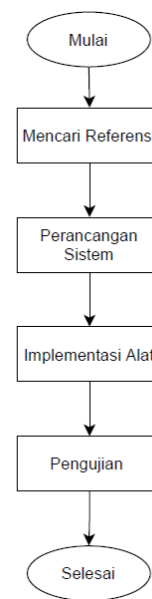
Pada penelitian ini dilakukan perancangan subsistem pembangkit pada OTEV untuk memenuhi kebutuhan daya pada keseluruhan sistem. Pada subsistem pembangkit ini menggunakan dua sumber pengisian daya yang berasal dari PLN sebagai sumber utama dan panel surya sebagai sumber cadangan. Untuk melakukan penelitian ini dilakukan beberapa tahapan metodologi yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.

Tahap pertama pada penelitian ini yaitu mencari referensi – referensi penelitian yang sebelumnya telah dilakukan mengenai sistem pengecasan hibrida dengan menggunakan PLN dan panel surya. Melalui referensi ini peneliti mengetahui tingkat keberhasilan dari beberapa penelitian sebelumnya. Selain itu, peneliti juga meninjau beberapa komponen yang akan digunakan pada tahap perancangan sistem.

Tahap kedua yaitu perancangan sistem, peneliti menentukan prinsip kerja sistem, membuat diagram blok sistem dan *flowchart* sistem yang dirancang. Pada tahap ini juga dibuat rangkaian skematik secara kasar untuk sistem yang dirancang.

Tahap selanjutnya yaitu implementasi alat, peneliti mengimplementasikan hasil dari perancangan berupa rangkaian *hardware*. Pada tahap ini dilakukan penyusunan komponen sesuai dengan rangkaian skematik yang telah dibuat.

Pada tahap terakhir yaitu pengujian alat, peneliti melakukan pengujian rangkaian skematik dengan menggunakan metode pengujian yang telah ditentukan. Jika sistem telah bekerja dengan baik, maka sistem akan siap digunakan oleh pengguna. Namun jika sistem belum bekerja dengan baik, maka akan dilakukan analisis mengenai kesalahan yang mungkin terjadi pada sistem. Setelah dilakukan analisis kesalahan, selanjutnya akan mencari solusi dari permasalahan tersebut hingga masalah dapat terselesaikan dan dapat digunakan oleh pengguna dengan nyaman.

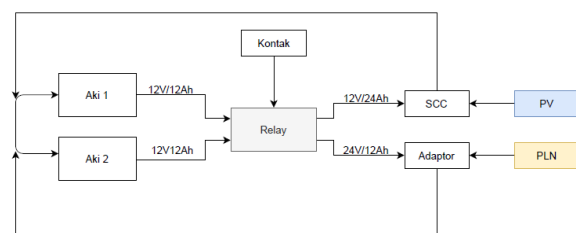


Gambar 3. 1 Flowchart Metode Penelitian

3.2 Perancangan Sistem

3.2.1 Blok Diagram Sistem

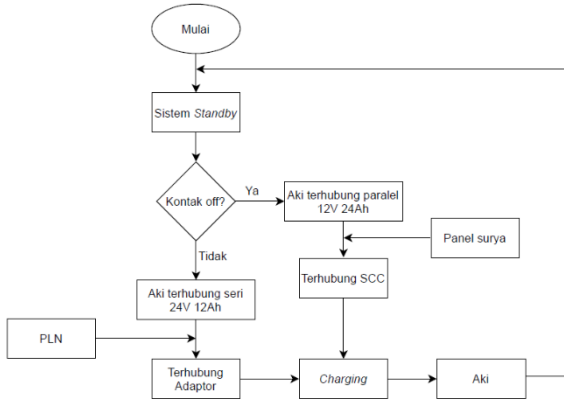
Proses perancangan sistem sangat penting dilakukan sebelum dilakukannya implementasi alat. Pada tahap ini, dilakukan perancangan prinsip kerja sistem berupa diagram blok yang ditunjukkan oleh Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Diagram Blok Sistem

Pada diagram blok di atas dapat dilihat bahwa sistem ini menggunakan komponen *relay* sebagai komponen utama untuk mengatur hubungan antara aki 1 dengan aki 2. Hubungan antar aki tersebut akan menentukan besarnya tegangan yang

dapat digunakan untuk menyuplai daya pada OTEV. Selain mengatur hubungan antar aki, *relay* juga mengatur sumber dari pengecasan aki menggunakan input kontak yang terletak pada *handle gas*. Beberapa komponen yang digunakan pada sistem ini diantaranya adalah aki sebanyak 2 buah dengan kapasitas 12V/12Ah, *relay* 12V, SCC, panel surya, adaptor (*charger* aki), kontak dan PLN untuk sumber pengecasan. Sistem kerja sistem ini ditunjukkan oleh *flowchart* pada Gambar 3.3.



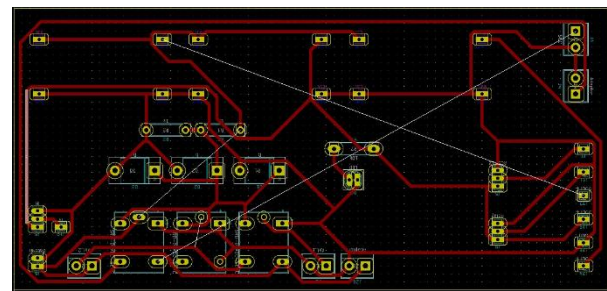
Gambar 3.3 Flowchart Sistem

Sistem kerja sistem pembangkit pada OTEV ini sangatlah sederhana, untuk menghindari adanya pengecasan dari dua sumber secara bersamaan maka digunakan sistem *switching* menggunakan *relay* dan kontak. Ketika kontak dalam kondisi *off*, maka kedua aki terhubung secara paralel yang menghasilkan tegangan 12V dengan kapasitas 24Ah. Pada kondisi ini aki akan terhubung dengan SCC sehingga dapat dilakukan pengecasan menggunakan panel surya. Pada kondisi kontak *on*, kedua aki terhubung secara seri dan menghasilkan tegangan 24V dengan kapasitas 12Ah. Pada kondisi ini aki akan terhubung dengan adaptor agar dapat dilakukan pengecasan menggunakan PLN.

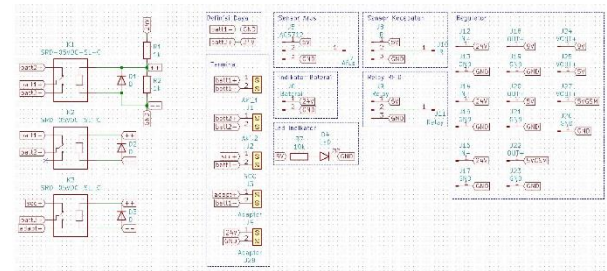
Hubungan antara kedua aki diatur agar dapat terhubung secara seri dan paralel dirancang untuk dapat memenuhi tegangan pada spesifikasi motor yang digunakan pada OTEV. Tegangan yang dibutuhkan oleh motor sebesar 24V, sedangkan pada pengecasan menggunakan panel surya hanya mendapatkan tegangan tidak lebih dari 22V sehingga tidak dapat melakukan pengecasan aki sebesar 24V. Oleh karena itu dilakukan perancangan yang mengatur aki akan terhubung paralel ketika sumber pengecasan menggunakan panel surya, dan tersusun seri ketika sumber pengecasan menggunakan listrik PLN.

