

**MAXIMUM POWER POINT TRACKER (MPPT) SEBAGAI METODE
PEMAKSIMALAN DAYA SOLAR CELL UNTUK CHARGING
BATERAI ECO SOLAR BOAT**

**SKRIPSI
TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI ELEKTRONIKA**

Ditujukan untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD GILANG RAMADHAN

NIM. 145060300111021

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2018

Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya



LEMBAR PENGESAHAN

**MAXIMUM POWER POINT TRACKER (MPPT) SEBAGAI METODE
PEMAKSIMALAN DAYA SOLAR CELL UNTUK CHARGING
BATERAI ECO SOLAR BOAT**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA

Ditujukan untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD GILANG RAMADHAN

NIM. 145060300111021

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 27 Desember 2018

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Dosen Pembimbing

Ir. Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D., IPM.

NIP. 19730520 200801 1 013

Adharul Muttaqin, S.T., M.T.

NIP. 19760121 200501 1 001

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



JUDUL SKRIPSI:

MAXIMUM POWER POINT TRACKER (MPPT) SEBAGAI METODE PEMAKSIMALAN DAYA SOLAR CELL UNTUK CHARGING BATERAI ECO SOLAR BOAT

Nama Mahasiswa : Muhammad Gilang Ramadhan

NIM : 145060300111021

Program Studi : TEKNIK ELEKTRO

Konsentrasi : TEKNIK ELEKTRONIKA

Komisi Pembimbing

Ketua : Adharul Muttaqin, S.T., M.T.

Tim Dosen Penguji :

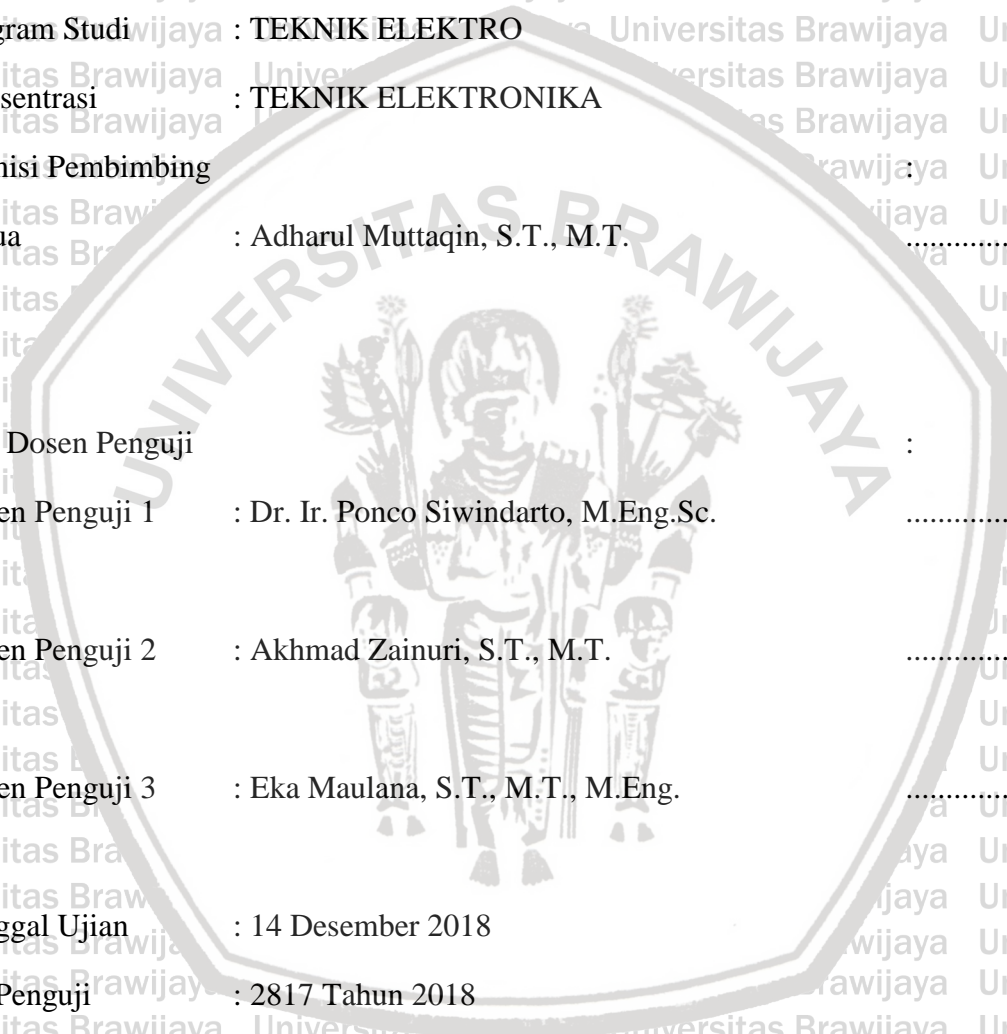
Dosen Penguji 1 : Dr. Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng.Sc.

Dosen Penguji 2 : Akhmad Zainuri, S.T., M.T.

Dosen Penguji 3 : Eka Maulana, S.T., M.T., M.Eng.

Tanggal Ujian : 14 Desember 2018

SK Penguji : 2817 Tahun 2018





UNIVERSITAS BRAWIJAYA



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



*Teriring Ucapan Terima Kasih Kepada:
Ibunda dan Ayahanda tercinta*

PERNYATAAN ORISINILITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No.20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 28 Desember 2018

Mahasiswa,

MUHAMMAD GILANG RAMADHAN

NIM. 145060300111021



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



RINGKASAN

Muhammad Gilang Ramadhan, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2018, *Maximum Power Point Tracker (MPPT) Sebagai Metode Pemaksimalan Daya Solar cell untuk Charging Baterai Eco Solar Boat*, Dosen Pembimbing: Adharul Muttaqin

Waktu *charging* baterai pada perlombaan *Eco Solar Boat* menggunakan *solar cell* sebagai sumber energi untuk *charging* hanya dibatasi 45 menit sebelum semi final dan pada tahap menuju final hanya 15 menit. Daya *solar cell* yang digunakan untuk men-*charging* baterai dipengaruhi oleh radisasi dan suhu sekitar. Diperlukan suatu metode agar daya *solar cell* yang dihasilkan maksimal sesuai radiasi dan suhu yang diterima *solar cell*. Sehingga ketika daya maksimal hasil *charging* akan lebih optimal. Untuk menyelesaikan masalah tersebut dapat digunakan metode *Maximum Power Point Tracker (MPPT)*.

Maximum Power Point Tracker (MPPT) adalah sistem elektronik yang berfungsi untuk membuat *solar cell* bekerja pada titik daya maksimumnya. Algoritma yang digunakan adalah *Perturb and Observe (P&O)*. Penelitian ini akan membandingkan *charging* baterai antara metode MPPT dan tanpa MPPT.

Berdasarkan hasil penelitian, *charging* baterai menggunakan MPPT lebih baik daripada tanpa menggunakan MPPT baik dalam waktu 15 menit dan 45 menit. Hasil *charging* baterai tanpa MPPT dalam waktu 15 menit yang terbesar adalah 0.04V. Sedangkan dalam waktu 45 menit hasil *charging* yang paling besar adalah 0.13V dari tegangan baterai awal. Hasil *charging* baterai dengan MPPT dalam waktu 15 menit yang terbesar adalah 0.29V. Sedangkan dalam waktu 45 menit hasil *charging* yang paling besar adalah 0.66V dari tegangan awal.

Kata kunci: *Solar cell, MPPT, Buck converter, Daya, Charging*

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



SUMMARY

Muhammad Gilang Ramadhan, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering Universitas Brawijaya, Juli 2018, Maximum Power Point Tracker (MPPT) as a Maximizing Method of Solar cell's Power in order to Charge Eco Solar Boat's Battery: Adharul Muttaqin.

Charging time in Eco Solar Boat is limited just 45 minutes before semi final and 15 minutes only before final. Solar cell's power as energy resource to charging battery depend on radiation and temperature. A certain method is needed in order to gain maximum solar cell's power. As solar cell's power is maximum, the charging will be optimum as well. So, Maximum Power Point Tracker (MPPT) is selected to optimize charging by gaining a maximum solar cell's power..

Maximum Power Point Tracker (MPPT) is electronic system which purpose to let solar cell work in its maximum power poin. Perturb and Observe is selected MPPT algoritm in this research. In this research we will comparing charging battery between MPPT method and non MPPT method.

Based on result from research, charging battery using MPPT method is better than non MPPT method by the time 15 minutes and also 45 minutes of charging time. The best charging result when using non MPPT method by the time 15 minutes is 0.04V. Meanwhile the best charging result by the time 45 minutes is 0.13V. The best charging result from using MPPT method by the time 15 is 0.29V. Meanwhile the best charging result by the time 45 minutes t is 0.66V.

