



**RANCANG BANGUN
SISTEM PENGISI BATERAI MOBIL LISTRIK BERBASIS
MIKROKONTROLLER ATMEGA16**

SKRIPSI

Oleh

**ROHMAT KHOIRUL SIDIQ
NIM 111910201039**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015**



**RANCANG BANGUN
SISTEM PENGISI BATERAI MOBIL LISTRIK BERBASIS
MIKROKONTROLLER ATMEGA16**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**ROHMAT KHOIRUL SIDIQ
NIM 111910201039**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015**

PERSEMBAHAN

Dengan ini saya persembahkan skripsi kepada:

1. Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang.
2. Kedua orang tua tercinta, Alm. Hadi Sulistyو dan Ibu Hartini atas kasih sayang, pengorbanan dan kesabaran yang tiada tara serta doa yang selalu menyertai.
3. Guru – guru mulai SDN Pilang 3 Probolinggo, SMP Negeri 2 Probolinggo, SMA Negeri 4 Probolinggo, dan dosen-dosen Teknik Elektro Universitas Jember. Terima kasih untuk ilmu dan pengalaman yang telah diajarkan selama ini.
4. Almamater Teknik Elektro Universitas Jember.

MOTTO

“Barangsiapa bertawakkal pada Allah, maka Allah akan memberikan kecukupan padanya, sesungguhnya Allah lah yang akan melaksanakan urusan (yang dikehendaki)-Nya.”
(QS. Ath-Thalaq: 3).

“Barangsiapa bersungguh-sungguh, sesungguhnya kesungguhannya itu adalah untuk dirinya sendiri.”
(QS Al-Ankabut [29]: 6)

“Barangsiapa yang mempermudah urusan orang yang mengalami kesulitan, maka Allah akan mempermudah urusannya di dunia dan di akhirat”
(HR. Ibnu Majah).

"Barangsiapa ingin mutiara, harus berani terjun di lautan yang dalam."
(Ir. Soekarno)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama: Rohmat Khoirul Sidiq

NIM : 111910201039

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul "Rancang bangun sistem pengisi baterai mobil listrik berbasis mikrokontroler Atmega16" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 22 Desember 2015

Yang menyatakan,

Rohmat Khoirul Sidiq

NIM 111910201039

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN
SISTEM PENGISI BATERAI MOBIL LISTRIK BERBASIS
MIKROKONTROLLER ATMEGA16**

Oleh

**ROHMAT KHOIRUL SIDIQ
NIM 111910201039**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Rancang Bangun Sistem Pengisi Baterai Mobil Listrik Berbasis Mikrokontroler Atmega16” Telah diuji dan disahkan pada :

Hari : Kamis

Tanggal : 26 November 2015

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.
NIP 19631201 199402 1 002

Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.
NIP 19710402 200312 1 001

Anggota I,

Anggota II,

Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T.
NIP 19800610 200501 1 003

Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T.
NIP 19710614 199702 1 001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Jember,

Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP 19610414 198902 1 001

Rancang Bangun Sistem Pengisi Baterai Mobil Listrik

Berbasis Mikrokontroler ATmega16

Rohmat Khoirul Sidiq

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Mobil listrik merupakan mobil bebas emisi yang dapat mengurangi pencemaran lingkungan akibat hasil pembakaran. Mobil listrik membutuhkan baterai *lead acid* sebagai pengganti bahan bakar minyak sehingga dibutuhkan pengisi baterai yang dapat mempercepat pengisian dan aman. Maka dari itu, penelitian ini menggunakan metode pengisian arus konstan dan tegangan konstan. Metode arus konstan bekerja apabila baterai dalam proses pengisian dengan arus pengisian sebesar 2 A. Akan tetapi, ketika tegangan baterai penuh maka metode yang digunakan akan beralih menjadi tegangan konstan sehingga dalam kondisi ini arus pengisian sangat kecil. Penelitian ini menggunakan *rectifier*, *buck converter*, mikrokontroler ATmega16, sensor arus, dan sensor tegangan. Rangkaian *rectifier* digunakan untuk menyearahkan tegangan AC 220 V/50 Hz yang sudah diturunkan dengan trafo regulator. Pada *rectifier* menggunakan diode 6 A dan kapasitor sebesar 30.000 uF sebagai filter. Kemudian untuk rangkaian *buck converter* menggunakan frekuensi 31 KHz, induktor 0.8 mH, dan kapasitor 80.6 uF dengan tegangan *input* 80 V.

Kata kunci: arus konstan, tegangan konstan, baterai *lead acid*, *buck converter*, *sistem pengisi baterai*, *rectifier*

Design of Electric Vehicle Battery Charger System

Based on Microcontroller ATmega16

Rohmat Khoirul Sidiq

*Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
University of Jember*

ABSTRACT

The electric vehicle is emission-free cars that can reduce the environmental pollution caused by combustion products. Electric vehicle requires a battery of lead acid as a substitute for fossil fuels so we need a charger that can accelerate the charging and safe. Therefore, this study uses the method of charging constant current and constant voltage. Constant current method work when the battery in the charging process by the charging current of 2 A. However, when the full battery voltage the method used will turn in to a constant voltage so that the charging current in these conditions is very small. This study uses a rectifier, buck converter, microcontroller ATmega16, current sensors and voltage sensors. Rectifier circuit used to rectify the AC voltage of 220 V / 50 Hz which has been lowered by a transformer regulator. On using diode rectifier 6 A and 30,000 uF capacitors as the filter. Then for the buck converter circuits using 31 KHz frequency, inductor 0.8 mH and 80.6 uF capacitor to the input voltage of 80 V.

Keyword: *battery charging system, buck converter, constant current, constant voltage, lead acid battery, rectifier,*

RINGKASAN

Rancang Bangun Sistem Pengisi Baterai Mobil Listrik Berbasis Mikrokontroler Atmega16: Rohmat Khoirul Sidiq, 111910201039; 2015: 92 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dalam mengembangkan produk yang ramah lingkungan karena peningkatan harga minyak dan peraturan yang ketat terhadap lingkungan di seluruh dunia. Industri otomotif menggunakan motor listrik dan sistem tenaga konversi sebagai sistem pengendali menggantikan mesin pembakaran konvensional. PHEV (*Plugin Hybrid Electric Vehicle*), NEV (*Neighbor-hood Electric Vehicle*), dan EV (*Electric Vehicle*) adalah contoh dari kendaraan ekologi baru. Kemudian untuk bahan bakar yang digunakan adalah baterai *lead acid* 48 V. Baterai *lead acid* merupakan baterai yang dapat diisi ulang dan digunakan berkali-kali. Baterai *lead acid* terbuat dari anoda logam PbO_2 dan katoda dari Pb dengan elektrolit asam sulfat cair.

Metode desain pengisian baterai akan berhasil bila mengalami dua keadaan pengisian yaitu kondisi pengisian normal dan kondisi pengisian *cutoff* (Van Mierlo *et al*, 2006). Kemudian metode pengisian yang digunakan adalah *constant current* (CC) pada awal pengisian dengan tegangan baterai meningkat dari tegangan awal sampai tegangan terisi penuh, kemudian beralih ke *constant voltage* (CV) dengan penurunan arus sampai mencapai nol saat baterai penuh (Ammar, Ungku, & Sabarina, 2013). Metode ini dapat dicapai dengan cara yang sederhana tanpa menggunakan matematika kompleks tapi melalui penggunaan kontrol berbasis mikrokontroler ATmega16. Mikrokontroler akan mengontrol kondisi *constant voltage* dan *current constant* pada topologi *single-phase AC/DC PWM Buck Converter* saat pengisian baterai mobil listrik.

Dalam perancangan *rectifier* dibutuhkan tegangan DC sebesar 80 Volt untuk masukan pada *buck converter*. Kemudian terdapat empat buah diode yang tujuannya sebagai penyearah. Untuk mengurangi *ripple* yang dihasilkan oleh penyearah, maka dibutuhkan kapasitor sebesar 30000uF. Pada penelitian ini,

power supply terdiri dari dua buah tegangan yaitu sebesar 5V untuk mensuplai mikrokontroler dan 18V untuk mensuplai rangkaian *driver* mosfet. Dan kedua tegangan ini dipisahkan dengan trafo berbeda supaya *ground* masing-masing *power supply* tidak menjadi satu sebagai antisipasi jika terjadi arus balik atau *short* saat kesalahan komutasi pada rangkaian *driver* mosfet, maka tidak akan merusak sistem mikrokontroler yang sangat rentan dengan arus besar. Untuk *buck converter* menggunakan mosfet IRFP 460, diode MUR 1560, inductor 0.8 mH, dan kapasitor 40.8 uF dengan frekuensi yang digunakan sebesar 31 KHz.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Rancang bangun sistem pengisi baterai mobil listrik berbasis mikrokontroler atmega16”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi strata satu (S1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember. Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T., selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M., selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing anggota yang telah rela meluangkan waktu, pikiran serta motivasi dalam penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T., selaku dosen penguji utama dan Bapak Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T., selaku dosen penguji anggota yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga sangat membantu terhadap penyempurnaan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing dan menanamkan rasa disiplin dan tanggung jawab dengan apa yang dilakukan selama penulis menjadi mahasiswa.
5. Bapak Bambang Supeno, S.T., M.T., selaku Komisi Bimbingan S1 yang telah membantu penulisan skripsi secara administratif.
6. Kepada teknisi lab serta asisten lab yang telah memberikan arahan untuk proses perancangan alat pada penelitian ini serta penyusunan skripsi.
7. Kepada orang tua tercinta Alm. Hadi Sulistyono dan ibu Hartini yang telah memberikan dukungan baik secara materi maupun moral dalam penyusunan skripsi ini.
8. Tria Rosita Maharani yang telah meluangkan waktu untuk memberikan dukungan dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.

9. Teman-teman “Jejaka Tangguh”, Kukuh, Novan, Arif, Fani, Imam, Galuh, Ilham, Yazid, Fathur, dan Agus yang telah mendukung, berbagi dalam berbagai hal serta kebersamaannya.
10. Teman-teman seperjuangan Dharma, Yanu, Novi, Rifan, Iskandar, Dicky, Gunawan, Firzon, Rifan, Dwi serta Alm. Fikri yang telah memberikan pengalaman hidup, berbagi cerita dan ilmu, serta dukungan tidak ada bosannya selama penyusunan skripsi;
11. Rekan-rekan Fakultas Teknik Universitas Jember khususnya rekan-rekan Teknik Elektro Angkatan 2011 yang tidak dapat disebutkan satu per satu, selama ini telah memberikan pengalaman hidup selama penulis menjadi keluarga Fakultas Teknik Universitas Jember.
12. Keluarga kelompok KKN 103 Dedi, Fahmi, Tri, Iguh, Hilmia, Iklimah, Lupita, Anggi, dan Evry yang telah memberikan pengalaman, dukungan, dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.
13. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah mendukung dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 22 Desember 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO.	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
RINGKASAN	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Mobil Listrik	4
2.2 Baterai	5
2.2.1 Baterai Basah.....	6
2.2.2 Prinsip Kerja Baterai	7
2.2.3 Rangkaian Ekuivalen Pengisi Baterai <i>Lead Acid</i>	7
2.2.4 Proses <i>Charge</i> dan <i>Discharge</i> dengan Arus Konstan	9
2.2.5 Proses <i>Charge</i> dan <i>discharge</i> dengan Daya Konstan	10

2.2.6	Proses <i>Charge</i> dengan Arus dan Tegangan Konstan dan <i>Discharge</i> dengan Resistansi Konstan	11
2.3	Rangkaian Penyearah.....	12
2.4	<i>Filter</i> (Penyaring)	13
2.5	<i>Buck Converter</i>	14
2.6	<i>Pulse Width Modulation</i> (PWM)	17
2.7	Rangkaian <i>Driver</i> Mosfet	19
2.8	Mikrokontroler ATmega16.....	19
BAB 3.	METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian.....	22
3.2	Alat dan Bahan.....	22
3.3	Diagram Alir Penelitian	23
3.4	Blok Diagram Sistem	25
3.4.1	Baterai	26
3.4.2	Perencanaan dan Pembuatan <i>Rectifier</i> untuk Tegangan Masukan <i>Buck Converter</i>	26
3.4.3	Perencanaan dan Pembuatan <i>Power Supply</i>	28
3.4.5	Perencanaan dan Pembuatan Sensor Tegangan	30
3.4.6	Perencanaan dan Pembuatan Sensor Arus.....	31
3.4.7	Perencanaan dan Pembuatan <i>Driver</i> Mosfet.....	32
3.4.8	Perencanaan dan Pembuatan <i>Buck Converter</i>	33
3.4.9	Perencanaan dan Pembuatan Pengisi Baterai Tanpa Kontrol	35
3.4.10	<i>Flowchart</i> Sistem Pengisian Baterai dengan Metode <i>Constant Voltage</i> dan <i>Constant Current</i>	36
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1	Pengujian Rangkaian <i>Power Supply</i>.....	38
4.2	Pengujian Rangkaian <i>Rectifier</i>	39
4.3	Pengujian Rangkaian Sinyal PWM.....	40
4.4	Pengujian Rangkaian <i>Driver</i> MOSFET.....	43
4.5	Pengujian Rangkaian LCD	45
4.6	Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan	46
4.7	Pengujian Rangkaian Sensor Arus.....	46
4.8	Pengujian Rangkaian <i>Buck Converter</i>	47
4.9	Analisis <i>Ripple</i> dari Keluaran <i>Buck Converter</i>	48