3.2.2 Rangkaian Skematik Sistem

Peneliti membuat rangkaian skematik sistem pembangkit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5.



Gambar 3.4 Rangkaian Skematik Sistem



Gambar 3.5 Komponen Penyusun Rangkaian

Pada rangkaian di atas terdapat tiga buah *relay*, tiga buah *step down*, indikator baterai, sensor kecepatan dan beberapa komponen kecil lainnya. *Relay* 1 dan 2 digunakan untuk mengatur hubungan antar aki, pada kondisi *off* terhubung secara paralel dan pada kondisi *on* akan terhubung secara paralel. *Relay* 3 digunakan untuk mengatur sumber pengecasan yaitu menggunakan panel surya atau PLN. Pada saat aki terhubung paralel, aki akan dihubungkan dengan SCC untuk dilakukan pengisian. Pada saat aki terhubung seri, aki akan dihubungkan dengan PLN untuk dilakukan pengecasan. Tiga buah *step down* memiliki output yang berbeda yaitu 5V sebanyak 2 buah untuk menyuplai daya pada sensor GSM, GPS dan LCD. Sedangkan satu *step down* dengan output tegangan 9V digunakan untuk menyuplai tegangan pada arduino. Indikator baterai digunakan untuk mengetahui kapasitas aki pada OTEV ketika digunakan.

3.3 Prosedur Pengujian

Pada penelitian ini dilakukan 2 pengujian yaitu proses *charging* dan *discharging* aki menggunakan 2 sumber dari PLN dan panel surya.

3.3.1 Pengujian Kerja Relay

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bahwa *relay* berfungsi dengan baik dalam mengatur hubungan antara kedua aki dan mengatur sumber pengecasan pada sistem OTEV. Prosedur pengujian kerja *relay* ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Prosedur Pengujian Kerja Relay

Pengujian	Prosedur	Parameter Keberhasilan
Uji Kerja Relay	1. Menyiapkan multimeter dan PCB yang telah berisi rangkaian <i>relay</i>	1. Pada kondisi <i>off</i> semua COM terhubung dengan NO, tegangan terbaca pada aki seri

2. Menonaktifkan kontak dan cek COM <i>relay</i> dengan NC dan NO	12V, dan sambungan pengisian aki terhubung dengan SCC
3. Mengukur nilai tegangan pada aki seri	2. Pada kondisi <i>on</i> semua COM terhubung dengan NO, tegangan terbaca pada aki seri 24V, dan sambungan pengisian terhubung dengan adaptor.
4. Mengecek sambungan pada SCC dengan aki	
5. Mengaktifkan kontak dan cek COM <i>relay</i> dengan NC dan NO	
6. Mengukur nilai tegangan aki seri	
7. Mengecek sambungan pada adaptor	

3.3.2 Pengujian Charging

Pengujian proses *charging* ini dilakukan untuk mengetahui lama pengecasan menggunakan PLN dan panel surya, dan untuk mengetahui arus yang masuk pada saat pengecasan. Prosedur pengujian proses *charging* ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 2 Prosedur Pengujian Proses Charging

Pengujian	Prosedur	Parameter Keberhasilan
Charging Dengan Panel Surya	<ol style="list-style-type: none"> Menyiapkan 3 buah multimeter Menyambungkan multimeter 1 dengan kaki + dari SCC menuju ke aki menggunakan kabel untuk mengukur arus yang mengalir Memasangkan kaki multimeter kedua pada output PV di SCC untuk mengukur tegangan output panel surya Memasangkan kaki multimeter ketiga pada kutub aki untuk mengukur tegangan aki Menyiapkan luxmeter untuk melakukan pengukuran 	<ol style="list-style-type: none"> Aki mengalami kenaikan tegangan setelah dilakukan pengecasan Mendapatkan nilai arus yang mengalir dari panel surya menuju aki Mendapatkan nilai tegangan yang dihasilkan dari panel surya dan tegangan pada aki Mendapatkan data intensitas cahaya menggunakan luxmeter

	intensitas cahaya matahari yang didapatkan panel surya	
	6. Mencatat hasil pengukuran arus, intensitas cahaya, tegangan aki dan tegangan output panel surya beserta waktu pengisiannya	
Charging Dengan PLN	<ol style="list-style-type: none"> Menyiapkan multimeter, sensor arus, arduino dan <i>charger</i> aki Menghubungkan sensor arus dengan kutub + adaptor untuk mengukur arus yang mengalir saat proses pengisian Menghubungkan multimeter dengan kutub aki untuk mengukur tegangan aki Mencatat hasil yang ditunjukkan oleh multimeter dan pembacaan sensor arus. 	<ol style="list-style-type: none"> Mendapatkan nilai arus yang mengalir ke aki dengan menggunakan sensor arus Mendapatkan nilai tegangan aki melalui pengukuran multimeter

3.3.3 Pengujian Discharging

Pengujian *discharging* ini dilakukan untuk mengetahui seberapa jauh jarak yang dapat ditempuh oleh OTEV melalui dua sumber pengecasan yang berbeda. Adapun prosedur pengujian proses *discharging* ini ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 3 Prosedur Pengujian Proses Discharging

Pengujian	Prosedur	Parameter Keberhasilan
Penggunaan aki setelah <i>charging</i> dengan panel surya	<ol style="list-style-type: none"> Melakukan pengecasan aki menggunakan panel surya Menentukan medan yang akan dilewati oleh OTEV Mencatat kapasitas baterai sebelum OTEV dioperasikan 	<ol style="list-style-type: none"> Mendapatkan nilai tegangan awal sebelum OTEV dioperasikan Mendapatkan data lintasan yang telah dilewati oleh OTEV Mendapatkan nilai tegangan

	<p>4. Mengoperasikan OTEV melewati medan yang telah ditentukan</p> <p>5. Mencatat banyaknya lintasan yang bisa dilewati oleh OTEV</p> <p>6. Mencatat kapasitas tegangan aki saat OTEV sudah tidak bisa dioperasikan</p>	<p>akhir setelah OTEV selesai dioperasikan</p>
<p>Penggunaan aki setelah <i>charging</i> dengan PLN</p>	<p>1. Melakukan pengecasan aki menggunakan PLN</p> <p>2. Menentukan medan yang akan dilewati oleh OTEV</p> <p>3. Mencatat kapasitas baterai sebelum OTEV dioperasikan</p> <p>4. Mengoperasikan OTEV melewati medan yang telah ditentukan</p> <p>5. Mencatat banyaknya lintasan yang bisa dilewati oleh OTEV</p> <p>6. Mencatat kapasitas tegangan aki saat OTEV sudah tidak bisa dioperasikan</p>	<p>1. Mendapatkan nilai tegangan awal sebelum OTEV dioperasikan</p> <p>2. Mendapatkan data lintasan yang telah dilewati oleh OTEV</p> <p>3. Mendapatkan nilai tegangan akhir setelah OTEV selesai dioperasikan</p>

