

**PRODUKSI RANGKAIAN PENGOPTIMALAN PENGISIAN BATERAI
LITHIUM ION 48 VOLT 20 AMPERE PADA KENDARAAN LISTRIK
DARI PEMBANGKIT TENAGA SURYA DENGAN MENGGUNAKAN
SISTEM *BOOST CONVERTER***

(Skripsi)

Oleh

Syamsul Arifin



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

PRODUKSI RANGKAIAN PENGOPTIMALAN PENGISIAN BATERAI *LITHIUM ION* 48 VOLT 20 AMPERE PADA KENDARAAN LISTRIK DARI PEMBANGKIT TENAGA SURYA DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM *BOOST CONVERTER*

Oleh

Syamsul Arifin

Pada penelitian ini, telah dilakukan perancangan rangkaian pengoptimalan pengisian baterai *Lithium Ion* 48 volt 20 ampere pada kendaraan listrik dari pembangkit tenaga surya dengan menggunakan sistem *boost converter*. Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan alat pengisian baterai pada kendaraan listrik dan mengetahui hasil *output* dari *boost converter* dengan jumlah lilitan kawat sebanyak 42 lilitan dan diameter kawat 1 mm. Terdapat tiga sistem pada *boost converter* yaitu *gate driver*, rangkaian *boost* dan rangkaian kontrol. *Gate driver* terdiri dari IC TC4420, resistor 1k ohm dan kapasitor *polyester* 104 nF, rangkaian *boost* terdiri dari induktor dengan lilitan kawat sebanyak 42 lilitan dan diameter kawat 1 mm, kapasitor elco 47 uF/50V, dioda *schootky* dan MOSFET IRFP460, rangkaian kontrol terdiri dari arduino uno dan potensiometer. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh bahwa tegangan sebelum *boost converter* memiliki keluaran rata-rata sebesar 22 volt dan tegangan setelah diberikan *boost converter* memiliki keluaran rata-rata sebesar 48 volt. Sedangkan kebalikan dari nilai tegangan, arus sebelum *boost converter* memiliki keluaran rata-rata sebesar 0,88 ampere dan arus setelah diberikan *boost converter* memiliki keluaran rata-rata sebesar 0,54 ampere.

Kata Kunci : *Boost Converter*, *Lithium Ion*, Lilitan Kawat, Diameter Kawat

ABSTRACT

PRODUCTION OF A 48 VOLT 20 AMPERE LITHIUM ION BATTERY CHARGING OPTIMIZATION CIRCUIT IN ELECTRIC VEHICLES FROM SOLAR POWER GENERATION USING A BOOST CONVERTER SYSTEM

By

Syamsul Arifin

In this research, the design of a Lithium Ion 48 volt 20 ampere battery charging circuit for electric vehicles from solar power generation using a boost converter system has been conducted. The objective of this study is to develop a battery charging device for electric vehicles and determine the output results of the boost converter with 42 turns of wire and a wire diameter of 1 mm. The boost converter system consists of three components: the gate driver, boost circuit, and control circuit. The gate driver component consists of an IC TC4420, a 1k-ohm resistor, and a 104 nF polyester capacitor. The gate driver is responsible for controlling the MOSFET drive signal in the boost converter circuit. The boost circuit component comprises an inductor with 42 turns of wire and a wire diameter of 1 mm, a 47 uF/50V electrolytic capacitor, a Schottky diode, and an IRFP460 MOSFET. The boost circuit functions to increase the input voltage to the desired output voltage of 48 volts. The control circuit component utilizes an Arduino Uno and a potentiometer. The control circuit is responsible for regulating the charging process. Based on the research findings, it was determined that the voltage before the boost converter had an average output of 22 volts, while the voltage after the boost converter reached an average output of 48 volts. Conversely, in terms of current, the average output before the boost converter was 0.88 amperes, whereas after the boost converter, it was 0.54 amperes.

Keyword : *Boost converter, Lithium-Ion, Diameter of Wire, Coil of Wire*

**PRODUKSI RANGKAIAN PENGOPTIMALAN PENGISIAN BATERAI
LITHIUM ION 48 VOLT 20 AMPERE PADA KENDARAAN LISTRIK
DARI PEMBANGKIT TENAGA SURYA DENGAN MENGGUNAKAN
SISTEM *BOOST CONVERTER***

Oleh

Syamsul Arifin

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : **PRODUKSI RANGKAIAN PENGOPTIMALAN
PENGISIAN BATERAI LITHIUM ION 48
VOLT 20 AMPERE PADA KENDARAAN
LISTRIK DARI PEMBANGKIT TENAGA
SURYA DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM
BOOST CONVERTER**

Nama Mahasiswa : **Syamsul Arifin**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1617041091

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



1. Komisi Pembimbing

Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP 19801010 200501 1 002

Sri Wahyu Suciyati, S.Si., M.Si.
NIP 19710829 199703 2 001

2. Ketua Jurusan Fisika

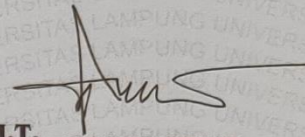
Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP 19801010 200501 1 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.



Sekretaris

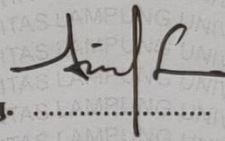
: Sri Wahyu Suciyati, S.Si., M.Si.



Penguji

Bukan Pembimbing

: Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.

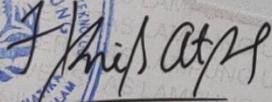


2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP 19711001 200501 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 14 Juni 2023

PERNYATAAN

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

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

Bandar Lampung, 14 Juni 2023

Syamsul Arifin
NPM. 1617041091

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Syamsul Arifin dilahirkan di Desa Pulau Panggung, Kecamatan Abung Tinggi, Kabupaten Lampung Utara, Provinsi Lampung pada tanggal 12 Juli 1998 sebagai anak pasangan Bapak Komarudin dan Ibu Rahmah. Penulis menyelesaikan Pendidikan TK Al-Ikhlas pada tahun 2004, SDN 1 Pulau Panggung tahun 2010, SMPN 1 Bukit Kemuning tahun 2013 dan SMAN 1 Bukit Kemuning tahun 2016 di Kabupaten Lampung Utara. Selama menempuh Pendidikan menengah atas, penulis aktif dalam beberapa kegiatan ekstrakurikuler seperti Badminton, Drumband, Pramuka dan Renang.

Pada tahun 2016, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjalani proses pendidikan formal, penulis aktif di beberapa organisasi intra kampus seperti Himpunan mahasiswa Fisika (HIMAFI) sebagai anggota bidang Minat dan Bakat HIMAFI pada tahun 2017 dan Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) sebagai anggota departemen Kajian Strategis (Kastrat) pada tahun 2017. Penulis juga pernah menjadi bagian dari beberapa kepanitiaan seperti panitia Karya Wisata Ilmiah (KWI) dan panitia Fisika Expo Tahunan (Fiesta) pada tahun 2017. Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Selain itu, Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Pekon Gunung Ratu, Kecamatan Bandar Negeri Suoh, Kabupaten Lampung Barat pada bulan Januari sampai Februari 2020.

MOTTO

“Dan segala nikmat yang ada padamu (datangnya) dari Allah”

(QS. Al Nahl : 53)

“Sungguh. Tuhanku benar-benar maha mendengar (memperkenankan) doa”

(QS. Ibrahim : 39)

“Suatu saat kamu akan menikmati do’a yang kamu sebut berkali-kali”

(Syamsul Arifin)

PERSEMBAHAN

Dengan Penuh Rasa Syukur dan Mengharapkan Ridho Allah SWT serta Syafaat Nabi Muhammad SAW, Karya Ini Saya Persembahkan Kepada :

Ayahanda Komarudin dan Ibunda Rahmah

Terima kasih atas segala do'a, motivasi dan pengorbanan yang selalu diberikan demi kesuksesan putranya sehingga mampu menyelesaikan pendidikan di tingkat Universitas sebagai Sarjana.

Keluarga Besar Zainal Abidin bin Akib dan Keluarga Besar Ahmad bin Abdul Latif

Terima kasih atas semangat dan do'a yang selalu diberikan.

Almamater tercinta
Universitas Lampung

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia, serta petunjuk-NYA sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Produksi Rangkaian Pengoptimalan Pengisian Baterai *Lithium Ion* 48 Volt 20 Ampere pada Kendaraan Listrik dari Pembangkit Tenaga Surya dengan Menggunakan Sistem *Boost Converter***”. Tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sehingga dapat menjadi perbaikan untuk kekurangan dalam skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat, menambah wawasan literasi keilmuan, serta rujukan untuk mengembangkan riset selanjutnya agar lebih baik dan sempurna.

Bandar Lampung, 14 Juni 2023

Penulis

Syamsul Arifin

SANWACANA

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia, serta petunjuk-NYA sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Produksi Rangkaian Pengoptimalan Pengisian Baterai *Lithium Ion* 48 Volt 20 Ampere pada Kendaraan Listrik dari Pembangkit Tenaga Surya dengan Menggunakan Sistem *Boost Converter*”**. Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan skripsi ini tidak lepas dari dukungan, bimbingan, motivasi serta do'a dari pihak lain. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tuaku Ayahanda Komarudin dan Ibunda Rahmah yang telah memberikan dukungan serta do'a yang tiada hentinya kepada penulis. Adinda Aliza Rahmania, Amnah Rahmania, Oktaria dan Siti Fatimah serta keluarga besar yang selalu memberikan doa dan motivasi untuk penulis.
2. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Dosen Pembimbing I dan ketua jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu, bimbingan serta nasihat dalam penelitian dan penulisan skripsi.
3. Ibu Sri Wahyu Suciati, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan ilmu, bimbingan serta nasihat dalam penelitian dan penulisan skripsi.
4. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. dan bapak Drs. Amir Supriyanto, M.Si. selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan saran dan koreksi sehingga penulisan skripsi ini dapat menjadi lebih baik.
5. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan masukan dan bimbingannya selama perkuliahan.
6. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.

7. Seluruh Dosen Jurusan Fisika atas segala ilmu yang telah diberikan selama penulis menjadi mahasiswa di Universitas Lampung.
8. Para staff dan karyawan Jurusan Fisika yang telah membantu memenuhi kebutuhan administrasi penulis.
9. Teman-teman yang selalu membantu dan memberikan dukungan kepada penulis, Irsyad Ridho R, M Ihsannudin, Ari Sutanto, M Gilang Defriza, Arfi Suryanata, Kak Rianggi, Rizky Wahyu Pratama, Muhammad Rasyid, Novri Memo dan satpam kost serta teman-teman yang tidak disebutkan oleh penulis.
10. Serta pihak-pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi.

