

**PERANCANGAN *BATTERY CONTROL UNIT* (BCU) DENGAN
MENGUNAKAN TOPOLOGI *CUK CONVERTER* PADA
INSTALASI LISTRIK TENAGA SURYA**

**SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

*Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik*



**Disusun oleh:
ANNISA TRIANDINI
NIM. 0810630003-63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2013**

LEMBAR PERSETUJUAN

PERANCANGAN *BATTERY CONTROL UNIT* (BCU) DENGAN
MENGUNAKAN TOPOLOGI *CUK CONVERTER* PADA
INSTALASI LISTRIK TENAGA SURYA

SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

*Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik*



Disusun oleh:
ANNISA TRIANDINI
NIM. 0810630003-63

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Soeprapto, MT.
NIP. 19561020 198903 1 001

Mochammad Rif'an, ST., MT.
NIP. 19710301 200012 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PERANCANGAN *BATTERY CONTROL UNIT* (BCU) DENGAN
MENGUNAKAN TOPOLOGI *CUK CONVERTER* PADA
*INSTALASI LISTRIK TENAGA SURYA***

**SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

*Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik*

Disusun oleh:
**ANNISA TRIANDINI
NIM. 0810630003-63**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 25 Juli 2013

DOSEN PENGUJI

Ir. Hari Santoso, MS
NIP. 19531205 198503 1 001

Ir. Mahfudz Shidiq, MT.
NIP. 19580609 198703 1 003

Dr. Rini Nur Hasanah, ST., M.Sc.
NIP. 19680122 199512 2 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS.
NIP. 19580728 198701 1 001

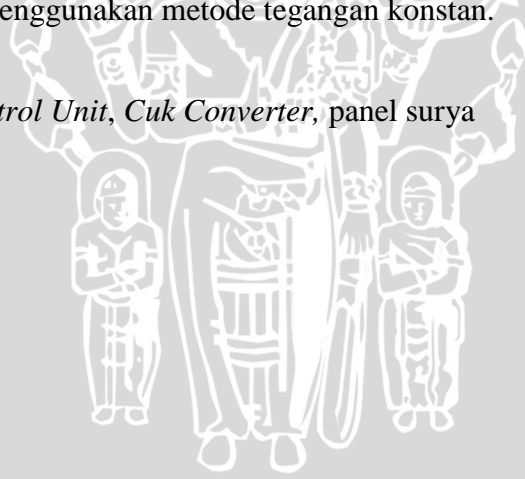
ABSTRAK

Annisa Triandini, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2013, *Perancangan Battery Control Unit (BCU) Dengan Menggunakan Topologi Cuk Converter Pada Instalasi Listrik Tenaga Surya*, Dosen Pembimbing: Ir. Soeprpto, MT. dan Mochammad Rif'an, ST., MT.

Energi matahari merupakan energi terbarukan yang cukup melimpah persediaannya di Indonesia, sehingga dapat dimanfaatkan khususnya pada daerah yang belum terjangkau listrik. Dalam memanfaatkan energi listrik dibutuhkan panel surya yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik dan baterai sebagai media penyimpan energi tersebut. Namun, intensitas cahaya matahari yang berubah-ubah dapat menyebabkan baterai cepat rusak karena arus dan tegangan yang masuk ke baterai tidak konstan. Untuk itu penulis merancang dan membuat *Battery Control Unit (BCU)* agar tegangan dan arus yang masuk ke baterai relatif konstan.

Dalam perancangan BCU menggunakan topologi *Cuk Converter* yang dapat menaikkan dan menurunkan tegangan sumber dengan mengubah-ubah *duty cycle*, dan dapat mengurangi *ripple* pada keluaran panel surya dan masukan untuk baterai. Tegangan sumber akan turun jika nilai *duty cycle* kurang dari 50% dan akan naik jika nilai *duty cycle* lebih dari 50%. Pada saat tegangan baterai di bawah tegangan baterai penuh, BCU menggunakan metode arus konstan dan saat tegangan baterai mencapai tegangan baterai penuh menggunakan metode tegangan konstan.

Kata kunci: *Battery Control Unit, Cuk Converter, panel surya*



PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah yang telah menghantarkan segala apa yang ada dimuka bumi ini menjadi berarti. Tidak ada satupun yang diturunkan-Nya menjadi sia-sia. Penulis sangat bersyukur kepada-Mu Yaa Rabb. Hanya karena-Mu lah, skripsi yang berjudul “ Perancangan *Battery Control Unit* (BCU) Dengan Menggunakan Topologi *Cuk Converter* Pada Instalasi Listrik Tenaga Surya” dapat terselesaikan. Skripsi ini disusun sebagai persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

Dalam menyelesaikan skripsi ini, banyak bantuan, bimbingan, dan dorongan yang diterima oleh penulis. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibuku Sasi Utami, guru, pembimbing, sahabat dan sandaranku. Terima kasih atas doa, cinta, kasih sayang, kebaikan, nasehat, bimbingan dan motivasi yang luar biasa, yang tak terbalaskan dengan suatu apapun,
2. Ayahku, atas doa yang dipanjatkan dan motivasi yang diberikan,
3. Mbak Risna Palupi, mbak Lucky Nindya Palupi, atas motivasi, teladan yang baik dan adekku Katherin Daniar atas cinta dan kasih sayangnya serta doa, dukungan dan semangat yang selalu diberikan. Kejarlah ilmu dan teruslah berprestasi.
4. Bapak Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono., MS. sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
5. Bapak Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D sebagai Sekertaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
6. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, ST., MSc. sebagai Ketua Kelompok Dosen Keahlian Energi Elektrik Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
7. Bapak Ir. Soeprpto, MT. sebagai Dosen Pembimbing I atas segala bimbingan, pengarahan, gagasan, ide, saran serta motivasi yang telah diberikan,
8. Bapak Mochammad Rif'an, ST.,MT. sebagai Dosen Pembimbing II atas segala bimbingan, ide, pengarahan, saran, kritik, dan masukan yang telah diberikan,
9. Teman-teman Concordes angkatan 2008, yang telah mengajarkan arti kebersamaan,
10. Mas Indra Setyawan, S.ST., laboran Laboratorium Mesin Elektrik serta teman - teman laboratorium Mesin Elektrik, paket A 2008, teruslah berkarya dan berinovasi,
11. Edwin Gutama dan keluarga, atas perhatian, bantuan, dukungan, keramahan dan nasehat-nasehat yang telah diberikan,

12. Sahabat-sahabatku, Nuha Nadhiroh, Robby Fierdaus, A. Sul Khan Taufik, Vita Permatasari, Ladissa Harvidianti, Nurlita Yanuarni, Fahima Tazkia, Anindya Dwi A. dan Karina Seftia, yang telah mengajarkan arti persaudaraan,
13. Sahabat-sahabat cantikku, Herastri Nandarini, Dika Dana H., Faradina M., Idia Tri J. dan Pawitra M. Suci, yang tidak pernah lelah memberikan motivasi,
14. Rekan-rekan pengerjaan skripsi, Maulani Candra, M. Wildan Hilmi, Ansyaruddin R., Ardhito Primatama, terima kasih untuk semuanya
15. Teman-teman kos PPA Kertowaluyo 15 Malang, mb Desy, Gradhin, Farida, Mifta, Henny, Tari, Icus, Momo, Dita dan Mia, yang telah banyak membantu,
16. Dan seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan di masa yang akan datang. Penulis berharap, semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi kita semua.



Malang, Juli 2013

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Sistematika Penulisan	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Panel Surya	4
2.1.1 Performansi Panel Surya	5
2.2 <i>Charge Controller</i>	6
2.2.1 Metode Pengisian Baterai	7
2.3 <i>Cuk Converter</i>	8
2.4 <i>Metal Oxide Silicon Field Effect Transistor (MOSFET)</i>	12
2.5 PWM (<i>Pulse Width Modulation</i>).....	12
2.6 Mikrokontroler ATmega8.....	13
2.7 Baterai untuk Sel Surya.....	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	16
3.1 Perancangan dan Pembuatan Alat.....	16
3.1.1 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Keras	16
3.1.2 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Lunak	16
3.2 Integrasi Sistem Pengujian.....	16
BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT.....	18
4.1 Penentuan Spesifikasi Alat.....	18
4.2 Diagram Blok Sistem	19
4.3 Pemodelan Panel Surya.....	20
4.4 Perancangan Perangkat Keras	20
4.4.1 Perancangan <i>Cuk Converter</i>	20



4.4.2	Perancangan Rangkaian Catu Daya	23
4.4.3	Perancangan <i>Driver</i> MOSFET	24
4.4.4	Minimum Sistem Mikrokontroler	25
4.4.5	Perancangan Sensor Arus	27
4.4.6	Perancangan Pembalik Polaritas	27
4.5	Perancangan Perangkat Lunak	28
4.5.1	Metode Arus Konstan	29
4.5.2	Metode Tegangan Konstan	30
BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS		31
5.1	Pengujian Catu Daya	31
5.1.1	Tujuan	31
5.1.2	Peralatan	31
5.1.3	Prosedur Pengujian	31
5.1.4	Hasil dan Pembahasan	32
5.2	Pengujian PWM Pada Mikrokontroler	33
5.2.1	Tujuan	33
5.2.2	Peralatan	33
5.2.3	Prosedur Pengujian	33
5.2.4	Hasil dan Pembahasan	34
5.3	Pengujian <i>Driver</i> Mosfet	36
5.3.1	Tujuan	36
5.3.2	Peralatan	36
5.3.3	Prosedur Pengujian	36
5.3.4	Hasil dan Pembahasan	37
5.4	Pengujian Rangkaian <i>Cuk Converter</i>	37
5.4.1	Tujuan	37
5.4.2	Peralatan	37
5.4.3	Prosedur Pengujian	38
5.4.4	Hasil dan Pembahasan	38
5.5	Pengujian Sensor Arus	39
5.5.1	Tujuan	39
5.5.2	Peralatan	39
5.5.3	Prosedur Pengujian	39



5.5.4 Hasil dan Pembahasan	40
5.6 Pengujian Pembalik Polaritas.....	41
5.6.1 Tujuan	41
5.6.2 Peralatan.....	42
5.6.3 Prosedur Pengujian	42
5.6.4 Hasil dan Pembahasan	43
5.7 Pengujian Metode Arus Konstan	43
5.7.1 Tujuan	43
5.7.2 Peralatan.....	44
5.7.3 Prosedur Pengujian	44
5.7.4 Hasil dan Pembahasan	45
5.8 Pengujian Metode Tegangan Konstan	46
5.8.1 Tujuan	46
5.8.2 Peralatan.....	46
5.8.3 Prosedur Pengujian	46
5.8.4 Hasil dan Pembahasan	47
5.9 Pengujian Keseluruhan Sistem.....	49
5.9.1 Tujuan	49
5.9.2 Peralatan.....	50
5.9.3 Prosedur Pengujian	50
5.9.4 Hasil dan Pembahasan	50
BAB VI PENUTUP	52
6.1 Kesimpulan	52
6.2 Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN	54



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Panel Surya	4
Gambar 2.2 Kurva I-V	5
Gambar 2.3 Battery Control Unit (BCU).....	7
Gambar 2.4 Pengisian Baterai dengan Metode Tegangan Konstan.....	7
Gambar 2.5 Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan.....	8
Gambar 2.6 <i>Cuk Converter</i>	8
Gambar 2.7 Bentuk gelombang <i>Cuk Converter</i>	10
Gambar 2.8 Rangkaian <i>Cuk Converter</i> ketika saklar menutup	9
Gambar 2.9 Rangkaian <i>Cuk Converter</i> ketika saklar membuka.....	9
Gambar 2.10 Sinyal PWM dengan Variasi Nilai <i>Duty Cycle</i>	13
Gambar 2.11 Konfigurasi Pin Mikrokontroler ATmega8	14
Gambar 2.12 Struktur baterai gel pada instalasi listrik tenaga surya.....	15
Gambar 4.1 Diagram Blok Sistem.....	19
Gambar 4.2 Rangkaian <i>Cuk Converter</i>	22
Gambar 4.3 Rangkaian Catu Daya 5 volt	23
Gambar 4.4 Rangkaian Catu Daya 12 volt	23
Gambar 4.5 Perancangan Rangkaian <i>Driver Mosfet</i>	24
Gambar 4.6 Minimum Sistem Mikrokontroler	25
Gambar 4.7 Rangkaian Sistem Minimum Sensor Arus ACS712	27
Gambar 4.8 Rangkaian Pembalik Polaritas	28
Gambar 4.9 Diagram Alir Perangkat Lunak.....	29
Gambar 5.1 Rangkaian Pengujian Catu Daya	32
Gambar 5.2 Hasil Pengujian Catu Daya 5 volt.....	32
Gambar 5.3 Hasil Pengujian Catu Daya 12 volt.....	33
Gambar 5.4 Rangkaian Pengujian PWM dan Frekuensi Mikrokontroler ATmega8	34
Gambar 5.5 Bentuk Gelombang PWM 50% dan Frekuensi 50 kHz	34
Gambar 5.6 Grafik Perbandingan Tegangan Sebenarnya dengan Tegangan Hasil Pengukuran	35
Gambar 5.7 Rangkaian Pengujian <i>Driver Mosfet</i>	36
Gambar 5.8 Bentuk Gelombang Keluaran <i>Driver Mosfet</i> Dengan PWM 50%	37
Gambar 5.9 Rangkaian Pengujian <i>Cuk Converter</i>	38
Gambar 5.10 Hasil Pengujian Rangkaian <i>Cuk Converter</i> Meningkatkan Tegangan.....	38

Gambar 5.11 Hasil Pengujian Rangkaian <i>Cuk Converter</i> Menurunkan Tegangan	39
Gambar 5.12 Rangkaian Pengujian Sensor Arus.....	40
Gambar 5.13 Hasil Pengujian Sensor Arus ACS712.....	40
Gambar 5.14 Grafik Perbandingan Tegangan Hasil Pengukuran dengan <i>Datasheet</i>	41
Gambar 5.15 Rangkaian Pengujian Pembalik Polaritas	42
Gambar 5.16 Hasil Pengujian Rangkaian Pembalik Polaritas	43
Gambar 5.17 Rangkaian Pengujian Metode Arus Konstan	44
Gambar 5.18 Grafik Metode Arus Konstan.....	45
Gambar 5.19 Rangkaian Pengujian Metode Tegangan Konstan	46
Gambar 5.20 Hasil Pengujian Metode Tegangan Konstan dengan Menaikkan Tegangan	47
Gambar 5.21 Hasil Pengujian Metode Tegangan Konstan dengan Menurunkan Tegangan.....	48
Gambar 5.22 Grafik <i>Duty Cycle</i> Menurut Pengukuran dan Teori.....	49
Gambar 5.23 Grafik Metode Tegangan Konstan.....	49



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Parameter Panel Surya 20

Tabel 4.2 Pin yang digunakan pada mikrokontroler ATmega8 26

Tabel 5.1 Hasil Pengujian PWM Mikrokontroler 35

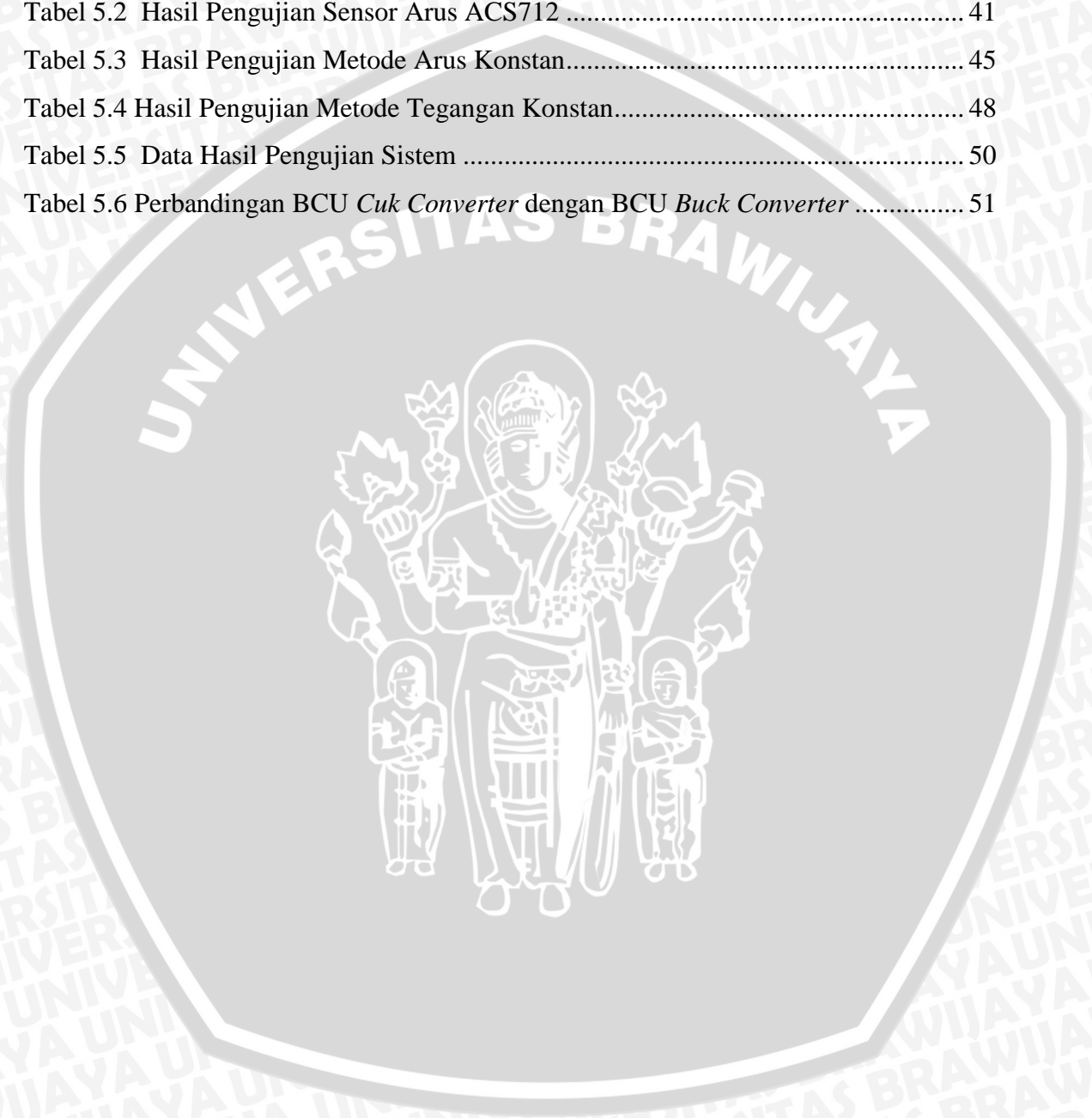
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Sensor Arus ACS712 41

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Metode Arus Konstan 45

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Metode Tegangan Konstan 48

Tabel 5.5 Data Hasil Pengujian Sistem 50

Tabel 5.6 Perbandingan BCU *Cuk Converter* dengan BCU *Buck Converter* 51



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan manusia yang tidak dapat diabaikan yang semakin lama semakin meningkat permintaannya. Misalnya, untuk lampu penerangan, televisi, AC, dll. Semakin banyak penggunaan listrik, semakin tinggi pula biaya yang harus dikeluarkan untuk energi listrik tersebut. Oleh karena itu, diperlukan energi alternatif agar biaya pengeluaran semakin berkurang. Salah satu energi alternatif yang dapat dimanfaatkan, yaitu energi matahari. Energi matahari merupakan energi terbarukan yang cukup melimpah persediaannya di Indonesia, karena Indonesia adalah daerah tropis yang intensitas mataharnya cukup tinggi sepanjang tahunnya. Energi matahari ini juga dapat dimanfaatkan pada daerah yang belum terjangkau sumber listrik.

Dalam pemanfaatan energi listrik ini, dibutuhkan alat yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik, yaitu panel surya. Namun, menggunakan panel surya ini tidak dapat berdiri sendiri, diperlukannya instalasi listrik tenaga surya. Instalasi listrik tenaga surya tersebut terdiri dari panel surya, baterai dan inverter. Keunggulan dalam menggunakan instalasi listrik tenaga surya ini adalah perawatan yang mudah, harganya relatif murah, serta ramah lingkungan. Namun, intensitas cahaya matahari yang berubah-ubah dapat menyebabkan baterai cepat rusak, karena tegangan dan arus yang masuk ke baterai tidak konstan. Untuk itu dibutuhkan *Battery Control Unit* (BCU) agar tegangan dan arus yang masuk ke baterai relatif konstan.

Mengingat pentingnya peranan BCU pada instalasi listrik tenaga surya, dibutuhkan suatu metode pada BCU yang lebih adaptif terhadap perubahan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya. Topologi *Buck Converter*, *Boost Converter*, *Buck Boost Converter*, *Cuk Converter* dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan ini.

Dalam skripsi ini, menggunakan topologi *Cuk Converter* karena dapat menaikkan dan menurunkan tegangan sumber, sehingga dapat bekerja pada berbagai *range* tegangan masukan. Selain itu kelebihan dari rangkaian ini dapat mengurangi *ripple* pada keluaran panel surya dan masukan untuk baterai. *Ripple* tegangan menyebabkan tegangan akan lama mencapai konstan sehingga dapat merusak baterai, karena tegangan relatif tidak stabil.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan masalah yang telah dijelaskan pada latar belakang, dapat dibuat rumusan sebagai berikut:

- 1) Bagaimana merancang dan membuat *Battery Control Unit* (BCU) menggunakan topologi *Cuk Converter* untuk menaikkan atau menurunkan tegangan dari panel surya.
- 2) Bagaimana menerapkan proses pengisian baterai agar baterai tidak cepat rusak.

1.3 Batasan Masalah

Dalam menyusun penelitian, batasan masalah yang digunakan dalam penelitian :

- 1) Panel surya yang digunakan 75 Wp.
- 2) Tegangan minimal dari panel surya sebesar 12 volt.
- 3) Baterai yang digunakan mempunyai tegangan pengisian 14,1 – 14,4 volt dan tegangan keluaran 12 volt.
- 4) *Battery Control Unit* (BCU) menggunakan topologi *Cuk Converter*.
- 5) Metode *switching* menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM).
- 6) Komponen pensaklaran yang digunakan adalah MOSFET.
- 7) Mikrokontroler yang digunakan adalah ATmega8.
- 8) Baterai untuk mencatu mikrokontroler minimal 5 volt.

1.4 Tujuan

Tujuan penulisan skripsi ini adalah merancang dan membuat *Battery Control Unit* (BCU) menggunakan topologi *Cuk Converter* pada instalasi listrik tenaga surya.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan laporan penelitian ini adalah sebagai berikut.

BAB I Pendahuluan

Berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Berisi teori-teori yang mendukung dalam perencanaan dan pembuatan alat.

BAB III Metodologi Penelitian

Berisi tentang metode penelitian dan perencanaan alat serta pengujian.

BAB IV Perancangan dan Pembuatan Alat

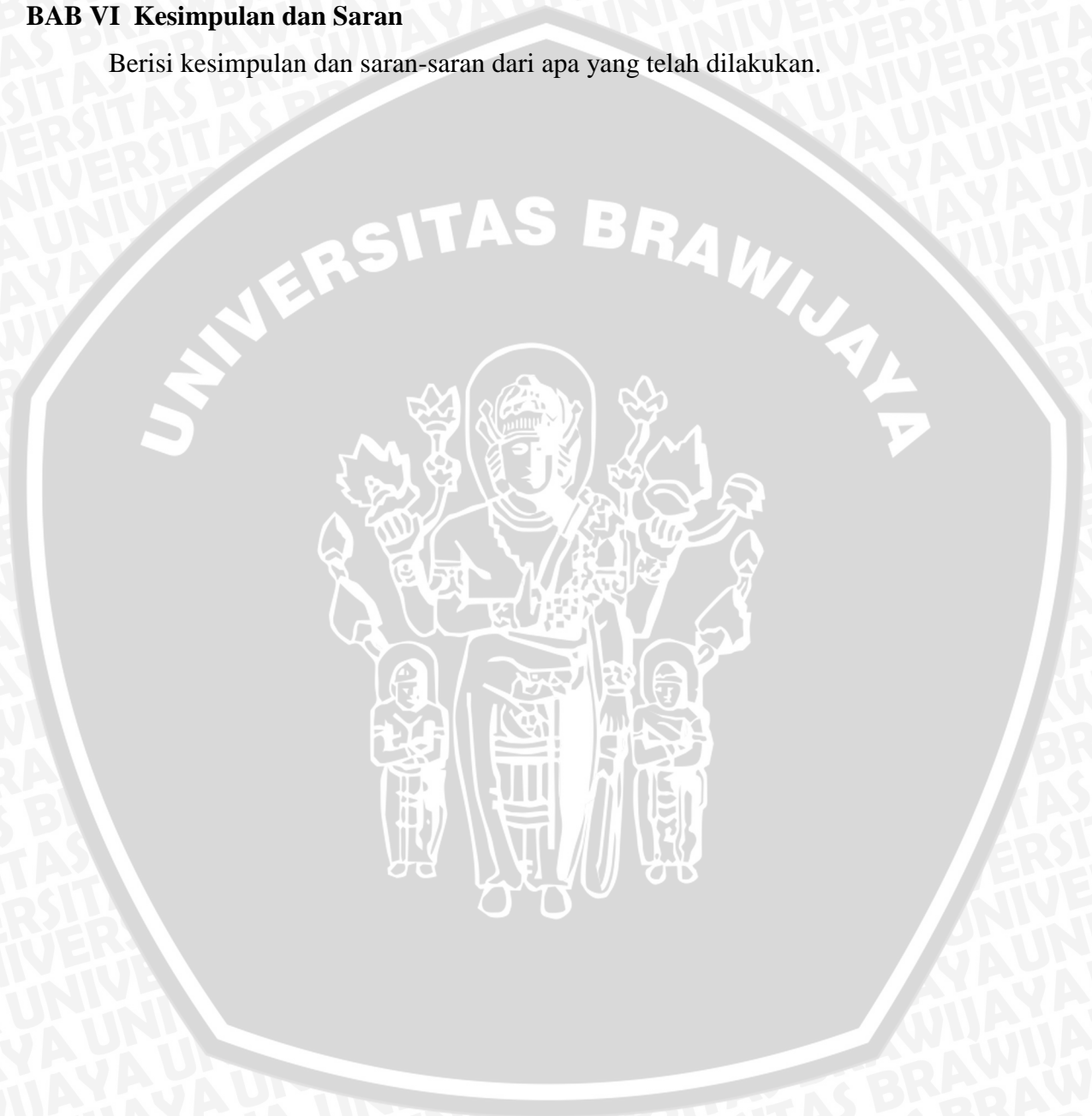
Berisi perancangan dan perealisasiian alat yang meliputi spesifikasi, perencanaan blok diagram, prinsip kerja dan realisasi alat.

BAB V Pengujian Alat

Berisi hasil pengujian terhadap alat yang telah direalisasikan.

BAB VI Kesimpulan dan Saran

Berisi kesimpulan dan saran-saran dari apa yang telah dilakukan.



BAB II

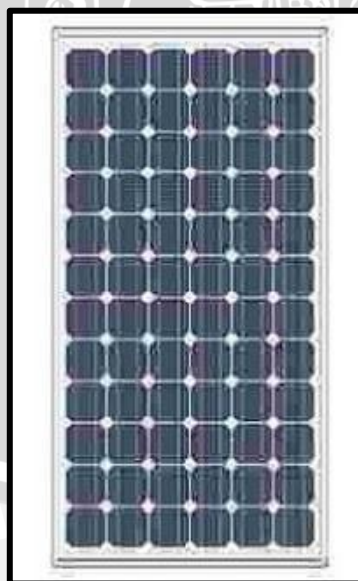
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Panel Surya

Panel surya merupakan alat yang terdiri dari sel surya yang dapat mengubah cahaya matahari menjadi listrik. Tenaga matahari merupakan sumber cahaya terkuat yang dapat dimanfaatkan. Panel surya sering kali disebut sel fotovoltaik. Sel surya atau sel PV bergantung pada efek fotovoltaik untuk menyerap energi matahari dan menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan.

Dalam cahaya matahari terkandung energi dalam bentuk foton. Ketika foton ini mengenai permukaan sel surya, elektron-elektronnya akan tereksitasi dan menimbulkan aliran listrik. Prinsip ini dikenal sebagai prinsip fotoelektrik. Sel surya dapat tereksitasi karena terbuat dari material semikonduktor yang mengandung unsur silikon. Silikon ini terdiri atas dua jenis lapisan sensitif, yaitu: lapisan negatif (tipe-n) dan lapisan positif (tipe-p).