1 menggunakan kontak untuk mengatur mode sesuai dengan yang diinginkan pengguna. Implementasi rangkaian pada PCB ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Implementasi Rangkaian Sistem

4.1.2 Implementasi Penggunaan PLN

PLN sebagai sumber pengecasan utama pada sistem OTEV sangat efektif digunakan, karena di lingkungan kampus ITERA telah disediakan terminal listrik yang dapat digunakan oleh civitas akademika ITERA. Pada proses pengecasan aki yang diletakkan didalam *control box*, aki akan dihubungkan melalui *socket* untuk mempermudah proses pengisian dan tidak perlu membuka *control box* ketika akan melakukan pengecasan aki. *Socket* yang digunakan berupa *socket* tiga pin, dengan pin yang digunakan hanya 2 pin untuk kutub positif dan negatif. Untuk implementasi penggunaan PLN sebagai sumber pengecasan ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Socket Pengecasan menggunakan PLN

IV.HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Sistem

4.1.1 Implementasi Skematik Rangkaian Sistem

Implementasi dilakukan sesuai dengan perancangan yang telah dilakukan sebelumnya. Pada rangkaian kontrol pada sistem ini *relay* memiliki peran yang sangat penting. Menggunakan 3 *relay* yang memiliki peran masing masing dan dikendalikan oleh kontak pada *handle* gas OTEV. Pada *relay* pertama NC terhubung dengan kutub negatif (-) aki 2, NO terhubung dengan adaptor positif (+) dan kutub positif (+) aki 2, COM terhubung dengan kutub positif (+) aki 1. *Relay* kedua NO terhubung dengan kutub negatif (-) aki dan adaptor, dan COM terhubung dengan NC *relay* 1. *Relay* ketiga NO terhubung dengan pin aki seri kutub positif (+), NC terhubung dengan pin SCC positif, dan COM terhubung dengan input (+) regulator (*step down*). VCC pada ketiga *relay* dihubungkan dengan aki

4.1.3 Implementasi Penggunaan Panel Surya

Panel surya memiliki peran sebagai sumber pengecasan cadangan, dengan memanfaatkan sumber energi matahari yang melimpah di lingkungan kampus. Panel surya yang digunakan berukuran 30Wp mampu menghasilkan tegangan sebesar 17,8V dan arus maksimal 1,8A. Sebagai sumber pengecasan cadangan, panel surya hanya dapat melakukan pengecasan aki pada siang hari. Daya yang dihasilkan oleh panel surya bergantung dengan radiasi yang dapat ditangkan oleh PV, untuk itu perlu diperhatikan peletakkan panel surya agar dapat menangkap cahaya dengan maksimal. Pada sistem ini panel surya memiliki dua posisi berbeda yang dapat diatur oleh pengguna. Ketika OTEV sedang dioperasikan, pengguna harus menurunkan panel surya menggunakan kunci yang sudah disesuaikan. Ketika pengguna telah selesai mengoperasikan

OTEV dan akan diparkirkan, panel surya dinaikkan kembali agar dapat menangkap cahaya matahari dengan maksimal saat mode pengecasan. Implementasi penggunaan panel surya pada sistem ini ditunjukkan pada Gambar 4.3 dan 4.4.



Gambar 4. 3 Panel Surya Kondisi Terbuka



Gambar 4. 4 Panel Surya Kondisi Tertutup

4.2 Data Pengujian dan Pembahasan

4.2.1 Data Pengujian Relay

Pengaturan hubungan dan sumber pengecasan diatur menggunakan *relay* 5 kaki 12V. Pada sistem ini menggunakan tiga *relay*, 2 diantaranya digunakan untuk mengatur hubungan antar aki dan 1 *relay* digunakan untuk mengatur sumber pengecasan. *Relay* diatur menggunakan kontak *handle* gas sebagai penghubungnya dengan sumber tegangan. Pada kondisi kontak *off relay* tidak mendapatkan tegangan sehingga COM ketiga *relay* akan terhubung dengan NC. Pada kondisi kontak *on relay* akan mendapatkan tegangan dari aki 1 sebesar 12V dan COM akan terhubung dengan NO. Hasil pengujian *relay* ini ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Relay

	Kondisi Kontak	
	Off	On
COM Relay 1	NC	NO
COM Relay 2	NC	NO
COM Relay 3	NC	NO
Tegangan Aki	12 V	24 V
Kapasitas Aki	24 Ah	12 Ah
Sumber Charging	SCC	PLN

Pada koneksi di atas *relay* 1 NC terhubung dengan kutub negatif aki 2, NO terhubung dengan adaptor positif (+) dan aki

2 (+), COM terhubung dengan aki (+). Pada *relay* 2 NC tidak terhubung, NO terhubung dengan kutub negatif aki 1 dan adaptor (+), COM terhubung dengan aki 2 (-). Pada *relay* 3 NC terhubung dengan SCC (+), NO terhubung dengan aki seri (+), dan COM terhubung dengan input regulator.

4.2.2 Data Pengujian Charging Menggunakan Panel Surya

Pada pengujian ini diukur nilai tegangan output panel surya, tegangan aki, arus yang mengalir menuju aki menggunakan multimeter dan intensitas cahaya menggunakan luxmeter seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5. Dilakukan pengujian selama 3 hari dengan kondisi cuaca cerah, sedikit berawan dan berawan abu-abu. Hasil yang didapatkan pada pengujian ini memiliki nilai yang berbeda sesuai dengan cuaca pada saat pengujian. Hasil pengujian proses *charging* menggunakan panel ditunjukkan oleh Tabel 4.2 sampai Tabel 4.4.