4.10 Analisis Keseluruhan Sistem Pengisi Baterai Terkontrol.....	49
4.10.1 Analisis Perubahan Tegangan Vbuck dan <i>Duty Cycle</i> Terhadap Waktu	51
4.10.2 Analisis Perubahan Arus Ibuck dan <i>Duty Cycle</i> Terhadap Waktu	52
4.11 Analisis Pengisi Baterai Tanpa Kontrol	53
4.11.1 Analisis Hubungan Tegangan Vcharge Terhadap Waktu.....	54
4.11.2 Analisa Hubungan Arus Icharge Terhadap Waktu	55
4.12 Analisis Perbandingan Pengisi Baterai Terkontrol dengan Tanpa Kontrol.....	55
BAB. 5 PENUTUP.....	58
5.1 Kesimpulan.....	58
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN.....	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik macam-macam baterai kimia	6
Tabel 4.1 Hasil pengujian <i>power supply</i>	39
Tabel 4.2 Hasil pengujian <i>rectifier</i>	40
Tabel 4.3 Hasil PWM pada mikrokontroler	43
Tabel 4.4 Hasil gelombang PWM dari <i>driver</i> mosfet	44
Tabel 4.5 Hasil pengujian sensor tegangan	46
Tabel 4.6 Hasil pengujian sensor arus	47
Tabel 4.7 Hasil pengujian <i>buck converter</i>	48
Tabel 4.8 Hasil tegangan <i>ripple buck converter</i>	49
Tabel 4.9 Hasil pengisian baterai terkontrol	50
Tabel 4.10 Hasil pengisian baterai tanpa kontrol	53
Tabel 4. 11 Pebandingan pengisian terkontrol dengan pengisian tanpa kontrol...	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bagian-bagian mobil listrik.....	5
Gambar 2.2 Rangkaian ekuivalen pengisi baterai.....	8
Gambar 2.3 Proses <i>charge</i> dengan arus konstan.....	9
Gambar 2.4 Proses <i>discharge</i> dengan arus konstan.....	10
Gambar 2.5 Proses <i>charge</i> dengan daya konstan.....	10
Gambar 2.6 Proses <i>discharge</i> dengan daya konstan.....	10
Gambar 2.7 Proses <i>charge</i> dengan arus konstan /tegangan konstan.....	11
Gambar 2.8 Proses <i>discharge</i> dengan resistansi konstan.....	11
Gambar 2.9 Rangkaian penyearah gelombang penuh.....	12
Gambar 2.10 Rangkaian <i>filter C</i>	13
Gambar 2.11 <i>Circuit</i> diagram.....	14
Gambar 2.12 Model 1.....	14
Gambar 2.13 Model 2.....	15
Gambar 2.14 Penyaklaran pada kondisi kritis.....	16
Gambar 2.15 Ilustrasi rangkaian <i>buck converter</i>	16
Gambar 2.16 Bentuk gelombang kotak (pulsa).....	17
Gambar 2.17 Sinyal referensi (sinyal tegangan DC).....	18
Gambar 2.18 IC optocoupler.....	19
Gambar 2.19 Konfigurasi port mikrokontroler AVR ATmega16.....	21
Gambar 3.1 Digram alir penelitian.....	23
Gambar 3.2 Blok diagram sistem pengisi baterai.....	25
Gambar 3.3 Rangkaian <i>rectifier full bridge</i>	27
Gambar 3.4 Rangkaian <i>power supply</i>	29
Gambar 3.5 Simulasi sistem minimum ATmega16 menggunakan Proteus.....	30
Gambar 3.6 Rangkaian sensor tegangan.....	31
Gambar 3.7 Rangkaian sensor arus ACS712-20a.....	32
Gambar 3.8 Simulasi <i>driver</i> mosfet menggunakan Multisim.....	32
Gambar 3.9 Rangkaian <i>buck converter</i>	34
Gambar 3.10 Rangkaian pengisi baterai tanpa kontrol.....	35
Gambar 3.11 <i>Flowchart</i> sistem pengisi baterai mobil listrik.....	37
Gambar 4.1 <i>Power supply</i>	38
Gambar 4.2 Gelombang AC sebelum disearahkan.....	39

Gambar 4.3 Gelombang AC yang sudah disearahkan	39
Gambar 4.4 <i>Rectifier</i> untuk masukan <i>buck converter</i>	40
Gambar 4.5 Hasil gelombang PWM	43
Gambar 4.6 <i>Driver</i> mosfet dengan optocoupler.....	44
Gambar 4.7 Hasil gelombang <i>driver</i> mosfet dengan optocoupler	45
Gambar 4.8 Tampilan LCD 2x16.....	45
Gambar 4.9 Sensor tegangan.....	46
Gambar 4.10 Sensor arus ACS712-20A	47
Gambar 4.11 <i>Buck converter</i>	47
Gambar 4.12 Hasil tegangan <i>ripple buck converter</i>	49
Gambar 4.13 Grafik perubahan tegangan V_{buck} dan <i>duty cycle</i> terhadap waktu	51
Gambar 4.14 Grafik perubahan arus I_{buck} dan <i>duty cycle</i> terhadap waktu.....	52
Gambar 4.15 Grafik hubungan tegangan V_{charge} terhadap waktu	54
Gambar 4.16 Grafik hubungan arus I_{charge} terhadap waktu	55
Gambar 4.17 Grafik perbandingan antara V_{buck} dengan V_{charge} terhadap waktu.....	56
Gambar 4.18 Grafik perbandingan antara arus I_{buck} dengan I_{charge} terhadap waktu.....	57

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Telah ada penelitian dalam mengembangkan produk yang ramah lingkungan karena peningkatan dalam harga minyak dan peraturan yang ketat terhadap lingkungan di seluruh dunia. Secara khusus, dalam rangka mengembangkan kendaraan ramah lingkungan, ada penelitian dalam industri otomotif yang memanfaatkan besar jumlah sumber daya minyak, pada sistem pengendali menggunakan motor listrik dan sistem tenaga konversi yang mungkin berpotensi menggantikan mesin pembakaran konvensional (Young Joo Lee *et al*, 2008). PHEV (*Plugin Hybrid Electric Vehicle*), NEV (*Neighbor-hood Electric Vehicle*), dan EV (*Electric Vehicle*) adalah contoh dari kendaraan ekologi baru.

Baterai *lead acid* merupakan baterai yang dapat diisi ulang dan digunakan berkali-kali. Baterai ini dibuat dari anoda logam PbO_2 dan katoda dari Pb dengan elektrolit asam sulfat encer. Jenis baterai ini banyak digunakan oleh mobil dan motor. Selain harganya juga relatif murah dibanding jenis yang lain, baterai Pb asam lebih lama pemakaiannya dari pada baterai kering untuk menerima beban listrik berubah dan beban konstan (A. Grummy Wailandaw, 2010).

Untuk mengembangkan mobil listrik maka perlu adanya pengisian pada baterai yang cepat aman terutama didalam rumah, sehingga apabila mobil listrik akan digunakan dan kondisi baterai kosong maka masyarakat bisa menggunakan pengisian tanpa perlu ke stasiun pengisian. Maka dari itu pada penelitian ini meneliti tentang rancang bangun sistem pengisi baterai menggunakan *buck converter* dengan metode *constant current* dan *constant voltage* berbasis mikrokontroler ATMega16.

Metode desain pengisi baterai akan berhasil bila mengalami dua keadaan pengisian yaitu kondisi pengisian normal dan kondisi pengisian *cutoff* (Van Mierlo *et al*, 2006). Kemudian metode pengisian yang digunakan adalah *constant*

current (CC) pada awal pengisian dengan tegangan baterai meningkat dari tegangan awal sampai tegangan terisi penuh, kemudian beralih ke *constant voltage* (CV) dengan penurunan arus sampai mencapai nol saat baterai penuh (Ammar, Ungku, & Sabarina, 2013).

Metode ini dapat dicapai dengan cara yang sederhana tanpa menggunakan matematika kompleks tapi melalui penggunaan kontrol berbasis mikrokontroler ATMEGA16. Mikrokontroler akan mengontrol kondisi *voltage constant* dan *current constant* pada topologi *single-phase AC/DC PWM Buck Converter* saat pengisian baterai mobil listrik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana rancang bangun sistem pengisi baterai mobil listrik berbasis mikrokontroler ATmega16?
2. Bagaimana rancang bangun desain program pengisi baterai mobil listrik berbasis mikrokontroler ATmega16?
3. Bagaimana kinerja yang dihasilkan pengisi baterai dengan metode *current constant* dan *voltage constant*?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penelitian ini, adapun batasan-batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Baterai yang digunakan sebanyak empat buah (12V 45Ah).
2. Pada saat pengisian baterai disusun secara seri.
3. Tidak membahas mengenai motor dan rancangan mobil listrik.
4. Pengujian hanya saat pengisian dan tanpa adanya pembebanan.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Dapat mendesain dan merancang bangun sistem pengisi baterai pada mobil listrik berbasis mikrokontroler.

2. Dapat mendesain program sistem pengisi baterai pada mobil listrik berbasis mikrokontroller.
3. Kinerja yang dihasilkan dari pengisi baterai dengan metode *current constant* dan *voltage constant*.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini dapat mempercepat dan aman ketika digunakan untuk pengisian baterai mobil listrik. Sehingga masyarakat dapat beralih ke mobil listrik tanpa kesulitan dalam hal membuat pengisi baterai yang terkontrol.

1.6 Sistematika Penulisan

Secara garis besar penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang tinjauan pustaka yang menguraikan pendapat-pendapat atau hasil-hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan, dan landasan teori merupakan penjabaran dari tinjauan pustaka.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan tentang metode kajian yang digunakan untuk menyelesaikan skripsi.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil pengujian dan analisis hasil pengujian.

BAB 5. PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran penulis.

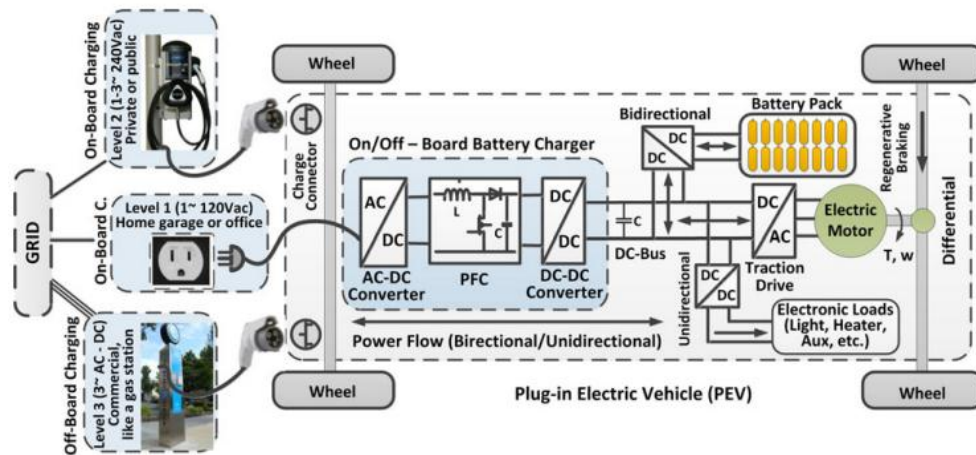
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mobil Listrik

Mobil listrik memiliki beberapa keunggulan atas mobil berbahan bakar tradisional. Yang paling jelas dan yang paling sering dibicarakan adalah mobil listrik 100% bebas emisi. Hal ini berarti tidak seperti mobil berbahan bakar konvensional lain, mobil listrik tidak memberikan kontribusi terhadap dampak perubahan iklim (Rochman, 2014).