Sel surya terbuat dari bahan yang mudah pecah dan berkarat jika terkena air. Karena itu sel ini dibuat dalam bentuk panel-panel ukuran tertentu yang dilapisi plastik atau kaca bening yang kedap air. Contoh dari panel surya ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Panel Surya
Sumber: Lampusurya.com

Ada beberapa jenis panel surya yang dijual di pasaran :

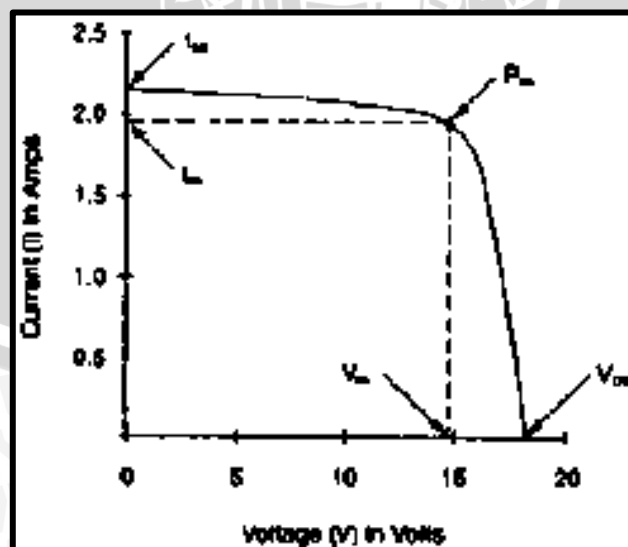
- Jenis pertama, yaitu jenis yang terbaik dan yang terbanyak digunakan masyarakat saat ini, adalah jenis monokristalin. Panel ini memiliki tingkat efisiensi antara 13 sampai 19%.
- Jenis kedua adalah jenis polikristalin atau multi kristalin, yang terbuat dari kristal silikon dengan tingkat efisiensi antara 11 sampai 15%.
- Jenis ketiga adalah silikon jenis amorphous, yang berbentuk film tipis. Efisiensinya sekitar 4 sampai 8%. Panel surya jenis ini banyak dipakai di mainan anak-anak, jam dan kalkulator.
- Jenis keempat adalah panel surya yang terbuat dari GaAs (*Gallium Arsenide*) yang lebih efisien pada temperatur tinggi. Panel ini memiliki tingkat efisiensi antara 20% - 25%.

(Sumber : Solar Generation 6, EPIA 2011)

2.1.1 Performansi Panel Surya

Daya keluaran dari panel surya sebanding dengan tegangan operasi dikalikan dengan arus operasi panel surya. Panel surya dapat menghasilkan arus dan tegangan yang berbeda-beda. Hal ini berbeda dengan baterai, yang menghasilkan arus dan tegangan yang relatif konstan.

Karakteristik keluaran dari panel surya dapat dilihat dari kurva performansi, disebut kurva I-V. Kurva I-V menunjukkan hubungan antara arus dan tegangan.



Gambar 2.2 Kurva I-V

Sumber: <http://kontens-listrik.blogspot.com>

Gambar 2.2 menunjukkan karakteristik kurva I-V, arus (I) terhadap tegangan (V). Kebanyakan kurva I-V diberikan dalam *Standar Test Conditions* (STC) 1000 watt/ m² saat matahari pada radiasi maksimum dan 25° C atau 77 F suhu panel surya.

Kurva I-V terdiri dari tiga hal yang penting, yaitu *Maximum Power Point* (V_{mp} dan I_{mp}), *Open Circuit Voltage* (V_{oc}) dan *Short Circuit Current* (I_{sc}).

1. *Maximum Power Point* (V_{mp} dan I_{mp})

Maximum Power Point (V_{mp} dan I_{mp}) adalah titik operasi maksimum yang dihasilkan panel surya saat kondisi kerja. V_{mp} dan I_{mp} dapat diukur saat panel surya diberi beban pada suhu 25⁰ C dan radiasi matahari sebesar 1000 watt/m². Arus dan daya keluaran panel surya menurun saat tegangan meningkat melebihi *maximum power point*.

2. *Open Circuit Voltage* (V_{oc})

Open Circuit Voltage (V_{oc}) merupakan tegangan maksimal yang dapat dicapai panel surya pada saat tidak ada arus. Daya pada saat V_{oc} adalah 0 watt.

3. *Short Circuit Current* (I_{sc})

Short Circuit Current (I_{sc}) adalah arus keluaran maksimal dari panel surya pada kondisi tidak ada resistansi. Daya pada I_{sc} adalah 0 watt. *Short circuit current* dapat diukur dengan menghubungkan singkat terminal positif dan negatif dari modul panel surya.

Faktor-faktor yang mempengaruhi panel surya adalah :

1. Bahan pembuat panel surya
2. Resistansi beban
3. Intensitas cahaya matahari
4. Suhu panel surya
5. Bayangan/*shading*.

2.2 *Charge Controller*

Charge controller disebut juga *Battery Control Unit* (BCU) atau *Battery Control Regulator* (BCR). *Charge controller* adalah suatu alat yang berfungsi mengisi baterai dengan tegangan konstan hingga mencapai tegangan yang ditentukan. Bila tegangan yang ditentukan itu telah tercapai, maka arus pengisian akan menurun secara otomatis sehingga indikator LED merah menyala berkedip menandakan baterai telah terisi penuh.

Panel surya umumnya memiliki tegangan 16 - 21 Volt. Jadi, tanpa *charge controller*, baterai akan rusak oleh *overcharging* dan ketidakstabilan tegangan. Di dalam rangkaian *charge controller* terdapat rangkaian regulator dan rangkaian komparator. Rangkaian regulator berfungsi mengatur tegangan keluaran agar tetap konstan,

rangkaian komparator berfungsi menurunkan arus pengisian secara otomatis saat tegangan pada baterai penuh dan menahan arus pengisian hingga menjadi lebih lambat sehingga menyebabkan indikator aktif menandakan baterai telah terisi penuh. Gambar 2.3 menunjukkan contoh *Battery Control Unit* yang tersedia di pasaran.



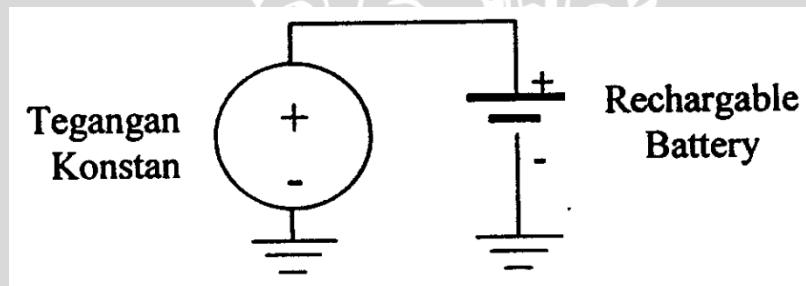
Gambar 2.3 Battery Control Unit (BCU)
Sumber: solarpanelindonesia.wordpress.com

2.2.1 Metode Pengisian Baterai

Secara umum ada dua metode pengisian baterai sekunder, yaitu dengan tegangan konstan dan dengan arus konstan.

a. Metode Tegangan Konstan

Pada metode ini baterai dihubungkan dengan suatu sumber tegangan konstan dengan polaritas ditunjukkan pada Gambar 2.4.

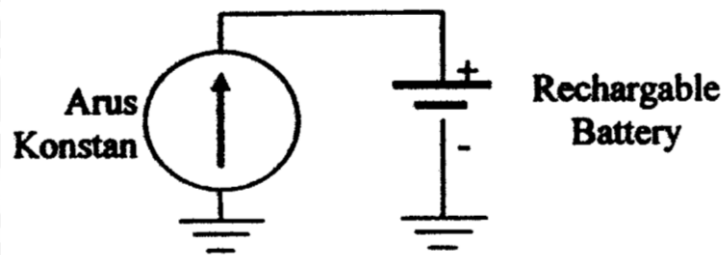


Gambar 2.4 Pengisian Baterai dengan Metode Tegangan Konstan
Sumber: Indar Sugiarto (2004:719)

Besar arus pengisian pada metode ini tergantung dari perbedaan tegangan antara sumber tegangan dengan tegangan baterai. Pada permulaan pengisian, tegangan baterai masih rendah sehingga arus pengisian tinggi, dan setelah proses pengisian berjalan cukup lama, tegangan baterai akan naik sehingga arus pengisian juga berkurang. Kekurangan dari metode ini adalah kesulitan untuk menghitung perkiraan seberapa arus yang telah diserap oleh baterai.

b. Metode Arus Konstan

Pada metode ini sebuah sumber arus konstan dihubungkan dengan baterai seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5.



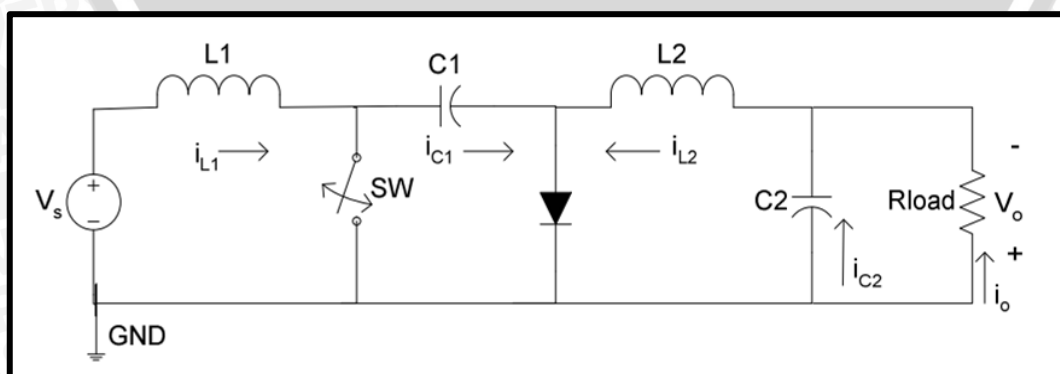
Gambar 2.5 Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan
Sumber: Indar Sugiarto (2004:720)

Sumber arus konstan harus didesain agar perubahan tegangan pada baterai saat proses pengisian tidak mempengaruhi besarnya arus yang mengalir pada baterai.

2.3 Cuk Converter

Cuk Converter merupakan DC-DC Converter yang ditemukan oleh *Cuk Slobodan* dari Institut Teknik *California*. Metode ini sama seperti halnya dengan metode *Buck-Boost Converter*, tegangan keluaran dapat diatur menjadi lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan masukan. Tergantung dari besarnya *duty cycle* (D), apabila *duty cycle* di atas 50% tegangan keluaran lebih besar dari tegangan masukan, apabila *duty cycle* di bawah 50% tegangan keluaran lebih kecil dari tegangan masukan. *Cuk Converter* juga digunakan pada aplikasi yang memerlukan pembalikan tegangan (*Voltage Inversion*) tanpa transformer, dengan kelebihan tingkat *ripple* yang rendah pada arus masukan maupun arus keluaran.

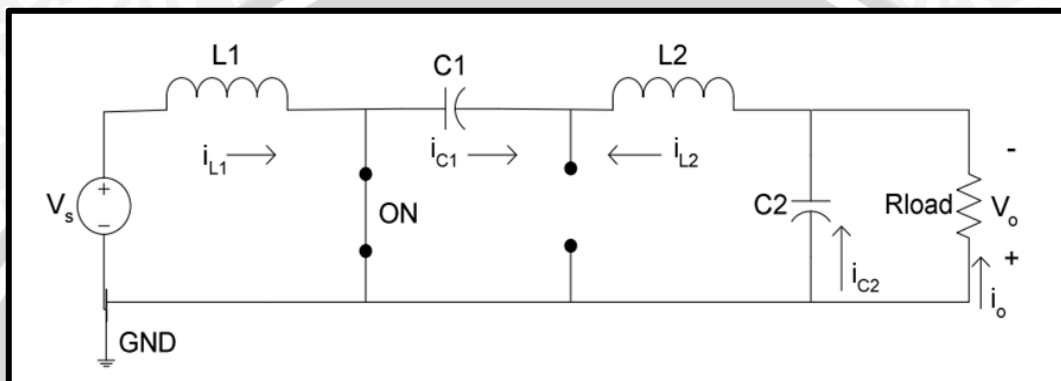
Rangkaian *Cuk Converter* ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 *Cuk Converter*
Sumber: Akihiro Oi (2005:34)

Pada saat saklar terbuka, kapasitor (C_1) akan terisi muatan, sedangkan pada saat saklar tertutup kapasitor (C_1) melepas muatan berupa tegangan. *Cuk Converter* mampu menaikkan tegangan karena penyimpanan muatan di kapasitor (C_1) yang lebih lama, sehingga tegangan keluaran menjadi lebih tinggi dari tegangan masukan. Sedangkan untuk menurunkan tegangan, penyimpanan muatan kapasitor (C_1) yang relatif singkat, sehingga menyebabkan tegangan keluaran yang lebih rendah dari tegangan masukannya.

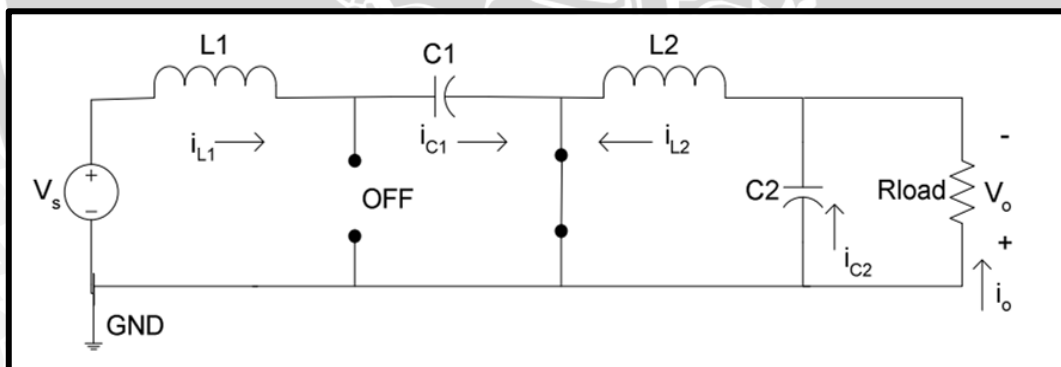
Gambar 2.7 menunjukkan rangkaian *Cuk Converter* ketika saklar menutup.



Gambar 2.7 Mode 1 rangkaian *Cuk Converter* ketika saklar menutup

Sumber: Okihiro Oi (2005:35)

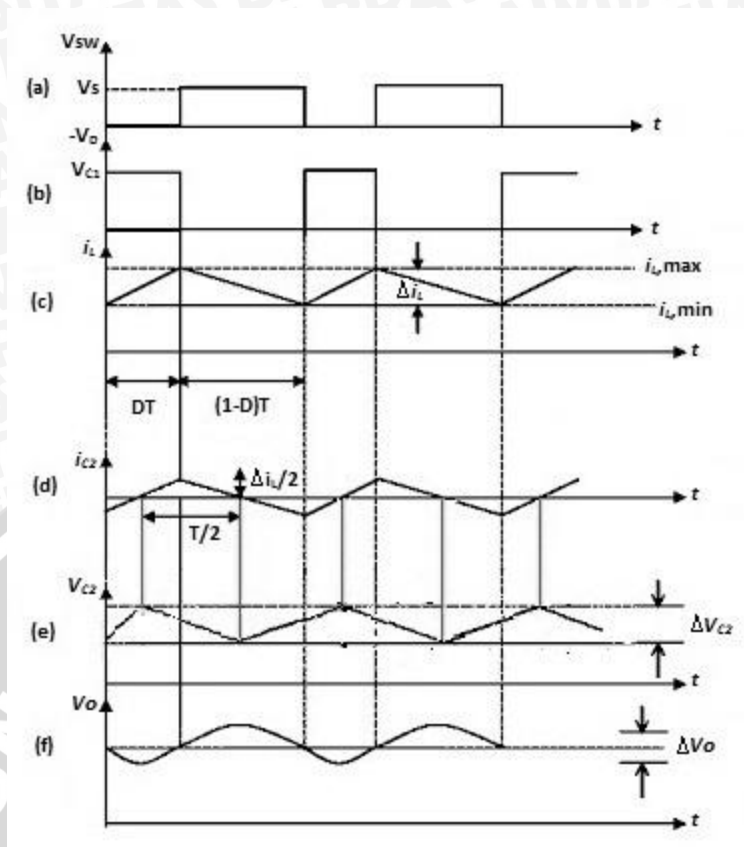
Gambar 2.8 menunjukkan rangkaian *Cuk Converter* ketika saklar membuka.



Gambar 2.8 Mode 2 rangkaian *Cuk Converter* ketika saklar membuka

Sumber: Okihiro Oi (2005:35)

Gambar 2.9 menunjukkan bentuk gelombang dari rangkaian *Cuk Converter*, saat saklar membuka dan menutup.



Gambar 2.9 Bentuk gelombang *Cuk Converter*

- (a) Tegangan saklar
- (b) Tegangan dioda
- (c) Arus induktor
- (d) Arus kapasitor (C_2)
- (e) Tegangan kapasitor (V_2)
- (f) Tegangan keluaran (V_o)

Sumber: M.H. Rashid (2001:200)

Pada saat saklar tertutup (ON) arus induktor naik secara linier pada waktu $t_1 = DT$ dan saat saklar terbuka (OFF), arus induktor turun secara linier pada waktu $t_2 = (1-D)T$.

Saklar tertutup (ON) :

$$V_s = V_{L1} = L_1 \frac{di_{L1}}{dt} = L_1 \frac{\Delta i_{L1}}{t_1}$$

$$t_1 = \frac{\Delta i_{L1} L_1}{V_s} \quad (2-1)$$

Saklar terbuka (OFF) :

$$V_{L1} = V_s - V_{c1} = L_1 \frac{di_{L1}}{dt} = L_1 \frac{\Delta i_{L1}}{t_2}$$

$$t_2 = \frac{\Delta i_{L1} L_1}{V_s - V_{c1}} \quad (2-2)$$

Dimana V_{C1} merupakan tegangan rata-rata kapasitor C_1 . Dari Persamaan (2-1) dan (2-2) didapatkan :

$$\Delta i_{L1} = \frac{V_s t_1}{L_1} = \frac{t_2(V_s - V_{C1})}{L_1}$$

$$V_{C1} = \frac{V_s(1 - 2D)}{(1 - D)} \quad (2-3)$$

Saklar tertutup (ON) :

$$V_{L2} = V_{C1} - V_o = L_2 \frac{dI_{L2}}{dt} = L_2 \frac{\Delta i_{L2}}{t_1}$$

$$t_1 = \frac{\Delta i_{L2} L_2}{V_{C1} - V_o} \quad (2-4)$$

Saklar terbuka (OFF) :

$$V_o = -V_{L2} = -L_2 \frac{dI_{L2}}{dt} = -L_2 \frac{\Delta i_{L2}}{t_2}$$

$$t_2 = -\frac{\Delta i_{L2} L_2}{V_o} \quad (2-5)$$

Dari Persamaan (2-4) dan (2-5) didapatkan :

$$\Delta i_{L2} = \frac{t_1(V_{C1} - V_o)}{L_2} = \frac{-V_o t_2}{L_2}$$

$$V_{C1} = -\frac{V_o(1 - 2D)}{D} \quad (2-6)$$

Dari Persamaan (2-3) dan (2-6) didapatkan tegangan keluaran :

$$V_o = -\frac{V_s D}{(1 - D)} \quad (2-7)$$

Dengan mengasumsi sistem ideal, daya masukan sama dengan daya keluaran :

$$P_s = P_o$$

$$V_s I_s = V_o I_o$$

$$I_s = \frac{I_o D}{(1 - D)}$$

Periode T dapat ditentukan dari Persamaan (2-1) dan (2-2) :

$$T = \frac{1}{f} = t_1 + t_2 = \frac{\Delta i_{L1} L_1}{V_s} + \frac{\Delta i_{L1} L_1}{V_s - V_{C1}}$$

Didapatkan ripple arus induktor L_1 :

$$\Delta i_{L1} = \frac{V_s D}{L_1 f} \quad (2-8)$$

Periode T dapat juga ditentukan dari Persamaan (2-4) dan (2-5) :

$$T = \frac{1}{f} = t_1 + t_2 = \frac{\Delta i_{L2} L_2}{V_{C1} - V_o} - \frac{\Delta i_{L2} L_2}{V_o}$$

Didapatkan *ripple* arus induktor L_2 :

$$\Delta i_{L2} = \frac{-V_o(1-D)}{L_2 f} = \frac{V_s D}{L_2 f} \quad (2-9)$$

Ketika saklar terbuka (OFF), kapasitor C_1 terisi muatan pada saat $t_2 = (1-D)T$, sehingga

$I_{C1} = I_s$ dan didapatkan *ripple* tegangan C_1 :

$$\begin{aligned} \Delta V_{C1} &= \frac{1}{C_1} \int_0^{t_2} I_{C1} d(t) = \frac{1}{C_1} \int_0^{t_2} I_s d(t) \\ \Delta V_{C1} &= \frac{I_s (1-D)T}{C_1} = \frac{I_s (1-D)}{C_1 f} \end{aligned} \quad (2-10)$$

Jika diasumsikan *ripple* arus beban ΔI_o diabaikan, sehingga $\Delta i_{L2} = \Delta i_{C2}$. Arus rata-rata pengisian muatan C_2 pada saat $T/2$ adalah $I_{C2} = \frac{\Delta i_{L2}}{4}$ dan *ripple* tegangan rata-rata kapasitor C_2 :

$$\begin{aligned} \Delta V_{C2} &= \frac{1}{C_2} \int_0^{T/2} I_{C2} d(t) = \frac{1}{C_2} \int_0^{T/2} \frac{\Delta i_{L2}}{4} d(t) \\ \Delta V_{C2} &= \frac{1}{C_2} \frac{\Delta i_{L2}}{4} \frac{T}{2} = \frac{\Delta i_{L2}}{8 C_2 f} \\ \Delta V_{C2} &= \frac{-V_o(1-D)}{8 C_2 L_2 f^2} = \frac{V_s D}{8 C_2 L_2 f^2} \end{aligned} \quad (2-11)$$

2.4 Metal Oxide Silicon Field Effect Transistor (MOSFET)

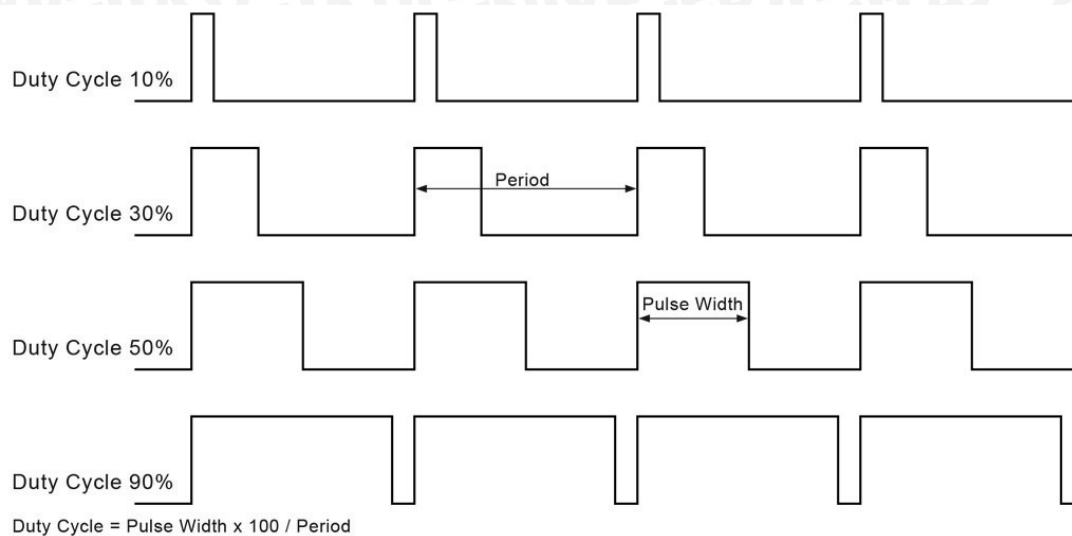
MOSFET merupakan komponen yang dikendalikan oleh tegangan dan memerlukan arus masukan yang kecil. Rating tegangan $V_{DC} < 500$ Volt dan arus $I_{DC} < 300$ Ampere.

Arus akan mengalir dari *drain* ke *source* melalui kanal (*channel*). Kanal ini mempunyai panjang (L), antara 1 – 10 μm , dan lebar (W), antara 2 – 500 μm . Divais dengan $L < 1\mu\text{m}$, biasanya dipakai pada rangkaian terintegrasi digital yang mempunyai kecepatan tinggi. MOSFET adalah devais yang simetris, artinya *source* dan *drain* dapat ditukar-tukar.

2.5 PWM (Pulse Width Modulation)

PWM merupakan sebuah mekanisme untuk membangkitkan sinyal keluaran yang periodenya berulang antara *high* dan *low*, dengan durasi *high* dan *low* dapat

dikontrol sesuai penggunaan. *Duty cycle* merupakan prosentase periode sinyal *high* dan periode sinyal, persentase *duty cycle* akan berbanding lurus dengan tegangan rata-rata yang dihasilkan. Gambar 2.10 menunjukkan sinyal PWM dengan variasi nilai *duty cycle*.



Gambar 2.10 Sinyal PWM dengan Variasi Nilai *Duty Cycle*

Sumber: <http://www.protostack.com>

Duty cycle sebuah gelombang didefinisikan sebagai :

$$D = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \quad (2-12)$$

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

$$V_{out} = D \times V_{in} \text{ sehingga : } V_{out} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times V_{in} \quad (2-13)$$

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 nilai tegangan maksimum.

PWM bekerja sebagai *switching power* suplai untuk mengontrol *on* dan *off*, dengan mengatur *duty cycle* dari sinyal PWM. Pengaturan *duty cycle* dapat menggunakan mikrokontroler ATMega8.

2.6 Mikrokontroler ATMega8

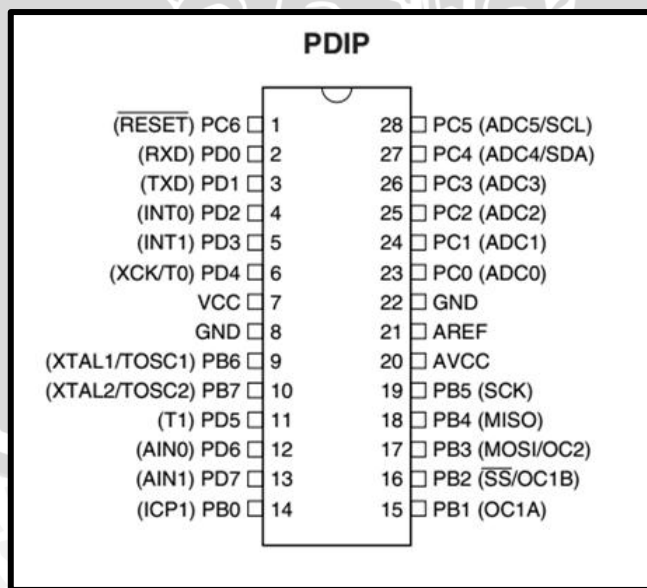
Mikrokontroler ATMega8 yang diproduksi oleh ATMEL *Company* Amerika Serikat merupakan salah satu anggota jenis AVR. IC jenis ini berorientasi pada kontrol 8 bit yang dapat diprogram ulang dengan daya rendah. Mikrokontroler ini dalam satu

siklus waktu mampu mengeksekusi instruksi hingga mencapai 1 MIPS per MHz.

Mikrokontroler ATmega8 mempunyai karakteristik utama sebagai berikut:

- a. Mikrokontroler 8 bit dengan performansi tinggi dan daya rendah.
- b. *Nonvolatile* memori program dan data.
- c. Sistem *self-programable flash* 8 kbyte.
- d. EEPROM sebesar 512 byte, dan 1 kbyte SRAM internal 23 saluran I/O dan 32 *general purpose register*.
- e. Dua timer/counter 8 bit dengan *prescaller* terpisah, satu mode pembandingan (*compare mode*).
- f. Satu timer/counter 16 bit dengan *prescaller* terpisah, mode pembandingan dan perekam (*capture*).
- g. Internal dan eksternal *interrupt*.
- h. WDT (*Watch Dog Timer*) dengan osilator internal.
- i. RTC dengan osilator terpisah.
- j. Tiga pin PWM.
- k. Enam pin ADC (*Analog to Digital Converter*) dengan ketepatan sebesar 10 bit.
- l. USART (*Universal Synchronous and Asynchronous Receiver Transmitter*).