Bandar Lampung, 14 Juni 2023

Syamsul Arifin

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
1.1 Penelitian Terkait.....	5
1.2 <i>Boost Converter</i>	7
1.3 Sensor Arus	9
1.4 Sensor Tegangan	10
1.5 Arduino Uno.....	11
1.6 <i>Data Logger Shield</i>	12
1.7 <i>Liquid Crystal Display (LCD)</i>	13
1.8 Energi Matahari	14

1.9	Panel Surya.....	15
1.10	Baterai.....	19
1.11	Mobil Listrik.....	21

III. METODE PENELITIAN

3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	24
3.2	Alat dan Bahan	24
3.3	Prosedur Penelitian	25
	3.3.1 Perancangan Perangkat Keras Serta Perangkat Lunak Sistem..	26
	3.3.2 Perancangan Rangkaian <i>Boost Converter</i>	30
	3.3.3 Pengujian Alat.....	32
3.4	Rancangan Data Hasil Penelitian	33
3.5	Rancangan Analisis Data Pengamatan	34

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Realisasi Analisis Data	35
	4.1.1 <i>Boost Converter</i>	37
	4.1.2 Rangkaian Keseluruhan Alat Pengisian Baterai	39
4.2	Pengujian dan Analisis Data.....	40
	4.2.1 Pengujian Data <i>Logger Shield</i>	40
	4.2.2 Pengujian Sensor Arus dan Sensor Tegangan.....	42
	4.2.3 Analisis Tegangan Sebelum dan Sesudah <i>Boost Converter</i>	44
	4.2.4 Analisis Arus Sebelum dan Sesudah <i>Boost Converter</i>	45
	4.2.5 Analisis Daya Sebelum dan Sesudah <i>Boost Converter</i>	46

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan.....	48
5.2	Saran	48

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Skema rangkaian <i>boost converter</i>	8
Gambar 2.2 Prinsip kerja <i>boost converter</i>	8
Gambar 2.3 Sensor arus.....	10
Gambar 2.4 Sensor tegangan.....	11
Gambar 2.5 <i>Board</i> Arduino uno.....	12
Gambar 2.6 <i>Data logger shield</i>	13
Gambar 2.7 <i>Liquid crystal display</i> 20 × 4.....	14
Gambar 2.8 Panel surya.....	16
Gambar 2.9 Posisi panel surya menghadap matahari langsung	17
Gambar 2.10 Prinsip kerja panel surya.....	18
Gambar 2.11 Baterai <i>lithium ion</i>	20
Gambar 2.12 Prinsip kerja baterai <i>lithium ion</i>	21
Gambar 2.13 Mobil listrik sedang melakukan pengisian baterai	22
Gambar 3.1 Diagram alir	26
Gambar 3.2 Diagram blok system	27
Gambar 3.3 Posisi panel surya 30° menghadap matahari.....	27
Gambar 3.4 Skema alat pengisian daya.....	28
Gambar 3.5 Desain alat pengisian daya.....	29
Gambar 3.6 Rancangan rangkaian control	30
Gambar 3.7 Rancangan rangkaian <i>gate driver</i>	31
Gambar 3.8 Rancangan rangkaian <i>boost</i>	31

Gambar 3.9	Rangkaian keseluruhan <i>boost converter</i>	32
Gambar 3.10	Grafik hasil tegangan.....	34
Gambar 3.11	Grafik hasil arus.....	34
Gambar 4.1	Keseluruhan alat <i>boost converter</i> (a) tampak dalam, (b) tampak atas dan (c) tampak samping kanan	36
Gambar 4.2	Tampilan nilai <i>output</i> pada LCD (a) sebelum <i>boost</i> , (b) sesudah <i>Boost</i>	37
Gambar 4.3	Proses pengisian baterai.....	40
Gambar 4.4	Hasil pengujian SD <i>Card</i> slot.....	41
Gambar 4.5	Hasil pengujian RTC (<i>Real Time Clock</i>).....	42
Gambar 4.6	Grafik tegangan hasil analisis sistem.....	45
Gambar 4.7	Grafik arus hasil analisis sistem	46
Gambar 4.8	Grafik daya hasil analisis sistem.....	47

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Hasil pencatatan data karakteristik energi listrik	33
Tabel 4.1 Perbandingan hasil pengujian keluaran sensor arus dengan multimeter.....	43
Tabel 4.2 Perbandingan hasil pengujian keluaran sensor tegangan dengan <i>power supply</i>	44

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan penggunaan kendaraan bermotor, berdampak pada krisis energi. Kejadian ini juga akan menyebabkan timbulnya dampak yang tidak baik seperti polusi udara. Perkembangan teknologi kendaraan bermotor telah menempatkan mobil listrik menjadi salah satu solusi dalam mengantisipasi timbulnya dampak dari krisis energi. Penggunaan mobil listrik akan dapat menciptakan teknologi yang ramah lingkungan karena polusi udara akan dapat dikurangi. Mengacu pada cetak biru pengembangan energi baru terbarukan dan konservasi energi, ketahanan dan kemandirian energi harus ditingkatkan dengan menurunkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK = CO₂) serta meningkatkan pemanfaatan energi baru terbarukan. Presiden Republik Indonesia pada forum G-20 di Pittsburrgh, USA tahun 2009 dan pada COP 15 di Copenhagen menyampaikan bahwa Indonesia dapat menurunkan emisi GRK sebesar 26% sesuai dengan Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK) dan bahkan bisa mencapai sebesar 41% dengan bantuan negara maju hingga tahun 2020. Salah satu usaha yang dapat dilakukan adalah mengurangi pemakaian BBM dan menggantikannya dengan energi listrik (Purnomo dkk, 2017).

Penggunaan mobil listrik dapat menjadi salah satu solusi yang dapat diterapkan untuk mengurangi produksi emisi gas karbon dioksida. Penggunaan energi listrik sebagai energi pengganti bahan bakar mobil diperkirakan akan terus mengalami pertumbuhan hingga abad ke-21. Hal tersebut didorong dengan tren pertumbuhan kendaraan bertenaga listrik dan kemungkinan menurunnya produksi minyak bumi dunia. Keuntungan penggunaan mobil listrik tercatat memiliki efisiensi sebesar

90%. Hal penting dari penggunaan mobil listrik adalah faktor pengisian baterai (Liun, 2018).

Komponen baterai berperan penting dalam penggunaan mobil listrik, baterai berguna untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan sel surya, sehingga mobil listrik dapat digunakan ketika malam hari. Baterai memiliki kapasitas terbatas dalam menyimpan energi yang mengakibatkan terjadinya siklus *charge* dan *discharge*. Kedua proses tersebut perlu diperhitungkan dan diawasi dengan benar agar performa baterai dapat terjaga. Selain baterai, komponen lain yang dibutuhkan pada pengisian baterai adalah sistem penyeimbang baterai, konverter daya, dan sensor. Sistem penyeimbang baterai berfungsi untuk mengatur kapasitas baterai agar terus seimbang, konverter daya berfungsi untuk mengubah daya listrik ke bentuk daya listrik lainnya, sedangkan sensor berfungsi untuk mengubah besaran fisik menjadi listrik untuk tujuan analisis. Konverter daya dapat diimplementasikan sesuai dengan tujuan penggunaan. *Boost converter* merupakan salah satu jenis topologi konverter daya yang mampu mengubah tegangan output menjadi lebih besar daripada tegangan input (Putra dkk., 2015).

Pada penelitian sebelumnya (Rianta, 2023) telah dirancang optimalisasi pengisian baterai lithium ion pada mobil dari pembangkit sel surya dengan sistem *boost converter* variasi jumlah lilitan dan diameter. Pada penelitian ini dibuat rangkaian *boost converter* menggunakan PCB sedangkan untuk proses merakit komponen yang lain masih secara manual dan memakan waktu yang cukup lama, sehingga hal ini mengakibatkan alat yang di buat memiliki ukuran yang besar, serta masih terdapat kekurangan pada pengemasan alat *charging* baterai yang dilakukan penelitian ini.

Berdasarkan hal tersebut, maka dibutuhkan PCB yang komplit agar komponen dapat dipasang secara teratur dan terorganisir, sehingga dapat meminimalkan kesalahan dalam pemasangan komponen, serta akan membuat casing yang kuat dan baik untuk digunakan di lapangan. Pada penelitian ini akan mengubah komponen dimana pada komponen penelitian sebelumnya menggunakan 3 jenis *boost converter* yang berbeda-beda pada jumlah lilitan dan ukuran diameter kawat.

Sedangkan pada penelitian ini hanya akan menggunakan satu jenis lilitan dan ukuran diameter kawat yaitu 42 lilitan dan diameter kawatnya 1 mm.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Bagaimana pengaruh jumlah lilitan (42 lilitan) terhadap output rangkaian *boost converter* untuk pengisian baterai dengan energi yang didapat dari panel surya.
- b. Bagaimana pengaruh diameter kawat untuk mengoptimalkan rangkaian sistem pengecasan pada baterai.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah.

- a. Membuat alat pengisian baterai pada kendaraan listrik dari panel surya dengan menggunakan sistem *boost converter*.
- b. Mengetahui hasil output dari *boost converter* dengan jumlah lilitan kawat sebanyak 42 lilitan dan diameter kawat 1 mm.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Didapatkannya alat monitoring panel surya dengan sistem *boost converter* sehingga mampu melakukan pengisian baterai dengan lebih optimal.
- b. Alat ini dapat digunakan untuk melakukan pengisian pada spesifikasi baterai yang terdapat di mobil listrik.
- c. Alat ini dapat di produksi masal sehingga semua orang yang memiliki mobil listrik dapat menggunakannya untuk mengisi ulang baterai mobil listrik mereka.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan panel surya dengan besaran daya 100 *Wattpeak* (Wp).
- b. Rangkaian *boost converter* yang digunakan berfungsi untuk meningkatkan arus energi listrik panel surya untuk pengisian baterai *lithium ion* 48 volt 20Ah.
- c. Penelitian ini hanya menggunakan jumlah lilitan sebanyak 42 lilitan dan ukuran diameter kawatnya 1 mm.
- d. Data pengamatan yang diukur antara lain tegangan (V), arus (I), daya (P) dan lama waktu pengisian (s).
- e. Menggunakan sistem pencatatan data *output* secara otomatis berbasis ATmega328.
- f. Jenis kawat yang digunakan adalah kawat tembaga email.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian serupa juga pernah dilakukan, membahas sistem pengisian baterai namun baterai yang digunakan adalah baterai *lead acid*. Rangkaian kontrol yang digunakan pada penelitian ini adalah mikrokontroler Arduino UNO, *gate driver* MOSFET, *buck converter*, sensor arus dan tegangan MAX471, dan data *logger*. Pada penelitian ini desain *buck converter* yang digunakan ialah dengan menggunakan frekuensi kerja pada 18 KHz, tegangan input 13 - 24 V, tegangan *output* 12,5 - 14,7 V, arus *output* maksimal yang dihasilkan sebesar 2 ampere, dengan nilai induktor sebesar 1089 mH, dan nilai kapasitor sebesar 4,16 μ F. Hasil penelitian ini pada dua pengujian, pada pengujian pertama dengan kapasitas baterai kosong sampai baterai penuh yaitu selama 2 jam 20 menit, sedangkan pada pengujian kedua pengecasan berlangsung selama 2 jam 05 menit, lebih cepat sekitar 15 menit dari pengujian pertama. Dengan arus maksimum yang dibatasi sebesar 2 ampere dan pengecasan akan berhenti secara otomatis ketika tegangan baterai yang terukur sebesar 14,7 V yang mengindikasikan baterai terisi penuh (Septian, 2019).

Priyanto pada tahun 2013 melakukan penelitian yang bertujuan untuk menghasilkan alat pengisian baterai pada sepeda listrik secara otomatis menggunakan *boost-converter*. Selanjutnya dilakukan perbandingan untuk mengetahui keefektifan dan efisiensi dari alat yang dibuat dengan metode pengisian sebelumnya yaitu menggunakan *inverter* dan *charger* baterai 48 V. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapati bahwa efisiensi lebih rendah dengan rata-rata sebesar 72,15% dari pada sistem yang menggunakan *inverter* dan *charger* baterai 48 volt yang mencapai 84,57%.

Penelitian tentang penggunaan panel surya sebagai sumber energi energi terbarukan, diantaranya telah dilakukan oleh (Kurniawan, 2019) pada penelitiannya dilakukan cara untuk mengurangi penurunan efisiensi panel surya yang menurun 0.04% apabila temperatur permukaan panel surya meningkat per 1°C. metode yang digunakan yaitu dengan menggunakan media pendingin *Phase Change Material* (PCM). Bahan PCM yang digunakan pada penelitian ini adalah *paraffin*. *Paraffin* dapat menyerap kalor laten tinggi. Penggunaan PCM *paraffin* dengan volume 1.867 liter terjadi penurunan temperatur permukaan panel surya sebesar 17°C dan peningkatan efisiensi listrik sebesar 1.7%. dengan menggunakan bahan PCM *paraffin* dengan volume 6.979 liter terjadi penurunan temperatur permukaan sebesar 24.66°C dan efisiensi listrik panel surya meningkat menjadi 2.4%.