Mobil listrik jauh lebih hemat energi dibandingkan dengan mobil berbahan bakar konvensional. Efisiensi keseluruhan mobil listrik adalah 48%, secara signifikan lebih baik dibandingkan dengan mobil berbahan bakar konvensional yang mencapai efisiensi sekitar 25%. Tidak seperti mobil tradisional, mesin mobil listrik sangat halus sehingga mereka tidak menyebabkan masalah polusi suara. Mobil listrik juga menjamin keamanan maksimum karena tidak melibatkan bahan bakar minyak sehingga tidak akan terbakar atau meledak jika menabrak sesuatu (Rochman, 2014).

Masa pakai motor mobil listrik diperkirakan sekitar 90 tahun, jika dikendarai sejauh lima puluh mil per hari. Mobil listrik juga memiliki biaya pemeliharaan yang secara signifikan lebih rendah dibandingkan dengan mobil berbahan bakar konvensional karena mobil listrik hanya memiliki sekitar 5 bagian di motornya, dibandingkan dengan mobil tradisional yang memiliki ratusan komponen dalam mesin pembakaran internal. Berikut Gambar 2.1 bagian-bagian dari mobil listrik (Rochman dan Budi, 2014).



Gambar 2.1 Bagian-bagian mobil listrik
(Yilmaz, 2012)

Mobil listrik juga memiliki beberapa kelemahan diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Harga baterai mobil listrik masih tinggi. Baterai yang mahal ini masih menjadi alasan utama di balik tingginya harga mobil listrik secara keseluruhan (Rochman dan Budi, 2014).
2. Fakta bahwa mobil listrik tidak bersuara saat hidup tak selalu merupakan suatu keuntungan karena senyapnya suara mobil bisa menimbulkan bahaya bagi orang buta, orang tua dan anak-anak (Rochman dan Budi, 2014).
3. Tipe mobil listrik masih terbatas dan juga mengisi ulang daya secara signifikan lebih lama dibandingkan dengan proses yang relatif cepat pada pengisian bahan bakar ke tangki pada mobil tradisional (Rochman dan Budi, 2014).

2.2 Baterai

Baterai adalah perangkat penyimpanan energi elektrokimia. Energi kimia yang terkandung dalam baterai dapat diubah menjadi energi listrik DC. Pada baterai isi ulang, proses tersebut dapat dibalik yaitu mengubah energi listrik DC menjadi energi kimia (Haresh Kamath *et al*, 2006).

Baterai isi ulang diklasifikasikan oleh bahan kimia yang digunakan, bahan reaktan dan reaksi kimia merupakan dasar dari pembentukan mekanisme penyimpanan energi. Empat bahan kimia yang umum digunakan dalam aplikasi

konsumen: *lead-acid*, *nickel-cadmium* (NiCd), *nickel-metal hydride* (NiMH), dan *lithium ion* (Li-Ion). Baterai kimia yang dinilai sesuai dengan beberapa kriteria seperti: biaya, *self-discharge* (tingkat dimana baterai secara alami kehilangan energi sementara tanpa digunakan), *energy density* (energi baterai dapat menyimpan, dibagi dengan volume), *specific energy* (energi baterai dapat menyimpan, dibagi dengan berat), dan *cycle life* (jumlah pengisian baterai dapat diisi ulang sebelum pemakaian habis). Setiap baterai kimia memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri sehubungan dengan kriteria tersebut. Tabel 2.1 memberikan gambaran singkat mengenai karakteristik berbagai baterai kimia yang sering digunakan dalam produk konsumen (Tom Geis *et al*, 2006).

Tabel 2.1 Karakteristik macam-macam baterai kimia
(Buchmann, Isidor, 2001)

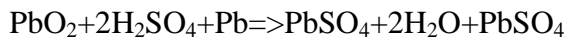
<i>Criteria</i>	<i>Lead Acid</i>	<i>NiCd</i>	<i>NiMH</i>	<i>Li-ion</i>
<i>Self Discharge Rate</i>	<i>Very low</i>	<i>High</i>	<i>High</i>	<i>Moderate</i>
<i>Overcharge Tolerance</i>	<i>High</i>	<i>Moderate</i>	<i>Low</i>	<i>Very low</i>
<i>Specific Energy</i> (Wh per kg)	25 - 35	35 - 65	40 - 100	110 - 190
<i>Cycle Life</i> (up to 80% of initial capacity)	200 to 300	1000 - 1500	750 - 1000	500 - 1000
<i>Cost per unit Energy</i> (\$/Wh)	\$0.22 - \$1.00	\$0.80 - \$2.00	\$0.40 - \$2.00	\$0.60 - \$2.50
<i>Voltage per cell</i> (Volts)	2	1,2	1,25	3,6

2.2.1 Baterai Basah

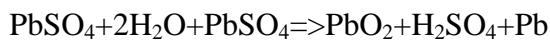
Liquid vented (baterai dengan katup pengisian ulang cairan) adalah baterai yang terbuat dari lempengan positif dan negatif dari paduan timah yang ditempatkan dalam larutan elektrolit dan air asam *sulfuric*. Saat baterai melepaskan muatan, material aktif pada elektroda bereaksi dengan elektrolit membentuk timbal sulfat (PbSO_4) dan air (H_2O). Saat pengisian muatan, timbal

sulfat berubah kembali menjadi timbal dioksida pada elektroda positif dan timbal pada elektroda negatif, dan ion sulfat (SO_4^{2-}) kembali menjadi larutan elektrolit membentuk asam sulfat (Wibowo, 2014).

a. Proses pengaliran



b. Proses Pengisian



2.2.2 Prinsip Kerja Baterai

Baterai bekerja berdasarkan reaksi kimia yaitu reaksi redoks yang terjadi baik selama pengisian maupun selama pengosongan. Reaksi kimia pada akumulator tersebut bersifat *reversible*, artinya reaksi kimia yang terjadi selama pengisian sangat berlawanan dengan reaksi yang terjadi pada saat pengosongan.

Selama pengisian terjadi perubahan energi kimia menjadi energi listrik. Ketika pengisian pada sumber energi listrik terjadi aliran listrik yaitu elektron mengalir dari katoda ke anoda, dengan adanya aliran listrik tersebut, maka akan menimbulkan reaksi kimia yang mengakibatkan terbebasnya zat-zat dalam baterai yaitu PbSO_4 menjadi Pb , PbO_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 (Wibowo, 2014).

2.2.3 Rangkaian Ekuivalen Pengisi Baterai *Lead Acid*

Baterai yang digunakan terdiri dari sel-sel dengan setiap sel memiliki tegangan sebesar 2,1 V, artinya aki mobil dan aki motor yang memiliki tegangan 12 V terdiri dari 6 sel yang dipasang secara seri ($12,6 \text{ V} = 6 \times 2,1 \text{ V}$) (Andri, 2010). Sebagai pembuktian untuk indikator suatu baterai penuh maka dibuat pemodelan rangkaian ekuivalen pengisi baterai seperti pada Gambar 2.2. Persamaan yang digunakan pada rangkaian tersebut adalah:

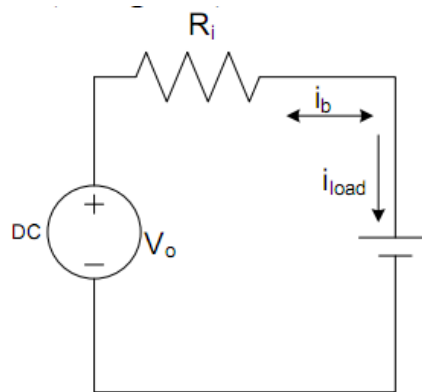
$$V_{bat} = V_{out} - R_i \cdot I_b \quad (2.1)$$

V_{bat} = Tegangan Baterai (Volt)

V_{out} = Tegangan Internal baterai (Volt)

R_i = Hambatan dalam (Ohm)

I_b = Arus Baterai (A)



Gambar 2.2 Rangkaian ekuivalen pengisi baterai

Gambar 2.2 menunjukkan rangkaian ekuivalen dari pengisi baterai. Rangkaian tersebut terdiri dari tegangan sumber, hambatan dalam dari baterai, dan baterai. Dengan rangkaian tersebut, dapat diketahui berapa tegangan *charging* yang digunakan untuk mengisi baterai bermuatan kosong dengan tegangan 11 Volt, mengisi baterai sampai penuh dengan tegangan 12,8 Volt (Butterworth, 1998). Apabila baterai akan diisi dengan muatan listrik, maka ditentukan terlebih dahulu tahanan dalam dari baterai. Tahanan dalam baterai dapat dicari dengan persamaan:

$$r_d = \frac{E-V}{I} \quad (2.2)$$

Dengan:

r_d =Hambatan dalam (Ohm)

E =Sumber tegangan baterai (Volt)

V =Tegangan luar (Volt)

I =Arus listrik yang timbul dalam rangkaian (A)

Perhitungan tahanan dalam baterai dapat dicari dengan persamaan:

$$\begin{aligned} r_d &= \frac{E-V}{I} & (2.3) \\ &= \frac{12,8-11}{4,6} \end{aligned}$$

$$= 0.3 \text{ Ohm}$$

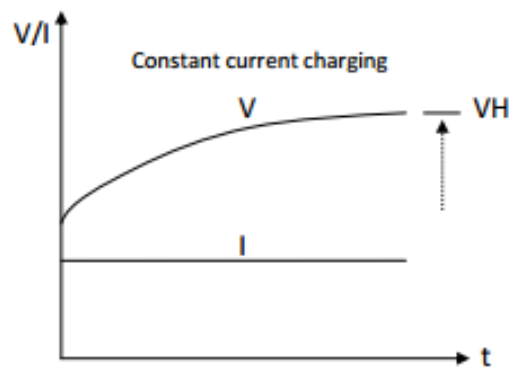
Tegangan 12,8 Volt diambil dari tegangan spesifikasi pabrikan untuk baterai penuh dan 11 Volt diambil dari tegangan baterai kosong. Dengan demikian berapa tegangan *charging* yang diperlukan untuk mengisi baterai sampai penuh. Perhitungannya didapat dari penurunan persamaan.

$$\begin{aligned} V_{bat} &= V_{out} - R_i \cdot I_b & (2.4) \\ &= 11,28 + (0,3 \times 4,6) \\ &= 14,2 \text{ Volt} \end{aligned}$$

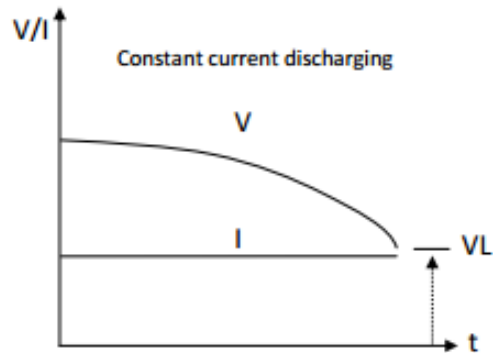
Jadi untuk tegangan baterai 12 Volt dengan tegangan penuh 12,8 Volt dibutuhkan tegangan *charging* sebesar 14,2 Volt. Perancangan kapasitas *rectifier* harus disesuaikan dengan kapasitas baterai yang terpasang, setidaknya kapasitas arusnya harus mencukupi untuk pengisian baterai sesuai jenisnya yaitu baterai *Lead Acid* adalah 0,1C (0,1 x kapasitas) (Andri, 2010).

2.2.4 Proses *Charge* dan *Discharge* dengan Arus Konstan

Proses *charge* dan proses *discharge* dengan arus konstan ditunjukkan pada Gambar 2.3 dan 2.4. Berdasarkan pada gambar tersebut diketahui bahwa, proses *charge discharge* akan berakhir ketika waktu yang telah diset terlampaui atau apabila kapasitas baterai yang ditentukan telah terpenuhi.