Key Word: Solar cell, MPPT, Buck converter, Power, Charging

Universitas Brawijaya



PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur Penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga Penulis dapat menyelesaikan Laporan Skripsi yang berjudul “*Maximum Power Point Tracker (MPPT) sebagai Metode Pemaksimalan Daya Solar cell untuk Charging Baterai Eco Solar Boat*”. Laporan ini dibuat dengan tujuan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Teknik Elektronika Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah banyak memberikan bantuan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik, antara lain:

1. Ibu, Bapak, Kakak, dan keluarga besar, atas dukungan dan doa yang telah diberikan.
2. Bapak Ir. Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D., IPM. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Ibu Ir. Nurusa'adah, M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Bapak Ali Mustofa, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Sarjana Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Bapak Raden Arief Setyawan, S.T., M.T. selaku Ketua Kelompok Dosen Konsentrasi Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
6. Bapak Adharul Muttaqin, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I atas segala bimbingan, pengarahan, kritik, dan saran yang telah diberikan selama proses pengerjaan skripsi.
7. Segenap dosen pengajar dan staff administrasi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
8. Teman-teman ngopi, Leon, Dion, Rizky, Tommy, Wahyu, Andy, Esa, Meilan yang tiada hentinya selalu memberikan dukungan, motivasi, dan dorongan semangat kepada penulis.
9. Mas Muis, yang turut membantu hingga terciptanya skripsi ini.
10. Teman-teman Tim Robot Angkatan 2014 (Wahyu, Meilan, Abdan, Enggar, Hafidin, Andy, Gilang, Luih, Tommy, Dion, Fauzi, Muis, Esa, Leon, Luthfi, Octa, Nola,

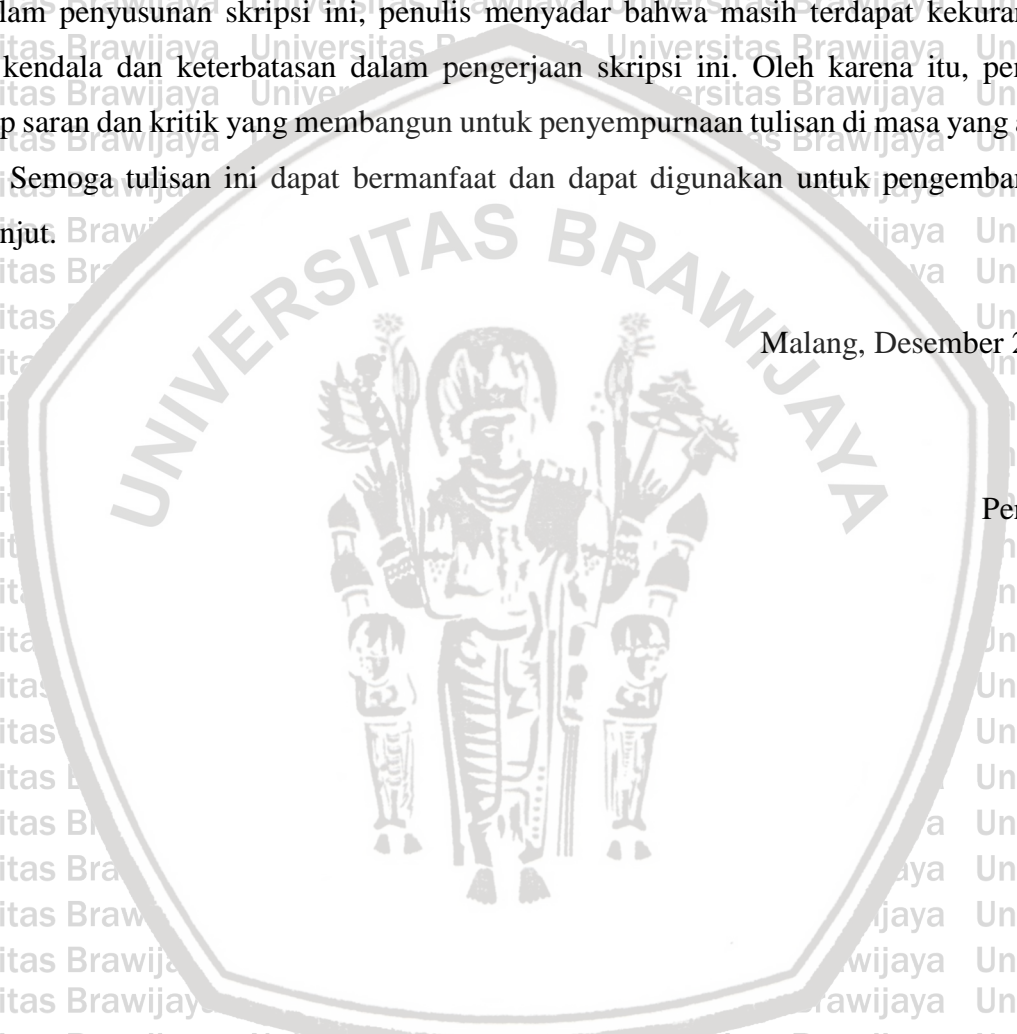
Luthfiyah, Titi, Ion), Tim Robot Angkatan 2013, 2015, dan 2016 atas semangat dan perhatian yang diberikan.

11. Teman-teman DIODA 2014 atas segala bantuan dan kebersamaan yang telah diberikan selama masa studi.
12. Teman-teman Konsentrasi Teknik Elektronika Universitas Brawijaya.
13. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung atas penyelesaian skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan karena kendala dan keterbatasan dalam pengerjaan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis berharap saran dan kritik yang membangun untuk penyempurnaan tulisan di masa yang akan datang. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Malang, Desember 2018

Penulis



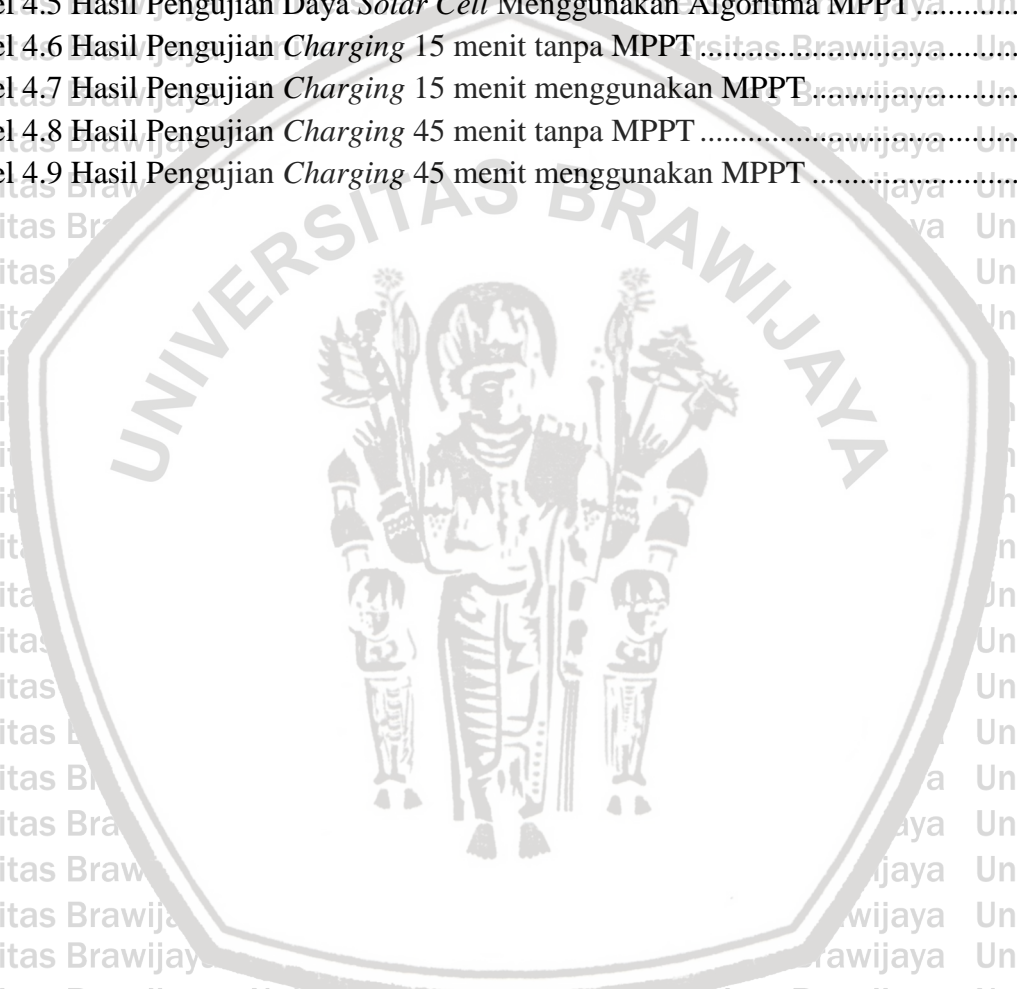
DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	2
1.5. Manfaat Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1. <i>Eco solar boat</i>	3
2.2. <i>Solar cell</i>	4
2.3. Arduino Nano.....	6
2.4. Sensor Arus ACS712.....	7
2.5. Rangkaian Pembagi Tegangan.....	8
2.6. <i>Driver MOSFET</i>	9
2.7. <i>Buck Converter</i>	11
2.8. <i>Maximum Power Point Tracker (MPPT)</i>	15
2.9. <i>Algoritma Perturb and Observe (P&O)</i>	16
2.10. <i>Analog to Digital Converter (ADC)</i>	18
BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1. Spesifikasi dan Perancangan Sistem.....	19
3.2. Perancangan dan Pembuatan Alat.....	20
3.2.1 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	20
3.2.1.1 Diagram Blok Sistem Keseluruhan.....	20
3.2.1.2 <i>Buck Converter</i>	20
3.2.1.3 Rangkaian Pembagi Tegangan.....	22
3.2.1.4 Sensor Arus ACS712 5A.....	24
3.2.1.4 <i>Driver MOSFET</i>	25