Penelitian (Jauhari, 2019) dilakukan untuk meningkatkan durasi penerbangan UAV dengan menambahkan panel surya sebagai sumber energi tambahan. Metode yang digunakan adalah UAV dapat digunakan ke beban dan dapat sekaligus melakukan *charging* baterai. Sistem *charging* baterai pada UAV bertenaga surya menggunakan DC-DC Konverter yaitu *buck converter*. Pada hasil penelitiannya UAV tanpa panel surya hanya memiliki estimasi durasi terbang hanya 1 jam. Dengan menambahkan sistem *charging* baterai pada UAV bertenaga surya estimasi durasi terbang menjadi 1 jam 30 menit. Estimasi durasi terbang bertambah menjadi 30 menit. Pada penelitian ini penggunaan sistem *charging* baterai dengan *buck converter* dapat menaikkan tegangan dari 8,9 Volt menjadi 16 Volt.

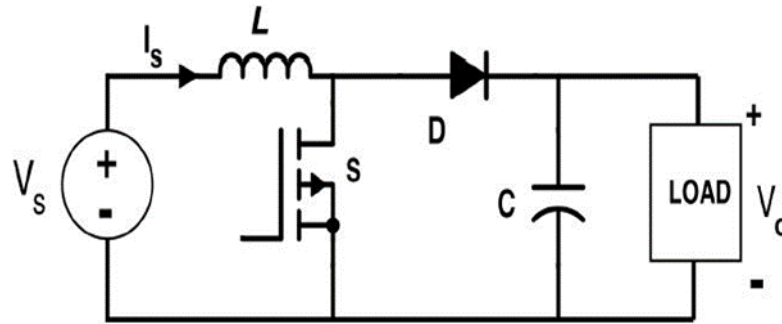
(Pauzi dkk., 2020), melakukan sebuah penelitian dengan membuat perancangan sistem pengisian baterai *lithium ion* 48 volt pada prototipe mobil listrik dengan menggunakan alat *boost converter*. *Boost converter* terdiri dari beberapa sistem rangkaian yaitu rangkaian osilator, rangkaian *trigger*, rangkaian *switching*, induktor dan keluaran DC. *Integrated circuit (IC) tube luminescent (TL) 494* sebagai pembangkit gelombang pulsa dan frekuensi digunakan untuk mengatur proses *switching* pada rangkaian *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* (MOSFET) dengan *boost converter*. Penelitian ini dilakukan dengan memberikan variasi diameter kawat induktor untuk mengetahui hasil keluaran arus yang digunakan untuk proses pengisian, dengan memvariasikan diameter sebesar 0,8 mm, 4 mm dan 8 mm. Jumlah lilitan kawat yang digunakan tetap yaitu 5:27 dan

menghasilkan tegangan *output boost converter* sebesar 54 volt. Hasil penelitian menunjukkan diameter kawat induktor mempengaruhi keluaran dari *boost converter* dan lama waktu pengisian baterai pada mobil listrik. Lama waktu pengisian baterai pada diameter kawat 0,8 mm yaitu selama 680 menit, pada diameter kawat 4 mm yaitu selama 290 menit dan pada diameter kawat 8 mm yaitu selama 400 menit. *Boost converter* memiliki keunggulan seperti lebih efisien dalam segi dimensi, menghasilkan kenaikan tegangan dan daya 3 kali lipat dibandingkan tegangan masukannya. Daya input panel maksimum sebesar 14,5 watt ketika ditambahkan *boost converter* daya listrik maksimum mengalami peningkatan sebesar 47,84 watt.

Perbedaan penelitian sebelumnya dengan penelitian ini adalah pada penelitian ini rangkaian pada alat *charging* baterai mobil listrik akan dibuat menggunakan pcb sehingga *boost converter* dapat dirancang dengan lebih rapi dan lebih tahan terhadap gangguan fisik, seperti getaran atau gesekan.

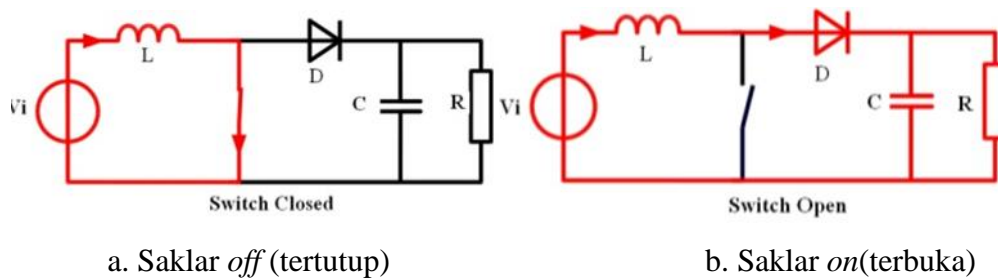
2.2 Boost Converter

Boost converter merupakan rangkaian elektronik untuk keperluan *power supply* (Prianto dkk., 2020). Selain itu, *boost converter* juga dikenal sebagai *converter* yang berfungsi untuk menaikkan tegangan DC. *Boost converter* juga menggunakan sistem *switch mode power supply* (SMPS) atau yang biasa disebut dengan *switched mode power supply*. *Converter* ini mempunyai setidaknya 2 komponen semikonduktor yang berfungsi sebagai *switch* sehingga lebih efisien dalam mengonversi tegangan DC. *Converter* ini berfungsi secara berulang saat saklarnya dibuka dan ditutup. *Boost converter* terdiri dari beberapa komponen yaitu saklar daya, dioda, kapasitor, induktor, dan resistor. Saklar yang digunakan harus memiliki respon yang cepat saat keadaan hidup dan mati. Saklar yang digunakan adalah saklar semikonduktor yaitu mosfet (Soedjarwanto dkk., 2019). Skema rangkaian *boost converter* dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Skema rangkaian *boost converter* (Padillah & Saodah, 2014)

Prinsip kerja dari *boost converter* yaitu untuk mengubah tegangan output menjadi lebih tinggi dibandingkan tegangan input, sedangkan untuk arus output akan lebih kecil dibandingkan arus input. Mosfet yang digunakan pada rangkaian bertindak sebagai saklar yang dapat membuka atau menutup rangkaian sehingga arus yang keluar dikendalikan dengan mengatur besarnya *duty cycle* sinyal *pulse width modulation* (PWM) (Padillah dan Saodah, 2014).



a. Saklar *off* (tertutup)

b. Saklar *on*(terbuka)

Gambar 2.2 Prinsip kerja *boost converter* (Alfaris & Yuhendri, 2020)

Ketika saklar *off* (tertutup) dan diode *off*, arus akan mengalir searah jarum jam dari sumber menuju induktor. Polaritas induktor dalam sisi kiri lebih positif dibandingkan sisi kanannya. Ketika saklar *on* (terbuka) arus akan mengalir berlawanan arah jarum jam sehingga arus yang disimpan di induktor akan berkurang karena impedansi yang lebih tinggi. **Gambar 2.2** menunjukkan rangkaian *boost converter* ketika saklar posisi *off* (tertutup) dan saklar posisi *on* (terbuka).

Pada **Gambar 2.2** ketika saklar posisi *off*, beban akan disuplai oleh tegangan sumber dan ditambahkan ke tegangan besar di induktor, yang saat ini juga melepaskan energi (Padillah dan Saodah, 2014). Keadaan ini menyebabkan

tegangan keluaran lebih besar dari tegangan masukan. Perbandingan antara tegangan keluaran konverter dengan tegangan masukan akan sebanding dengan perbandingan periode pensaklaran dan waktu penyalaan, yang disebut *duty cycle*. Hubungan antara tegangan keluaran (V_o), tegangan masukan (V_i) dan *duty cycle* (D) dituliskan pada rujukan.

$$V_o = \frac{V_i}{(1-D)} \quad (2.2)$$

Dimana

V_o = tegangan keluaran

V_i = tegangan masukan

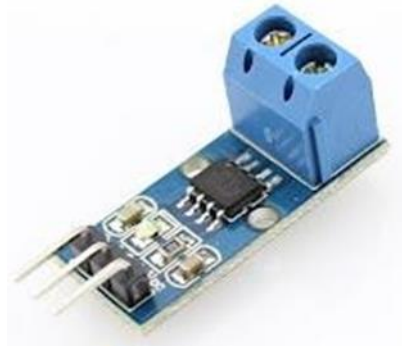
D = *duty cycle*

Berdasarkan persamaan tersebut nilai tegangan keluaran dipengaruhi oleh besarnya *duty cycle*.

2.3 Sensor Arus

Komponen elektronika yang memiliki peranan penting dalam mendeteksi seberapa besar arus listrik yang mengalir adalah sensor arus (Winata dkk., 2016). Arus listrik merupakan energi yang timbul karena adanya perubahan muatan yang pindah melewati suatu titik per muatan waktu dalam suatu konduktor listrik (Satya dkk., 2020). Arus listrik biasanya dilambangkan dengan huruf “I” (Ratnasari dan Senen, 2017). Untuk mendeteksi arus listrik diperlukan adanya sensor arus yang memiliki kemampuan untuk memantau penggunaan arus listrik dan dapat memberikan nilai analog sehingga penggunaan tenaga listrik dapat dikontrol dan diatur. Terdapat beberapa macam sensor arus diantaranya sensor arus ACS712, *current transformers* (CT) sensor, dan *current shunt resistor* (Dani dkk., 2018). Sensor arus ACS712 merupakan sensor yang menggunakan sistem *hall effect*, artinya besaran arus akan mempengaruhi besar kecilnya *hall effect* pada sensor. *Hall effect* bekerja sesuai dengan hukum fisika digunakan untuk mendeteksi medan magnet (Satya dkk., 2020). *Current transformers* (CT) sensor adalah sensor yang digunakan untuk

mengukur arus dengan penggunaan yang jauh lebih mudah daripada ACS712. *Current shunt* resistor adalah sebuah resistor dengan tahanan yang kecil yang digunakan untuk mengukur arus DC atau AC dengan tegangan drop yang dihasilkan oleh arus yang melintasi resistor. Sensor arus ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 Sensor arus (Melipurbowo, 2016).

2.4 Sensor Tegangan

Sensor tegangan berperan dalam mengukur tegangan listrik. Dalam bekerja, sensor ini menggunakan prinsip tekanan resistensi dan dapat membuat tegangan input dari terminal berkurang 5 kali dari tegangan asli (Winata dkk., 2016). Sensor tegangan yang digunakan yaitu jenis ZMPT101B, sensor ZMPT101b digunakan untuk memantau parameter tegangan dan dilengkapi dengan keunggulan memiliki sebuah *ultra micro voltage transformer*, akurasi tinggi dan konsistensi yang baik untuk melakukan pengukuran tegangan dan daya. Beberapa hal yang dapat dilakukan dengan menggunakan sensor tegangan ZMPT101b ini diantaranya adalah:

- a. sebagai sensor untuk mendeteksi arus lebih;
- b. sebagai *ground fault detection*;
- c. pengukuran besaran listrik;
- d. sebagai perangkat untuk *analog to digital converter*.