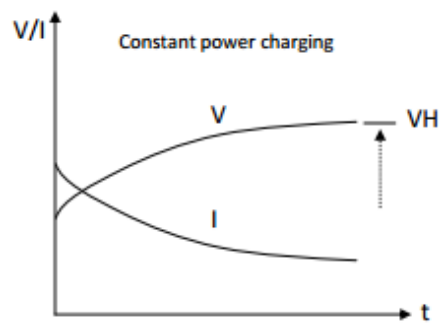
Gambar 2.3 Proses *charge* dengan arus konstan (Wulan, 2010)



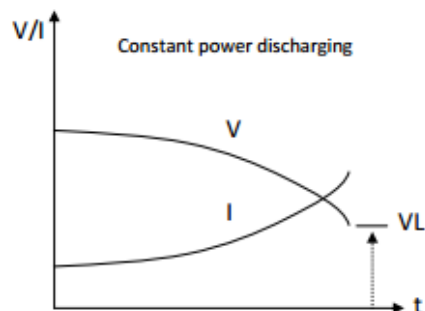
Gambar 2.4 Proses *discharge* dengan arus konstan (Wulan, 2010)

2.2.5 Proses *Charge* dan *discharge* dengan Daya Konstan

Proses *charge* dengan daya konstan yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 dilakukan ketika tegangan naik dan arus turun. Pada proses ini berakhir ketika *set time* terpenuhi atau tegangan pada baterai terpenuhi. Sedangkan proses *discharge* dengan daya konstan yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 dilakukan ketika tegangan baterai turun dan arus naik dan *discharge* berakhir saat *set time* terlampaui atau tegangan beban terpenuhi.



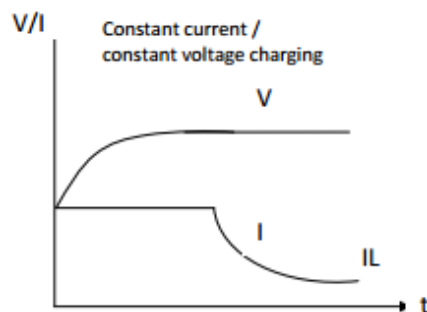
Gambar 2.5 Proses *charge* dengan daya konstan (Wulan, 2010)



Gambar 2.6 Proses *discharge* dengan daya konstan (Wulan, 2010)

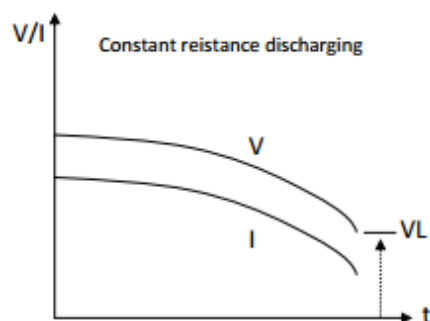
2.2.6 Proses *Charge* dengan Arus dan Tegangan Konstan dan *Discharge* dengan Resistansi Konstan

Gambar 2.7 menunjukkan proses *charge* dengan arus konstan dan tegangan konstan. Dimana arus konstan terjadi ketika saat pengisian dengan mengatur besar kecilnya tegangan yang menuju ke baterai. Kemudian ketika baterai terisi penuh, maka beralih ke tegangan konstan. Sehingga pada saat tegangan konstan arus yang awalnya konstan akan perlahan turun. Lama waktu untuk proses pengisian ditentukan dari besarnya arus yang di alirkan.



Gambar 2.7 Proses *charge* dengan arus konstan /tegangan konstan (Wulan, 2010)

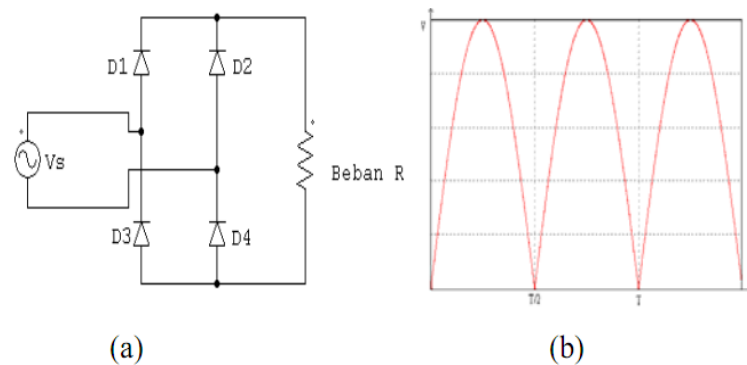
Gambar 2.8 menunjukkan proses *discharge* dengan resistansi konstan. Pada proses ini tegangan dan arus perlahan akan turun dengan lama waktu t karena terjadi pelepasan muatan pada baterai sehingga pada resistansi akan menjadi panas. Kemudian lama waktu yang dibutuhkan untuk proses ini ditentukan besar kecilnya resistansi yang digunakan.



Gambar 2.8 Proses *discharge* dengan resistansi konstan (Wulan, 2010)

2.3 Rangkaian Penyearah

Penyearah gelombang penuh dapat dilihat sebagai kombinasi dari dua penyearah setengah gelombang yang bekerja bergantian untuk setiap setengah gelombang dari gelombang input. Pada Gambar 2.9 (a) dan Gambar 2.9 (b) menunjukkan gambar rangkaian dan bentuk gelombang penyearah gelombang penuh (Ardyan, 2009).



Gambar 2.9 Rangkaian penyearah gelombang penuh
(b) Gelombang *output* penyearah
(Ardyan, 2009)

Sumber tegangan berupa sinyal sinus $V_s = V_{in}\omega t$. Nilai rata-rata V_{dc} dapat dicari dengan membagi luasan (diatas sumbu datar dalam periode T) dengan t , dimana $\omega = 2\pi f, T = 2\pi$ (Ardyan, 2009).

$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T V_m \sin \omega t dt \quad (2.5)$$

$$= \frac{2}{2\pi} \int_0^T V_m \sin 2\pi f t dt \quad (2.6)$$

$$= \frac{1}{T} \int_0^T V_m \sin \frac{2\pi}{T} t dt \quad (2.7)$$

$$= \frac{1}{T} \int_0^T V_m \sin \frac{2\pi}{2\pi} t dt \quad (2.8)$$

$$= \frac{1}{T} \int_0^T V_m \sin t dt \quad (2.9)$$

$$= \frac{1}{T} \left[-V_m \cos t \Big|_0^{\pi} \right] \quad (2.10)$$

$$= \frac{1}{\pi} [(-V_m \cos \pi) - (-V_m \cos 0)] \quad (2.11)$$

$$= \frac{1}{\pi} [(-V_m * -1) - (-V_m * 1)] \quad (2.12)$$

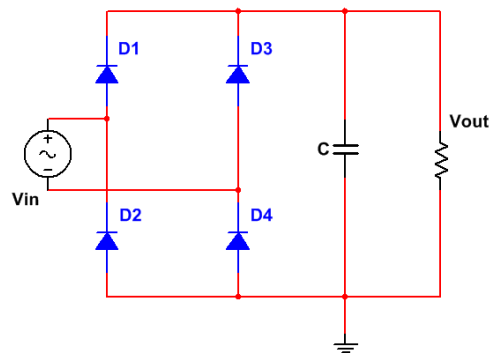
$$= \frac{1}{\pi} [V_m + V_m] \quad (2.13)$$

$$= \frac{1}{\pi} [2V_m] \quad (2.14)$$

$$= \frac{2v_m}{\pi} \quad (2.15)$$

2.4 Filter (Penyaring)

Tegangan DC yang keluar dari rangkaian penyearah masih mempunyai *ripple* atau frekuensi gelombang yang cukup tinggi, maka suatu rangkaian *filter* (penyaring) berfungsi untuk memperbaiki *ripple* tersebut agar menjadi lebih kecil sesuai dengan yang direkomendasikan $\leq 2\%$ (Standar SE.032). Tegangan *ripple* merupakan perbandingan antara unsur tegangan keluaran AC terhadap unsur tegangan keluaran DC. Pada Gambar 2.10 merupakan rangkaian *filter C*.



Gambar 2.10 Rangkaian *filter C*

Rangkaian penyearah adalah suatu rangkaian yang mengubah tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC). Perbandingan antara tegangan DC yang keluar terhadap tegangan AC yang ikut serta pada hasil keluaran, dinamakan *ripple factor* (riak). Besar faktor *ripple* dapat dihitung dengan rumus (Ardyan, 2009):

$$r = \frac{\text{komponen AC}}{\text{komponen DC}} \times 100\% \quad (2.16)$$

Keluaran tegangan DC setelah melewati kapasitor:

$$V_{dc} = V_m - \frac{V_m}{4fRC} \quad (2.17)$$

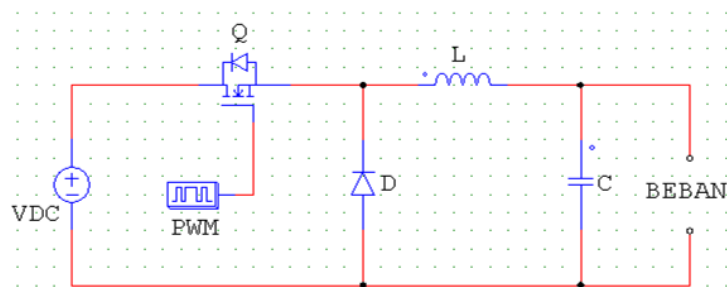
Ripple factor yang dihasilkan:

$$RF = \frac{1}{\sqrt{2} \times (4 \times f \times R \times C - 1)} \quad (2.18)$$

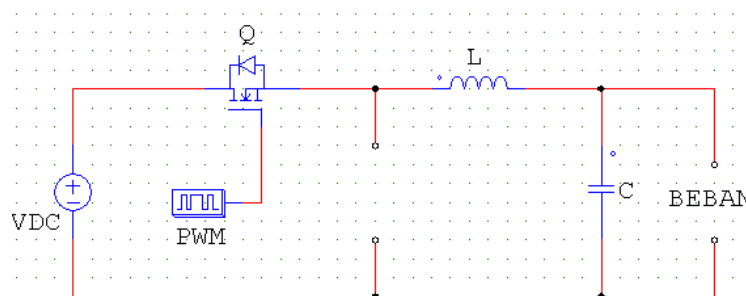
2.5 Buck Converter

Pada banyak aplikasi industri, diperlukan untuk mengubah sumber tegangan dc tetap menjadi sumber tegangan dc yang bersifat variabel. *Buck converter* mengubah secara langsung dari DC ke DC. *Buck converter* dapat digunakan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan keluaran (Ardyan, 2009).

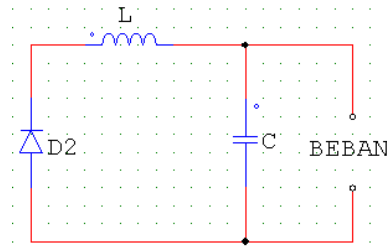
Buck converter dapat dipakai sebagai regulator mode pensaklaran untuk mengubah tegangan DC yang biasanya tidak teregulasi, menjadi tegangan keluaran DC yang teregulasi. Konverter pensaklaran dapat ditemukan dalam bentuk rangkaian terintegrasi. Perancang dapat memilih frekuensi pensaklaran dengan memilih nilai R atau C oscillator frekuensinya. Untuk memaksimalkan frekuensi, periode oscillator minimum 100 kali lebih lama dibandingkan dengan waktu pensaklaran periode osilasinya adalah 0,5 us yang memberikan frekuensi oscillator maksimum 20 KHz. Batasan ini disebabkan adanya kehilangan pensaklaran pada transistor. Rugi pensaklaran pada transistor meningkat dengan frekuensi pensaklaran dan akibatnya efisiensi akan menurun. Selain itu rugi inti pada induktor membatasi kerja frekuensi tinggi. Diagram *buck converter* menggunakan sebuah mosfet berfungsi sebagai chopper step down ditunjukkan pada Gambar 2.11. Kerja rangkaian ini dibagi menjadi dua mode (Ardyan, 2009).



Gambar 2.11 Circuit diagram



Gambar 2.12 Model 1



Gambar 2.13 Model 2

Pada kerja rangkaian dibagi menjadi dua mode:

- Mode 1 dimulai bila transistor Q1 di *on* kan pada $t = 0$, arus input yang bertambah mengalir melalui inductor filter L, kapasitor filter C dan beban R.
- Mode 2 dimulai bila transistor Q1 di *off* kan pada $t = t_1$, dioda *freewheeling* Dm akan konduksi karena energi yang tersimpan di dalam inductor dan arus inductor akan mengalir melalui L, C, beban dan dioda Dm. Arus inductor berkurang terus hingga transistor Q1 di *on* kan lagi.