Konfigurasi pin mikrokontroler ATmega8 ditunjukkan dalam Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Konfigurasi Pin Mikrokontroler ATmega8

Sumber: Datasheet ATMEL (2011:2)

Penjelasan masing-masing pin:

1. VCC : *Power supply*
2. GND : Ground
3. AREF : Sebagai masukan analog referensi untuk ADC
4. AVCC : *Power supply* untuk ADC
5. RESET : Merupakan pin yang digunakan untuk me-reset mikrokontroler.
6. XTAL1 : Masukan untuk *inverting* osilator *amplifier* dan masukan bagi *clock internal*
7. XTAL2 : Keluaran *inverting oscillator amplifier*.
8. PORT B : Port I/O 8 bit dua arah dan pin fungsi khusus yaitu *timer*
9. PORT C : Port I/O 7 bit dua arah dengan *pull-up* internal sekaligus sebagai masukan analog untuk ADC.
10. PORT D : Port I/O 8 bit dua arah dengan resistor *pull-up* internal yang memiliki fungsi khusus.

2.7 Baterai untuk Sel Surya

Pada instalasi listrik tenaga surya, baterai digunakan untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Baterai yang digunakan pada instalasi listrik ini adalah baterai dengan tegangan pengisian 14,1 – 14,4 volt, jika tegangan masukan melebihi 14,4 volt, maka dapat menyebabkan baterai cepat rusak dan memperpendek usia penggunaan baterai. Gambar 2.12 menunjukkan contoh baterai gel pada instalasi listrik tenaga surya.



Gambar 2.12 Struktur baterai gel pada instalasi listrik tenaga surya
Sumber: Brosur SEC (2011:1)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan penelitian yang terdapat di bab pendahuluan maka diperlukan metode untuk menyelesaikan masalah tersebut. Berikut langkah-langkah yang perlu dilakukan :

3.1 Perancangan dan Pembuatan Alat

Agar perancangan dan pembuatan alat dapat berjalan secara sistematis, maka pembuatan alat direalisasikan dalam dua bagian :

3.1.1 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Keras

Perangkat keras yang akan dirancang terdiri dari *driver* mosfet, mikrokontroler ATmega8 sebagai pengatur *Pulse Width Modulation* (PWM), regulator 5 volt sebagai sumber *driver* mosfet dan mikrokontroler, regulator 12 volt sebagai catu daya *driver* mosfet, sensor arus dan pembalik polaritas. Pembuatan rangkaian skematik dan perancangan *layout* pada PCB dari perangkat keras ini menggunakan perangkat lunak *Eagle Professional* 6.1.0.

3.1.2 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Lunak

Perangkat lunak digunakan sebagai pengendali dan pengatur kerja dari perangkat keras. Dalam perancangan perangkat lunak dibuat terlebih dahulu *flowchart* keseluruhan sistem, kemudian dilanjutkan dengan penerapan metode pengisian baterai dalam mikrokontroler ATmega8 menggunakan bahasa C dengan *compiler CodeVision AVR*.

3.2 Integrasi Sistem Pengujian

Untuk mengetahui sistem sudah bekerja sesuai dengan rencana maka dilakukan pengujian rangkaian (*hardware*) dan pengujian *software*. Pengujian rangkaian dilakukan masing-masing blok kemudian secara keseluruhan. Pengujian alat yang akan dilakukan meliputi :

a) Pengujian catu daya

Pengujian ini dilakukan untuk melihat keberhasilan komponen regulator dalam mengubah tegangan menjadi 5 volt sebagai catu daya mikrokontroler dan 12 volt sebagai catu daya *driver* mosfet.

- b) Pengujian mikrokontroler
Pengujian ini dilakukan untuk melihat keberhasilan mikrokontroler dalam mengeluarkan *Pulse Width Modulation* (PWM) yang diperlukan rangkaian.
- c) Pengujian rangkaian *driver* mosfet
Pengujian ini dilakukan untuk melihat keberhasilan *driver* mosfet dalam meneruskan PWM dari mikrokontroler menuju mosfet yang digunakan sebagai komponen pensaklaran pada rangkaian *Cuk Converter*.
- d) Pengujian rangkaian *Cuk Converter*
Pengujian ini dilakukan untuk melihat keberhasilan rangkaian bekerja menaikkan dan menurunkan tegangan.
- e) Pengujian sensor arus
Pengujian ini dilakukan untuk melihat keberhasilan sensor arus dalam membaca arus pengisian baterai.
- f) Pengujian rangkaian pembalik polaritas
Pengujian ini dilakukan untuk melihat keberhasilan rangkaian pembalik polaritas dan membaca tegangan baterai.
- g) Pengujian metode
Pengujian ini dilakukan untuk melihat keberhasilan pengisian baterai dengan mengkonstantakan arus dan ketika baterai penuh mengkonstantakan tegangan.
- h) Pengujian secara keseluruhan
Pengujian alat secara keseluruhan ini dilakukan dengan memberikan tegangan pada rangkaian *Cuk Converter* dan penerapan pengisian baterai apakah dapat menghasilkan arus dan tegangan yang diinginkan untuk mengisi baterai.

BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Pada bab ini membahas tentang perancangan dan pembuatan alat berupa *Battery Controler Unit* (BCU) untuk mengisi baterai. Perancangan sistem ini meliputi perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perancangan perangkat keras (*hardware*) meliputi perancangan *driver* mosfet, perancangan minimum sistem mikrokontroler, perancangan sensor arus dan perancangan sensor tegangan. Pembuatan rangkaian skematik dan perancangan *layout* pada PCB dari perangkat keras ini, menggunakan perangkat lunak *Eagle Professional* 6.1.0. Sedangkan perancangan perangkat lunak meliputi perancangan program pada mikrokontroler ATmega8 menggunakan bahasa C dengan compiler *CodeVision AVR* V2.05.0.

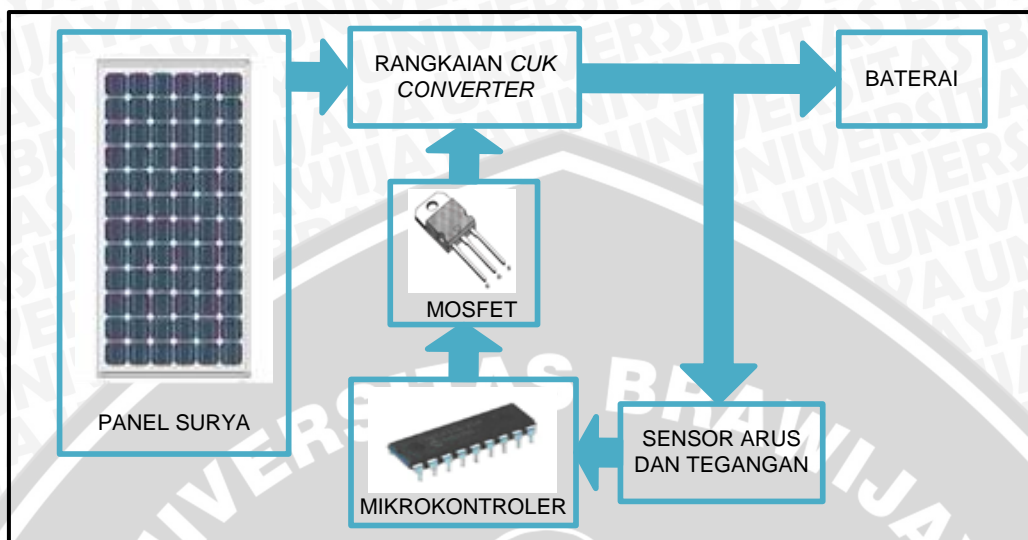
4.1 Penentuan Spesifikasi Alat

Alat yang dirancang memenuhi spesifikasi berikut :

- Alat bekerja menaikkan dan menurunkan tegangan dari panel surya.
- Panel surya yang digunakan 75 Wp.
- Untuk menaikkan atau menurunkan tegangan dari panel surya digunakan pengaturan PWM.
- Mikrokontroler ATmega8 sebagai pengatur PWM.
- Komponen pensaklaran *DC-DC Converter* menggunakan MOSFET IRFP460.
- Alat bekerja mengisi baterai aki 12 volt dengan tegangan pengisian baterai 14,1 volt sampai 14,4 volt.
- Catu daya 5 volt.

4.2 Diagram Blok Sistem

Berdasarkan spesifikasi yang telah ditentukan, maka alat dapat dirangkum dalam sebuah diagram blok seperti yang ditunjukkan Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram Blok Sistem

Penjelasan Gambar 4.1 sebagai berikut :

- Panel surya sebagai alat konversi energi matahari menjadi energi listrik.
- Sensor arus digunakan untuk mengetahui besar arus yang masuk ke baterai.
- Sensor tegangan digunakan untuk mengetahui besar tegangan baterai.
- Mikrokontroler digunakan sebagai pembangkit *Pulse Width Modulation* (PWM).
- Mosfet sebagai komponen pensaklaran pada rangkaian *Cuk Converter*.
- Cuk Converter* sebagai penaik atau penurun tegangan dari panel surya untuk mengisi baterai.
- Baterai sebagai beban dari rangkaian *Cuk Converter*.

Prinsip kerja alat ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Apabila sinar matahari mengenai panel surya, maka energi panas akan tersimpan dalam panel surya. Keluaran dari panel surya berupa tegangan dan arus.
- Arus dari panel surya akan mengalir menuju rangkaian *Cuk Converter*. Keluaran dari rangkaian *Cuk Converter* terdapat sensor arus dan tegangan.
- Sensor arus dan tegangan mensensing arus dan tegangan yang akan masuk ke baterai. Sensor arus digunakan untuk mengetahui besar arus yang menuju baterai, agar tetap konstan dengan mengubah *duty cycle*. Sensor tegangan digunakan untuk

mengetahui besar tegangan baterai ketika baterai penuh, sehingga tegangan keluaran dari rangkaian *Cuk Converter* dibuat konstan dengan mengubah *duty cycle*.

- d) Mikrokontroler akan mengubah-ubah *duty cycle* sesuai dengan kebutuhan. Apabila tegangan baterai kurang dari tegangan penuh, maka digunakan metode arus konstan, apabila telah mencapai tegangan baterai penuh, maka digunakan metode tegangan konstan.
- e) *Duty cycle* yang diatur oleh mikrokontroler akan masuk ke MOSFET sebagai pensaklaran. *Duty cycle* merupakan perbandingan antara waktu *on* (logika 1) dan periode pensaklaran.
- f) Besar *duty cycle* akan mempengaruhi rangkaian *Cuk Converter* untuk menaikkan atau menurunkan tegangan. Arus pengisian baterai akan tetap konstan dilihat dari beda potensial antara keluaran rangkaian *Cuk Converter* dengan tegangan baterai.

4.3 Pemodelan Panel Surya

Dalam perancangan *Battery Controller Unit* (BCU) dibutuhkan beberapa parameter. Parameter-parameter tersebut didapatkan dari parameter panel surya yang akan digunakan. Parameter panel surya tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Parameter Panel Surya

Parameter Panel Surya	Nilai
Maximum Power (Pmax)	75 Watt-Peak
Short Circuit Current (Isc)	4,72 Ampere
Maximum Power Current (Impp)	4,29 Ampere
Open Circuit Voltage (Voc)	21,5 Volt
Nominal Voltage (Vmpp)	17,5 Volt
Fill Factor (FF)	0,74

4.4 Perancangan Perangkat Keras

4.4.1 Perancangan *Cuk Converter*

Cuk Converter merupakan rangkaian yang dapat menaikkan atau menurunkan tegangan dari tegangan masukan sesuai dengan kebutuhan. Rangkaian *Cuk Converter* terdiri dari 2 kapasitor (C_1 dan C_2) dan 2 buah induktor (L_1 dan L_2).

4.4.1.1 Pemilihan Induktor

Ukuran induktor ditentukan dengan perubahan arus induktor tidak lebih dari 5% dari arus induktor rata-rata. Dari Persamaan (2-8) didapatkan persamaan perubahan arus induktor.

$$\Delta i_{L1} = \frac{V_s \cdot D}{L_1 \cdot f}$$

Untuk persamaan induktor L :

$$L_1 = \frac{V_s \cdot D}{\Delta i_{L1} \cdot f}$$

Arus rata-rata (I_{L1}) dari induktor L_1 adalah 4,29 A, dan ripple arus 5% dari arus yang melewati induktor L_1 (I_{L1}).

$$\Delta i_{L1} = 0,05 \cdot I_{L1} = (0,05)(4,29) = 0,2145 \text{ A}$$

$$L_1 = \frac{V_s \cdot D}{\Delta i_{L1} \cdot f} = \frac{(17,5)(0,45)}{(0,2145)(50 \times 10^3)} = 0,73 \text{ mH}$$

Untuk perhitungan induktor pada keluaran (L_2) didapat dari Persamaan (2-9) :

$$\Delta i_{L2} = 0,05 \cdot I_{L2} = (0,05)(5,00) = 0,25 \text{ A}$$

$$L_2 = \frac{V_s \cdot D}{\Delta i_{L2} \cdot f} = \frac{(17,5)(0,45)}{(0,25)(50 \times 10^3)} = 0,63 \text{ mH}$$

4.4.1.2 Pemilihan Kapasitor

Untuk mendesain kapasitor dengan *ripple* tegangan tidak lebih dari 5%.

Tegangan rata-rata yang melewati kapasitor (C_1) :

$$V_{C1} = V_s + V_o = 17,5 + 14,4 = 31,9 \text{ Volt}$$

Untuk *ripple* tegangan maksimum :

$$\Delta V_{C1} = 0,05 \times 31,9 = 1,59 \text{ Volt}$$

Untuk mencari nilai kapasitor C_1 dapat dilihat pada Persamaan (2-10).

$$\Delta V_{C1} = \frac{I_s (1 - D)}{C_1 f}$$

$$C_1 = \frac{I_s (1 - D)}{f \Delta V_{C1}}$$

$$C_1 = \frac{(4,29)(1 - 0,45)}{(50 \times 10^3)(1,59)} = 30 \mu\text{F}$$

Nilai kapasitor C_2 dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-11) *ripple* tegangan keluaran :

$$\Delta V_{C2} = \frac{V_s D}{8 C_2 L_2 f^2}$$

Persamaan mencari nilai kapasitor C_2 :

$$C_2 = \frac{V_s D}{8 L_2 \Delta V_{C2} f^2} = \frac{17,5 \times 0,45}{8 (0,63 \times 10^{-3})(0,05)(50 \times 10^3)^2} = 12,5 \mu F$$

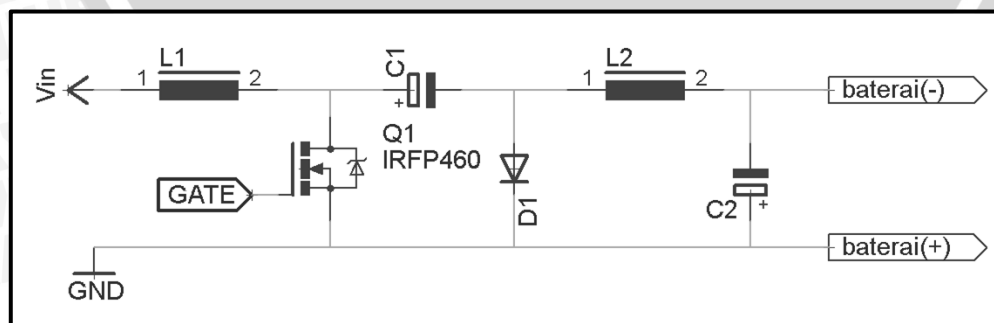
4.4.1.3 Pemilihan Dioda

Dalam pemilihan dioda dipilih dioda *Schottky* karena dioda jenis ini memiliki tegangan maju yang rendah dan memiliki *reverse recovery time* yang cepat. Pada saat kondisi dioda OFF, maka recurrent peak reverse voltage tegangan reverse (V_{RRM}) dioda sama dengan tegangan rata-rata kapasitor (C_1), yaitu $V_{C1} = V_{RRM} = 31,9$ volt. Agar aman, tegangan reverse dioda ditambah 30% menjadi 41,47 volt. Rata-rata arus maju dioda adalah penjumlahan dari arus masukan dan arus keluaran saat mosfet OFF, maka $I_D = I_{L1} + I_{L2} = 4,29 + 5 = 9,29$ ampere. Agar aman, rata-rata arus maju (I_F) dioda ditambah 30% menjadi 12,077 ampere. Untuk itu menggunakan dioda yang ada di pasaran, yaitu dioda tipe 6A05 MIC.

4.4.1.4 Pemilihan Mosfet

Mosfet daya biasanya digunakan untuk aplikasi yg mempunyai daya rendah. Tegangan mosfet mencapai 21,5 volt, dilihat dari tegangan maksimum dari panel surya. Agar lebih aman, tegangan mosfet ditambah 30% menjadi 27,95 volt. Arus puncak dari mosfet sama dengan arus maju pada dioda yaitu 12,077 ampere. Untuk itu menggunakan mosfet yang tersedia di pasaran dan sesuai dengan ketentuan di atas, yaitu mosfet tipe IRFP460 dengan nilai $I_D=20$ ampere $V_{DS}=500$ volt.

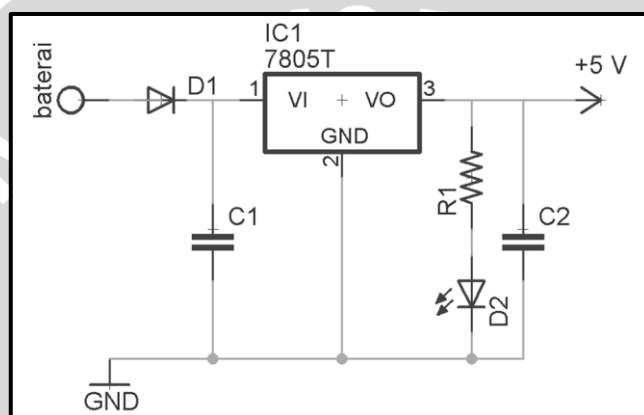
Sehingga, rangkaian lengkap *Cuk Converter* ditunjukkan pada Gambar 4.2 berikut :



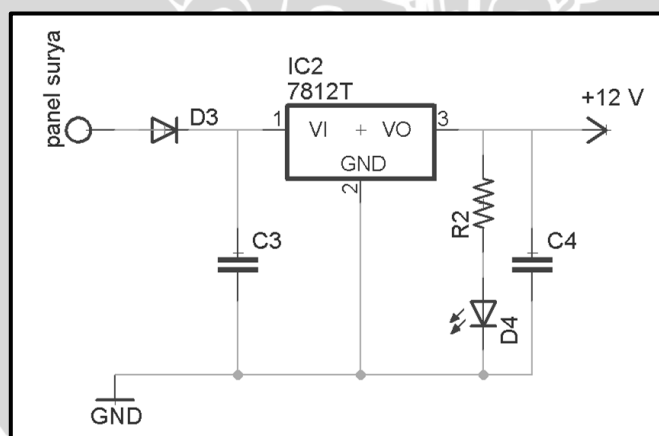
Gambar 4.2 Rangkaian *Cuk Converter*

4.4.2 Perancangan Rangkaian Catu Daya

Pada perancangan rangkaian catu daya, tegangan yang dibutuhkan diantaranya adalah 5 volt untuk mikrokontroler, 12 volt untuk rangkaian *driver switching*. Mikrokontroler ATmega8 dapat bekerja jika diberi catu tegangan antara 4,5 volt hingga 5,5 volt, sesuai dengan *datasheet* ATmega8. Catu daya 5 volt diperoleh dari baterai dan catu daya 12 volt diperoleh dari panel surya. Keluaran maksimum dari baterai sebesar 12 volt, dan keluaran maksimum dari panel surya sebesar 21,5 volt, sehingga dibutuhkan rangkaian catu daya agar keluarannya menjadi 5 volt dan 12 volt. Rangkaian catu daya 5 volt dan 12 volt ditunjukkan pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.



Gambar 4.3 Rangkaian Catu Daya 5 volt



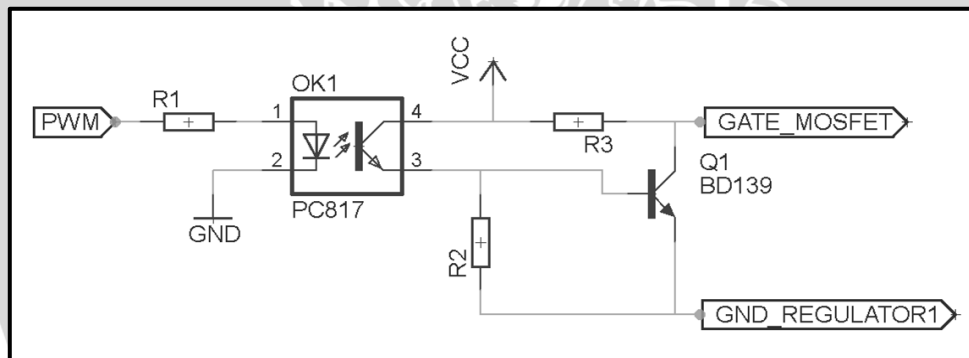
Gambar 4.4 Rangkaian Catu Daya 12 volt

Untuk tegangan DC 5 volt guna memberikan catu daya pada rangkaian mikrokontroler, maka tegangan keluaran baterai diberikan ke rangkaian *Fixed Output Regulator* LM7805. Berdasarkan *datasheet* LM7805, tegangan masukan minimum regulator LM7805 agar dapat bekerja dengan baik sebesar 7 volt dan maksimum 25 volt, sehingga tegangan keluaran dari baterai sebesar 12 volt masih dalam batas aman.

Sedangkan untuk tegangan DC 12 volt guna memberikan catu daya pada rangkaian *driver switching*, maka tegangan keluaran dari panel surya diberikan ke rangkaian *Fixed Output Regulator LM7812*. Berdasarkan *datasheet LM7812*, tegangan masukan minimum regulator 7812 agar dapat bekerja dengan baik sebesar 14,5 volt dan maksimum 30 volt, sehingga tegangan keluaran minimum dari panel surya sebesar 10 volt dan tegangan keluaran maksimum sebesar 21,5 volt.

4.4.3 Perancangan *Driver* MOSFET

Driver MOSFET digunakan untuk membangkitkan pulsa *gate* mosfet pada rangkaian *Cuk Converter* serta memisahkan tegangan 5 volt dari mikrokontroler dengan tegangan 12 volt untuk *gate* mosfet. Optocoupler yang digunakan tipe PC817 yang berfungsi sebagai pengaman mikrokontroler, jika terjadi arus balik dari rangkaian *cuk converter*. Optocoupler PC817 memiliki *time rise* dan *time fall* cukup kecil yaitu 4 μ s dan 3 μ s, sehingga dapat meneruskan sinyal dengan frekuensi tinggi. Rangkaian dari *driver* mosfet ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Perancangan Rangkaian *Driver* Mosfet

Optocoupler PC817 memiliki spesifikasi sebagai berikut :

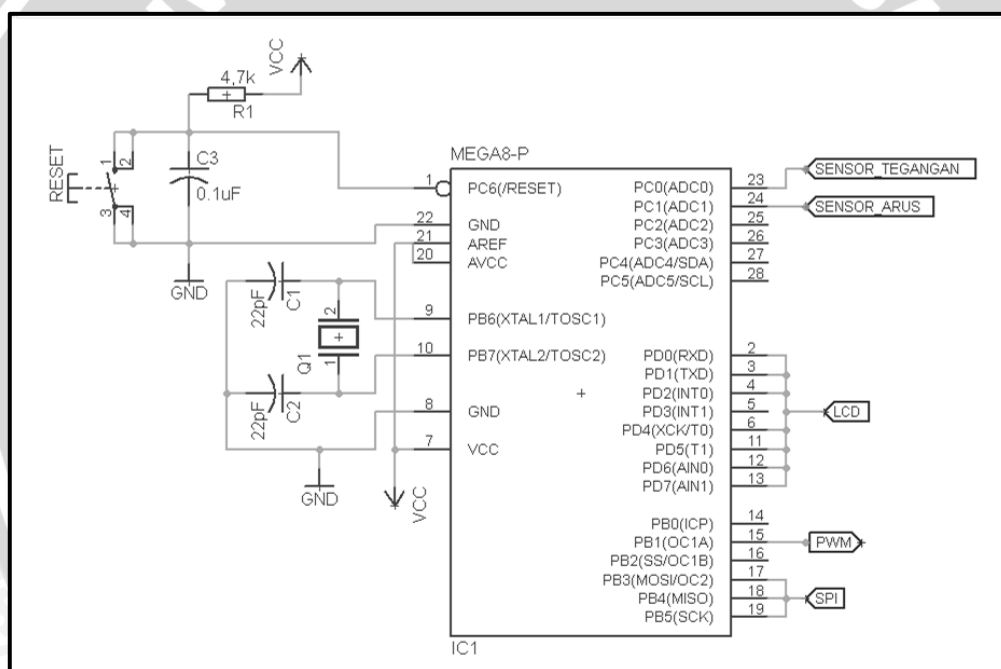
- *Time rise* = 4 μ s
- *Time fall* = 3 μ s
- I_{Fmax} = 50 mA
- V_{Fmax} = 1,4 V
- I_{Cmax} = 50 mA
- V_{CEmax} = 0,2 V

Pada *collector* optocoupler diparalel dengan resistor yang dihubungkan dengan *collector* dari transistor NPN BD139. Transistor BD139 memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- $I_{B\ max}$ = 0,5 A
- $I_{C\ max}$ = 1,5 A
- $V_{CE\ sat}$ = 0,5 V
- $h_{fe\ max}$ = 160
- $V_{BE\ sat}$ = 1 V

4.4.4 Minimum Sistem Mikrokontroler

Rangkaian mikrokontroler merupakan sistem minimum sederhana yang terdiri dari *crystal* 16 MHz untuk mengatur frekuensi *clock* pada PWM agar frekuensi yang dihasilkan lebih stabil, tombol *reset* yang digunakan untuk *me-restart* program, sehingga kembali ke program awal. Mikrokontroler yang akan digunakan dalam alat ini adalah ATmega8. Rangkaian minimum mikrokontroler ditampilkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Minimum Sistem Mikrokontroler

Mikrokontroler juga sebagai tempat penghasil PWM yang akan digunakan sebagai *switching* mosfet pada *Cuk Converter*.

Tabel 4.2 Pin yang digunakan pada mikrokontroler ATmega8

No. Pin	Nama	Keterangan Fungsi
1	RESET	Reset mikrokontroler
22	GND	Ground
7	VCC	Catu daya mikrokontroler 5 volt
17-19	PB.(3-5)	Pin SPI
15	PB.1	Pin <i>timer</i> (PWM)
2-5	PD.(0-2)	Pin LCD
6, 11-13	PD.(4-7)	Pin LCD
23	PD.0	Sensor tegangan
24	PD.1	Sensor arus

4.4.4.1 Pulse Width Modulation (PWM)

Gelombang PWM yang dihasilkan oleh mikrokontroler merupakan fitur dari 16-bit *Timer/Counter* 1 yang dioperasikan *Fast Correct PWM mode*. Frekuensi yang dibutuhkan 50.000 Hz dengan komponen *crystal* yang terpasang pada mikrokontroler sebesar 16 MHz serta menggunakan *prescaller* (N) sebesar 1, maka didapatkan nilai TOP sebesar :

$$(TOP + 1) = \frac{f_{clk}/O}{N \times f_{PWM}} \quad (4-1)$$

$$(TOP + 1) = \frac{16 \times 10^6}{1 \times 50 \times 10^3}$$

$$(TOP + 1) = 320$$

$$TOP = 319$$

Agar *duty cycle* dapat diubah dan dikeluarkan pada pin OCR1A, maka nilai TOP dimasukkan pada *register* ICR1 dan perubahan *duty cycle* dimasukkan pada *register* OCR1A. Nilai *duty cycle* dipengaruhi oleh nilai TOP. Semakin kecil nilai resolusi *duty cycle* tiap bit, maka semakin akurat nilai *duty cycle* dalam bentuk digital. Besar *range* OCR1A sama dengan nilai TOP, sehingga resolusi dari perubahan *duty cycle* setiap bit sebagai berikut :

$$Resolusi_{duty\ cycle} = \frac{100\ \%}{319} = 0,313\ \%/bit$$

Artinya dalam kenaikan 1 bit, maka nilai *duty cycle* akan naik sebesar 0,313%.