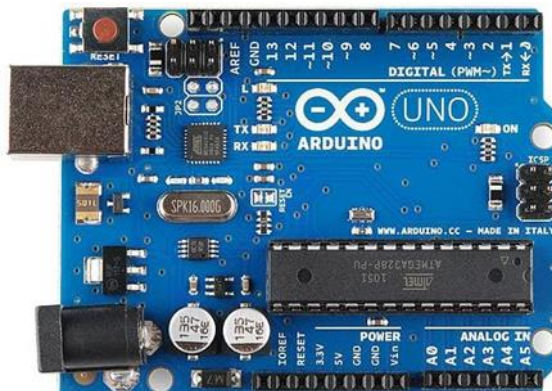
Sensor tegangan ditunjukkan pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4 Sensor tegangan (Winata dkk., 2016).

2.5 Arduino Uno

Arduino uno adalah *board* mikrokontroler berbasis ATmega328 (data sheet). Terdapat 14 pin input dari *output* digital dimana 6 pin input tersebut dapat dimanfaatkan sebagai *output* PWM dan 6 pin *input* analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi *universal serial bus* (USB), *jack power*, *in circuit serial programming* (ICSP) *header*, dan tombol *reset*. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan *Board* arduino uno ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau listrik dengan AC ke adaptor DC atau baterai untuk menjalankannya. Dengan istilah lain, arduino uno adalah suatu alat elektronika digital yang mempunyai masukan dan keluaran serta kendali dengan program yang bisa ditulis dan dihapus dengan cara khusus. cara kerja arduino uno sebenarnya membaca dan menulis data. Arduino memiliki kelebihan tersendiri dibanding *board* mikrokontroler yang lain yaitu bersifat *open source* atau dapat difungsikan untuk pengontrolan secara umum. Arduino juga mempunyai bahasa pemrograman sendiri berupa bahasa C yang mudah dipahami. Selain itu dalam *board* arduino sendiri sudah terdapat *loader* berupa USB sehingga memudahkan pengguna untuk memprogram mikrokontroler di dalam arduino. Sedangkan pada kebanyakan *board* mikrokontroler yang lain yang masih membutuhkan rangkaian *loader* terpisah untuk memasukkan program ketika kita memprogram mikrokontroler. *Board* arduino uno ditunjukkan pada **Gambar 2.5**.



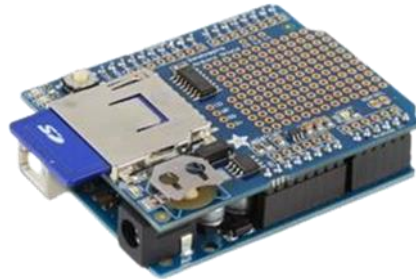
Gambar 2.5 *Board* arduino uno (Winata dkk., 2016).

Arduino dapat mengenali lingkungan sekitarnya melalui berbagai jenis sensor dan dapat mengendalikan lampu, motor, dan berbagai jenis aktuator lainnya (Sujatmiko dan Nana, 2018). Untuk memprogram *board* arduino sesuai dengan proyek yang diinginkan diperlukan suatu software bernama arduino ide (Destiarini dan Kumara, 2019). *Integrated development environment* atau arduino IDE merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk memprogram mikrokontroler arduino dengan bahasa pemrograman C. Perangkat lunak arduino ide bersifat *open source* sama seperti dengan *board* arduino. Pengguna Arduino dapat mengunduh IDE arduino pada website resmi arduino secara gratis. Arduino ide terdiri dari editor program, *compiling*, dan *uploader* (Destiarini dan Kumara, 2019). *Sketch* kode arduino atau program arduino dapat di *upload* ke *board* arduino dengan menggunakan kabel USB dalam bentuk file *ino*, selain itu kabel USB juga digunakan sebagai komunikasi data serial antara *board* arduino dengan IDE arduino.

2.6 *Data Logger Shield*

Data *logger* adalah perangkat yang dapat merekam data dari waktu ke waktu, dari instrumen atau sensor eksternal. Alat yang menggunakan mikroprosesor dan memori internal yang digunakan untuk merekam data melalui sensor. Data *logger shield* merupakan *shield* yang digunakan untuk melakukan penyimpanan data atau data *logging* pada SD Card, *shield* ini kompatibel dengan beberapa komponen elektronik seperti arduino uno, mega R3 atau mega ADK. *Shield* ini dilengkapi

dengan *real time clock* (RTC) yang digunakan untuk mengetahui waktu penyimpanan data yang dilakukan (Winata dkk., 2016). Data *logger shield* ditunjukkan pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6 Data *logger shield* (Winata dkk., 2016).

Data *logger shield* dapat digunakan untuk membuat koneksi antara arduino dan kartu *secure digital* (SD) (Lianda dan Custer, 2019). Modul ini juga bisa digunakan untuk menyimpan data arduino. Sangat cocok untuk menyimpan data saat *power supply* arduino tiba-tiba mati. Modul ini juga memiliki modul DS1307 sebagai RTC untuk menjaga waktu dan tanggal. Komponen komunikasi untuk RTC adalah I2C dan untuk kartu SD adalah SPI.

2.7 *Liquid Crystal Display (LCD)*

Salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai penampil data baik dalam bentuk karakter, huruf, angka ataupun grafik adalah LCD atau *liquid crystal display*. LCD dibuat dengan teknologi *complementary metal oxide semiconductor* (CMOS) *logic*. Teknologi ini bekerja dengan tidak menghasilkan cahaya melainkan memantulkan cahaya yang ada di sekelilingnya terhadap *front-lit* atau mentransmisikan cahaya dari *back-lit* (Kadir, 2013). Keuntungan menggunakan LCD adalah konsumsi daya yang relatif kecil dan mengkonsumsi arus yang sangat sedikit (beberapa *microampere*), sehingga peralatan atau sistem *portable*, karena bisa menggunakan *power supply* yang kecil. Keuntungan lainnya adalah ukuran LCD yang sesuai, tidak terlalu kecil atau besar, kemudian tampilan yang diperlihatkan dari LCD dapat dibaca dengan mudah dan jelas (Lianda dan Custer, 2019). LCD terdiri dari dua bagian utama yaitu *backlight* (lampu latar belakang) dan bagian *liquid crystal*. Cahaya *backlight* tersebut pada umumnya adalah

berwarna putih. Sedangkan kristal cair (*liquid crystal*) sendiri adalah cairan organik yang berada diantara dua lembar kaca yang memiliki permukaan transparan. Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.7** merupakan gambar bentuk fisik dari LCD 20 × 4.



Gambar 2.7 *Liquid crystal display 20 × 4* (Ratnasari & Senen, 2017).

Spesifikasi pada LCD 20 × 4 adalah sebagai berikut:

1. terdiri dari 20 kolom dan 40 baris;
2. tegangan kerja 5 V;
3. memiliki ukuran yang praktis.

Prinsip kerja LCD 20 × 4 adalah menggunakan lapisan film tipis berisi kristal cair dan ditempatkan di antara dua pelat kaca yang terpasang elektroda logam transparan. Ketika tegangan disuplai ke beberapa pasang elektroda, molekul-molekul kristal cair akan menyusun agar cahaya yang mengenainya akan diserap. Dari hasil penyerapan cahaya tersebut akan terbentuk huruf, angka, atau gambar sesuai bagian yang diaktifkan. Untuk membentuk karakter atau gambar pada kolom dan baris secara bersamaan digunakan metode *screening*. Metode *screening* adalah mengaktifkan daerah perpotongan suatu kolom dan baris secara bergantian dan cepat sehingga seolah-olah aktif semua (Zainuri dan Apriana, 2015).

2.8 Energi Matahari

Matahari memberikan energi ke bumi dalam bentuk radiasi. Tanpa radiasi matahari, kehidupan di bumi tidak akan berjalan. Sekitar $3,9 \times 10^{24}$ joule hingga $1,08 \times 10^{18}$ kWh energi matahari mencapai permukaan bumi setiap tahun, yang berarti bahwa energi yang diterima bumi dari matahari adalah 10.000 kali lipat dari kebutuhan

energi primer global per tahun, melebihi total energi yang tersedia. Intensitas radiasi matahari di luar atmosfer bumi tergantung pada jarak antara bumi dan matahari. Dalam setahun, jarak antara matahari dan bumi bervariasi dari $1,47 \times 10^8$ km hingga $1,52 \times 10^8$ km (Duffie dan Beckman, 2008).

Sel surya merupakan perangkat yang mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik. Energi surya memiliki dua parameter penting yaitu pertama, intensitas radiasi, yaitu jumlah energi matahari per satuan luas, dan karakteristik spektrum cahaya matahari. Energi surya memancar ke bumi dalam bentuk paket energi yang disebut *foton*. Total daya yang terpancar mencapai $3,83 \times 10^{23}$ kilowatt (kW). Namun, sebagian besar radiasi hilang di luar angkasa. Radiasi surya dipancarkan dari fotosfer matahari pada suhu 6.000 K, yang membuat distribusi spektralnya mirip dengan spektrum benda hitam. Menurut (Duffie dan Beckman, 2008), energi matahari sampai ke permukaan bumi melalui sebuah gelombang elektromagnetik atau disebut radiasi. Intensitas radiasi matahari adalah energi yang diterima permukaan per satuan luas dan satuan waktu. Memiliki satuan waktu berarti pengukuran tersebut meliputi lama penyinaran atau lamanya penyinaran matahari dalam sehari. Pengaruh awan di atmosfer dapat menyebabkan perubahan radiasi matahari yang diterima di permukaan bumi, dari 40% di daerah lembab dengan banyak awan menjadi 80% di daerah gurun kering (Sitorus dkk., 2014). Ada banyak jenis radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi, yaitu sebagai berikut.

- a. *Direct solar radiation*, yaitu radiasi langsung dari matahari yang menyinari bumi;
- b. *Radiation diffuse*, yaitu radiasi yang dihamburkan atau dipantulkan oleh molekul-molekul di awan;
- c. *Surface reflectivity*, yaitu radiasi yang dipantulkan dari permukaan bumi.

2.9 Panel Surya

Panel surya adalah perangkat yang terdiri dari sel surya yang dapat mengubah cahaya menjadi energi listrik. Panel surya sering disebut sebagai sel *Photovoltaic*, *photovoltaic* sudah dikenal pada abad ke 18 tepatnya sejak tahun 1849 yang dapat

diartikan sebagai "cahaya listrik" (Mintorogo, 2000). Panel surya adalah alat untuk mengubah energi sinar matahari menjadi listrik. Untuk memanfaatkan potensi energi surya, ada dua teknologi yang telah dikembangkan, yaitu surya *fotovoltaik* dan surya termal (Julisman dkk., 2017). Sel surya mengandalkan efek *Photovoltaic* untuk menyerap energi matahari dan menyebabkan arus mengalir di antara dua lapisan yang bermuatan berlawanan. Perlu adanya perlindungan untuk sel surya dari kelembaban dan kerusakan mekanis, karena ini akan secara signifikan mengurangi efisiensi panel surya dan memperpendek masa pakai dari yang diharapkan. Panel surya ditunjukkan pada **Gambar 2.8**.