Analisis riak arus keluaran diperlukan untuk bisa mendesain tapis atau filter keluaran *buck converter*. Persamaan 2.11, 2.12, dan 2.13, terlihat bahwa untuk mendapatkan riak arus *output buck converter* yang kecil, diperlukan tapis inductor (L) yang nilainya akan semakin kecil dengan meningkatkan frekuensi penyaklaran. Riak arus keluaran *buck converter* akan bernilai maksimum apabila konverter bekerja pada *duty cycle* (d) = 0,5. Untuk analisis riak arus *buck converter* dapat dilihat dibawah ini.

$$i_L = \tilde{i}_L + \bar{i}_L \quad v_D = \tilde{v}_D + \bar{v}_D \quad v_O = V_O$$

Maka

$$\tilde{v}_D = R\tilde{i}_L + V_O \quad \tilde{v}_D = R\tilde{i}_L + L \frac{d\tilde{i}_L}{dt} \quad (2.18)$$

Jika Nilai $R\tilde{i}_L$ dianggap kecil maka

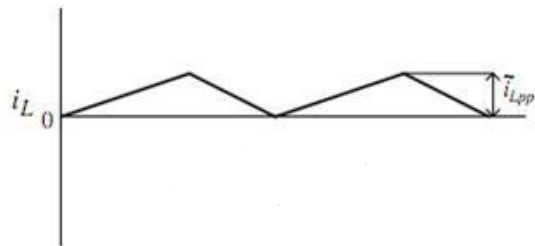
$$\tilde{i}_L = \frac{1}{L} \int \tilde{v}_D dt = \frac{1}{L} \int (v_D - \tilde{v}_D) dt \quad (2.19)$$

$$\begin{aligned} \tilde{i}_{L,PP} &= \frac{E_d - \tilde{v}_D}{L} T_{ON} = \frac{\tilde{v}_D}{L} T_{OFF} \quad (2.20) \\ &= \frac{E_d - dE_d}{L} dT_s = \frac{E_d}{Lf_s} (1 - d)d \end{aligned}$$

Frekuensi penyaklaran

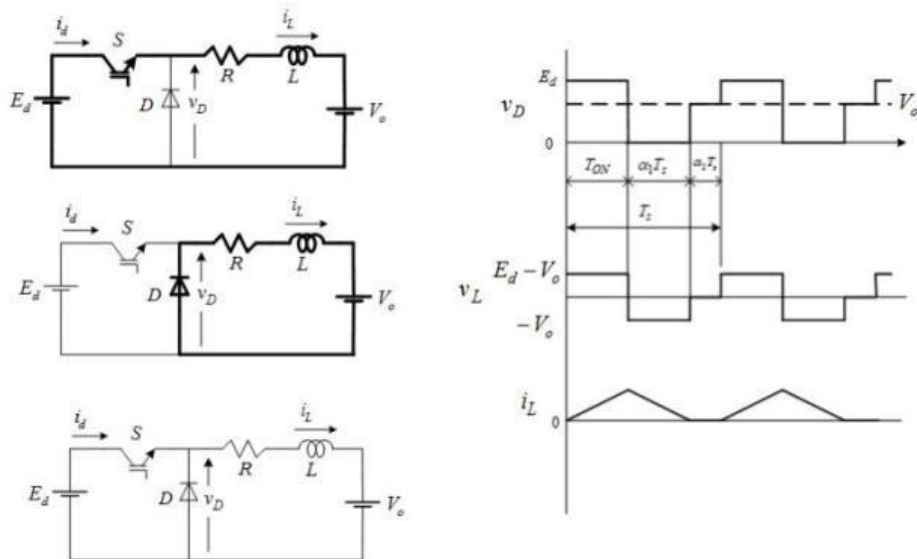
$$f_s = 1/T_s \quad (2.21)$$

Gambar 2.14 dibawah ini adalah kondisi arus yang mengalir di induktor pada saat *buck converter* bekerja pada kondisi kritis. Kondisi kritis disini adalah kondisi dimana arus di induktor mengalir ke beban sampai tepat bernilai nol pada saat saklar *off*, atau induktor bekerja sebagai sumber arus. Gambar 2.15 terlihat bahwa arus yang mengalir di induktor sebanding dengan nilai riak arus keluaran. Pada kondisi ini, gambar terlihat bahwa nilai riak arus keluran rata-rata sebanding dengan 1/2 riak arus puncak ke puncak yang dapat dihitung dengan persamaan 2.22 sebagai berikut.



Gambar 2.14 Penyaklaran pada kondisi kritis
(Muhammad H. Rashid, 2001)

$$\tilde{i}_L = \frac{i_{Lpp}}{2} = \left(\frac{E_d}{L f_s} \right) \frac{(1-d)d}{2} \quad (2.22)$$



Gambar 2.15 Ilustrasi rangkaian *buck converter* dan bentuk gelombang kondisi diskontinyu
(Muhammad H. Rashid, 2001)

Selanjutnya untuk menentukan nilai kapasitor dan induktor maka dapat dicari dengan rumus berikut ini (Effendi, 2012):

Menentukan *duty cycle*:

$$D = \frac{V_o}{V_i} \quad (2.23)$$

Menentukan nilai induktor:

$$\Delta I_L = \left(\frac{1}{L}\right)(V_{in} - V_{out})t_1 \quad (2.24)$$

Menentukan nilai t_1 :

$$t_1 = \frac{1(V_o + V_f)}{f(V_i + V_f)} \quad (2.25)$$

Menentukan jumlah lilitan:

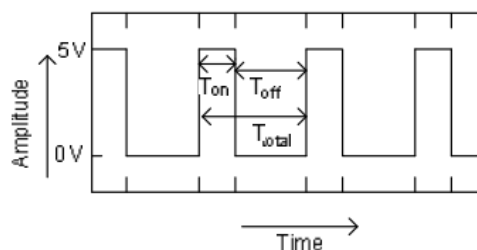
$$n = \frac{L \times I_{max}}{B_{max} \times AC} \times 10^4 \quad (2.26)$$

Menentukan nilai pada kapasitor:

$$C = \frac{\Delta I_L}{8f\Delta V_o} \quad (2.27)$$

2.6 Pulse Width Modulation (PWM)

Modulasi lebar pulsa (PWM) diperoleh dengan bantuan sebuah gelombang kotak yang mana siklus kerja (*duty cycle*) gelombang dapat diubah-ubah untuk mendapatkan sebuah tegangan keluaran yang bervariasi yang merupakan nilai rata-rata gelombang tersebut.



Gambar 2.16 Bentuk gelombang kotak (pulsa) dengan kondisi *high* 5V dan *low* 0V

T_{on} adalah waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi tinggi (baca: *high* atau 1) dan, T_{off} adalah waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi rendah (baca: *low* atau 0). Anggap T_{total} adalah waktu satu siklus atau penjumlahan antara T_{on} dengan T_{off} , biasa dikenal dengan istilah “periode satu gelombang” (Zaenurrohman, 2014).

$$T_{total} = T_{on} + T_{off} \quad (2.28)$$

Siklus kerja atau *duty cycle* sebuah gelombang di definisikan sebagai,

$$D = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \quad (2.29)$$

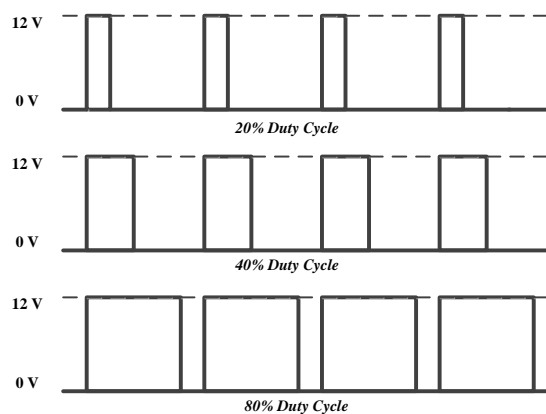
Tegangan keluaran dapat bervariasi dengan *duty cycle* dan dapat dirumuskan sebagai berikut,

$V_{out} = D \times V_{in}$ sehingga:

$$V_{out} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times V_{in} \quad (2.30)$$

Rumus diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa tegangan keluaran dapat diubah ubah secara langsung dengan mengubah nilai T_{on} . Apabila T_{on} adalah 0, V_{out} juga akan 0. Apabila T_{on} adalah T_{total} maka V_{out} adalah V_{in} atau katakanlah nilai maksimumnya.

PWM bekerja sebagai *switching power supply* untuk mengontrol *on* dan *off*. Tegangan dc dikonvert menjadi sinyal kotak bolak balik, saat *on* mendekati tegangan puncak dan saat *off* menjadi nol (0) volt. Jika frekuensi *switching* cukup tinggi maka pengisian baterai yang dikendalikan akan semakin sesuai dengan yang diharapkan. Mengatur *duty cycle* sinyal (modulasi lebar pulsa sinyal disebabkan oleh PWM) terlihat pada Gambar 2.17 sinyal referensi adalah sinyal tegangan dc yang dikonversi oleh sinyal gergaji dan menghasilkan sinyal kotak.

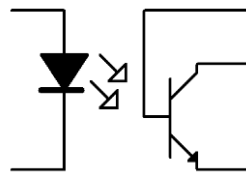


Gambar 2.17 Sinyal referensi (sinyal tegangan DC)

Informasi analog dapat dikirimkan dengan menggunakan pulsa-pulsa tegangan atau pulsa-pulsa arus. Salah satu teknik modulasi yang sering digunakan adalah teknik modulasi durasi atau lebar waktu tunda positif ataupun waktu tunda negatif pulsa-pulsa persegi tersebut. Untuk membangkitkan sinyal PWM adalah dengan menggunakan fungsi *timer/counter* yang dibandingkan nilainya dengan sebuah register tertentu.

2.7 Rangkaian *Driver* Mosfet

Fungsi utama rangkaian *driver* mosfet adalah sebagai pemisah antara rangkaian power dengan rangkaian kontrol atau isolator dari rangkaian tegangan rendah ke rangkaian tegangan tinggi karena terdapat optocoupler. Konfigurasi dari optocoupler dapat dilihat pada Gambar 2.18 berikut ini (Miftachul, 2014).



Gambar 2.18 IC optocoupler

Prinsip kerja dari optocoupler adalah :

- Apabila kaki 1 pada optocoupler mendapat logika *high* 1 maka LED akan *on* sehingga akan memberi *trigger* ke basis photodiode, akibatnya photodiode *on* dan keluarannya akan berlogika *low* (Miftachul, 2014).
- Apabila kaki 1 pada optocoupler mendapat logika *high* 0 maka LED akan *off* sehingga tidak ada *trigger* ke basis photodiode, akibatnya photodiode *off* dan keluarannya akan berlogika *high*. Selain itu, berfungsi juga sebagai penguat sinyal pada *gate* mosfet dengan menggunakan fungsi transistor BC547 yang disusun secara bertingkat (Miftachul, 2014).

2.8 Mikrokontroler ATmega16

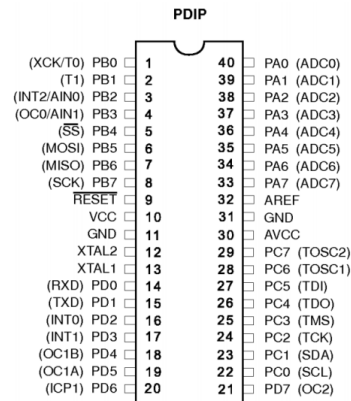
ATMega 16 merupakan salah satu jenis mikrokontroler AVR. Mikrokontroler AVR (*Alf and Vegard's Risc Processor*) standar memiliki arsitektur 8 bit, dimana semua instruksi dikemas dalam kode 16-bit, dan sebagian besar intruksi dieksekusi dalam 1 (satu) siklus *clock*.

ATMega16 mempunyai *throughput* mendekati 1 MIPS per MHz membuat disainer sistem untuk mengoptimasi konsumsi daya versus kecepatan proses. Beberapa keistimewaan dari AVR ATMega16 antara lain:

- 1) Arsitektur RSIC
 - a. 130 intruksi yang umumnya hanya membutuhkan 1 siklus *clock*.
 - b. 32x8 *general purpose register*.
 - c. *Troughput* hampir mencapai 16 MIPS pada frekuensi 16 MHz.
 - d. CPU yang terdiri dari 32 *register*.
- 2) *Nonvolatile Program and Data Memories*
 - a. *Memory Flash* sebesar 16KB dengan kemampuan *Read While Write*.
 - b. *Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits*.
 - c. EEPROM sebesar 512 byte dapat diprogram saat operasi.
 - d. Internal SRAM sebesar 1KB
- 3) *Peripheral Features*
 - a. Dua buah *timer/counter* 8 bit dengan *prescaler* terpisah dan *mode compare*.
 - b. Satu buah *timer/counter* 16 bit dengan *prescaler* terpisah, *mode compare* dan *mode capture*.
 - c. *Real Time Counter with Separate Oscillator*.
 - d. *Chanel PWM*
 - e. ADC (*Analog to Digital Converter*) 10 bit sebanyak 8 *channel*.
 - f. Port antarmuka SPI
 - g. Port USART programmable untuk komunikasi serial.
 - h. *Watchdog Timer* dengan *oscilator* internal.
- 4) Saluran I/O
 - a. Saluran I/O ada 32 buah, yaitu Port A, Port B, Port C, dan Port D.
 - b. 40-pin PDIP, 44-lead TQFP, 44-lead PLCC, and 44-pad MLF.
- 5) Tegangan operasi
 - a. 2.7 - 5.5V untuk ATMega16L.
 - b. 4.5 - 5.5V untuk ATMega16.
- 6) *Spedd grade*

- a. 0-8 MHz untuk ATmega16L.
- b. 0-16 MHz untuk ATmega16.