Gambar 4. 5 Proses Pengambilan Data Menggunakan Multimeter

Tabel 4. 2 Data Pengujian Charging Panel Surya Hari Pertama

Waktu	Tegangan Aki (V)	Tegangan PV (V)	Arus Input (A)	Intensitas Cahaya (W/m2)	Suhu (°C)
11.40	12,46	12,60	1,35	224,755	33,20
11.45	12,62	12,70	1,39	445,323	35,00
11.50	13,04	13,14	1,44	570,459	38,60
11.55	13,20	13,29	1,48	167,638	37,90
12.00	12,86	12,94	1,46	171,351	37,40
12.05	13,20	13,29	1,50	990,66	38,50
12.10	13,09	13,17	1,48	181,384	38,80
12.15	13,25	13,34	1,47	948	38,50
12.20	13,17	13,25	1,47	661,625	39,00
12.25	13,28	17,13	1,48	852,41	42,20
12.30	13,03	13,10	1,44	348,706	42,30
12.35	12,09	13,07	1,45	250,825	39,90
12.40	12,65	12,98	1,39	175,617	40,30
12.45	12,85	12,93	1,37	148,836	38,60
12.50	12,86	12,96	1,33	174,906	37,50
12.55	12,91	12,97	1,41	193,471	37,30
13.00	12,85	12,93	1,38	202,24	36,90
13.05	13,37	13,45	1,50	955,9	36,80
13.10	13,12	13,19	1,44	770,092	39,80
13.15	13,34	14,10	1,51	709,499	39,30
13.20	13,31	13,40	1,49	741,257	38,00
13.25	12,87	12,94	1,41	131,535	38,20
13.30	12,66	12,73	1,35	25,6592	35,90

Tabel 4. 3 Data Pengujian Charging Panel Surya Hari Kedua

Waktu	Tegangan Aki (V)	Tegangan PV (V)	Arus Input (A)	Intensitas Cahaya (W/m ²)	Suhu (°C)
10.57	12,52	12,61	1,08	603,639	32,30
11.02	13,02	13,07	1,09	649,617	35,70
11.07	13,02	13,08	1,04	576,147	39,80
11.12	13,08	13,12	1,03	578,675	42,60
11.17	13,09	13,14	1,29	854,78	44,60
11.22	13,27	13,36	1,42	746,787	46,30
11.27	13,25	13,19	1,21	507,18	42,80
11.32	13,14	13,22	1,57	685,562	42,20
11.37	13,32	13,31	1,37	761,402	39,50
11.42	13,32	13,4	1,37	733,91	39,80
11.47	13,32	13,3	1,45	755,556	40,30
11.52	13,31	13,4	1,49	815,28	39,00
11.57	13,35	13,43	1,52	806,59	39,00
12.02	13,37	13,45	1,54	1035,69	38,70
12.07	13,31	13,39	1,5	906,92	37,70
12.12	13,28	13,37	1,34	797,11	37,20
12.17	13,27	13,35	1,26	608,458	36,20
12.22	13,27	13,3	1,06	557,898	36,40
12.27	13,18	13,26	1	490,195	36,30
12.32	13,58	13,65	1,03	524,797	38,30
12.37	13,41	13,49	0,8	379,595	39,10
12.42	13,14	13,22	0,69	329,114	37,90

Tabel 4. 4 Data Pengujian Charging Panel Surya Hari Ketiga

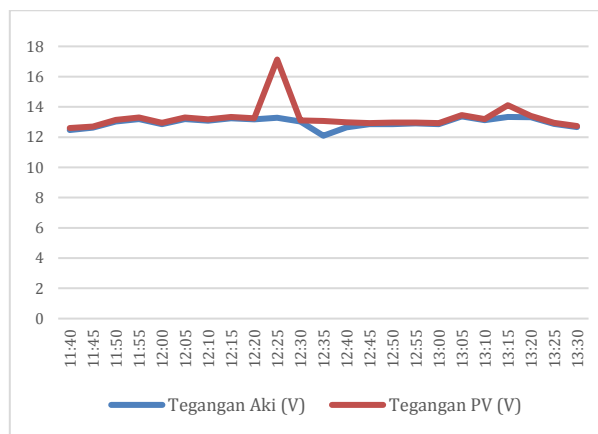
Waktu	Tegangan Aki (V)	Tegangan PV (V)	Arus Input (A)	Intensitas Cahaya (W/m ²)	Suhu (°C)
09.54	13,25	13,3	0,68	364,506	30,5
09.59	13,16	13,32	0,67	342,465	33,6
10.04	13,24	13,44	0,82	398,95	33,8
10.09	13,21	13,42	0,71	388,996	33,9
10.14	12,94	13,1	0,35	172,536	34,2
10.19	12,84	12,94	0,27	145,281	34
10.24	12,89	13	0,26	117,473	33,60
10.29	13,19	13,08	0,36	167,638	33,2
10.34	13,13	13,24	0,55	309,285	33,3
10.39	13,06	13,17	0,33	156,894	33,3
10.44	12,93	13,04	0,28	128,296	33,5
10.49	12,87	12,97	0,28	121,739	33,5
10.54	12,88	12,98	0,31	158,079	33,2
10.59	12,9	13,01	0,29	157,368	32,8
11.04	12,91	13,02	0,44	154,603	33,2
11.09	12,93	13,03	0,28	153,497	33,5
11.14	12,99	13,1	0,29	123,082	33,6
11.19	13,01	13,11	0,29	119,211	33,5
11.24	13,04	13,16	0,3	144,333	33,6
11.29	13,02	13,02	0,3	144,649	33,6

Pada pengujian di hari pertama dengan cuaca yang cerah mendapatkan tegangan tertinggi pada pukul 12.25 senilai 17,27V dan arus sebesar 1,48. Pengujian di hari kedua dengan cuaca yang cerah didapatkan tegangan output tertinggi pada pukul 12.32 senilai 13,65V dan arus sebesar 1,3A. pada pengujian hari ketiga dengan cuaca yang berawan didapatkan tegangan output terbesar pada pukul 10.04 senilai 13,44 dengan arusnya sebesar 0,82A.

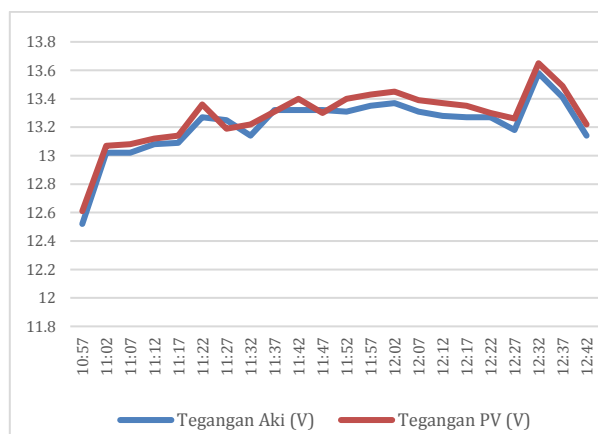
a) Perbandingan Nilai Tegangan Output Panel Surya Dengan Tegangan Aki

Nilai tegangan output dari panel surya memiliki nilai yang berbeda dengan tegangan pada aki saat melakukan pengecasan. Tegangan keluaran dari panel surya memiliki nilai yang lebih fluktuatif dan lebih tidak stabil jika dibandingkan dengan nilai tegangan pada aki. Perbedaan nilai antara tegangan aki dengan

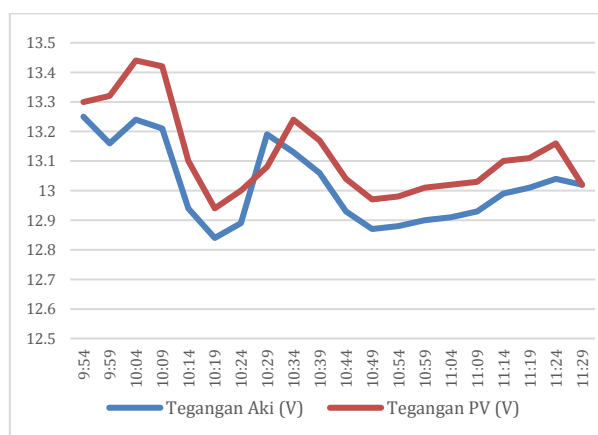
tegangan keluaran PV memiliki selisih rentang 0,06V-0,11V dengan nilai tegangan PV lebih besar dibandingkan tegangan aki. Dengan adanya perbedaan tegangan tersebut maka terjadilah proses *charging* dari panel surya menuju ke aki. Tegangan yang masuk dari panel surya menuju aki akan diatur oleh SCC agar tidak terjadi *overcharging* dan ketidakstabilan tegangan [4]. Perbedaan nilai tegangan aki dengan tegangan PV ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.5 sampai 4.7.



Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan Tegangan Aki dan Tegangan PV Hari Pertama



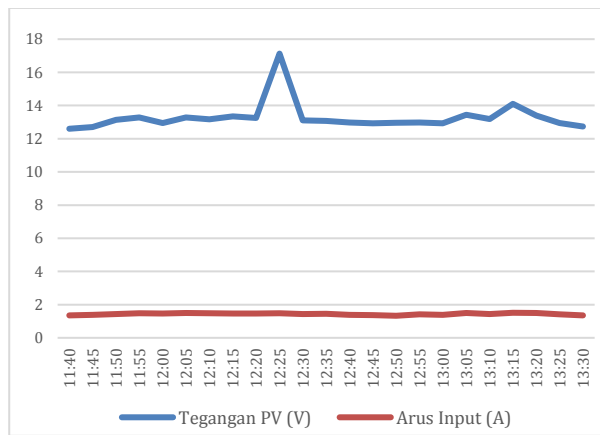
Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Tegangan Aki dan Tegangan PV Hari Kedua



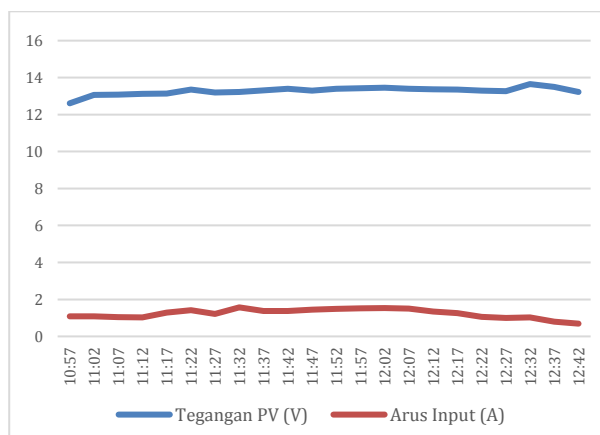
Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan Tegangan Aki dan Tegangan PV Hari Ketiga

b) Perbandingan Tegangan Output Panel Surya Dengan Arus

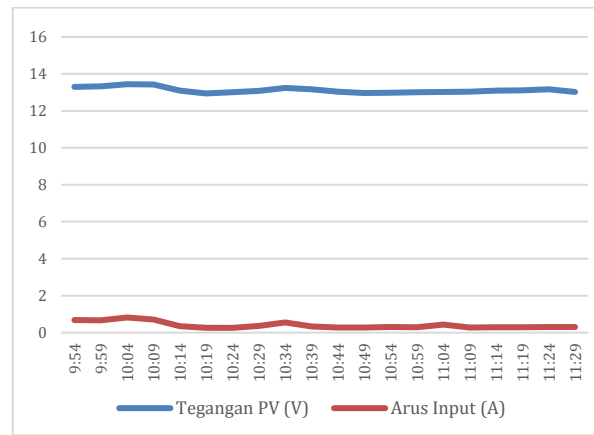
Pada pengujian pengecasan menggunakan PV yang dilakukan selama tiga hari, didapatkan data perbandingan tegangan output PV dengan arus yang mengalir menuju aki seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 sampai 4.10. Dapat dilihat pada grafik bahwa arus yang mengalir pada saat pengecasan memiliki nilai yang berbanding lurus dengan nilai tegangan PV. Ketika tegangan PV mengalami kenaikan, maka arus yang mengalir pun akan semakin besar. Begitupun sebaliknya, ketika nilai tegangan PV menurun maka nilai arus yang mengalir akan lebih kecil. Besarnya nilai arus yang masuk ke aki memiliki hubungan dengan lama pengecasan aki. Pada saat arus yang mengalir bernilai kecil, maka pengisian aki akan membutuhkan waktu yang lebih lama. Namun jika arus yang mengalir bernilai semakin besar, maka waktu pengisian aki pun akan semakin cepat [5]. Karena nilai arus mempengaruhi lama waktu pengisian baterai dan tegangan PV memiliki nilai yang berbanding lurus dengan nilai arus, maka nilai tegangan PV juga mempengaruhi lama pengecasan aki.



Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan Tegangan PV dan Arus Input Hari Pertama



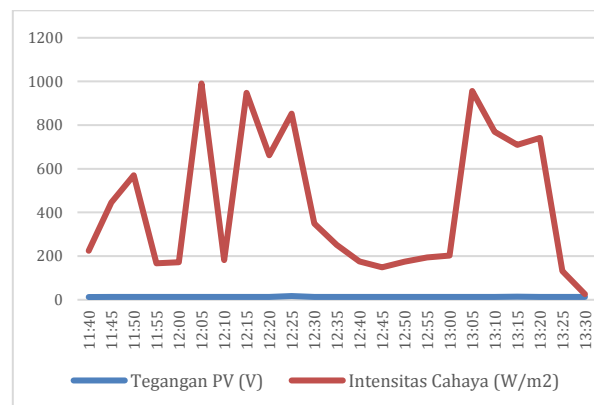
Gambar 4. 10 Grafik Perbandingan Tegangan PV dan Arus Input Hari Kedua