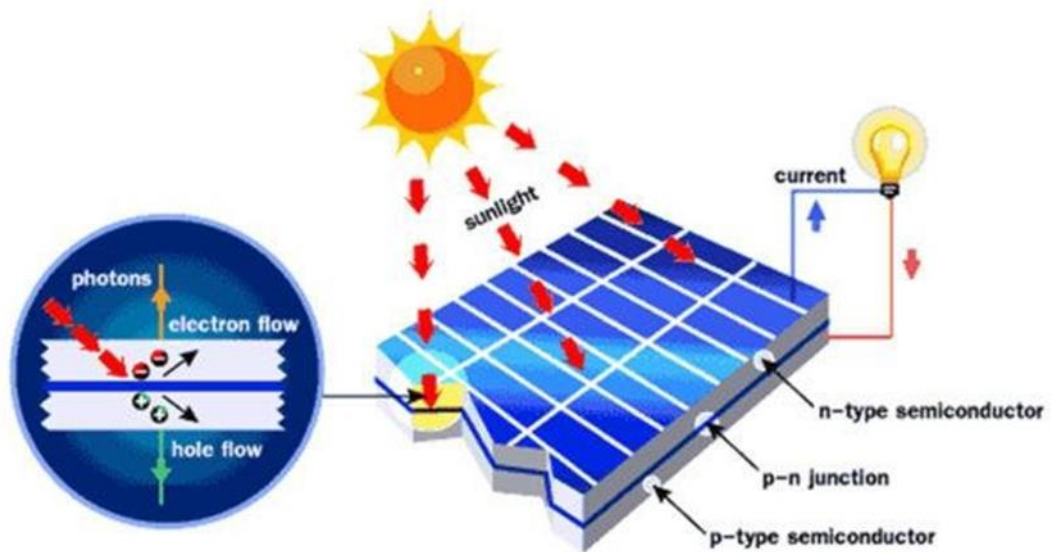
Gambar 2.8 Panel surya (Julisman dkk., 2017).

Lokasi yang ideal untuk panel surya adalah menghadap sinar matahari langsung seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.9**. Panel surya memiliki perlindungan *overheating* yang baik dalam bentuk semen konduktif termal. Perlindungan *overheat* penting karena panel surya mengubah kurang dari 20% energi matahari yang tersedia menjadi listrik, sedangkan sisanya terbuang sebagai panas. Jika tidak ada perlindungan yang cukup, peristiwa *overheating* dapat secara signifikan mengurangi efisiensi panel surya.



Gambar 2.9 panel surya menghadap sinar matahari langsung (Julisman dkk., 2017).

Sel surya bekerja menggunakan prinsip *p-n junction*, yaitu persimpangan antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terbuat dari ikatan atom dengan elektron sebagai komponen dasarnya. Semikonduktor tipe-n memiliki kelebihan elektron (muatan negatif), dan Semikonduktor tipe-P memiliki terlalu banyak lubang (muatan positif) dalam strukturnya atom. Elektron dan hole yang berlebihan dapat terjadi pada bahan didoping dengan atom *dopant*. Misalnya untuk mendapatkan bahan silikon tipe-p, silikon didoping dengan atom boron, dan untuk bahan silikon tipe-n diperoleh, dan silikon didoping dengan atom fosfor. Peran dari *p-n junction* adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron dan lubang dapat diekstraksi oleh bahan kontak untuk menghasilkan listrik. Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n bersentuhan, kelebihan elektron akan pindah dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p untuk membentuk elektroda positif semikonduktor tipe-n, dan sebaliknya, elektroda negatif pada semikonduktor tipe-p. Karena aliran elektron (+) dan lubang ini, medan listrik terbentuk saat sinar matahari mengenai *p-n junction* ini, ia akan memaksa elektron untuk berpindah dari semikonduktor ke kontak negatif, yang dan kemudian digunakan sebagai listrik, dan sebaliknya, lubang bergerak menuju kontak positif menunggu elektron tiba, seperti yang diilustrasikan pada **Gambar 2.10**.



Gambar 2.10 Prinsip kerja panel surya (Julisman dkk., 2017).

Dari gambar diatas dapat menunjukkan cara kerja panel surya dengan prinsip p-n junction. Sel surya konvensional bekerja dengan prinsip kerja p-n junction, yaitu junction antara semikonduktor tipe-p dan semikonduktor tipe-n. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan atom yang dimana terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor tipe-p mempunyai kelebihan hole (muatan positif) dalam struktur atomnya. Kondisi kelebihan elektron dan hole tersebut bisa terjadi dengan mendoping material dengan atom dopant. Sebagai contoh untuk mendapatkan material silikon tipe-p, silikon didoping oleh atom boron, sedangkan untuk mendapatkan material silikon tipe-n, silikon didoping dengan atom fosfor. Ilustrasi diatas menggambarkan junction semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Peran dari p-n junction ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron dan hole bisa diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n terkontak, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipen, dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-p. Akibat dari aliran elektron dan hole ini maka terbentuk medan listrik yang mana ketika cahaya matahari mengenai susuna p-n junction ini maka akan mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai listrik, dan sebaliknya hole bergerak menuju kontak positif

menunggu elektron datang, seperti diilustrasikan pada gambar diatas (Julisman, 2017).

2.10 Baterai

Baterai merupakan sebuah elemen sekunder yang dapat menghasilkan sumber arus listrik searah (DC). Dewasa ini baterai banyak digunakan pada kendaraan listrik misalnya sepeda listrik dan mobil listrik. Baterai merupakan elemen sangat penting untuk memasok energi ke komponen kelistrikan yang ada pada kendaraan listrik. Jenis baterai yang populer digunakan saat ini yaitu jenis baterai *lithium ion*. Baterai jenis *lithium ion* merupakan baterai yang dapat diisi ulang untuk peralatan elektronik portable. Baterai *lithium ion* ini terdiri dari anoda, separator, elektrolit dan katoda. Katoda dan anoda terdiri atas 2 bagian, yaitu bagian material aktif atau tempat masuk dan keluarnya *ion lithium*, serta bagian pengumpul elektron yang disebut *collector current*. Baterai *lithium ion* termasuk kategori baterai sekunder atau baterai yang dapat digunakan dan diisi ulang beberapa kali. Sehingga baterai ini cocok digunakan untuk kendaraan listrik seperti mobil listrik.

Selama pengisian terjadi perubahan energi listrik ke energi kimia, dan sebaliknya pada saat pengosongan terjadi perubahan energi kimia ke energi listrik. Ketika pengisian pada sumber energi listrik terjadi aliran listrik yaitu elektron mengalir dari anoda ke katoda. Dengan adanya aliran listrik tersebut, maka akan menimbulkan reaksi kimia (reaksi redoks) yang menyebabkan terbebasnya zat-zat dalam baterai yaitu $PbSO_4$ menjadi Pb , PO_2 , ion H^+ , dan ion SO_4^{2-} . Pada pengosongan, terjadi pengaliran listrik yaitu elektron mengalir dari PbO_2 atau kutub positif (sebagai anoda) ke Pb atau kutub negatif (sebagai katoda) sehingga adanya aliran tersebut mengakibatkan terjadinya reaksi kimia.



Gambar 2.11 Baterai *lithium ion* (Wibowo dkk., 2014).

Terdapat 2 jenis baterai berdasarkan pada proses yang terjadi, yaitu:

1. *Primary battery*

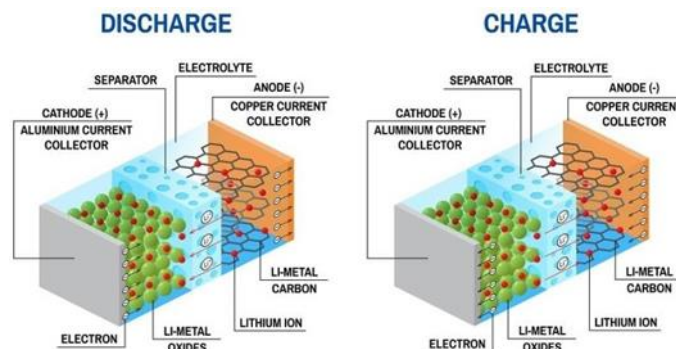
Baterai yang hanya bisa digunakan sekali dan dibuang. Bahan elektroda tidak dapat dibalik saat dilepas.

2. *Secondary battery*

Baterai yang dapat diisi ulang. Pada prinsipnya, metode pembangkitan daya baterai sekunder sama dengan baterai primer. Namun reaksi kimia pada baterai sekunder ini bersifat *reversible* (dapat dibalik).

Baterai *lithium ion* adalah baterai sekunder atau baterai isi ulang. Dibandingkan dengan jenis baterai sebelumnya, baterai ini memiliki banyak keunggulan, termasuk umur panjang (500-1000 siklus), efek memori kecil, tegangan kerja tinggi (3.6 V), dan kapasitas spesifik yang lebih tinggi daripada baterai sekunder lainnya. Dalam kondisi *charge* dan *discharge*, baterai *lithium ion* bekerja sesuai dengan proses interkalasi, yang melepaskan *ion lithium* dari posisi dalam struktur kristal satu bahan elektroda dan memasukkan *ion lithium* ke posisi dalam struktur kristal bahan elektroda lain. Ada elektroda negatif di dalam baterai sekunder terkait dengan reaksi oksidasi setengah sel yang melepaskan elektron masuk ke sirkuit eksternal, dan elektroda yang positif terjadi reaksi setengah sel, reaksi reduksi yang menerima

elektron dari sirkuit katoda mengalami reaksi kimia reduksi. Proses interkalasi baterai *lithium ion* saat *charge* dan *discharge* dapat dilihat pada **Gambar 2.12**.



Gambar 2.12 Prinsip kerja baterai *lithium ion* (Suwito dkk., 2017).

Kemampuan kapasitas energi yang tersimpan dalam baterai *lithium* tergantung pada beberapa banyak *ion lithium* yang dapat disimpan dalam struktur bahan elektrodanya dan berapa banyak yang dapat digerakkan dalam proses *charging* dan *discharging*, karena jumlah arus elektron yang tersimpan dan tersalurkan sebanding dengan jumlah *ion lithium* yang bergerak (Saputry dkk., 2019). Pada saat *charging*, bahan elektroda positif akan terionisasi dan menghasilkan *ion lithium* yang bermuatan positif dan bergerak ke dalam elektrolit untuk mencapai bahan elektroda negatif, sedangkan elektron yang dilepaskan bergerak ke elektroda negatif (anoda) melalui rangkaian eksternal. *Ion litium* ini akan masuk ke bahan elektroda negatif melalui mekanisme interkalasi, yaitu struktur kristal bahan elektroda positif dan bahan elektroda negatif tidak akan berubah. Dan pada saat *discharging*, akan terjadi aliran ion dan elektron yang berlawanan arah dengan proses *charging*.

2.11 Mobil Listrik

Mobil listrik merupakan kendaraan yang menggunakan energi listrik sebagai bahan bakar untuk memungkinkan mobil tersebut melakukan perjalanan. Sumber energi mobil listrik ini adalah energi listrik yang disimpan dalam baterai, kemudian diubah menjadi energi kinetik berupa motor yang berputar untuk memutar roda motor. Proses mobil listrik sedang dilakukan pengecasan dapat dilihat pada **Gambar 2.13**.



Gambar 2.13 Mobil listrik sedang melakukan pengisian baterai (Sumber: www.otomotif.bisnis.com/2022).

Daya pada mobil ini berasal dari enam baterai 12 volt 100 ampere yang dihubungkan secara seri, sehingga daya totalnya adalah 72 volt 100 ampere. Dengan cara ini, daya akan diteruskan ke rakitan kontaktor, yang disediakan oleh tegangan DC 48 volt, yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan arus dari sumber tegangan utama yang dikendalikan oleh kotak panci (pedal gas). Tenaga dari baterai diproses oleh pengontrol yang terdiri atas rangkaian elektronik otomotif khusus yang dilengkapi dengan pendingin tipe aluminium yang berfungsi sebagai pendingin komponen. Saat mengontrol daya dari baterai, rangkaian pengontrol terhubung langsung ke rangkaian kotak pot. Daya dari pengontrol diarahkan ke motor DC dengan kapasitas putar 44,4 kilowatt. Dalam sistem kendaraan ini diterapkan sistem keamanan, khususnya pada pengontrol daya sebagai antisipasi jika terjadi hal-hal yang tidak diinginkan. Sistem keamanan tersebut menerapkan metode pengontrolan yang berbasis pembalikan polaritas yang fungsi dasarnya memutuskan daya secara manual yang dapat dilakukan oleh pengendara melalui tuas yang telah disediakan (Setiono, 2016).