ATmega 16 mempunyai kaki standart 40 pin yang mempunyai fungsi sendiri-sendiri. Untuk lebih jelas tentang konfigurasi port ATmega 16 bisa di lihat pada Gambar 2.19 berikut.



Gambar 2.19 Konfigurasi port mikrokontroler AVR ATmega16 (Atmel, 2007)

Berikut penjelasan umum susunan kaki ATmega16 tersebut:

- 1) VCC merupakan pin masukan positif catudaya.
- 2) GND sebagai PIN *ground*.
- 3) Port A (PA0...PA7) merupakan pin I/O dua arah dan dapat diprogram sebagai pin masukan ADC.
- 4) Port B (PB0...PB7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu *Timer/Counter*, Komparator Analog, dan SPI.
- 5) Port C (PC0...PC7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu TWI, komparator analog, dan *Timer Oscillator*.
- 6) Port D (PD0...PD7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu komparator analog, interupsi eksternal, dan komunikasi serial.
- 7) Reset merupakan pin yang digunakan untuk mereset ke kondisi semula.
- 8) XTAL 1 dan XTAL 2 sebagai pin masukan dan keluaran *clock* eksternal.
- 9) AVCC sebagai pin masukan tegangan untuk ADC.
- 10) AREF sebagai pin masukan tegangan referensi.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

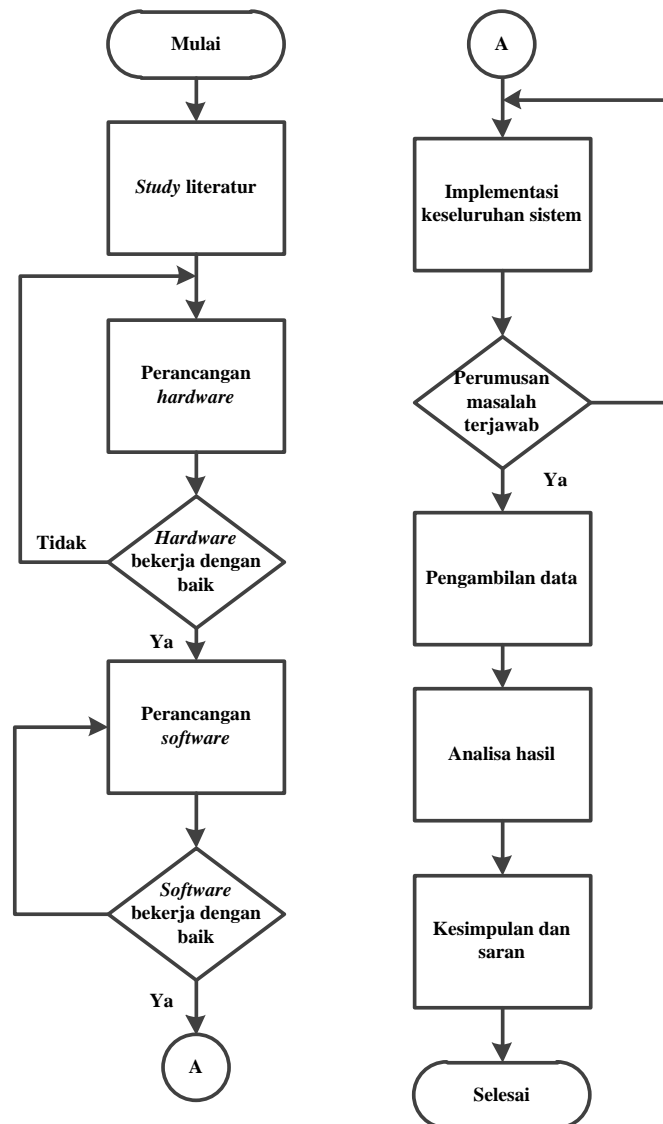
Penelitian “Rancang Bangun Sistem Pengisi Baterai Mobil Listrik Berbasis Mikrokontroler ATmega16” dilaksanakan di Laboratorium Listrik Dasar, Fakultas Teknik, Universitas Jember di Jl. Slamet Riyadi No.62 Patrang, Jember. Penelitian ini dilaksanakan mulai Bulan Maret 2015 sampai Bulan Oktober 2015.

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah :

- a. Empat buah baterai 12V 45Ah
- b. Transformator
- c. Mikrokontroler Atmega16
- d. LCD 16x2
- e. *Software* CV AVR, Proteus, PCB Expres, dan Multisim
- f. *Power Supply*
- g. AVO Meter
- h. LCR Meter
- i. Oscilloscope
- j. *Personal Computer*
- k. AVR

3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Metode penelitian yang dilakukan secara bertahap diuraikan sesuai langkah-langkah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Tahap awal dari penelitian ini mencari literatur dari hasil penelitian sebelumnya, buku maupun internet untuk mengetahui karakteristik komponen, prinsip kerja serta teori yang menunjang lainnya. Diharapkan dengan literatur yang didapat bisa memberikan arahan untuk mengurangi kesalahan dalam penelitian.

2. Perancangan dan Pembuatan *Hardware*

Pada tahap ini akan dilakukan beberapa hal yang meliputi:

a) Simulasi

Pada perancangan ini dilakukan simulasi terlebih dahulu pada rangkaian yang akan dibuat dengan tujuan rangkaian bisa bekerja dengan baik. Dalam mensimulasikan rangkaian menggunakan beberapa *software* untuk memudahkan penelitian diantaranya: Proteus, Multisim, CV AVR, dan Express PCB.

b) Pembuatan *Hardware*

Tahap ini adalah tahap pembuatan rangkaian setelah disimulasikan kemudian rangkaian yang akan dibuat dalam penelitian ini adalah:

(a) *Power supply*

(b) *Reactifier*

(c) Sistem minimum

(d) PWM

(e) *Driver* Mosfet yang terdiri dari optocoupler dan totempole

(f) Sensor tegangan

(g) *Buck Converter*

3. Perancangan *Software*

Dalam pembuatan *software* menggunakan bahasa C dengan program CV AVR. *Software* dikatakan berhasil apabila alat pengisian baterai mengalami *constant current* dan *constant voltage*. Untuk mendapatkan data yang akurat, maka sensor arus dan tegangan juga dikalibrasi sesuai dengan alat ukur.

4. Implementasi Keseluruhan Sistem

Setelah *hardware* dan *software* yang telah diuji bekerja dengan baik maka menggabungkan keduanya menjadi sebuah sistem untuk mengetahui kinerja alat apakah sesuai dengan rumusan masalah atau belum. Pengujian dilakukan pada masing-masing blok dan kemudian keseluruhan sistem.

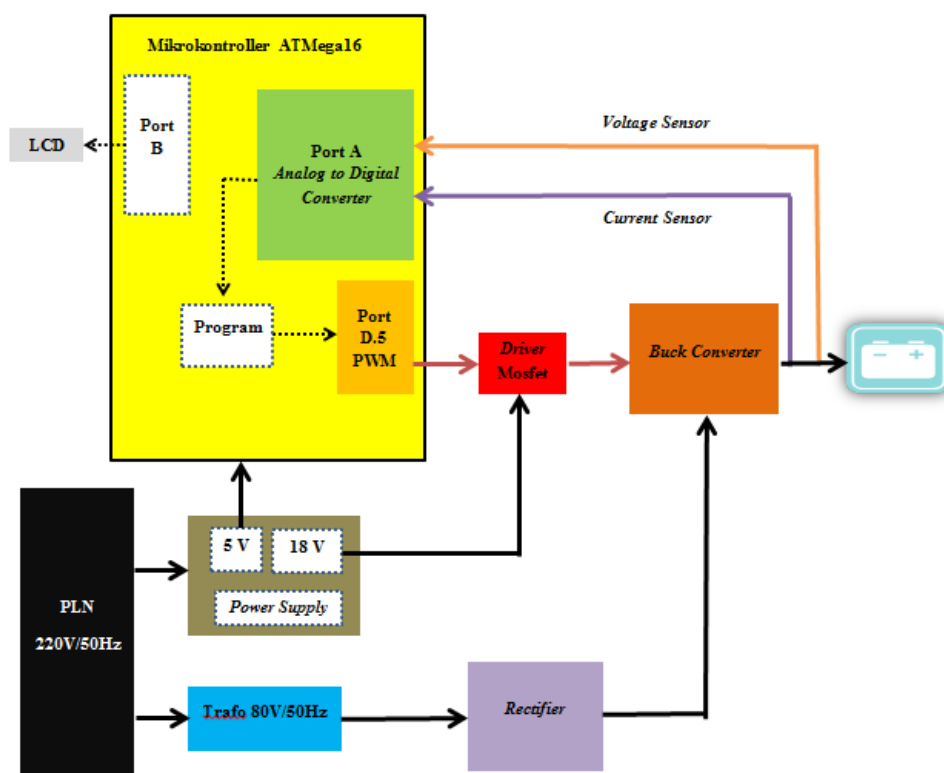
5. Analisis dan Pengambilan Data

Apabila pengujian keseluruhan sistem bekerja dengan baik dan hasilnya memenuhi target, maka yang dilakukan selanjutnya adalah pengambilan data yang diperlukan dan kemudian dianalisis data yang telah didapatkan.

6. Penyusunan Laporan

Pada tahap akhir ini, hasil pengambilan data dan menganalisis data pada pembahasan kemudian dapat ditarik beberapa kesimpulan yang menyangkut kinerja dari alat yang dibuat. Untuk memperbaiki kekurangan yang ada, kemungkinan pengembangan, serta penyempurnaan alat dimasa mendatang maka dibutuhkan saran mengenai penelitian ini.

3.4 Blok Diagram Sistem



Gambar 3.2 Blok diagram sistem pengisi baterai

Keterangan:

- Blok warna kuning adalah mikrokontroler ATmega16 yang merupakan otak dari sistem ini. Terdiri dari 4 port yaitu *port A*, *port B*, *port C*, dan *port D*.
- Blok warna abu-abu adalah tampilan LCD dimana nilai tegangan dan arus akan ditampilkan disini.
- Blok warna hijau adalah masukan ADC (*Analog to Digital Converter*) dari sensor tegangan dan arus pada baterai.
- Blok warna jingga muda adalah PWM yang dihasilkan dari mikrokontroler.

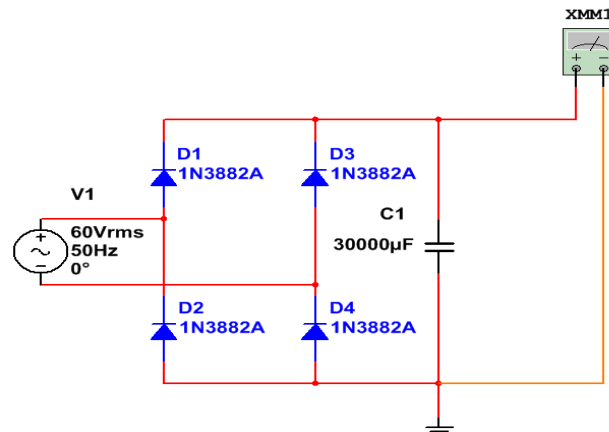
- e) Blok warna merah adalah *driver* mosfet yang di dalamnya terdapat optocoupler dan totempole.
- f) Blok warna hitam adalah sumber dari PLN 220 Volt 50 Hz.
- g) Blok warna ungu adalah *rectifier* yang tujuannya untuk mengubah tegangan AC menjadi DC dan disini juga terdapat *filter*.
- h) Blok warna jingga tua adalah *buck converter* yang tujuannya sebagai penurun tegangan dengan memakai Mosfet IRFP 460.
- i) Blok warna coklat merupakan *power supply* untuk ATmega16 dan *driver* mosfet kemudian pada rangkaian ini menggunakan IC 7805 dan IC 7818 sebagai regulator tegangan.
- j) Blok warna biru muda adalah baterai 48 Volt yang didapat dari empat buah baterai yang diserikan.
- k) Blok warna biru adalah regulator trafo yang bertujuan untuk menurunkan tegangan 220 V menjadi tegangan AC 60 Volt.