3.2.1.5	Rangkaian Keseluruhan.....	28
3.2.2	Perancangan dan Pembuatan Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	28
3.2.2.1	Diagram Alir Perancangan Keseluruhan Sistem.....	28
3.3	Pengujian Alat	30
3.3.1	Pengujian Rangkaian Pembagi Tegangan.....	30
3.3.2	Pengujian Sensor Arus.....	30
3.3.3	Pengujian <i>Buck Converter</i>	30
3.3.4	Pengujian Algoritma MPPT.....	31
3.3.5	Pengujian <i>Charging</i> Baterai.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		33
4.1	Pengujian Rangkaian Pembagi Tegangan	33
4.1.1	Prosedur Pengujian Rangkaian Pembagi Tegangan.....	34
4.1.2	Hasil Pengujian Rangkaian Pembagi Tegangan	34
4.2	Pengujian Sensor Arus	35
4.2.1	Prosedur Pengujian Sensor Arus.....	36
4.2.2	Hasil Pengujian Sensor Arus.....	36
4.3	Pengujian <i>Buck converter</i>	37
4.3.1	Prosedur Pengujian <i>Buck converter</i>	38
4.3.2	Hasil Pengujian <i>Buck converter</i>	38
4.4	Pengujian Algoritma MPPT	40
4.4.1	Prosedur Pengujian Algoritma MPPT.....	40
4.4.2	Hasil Pengujian Algoritma MPPT	41
4.5	Pengujian <i>Charging</i> Baterai	43
4.5.1	Prosedur Pengujian <i>Charging</i> baterai	44
4.5.2	Hasil Pengujian <i>Charging</i> baterai	44
BAB V PENUTUP.....		47
5.1	Kesimpulan.....	47
5.2	Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA.....		49
LAMPIRAN.....		51

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi <i>Solar Cell</i>	5
Tabel 2.2 Spesifikasi Modul Arduino Nano	6
Tabel 2.3 Terminal Keluaran Sensor ACS712	8
Tabel 2.4 Spesifikasi Sensor ACS712 5A	8
Tabel 3.1 Parameter <i>Buck Converter</i>	21
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Rangkaian Pembagi Tegangan	34
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Sensor Arus	36
Tabel 4.3 Hasil Pengujian <i>Buck converter</i>	39
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Daya <i>Solar Cell</i> Tanpa Algoritma MPPT	41
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Daya <i>Solar Cell</i> Menggunakan Algoritma MPPT	42
Tabel 4.6 Hasil Pengujian <i>Charging</i> 15 menit tanpa MPPT	44
Tabel 4.7 Hasil Pengujian <i>Charging</i> 15 menit menggunakan MPPT	45
Tabel 4.8 Hasil Pengujian <i>Charging</i> 45 menit tanpa MPPT	45
Tabel 4.9 Hasil Pengujian <i>Charging</i> 45 menit menggunakan MPPT	45



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Lintasan <i>Eco Solar Boat</i>	3
Gambar 2.2 Rangkaian pengganti <i>solar cell</i>	4
Gambar 2.3 Kurva karakteristik <i>solar cell</i>	5
Gambar 2.4 <i>Solar cell polly-crystalline</i>	6
Gambar 2.5 Arduino Nano V3	6
Gambar 2.6 Pin <i>mapping sensor ACS712-5A</i>	7
Gambar 2.7 Rangkaian pembagi tegangan	9
Gambar 2.8 Driver MOSFET tipe <i>high side</i>	10
Gambar 2.9 Driver MOSFET <i>input high</i>	10
Gambar 2.10 Driver MOSFET <i>input low</i>	11
Gambar 2.11 Rangkaian <i>buck converter</i>	11
Gambar 2.12 <i>Buck converter switch closed</i>	11
Gambar 2.13 Analisis gelombang keluaran <i>buck converter switch closed</i>	12
Gambar 2.14 <i>Buck converter switch opened</i>	13
Gambar 2.15 Analisis gelombang keluaran <i>buck converter switch opened</i>	13
Gambar 2.16 Gelombang keluaran <i>buck converter steady state</i>	14
Gambar 2.17 Gelombang arus pada kapasitor	14
Gambar 2.18 Grafik daya terhadap intensitas cahaya dan suhu lingkungan perjam	15
Gambar 2.19 Kurva daya terhadap tegangan <i>solar cell</i> dengan radiasi yang berbeda	16
Gambar 2.20 Diagram alir algoritma P&O	17
Gambar 3.1 Blok diagram sistem	20
Gambar 3.2 Rangkaian <i>buck converter</i> perancangan	22
Gambar 3.3 Rangkaian pembagi tegangan	22
Gambar 3.4 Diagram pemrosesan nilai dari pembagi tegangan menuju mikrokontroler	23
Gambar 3.5 Rangkaian penggunaan sensor ACS712	24
Gambar 3.6 Grafik tegangan terhadap arus sensor ACS712	24
Gambar 3.7 Diagram pemrosesan nilai arus menjadi nilai tegangan	25
Gambar 3.8 Driver MOSFET tipe <i>high side</i>	26
Gambar 3.9 Rangkaian keseluruhan sistem	28
Gambar 3.10 Diagram alir sistem	29
Gambar 4.1 Rangkaian pengujian Pembagi Tegangan	33
Gambar 4.2 Rangkaian pengujian sensor arus	35
Gambar 4.3 Grafik hasil pengujian sensor arus	37
Gambar 4.4 Rangkaian pengujian <i>buck converter</i>	38
Gambar 4.5 Grafik hasil pengujian <i>buck converter</i>	39
Gambar 4.6 Rangkaian pengujian algoritma MPPT	40
Gambar 4.7 Grafik pengujian algoritma MPPT	42
Gambar 4.8 Rangkaian pengujian <i>charging</i> baterai	43

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi alat..... 52
Lampiran 2 *Datasheet* 54
Lampiran 3 *Listing program* 61



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Eco Solar Boat merupakan salah satu cabang lomba dalam acara *Marine Icon 2017* yang diadakan oleh ITS. Setiap kapal yang dilombakan disertai *solar cell* dan baterai LiMn 1000 mAh 7.4 V. *Solar cell* yang terpasang digunakan untuk men-*charging* baterai, sedangkan baterai digunakan sebagai sumber energi untuk menggerakkan propeller kapal. Perlombaan dilakukan di danau dengan lintasan berjarak 300 m sebanyak 3 putaran. Rangkaian lomba terdiri dari tiga tahap yaitu kualifikasi, *charging*, dan *race*. Kualifikasi dilakukan untuk menentukan posisi *start* peserta. *Charging* akan dilakukan serentak oleh seluruh peserta dalam selang waktu yang sudah ditentukan tanpa ada interferensi peserta dan panitia. Waktu *charging* pada tahap semi final adalah 45 menit dan tahap final hanya 15 menit. Karena waktu *charging* baterai yg terbatas maka diperlukan cara agar *charging* baterai bisa maksimal dengan waktu yg ditentukan.

Permasalahan utama pada penggunaan *solar cell* adalah pembangkitan tenaga listrik yang rendah, terutama pada kondisi radiasi yang rendah (Faranda, 2008). Jumlah daya listrik yang dihasilkan berubah secara berkala seiring dengan perubahan radiasi. Meskipun daya yang dihasilkan berubah tergantung radiasi, terdapat titik pada kurva karakteristik daya terhadap tegangan pada *solar cell* yang menunjukkan daya maksimum yang disebut *Maximum Power Point* (MPP). Algoritma *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) dibutuhkan agar *solar cell* bekerja pada titik MPP sehingga *charging* baterai bisa lebih optimal.

Terdapat beberapa algoritma MPPT yang telah ditemukan dan ditulis pada jurnal ilmiah internasional seperti *Perturb and Observe*, *Incremental Conductance*, *Dynamic Approach*, *Temperature Methods*, *Artificial Neural Network method*, *Fuzzy Logic method* dll. Semua algoritma tersebut berbeda-beda dalam beberapa aspek termasuk kesederhanaan, kecepatan, implementasi *hardware*, sensor yang dibutuhkan, biaya, efektifitas, dan parameter yang dibutuhkan (Faranda, 2008).

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara menerapkan metode MPPT untuk sistem *charging* baterai *Eco Solar Boat*.
2. Bagaimana pengaruh penerapan metode MPPT untuk sistem *charging* baterai *Eco Solar Boat*.