Mobil listrik dapat bergerak karena ada rakitan motor listrik. Salah satunya adalah motor DC yang sesuai dengan namanya menggunakan arus searah DC. Motor DC digunakan untuk aplikasi khusus yang memerlukan start torsi tinggi atau akselerasi konstan untuk mencapai rentang kecepatan yang lebar. Motor DC memiliki tiga komponen utama: kutub magnet, generator, dan komutator. Keuntungan utama dari

motor DC adalah sebagai pengatur kecepatan tidak mempengaruhi kualitas catu daya. Motor dapat dikontrol dengan mengatur tegangan generator dan arus eksitasi (Zainuri dan Apriana, 2015).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Elektronika Dasar Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada bulan Maret sampai Mei 2023.

3.2 Alat dan Bahan

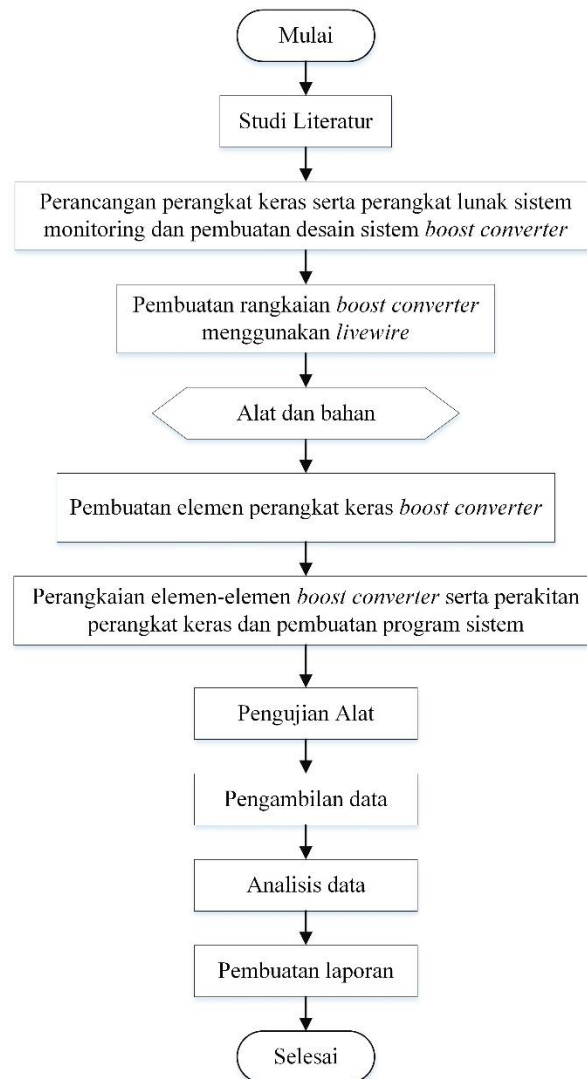
Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Panel surya 100 Wp, digunakan untuk alat yang menyerap energi matahari mengubah menjadi energi listrik.
2. Kabel penghubung, digunakan untuk penghubung antara panel surya dengan rangkaian dan alat lainnya.
3. Dioda, digunakan sebagai penyearah tegangan. Baterai *lithium ion* 48 V 20 Ah, digunakan sebagai media penyimpanan energi.
4. Sensor arus ACS712, digunakan untuk mengukur arus DC.
5. Sensor tegangan DC, digunakan untuk mengukur tegangan DC.
6. LCD 20 x 4, digunakan sebagai penampil data.
7. Arduino uno, digunakan untuk memproses data yang didapatkan dari sensor.
8. Data *logger shield*, digunakan untuk melakukan penyimpanan data pada SD *card*.
9. MOSFET IRFP460, digunakan sebagai komponen *switching* pada rangkaian *boost*.

10. *Solar charger controller*, digunakan sebagai komponen pengendali dalam proses pengisian baterai.
11. *Core ferit*, digunakan sebagai induktor.
12. IC TC4420, digunakan sebagai *optocoupler* pada rangkaian *gate driver*.
13. *Heat sink*, sebagai peredam panas pada *fast switching* MOSFET.
14. Kawat email, digunakan untuk melilit *core ferit*.
15. Potensiometer, digunakan untuk mengatur *duty cycle*.
16. Baterai *Lithium Ion*, digunakan sebagai media penyimpan energi yang dihasilkan oleh panel surya.
17. PCB, digunakan untuk mengorganisir semua komponen agar tersusun dengan rapi.

3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini terbagi menjadi tiga tahap yaitu tahap perancangan dan pembuatan sistem, pengujian alat dan pengambilan data. Secara umum diagram alir ini ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.

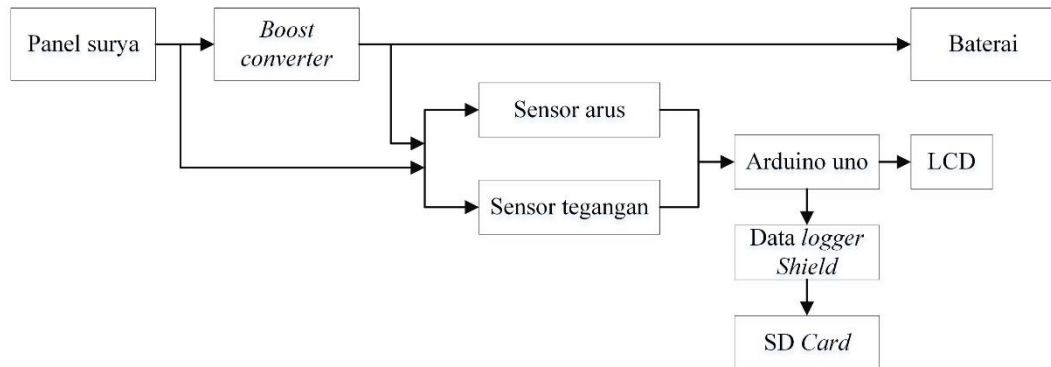


Gambar 3.1 Diagram alir.

3.3.1 Perancangan Perangkat Keras Serta Perangkat Lunak Sistem

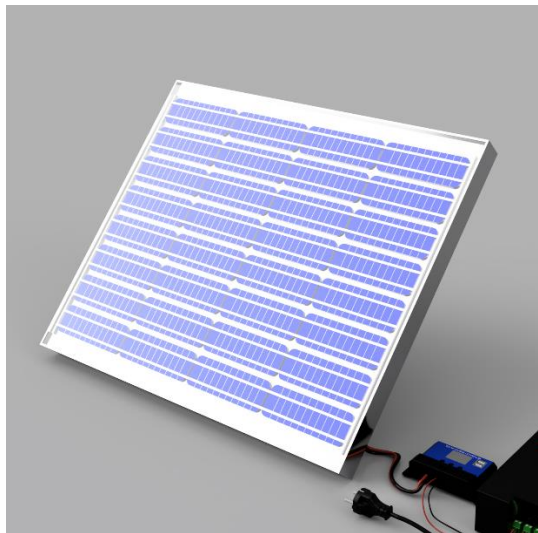
Penelitian dilakukan dengan membuat inovasi prototipe pengoptimalan sistem pengecasan baterai mobil listrik menggunakan rangkaian *boost converter* dari tenaga surya menggunakan panel surya 100 Wp serta membuat alat pencatatan data output secara otomatis dengan menggunakan mikrokontroler arduino uno sebagai pengontrol utama dan SD Card berkapasitas 8 GB sebagai media penyimpanan nilai arus, tegangan dan daya *output* dari panel surya. Melalui proses pengisian baterai *lithium ion* yang diterapkan dengan rangkaian *boost converter* yang dirancang untuk menghasilkan energi listrik lebih optimal dan daya lebih tinggi untuk

melakukan proses pengisian daya baterai *lithium ion* dengan waktu pengisian yang lebih efektif. Perangkat pengisian dengan sirkuit *boost converter* dapat dikembangkan penggunaan baterai untuk kendaraan listrik. Diagram blok dari sistem ini dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Diagram blok sistem.

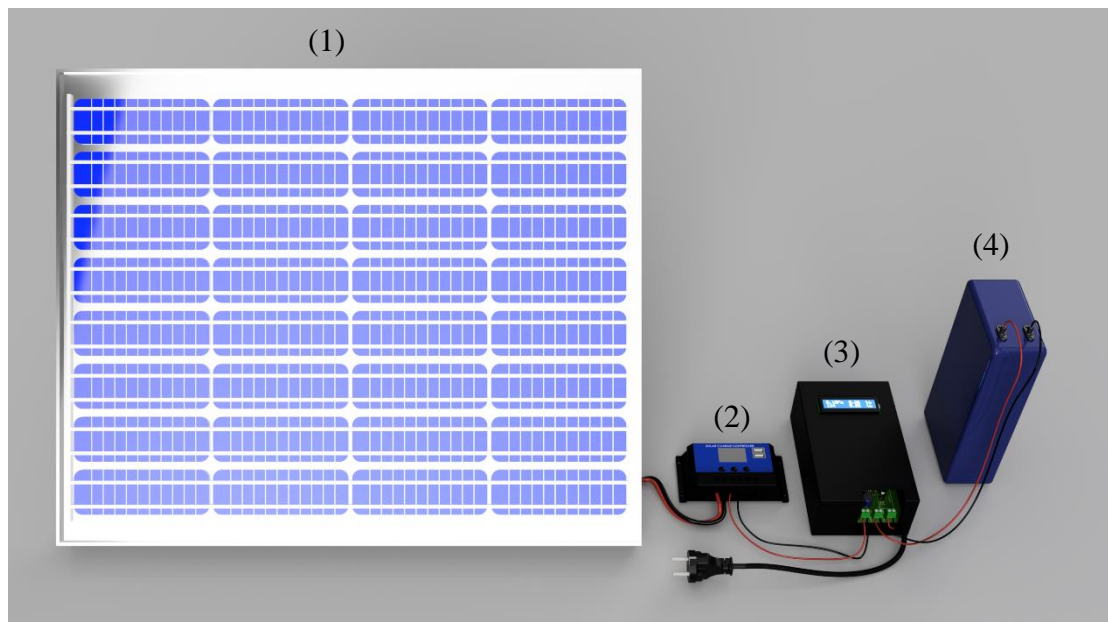
Desain akan menggunakan unit panel 100 Wp dipasang pada sudut kemiringan yang diatur secara horizontal atau pada 30° seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3.3 Posisi panel surya 30° menghadap matahari.

Panel di pasang siang hari mulai dari pukul 08.00 WIB sampai dengan pukul 14.00 WIB untuk mendapatkan penyinaran yang baik dari sumber energi (sinar matahari), dengan menggunakan rangkaian *boost converter* yang diberikan variasi jumlah lilitan dan diameter kawat pada induktor. Nilai *output* panel surya yang dihasilkan

sebelum penambahan rangkaian *boost converter* dan sesudah penambahan rangkaian *boost converter* berupa arus dan tegangan listrik kemudian terhubung ke sensor arus dan sensor tegangan. Selanjutnya nilai yang diperoleh sensor arus dan sensor tegangan dikirim ke mikrokontroler arduino uno. Mikrokontroler arduino uno berfungsi memproses data untuk ditampilkan pada layar LCD, selain itu mikrokontroler arduino uno juga berfungsi mengirim data ke data *logger shield* untuk proses pencatatan data. Pada data *logger shield* terpasang memori *SD card* yang berfungsi sebagai media penyimpanan hasil pencatatan data *output*. Dalam perancangan perangkat lunak yang dibutuhkan adalah komputer dilengkapi dengan *software* arduino *Integrated Development Environment* (IDE) untuk mendesain perangkat lunak dan juga sebagai *driver* dari mikrokontroler arduino uno yang berfungsi untuk koneksi perangkat dengan komputer. Tahap selanjutnya dilakukan pengukuran terhadap tegangan kerja pada saat panel surya dengan beban yaitu baterai *lithium ion* 48 volt 20 Ah kemudian meletakkan panel surya secara langsung terpapar cahaya matahari. Skema alat ini dapat dilihat pada **Gambar 3.4** dan desain alat dapat dilihat pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3.4 Skema alat pengisian daya.