3.4.1 Baterai

Baterai yang digunakan untuk sumber mobil listrik sebesar 48 V yang didapatkan dari menserikan empat buah baterai 12 V 45 Ah. Keuntungan pengisian lebih dari satu baterai dengan cara diseri mampu menentukan dengan pasti berapa besar arus yang mengalir ketiap baterai, sehingga dapat menentukan waktu pengisian dengan tepat.

3.4.2 Perencanaan dan Pembuatan *Rectifier* untuk Tegangan Masukan *Buck Converter*

Rangkaian *rectifier* digunakan untuk menyearahkan tegangan AC menjadi tegangan DC yang mana dilengkapi dengan kapasitor yang berfungsi sebagai *filter*. *Filter* tersebut berfungsi untuk mengurangi *ripple* agar keluarannya mendekati DC murni. Pada proyek akhir ini akan dibuat dan dirancang sebuah rangkaian penyearah tegangan sumber yang dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Rangkaian *rectifier full bridge*

Dalam perancangan *rectifier* dibutuhkan tegangan DC sebesar 80 Volt untuk masukan pada *buck converter*. Pada trafo *step down*, tegangan 220 Volt AC diturunkan menjadi 60 Volt AC, kemudian terdapat empat buah diode yang tujuannya sebagai penyearah. Untuk mengurangi *ripple* yang dihasilkan oleh penyearah, maka dibutuhkan kapasitor sebesar 30000uF.

Nilai tegangan keluaran setelah disearahkan:

$$\begin{aligned}
 V_o &= \frac{2 \times \sqrt{2} \times V_{in}}{\pi} \\
 &= \frac{2 \times \sqrt{2} \times 60}{3.14} \\
 &= \frac{169.705}{3.14} \\
 &= 54.046 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

Nilai resistansi:

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{V^2}{W} \\
 &= \frac{60^2}{100} \\
 &= 36 \Omega
 \end{aligned}$$

Nilai tegangan keluaran setelah melewati kapasitor:

$$V_{dc} = V_m - \frac{V_m}{4fRC}$$

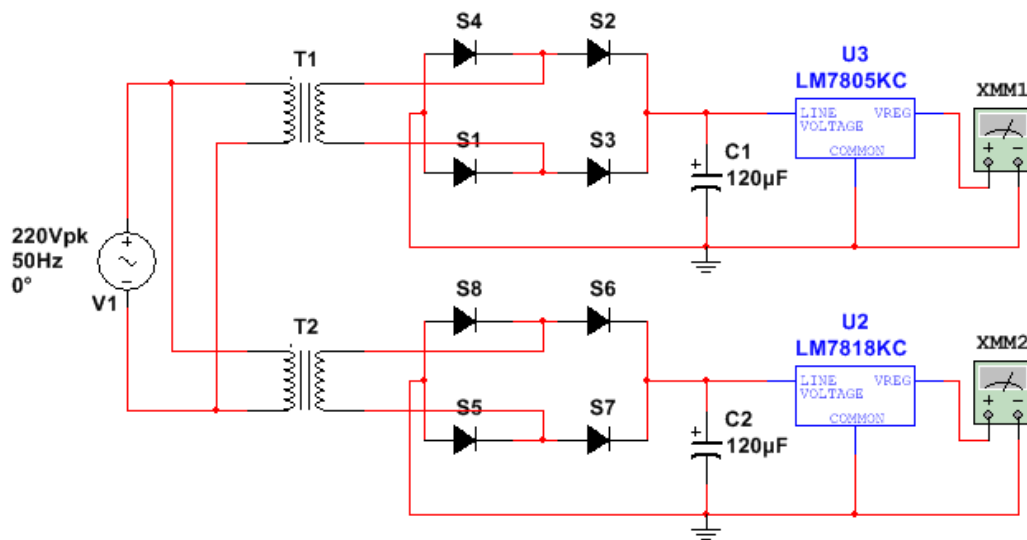
$$\begin{aligned}
&= 84.85 - \frac{84.85}{4 \times 50 \times 36 \times 30000 \times 10^{-6}} \\
&= 84.85 - \frac{84.85}{216} \\
&= 84.85 - 0.392 \\
&= 84.458 \text{ Volt}
\end{aligned}$$

Nilai *ripple factor*:

$$\begin{aligned}
RF &= \frac{1}{\sqrt{2} \times (4 \times f \times R \times C - 1)} \\
&= \frac{1}{\sqrt{2} \times (4 \times 50 \times 36 \times 30000 \times 10^{-6} - 1)} \\
&= \frac{1}{\sqrt{2} \times 215} \\
&= \frac{1}{304.056} \\
&= 0.00328 \\
&= 3.28 \%
\end{aligned}$$

3.4.3 Perencanaan dan Pembuatan *Power Supply*

Pada penelitian ini, *power supply* terdiri dari dua buah tegangan yaitu sebesar 5V untuk mensuplai mikrokontroler dan 18V untuk mensuplai rangkaian *driver* mosfet. Kedua tegangan ini dipisahkan dengan trafo berbeda supaya *ground* masing-masing *power supply* tidak menjadi satu sebagai antisipasi jika terjadi arus balik atau *short* saat kesalahan komutasi pada rangkaian *driver* mosfet, maka tidak akan merusak sistem mikrokontroler yang sangat rentan dengan arus besar. Pada Gambar 3.3 berikut skematik rangkaian *power supply* yang digunakan dengan menggunakan IC 7805 dan 7818 sebagai IC regulator.

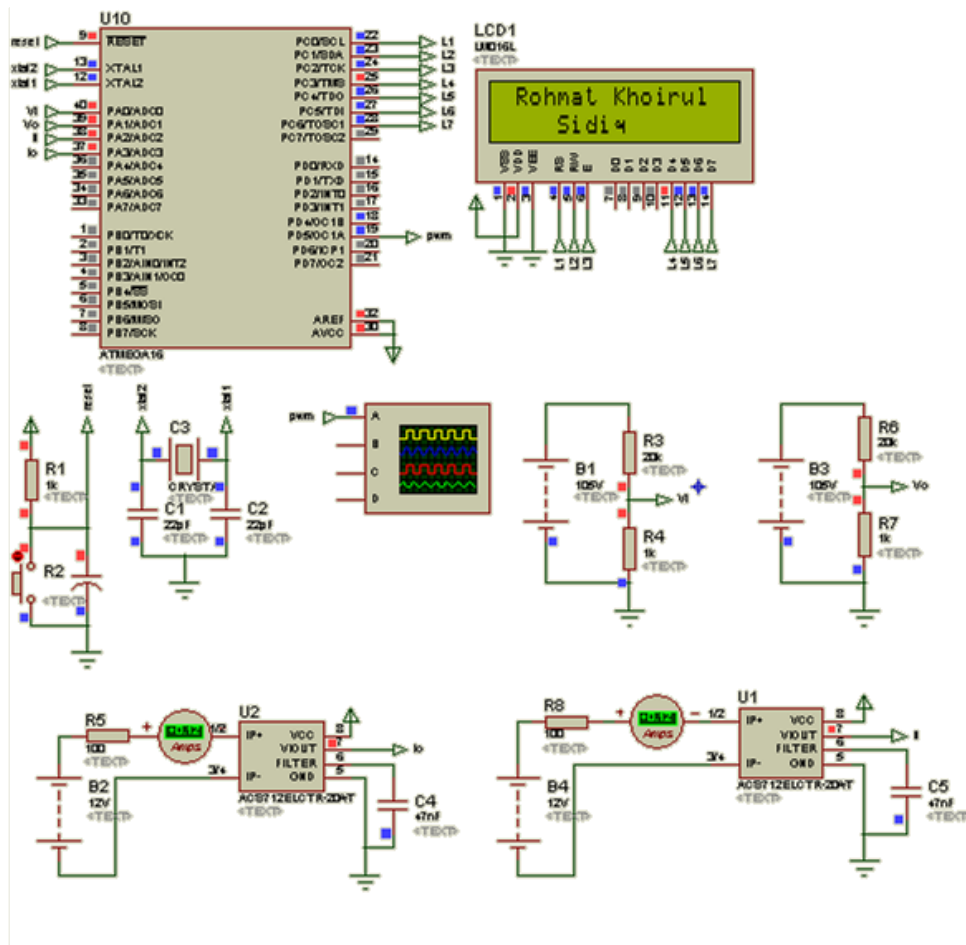


Gambar 3.4 Rangkaian *power supply*

3.4.4 Perencanaan dan Pembuatan Sistem Minimum ATmega16

Dalam simulasi yang sudah dibuat pada Gambar 3.4 menggunakan Proteus. Terdapat ATmega16 yang tujuannya sebagai otak dari sistem ini dan setiap *port* memiliki kegunaannya masing-masing yaitu:

- 1) Untuk *port A* digunakan sebagai *input* dari sensor tegangan dan sensor arus. Dikarenakan pada ATmega16 ADC (*Analog to Digital Converter*) terdapat pada *port A*. Untuk sensor tegangannya menggunakan pembagi tegangan yang diperoleh dari resistor 1K Ohm dan 20K Ohm. Hal ini dikarenakan pada ATmega16 hanya mampu membaca masukan tegangan sebesar 5 Volt.
- 2) Pada *port B* digunakan sebagai ISP (*In System Programing*) yang memiliki fungsi untuk mengirim program yang sudah dibuat pada *software CV AVR* ke mikrokontroller.
- 3) Pada *port C* digunakan untuk menampilkan tegangan, arus, dan *duty cycle* pada LCD.
- 4) Pada *port D* digunakan sebagai pembangkit PWM dengan frekuensi 31 Khz.



Gambar 3.5 Simulasi sistem minimum ATMega16 menggunakan Proteus

3.4.5 Perencanaan dan Pembuatan Sensor Tegangan

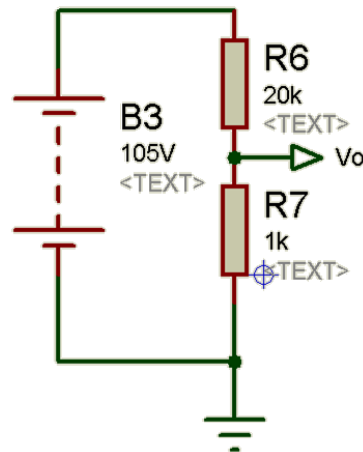
Untuk membuat sensor tegangan dibutuhkan resistor yang bertujuan sebagai pembagi tegangan, dikarenakan mikrokontroller tidak dapat menerima tegangan lebih dari 5 Volt maka dalam penelitian ini menggunakan rumus pembagi tegangan sebagai berikut:

$$V_{out} = \frac{R7}{R7 + R6} \times V_{in}$$

$$5 = \frac{1k}{1k + R6} \times 105$$

$$R6 = 20 \text{ KOhm}$$

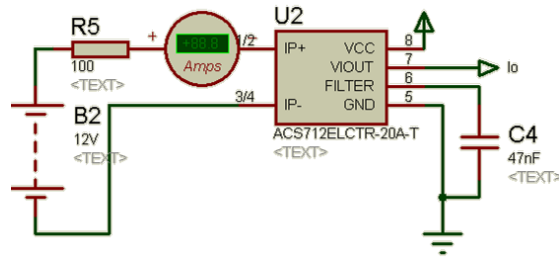
Untuk lebih mengamankan mikrokontroler dari kerusakan maka dalam perhitungan tegangan masukan lebih diperbesar dari tegangan yang akan diukur seperti pada Gambar 3.6. Tujuannya untuk mengantisipasi apabila sensor menerima tegangan yang lebih dari 80 Volt sehingga mikrokontroler masih bisa membaca tegangan tersebut.



Gambar 3.6 Rangkaian sensor tegangan

3.4.6 Perencanaan dan Pembuatan Sensor Arus

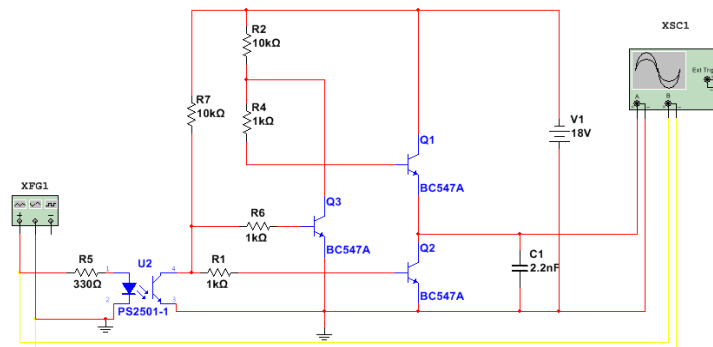
Sensor arus yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor arus ACS712-20A. Sensor ini sudah dalam bentuk modul, sehingga hanya membuat programnya saja. Pada Gambar 3.7 merupakan rangkaian sensor arus dimana arus maksimal yang dapat diukur dalam sensor ini sebesar 20 A. IP+ dan IP- sebagai masukan arus yang akan diukur dengan cara diseri. Untuk Vcc dan GND dihubungkan pada sumber 5 Volt mikrokontroler sedangkan Vout sebagai keluran yang masuk ke ADC mikrokontroler.