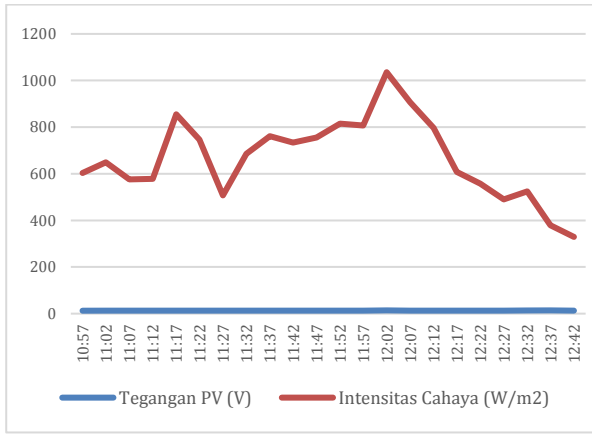
Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan Tegangan PV dan Arus Input Hari Ketiga

c) Perbandingan Tegangan Output Panel Surya Dengan Intensitas Cahaya Matahari

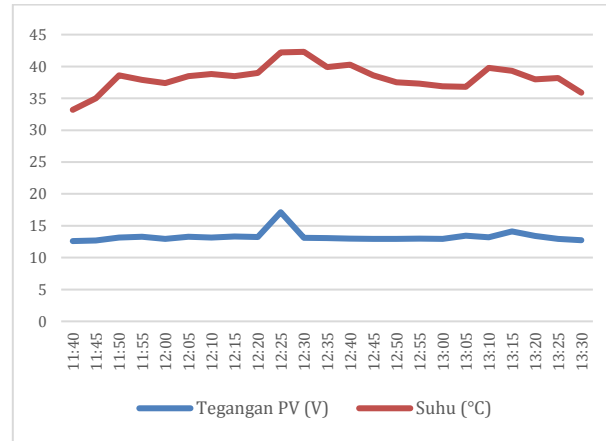
Dari data yang didapatkan intensitas cahaya matahari sangat mempengaruhi besarnya nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh panel surya, semakin besar intensitas cahayanya akan menghasilkan tegangan dan arus yang lebih besar, begitu juga sebaliknya [6]. Grafik perbandingan tegangan PV dengan intensitas cahaya matahari dapat dilihat pada Gambar 4.12 sampai 4.13. Intensitas cahaya maksimal didapatkan pada hari kedua dengan nilai 1035,69 W/m² menghasilkan tegangan dan arus sebesar 13,4V 1,49A. Kondisi cuaca pada ketiga waktu pengujian ini pun berbeda-beda. Pada hari pertama cuaca cerah, hari kedua cuaca cerah sedikit berawan dan pada hari ketiga cuaca berawan tebal. Kondisi cuaca ini mempengaruhi besarnya intensitas cahaya matahari yang dapat ditangkap oleh panel surya, semakin cerah maka akan menghasilkan tegangan dan arus yang besar, begitu juga sebaliknya.



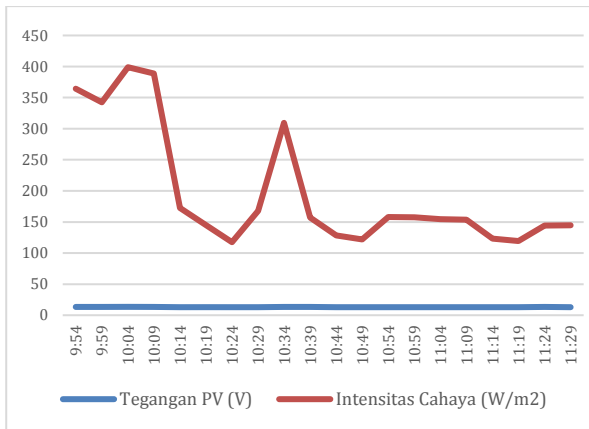
Gambar 4. 12 Grafik Perbandingan Tegangan PV dengan Intensitas Cahaya Matahari Hari Pertama



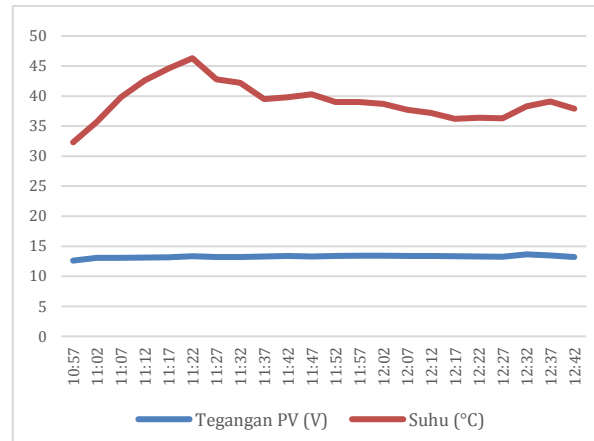
Gambar 4. 13 Grafik Perbandingan Tegangan PV dengan Intensitas Cahaya Matahari Hari Kedua



Gambar 4. 15 Grafik Perbandingan Tegangan PV dengan Suhu Hari Pertama



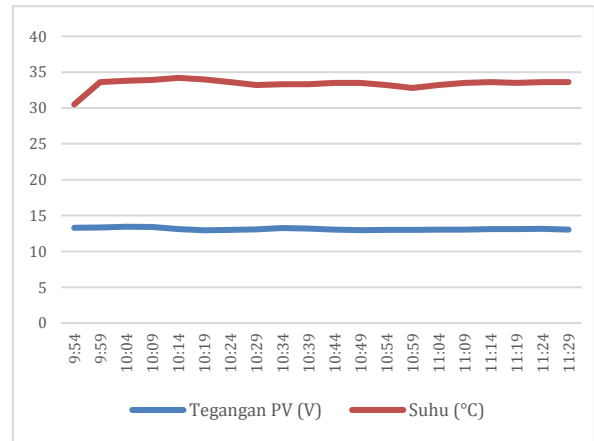
Gambar 4. 14 Grafik Perbandingan Tegangan PV dengan Intensitas Cahaya Matahari Hari Ketiga



Gambar 4. 16 Grafik Perbandingan Tegangan PV dengan Suhu Hari Kedua

d) Perbandingan Tegangan Output Panel Surya Dengan Suhu

Pada Gambar 4.15 sampai 4.17 ditunjukkan grafik perbandingan antara suhu lingkungan dengan tegangan output PV. Pada grafik tersebut suhu lingkungan mengalami nilai yang fluktuatif yang diikuti dengan nilai tegangan output dari PV. Suhu maksimum yang didapatkan pada pengujian ini sebesar 46,3⁰C dan menghasilkan tegangan output PV sebesar 13,36V. Perbandingan antara nilai tegangan dan suhu lingkungan saling berbanding lurus, semakin tinggi suhu lingkungan maka nilai tegangan pun akan semakin besar, begitu juga sebaliknya. Seperti yang dijelaskan pada [4] bahwa suhu lingkungan secara tidak langsung akan mempengaruhi kinerja panel surya untuk menangkap radiasi matahari.



Gambar 4. 17 Grafik Perbandingan Tegangan PV dengan Suhu Hari Ketiga

4.2.3 Data Pengujian Charging Menggunakan PLN

Pada pengujian *charging* menggunakan PLN dilakukan pengukuran arus yang mengalir menuju aki menggunakan sensor arus dan mengukur tegangan pada aki menggunakan multimeter seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.18. Pengujian ini dilakukan dengan durasi waktu yang berbeda, pengujian pertama dilakukan pengecasan selama 1 jam dapat mengisi tegangan aki sebanyak 90%. Pada pengujian kedua dilakukan pengecasan selama 1 jam 45 menit dan mengisi tegangan aki sebanyak 100%. Data pengecasan menggunakan PLN ditunjukkan pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5.