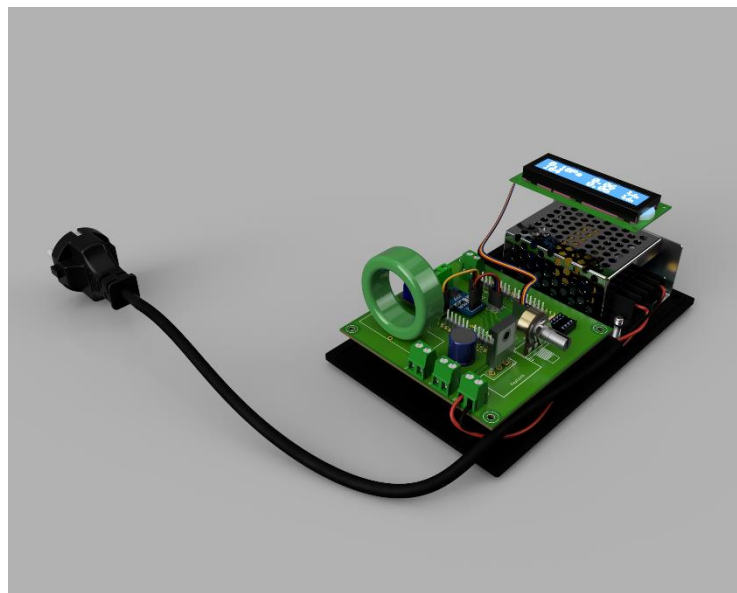
Keterangan **Gambar 3.4**:

1. Panel surya.

2. Solar charger controller.
3. Boost converter.
4. Baterai *lithium ion* 48 volt 20 Ah.



a. Bagian luar

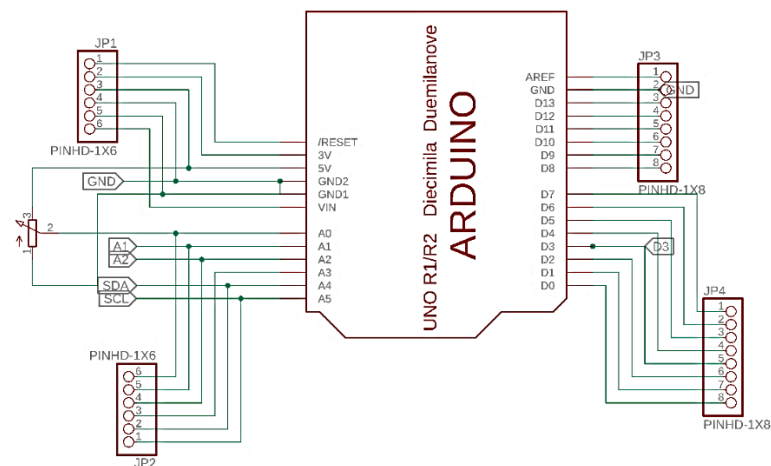


b. Bagian dalam

Gambar 3.5 Desain alat pengisian daya.

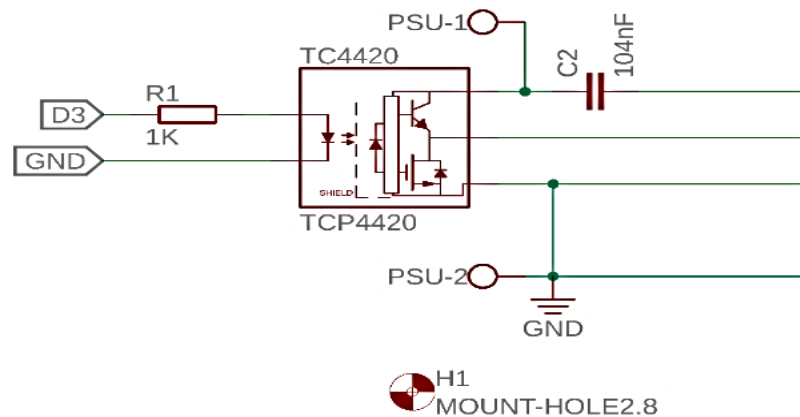
3.3.2 Perancangan Rangkaian *Boost Converter*

Rangkaian *boost converter* terdiri dari rangkaian kontrol, rangkaian *gate driver* dan rangkaian *boost*. Tahap perancangan rangkaian *boost converter* diawali dengan pembuatan rangkaian kontrol, rangkaian kontrol berfungsi sebagai pengendali tegangan output dari rangkaian *boost* agar sesuai dengan kebutuhan. Pengendalian ini dilakukan dengan mengatur nilai *duty cycle* dari sinyal PWM menggunakan potensiometer 1 K yang terangkai pada arduino. Pembangkitan sinyal PWM dilakukan menggunakan arduino uno pada pin pembangkit PWM diantaranya 3,5,6,9,10 serta 11. Penelitian ini menggunakan pin 3 sebagai pin pembangkit PWM. Perancangan rangkaian kontrol pada penelitian ditunjukkan pada **Gambar 3.6**.



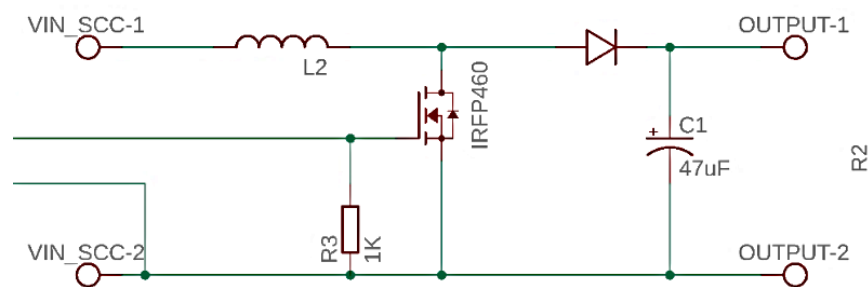
Gambar 3.6 Rancangan rangkaian kontrol.

Selanjutnya perancangan rangkaian *gate driver*, rangkaian *gate driver* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 3.7**.



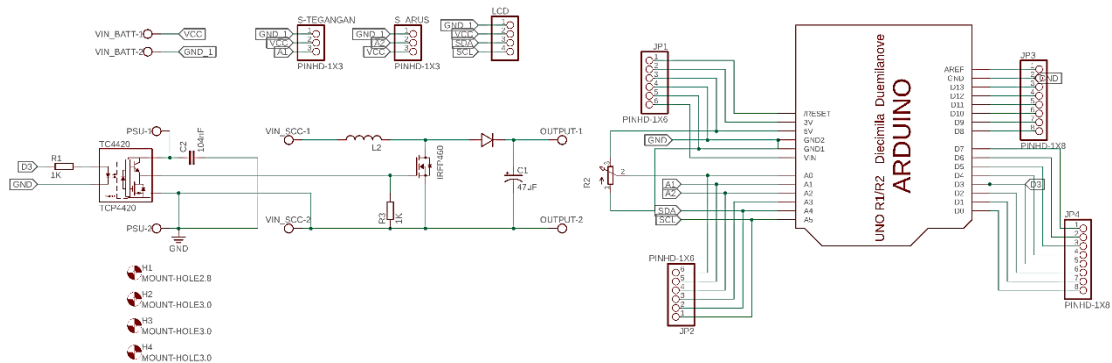
Gambar 3.7 Rancangan rangkaian *gate driver*.

Gate driver digunakan untuk mengutkan tegangan sinyal (nilai *peak to peak*) PWM yang dihasilkan oleh mikrokontroler sebesar 5V menjadi tegangan yang mampu memicu gerbang *gate* pada MOSFET sesuai data *sheet* MOSFET yang digunakan. Rangkaian *gate driver* menggunakan IC TC4420 yang terhubung dengan V_{cc} 20 V serta kapasitor *polyester* 104 nf pada kaki 8 serta 5. Kaki 2 terhubung dengan pin 3 arduino uno yang merupakan pin pembangkit sinyal PWM sedangkan GND arduino uno terangkai pada pin 3 IC TC4420. *Output* rangkaian *gate driver* terdapat pada pin 6 dan 5. *Output* pada pin 6 akan di salurkan pada gerbang *gate* MOSFET sedangkan *output* pada pin 5 akan di salurkan pada gerbang *source* MOSFET. Selanjutnya perancangan rangkaian *boost*, rangkaian *boost* digunakan sebagai rangkaian penaik tegangan keluaran panel surya. Rangkaian *boost* yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 3.8** dengan menggunakan komponen Kapasitor dengan nilai 47 uf/ 50 v, MOSFET IRFP460 dan arduino UNO sebagai pembakit PWM.



Gambar 3.8 Rancangan rangkaian *boost*.

Setelah mempersiapkan rangkaian diatas, selanjutnya setiap rangkaian tersebut dihubungkan menjadi satu sistem rangkaian *boost converter*. Rancangan rangkaian *boost converter* secara keseluruhan ditunjukkan pada **Gambar 3.9**.



Gambar 3.9 Rangkaian keseluruhan *boost converter*.

3.3.3 Pengujian Alat

Pada tahap ini terlebih dahulu dilakukan pengujian alat *boost converter* secara bergantian dibawah sinar matahari, dilakukan pada pukul 08:00 WIB sampai 14:00 WIB. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem *charging* baterai *lithium ion* dengan rangkaian tambahan *boost converter* dapat digunakan dalam proses *charging* baterai *lithium ion*.

Pengujian sistem terlebih dahulu dilakukan pada slot *SD Card*, menggunakan mikrokontroler arduino uno dan data *logger shield*. Pengujian dilakukan dengan cara memasukkan *SD Card* ke dalam slot *SD Card* yang terdapat pada data *logger shield*, kemudian melakukan proses pemrograman pada mikrokontroler arduino uno untuk menyimpan data tersebut pada *SD Card*. Jika input data oleh mikrokontroler disimpan pada *SD Card*, maka *SD Card* bekerja dengan baik. Pengujian *RTC (real time clock)* dilakukan dengan memberikan input data urutan *real time* yang diterima oleh arduino dan kemudian ditampilkan pada LCD. Jika data waktu input yang ditampilkan pada LCD sesuai dengan yang diprogram, maka rangkaian dapat bekerja dengan baik. Pengujian sensor arus dilakukan dengan menggunakan arduino uno yang diprogram untuk memproses nilai analog yang dibaca oleh sensor arus untuk ditampilkan di LCD kemudian nilai yang ditampilkan

di LCD dibandingkan dengan nilai yang diperoleh dengan pengukuran menggunakan multimeter. Pengujian sensor tegangan dilakukan dengan menggunakan arduino uno yang diprogram untuk pemrosesan nilai analog yang dibaca oleh sensor tegangan untuk ditampilkan di LCD kemudian nilai yang ditampilkan di LCD dibandingkan dengan nilai input dari *power supply*.

3.4 Rancangan Data Hasil Penelitian

Data yang diperoleh pada penelitian ini yaitu data tegangan, arus, daya dan lama waktu pengecasan baterai *lithium ion* 48 V 20 Ah dengan rangkaian *boost converter* dan tanpa rangkaian *boost converter*. Data pengamatan pada penelitian ini akan diambil pada pukul 08:00 WIB sampai 14:00 WIB dan diletakkan langsung dibawah cahaya matahari. Rancangan data hasil penelitian disajikan pada **Tabel 3.1**, dan **Tabel 3.2**.