Gambar 3.7 Rangkaian sensor arus ACS712-20a

3.4.7 Perencanaan dan Pembuatan *Driver* Mosfet

Dalam pembuatan *driver* mosfet menggunakan optocoupler sebagai pemisah antara mikrokontroller dengan *buck converter*. Tujuannya untuk menghindari kerusakan pada mikrokontroler apabila terjadi tegangan balik dari *buck converter*. Pada Gambar 3.8 juga terdapat rangkaian totempole yang berfungsi untuk mengurangi atau meminimalkan *power losses* pada *electronic switching* saat kita mendesain suatu rangkaian elektronika daya. *Switch losses* terjadi karena ada perubahan dari kondisi satu (*low*) ke kondisi yang lain (*high*) secara cepat. *Drive circuit* MOSFET harus dapat dengan cepat memberikan arus dan membuang arus pada saat berada pada *switching* frekuensi tinggi.



Gambar 3.8 Simulasi *driver* mosfet menggunakan Multisim

Prinsip kerja dari optocoupler adalah :

- Apabila kaki 1 pada optocoupler mendapat logika *high* 1 maka led akan *on* sehingga akan memberi *trigger* ke basis photodiode, akibatnya photodiode *on* dan keluarannya akan berlogika *low*.

- b. Apabila kaki 1 pada optocoupler mendapat logika *high* 0 maka led akan *off* sehingga tidak ada *trigger* ke basis photodiode, akibatnya photodiode *off* dan keluarannya akan berlogika *high*.

3.4.8 Perencanaan dan Pembuatan *Buck Converter*

Dalam perencanaan dan pembuatan *buck converter* diperlukan perhitungan dan simulasi. Untuk simulasi penelitian ini menggunakan multisim seperti pada Gambar 3.9 sedangkan untuk data parameter desain *buck converter* diantaranya sebagai berikut:

$$V_o = 40 \text{ Volt}$$

$$V_i = 80 \text{ Volt}$$

$$f = 31 \text{ KHz}$$

$$\text{Arus} = 2 \text{ A}$$

Duty cycle:

$$\begin{aligned} D &= \frac{V_o}{V_i} \\ &= \frac{40}{80} \\ &= 0.5 \end{aligned}$$

Nilai induktor:

$$\begin{aligned} t_1 &= \frac{1(V_o + V_f)}{f(V_i + V_f)} \\ &= \frac{1(40 + 0.7)}{31K(80 + 0.7)} \\ &= \frac{1}{31K} \times 0.504 \\ &= 16 \mu s \\ \Delta IL &= \frac{1}{L}(V_i - V_o)t_1 \\ 0.2 \times 4 &= \frac{1}{L}(40)16 \mu s \\ 0.8 &= \frac{640 \mu s}{L} \end{aligned}$$

$$L = \frac{640\mu s}{0.8}$$

$$= 0.8mH$$

Nilai pada kapasitor:

$$C = \frac{\Delta I_L}{8f\Delta V_o}$$

$$= \frac{0.8}{8 \times 31 \times 10^3 \times 0.004}$$

$$= \frac{0.8}{9920}$$

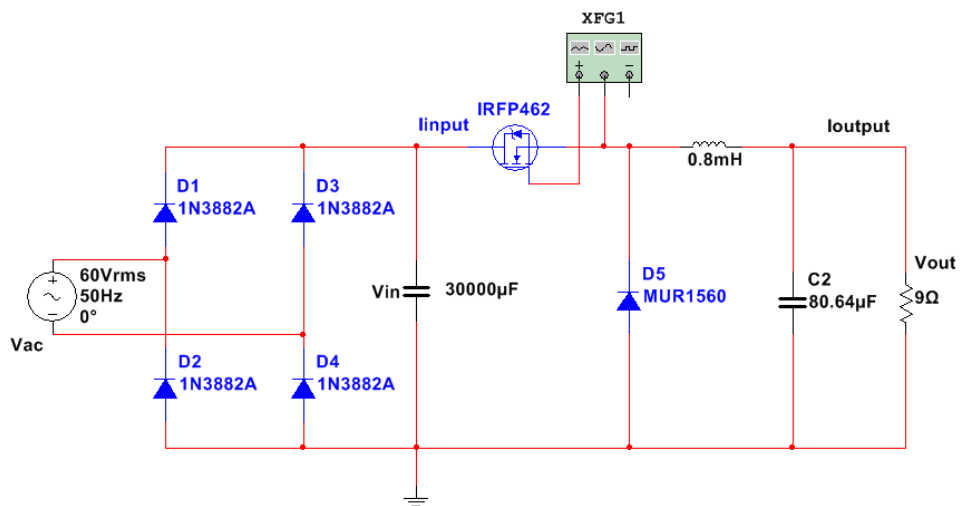
$$= 80.64\mu F$$

Jumlah lilitan induktor:

$$n = \frac{L \times I_{max}}{B_{max} \times AC} \times 10^4$$

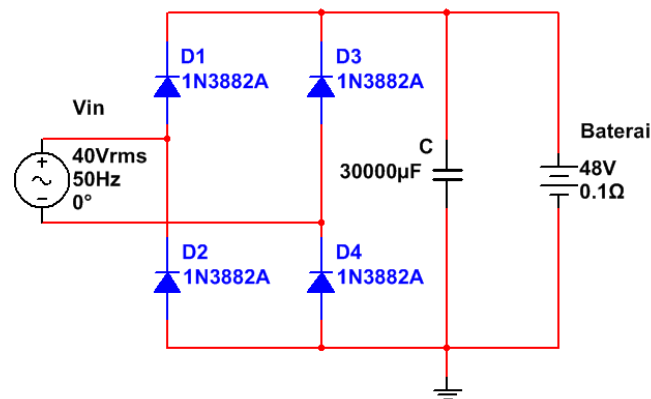
$$= \frac{0,8m \times 2}{0,25 \times 1,96} \times 10^4$$

$$= 32,6 \text{ lilitan}$$



Gambar 3.9 Rangkaian *buck converter*

3.4.9 Perencanaan dan Pembuatan Pengisi Baterai Tanpa Kontrol



Gambar 3.10 Rangkaian pengisi baterai tanpa kontrol

Pada Gambar 3.10 merupakan rangkaian pengisi baterai tanpa kontrol dengan tegangan pengisian sebesar 56,8 Volt yang didapatkan dari tegangan PLN 220 Volt AC yang diturunkan dengan regulator trafo menjadi 40 Volt, kemudian disearahkan dengan empat buah diode *full bridge*. Untuk mengurangi *ripple* yang dihasilkan penyearah diode *full bridge*, maka dibutuhkan kapasitor 30000uF sebagai *filter*.

Nilai tegangan keluaran setelah disearahkan:

$$\begin{aligned}
 V_o &= \frac{2 \times \sqrt{2} \times V_{in}}{\pi} \\
 &= \frac{2 \times \sqrt{2} \times 40}{3.14} \\
 &= \frac{113.14}{3.14} \\
 &= 36.03 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

Nilai tegangan keluaran setelah melewati kapasitor:

$$\begin{aligned}
 V_{dc} &= V_m - \frac{V_m}{4fRC} \\
 &= 56.57 - \frac{56.57}{4 \times 50 \times 36 \times 30000 \times 10^{-6}} \\
 &= 56.57 - \frac{56.57}{216} \\
 &= 56.57 - 0.26 \\
 &= 56.31 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

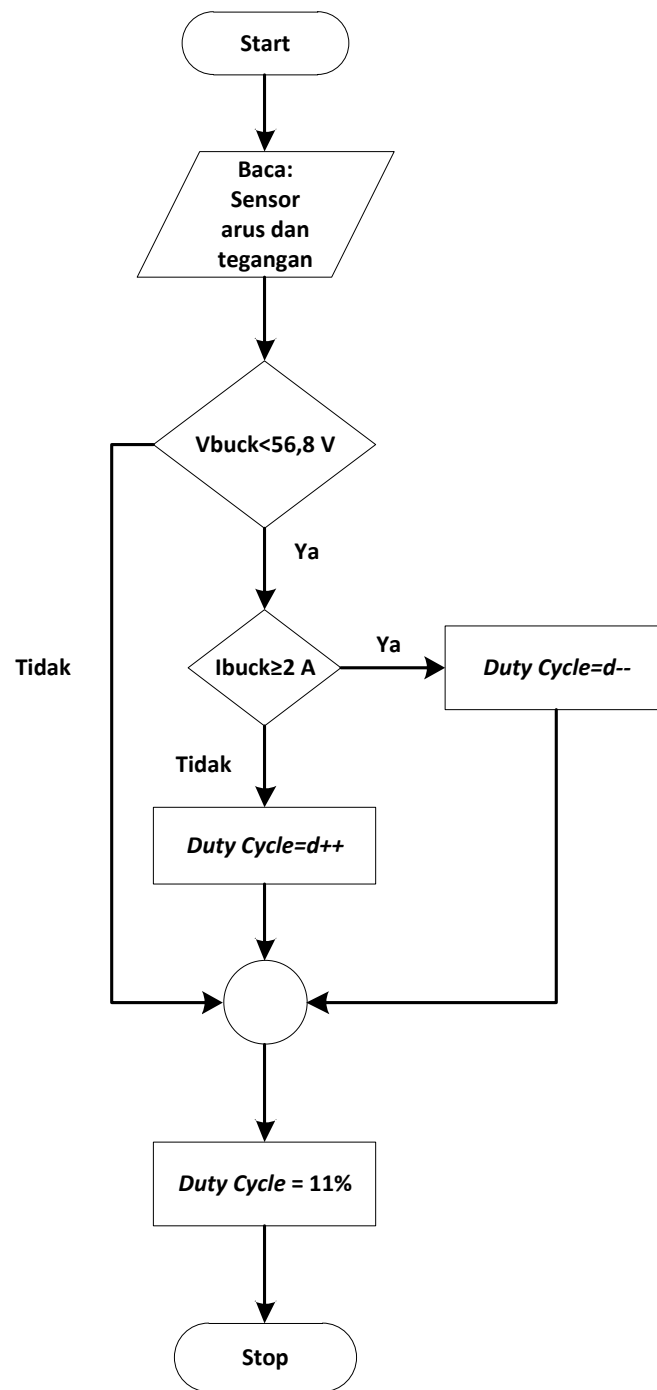
Nilai *ripple factor*:

$$\begin{aligned}
 RF &= \frac{1}{\sqrt{2} \times (4 \times f \times R \times C - 1)} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{2} \times (4 \times 50 \times 36 \times 30000 \times 10^{-6} - 1)} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{2} \times 215} \\
 &= \frac{1}{304.056} \\
 &= 0.00328 \\
 &= 3.28 \%
 \end{aligned}$$

3.4.10 *Flowchart* Sistem Pengisian Baterai dengan Metode *Constant Voltage* dan *Constant Current*

Pada *flowchart* sistem pengisi baterai ini, tegangan *charger* dan arus *charger* terbaca oleh sensor, setelah sensor arus dan tegangan terbaca maka *duty cycle* yang dihasilkan akan bertambah dan berkurang sesuai dengan kondisi pengisian. Nilai *duty cycle* akan berkurang apabila arus pengisian lebih besar dari 2 A, akan tetapi jika nilai arus pengisian kurang dari 2 A maka nilai *duty cycle* akan bertambah.

Metode *constant voltage* digunakan saat tegangan baterai penuh, yaitu pada saat tegangan V_{buck} 56,8 Volt. Tegangan V_{buck} itu sendiri yaitu tegangan ketika *charger* dihubungkan dengan baterai. Untuk mendapatkan tegangan konstan dengan cara memberi batasan pada nilai *duty cycle* sebesar 11%, apabila tegangan baterai kembali berkurang, maka menerapkan metode *constant current*. Berikut Gambar 3.11 *flowchart* sistem pengisi baterai menggunakan metode *constant voltage* dan *constant current*.



Gambar 3.11 *Flowchart* sistem pengisi baterai mobil listrik