1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat disusun batasan masalah sebagai berikut:

1. Algoritma MPPT yang digunakan adalah *Perturb and Observe (P&O)*.
2. Posisi *solar cell* dibuat tetap.
3. Mengabaikan pengaruh suhu lingkungan terhadap kinerja *solar cell*.
4. *Charging* baterai diutamakan saat cuaca cerah.
5. *Solar cell* yang digunakan hanya satu.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dirumuskan sebelumnya, tujuan dari perancangan ini adalah memaksimalkan daya *solar cell* agar *charging* baterai *Eco Solar Boat* lebih optimal.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini turut memberikan kontribusi dalam memaksimalkan daya *solar cell* untuk *charging* baterai *Eco Solar Boat*. Selain itu hasil penelitian ini bisa diaplikasikan pada sistem lain yang menggunakan *solar cell*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Eco solar boat*

Eco solar boat merupakan salah satu cabang lomba dalam acara *Marine Icon 2017* yang diadakan tiap tahunnya oleh ITS. Pada perlombaan *eco solar boat*, *prototype* kapal bertenaga surya dengan sistem pengendali *remote control*. Peserta diharuskan menggunakan *remote control* dengan frekuensi *transmitter* 2.4GHz, untuk menghindari terdapatnya frekuensi yang sama pada sesi *race* final. Terdiri dari dua kategori lomba yaitu *eco solar boat slalom race* dan *eco solar boat best design*. Ketentuan kapal akan dijelaskan sebagai berikut :

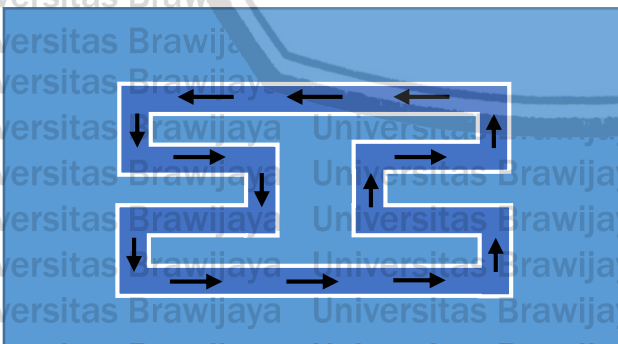
1. Panjang kapal 75-80 cm
2. Lebar kapal maksimum 50 cm *peak to peak*
3. Baterai diberikan panitia adalah jenis Li-Mn 7.4 V 1000 mAh
4. Bangunan atas harus dapat lepas sehingga bagian kelistrikan kapal dapat dilihat, untuk pengecekan instalasi kelistrikan dan panel surya
5. Panel surya harus terpasang pada kapal.

Perlombaan dilakukan di danau dengan lintasan berjarak 300 m sebanyak 3 putaran.

Lintasan perlombaan *Eco Solar Boat* seperti pada Gambar 2.1. Kapal yang sanggup bertahan dan *finish* terlebih dahulu dinilai sebagai juara. Rangkaian lomba terdiri dari tiga tahap yaitu kualifikasi, *charging*, dan *race*. Kualifikasi dilakukan untuk menentukan posisi *start* peserta.

Charging akan dilakukan serentak oleh seluruh peserta dalam waktu yang sudah ditentukan.

Tahap semi final adalah 45 menit dan tahap final hanya 15 menit.



Gambar 2.1 Lintasan *Eco Solar Boat*

2.2. Solar cell

Prinsip kerja *solar cell* adalah dengan memanfaatkan teori cahaya sebagai partikel. Sebagaimana diketahui bahwa cahaya baik yang tampak maupun yang tidak tampak memiliki dua buah sifat yaitu sebagai gelombang dan sebagai partikel yang disebut foton (Beiser, 1987). Pada dasarnya adalah sebuah p-n junction antara dua lapisan silikon yang didoping dengan atom tidak murni. Pada lapisan-n terdapat atom dengan kelebihan satu elektron pada pita valensi yang disebut dengan donor, sedangkan pada lapisan-p terdapat atom yang kekurangan satu elektron atau kelebihan *hole* pada pita valensi yang disebut sebagai aseptor. Ketika dua lapisan digabung, pada lapisan-n elektron akan tersebar ke lapisan-p dan mengisi *hole* sehingga terbentuk kutub positif pada layer-n. Begitu juga sebaliknya *hole* pada lapisan-p akan tersebar ke lapisan-n sehingga membentuk kutub negatif pada lapisan-p (P.A Lynn, 2010). Rangkaian pengganti *solar cell* ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Rangkaian pengganti *solar cell*

Sumber: (Morales, 2010)

Persamaan dari rangkaian persamaan diatas adalah :

$$I = I_L - I_o \left\{ \exp \left[\frac{q(V+IR_S)}{nkT} \right] - 1 \right\} - \frac{V+IR_S}{R_{SH}} \tag{2.1}$$

I_o = arus saturasi reverse (Ampere)

n = faktor ideal dioda (bernilai 1 untuk dioda ideal)

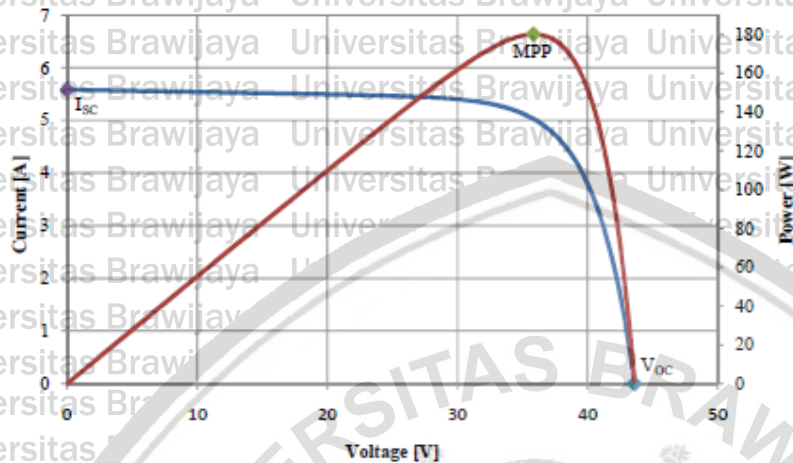
q = pengisian elektron ($1.602 \cdot 10^{-19}$ C)

k = konstanta Boltzman ($1.3806 \cdot 10^{-19}$ J.K⁻¹)

T = temperatur *solar cell* (°K)

Gambar 2.3 merupakan grafik karakteristik *solar cell*. Arus terbesar terjadi ketika tegangan sama dengan 0 V. Arus akan semakin kecil ketika tegangan semakin besar. Pada

grafik daya terhadap tegangan, terdapat titik dimana daya mencapai nilai maksimalnya. Titik ini disebut dengan *maximum power point* (MPP).



Gambar 2.3 Kurva karakteristik *solar cell*

Sumber: (Morales, 2010)

Solar cell yang digunakan pada perancangan ini adalah tipe *Polly-Crystalline* dengan bentuk fisik pada Gambar 2.4 dan spesifikasi pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1

Spesifikasi *Solar Cell*

Parameter	Nilai
P_{max}	20 W
V_{mp}	11 V
I_{mp}	1.81 A
V_{oc}	13 V
I_{sc}	1.99 A
<i>Maximum system voltage</i>	600 V
<i>Size</i>	340mm x 345mm x 17mm
<i>Test Condition</i>	1000 W/m ²



Gambar 2.4 Solar cell polly-crystalline

Sumber: www.royalpv.com (2017)

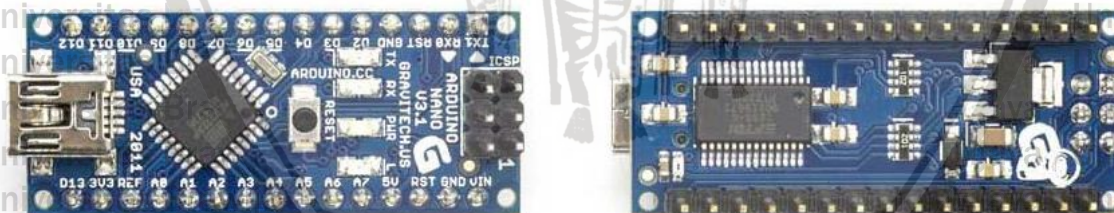
2.3. Arduino Nano

Arduino Nano adalah sebuah *board* Mikrokontroler yang berbasis ATmega 328p.

Arduino memiliki fitur dasar ATmega 328p dengan koneksi *micro* USB, dan tombol *reset*.