Gambar 4. 18 Proses pengambilan data pengecasan menggunakan PLN

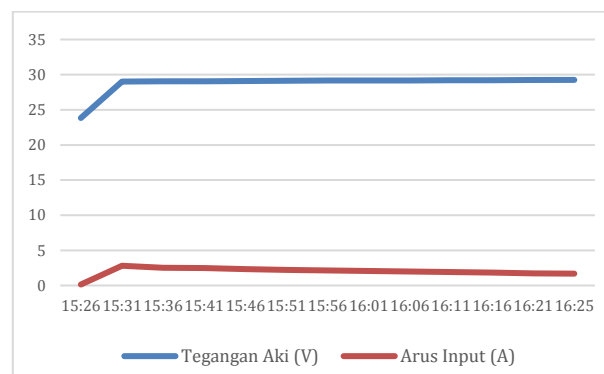
Tabel 4.5 Data Pengujian Charging menggunakan PLN 100%

Waktu	Tegangan (V)	Arus Input (A)
13.30	24,37	5,64
13.35	27,90	6,34
13.40	28,76	6,27
13.45	28,94	5,34
13.50	29,05	4,83
13.55	29,12	4,63
14.00	29,20	2,14
14.05	29,24	2,30
14.10	29,26	1,81
14.15	29,27	1,61
14.20	29,29	4,10
14.25	29,30	3,89
14.30	29,32	1,70
14.35	29,34	3,95
14.40	29,36	3,99
14.45	29,37	1,50
14.50	29,39	3,05
14.55	29,40	3,56
15.00	29,41	1,35
15.05	29,42	2,41
15.10	29,42	1,41
15.15	29,43	1,48

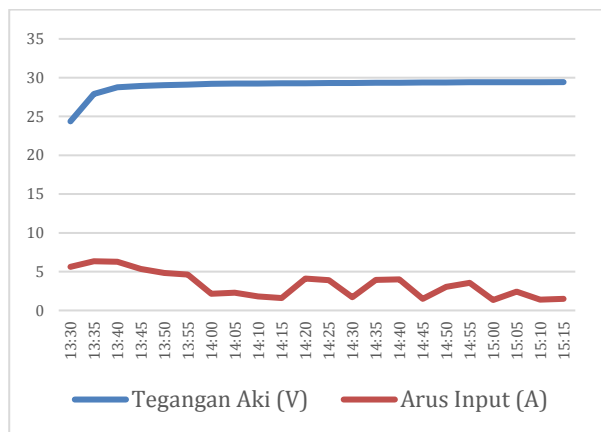
Tabel 4.6 Data Pengujian Charging menggunakan PLN 90%

Waktu	Tegangan (V)	Arus Input (A)
15.26	23,83	0,14
15.31	29,01	2,81
15.36	29,05	2,54
15.41	29,07	2,47
15.46	29,10	2,35
15.51	29,12	2,21
15.56	29,15	2,14
16.01	29,17	2,06
16.06	29,18	1,98
16.11	29,21	1,91
16.16	29,22	1,83
16.21	29,24	1,73
16.25	29,25	1,68

Pada kedua pengujian pengecasan aki menggunakan sumber PLN ini memiliki grafik kenaikan nilai tegangan aki seiring dengan berjalannya waktu. *Charger* yang digunakan memiliki output 24 V menyesuaikan dengan tegangan aki yang digunakan. Pada satu aki 12V, tegangan pengecasan yang disarankan bernilai 13,8-14,7V [7] sehingga ketika terdapat 2 aki 12V diserikan menjadi 24V tegangan pada saat pengecasan bisa mencapai 29,40V pada saat kondisi penuh 100%. Nilai tegangan pada *charger* harus lebih tinggi dari tegangan aki agar dapat dilakukan pengecasan. Ketika nilai tegangan masuk ke aki lebih rendah daripada tegangan aki, maka tidak akan bisa dilakukan pengecasan. Dapat dilihat pada hasil pengujian, hasil tegangan terukur memiliki nilai yang lebih besar dari 24V. Perbandingan nilai arus dan tegangan pada saat proses pengecasan aki ditunjukkan pada Gambar 4.19 dan 4.20. Nilai tegangan pada proses pengecasan mengalami kenaikan hingga menuju 29,4V.



Gambar 4. 19 Grafik perbandingan arus dan tegangan pengujian pertama



Gambar 4. 20 Grafik perbandingan arus dan tegangan pada pengujian kedua

4.2.4 Data Pengujian Discharging Menggunakan PLN

Pengujian *discharging* dilakukan untuk mengetahui jarak yang dapat ditempuh OTEV dengan kapasitas tegangan aki terisi penuh 100% menggunakan PLN. Jarak dan medan yang dilewati telah ditentukan menyesuaikan dengan media yang berada di lingkungan kampus. Pada pengujian ini menggunakan media berupa lantai di lorong laboratorium teknik 3, jalan conblok menuju GKU, dan jalan aspal menuju gedung C. Data yang dihasilkan dalam pengujian ini ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 5 Data Pengujian Discharging Menggunakan PLN

Tegangan Awal (V)	Tegangan Akhir (V)	Persen Aki Awal (%)	Persen Aki Akhir (%)	Media	Jarak (m)	Jumlah lintasan	Jarak Tempuh (m)
26,5	25,2	100	78	Lorong Labtek 3	66	20	1520
25,2	25	78	75	Luar Labtek 3	78	1	78
25	24,9	75	73	Labtek 3 - GKU	207	1	207
24,9	24,8	73	71	GKU - Gedung C	391	1	391
24,8	24,1	71	64	Gedung C - GKU	335	1	335
24,1	23,6	64	50	GKU - Labtek 3	240	1	240
Total Jarak Tempuh (m)							2571

Hasil pengujian pada tabel di atas memiliki berbagai medan yang berbeda, dengan beban yang sama. Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa medan yang dilewati OTEV mempengaruhi besar tegangan yang dibutuhkan untuk menggerakkan motor. Pada medan lantai halus di lorong labtek dilakukan sebanyak 20 putaran yang memiliki jarak 66 meter membutuhkan tegangan sebesar 1,3V. Pada media luar labtek hingga GKU dengan jalan conblok membutuhkan 0,3V. Pada jalan aspal sedikit menurun dari GKU menuju Gedung C membutuhkan tegangan sebanyak 0,1V. Pada jalan aspal sedikit menanjak dari gedung C menuju GKU membutuhkan tegangan yang lebih besar yaitu 0,7V. Dan pada media akhir melewati jalan conblok dari GKU menuju Labtek 3 membutuhkan 0,5V. Kondisi dan kemiringan mempengaruhi besar tegangan yang dibutuhkan untuk menggerakkan OTEV. Semakin besar sudut kemiringan jalan maka tegangan yang dibutuhkan akan semakin besar dan menyebabkan aki akan cepat habis. Selain kondisi kemiringan jalan juga dipengaruhi kondisi rata-rata jalan (kasar atau halus), semakin kasar media yang dilewati dan memiliki gaya gesek yang besar maka tegangan yang dibutuhkan pun akan semakin tinggi.