4.4.4.2 Analog to Digital Converter

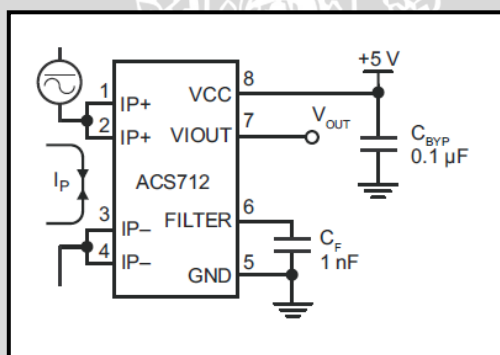
Analog to Digital Converter pada fitur mikrokontroler ATmega8 menggunakan resolusi 10-bit. Hal ini agar mendapatkan nilai yang akurat dalam pengambilan data keluaran konverter yang berupa tegangan dan arus. Nilai *range* dari keluaran sensor tegangan sebesar 0 sampai 5 volt dan untuk nilai *range* tegangan analog yang dihasilkan sensor arus sebesar 2,5 sampai 3 volt. Sehingga resolusi ADC untuk tegangan dan arus adalah sebagai berikut :

$$Resolusi_{ADC} = \frac{5}{1023} = 0,0048 \text{ volt/bit}$$

Frekuensi *clock* yang digunakan ADC sebesar 1000.000 kHz.

4.4.5 Perancangan Sensor Arus

Rangkaian sensor arus untuk membaca arus keluaran rangkaian *Cuk Converter* yang masuk ke baterai terdiri dari sensor arus.



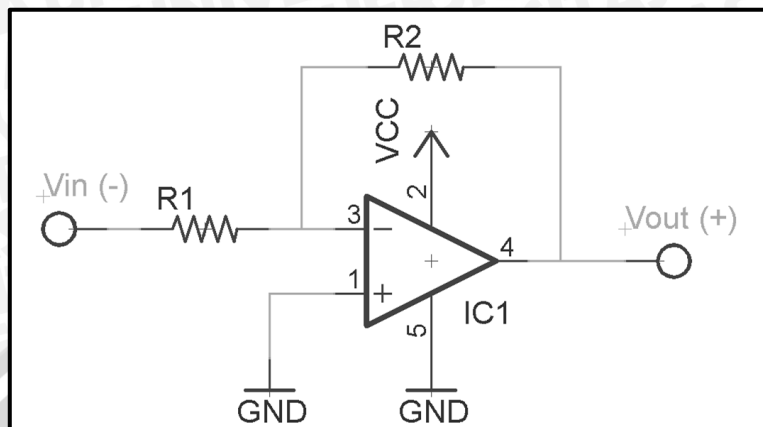
Gambar 4.7 Rangkaian Sistem Minimum Sensor Arus ACS712

Dalam pembuatan alat ini, sensor arus yang digunakan adalah sensor arus ACS712 dari *Allegro MicroSystem*. Sensor ini dapat membaca arus DC maupun arus AC dengan *range* arus dari -20 sampai 20 ampere, serta memiliki impedansi yang kecil yaitu 1,2 mΩ, sehingga *losses* dari sensor arus ini kecil. Sensor arus ini mengeluarkan tegangan dari 0-5 volt, untuk *range* arus -20 sampai dengan 20 ampere, maka saat arus bernilai 0 tegangan keluaran dari sensor adalah 2,5 volt, sedangkan saat arus bernilai 5 ampere tegangan keluaran dari sensor adalah 3 volt.

4.4.6 Perancangan Pembalik Polaritas

Rangkaian *Cuk Converter* memiliki polaritas tegangan keluaran yang terbalik dari tegangan masukannya. Sedangkan mikrokontroler tidak bisa membaca tegangan yang bernilai negatif, sehingga dibutuhkan rangkaian pembalik polaritas yang terdiri

dari *Operational Amplifier* LM311p. Tegangan keluaran maksimum dari *Cuk Converter* sebesar 14,4 volt, sehingga dibutuhkan rangkaian pembagi tegangan yang terdiri 2 buah resistor.



Gambar 4.8 Rangkaian Pembalik Polaritas

Perhitungan untuk 2 buah resistor pembagi tegangan, dapat dilihat pada Persamaan (4-2) berikut.

$$V_{out} = -\left(\frac{R2}{R1} \times V_{in}\right) \quad (4-2)$$

$$\frac{R2}{R1} = -\frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$\frac{R2}{R1} = -\frac{5}{-14,4}$$

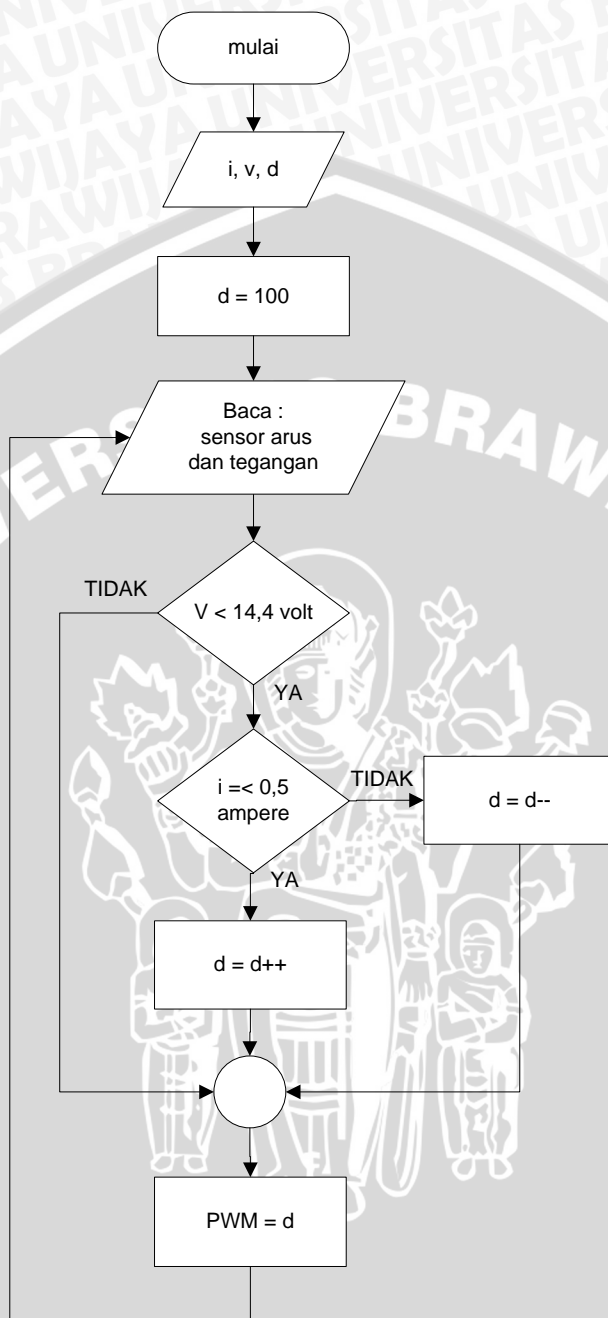
$$\frac{R2}{R1} = \frac{35}{100}$$

Jadi nilai R1 dan R2 yang dipakai untuk pembagi tegangan sebesar 100k Ω dan 35k Ω .

4.5 Perancangan Perangkat Lunak

Diagram alir pada Gambar 4.9 menjelaskan mengenai langkah-langkah yang dilakukan oleh perangkat lunak untuk mendukung pengoperasian alat. Masukan berupa arus keluaran dari rangkaian *Cuk Converter*, tegangan baterai dan nilai dari *duty cycle*. Untuk keadaan awal nilai *duty cycle* ditetapkan 100. Kemudian mikrokontroler membaca arus keluaran dari rangkaian *Cuk Converter* dan tegangan baterai. Nilai *duty cycle* akan berubah-ubah agar arus keluaran rangkaian *Cuk Converter* tetap konstan sebesar 0,5 ampere. Setelah baterai penuh, nilai *duty cycle* akan berubah sehingga

membuat tegangan keluaran dari *Cuk Converter* sesuai dengan tegangan baterai penuh sebesar 14,4 volt.



Gambar 4.9 Diagram Alir Perangkat Lunak

4.5.1 Metode Arus Konstan

Metode arus konstan merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengisi baterai agar baterai cepat penuh dengan tidak merusak baterai. Metode ini digunakan saat tegangan baterai kurang dari tegangan baterai penuh, yaitu kurang dari 14,4 volt. Pada metode ini bekerja terhadap perubahan tegangan baterai, sehingga

apabila tegangan baterai berubah-ubah, arus pengisian baterai akan tetap konstan. Namun ketika tegangan baterai mendekati tegangan penuh baterai, maka arus pengisian baterai akan berkurang sesuai dengan tegangan keluaran dari *Cuk Converter* maksimum. Saat pengisian baterai tidak hanya menggunakan metode arus konstan saja, perlu ditambah dengan metode lain.

4.5.2 Metode Tegangan Konstan

Metode tegangan konstan digunakan saat tegangan baterai penuh, yaitu 14,4 volt. Metode ini diterapkan setelah metode arus konstan. Saat tegangan baterai mencapai 14,4 volt, maka tegangan keluaran *Cuk Converter* dibuat konstan, agar proses pengisian baterai berhenti. Apabila tegangan baterai kembali berkurang, maka menerapkan metode arus konstan kembali.



BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pada bab ini membahas pengujian dan analisis alat yang telah dirancang. Pengujian dilakukan pengukuran tiap-tiap blok untuk mengetahui kerja dari tiap blok apakah sesuai dengan yang telah direncanakan. Pengujian yang dilakukan adalah :

- 1) Pengujian catu daya
- 2) Pengujian mikrokontroler
- 3) Pengujian *driver* mosfet
- 4) Pengujian rangkaian *Cuk Converter*
- 5) Pengujian sensor arus
- 6) Pengujian pembalik polaritas
- 7) Pengujian metode
- 8) Pengujian secara keseluruhan

5.1 Pengujian Catu Daya

5.1.1 Tujuan

Pengujian ini dilakukan untuk melihat apakah rangkaian catu daya bekerja sesuai dengan fungsinya. Tegangan yang dibutuhkan sebesar 5 volt untuk mencatu mikrokontroler dan 12 volt untuk mencatu *driver* mosfet.

5.1.2 Peralatan

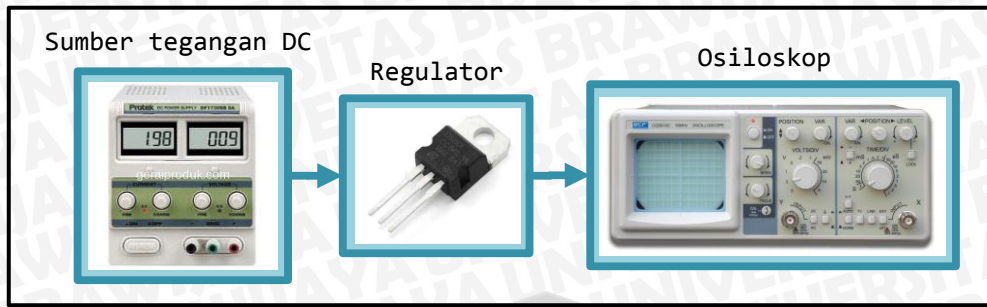
Dalam melakukan pengujian catu daya dibutuhkan beberapa peralatan berikut :

- a. Sumber tegangan DC
- b. *Regulator* LM7805 dan *regulator* LM7812
- c. Osiloskop

5.1.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian catu daya dapat dilakukan beberapa tahap, yaitu :

- a. Menyusun rangkaian yang ditunjukkan pada Gambar 5.1 berikut :

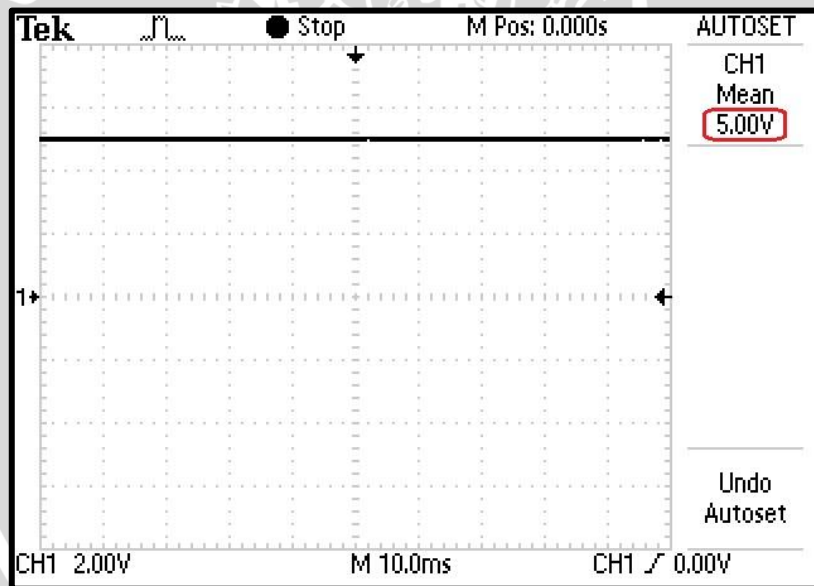


Gambar 5.1 Rangkaian Pengujian Catu Daya

- b. Memberikan tegangan pada regulator di atas 5 volt dan 12 volt.
- c. Melihat tegangan keluaran dari regulator 5 volt dan 12 volt.

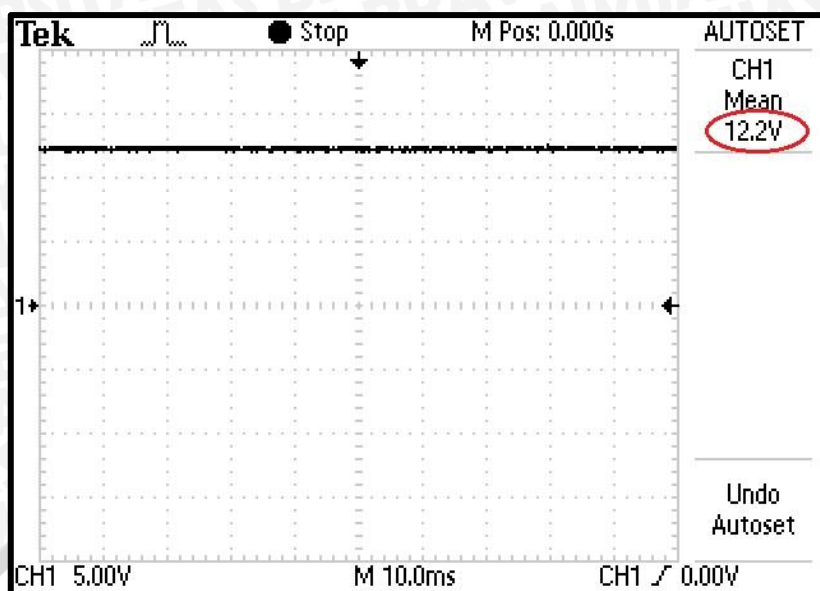
5.1.4 Hasil dan Pembahasan

Pada pengujian catu daya, melihat kerja dari regulator untuk mencatu tegangan 5 volt dan 12 volt, dengan memberikan tegangan pada regulator dengan batas tegangan minimum. Gambar 5.2 menunjukkan hasil pengujian catu daya 5 volt.



Gambar 5.2 Hasil Pengujian Catu Daya 5 volt

Dari hasil catu daya 5 volt di atas, regulator LM7805 mengeluarkan tegangan sebesar 5 volt, catu daya telah berfungsi dengan baik. Gambar 5.3 menunjukkan hasil pengujian catu daya 12 volt.



Gambar 5.3 Hasil Pengujian Catu Daya 12 volt

Pada Gambar 5.3 di atas, *regulator* LM7812 mengeluarkan tegangan sebesar 12,2 volt, *regulator* LM7812 memiliki persentase kesalahan sebesar 1,6%. Menurut *datasheet Regulator* 7812 memiliki tegangan keluaran minimum sebesar 11,5 volt dan maksimum sebesar 12,5 volt. Sehingga *regulator* LM7812 masih bisa digunakan.

5.2 Pengujian PWM Pada Mikrokontroler

5.2.1 Tujuan

Pengujian ini dilakukan untuk melihat bentuk gelombang PWM dan frekuensi yang diinginkan rangkaian *Cuk Converter*. Frekuensi yang dibutuhkan rangkaian sebesar 50kHz. Untuk melihat bentuk gelombang dan frekuensi PWM dibutuhkan osiloskop.

5.2.2 Peralatan

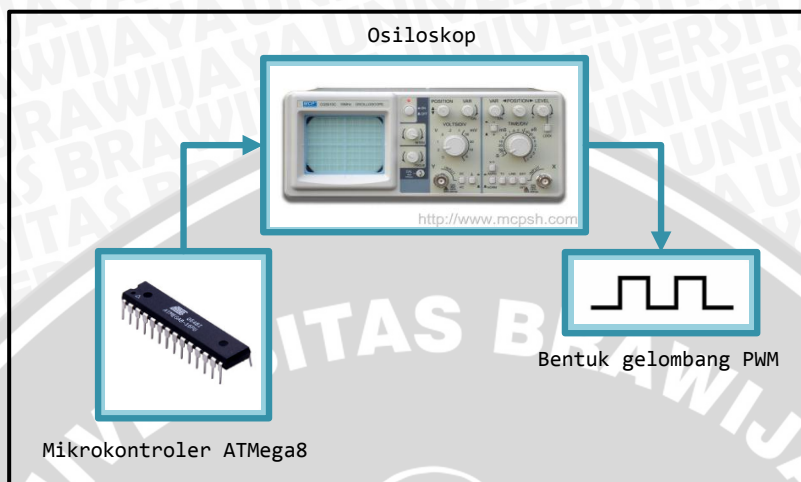
Dalam melakukan pengujian PWM pada mikrokontroler dibutuhkan beberapa peralatan berikut :

- Mikrokontroler ATmega8
- Osiloskop

5.2.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian PWM dapat dilakukan beberapa tahap, yaitu :

- Membuat perangkat lunak mikrokontroler ATmega8 yang digunakan untuk mengeluarkan PWM, dengan menggunakan program CVAVR. Kemudian program diisikan ke dalam mikrokontroler.
- Menyusun rangkaian yang ditunjukkan pada Gambar 5.4 berikut :

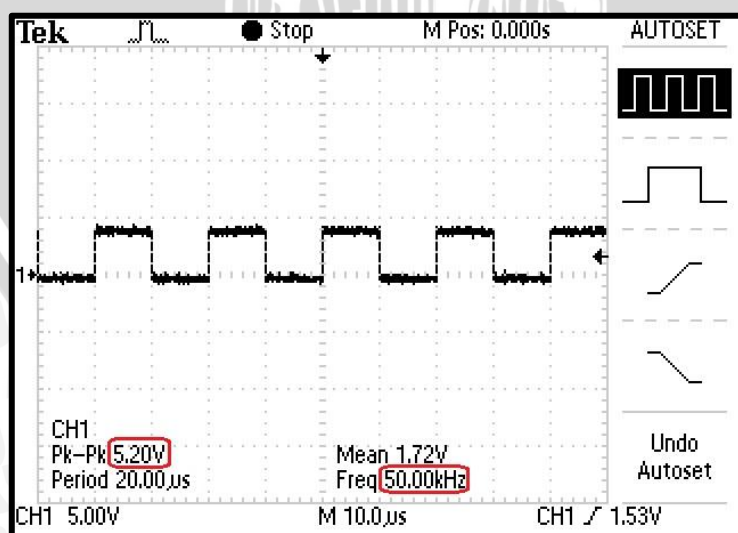


Gambar 5.4 Rangkaian Pengujian PWM dan Frekuensi Mikrokontroler ATmega8

- Menghubungkan prob osiloskop pada PIN 15 mikrokontroler dan ground.
- Melihat hasil PWM yang ditunjukkan pada osiloskop.

5.2.4 Hasil dan Pembahasan

Pada mikrokontroler di-upload dengan PWM senilai 50% dan frekuensi 50 kHz. Bentuk gelombang PWM 50% dan frekuensi 50 kHz yang dihasilkan mikrokontroler dapat ditunjukkan pada Gambar 5.5 berikut :



Gambar 5.5 Bentuk Gelombang PWM 50% dan Frekuensi 50 kHz

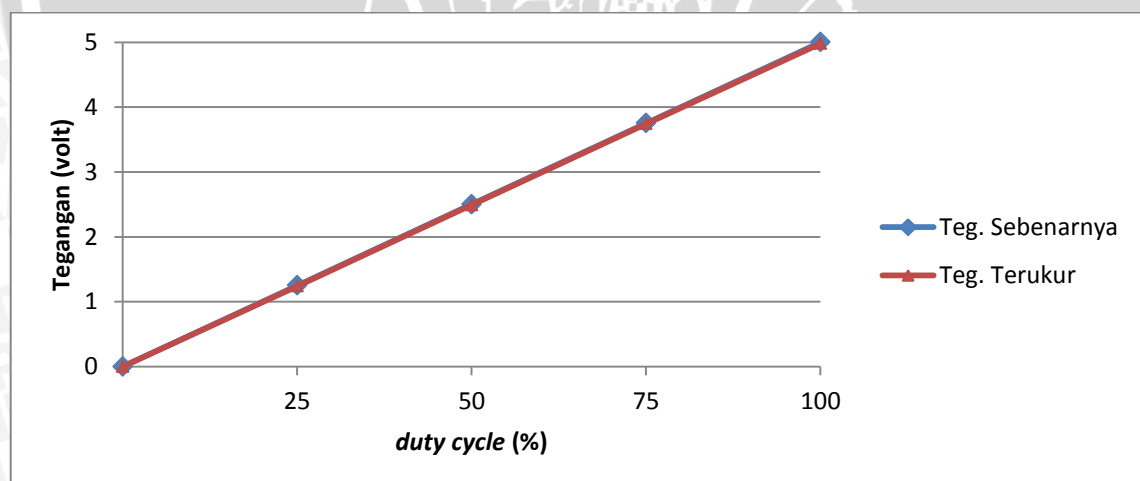
Tabel 5.1 Hasil Pengujian PWM Mikrokontroler

No.	PWM (%)	Tegangan Sebenarnya (volt)	Tegangan Terukur (volt)	Kesalahan (%)
1.	0	0	0	0
2.	25	1,25	1,24	0,8
3.	50	2,50	2,49	0,4
4.	75	3,75	3,74	0,27
5.	100	5,00	4,98	0,4

Tegangan sebenarnya didapat dari Persamaan (5-1) berikut.

$$\begin{aligned}
 V_{\text{sebenarnya}} &= V_{cc} \times PWM & (5-1) \\
 &= 5 \text{ volt} \times 50\% \\
 &= 2,50 \text{ volt}
 \end{aligned}$$

Rata-rata kesalahan PWM pada mikrokontroler sebesar 0,42%. Rata-rata kesalahan dari PWM ini disebabkan karena tegangan sumber yang kurang stabil, meskipun adanya kesalahan pembacaan, PWM pada mikrokontroler ini masih bisa digunakan. Grafik perbandingan antara tegangan yang sebenarnya dengan tegangan terukur ditunjukkan Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Grafik Perbandingan Tegangan Sebenarnya dengan Tegangan Hasil Pengukuran

5.3 Pengujian *Driver* Mosfet

5.3.1 Tujuan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah *driver* mosfet dapat meneruskan sinyal keluaran dari mikrokontroler dan sesuai dengan yang dibutuhkan rangkaian.

5.3.2 Peralatan

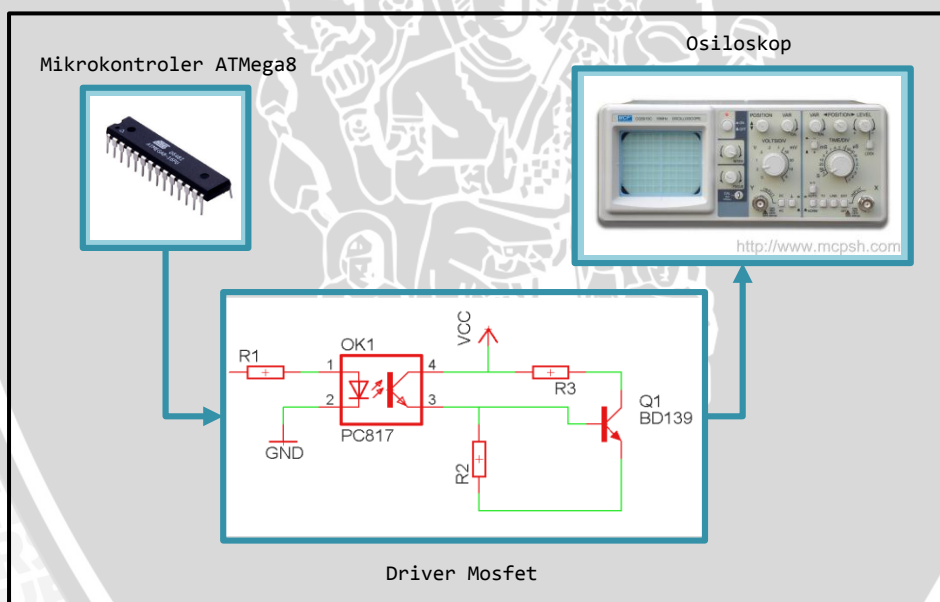
Pengujian *driver* mosfet dilakukan dengan menggunakan peralatan berikut

- Mikrokontroler ATmega8
- Optocoupler PC817
- Osiloskop

5.3.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian *driver* mosfet dilakukan beberapa tahap, yaitu :

- Menyusun rangkaian seperti Gambar 5.7 berikut :

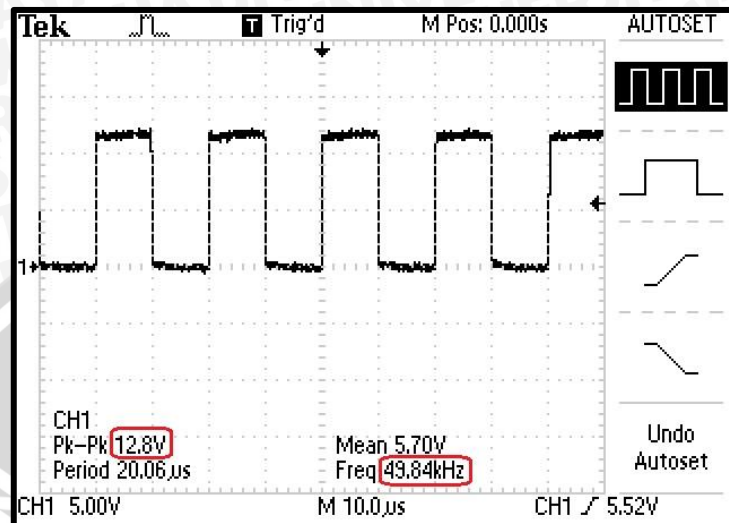


Gambar 5.7 Rangkaian Pengujian *Driver* Mosfet

- Menghubungkan PIN 15 pada mikrokontroler dengan rangkaian *driver* mosfet.
- Menghubungkan prob osiloskop pada keluaran *driver* mosfet.
- Melihat bentuk gelombang yang dihasilkan *driver* mosfet.
- Membandingkan bentuk gelombang keluaran dari mikrokontroler dan keluaran *driver* mosfet.

5.3.4 Hasil dan Pembahasan

Pengujian ini membandingkan bentuk gelombang PWM dari masukan dan keluaran dari *driver* mosfet dengan memberikan tegangan V_{CC} sebesar 12 volt. Hasil bentuk gelombang keluaran *driver* mosfet ditunjukkan pada Gambar 5.8 berikut :



Gambar 5.8 Bentuk Gelombang Keluaran *Driver* Mosfet Dengan PWM 50%

Bentuk gelombang dari rangkaian *driver* mosfet sudah sesuai dengan masukannya. Masukan dari *driver* mosfet merupakan PWM dari mikrokontroler. Kesalahan pembacaan tegangan dan frekuensi yang ditunjukkan Gambar 5.8 disebabkan ketidakstabilan dari sumber tegangan.

5.4 Pengujian Rangkaian *Cuk Converter*

5.4.1 Tujuan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah rangkaian *Cuk Converter* dapat bekerja sesuai dengan fungsinya. *Cuk Converter* bekerja menaikkan atau menurunkan tegangan dari panel surya ke beban, baterai sebagai beban dari rangkaian *Cuk Converter*. Hal ini dilakukan dengan memberikan tegangan pada rangkaian *Cuk Converter* menggunakan sumber DC. Tegangan keluaran *Cuk Converter* sesuai dengan nilai PWM yang telah di-*upload* pada mikrokontroler.