Bentuk *board* Arduino Nano terlihat pada Gambar 2.8. Arduino ditulis memakai bahasa C++ yang sudah dimodifikasi dalam Arduino IDE nya. Catu daya yang dipakai 5 V. Hanya butuh

100 μ s (0,0001 s) untuk membaca *input* analog (ADC), jadi maksimum nilai yang dapat dibaca adalah 10.000 kali dalam 1 sekon (Ecadio, 2018). Bentuk fisik dari Arduino nano ditunjukkan pada Gambar 2.5 dan spesifikasinya terdapat pada Tabel 2.2



Gambar 2.5 Arduino Nano V3

Sumber: <http://ecadio.com/jual-Arduino-nano?search=Arduino%20nano> (2017)

Tabel 2.2
Spesifikasi Modul Arduino Nano

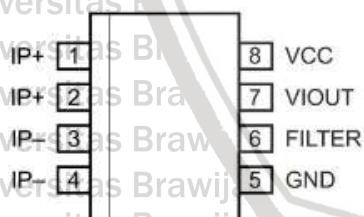
Mikrokontroler	ATmega328
Tegangan operasi	5Volt
Tegangan input	disarankan 7-11Volt

Batas tegangan input	6-20Volt
Pin I/O digital	14 (6 bisa untuk PWM)
Pin analog	6
Arus DC tiap pin I/O	40 mA
Memori <i>flash</i>	32 KB (ATmega328) dan 0,5 KB digunakan oleh <i>bootloader</i>
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Kecepatan <i>clock</i>	16 MHz
Dimensi	45mm x 15mm
Berat	5 gram

Sumber : <http://ecadio.com/jual-Arduino-nano?search=Arduino%20nano> (2017)

2.4. Sensor Arus ACS712

Sensor arus ACS712-5A adalah sensor arus yang mampu mendeteksi arus DC maupun AC dengan rentang 5A keluaran Allegro Microsystems. Sensor arus ini banyak dimanfaatkan pada kontrol motor, deteksi dan manajemen beban listrik, *switch mode* pada catu daya, dan proteksi arus lebih. (Allegro MicroSystems, 2013, p.1).



Gambar 2.6 Pin mapping sensor ACS712-5A

Sumber: Allegro microsystem (2013)

Cara kerja sensor ACS712 adalah arus yang dibaca mengalir melalui kabel tembaga yang terdapat didalamnya menghasilkan medan magnet, kemudian ditangkap oleh *integrated Hall IC* dan diubah menjadi tegangan proporsional. Pin Mapping sensor arus ACS712-5A ditunjukkan pada Gambar 2.6 dan terminal keluaran sensor ACS712-30A ditunjukkan Tabel 2.3.

Tabel 2.3
Terminal Keluaran Sensor ACS712

Terminal Keluaran Sensor ACS712-5A No	Nama	Deskripsi
1 dan 2	IP+	Terminal untuk sampling arus, <i>fused internally</i>
3 dan 4	IP-	Terminal untuk sampling arus, <i>fused internally</i>
5	GND	Terminal sinyal ground
6	FILTER	Terminal eksternal kapasitor untuk mengatur <i>bandwith</i>
7	VIOUT	keluaran sinyal analog
8	VCC	Terminal catu daya

Sumber: Allegro microsystem (2013, p.3)

Ketika terjadi peningkatan arus yang mengalir pada jalur konduksi utama (dari pin 1 dan 2, ke pin 3 dan 4), jalur tersebut merupakan jalur yang berfungsi untuk mencuplik arus. Jadi, keluaran sensor arus akan menjadi *slope* positif. Spesifikasi sensor arus ACS712-5A ditunjukkan dalam Tabel 2.4.

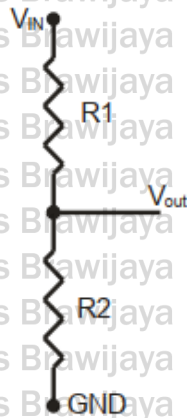
Tabel 2.4
Spesifikasi Sensor ACS712 5A

Spesifikasi	Simbol	Nilai	Satuan
Tegangan suplai	VCC	4,5 ~ 5,5	V
Arus suplai	ICC	10 ~ 13	mA
Rentang pengukuran	IP	-5 ~ 5	A
Sensitivitas	V/A	180 ~ 190	mV/A
Suhu operasi	T _A	-40-85	°C
Total Output Error	E _{Tot}	1.5	%
Bandwith frekuensi	F	80	kHz

Sumber: Allegro microsystem (2013, p.3)

2.5. Rangkaian Pembagi Tegangan

Rangkaian pembagi tegangan adalah rangkaian dua resistor seri yang berfungsi untuk mengubah tegangan *input* menjadi tegangan yang lebih kecil pada *output*. Rangkaian pembagi tegangan terdiri dari dua buah resistor yang disusun seperti pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Rangkaian pembagi tegangan

Sumber: (Fauzi, 2013)

Pada Gambar 2.7 Nilai V_{IN} adalah nilai tegangan yang akan diukur, sedangkan V_{OUT} adalah nilai tegangan yang nantinya akan dibaca pada mikrokontroler. Persamaan dari rangkaian pembagi tegangan dinyatakan sebagai berikut:

$$V_{out} = V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.2)$$

V_{out} = Tegangan yang terbaca sensor (V)

V_{in} = Tegangan yang akan dibaca sensor (V)

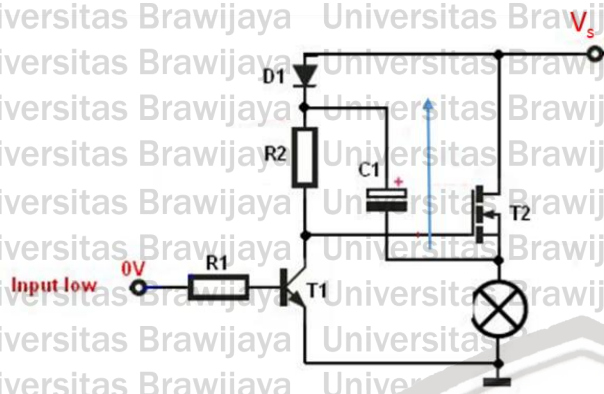
R_1 = Resistor pada sisi V_{in} (Ω)

R_2 = Resistor pada sisi *Ground* (Ω)

2.6. Driver MOSFET

Driver MOSFET adalah suatu rangkaian yang berfungsi agar MOSFET bekerja dalam keadaan ON atau OFF. Agar MOSFET dapat bekerja, muatan kapasitor yang ada di *gate* MOSFET harus diisi dan dibuang. Selain arus yang harus diisi dan dibuang, tegangan *gate* (V_{GS}) juga harus lebih besar dari tegangan *threshold* (V_{TH}) dari suatu MOSFET. Sehingga diperlukan *driver* MOSFET agar MOSFET dapat bekerja.

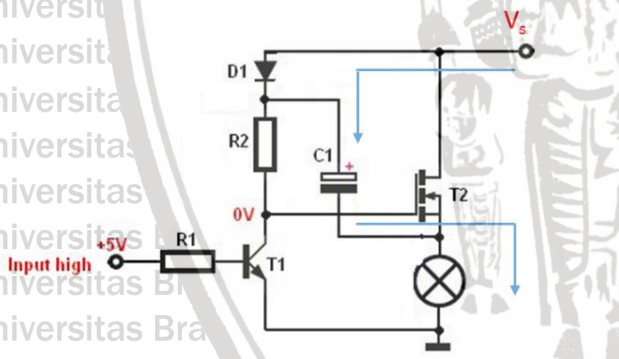
Gambar 2.8 merupakan rangkaian *driver* MOSFET tipe *high side*. Rangkaian ini cukup sederhana dengan hanya membutuhkan sebuah transistor sebagai penguat sinyal dari mikrokontroler, dioda sebagai pengamanan rangkaian agar tidak ada arus balik yang dapat merusak sumber tegangan dan kapasitor yang berfungsi untuk mengisi muatan *gate* MOSFET.



Gambar 2.8 Driver MOSFET tipe high side

Sumber: <https://forum.allaboutcircuits.com/threads/confused-about-transistor-in-circuit.87325.html> (2013)

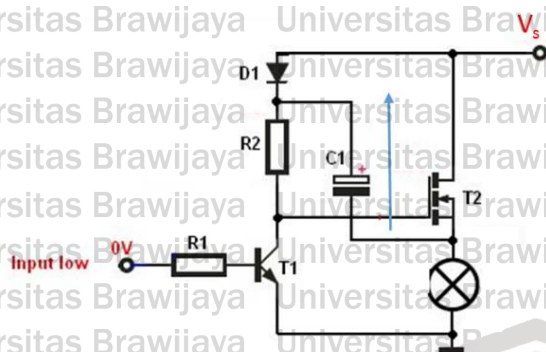
Gambar 2.9 menunjukkan cara kerja driver MOSFET ketika input high. Ketika input dari mikokontroler high, maka transistor akan dalam mode saturasi sehingga tegangan gate (V_G) akan bernilai nol dan kapasitor akan mengisi muatannya. Sehingga MOSFET dalam keadaan OFF.



Gambar 2.9 Driver MOSFET input high

Sumber: <https://forum.allaboutcircuits.com/threads/confused-about-transistor-in-circuit.87325.html> (2013)

Gambar 2.10 menunjukkan cara kerja driver MOSFET ketika input low. Ketika input dari mikokontroler low, maka transistor akan dalam mode cut off sehingga tegangan gate (V_G) akan bernilai mendekati tegangan sumber (V_s) dan kapasitor akan membuang muatannya. Sehingga MOSFET dalam keadaan ON.