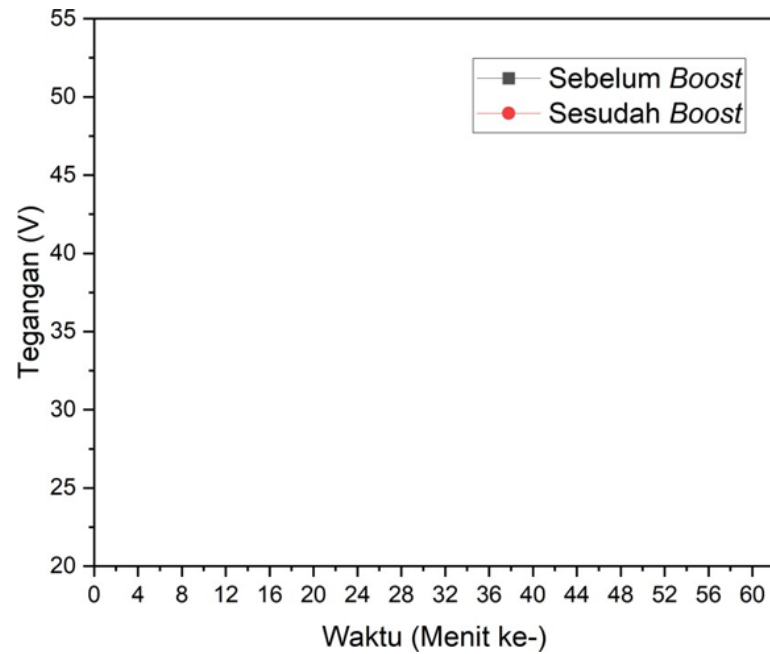
Tabel 3.1 Hasil pencatatan data karakteristik energi listrik

No	Waktu (Menit ke-)	Tegangan Panel (V)	Tegangan <i>Boost Converter</i> (V)	Arus (A)	<i>Arus Boost Converter</i> (A)	Daya (Watt)
1						
2						
...						
5						

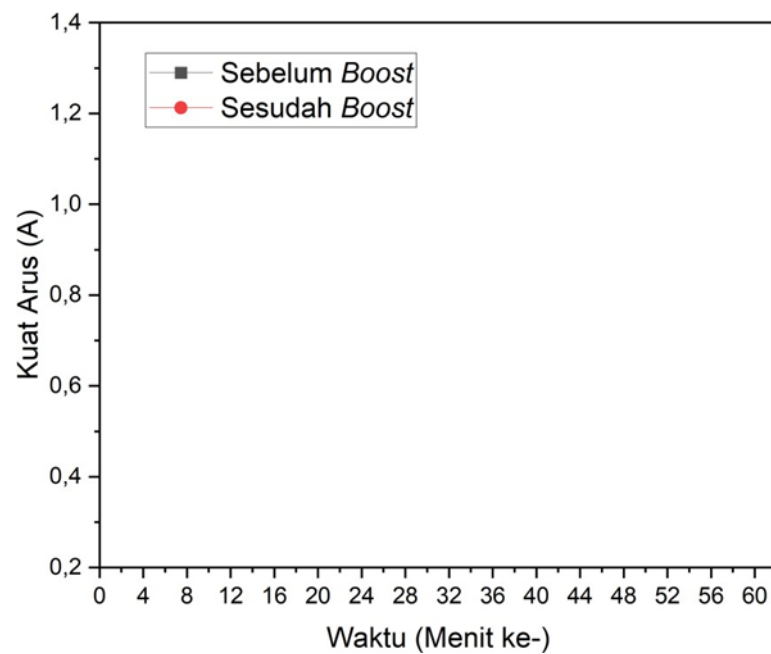
3.5 Rancangan Analisis Data Pengamatan

Data hasil penelitian yang diperoleh akan dibuat grafik dan dianalisis bagaimana nilai dari arus sebelum boost dan setelah boost serta tegangan sebelum boost dan

setelah boost. Analisis data di plot dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.10** dan **Gambar 3.11**.



Gambar 3.10 Grafik hasil tegangan.



Gambar 3.11 Grafik hasil arus.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran, pengamatan dan pengujian pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Sistem pengisian baterai yang dikembangkan berhasil mencapai tujuan utama penelitian, yaitu mengisi baterai kendaraan listrik menggunakan energi dari panel surya dengan menggunakan sistem boost converter. Hal ini memungkinkan pengisian baterai kendaraan listrik secara efisien dan memanfaatkan sumber energi terbarukan.
2. Hasil daya sesudah boost converter secara keseluruhan lebih tinggi daripada hasil daya sebelum boost converter. Hal ini menunjukkan efektivitas penggunaan boost converter dalam meningkatkan hasil daya dan efisiensi pengisian baterai pada kendaraan listrik.
3. Penelitian ini memberikan bukti bahwa sistem boost converter yang dikombinasikan dengan pembangkit tenaga surya dapat menjadi solusi yang baik untuk mengoptimalkan pengisian baterai kendaraan listrik. Hal ini dapat membantu dalam memanfaatkan sumber energi terbarukan dan mengurangi ketergantungan pada sumber daya bahan bakar fosil.
4. Tegangan maksimum yang dihasilkan oleh panel surya 22,78 volt, setelah ditambahkan rangkaian *boost converter* tegangan maksimum mencapai 51,56 volt.

5.2 Saran

Saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya adalah menambah jenis inputan daya tidak hanya dari panel surya tetapi juga dari turbin air dan angin, serta

menambah jumlah lilitan kawat pada induktor sehingga tegangan yang di hasilkan akan lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfari, A., & Yuhendri, M. (2020). Sistem Kendali dan Monitoring *Boost Converter* Berbasis GUI (*Graphical User Interface*) Matlab Menggunakan Arduino. *Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 1(2), 266-272.
- Baskoro, F., Hamdani, R. W., & Haryudo, S. (2021). Studi Literatur Pengaruh Kendali *Boost Converter* Menggunakan Kontrol Pid Pada Kecepatan Motor Dc. *Jurnal Teknik Elektro*, 10, 1, 271-279.
- Destiarini, & Kumara, P. W. (2019). *Robot Line Follower* Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno Atmega328 . *Jurnal Informatika*, 5(1), 18–25.
- Duffie, A. W., & Beckman, A. (2008). *In Solar Engineering of Thermal Processes*. John Wiley and Sons. New york.
- Jauhari, Valentin. 2019. Rancang Bangun Boost Converter Untuk Charging Baterai Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Betenaga Surya. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Julisman, A., Sara, I. D., & Siregar, R. H. (2017). Prototipe Pemanfaatan Panel Surya sebagai Sumber Energi pada Sistem Otomasi Atap Stadion Bola. *Jurnal Online Teknik Elektro*, 2(1), 35–42.
- Kadir, A. (2013). *Panduan praktis Mempelajari Aplikasi Mikrokontroler dan Pemrogramannya Menggunakan Arduino*. Andi. Yogyakarta.
- Kurniawan, Lihardi. 2019. Peningkatan Efisiensi Sel Surya dengan Menggunakan *Phase Change Material* (PCM) Berbahan Dasar Parafin Sebagai Media Pendingin. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Lianda, J., & Custer, J. (2019). Sistem Monitoring Panel Surya Menggunakan Data *Logger* Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Seminar Nasional Industri Dan Teknologi* (SNIT), 4(2), 381–388.
- Liun, E. (2018). Dampak Peralihan Massal Transportasi Jalan Raya ke Mobil Listrik. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 19(2), 113–122.

- Melipurbowo, B. G. (2016). Pengukuran Daya Listrik *Real Time* dengan Menggunakan Sensor Arus ACS712. *Orbith*, 12(1), 17-23.
- Mintorogo, D. S. (2000). Strategi Aplikasi Sel Surya (*Photovoltaic Cells*) pada Perumahan dan Bangunan Komersial. *Dimensi Teknik Arsitektur*, 28(2), 129–141.
- Padillah, F., & Saodah, S. (2014). Perancangan dan Realisasi Konverter DC-DC Tipe *Boost* Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 8535. *Jurnal Reka Elkomika*, 2(1), 61–74.
- Pauzi, G. A., Rahma, D., Suciyati, S. W., & Surtono, A. (2020). Rancang Bangun Prototipe Pengoptimal *Charging* Baterai pada Mobil Listrik dari Pembangkit Tenaga Surya dengan Menggunakan Sistem *Boost Converter*. *Journal of Energy, Material, and Instrumentation Technology*, 1(2), 40–46.
- Priyanto, Budhi. 2013. Peningkatan Daya Keluaran Sel Surya dengan Penambahan Intensitas Berkas Cahaya Matahari. *Jurnal Neutrino*. 5(2): 105-115.
- Purnomo, S.J., B.H. Pratama., L.N. Hakim., Nurofik dan S. Pambudi. 2017. Uji Eksperimantal Kinerja Mobil Listrik. *Prosiding SNATIF ke-4*. Universitas Tidar. Magelang.
- Putra, B. S., Rusdinar, A., Kurniawan, E., Elektro, F. T., Telkom, U., Telekomunikasi, J., & Listrik, M. (2015). Desain dan Implementasi Sistem Monitoring dan Manajemen Baterai Mobil Listrik. *E-Proceeding of Engineering*, 2(2), 1909–1916.
- Ratnasari, T., & Senen, A. (2017). Perancangan Prototipe Alat Ukur Arus Listrik AC dan DC Berbasis Mikrokontroler Arduino dengan Sensor Arus ACS712 30 Ampere. *Jurnal Ilmiah Sutet*, 7(2), 28–33.
- Rianta, I. M. A., (2023). Optimalisasi Pengisian Baterai Lithium Ion Pada Mobil Dari Pembangkit Sel Surya Dengan Sistem *Boost Converter* Variasi Jumlah Lilitan Dan Diameter.(Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Saputry, A. P., T, L., & Y, A. (2019). Pengaruh Rasio LiBOB: TiO₂ dari Lembaran Polimer Elektrolit sebagai Pemisah terhadap Kinerja Elektrokimia Baterai *Lithium Ion* Berbasis LTO. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 22(4), 136–142.
- Septian, D., (2019). Rancang bangun Prototipe Pengoptimalan Charging Baterai Lead Acid dari Pembangkit Tenaga Surya Dengan Menggunakan Buck Converter. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Setiono, L. 2016. Perancangan Mekanika dan Realisasi Kontrol Mobil Listrik. *E-proceeding of Engineering*. 3(3): 4669-4675.

- Soedjarwanto, N., Muda, M. A., Komalasari, E., & Jauhari, V. (2019). Rancang Bangun *Boost Converter* untuk *Charging* Baterai *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) Bertenaga Surya. *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, 13(3), 89–93.
- Suwito, Suhanto, & Kustori. (2017). Sistem Baterai *Charging* pada *Solar Energy System* dengan *Buck Boost Converter* untuk Berbagai Tingkat Pencahayaan di Bandar Udara. *Jurnal Teknologi Penerbangan*, 1(1), 39-48.
- Wibowo, I. A., Sudiby, C., & Basori. (2014). Pengaruh Penggunaan *Battery life Extender Technology* terhadap Temperatur *Charging* dan Berat Elektrolit pada Yuasa *Lead Acid Battery* Tipe *Liquid Vented* 12 V 5 Ah. *Jiptek*, 7(1), 54-62.
- Winata, P. P. T., Wijaya, I. W. A., & Suartika, I. M. (2016). Rancang Bangun Sistem Monitoring Output dan Pencatatan Data pada Panel Surya Berbasis Mikrokontroler Arduino. *E-Journal SPEKTRUM*, 3(1), 1–6.
- Zainuri, F., & Apriana, A. (2015). Optimalisasi Rancang Bangun Mobil Listrik Sebuah Alternatif Krisis Energi Dunia. *Politeknologi*, 14(3), 1–8.