5.4.2 Peralatan

Pengujian rangkaian *Cuk Converter* dilakukan dengan menggunakan peralatan berikut :

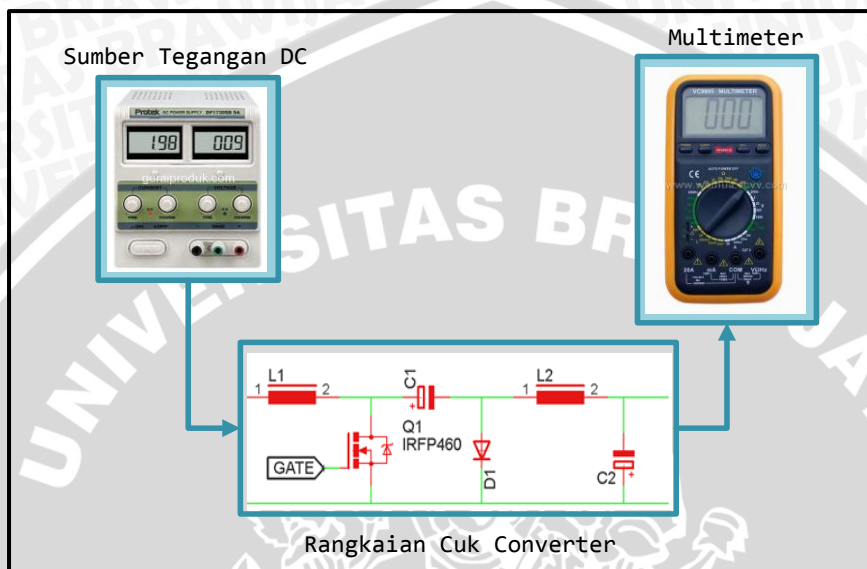
- Sumber tegangan DC

- b. Rangkaian *Cuk Converter*
- c. Multimeter digital

5.4.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian rangkaian *Cuk Converter* dilakukan beberapa tahap, yaitu :

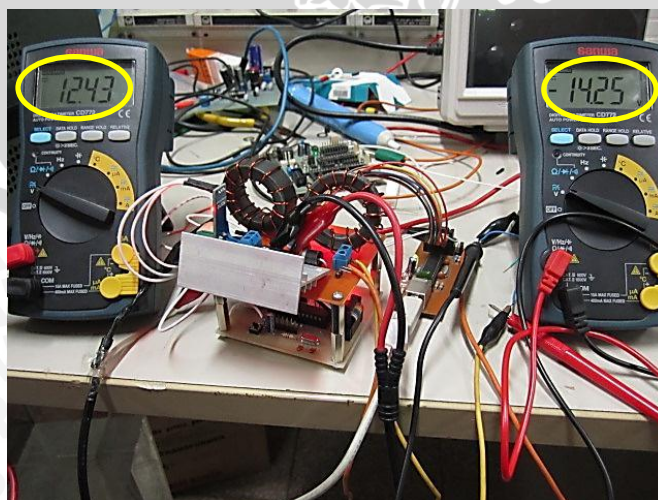
- a. Menyusun rangkaian seperti Gambar 5.9 berikut :



Gambar 5.9 Rangkaian Pengujian *Cuk Converter*

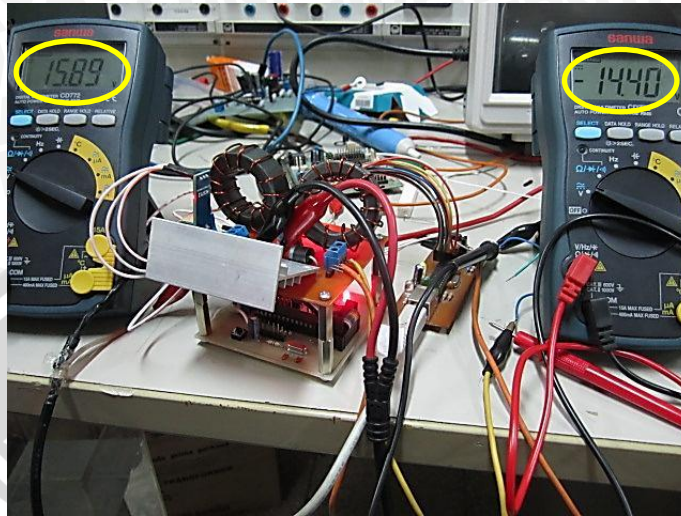
5.4.4 Hasil dan Pembahasan

Pada pengujian ini melihat kerja dari rangkaian *Cuk Converter* dalam menurunkan dan menaikkan tegangan. Pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan 12,43 volt dan 15,89 volt pada masukan *Cuk Converter*. Gambar 5.10 menunjukkan hasil pengujian rangkaian *Cuk Converter* dengan menaikkan tegangan 12,43 volt menjadi -14,25 volt.



Gambar 5.10 Hasil Pengujian Rangkaian *Cuk Converter* Menaikkan Tegangan

Pada Gambar 5.10, rangkaian *Cuk Converter* mampu menaikkan tegangan menjadi tegangan pengisian baterai. Gambar 5.11 berikut menunjukkan hasil pengujian rangkaian *Cuk Converter* dalam menurunkan tegangan masukan.



Gambar 5.11 Hasil Pengujian Rangkaian *Cuk Converter* Menurunkan Tegangan

Pada Gambar 5.11 menunjukkan bahwa rangkaian *Cuk Converter* mampu menurunkan tegangan menjadi tegangan pengisian baterai.

5.5 Pengujian Sensor Arus

5.5.1 Tujuan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah sensor arus dapat membaca arus keluaran dari rangkaian *Cuk Converter*. Hal ini dilakukan dengan memberikan arus pada sensor arus, kemudian sensor arus mengkonversi besar arus menjadi besar tegangan yang akan terbaca pada tegangan keluaran sensor arus.

5.5.2 Peralatan

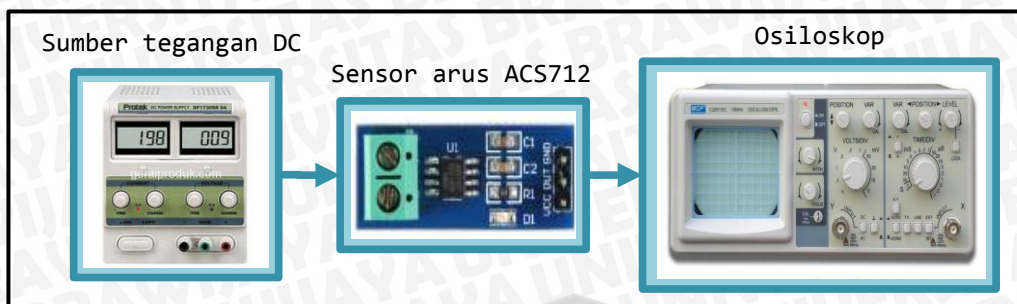
Pengujian sensor arus dilakukan dengan menggunakan peralatan berikut :

- Sumber tegangan DC
- Sensor arus ACS712
- Osiloskop

5.5.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian sensor arus dilakukan beberapa tahap, yaitu :

- Menyusun rangkaian seperti Gambar 5.12 berikut :

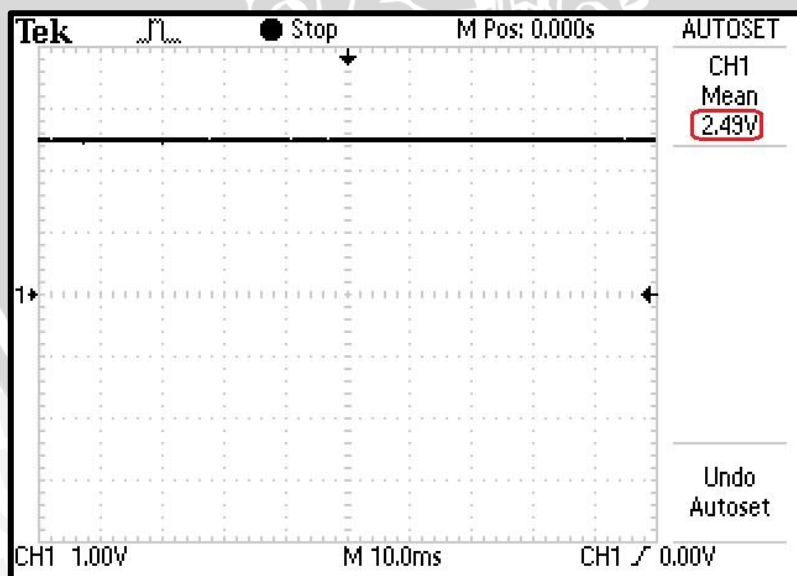


Gambar 5.12 Rangkaian Pengujian Sensor Arus

- b. Menghubungkan sumber tegangan DC dengan sensor arus
- c. Menghubungkan sensor arus pada catu daya 5 volt
- d. Memberikan tegangan pada sensor arus, hal ini juga mengalirkan arus pada sensor arus
- e. Melihat hasil konversi arus menjadi tegangan yang terbaca pada tegangan keluaran sensor arus dengan menggunakan osiloskop

5.5.4 Hasil dan Pembahasan

Pada pengujian ini membandingkan hasil pengujian dengan *datasheet* sensor arus ACS712. Untuk pengujian pertama, diberikan arus 0 ampere, maka tegangan keluaran yang terbaca pada sensor arus sebesar 2,5 volt. Berikut hasil pengujian :



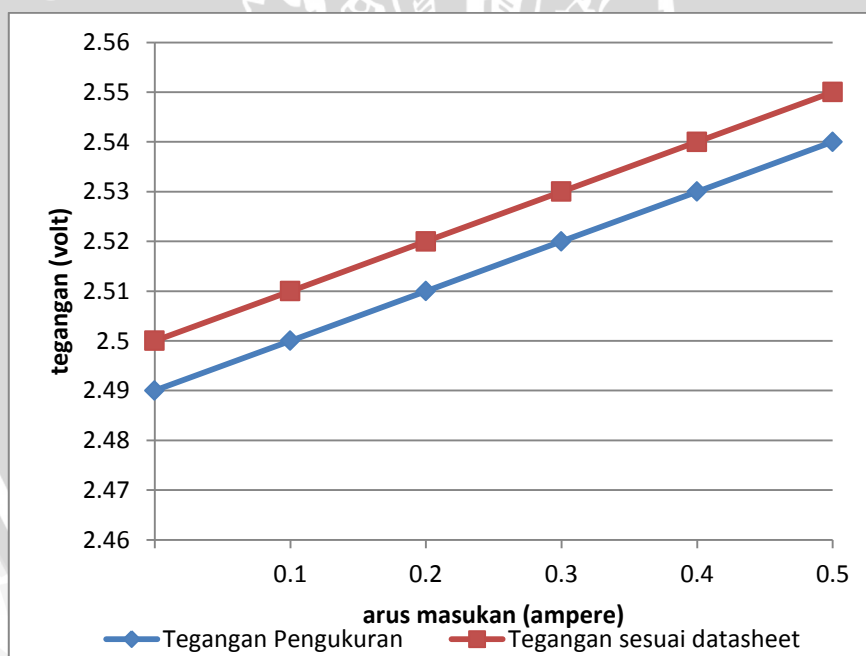
Gambar 5.13 Hasil Pengujian Sensor Arus ACS712

Tabel 5.2 menunjukkan hasil pengujian sensor arus dengan berbagai nilai arus.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Sensor Arus ACS712

No.	Arus Masukan (ampere)	Tegangan Keluaran (volt)	Tegangan Sesuai Datasheet (volt)	Kesalahan (%)
1.	0	2,49	2,50	0,4
2.	0,1	2,50	2,51	0,4
3.	0,2	2,51	2,52	0,4
4.	0,3	2,52	2,53	0,4
5.	0,4	2,53	2,54	0,4
6.	0,5	2,54	2,55	0,4

Pada Tabel 5.2 rata-rata kesalahan dari sensor arus ACS712 sebesar 0,4 %, sedangkan pada *datasheet* kesalahan pembacaan maksimum 1,5 %, sehingga sensor ini masih bisa digunakan. Kesalahan pembacaan sensor tersebut diakibatkan tegangan sumber yang kurang stabil. Grafik perbandingan tegangan hasil pengukuran dengan *datasheet*.

Gambar 5.14 Grafik Perbandingan Tegangan Hasil Pengukuran dengan *Datasheet*

5.6 Pengujian Pembalik Polaritas

5.6.1 Tujuan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah rangkaian pembalik polaritas dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Rangkaian pembalik polaritas terdiri dari *Operational Amplifier* LM308 dan rangkaian pembagi tegangan. Rangkaian pembagi

tegangan berfungsi membagi tegangan baterai, agar tegangan yang masuk ke mikrokontroler tidak melebihi dari 5 volt. Karena batas maksimum tegangan yang diizinkan mikrokontroler sebesar 5 volt.

5.6.2 Peralatan

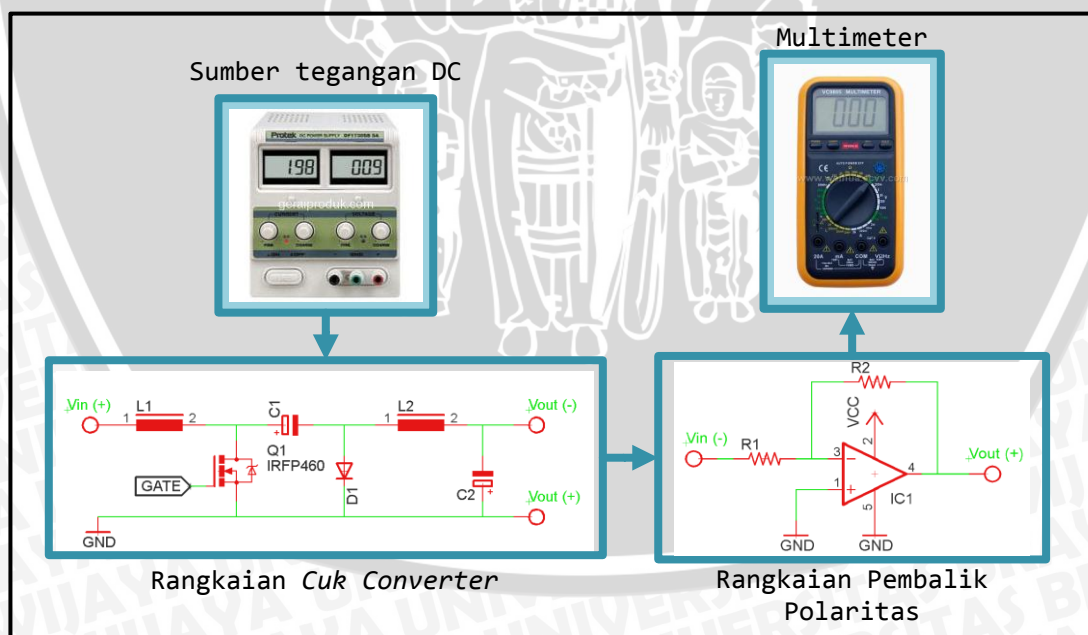
Dalam melakukan pengujian rangkaian pembalik polaritas dibutuhkan beberapa peralatan berikut :

- Sumber tegangan DC
- Rangkaian *Cuk Converter*
- Op-amp LM308
- Resistor 100k Ω
- Multiturn 50k Ω
- Osiloskop

5.6.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian rangkaian pembalik polaritas dilakukan beberapa tahap sebagai berikut :

- Menyusun rangkaian pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 5.15 berikut :



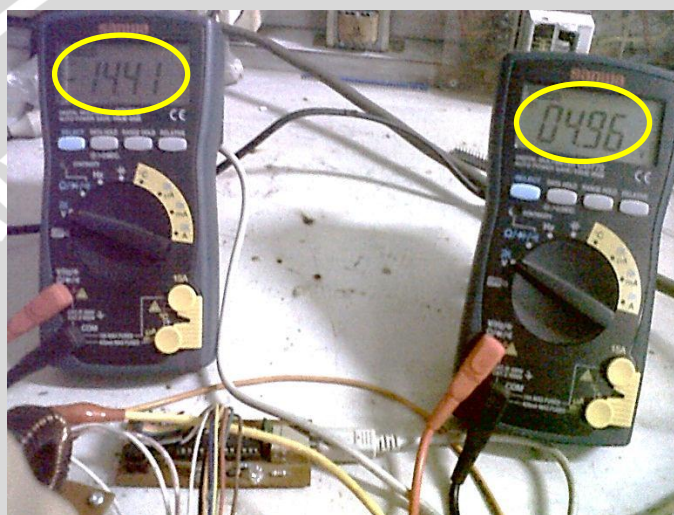
Gambar 5.15 Rangkaian Pengujian Pembalik Polaritas

- Menghubungkan sumber tegangan DC dengan rangkaian *Cuk Converter*
- Menghubungkan rangkaian *Cuk Converter* dengan rangkaian pembalik polaritas

- d. Melihat hasil dari tegangan keluaran dari rangkaian *Cuk Converter* dengan menggunakan osiloskop

5.6.4 Hasil dan Pembahasan

Pada pengujian ini melihat kerja dari rangkaian pembalik polaritas. Tegangan keluaran dari rangkaian *Cuk Converter* yang berpolaritas negatif akan terbalik polaritasnya karena adanya rangkaian pembalik polaritas, serta tegangannya akan terbagi sehingga besar tegangan yang masuk ke mikrokontroler tidak merusak mikrokontroler. Berikut adalah hasil pengujian rangkaian pembalik polaritas.



Gambar 5.16 Hasil Pengujian Rangkaian Pembalik Polaritas

Gambar 5.16 menunjukkan masukan dari rangkaian pembalik polaritas sebesar -14,41 volt dan menghasilkan tegangan sebesar +4,96 volt. Tegangan yang dihasilkan rangkaian pembalik polaritas masih di bawah batas yang diijinkan masuk mikrokontroler dan bernilai positif, sehingga dapat disimpulkan bahwa rangkaian pembalik polaritas dapat bekerja sesuai dengan yang diinginkan.

5.7 Pengujian Metode Arus Konstan

5.7.1 Tujuan

Pengujian metode arus konstan dilakukan untuk mengetahui proses pengisian baterai dengan arus konstan. Agar baterai tidak cepat rusak dengan masukan yang variabel, maka metode yang diterapkan adalah arus konstan.

5.7.2 Peralatan

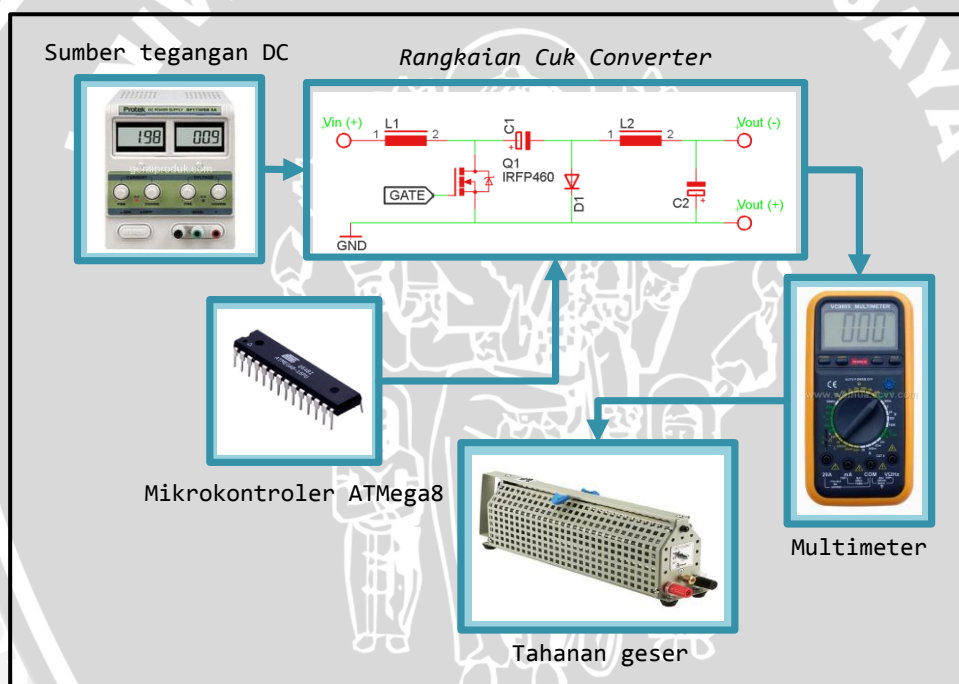
Pengujian metode arus konstan dilakukan dengan menggunakan peralatan berikut :

- Sumber tegangan DC
- Rangkaian *Cuk Converter*
- Tahanan geser
- Mikrokontroler ATmega8
- Multimeter digital

5.7.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian metode arus konstan dilakukan beberapa tahap, yaitu :

- Menyusun rangkaian seperti Gambar 5.17 berikut :



Gambar 5.17 Rangkaian Pengujian Metode Arus Konstan

- Menghubungkan sumber tegangan DC dengan rangkaian *Cuk Converter*
- Mikrokontroler ATmega8 dihubungkan ke *gate* mosfet
- Rangkaian *Cuk Converter* dihubungkan seri dengan multimeter digital
- Multimeter digital dihubungkan seri dengan beban (resistor variabel)
- Melihat arus yang masuk menuju beban

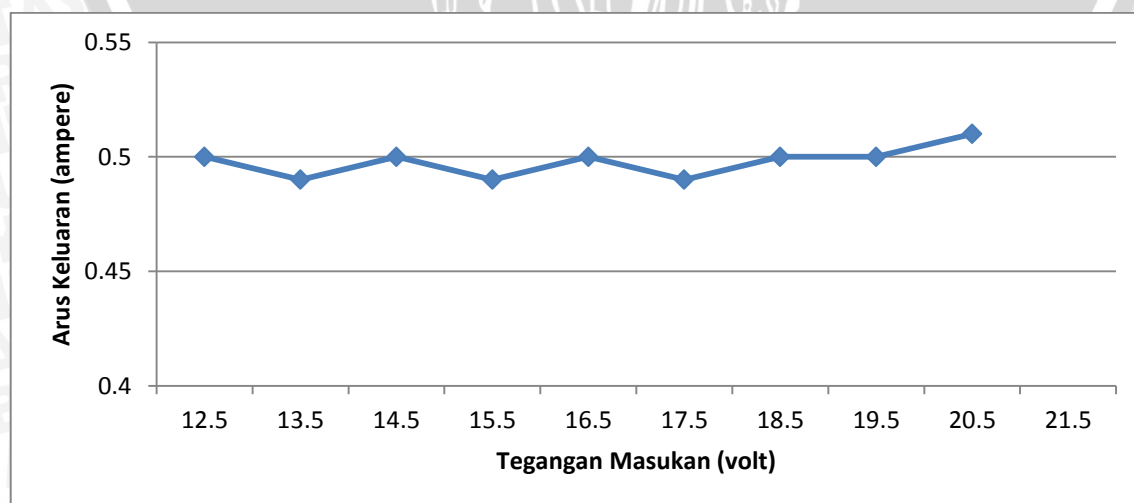
5.7.4 Hasil dan Pembahasan

Pengujian ini melihat arus yang masuk ke baterai tetap konstan sebesar 0,5 ampere dengan tegangan masukan rangkaian *Cuk Converter* yang berubah-ubah. Arus yang masuk ke baterai akan tetap konstan karena perubahan dari *duty cycle*. Tabel 5.3 hasil pengujian metode konstan.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Metode Arus Konstan

No.	Tegangan Masukan (volt)	<i>Duty cycle</i> (%)	Arus Keluaran (ampere)
1.	12,5	62,70	0,50
2.	13,5	57,37	0,49
3.	14,5	54,23	0,50
4.	15,5	52,66	0,49
5.	16,5	51,10	0,50
6.	17,5	49,84	0,49
7.	18,5	47,96	0,50
8.	19,5	46,71	0,50
9.	20,5	46,08	0,51
10.	21,5	44,51	0,50

Pada Tabel 5.3 menunjukkan bahwa arus keluaran dari rangkaian *Cuk Converter* yang akan masuk ke baterai tetap konstan dengan perubahan tegangan masukan. Arus yang masuk ke baterai tetap konstan karena perubahan dari *duty cycle*. Grafik dari metode arus konstan ditunjukkan pada Gambar 5.18 berikut.



Gambar 5.18 Grafik Metode Arus Konstan

Gambar 5.18 menunjukkan bahwa arus keluaran dari rangkaian *Cuk Converter* relatif konstan.

5.8 Pengujian Metode Tegangan Konstan

5.8.1 Tujuan

Pengujian tegangan konstan dilakukan saat baterai sudah penuh. Tegangan baterai penuh sebesar 14,4 volt, sehingga tegangan keluaran dari rangkaian *Cuk Converter* dijaga konstan 14,4 volt agar tidak ada arus yang mengalir ke baterai. Penerapan metode ini menjaga agar baterai tidak cepat rusak.

5.8.2 Peralatan

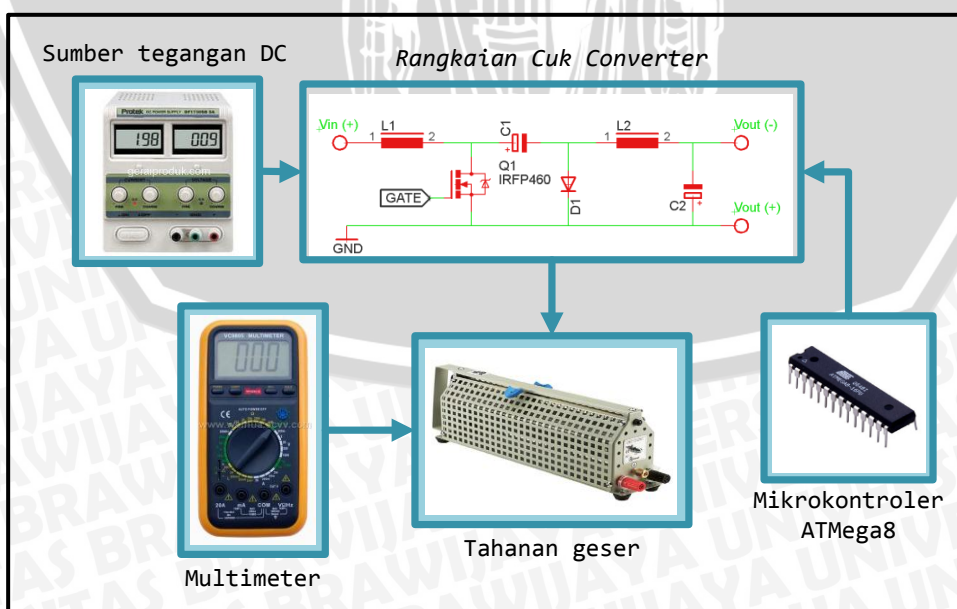
Pengujian metode tegangan konstan dilakukan dengan menggunakan peralatan berikut :

- Sumber tegangan DC
- Rangkaian *Cuk Converter*
- Tahanan geser
- Mikrokontroler ATmega8
- Multimeter digital

5.8.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian metode arus konstan dilakukan beberapa tahap, yaitu :

- Menyusun rangkaian seperti Gambar 5.19 berikut :

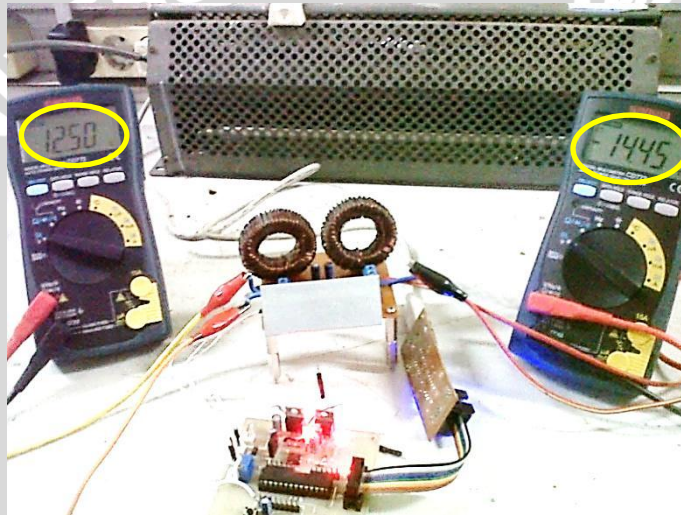


Gambar 5.19 Rangkaian Pengujian Metode Tegangan Konstan

- b. Menghubungkan sumber tegangan DC dengan rangkaian *Cuk Converter*
- c. Mikrokontroler ATmega8 dihubungkan ke *gate* mosfet
- d. Menghubungkan multimeter digital secara paralel dengan beban (resistor variabel)
- e. Melihat tegangan dari beban

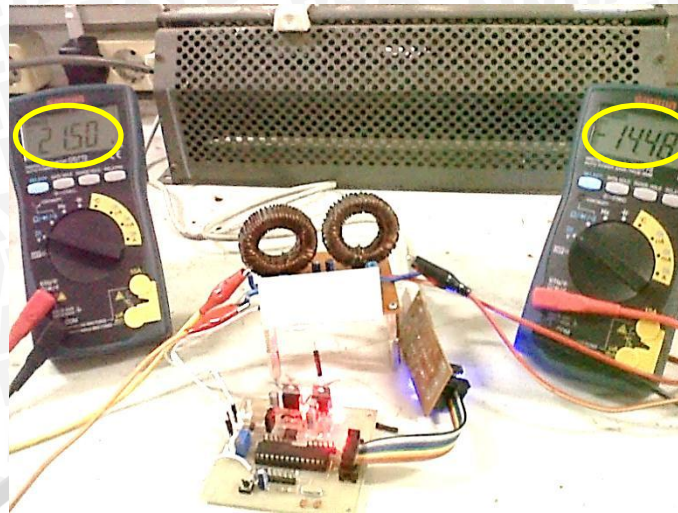
5.8.4 Hasil dan Pembahasan

Pada pengujian ini melihat kerja dari metode tegangan konstan dalam menerapkan tegangan konstan pada baterai yang sudah penuh. Pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan 12,5 sampai 21,5 volt pada masukan rangkaian *Cuk Converter* dan tegangan beban akan konstan sebesar $\pm 14,4$ volt. Gambar 5.20 menunjukkan hasil pengujian metode tegangan konstan dengan menaikkan tegangan.