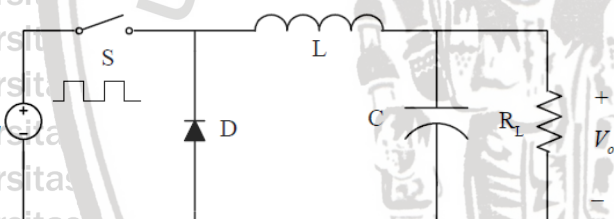


Gambar 2.10 Driver MOSFET input low

Sumber: <https://forum.allaboutcircuits.com/threads/confused-about-transistor-in-circuit.87325.html> (2013)

2.7. Buck Converter

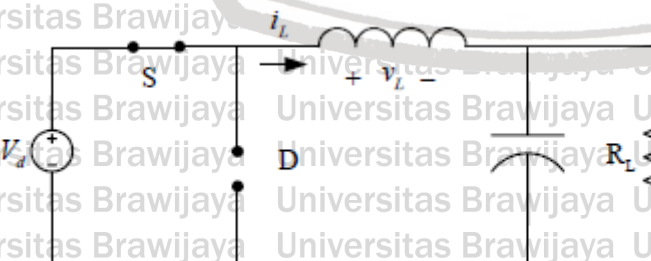
Buck converter adalah rangkaian elektrik converter DC-DC yang berfungsi untuk menurunkan tegangan. Rangkaian dasar *buck converter* terdiri dari MOSFET sebagai *switching*, induktor (L), diode (D), kapasitor (C) dan resistor sebagai beban (R_L). Rangkaian *buck converter* seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Rangkaian *buck converter*

Sumber: (Salam, 2002)

Prinsip kerja rangkaian ini dibagi menjadi 2 mode yaitu *switch closed* dan *switch opened*.



Gambar 2.12 *Buck converter switch closed*

Sumber: (Salam, 2002)

Pada Gambar 2.12 *buck converter* dalam keadaan *switch closed*. Dioda terbias mundur sehingga dalam keadaan *open*. Arus mengalir dari sumber menuju ke induktor lalu ke beban, maka tegangan pada induktor:

$$V_L = V_D - V_O \dots\dots\dots (2.3)$$

$$L \frac{di_L}{dt} = V_D - V_O$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_D - V_O}{L}$$

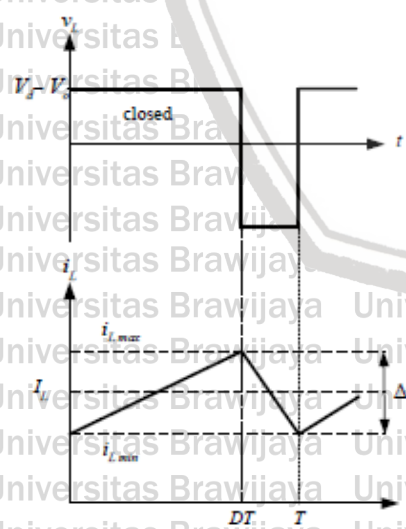
Turunan dari i_L selalu positif maka i_L akan meningkat secara linier. Sehingga:

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_d - V_o}{L}$$

$$(\Delta i_L)_{closed} = \frac{V_d - V_o}{L} DT \dots\dots\dots (2.4)$$

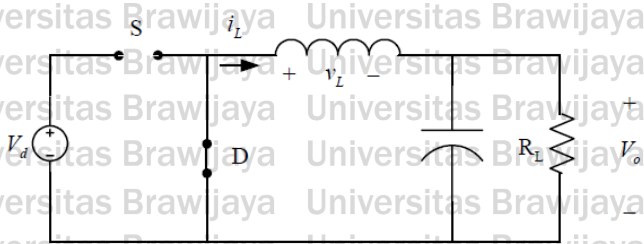
Δi_L adalah *ripple* arus perbedaan antara nilai awal dan akhir arus seriap satu gelombang.

Analisis bentuk gelombang keluaran *buck converter* ketika dalam keadaan *switch closed* seperti pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Analisis gelombang keluaran *buck converter* *switch closed*

Sumber: (Salam, 2002)



Gambar 2.14 Buck converter switch opened

Sumber: (Salam, 2017)

Pada Gambar 2.14 *buck converter* dalam keadaan *switch opened*, dioda terbias maju sehingga dioda dalam kondisi tertutup. Arus yang disimpan induktor dikeluarkan menuju ke beban. Sehingga tegangan di induktor:

$$V_L = -V_o \dots \dots \dots (2.5)$$

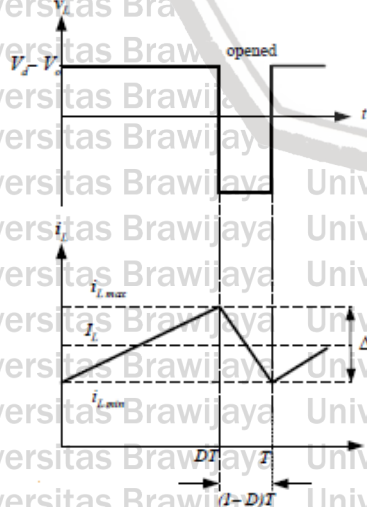
$$L \frac{di_L}{dt} = -V_o$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{-V_o}{L}$$

Karena turunan dari i_L adalah positif maka i_L akan menurun secara linier. Sehingga:

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1 - D)T} = \frac{-V_o}{L}$$

$$(\Delta i_L)_{opened} = \left(\frac{-V_o}{L}\right) (1 - D)T \dots \dots \dots (2.6)$$



Gambar 2.15 Analisis gelombang keluaran *buck converter switch opened*

Sumber: (Salam, 2002)

Analisis bentuk gelombang keluaran *buck converter* ketika dalam keadaan *switch opened* seperti pada Gambar 2.15.



Gambar 2.16 Gelombang keluaran *buck converter* steady state
 Sumber: (Salam, 2002)

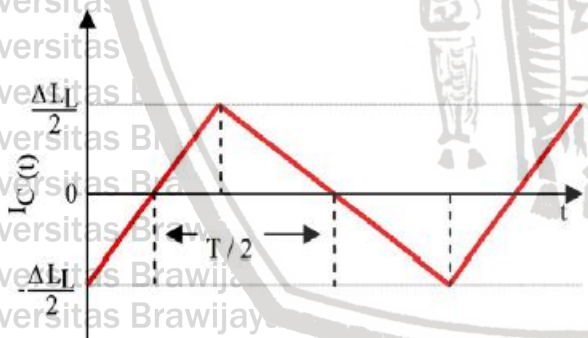
Keadaan *steady state* tercapai ketika i_L pada akhir *switching* sama dengan keadaan awal dari proses selanjutnya. Sehingga perubahan i_L sama dengan nol.

$$(\Delta i_L)_{opened} + (\Delta i_L)_{closed} = 0$$

$$\left(\frac{V_d - V_o}{L}\right) DT - \left(\frac{-V_o}{L}\right) (1 - D)T = 0$$

$$V_o = D V_D \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan menguraikan persamaan penjumlahan antara *ripple* arus saat mode *open* dan mode *close* maka didapatkan persamaan $V_o = D V_D$. Tegangan keluaran akan semakin besar ketika *duty cycle* semakin besar.



Gambar 2.17 Gelombang arus pada kapasitor
 Sumber: (Mouhadjer, 2012)

Gambar 2.17 menunjukkan bahwa rata-rata arus pada kapasitor adalah nol, namun pada setengah gelombang, kapasitor akan mengisi muatannya. Muatan yang diisi dapat diketahui dengan persamaan berikut

$$\Delta Q = \frac{1}{2} \times \frac{\Delta I_L}{2} \times \frac{T}{2} = \frac{1}{8} \times \Delta I_L \times T \dots\dots\dots (2.8)$$

Karena $V_c = V_{out}$, peningkatan tegangan kapasitor sebesar:

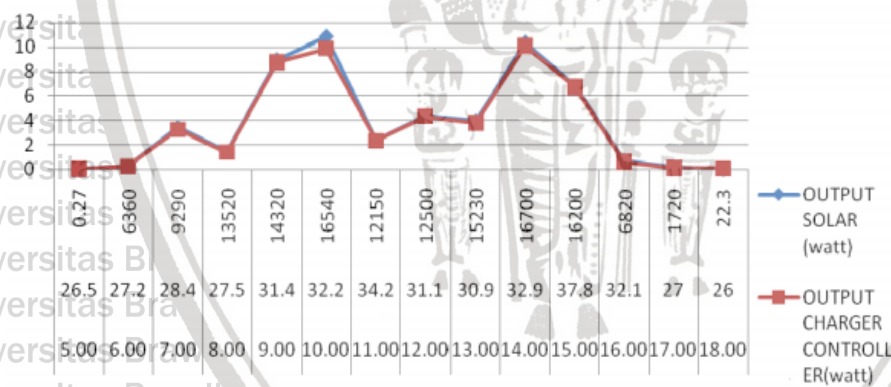
$$\Delta V_{OUT} = \frac{\Delta I_L}{C} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dari persamaan (2.6) dan (2.9) akan didapatkan persamaan tegangan *ripple* pada *output* sebagai berikut

$$\Delta V_{OUT} = \frac{V_{out}(1-D)}{8L \times C \times f^2} \dots \dots \dots (2.10)$$

2.8. Maximum Power Point Tracker (MPPT)

Maximum Power Point Tracker (MPPT) merupakan suatu metode untuk meningkatkan efisiensi *solar cell* dengan cara membuat *solar cell* bekerja pada titik daya maksimal. MPPT bukanlah sebuah sistem *tracking* mekanik yang digunakan untuk mengubah posisi *solar cell* terhadap posisi matahari. MPPT adalah sistem elektronik yang bekerja dengan membandingkan daya yang terukur pada interval tertentu. Kemudian dilakukan suatu pengaturan terhadap sistem MPPT dari hasil perbandingan sebelumnya yang akan mengarah pada daya maksimal dari *solar cell*.