Pada pengujian ini kapasitas baterai minimal dapat digunakan yaitu sebesar 50% dengan nilai tegangan 23,6V. Jika baterai

kurang dari 23,6V ketika handle gas ditarik motor tidak bisa berputar dan tidak bisa menggerakkan OTEV. Hal itu dikarenakan spesifikasi dari motor yang digunakan membutuhkan tegangan sebesar 24V untuk dapat bergerak. Ketika tegangan kurang dari 24V maka tidak memenuhi batas tegangan minimum untuk menggerakkan motor sehingga OTEV pun tidak bisa bergerak. Dari hasil pengujian ini didapatkan bahwa OTEV dapat menempuh jarak sepanjang 2,572 Km dengan kapasitas aki yang penuh hingga tidak dapat dijalankan kembali.

4.2.5 Data Pengujian Discharging Menggunakan PLN

Pada pengujian ini sebelumnya telah dilakukan pengisian aki menggunakan panel surya sebesar 78% dari tegangan aki. Telah disiapkan media lintasan yang sama seperti pengujian sebelumnya yaitu berupa lantai lorong LABTEK 3 dan akan dilanjutkan ke luar ruangan menyesuaikan dengan pengujian sebelumnya. Didapatkan data hasil pengujian seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 4.7.

Tabel 4. 6 Data Pengujian Discharging Menggunakan PV

Tegangan Awal (V)	Tegangan Akhir (V)	Persen Aki Awal (%)	Persen Aki Akhir (%)	Media	Jarak (m)	Jumlah lintasan	Total Jarak Tempuh (m)
25,1	23,6	78	50	Lorong Labtek 3	66	15	990

Pada pengujian kali ini menggunakan tegangan aki sebanyak 78% dan akan digunakan hingga 50% sebagai batas minimal tegangan untuk dapat menggerakkan OTEV. Dari hasil yang didapatkan dengan media lantai halus di lorong Labtek 3, OTEV hanya mampu melakukan 15 putaran dengan jarak 66 meter. Yang jika dijumlahkan dengan total jarak tempuh 990m OTEV membutuhkan tegangan sebesar 1,5V. Pada kondisi aki 50% dengan tegangan 23,6V, OTEV sudah tidak dapat dioperasikan lagi karena tidak mencukupi tegangan yang dibutuhkan oleh motor.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian di atas dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Pengaturan sistem pengisian aki dan hubungan aki diatur menggunakan kontak pada *handle* gas dan *relay*. Ketika kontak berada pada kondisi *on* maka aki akan terhubung seri dan sumber pengecasan menggunakan PLN. Ketika kontak dalam kondisi *off* maka aki akan terhubung paralel dan sumber pengecasan berasal dari PV.
- 2) Tegangan output PV dipengaruhi dengan banyaknya radiasi yang dapat diterima oleh PV dan dipengaruhi secara tidak langsung oleh suhu lingkungan. Pada hasil pengujian didapatkan nilai tegangan tertinggi pada tengah hari berkisar pada pukul 11.30 hingga 13.00.
- 3) Tegangan *charger* pada saat pengisian harus bernilai lebih besar daripada tegangan aki. Pada aki dengan kapasitas 12V tegangan maksimal pengisian aki dapat mencapai nilai 14,7V, sehingga pada tegangan aki 24V akan mencapai

tegangan maksimum sebesar 29,4V pada saat proses pengisian aki.

- 4) Pada kapasitas baterai 100% OTEV dapat menempuh jarak 2,571 km, dan untuk kapasitas baterai 78% hanya dapat menempuh jarak 0,99 km. Batas minimal kapasitas baterai untuk dapat dioperasikan adalah 50% dengan nilai tegangan 23,6V. Jika tegangan kurang dari sama dengan 23,6V maka OTEV tidak dapat dioperasikan dan perlu dilakukan pengecasan ulang aki.
- 5) Jarak tempuh OTEV dipengaruhi oleh beban pengguna dan media jalan yang dilewati. Ketika beban pengguna besar dan media jalan menghasilkan gaya gesek yang besar maka jarak tempuh akan semakin pendek karena tegangan yang dibutuhkan akan besar, begitu juga sebaliknya

5.2 Saran

- 1) Pada pengembangan selanjutnya sebaiknya ditambahkan kapasitas aki agar dapat menambah jarak tempuh pada OTEV
- 2) Jenis PV sebaiknya menggunakan monokristalin yang memiliki efisiensi lebih tinggi
- 3) Sudut peletakkan PV sebaiknya dibuat lebih bervariasi untuk memaksimalkan penangkapan sinar matahari oleh PV
- 4) Ukuran PV pada penelitian ini dinilai terlalu kecil, jika dilakukan pengembangan sebaiknya menggunakan ukuran PV yang lebih besar dari 30Wp.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Syamsyariel Baqaruzi dan Bapak Heriansyah selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak bantuan baik dari segi pengetahuan, penyusunan laporan hingga pendanaan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Raharjo, B. Sujanarko and T. Hardianto, "Perancangan Sistem Hibrid Solar Cell - Baterai - PLN Menggunakan Programmable Logic Controllers," *BERKALA SAINTEK*, vol. IV, no. 5, p. 4, 2015.
- [2] M. R. Sufandi and W. I. Rahayu, "Pengembangan Sistem Pengisian Baterai dengan Kombinasi dari PLN dan Energi Surya," *Jurnal Elkha*, vol. 10, p. 22, 2018.
- [3] L. E. Bien, I. Kasim and W. Wibowo, "Perancangan Sistem Hibrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan Jala-Jala Listrik PLN untuk Rumah Perkotaan," *JETri*, p. 37, 2008.
- [4] H. Suryawinata, D. Purwanti and S. Sunardiyo, "Sistem Monitoring pada Panel Surya Menggunakan Data Logger Berbasis ATmega 238 dan Real Time Clock DS1307," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. IV, p. 34, 2017.
- [5] S. Hidayat, "Pengisi Baterai Portable dengan Menggunakan Sel Surya," *Jurnal Energi dan Kelistrikan*, vol. V, p. 143, 2015.
- [6] S. M. Rachman, M. B. Nappu and A. Arief, "Penempatan Photovoltaic yang Optimal Menggunakan Metode Continuation Power Flow," *Jurnal JPE*, vol. V, p. 73, 2017.
- [7] I. Susanti, Rumiasih, C. RS and A. Firmansyah, "Analisa Penentuan Kapasitas Baterai dan Pengisiannya pada Mobil Listrik," *Elektra*, vol. IV, p. 37, 2019.
- [8] Z. Rahmawan, "Estimasi State of Charge (SOC) pada Baterai Lead-Acid dengan Menggunakan Metode Coulomb Counting pada PV Hybrid," Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, ITS, Surabaya, 2018.