Gambar 5.20 Hasil Pengujian Metode Tegangan Konstan dengan Menaikkan Tegangan

Gambar 5.21 berikut menunjukkan hasil pengujian metode tegangan konstan dengan menurunkan tegangan.



Gambar 5.21 Hasil Pengujian Metode Tegangan Konstan dengan Menurunkan Tegangan

Pada Gambar 5.20 dan Gambar 5.21, metode tegangan konstan mampu membuat keluaran dari rangkaian *Cuk Converter* tetap konstan sebesar $\pm 14,4$ volt. Tabel 5.4 di bawah ini menunjukkan data hasil pengujian metode tegangan konstan.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Metode Tegangan Konstan

Tegangan Masukan (volt)	Duty Cycle		Tegangan Keluaran (volt)	Kesalahan (%)
	Pengukuran (%)	Teori (%)		
12,5	57,25	53,62	-14,45	3,63
13,5	53,50	51,63	-14,41	1,87
14,5	51,00	49,83	-14,40	1,17
15,5	49,44	48,13	-14,38	1,31
16,5	47,88	46,65	-14,43	1,22
17,5	46,00	45,18	-14,42	0,82
18,5	44,75	43,79	-14,41	0,96
19,5	43,50	42,46	-14,39	1,04
20,5	41,94	41,24	-14,39	0,69
21,5	41,00	40,24	-14,48	0,76

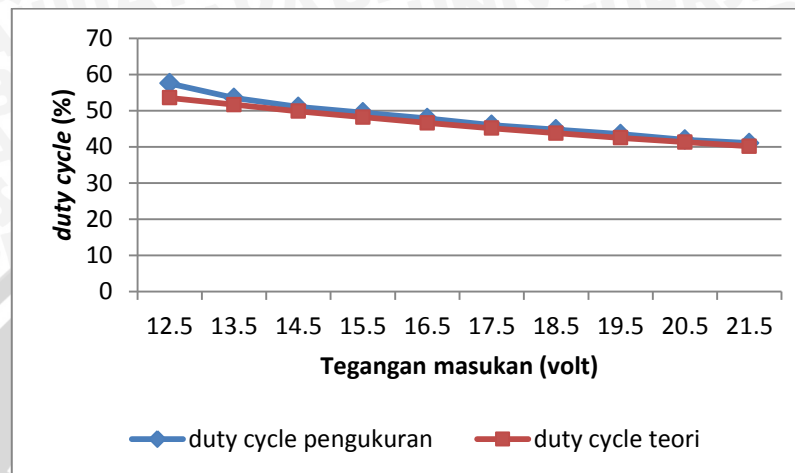
Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 5.4 menunjukkan bahwa rangkaian *Cuk Converter* memiliki kesalahan sebesar 1,35%. Nilai *duty cycle* teori dapat dihitung dengan Persamaan (5-2) berikut.

$$duty\ cycle_{teori} = \frac{V_o}{V_s + V_o} \times 100\% \quad (5-2)$$

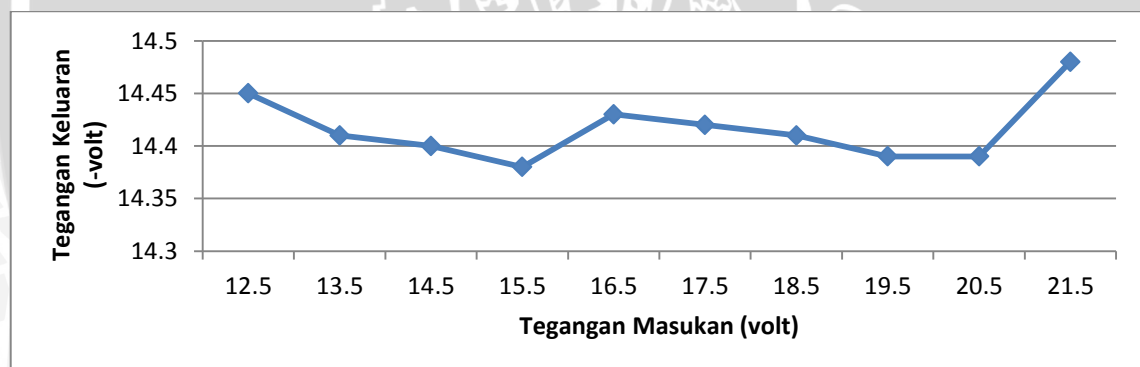
$$= \frac{14,45}{12,5 + 14,45} \times 100\%$$

$$= 53,62\%$$

Gambar 5.22 menunjukkan grafik antara *duty cycle* yang terukur dengan nilai *duty cycle* menurut teori.



Gambar 5.22 Grafik *Duty Cycle* Menurut Pengukuran dan Teori



Gambar 5.23 Grafik Metode Tegangan Konstan

Gambar 5.23 menunjukkan bahwa tegangan keluaran dari rangkaian *Cuk Converter* relatif konstan.

5.9 Pengujian Keseluruhan Sistem

5.9.1 Tujuan

Metode pengujian alat secara keseluruhan ini untuk melihat keberhasilan dari tiap blok yang disusun menjadi satu sistem. Sistem akan berhasil jika dapat menerapkan metode arus konstan dan tegangan konstan untuk mengisi baterai.

5.9.2 Peralatan

Pengujian alat secara keseluruhan dilakukan dengan peralatan:

- Alat yang telah selesai dirancang
- Sumber DC 9 volt.
- Mutimeter digital.
- Resistor variabel (beban).

5.9.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian yang digunakan adalah dengan merangkai semua sub sistem sesuai dengan diagram blok alat dalam perancangan. Pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan yang berubah-ubah pada rangkaian *Cuk Converter*, kemudian akan terukur tegangan dan arus yang melalui beban, untuk melihat nilai dari *duty cycle* dipasang LCD agar lebih mudah dalam pengambilan data.

5.9.4 Hasil dan Pembahasan

Data hasil pengujian sistem keseluruhan terhadap beberapa nilai tegangan masukan ditunjukkan Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Data Hasil Pengujian Sistem

Tegangan Masukan (volt)	Arus Masukan (ampere)	Duty cycle (%)	Tegangan Keluaran (volt)	Arus Keluaran (ampere)	Metode yang Digunakan	
					Arus konstan	Tegangan konstan
12,5	1,47	62,78	11,20	0,51	X	
13,5	1,45	57,61	11,28	0,50	X	
14,5	1,42	52,69	11,55	0,48	X	X
15,5	1,21	49,59	12,89	0,25		X
16,5	1,09	47,53	13,56	0,14		X
17,5	1,06	45,99	13,80	0,10		X
18,5	1,02	44,67	13,98	0,07		X
19,5	1,00	43,23	14,04	0,06		X
20,5	1,00	42,09	14,13	0,05		X
21,5	1,00	40,87	14,15	0,04		X

Tabel 5.5 menunjukkan bahwa alat dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan yang diharapkan dalam perancangan. Pada saat tegangan baterai di bawah 14,4 volt, metode yang dipakai adalah metode arus konstan, apabila baterai sudah mendekati tegangan penuh, maka metode yang digunakan adalah metode tegangan konstan. Hal ini dimaksudkan agar baterai dapat terisi dengan efektif dan efisien serta dapat merawat baterai agar tidak cepat rusak.

Pada Tabel 5.6 menunjukkan perbandingan antara spesifikasi BCU menggunakan topologi *Cuk Converter* dengan BCU konvensional menggunakan topologi *Buck Converter*.

Tabel 5.6 Perbandingan BCU *Cuk Converter* dengan BCU *Buck Converter*

	BCU <i>Cuk Converter</i>	BCU <i>Buck Converter</i>
<i>Nominal Voltage</i>	12 Volt	12 Volt
<i>Low Voltage Disconnection</i>	11,5 Volt	11 Volt
<i>Max. Solar Panel Current</i>	5 A	10 A
<i>Max. Load Current</i>	5 A	10 A
<i>Self Consumption</i>	35 mA	8 mA
<i>Regulator</i>	5 Volt dan 12 Volt	6 Volt dan 9 Volt
<i>Reverse Polarity</i>	Ya	Ya
<i>Short Circuit Protection</i>	Ya	Ya
<i>Filter</i>	Ya	Tidak
<i>Display</i>	LCD	LED

Dari Tabel 5.6 dapat disimpulkan bahwa terdapat kelebihan dan kekurangan dari masing-masing BCU. BCU *Cuk Converter* memiliki kelebihan pada *display*, karena sudah menggunakan LCD, sehingga lebih mudah mengidentifikasi persentase baterai penuh, selain itu BCU *Cuk Converter* sudah memiliki *filter*. Kekurangan BCU *Cuk Converter* pada *self consumption* yang lebih besar konsumsi arusnya dibanding BCU *Buck Converter*. Kelebihan BCU *Buck Converter* yaitu *self consumption* yang lebih kecil. Sedangkan untuk kekurangannya pada *display* masih menggunakan LED dan BCU *Buck Converter* tidak memiliki *filter*.

BAB VI PENUTUP

Setelah melakukan perencanaan dan pembuatan alat serta pengujian dan analisa, maka dapat ditarik kesimpulan dan saran dari kegiatan yang telah dilakukan.

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis perancangan *Battery Control Unit* (BCU) dengan menggunakan topologi *Cuk Converter* pada instalasi listrik tenaga surya ini dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu:

- Komponen pensaklaran menggunakan mosfet daya dengan nilai *duty cycle* yang berubah-ubah. Mikrokontroler ATmega8 digunakan sebagai pengatur *duty cycle* yang dibutuhkan rangkaian *Cuk Converter* dalam menaikkan atau menurunkan tegangan keluaran.
- Battery Control Unit* (BCU) menggunakan topologi *Cuk Converter* mampu menaikkan dan menurunkan tegangan. Rangkaian *Cuk Converter* yang digunakan dalam sistem memiliki persentase kesalahan sebesar 1,35 %. Hal ini disebabkan karena pemilihan komponen yang kurang tepat. Namun, rangkaian *Cuk Converter* masih dapat berfungsi dengan baik, karena memiliki persentase kesalahan yang relatif kecil.
- Metode yang digunakan dalam sistem ini menggunakan metode arus konstan saat tegangan baterai di bawah tegangan baterai penuh, dan menggunakan metode tegangan konstan saat tegangan baterai mencapai tegangan baterai penuh.

6.2 Saran

Pemilihan komponen dan metode pengisian baterai dalam merancang *Battery Control Unit* (BCU) sangatlah perlu diperhatikan, oleh karena itu beberapa saran dalam skripsi ini antara lain :

- Pemilihan dan pembuatan induktor sebaiknya menggunakan alat yang canggih dan diperlukan tes frekuensi agar dapat memperkecil persentase kesalahan.
- Memperbaiki metode yang digunakan, sehingga daya yang didapat dari energi matahari tidak banyak terbuang.

DAFTAR PUSTAKA

- Allegromicro. 2006. ACS712, *Fully Integrated, Half Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*. Massachusetts : Allegromicro.
- Atmel. 2011. *8-bit AVR with 8KBytes In-System Programmable Flash ATmega8A*. <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/atmel/2486S.pdf>. Diakses tanggal 13 September 2012.
- Darmawan, Dianggoro. 2009. *Perancangan Maximum Power Point Tracker (MPPT) Untuk Panel Surya Menggunakan Konverter Cuk Dengan Metode Hill Climbing*. Skripsi tidak dipublikasikan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- European Photovoltaic Industry Assosiation. 2011. *Solar Generation 6: Solar Photovoltaic Electricity Empowering The World*. Belgia: EPIA
- Melati. 2011. *Panel Surya: Prinsip Kerja Solar Cell (Panel Surya)*. <http://panel-surya.blogspot.com>. Diakses tanggal 23 Maret 2013.
- Oi, Akihiro. 2005. *Design And Simulation Of Photovoltaic Water Pumping System*. Tesis tidak dipublikasikan. San Luis Obispo: California Politechnic State University.
- Pamungkas, Agung Tri. 2012. *Energi Surya*. <http://kontens-listrik.blogspot.com>. Diakses tanggal 19 April 2013.
- Rashid, Muhammad H. 2001. *Power Electronics Circuits, Devices and Applications*. New Jersey: Prentice-Hall International
- SEC. 2009. *Material Safety Data Sheet Valve Regulated Lead Acid Battery*. China: SEC
- Sharp. 1998. *PC817 Series*. www.datasheetcatalog.com. Diakses tanggal 24 Juli 2012.
- STMicroelectronics. 1998. *PowerMESH™ MOSFET*. www.datasheetcatalog.com. Diakses tanggal 24 Juli 2012.
- Sugiarto, I. & Lauw Lim Un Tung. *Smart Charger NiCd Dan NiMh Dengan Teknik Pengisian Pulsa*. Makalah dalam Auditorium Universitas Gunadarma. KOMMIT2004. Jakarta, 24-25 Agustus 2004.
- www.lampusurya.com. 2003. *Panel Surya*. Diakses tanggal 13 September 2012.
- www.protostack.com. 2000. *PWM*. Diakses tanggal 13 September 2012.
- www.solarpanelindonesia.wordpress.com. 2002. *Photovoltaic Charge Controller*. Diakses tanggal 19 April 2013.