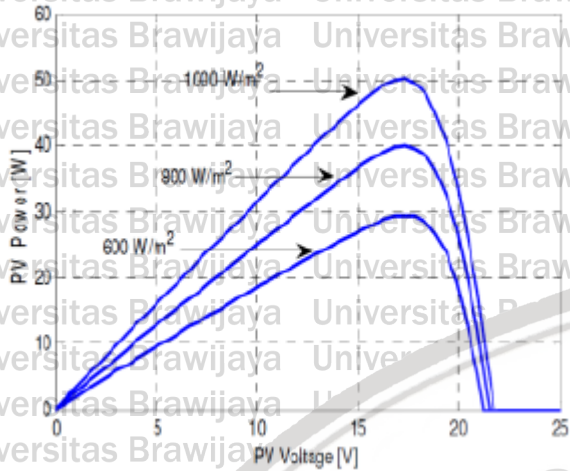


Gambar 2.18 Grafik daya terhadap intensitas cahaya dan suhu lingkungan perjam

Sumber: (Hani, 2014)

Kurva daya terhadap tegangan dan arus terhadap tegangan *solar cell* menunjukkan suatu titik puncak dimana daya yang dihasilkan *solar cell* maksimum. Titik puncak ini disebut *Maximum Power Point* (MPP). Titik puncak ini sangat dipengaruhi oleh radiasi dan suhu.

Gambar 2.18 menunjukkan titik puncak *solar cell* akan bervariasi sesuai dengan radiasi yang diterima *solar cell* saat bekerja seperti yang terlihat pada Gambar 2.18 dan 2.19.



Gambar 2.19 Kurva daya terhadap tegangan *solar cell* dengan radiasi yang berbeda
Sumber: (Ashari, 2010)

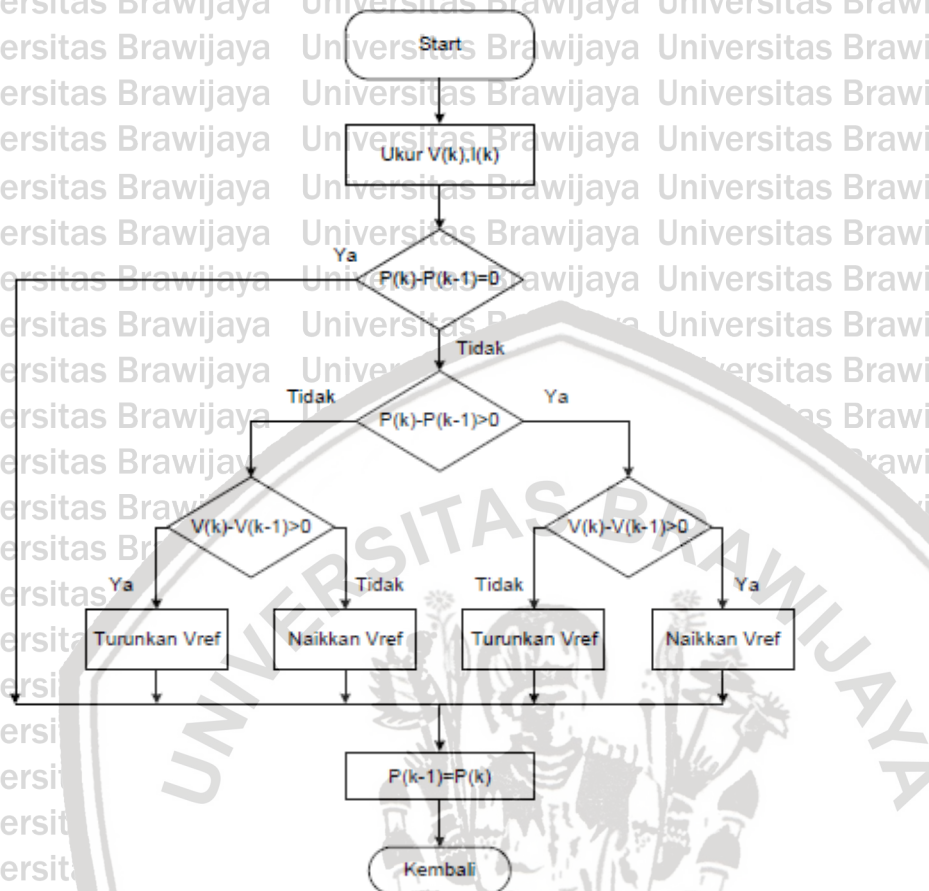
Terdapat dua teknologi untuk memanfaatkan energi dari *solar cell*. MPPT dan PWM.

Perbedaan antara MPPT dan PWM terletak dari daya yang dihasilkan. Pada kondisi ideal jika menggunakan MPPT untuk *charging* baterai, tegangan *solar cell* akan tetap pada tegangan saat daya maksimal. Jika menggunakan PWM untuk *charging* baterai, tegangan *solar cell* akan mengikuti tegangan baterai yang di-*charging* (Victron Energy, 2014).

Perbedaan ini berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan karena nilai daya akan semakin besar ketika nilai tegangan bertambah besar. Selain itu perbedaan terletak pada rangkaian penyusun. Dalam rangkaian MPPT menggunakan konverter DC-DC untuk mengatur tegangan *solar cell* ke baterai. Sedangkan PWM, *solar cell* terhubung langsung ke baterai. *Duty cycle* pada sistem PWM berubah-ubah untuk mencari daya maksimal, sedangkan *duty cycle* pada PWM berfungsi untuk memutuskan dan menghubungkan *solar cell* ke baterai.

2.9. Algoritma *Perturb and Observe* (P&O)

Algoritma P&O disebut juga dengan metode *hill climbing*. Algoritma ini akan mengubah (*perturb*) *duty cycle* konverter yang digunakan. Perubahan *duty cycle* ini akan berpengaruh pada tegangan *solar cell*. Daya *solar cell* kemudian dihitung (*observe*) setelah dilakukan perubahan *duty cycle*. Apabila terjadi peningkatan daya, maka perubahan *duty cycle* akan dijaga pada arah sama. Apabila terjadi penurunan daya maka perubahan *duty cycle* akan dirubah ke arah sebaliknya (Esrasm & Chapman, 2007). Proses ini dilakukan secara terus menerus sehingga terjadi osilasi disekitar titik daya maksimal *solar cell*.



Gambar 2.20 Diagram alir algoritma P&O

Sumber: (Sejati, 2009)

Gambar 2.20 menunjukkan diagram alir algoritma P&O. Penjelasan diagram alir akan dijelaskan pertahap sebagai berikut:

1. Pengukuran tegangan dan arus awal. Dilakukan pengukuran untuk mengetahui secara persis nilai tegangan dan arus *solar cell*
2. Perhitungan daya *solar cell* : Dilakukan perhitungan untuk mengetahui secara persis nilai daya *solar cell* saat ini.
3. Perhitungan selisih daya. Dilakukan untuk mengetahui selisih daya yang baru saja terukur dengan daya yang sudah terukur pada proses sebelumnya.
4. Perhitungan selisih tegangan. Dilakukan untuk menentukan proses perubahan tegangan. Tegangan *solar cell* akan dirubah lebih besar ataupun lebih kecil dengan mengatur *duty cycle* dari *Converter DC-DC*. Hal ini bergantung pada selisih daya *solar cell* dan juga selisih daripada tegangan yang terukur.

- 5. Nilai tegangan dan daya setelah dilakukan perubahan akan disimpan untuk proses perbandingan selanjutnya.
- 6. *Return*: Jika sudah beres, proses akan kembali lagi ke nomor 1.

2.10 Analog to Digital Converter (ADC)

Analog Digital Converter (ADC) merupakan suatu perhitungan konversi yang mengubah sinyal *analog* atau tegangan *analog* menjadi sinyal *digital*. Resolusi ADC selalu dinyatakan sebagai jumlah dari bit-bit dalam kode keluaran digitalnya. ADC dengan resolusi *n*-bit memiliki 2^n kode digital yang mungkin dan berarti juga memiliki 2^n *step level*. Jika resolusi ADC semakin tinggi, maka semakin banyak kemungkinan nilai-nilai *analog* yang bisa disajikan. Misal, ADC dengan resolusi 8 bit menghasilkan bilangan 0 sampai dengan 255 (256 bilangan dan 255 *step*).

Arduino Nano memiliki resolusi ADC 10 bit maka menghasilkan bilangan 0 sampai 1023 (1024 bilangan dan 1023 *step*). Rumus perhitungan ADC sesuai dengan buku yang ditulis oleh Andrianto tahun 2015 ditunjukkan pada Persamaan (2.1) dan perhitungan nilai digital ditunjukkan pada Persamaan (2.2)

$$V_{ADC} = \left(\frac{\text{Nilai digital}}{1024} \right) \times V_{ref} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$\text{Nilai digital} = \left(\frac{V_{ADC}}{V_{ref}} \right) \times 1024 \dots\dots\dots (2.12)$$

- V_{ADC} = Tegangan konversi ADC (V)
- V_{Ref} = tegangan yang digunakan untuk referensi ADC (V)
- Nilai Digital* = Nilai antara 0 sampai 1023 atau nilai yang dihasilkan sesuai resolusi adc.