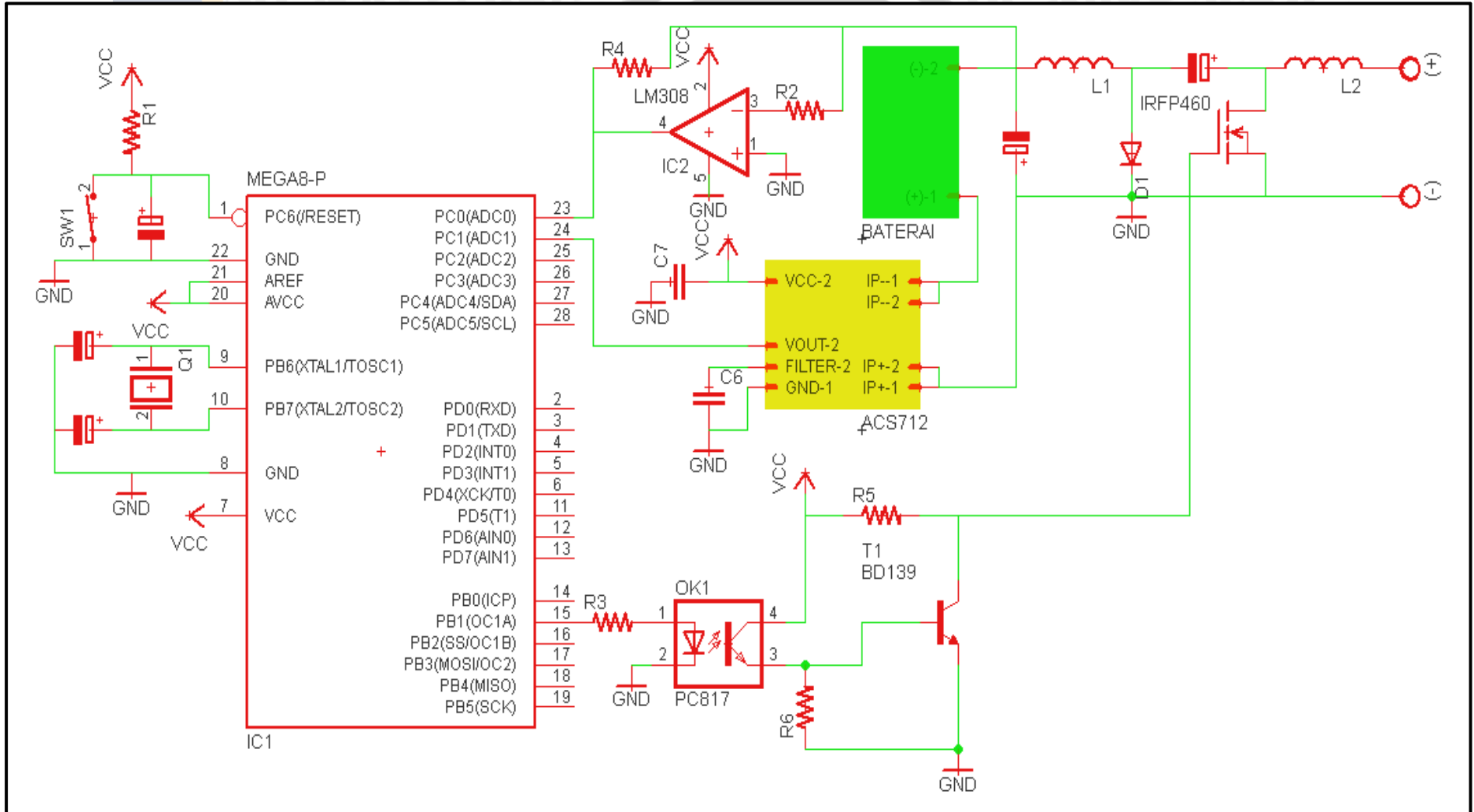
LAMPIRAN



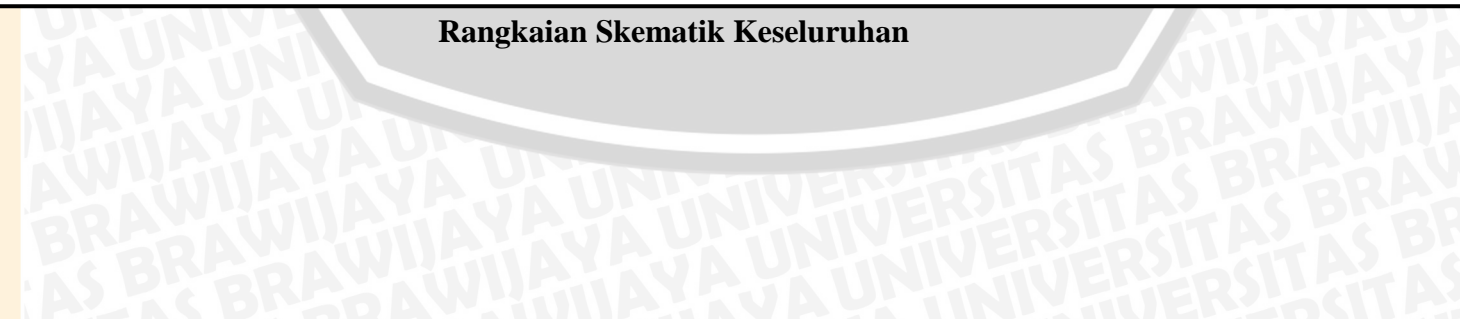
LAMPIRAN I

GAMBAR RANGKAIAN





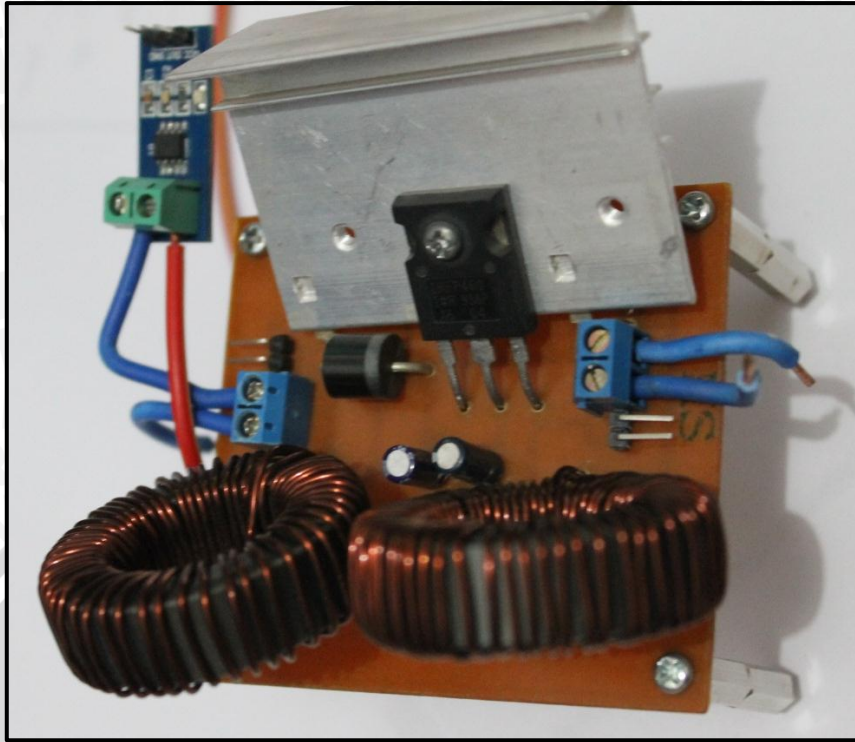
Rangkaian Skematik Keseluruhan



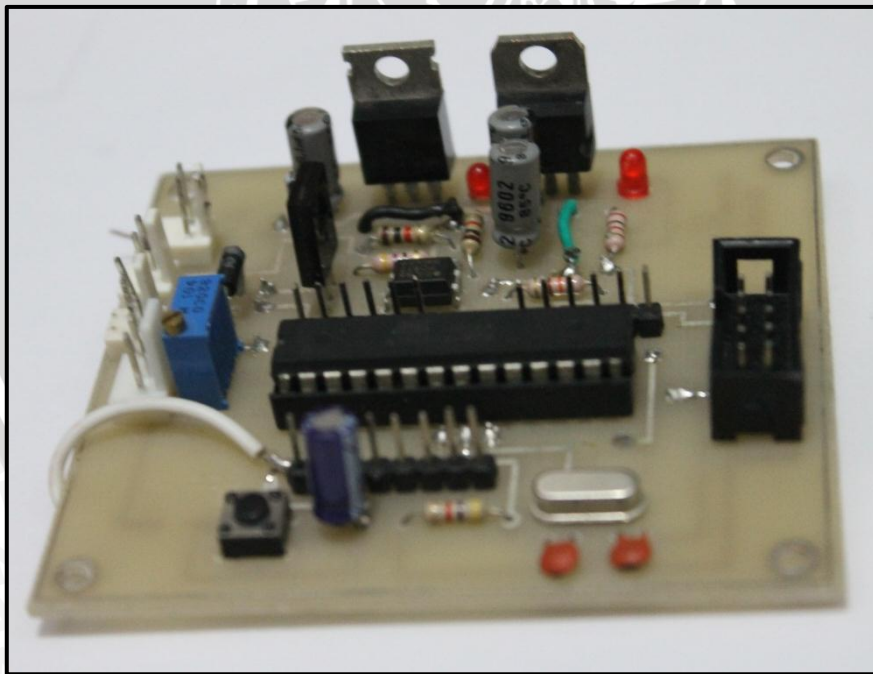
LAMPIRAN II

FOTO ALAT





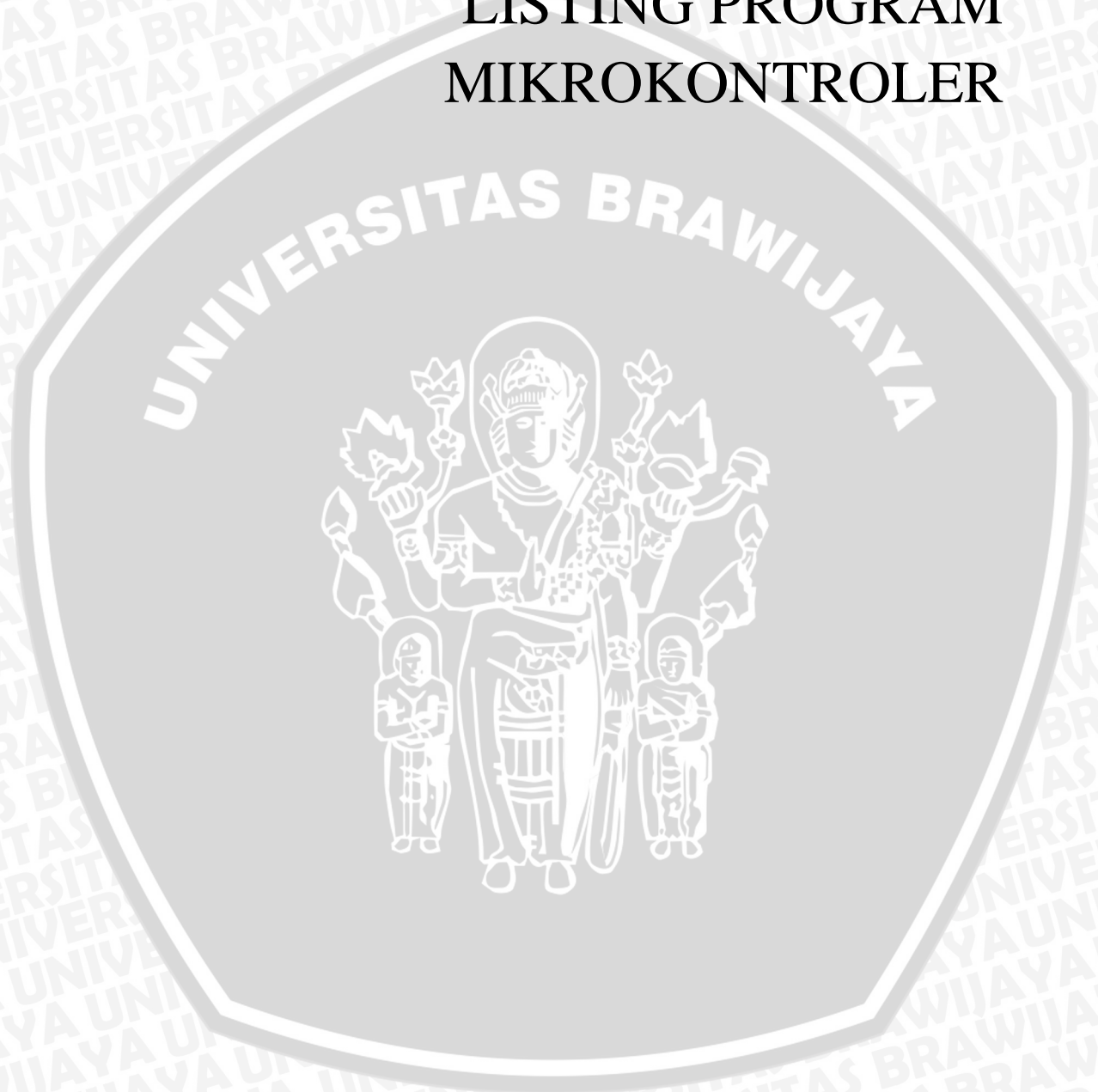
Rangkaian Cuk Converter



Rangkaian Pendukung Cuk Converter

LAMPIRAN III

LISTING PROGRAM MIKROKONTROLER




```
/*  
This program was produced by the  
CodeWizardAVR V2.05.0 Professional  
Automatic Program Generator  
© Copyright 1998-2010 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.  
http://www.hpinfotech.com
```

```
Project :  
Version :  
Date : 5/28/2013  
Author : NeVaDa  
Company :  
Comments:
```

```
Chip type : ATmega8  
Program type : Application  
AVR Core Clock frequency: 16.000000 MHz  
Memory model : Small  
External RAM size : 0  
Data Stack size : 256
```

```
*****/  
#include <mega8.h>  
#include <stdio.h>  
#include <delay.h>
```

```
// Alphanumeric LCD Module functions  
#include <alcd.h>
```

```
#define ADC_VREF_TYPE 0x40
```

```
// Read the AD conversion result  
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)  
{  
ADMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE & 0xff);  
// Delay needed for the stabilization of the ADC input  
voltage
```

```
delay_us(10);  
// Start the AD conversion  
ADCSRA|=0x40;  
// Wait for the AD conversion to complete  
while ((ADCSRA & 0x10)==0);  
ADCSRA|=0x10;  
return ADCW;  
}
```

```
// Declare your global variables here  
int d,a;  
char buff[33];
```

```
void main(void)
```

```
{  
// Declare your local variables here  
// Input/Output Ports initialization  
// Port B initialization  
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In  
Func2=In Func1=Out Func0=In  
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T  
State2=T State1=0 State0=T
```

```
PORTB=0x00;  
DDRB=0x02;
```

```
// Port C initialization  
// Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In  
Func1=In Func0=In  
// State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T  
State1=T State0=T
```

```
PORTC=0x00;  
DDRC=0x00;
```

```
// Port D initialization  
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In  
Func2=In Func1=In Func0=In
```

```
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T
State2=T State1=T State0=T
PORTD=0x00;
DDRD=0x00;

// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 0 Stopped
TCCR0=0x00;
TCNT0=0x00;

// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: 16000.000 kHz
// Mode: Fast PWM top=ICR1
// OC1A output: Inverted
// OC1B output: Discon.
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer1 Overflow Interrupt: Off
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: Off
// Compare B Match Interrupt: Off
TCCR1A=0xC2;
TCCR1B=0x19;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x01;
ICR1L=0x40;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;

// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer2 Stopped

// Mode: Normal top=0xFF
// OC2 output: Disconnected
ASSR=0x00;
TCCR2=0x00;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;

// External Interrupt(s) initialization
// INT0: Off
// INT1: Off
MCUCR=0x00;

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x00;

// USART initialization
// USART disabled
UCSRB=0x00;

// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1:
Off
ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;

// ADC initialization
// ADC Clock frequency: 1000.000 kHz
// ADC Voltage Reference: AVCC pin
ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
ADCSRA=0x84;

// SPI initialization
// SPI disabled
SPCR=0x00;

// TWI initialization
```

```
// TWI disabled
TWCR=0x00;

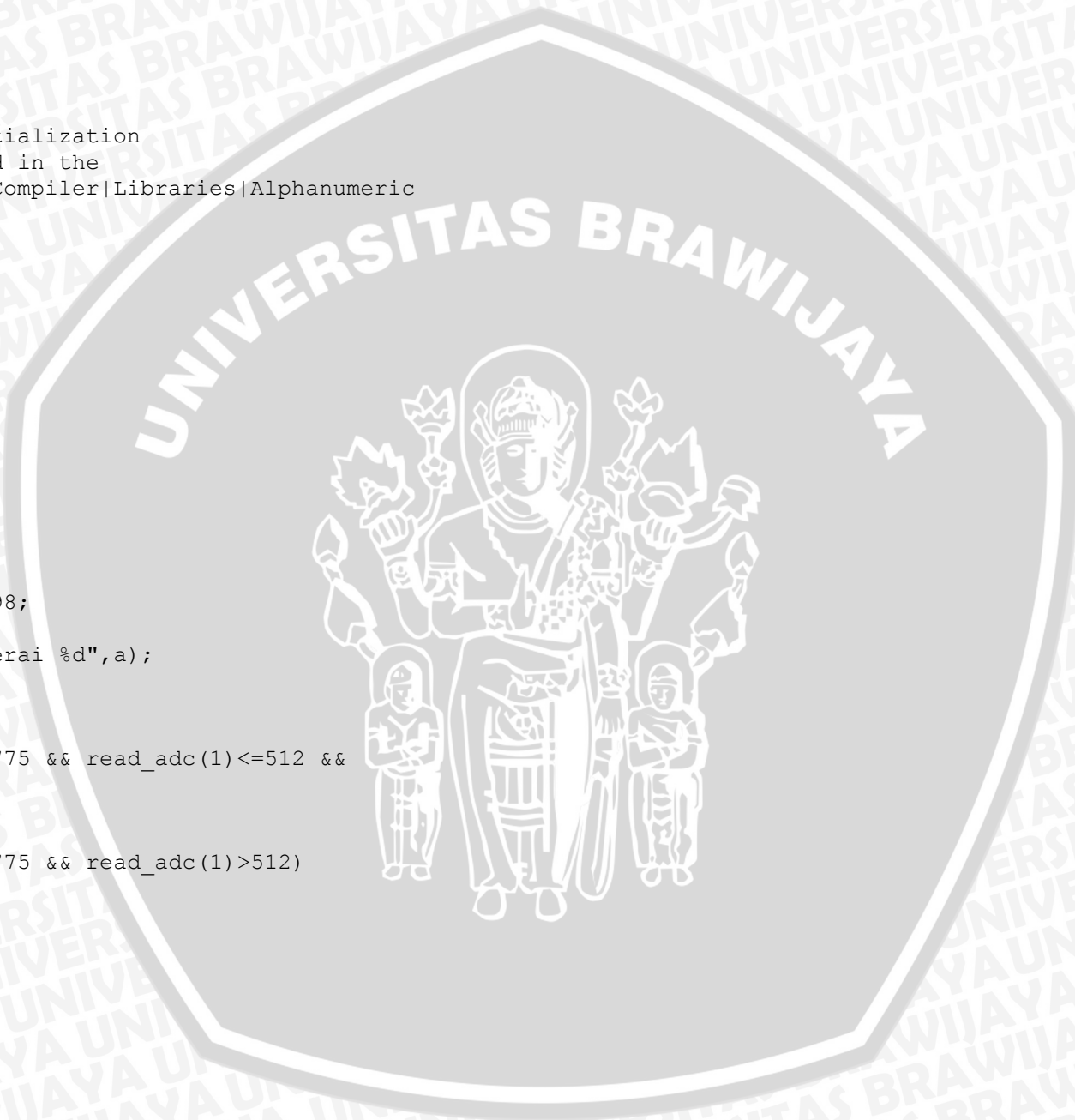
// Alphanumeric LCD initialization
// Connections specified in the
// Project|Configure|C Compiler|Libraries|Alphanumeric
LCD menu:
// RS - PORTD Bit 0
// RD - PORTD Bit 1
// EN - PORTD Bit 2
// D4 - PORTD Bit 4
// D5 - PORTD Bit 5
// D6 - PORTD Bit 6
// D7 - PORTD Bit 7
// Characters/line: 16
lcd_init(16);

d=100;
while (1)
{
//LCD :
a=read_adc(1)*0.098;
lcd_clear();
sprintf(buff,"Baterai %d",a);
lcd_puts(buff);

//METODE
if (read_adc(0)<=775 && read_adc(1)<=512 &&
d<220)
{d++;}

if (read_adc(0)<=775 && read_adc(1)>512)
{d--;}

OCR1A=d;
}
}
```



LAMPIRAN IV

DATASHEET



Features

- High-performance, Low-power Atmel®AVR® 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 130 Powerful Instructions – Most Single-clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16MIPS Throughput at 16MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory segments
 - 8KBytes of In-System Self-programmable Flash program memory
 - 512Bytes EEPROM
 - 1KByte Internal SRAM
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler, one Compare Mode
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Three PWM Channels
 - 8-channel ADC in TQFP and QFN/MLF package
 - Eight Channels 10-bit Accuracy
 - 6-channel ADC in PDIP package
 - Six Channels 10-bit Accuracy
 - Byte-oriented Two-wire Serial Interface
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated RC Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Five Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, and Standby
- IO and Packages
 - 23 Programmable IO Lines
 - 28-lead PDIP, 32-lead TQFP, and 32-pad QFN/MLF
- Operating Voltages
 - 2.7 - 5.5V
 - 0 - 16MHz
- Power Consumption at 4MHz, 3V, 25°C
 - Active: 3.6mA
 - Idle Mode: 1.0mA
 - Power-down Mode: 0.5µA



**8-bit AVR[®]
with 8KBytes
In-System
Programmable
Flash**

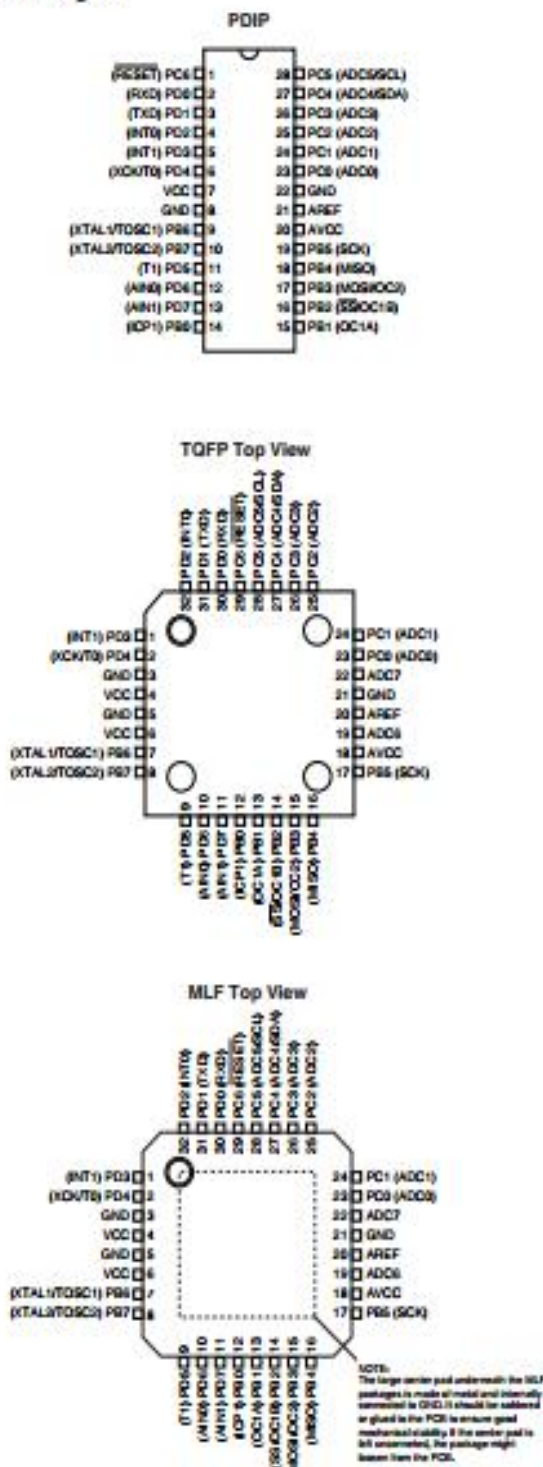
ATmega8A

8159D-AVR-02/11



1. Pin Configurations

Figure 1-1. Pinout ATmega8A



25. Electrical Characteristics

Note: Typical values contained in this datasheet are based on simulations and characterization of other AVR microcontrollers manufactured on the same process technology. Min and Max values will be available after the device is characterized.

25.1 Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature.....	-55°C to +125°C
Storage Temperature.....	-65°C to +150°C
Voltage on any Pin except <u>RESET</u> with respect to Ground	-0.5V to $V_{CC}+0.5V$
Voltage on <u>RESET</u> with respect to Ground.....	-0.5V to +13.0V
Maximum Operating Voltage	6.0V
DC Current per I/O Pin	40.0mA
DC Current V_{CC} and GND Pins.....	300.0mA

*NOTICE: Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

25.2 DC Characteristics

$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $V_{CC} = 2.7V$ to $5.5V$ (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Typ	Max	Units
V_{IL}	Input Low Voltage except XTAL1 and RESET pins	$V_{CC} = 2.7V - 5.5V$	-0.5		$0.2 V_{CC}^{(1)}$	V
V_{IH}	Input High Voltage except XTAL1 and RESET pins	$V_{CC} = 2.7V - 5.5V$	$0.6 V_{CC}^{(2)}$		$V_{CC} + 0.5$	V
V_{IL1}	Input Low Voltage XTAL1 pin	$V_{CC} = 2.7V - 5.5V$	-0.5		$0.1 V_{CC}^{(1)}$	V
V_{IH1}	Input High Voltage XTAL 1 pin	$V_{CC} = 2.7V - 5.5V$	$0.8 V_{CC}^{(2)}$		$V_{CC} + 0.5$	V
V_{IL2}	Input Low Voltage <u>RESET</u> pin	$V_{CC} = 2.7V - 5.5V$	-0.5		$0.2 V_{CC}$	V
V_{IH2}	Input High Voltage <u>RESET</u> pin	$V_{CC} = 2.7V - 5.5V$	$0.9 V_{CC}^{(2)}$		$V_{CC} + 0.5$	V
V_{IL3}	Input Low Voltage <u>RESET</u> pin as I/O	$V_{CC} = 2.7V - 5.5V$	-0.5		$0.2 V_{CC}$	V
V_{IH3}	Input High Voltage <u>RESET</u> pin as I/O	$V_{CC} = 2.7V - 5.5V$	$0.6 V_{CC}^{(2)}$ $0.7 V_{CC}^{(2)}$		$V_{CC} + 0.5$	V
V_{OL}	Output Low Voltage ⁽³⁾ (Ports B,C,D)	$I_{OL} = 20mA, V_{CC} = 5V$ $I_{OL} = 10mA, V_{CC} = 3V$			0.9 0.6	V V
V_{OH}	Output High Voltage ⁽⁴⁾ (Ports B,C,D)	$I_{OH} = -20mA, V_{CC} = 5V$ $I_{OH} = -10mA, V_{CC} = 3V$	4.2 2.2			V V
I_L	Input Leakage Current I/O Pin	$V_{CC} = 5.5V$, pin low (absolute value)			1	μA

ATmega8A

T_A = -40°C to 85°C, V_{CC} = 2.7V to 5.5V (unless otherwise noted) (Continued)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Typ	Max	Units
I _{IH}	Input Leakage Current I/O Pin	V _{CC} = 5.5V, pin high (absolute value)			1	μA
R _{RESET}	Reset Pull-up Resistor		30		80	kΩ
R _{Pu}	I/O Pin Pull-up Resistor		20		50	kΩ
I _{CC}	Power Supply Current	Active 4MHz, V _{CC} = 3V		2	5	mA
		Active 8MHz, V _{CC} = 5V		6	15	mA
		Idle 4MHz, V _{CC} = 3V		0.5	2	mA
		Idle 8MHz, V _{CC} = 5V		2.2	7	mA
	Power-down mode ⁽⁵⁾	WDT enabled, V _{CC} = 3V		<10	28	μA
		WDT disabled, V _{CC} = 3V		<1	3	μA
V _{ACIO}	Analog Comparator Input Offset Voltage	V _{CC} = 5V V _{IN} = V _{CC} /2			40	mV
I _{ACLK}	Analog Comparator Input Leakage Current	V _{CC} = 5V V _{IN} = V _{CC} /2	-50		50	nA
t _{ACPD}	Analog Comparator Propagation Delay	V _{CC} = 2.7V V _{CC} = 5.0V		750 500		ns

- Notes:
1. "Max" means the highest value where the pin is guaranteed to be read as low
 2. "Min" means the lowest value where the pin is guaranteed to be read as high
 3. Although each I/O port can sink more than the test conditions (20mA at V_{CC} = 5V, 10mA at V_{CC} = 3V) under steady state conditions (non-transient), the following must be observed:
 PDIP, TQFP, and QFNMLF Package:
 1] The sum of all IOL, for all ports, should not exceed 300mA.
 2] The sum of all IOL, for ports C0 - C5 should not exceed 100mA.
 3] The sum of all IOL, for ports B0 - B7, C6, D0 - D7 and XTAL2, should not exceed 200mA.
 If IOL exceeds the test condition, VOL may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test condition.
 4. Although each I/O port can source more than the test conditions (20mA at V_{CC} = 5V, 10mA at V_{CC} = 3V) under steady state conditions (non-transient), the following must be observed:
 PDIP, TQFP, and QFNMLF Package:
 1] The sum of all IOH, for all ports, should not exceed 300mA.
 2] The sum of all IOH, for port C0 - C5, should not exceed 100mA.
 3] The sum of all IOH, for ports B0 - B7, C6, D0 - D7 and XTAL2, should not exceed 200mA.
 If IOH exceeds the test condition, VOH may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to source current greater than the listed test condition.
 5. Minimum V_{CC} for Power-down is 2.5V.



IRFP460

N - CHANNEL 500V - 0.22 Ω - 20 A - TO-247 PowerMESH™ MOSFET

TYPE	V _{DSS}	R _{DS(on)}	I _D
IRFP460	500 V	< 0.27 Ω	20 A

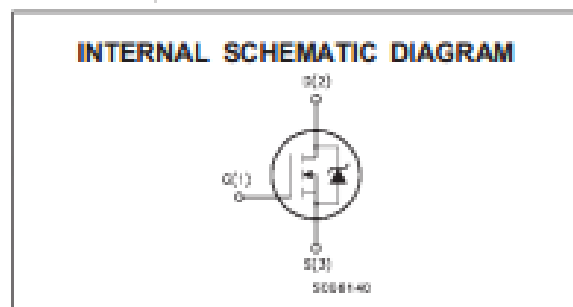
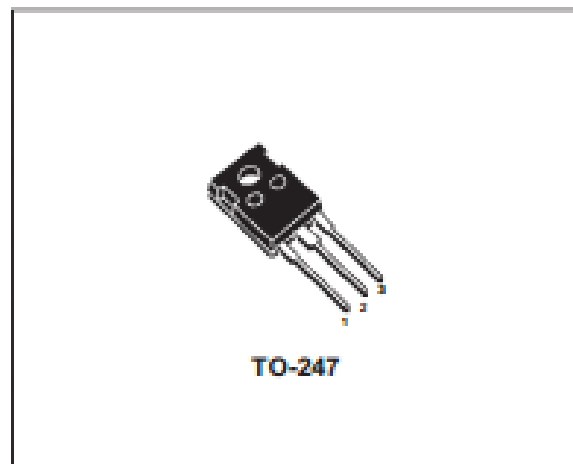
- TYPICAL R_{DS(on)} = 0.22 Ω
- EXTREMELY HIGH dV/dt CAPABILITY
- 100% AVALANCHE TESTED
- VERY LOW INTRINSIC CAPACITANCES
- GATE CHARGE MINIMIZED

DESCRIPTION

This power MOSFET is designed using the company's consolidated strip layout-based MESH OVERLAY™ process. This technology matches and improves the performances compared with standard parts from various sources.

APPLICATIONS

- HIGH CURRENT SWITCHING
- UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY (UPS)
- DC/DC CONVERTERS FOR TELECOM, INDUSTRIAL, AND LIGHTING EQUIPMENT.



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{DS}	Drain-source Voltage (V _{GS} = 0)	500	V
V _{DGK}	Drain- gate Voltage (R _{GS} = 20 kΩ)	500	V
V _{GS}	Gate-source Voltage	± 20	V
I _D	Drain Current (continuous) at T _c = 25 °C	20	A
I _D	Drain Current (continuous) at T _c = 100 °C	13	A
I _{DM(*)}	Drain Current (pulsed)	80	A
P _{tot}	Total Dissipation at T _c = 25 °C	250	W
	Derating Factor	2	W/°C
dv/dt(1)	Peak Diode Recovery voltage slope	3.5	V/ns
T _{stg}	Storage Temperature	-65 to 150	°C
T _j	Max. Operating Junction Temperature	150	°C

(*) Pulse width limited by safe operating area

(1) I_{DM} ≤ 50 A, dv/dt ≤ 160 A/μs, V_{DS} ≤ V_{DM(max)}, T_j ≤ T_{max}



IRFP460

THERMAL DATA

$R_{th(jc)}$	Thermal Resistance Junction-case	Max	0.5	$^{\circ}\text{C/W}$
$R_{th(ja)}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max	30	$^{\circ}\text{C/W}$
$R_{th(c-sink)}$	Thermal Resistance Case-sink	Typ	0.1	$^{\circ}\text{C/W}$
T_l	Maximum Lead Temperature For Soldering Purpose		300	$^{\circ}\text{C}$

AVALANCHE CHARACTERISTICS

Symbol	Parameter	Max Value	Unit
I_{AR}	Avalanche Current, Repetitive or Not-Repetitive (pulse width limited by T_l max)	20	A
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy (starting $T_l = 25^{\circ}\text{C}$, $I_D = I_{AR}$, $V_{DS} = 50\text{ V}$)	1000	mJ

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{case} = 25^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified)

OFF

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{(BR)OSS}$	Drain-source Breakdown Voltage	$I_D = 250\ \mu\text{A}$ $V_{GS} = 0$	500			V
I_{OSS}	Zero Gate Voltage Drain Current ($V_{GS} = 0$)	$V_{DS} = \text{Max Rating}$ $V_{DS} = \text{Max Rating}$ $T_c = 125^{\circ}\text{C}$			10 100	μA μA
I_{GSS}	Gate-body Leakage Current ($V_{DS} = 0$)	$V_{GS} = \pm 20\text{ V}$			± 100	nA

ON (*)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	$V_{DS} = V_{GS}$ $I_D = 250\ \mu\text{A}$	2	3	4	V
$R_{DS(on)}$	Static Drain-source On Resistance	$V_{GS} = 10\text{V}$ $I_D = 12\text{ A}$		0.22	0.27	Ω
$I_{D(on)}$	On State Drain Current	$V_{DS} > I_{D(on)} \times R_{DS(on)max}$ $V_{GS} = 10\text{ V}$	20			A

DYNAMIC

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$g_{fs} (*)$	Forward Transconductance	$V_{DS} > I_{D(on)} \times R_{DS(on)max}$ $I_D = 12\text{ A}$	13			S
C_{iss}	Input Capacitance	$V_{DS} = 25\text{ V}$ $f = 1\text{ MHz}$ $V_{GS} = 0$		4200		pF
C_{oss}	Output Capacitance			500		pF
C_{riss}	Reverse Transfer Capacitance			50		pF



ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

SWITCHING ON

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$t_{d(on)}$	Turn-on Time	$V_{DD} = 250\text{ V}$ $I_D = 10\text{ A}$		32		ns
t_r	Rise Time	$R_G = 4.7\ \Omega$ $V_{GS} = 10\text{ V}$ (see test circuit, figure 1)		15		ns
Q_g	Total Gate Charge	$V_{DD} = 400\text{ V}$ $I_D = 20\text{ A}$ $V_{GS} = 10\text{ V}$		100	130	nC
Q_{gs}	Gate-Source Charge			21		nC
Q_{gd}	Gate-Drain Charge			37		nC

SWITCHING OFF

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$t_{d(off)}$	Off-voltage Rise Time	$V_{DD} = 400\text{ V}$ $I_D = 20\text{ A}$		20		ns
t_f	Fall Time	$R_G = 4.7\ \Omega$ $V_{GS} = 10\text{ V}$ (see test circuit, figure 5)		25		ns
t_c	Cross-over Time			47		ns

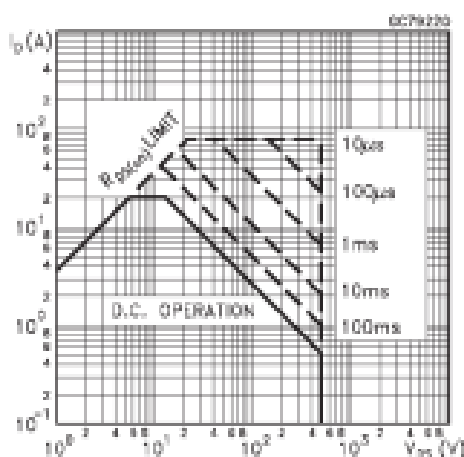
SOURCE DRAIN DIODE

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{SD}	Source-drain Current				20	A
$I_{SDM}^{(*)}$	Source-drain Current (pulsed)				80	A
$V_{SD}^{(*)}$	Forward On Voltage	$I_{SD} = 20\text{ A}$ $V_{GS} = 0$			1.6	V
t_{rr}	Reverse Recovery Time	$I_{SD} = 20\text{ A}$ $di/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}$ $V_{DD} = 100\text{ V}$ $T_J = 150\text{ }^\circ\text{C}$ (see test circuit, figure 3)		700		ns
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge			9		μC
I_{RRM}	Reverse Recovery Current			25		A

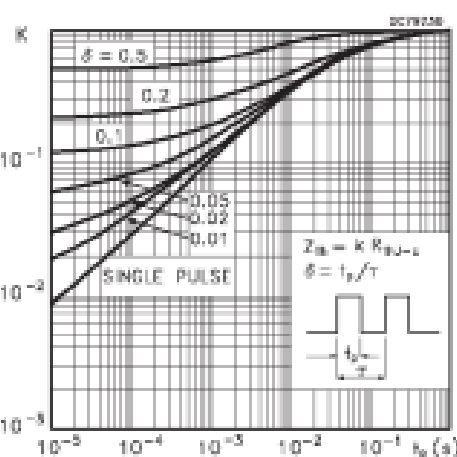
(*) Pulsed: Pulse duration = 300 μs , duty cycle 1.5%

(*) Pulse width limited by safe operating area

Safe Operating Area

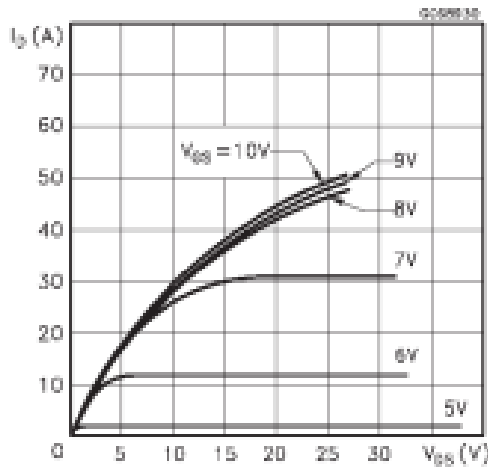


Thermal Impedance

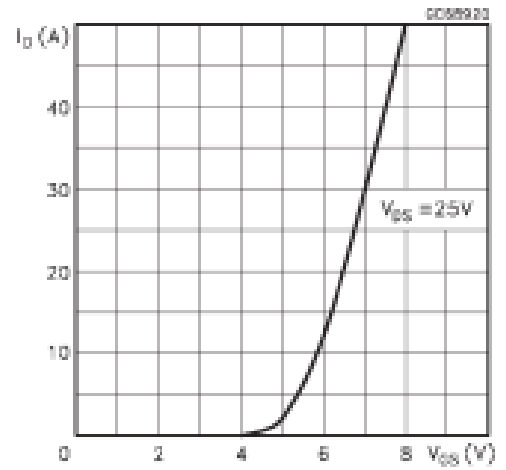


IRFP460

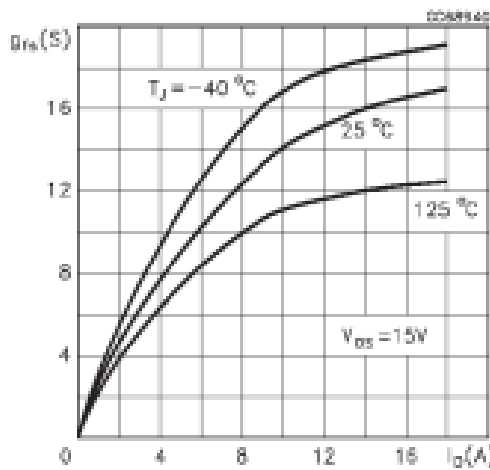
Output Characteristics



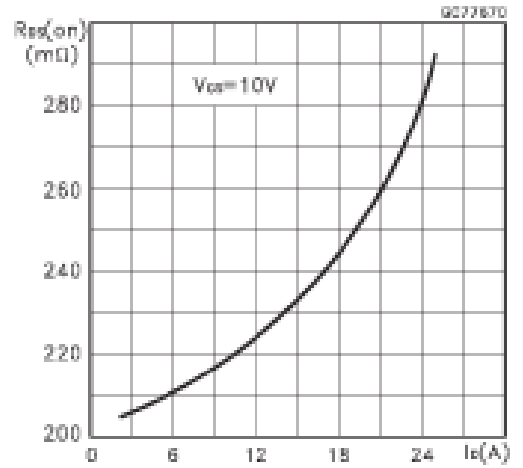
Transfer Characteristics



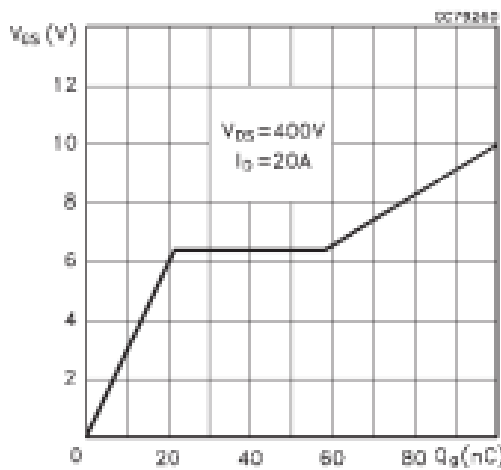
Transconductance



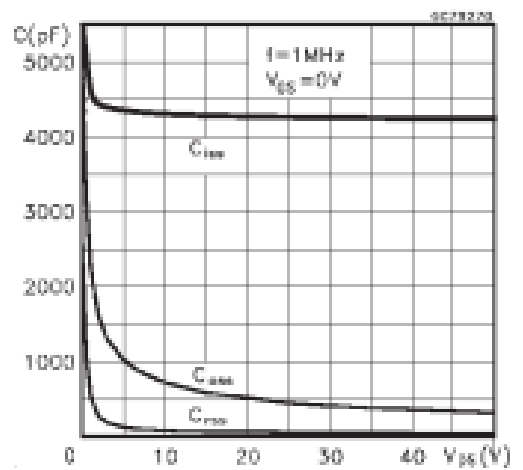
Static Drain-source On Resistance



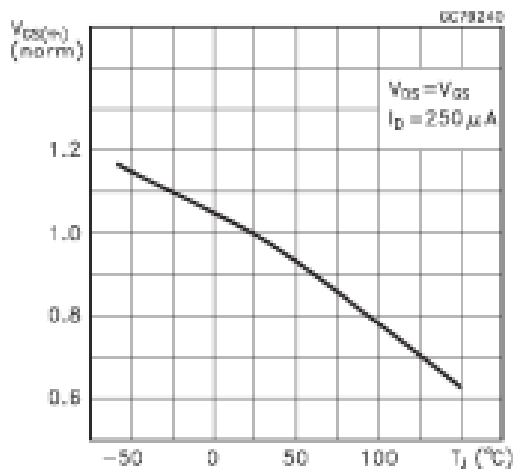
Gate Charge vs Gate-source Voltage



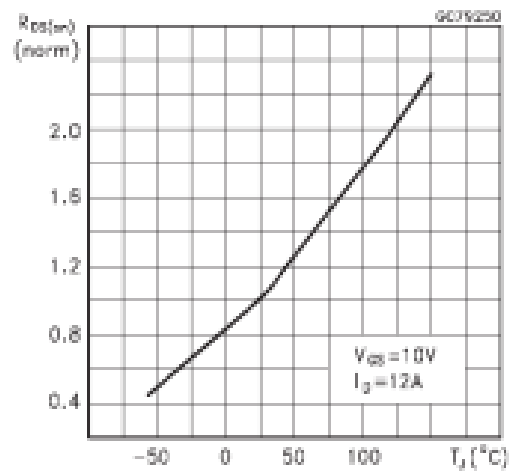
Capacitance Variations



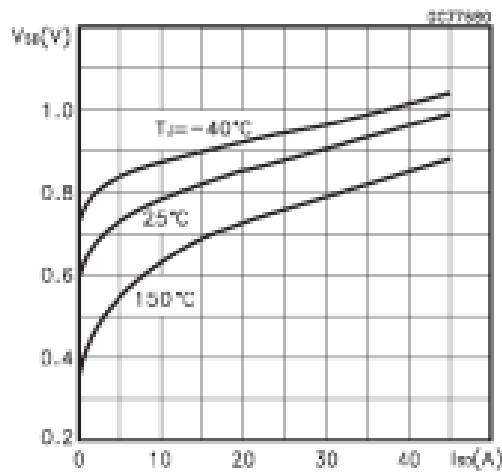
Normalized Gate Threshold Voltage vs



Normalized On Resistance vs Temperature



Source-drain Diode Forward Characteristics



PC817 Series

- Lead forming type (L type) and taping reel type (P type) are also available. (PC817L/PC817P)
- TÜV (VDE0884) approved type is also available as an option.

■ Features

1. Current transfer ratio
(CTR: MIN. 50% at $I_F = 5\text{mA}$, $V_{CE} = 5\text{V}$)
2. High isolation voltage between input and output ($V_{iso} : 5\,000\text{V}_{rms}$)
3. Compact dual-in-line package
PC817 : 1-channel type
PC827 : 2-channel type
PC837 : 3-channel type
PC847 : 4-channel type
4. Recognized by UL, file No. E64380

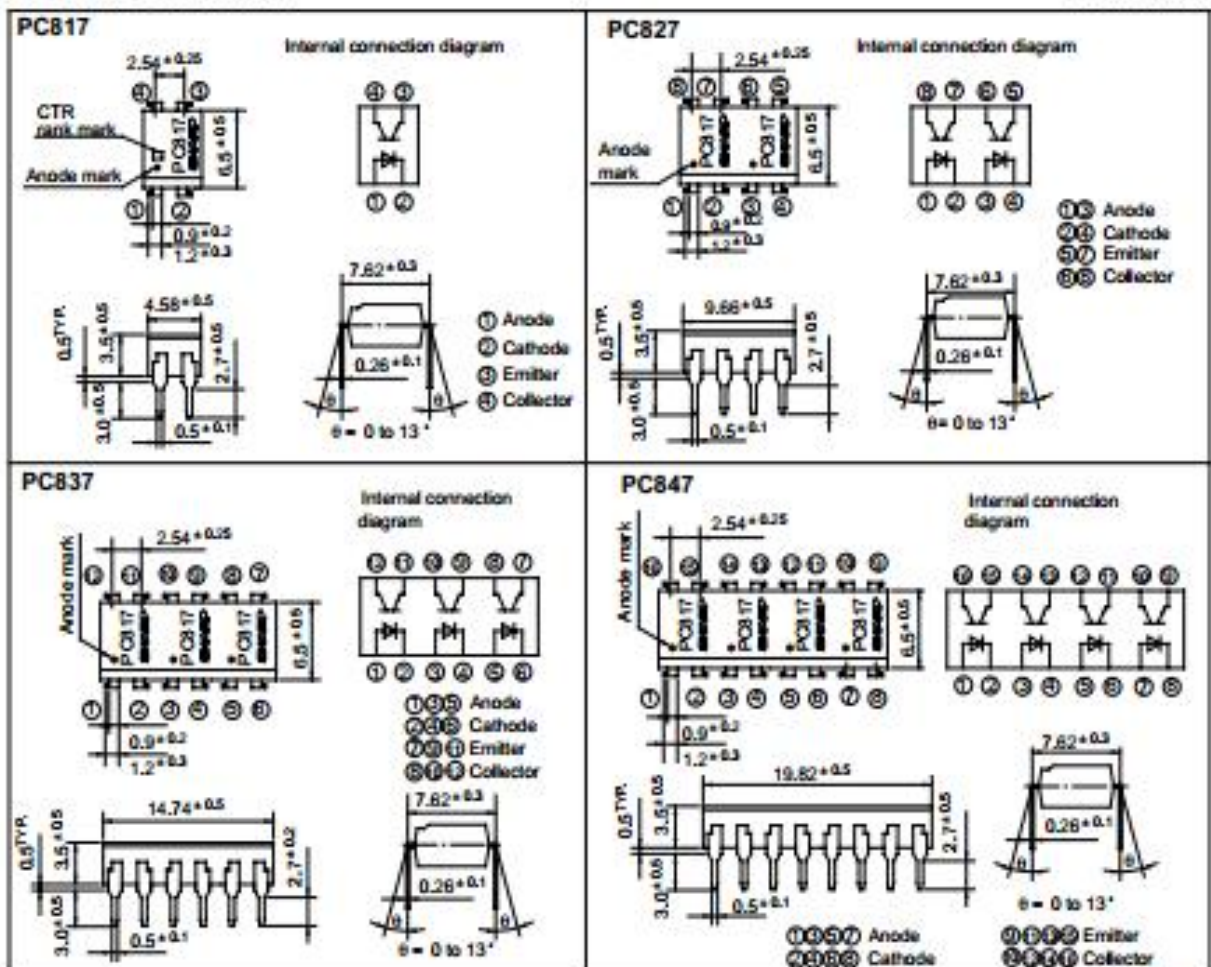
High Density Mounting Type Photocoupler

■ Applications

1. Computer terminals
2. System appliances, measuring instruments
3. Registers, copiers, automatic vending machines
4. Electric home appliances, such as fan heaters, etc.
5. Signal transmission between circuits of different potentials and impedances

■ Outline Dimensions

(Unit : mm)



■ Absolute Maximum Ratings (Ta= 25°C)

Parameter		Symbol	Rating	Unit
Input	Forward current	I_f	50	mA
	*1Peak forward current	I_{FM}	1	A
	Reverse voltage	V_R	6	V
	Power dissipation	P	70	mW
Output	Collector-emitter voltage	V_{CEO}	35	V
	Emitter-collector voltage	V_{ECO}	6	V
	Collector current	I_C	50	mA
	Collector power dissipation	P_C	150	mW
Total power dissipation		P_{tot}	200	mW
*2Isolation voltage		V_{iso}	5 000	V_{rms}
Operating temperature		T_{op}	- 30 to + 100	°C
Storage temperature		T_{stg}	- 55 to + 125	°C
*3Soldering temperature		T_{sol}	260	°C

*1 Pulse width $\leq 100\mu s$, Duty ratio : 0.001

*2 40 to 60% RH, AC for 1 minute

*3 For 10 seconds

■ Electro-optical Characteristics (Ta= 25°C)

Parameter		Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit	
Input	Forward voltage	V_f	$I_f = 20mA$	-	1.2	1.4	V	
	Peak forward voltage	V_{FM}	$I_{FM} = 0.5A$	-	-	3.0	V	
	Reverse current	I_R	$V_R = 4V$	-	-	10	μA	
	Terminal capacitance	C_T	$V = 0, f = 1kHz$	-	30	250	pF	
Output	Collector dark current	I_{CDO}	$V_{CE} = 20V$	-	-	10^{-7}	A	
Transfer characteristics	*4Current transfer ratio	CTR	$I_f = 5mA, V_{CE} = 5V$	50	-	600	%	
	Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_f = 20mA, I_e = 1mA$	-	0.1	0.2	V	
	Isolation resistance	R_{iso}	DC500V, 40 to 60% RH	5×10^9	10^{11}	-	Ω	
	Floating capacitance	C_f	$V = 0, f = 1MHz$	-	0.6	1.0	pF	
	Response time	Rise time	t_r	$V_{CE} = 2V, I_e = 2mA, R_L = 100\Omega$	-	4	18	μs
		Fall time	t_f		-	3	18	μs

*4 Classification table of current transfer ratio is shown below.

Model No.	Rank mark	CTR (%)
PC817A	A	80 to 160
PC817B	B	130 to 260
PC817C	C	200 to 400
PC817D	D	300 to 600
PC8●7AB	A or B	80 to 260
PC8●7BC	B or C	130 to 400
PC8●7CD	C or D	200 to 600
PC8●7AC	A, B or C	80 to 400
PC8●7BD	B, C or D	130 to 600
PC8●7AD	A, B, C or D	80 to 600
PC8●7	A, B, C, D or No mark	50 to 600

● : 1 or 2 or 3 or 4

Fig. 1 Forward Current vs. Ambient Temperature

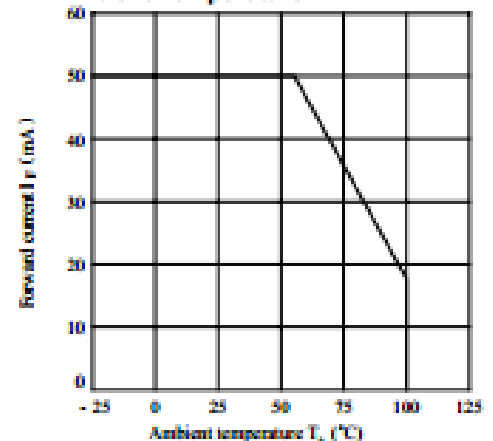


Fig. 2 Collector Power Dissipation vs. Ambient Temperature

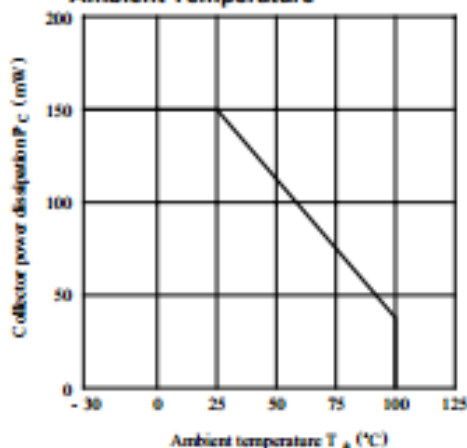


Fig. 3 Peak Forward Current vs. Duty Ratio

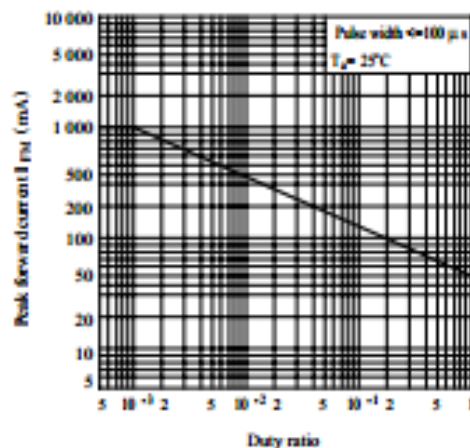


Fig. 4 Current Transfer Ratio vs. Forward Current

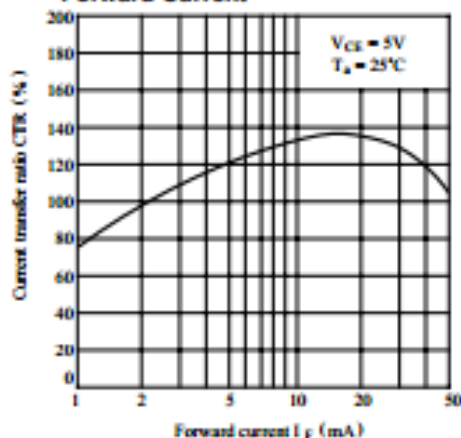


Fig. 5 Forward Current vs. Forward Voltage

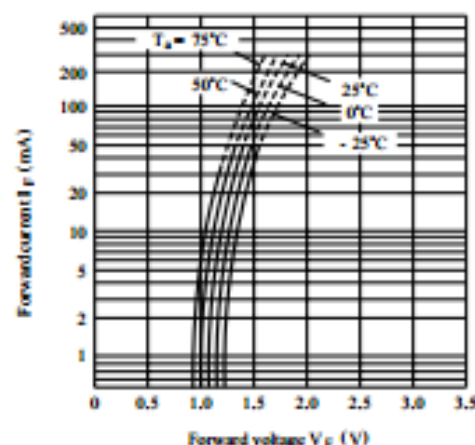


Fig. 6 Collector Current vs. Collector-emitter Voltage

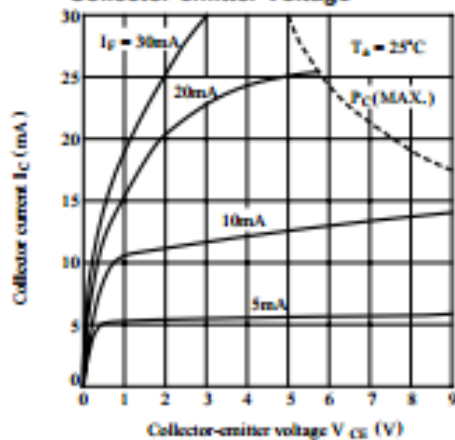


Fig. 7 Relative Current Transfer Ratio vs. Ambient Temperature

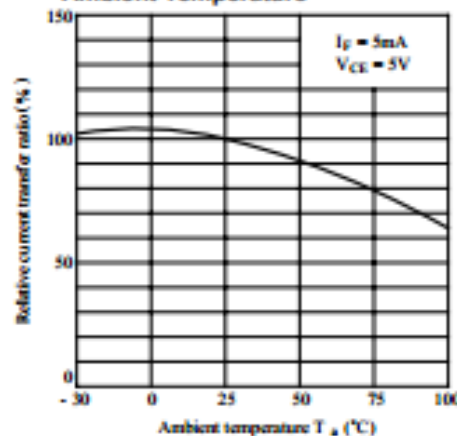


Fig. 8 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Ambient Temperature

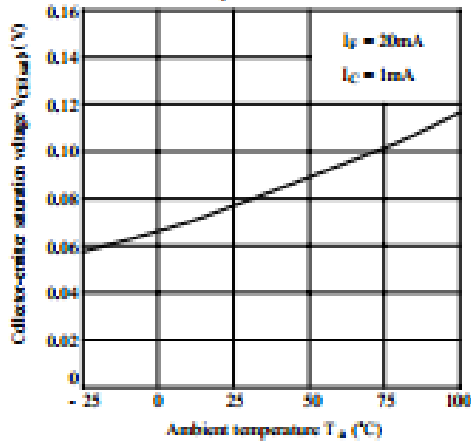


Fig. 9 Collector Dark Current vs. Ambient Temperature

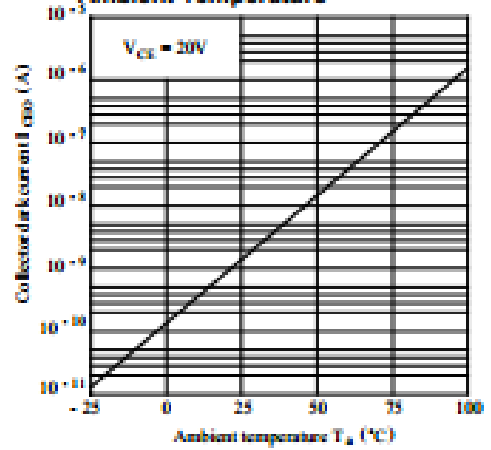


Fig.10 Response Time vs. Load Resistance

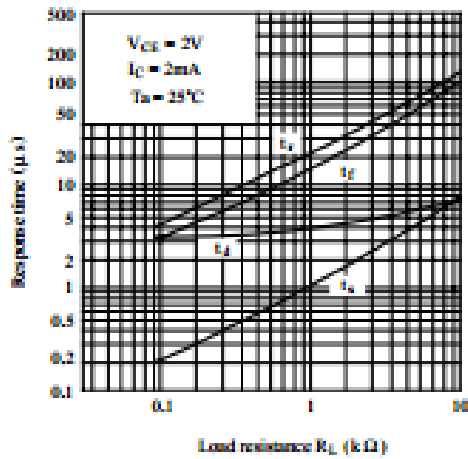
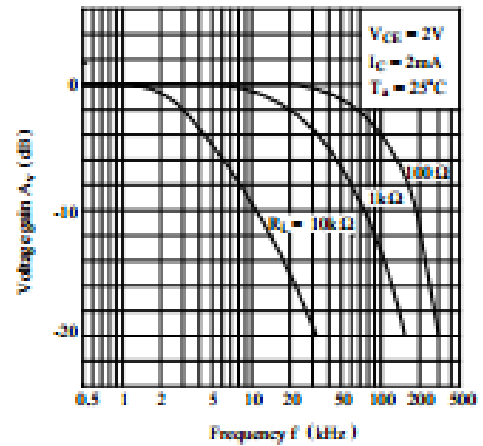
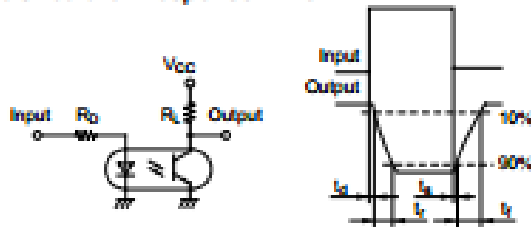


Fig.11 Frequency Response



Test Circuit for Response Time



Test Circuit for Frequency Response

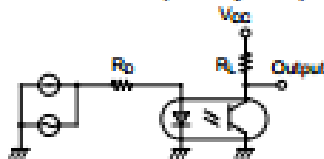
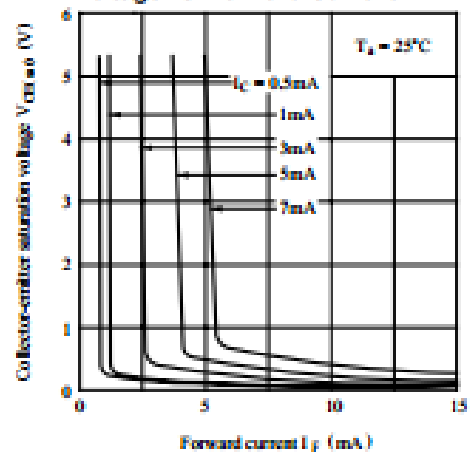


Fig.12 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Forward Current

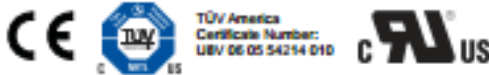


● Please refer to the chapter "Precautions for Use"

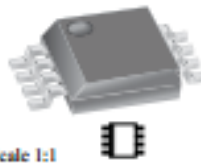
Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kVRMS minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage



Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1

Description

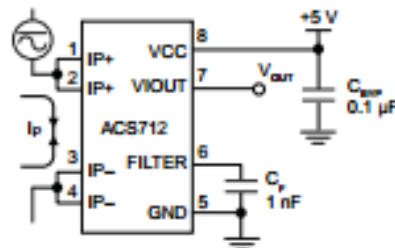
The Allegro[®] ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switch-mode power supplies, and overcurrent fault protection. The device is not intended for automotive applications.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which the Hall IC converts into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($>V_{IOUT(Q)}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of

Continued on the next page...

Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sampled current, I_p , within the range specified. C_f is recommended for noise management, with values that depend on the application.

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Description (continued)

the device at up to 5x overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the signal leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

Selection Guide

Part Number	Packing*	T _A (°C)	Optimized Range, I _p (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

*Contact Allegro for additional packing options.

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V _{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V _{RCC}		-0.1	V
Output Voltage	V _{OUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V _{RIOUT}		-0.1	V
Reinforced Isolation Voltage	V _{ISO}	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, T _A =25°C	2100	VAC
		Maximum working voltage according to UL60950-1	184	V _{peak}
Basic Isolation Voltage	V _{ISO(basic)}	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, T _A =25°C	1500	VAC
		Maximum working voltage according to UL60950-1	354	V _{peak}
Output Current Source	I _{OUT(SOURCE)}		3	mA
Output Current Sink	I _{OUT(SINK)}		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I _p	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T _A	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T _{J(max)}		165	°C
Storage Temperature	T _{stg}		-65 to 170	°C

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001



Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com



ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

COMMON OPERATING CHARACTERISTICS¹ over full range of T_A , $C_F = 1$ nF, and $V_{CC} = 5$ V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
ELECTRICAL CHARACTERISTICS						
Supply Voltage	V_{CC}		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	I_{CC}	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	–	10	13	mA
Output Capacitance Load	C_{LOAD}	V _{IOUT} to GND	–	–	10	nF
Output Resistive Load	R_{LOAD}	V _{IOUT} to GND	4.7	–	–	kΩ
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	1.2	–	mΩ
Rise Time	t_r	$I_p = I_p(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_{OUT} = \text{open}$	–	5	–	μs
Frequency Bandwidth	f	–3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$; I_p is 10 A peak-to-peak	–	80	–	kHz
Nonlinearity	E_{LIN}	Over full range of I_p	–	1.5	–	%
Symmetry	E_{SYM}	Over full range of I_p	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{IOUT(0)}$	Bidirectional; $I_p = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	–	$V_{CC} \times 0.5$	–	V
Power-On Time	t_{PO}	Output reaches 90% of steady-state level, $T_J = 25^\circ\text{C}$, 20 A present on leadframe	–	35	–	μs
Magnetic Coupling ²			–	12	–	G/A
Internal Filter Resistance ³	$R_{F(NT)}$			1.7		kΩ

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_p , and ambient, T_A , and internal leadframe temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_J(\text{max})$, is not exceeded.

²1G = 0.1 mT.

³ $R_{F(NT)}$ forms an RC circuit via the FILTER pin.

COMMON THERMAL CHARACTERISTICS¹

			Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Internal Leadframe Temperature	T_A	E range	–40	–	85	$^\circ\text{C}$
Junction-to-Lead Thermal Resistance ²	$R_{\theta JL}$	Mounted on the Allegro ASEK 712 evaluation board			5	$^\circ\text{C/W}$
Junction-to-Ambient Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board, includes the power consumed by the board			23	$^\circ\text{C/W}$

¹Additional thermal information is available on the Allegro website.

²The Allegro evaluation board has 1500 mm² of 2 oz. copper on each side, connected to pins 1 and 2, and to pins 3 and 4, with thermal vias connecting the layers. Performance values include the power consumed by the PCB. Further details on the board are available from the Frequently Asked Questions document on our website. Further information about board design and thermal performance also can be found in the Applications Information section of this datasheet.



Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

x05B PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹ $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-5	-	5	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	180	185	190	mV/A
Noise	$V_{\text{Noise(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 185 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	21	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta I_{\text{OUT(O)}}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.26	-	mV/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/°C
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	0.054	-	mV/A/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.008	-	mV/A/°C
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 5\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_P with $I_P = 5\text{ A}$. Output filtered.

x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹ $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-20	-	20	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	96	100	104	mV/A
Noise	$V_{\text{Noise(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	11	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta I_{\text{OUT(O)}}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.34	-	mV/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.07	-	mV/°C
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	0.017	-	mV/A/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.004	-	mV/A/°C
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 20\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_P with $I_P = 20\text{ A}$. Output filtered.

x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹ $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-30	-	30	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	63	66	69	mV/A
Noise	$V_{\text{Noise(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	7	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta I_{\text{OUT(O)}}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.35	-	mV/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/°C
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	0.007	-	mV/A/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.002	-	mV/A/°C
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 30\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_P with $I_P = 30\text{ A}$. Output filtered.



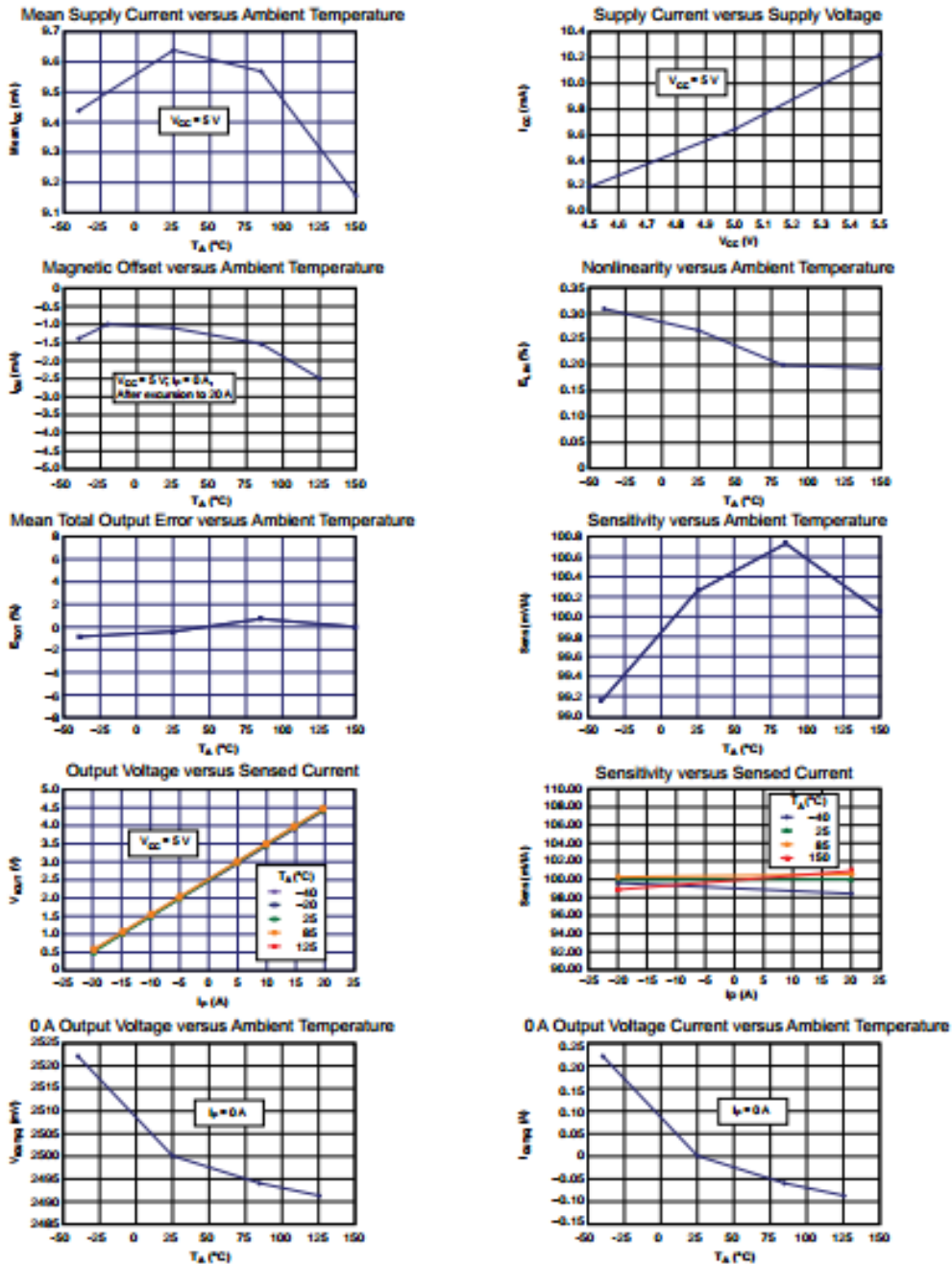
Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kV RMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Characteristic Performance

$I_p = 20\text{ A}$, unless otherwise specified



Allegro MicroSystems, Inc.
 115 Northeast Cutoff
 Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
 1.508.853.5000; www.allegromicro.com