BAB III METODE PENELITIAN

Penyusunan penelitian ini didasarkan dalam masalah yang bersifat aplikatif, yaitu perencanaan dan perealisasiannya agar dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan dengan mengacu pada rumusan masalah. Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasikan alat yang dirancang adalah penentuan spesifikasi alat, perancangan dan pembuatan alat, pengujian alat, dan pengambilan kesimpulan.

Alat yang ingin dibuat berupa *converter* DC-DC tipe *buck converter* dengan pengendali *switching* berupa algoritma MPPT jenis P&O. *Buck converter* digunakan untuk menyesuaikan tegangan dari *solar cell* sebelum menuju ke baterai. Sedangkan algoritma MPPT jenis P&O berfungsi untuk mencari titik daya maksimal *solar cell* ketika bekerja. Algoritma P&O membutuhkan *input* berupa tegangan dan arus *solar cell*, maka digunakanlah rangkaian pembagi tegangan dan sensor arus. Nilai pembacaan tegangan dan arus *solar cell* akan diolah mikrokontroler Arduino nano sebagai *input* dari algoritma P&O kemudian *output* algoritma P&O berupa *duty cycle* yang akan mengatur *switching buck converter*.

3.1 Spesifikasi dan Perancangan Sistem

Sebelum melakukan perencanaan dan pembuatan alat, maka ditentukan spesifikasi alat terlebih dahulu yang akan dibuat. Hal ini dimaksudkan untuk mempermudah dan lebih fokus dalam perancangan dan pembuatan alat. Adapun spesifikasi alat yang akan dibuat dan direalisasikan adalah sebagai berikut:

1. *Solar cell* yang digunakan adalah *Polly-Cristalline* dengan dimensi 340mm x 345mm x 17mm
2. Tegangan *solar cell* maksimal 13 V dan arus maksimal 1.99 A
3. *Converter* DC-DC yang digunakan adalah tipe *buck converter*
4. *Driver* MOSFET *buck converter* tipe *high side*
5. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino nano berbasis *chip* ATmega328
6. Pembacaan arus *solar cell* menggunakan sensor arus ACS712 5A
7. Pembacaan tegangan *solar cell* menggunakan rangkaian pembagi tegangan
8. Baterai yang di-charge adalah baterai tipe *Lithium Mangan* LiMn 7.5 V 1000 mAh.

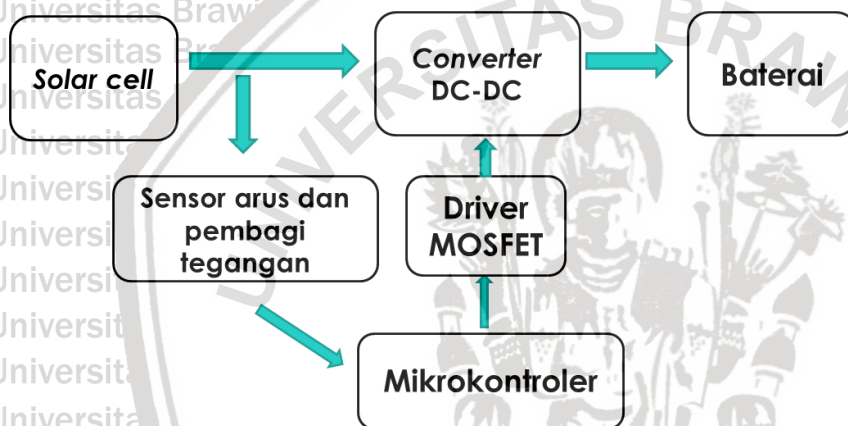
3.2. Perancangan dan Pembuatan Alat

Perancangan dan pembuatan alat dalam penelitian ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu *hardware* dan *software*.

3.2.1 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Keras (*Hardware*)

Perancangan dan pembuatan perangkat keras dapat dibagi menjadi beberapa bagian yaitu perancangan diagram blok sistem keseluruhan, perancangan *buck converter*, perancangan rangkaian pembagi tegangan, perancangan sensor arus, dan perancangan *driver MOSFET*.

3.2.1.1. Diagram Blok Sistem Keseluruhan



Gambar 3.21 Blok diagram sistem

Gambar 3.1 menunjukkan blok diagram sistem yang ingin dirancang. Prinsip kerja sistem ini adalah pertama *solar cell* menerima radasi matahari yang akan diubah menjadi tegangan dan arus. Tegangan dan arus yang dihasilkan *solar cell* kemudian masuk ke *buck converter* yang diberi nilai *duty cycle switching* tertentu. Sebelum masuk ke *buck converter*, tegangan dan arus dari *solar cell* dibaca oleh pembagi tegangan dan sensor arus. Hasil pembacaan kemudian menjadi *input* dari algoritma P&O yang akan diolah mikrokontroler. *Output* algoritma P&O berupa *duty cycle* untuk *switching buck converter*. Keluaran dari *buck converter* berupa tegangan dan arus kemudian akan digunakan untuk men-*charging* baterai LiMn dalam batas waktu tertentu.

3.2.1.2 *Buck Converter*

Buck converter adalah *converter* DC-DC yang berfungsi untuk menurunkan tegangan. Merancang *buck converter* untuk *charging* baterai LiMn 7.4 V diperlukan parameter-

parameter yang diinginkan terlebih dahulu. Parameter-parameter yang diinginkan seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1
Parameter *Buck Converter*

Parameter	Nilai
V_{in}	13 V
V_{out}	8.6 V
Frekuensi (f)	50000 Hz
I_{omax}	1.2 A

Dalam perancangan buck converter arus ripple diatur sebesar 30% dari arus maksimal.

Sehingga arus ripple dapat dihitung sebagai berikut:

$$I_{ripple} = 0.3 \times 1.2 = 0.36$$

Duty cycle dihitung dengan membandingkan antara tegangan keluaran dan tegangan masukan sesuai spesifikasi yang diinginkan. Menggunakan persamaan (2.7) maka *duty cycle* dapat ditentukan.

$$D = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$D = \frac{8.6}{13} = 0.66$$

Menghitung nilai induktor dilakukan dengan merubah sedikit persamaan (2.4). Nilai induktor dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$L = \frac{(V_{in} - V_{out})}{f \times I_{ripple}} \times D \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

$$= \frac{(13 - 8.6)}{50000 \times 0.36} \times 0.66$$

$$= 161.3 \mu H \approx 160 \mu H$$

Setelah nilai induktor ditentukan, maka nilai kapasitor buck converter dapat dicari dengan mengubah persamaan (2.10). Persamaan untuk mencari nilai kapasitor adalah sebagai berikut:

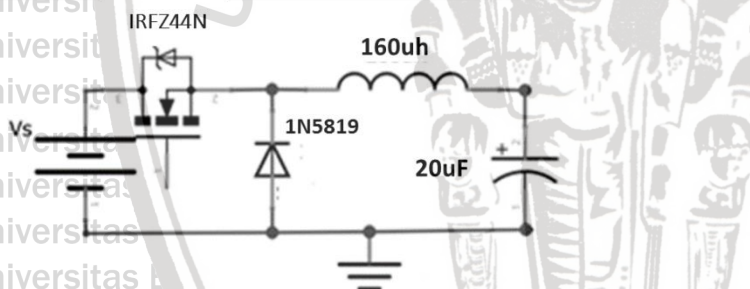
$$C = \frac{V_{out}(1-D)}{8Lx f^2 x \Delta V_{out}} \quad (3.3)$$

$$= \frac{8.6x(1 - 0.66)}{8 x 161.3 \cdot 10^{-6} x 50000^2 x 50 \cdot 10^{-3}}$$

$$= 18.1 \mu F \cong 20 \mu F$$

MOSFET yang digunakan pada perancangan adalah tipe IRFZ44N. IRFZ44N memiliki spesifikasi $V_{DSS} = 55V$ dan $I_D = 49A$ sehingga bisa digunakan pada sistem. Spesifikasi lengkap IRFZ44N dapat dilihat pada lampiran 2

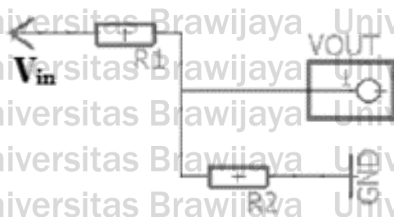
Setelah komponen telah ditentukan maka *buck converter* dapat dibuat dengan rangkaian seperti Gambar 3.2



Gambar 3.22 Rangkaian buck converter perancangan

3.2.1.3 Rangkaian Pembagi Tegangan

Rangkaian pembagi tegangan yang digunakan dalam sistem memiliki spesifikasi tegangan *input* 0–13 V dan *output* 0–5 V. Rangkaian pembagi tegangan ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.23 Rangkaian pembagi tegangan

Sumber: (Ardyansyah, 2018)

Nilai hambatan R_1 dan R_2 dapat dihitung menggunakan persamaan (2.2).

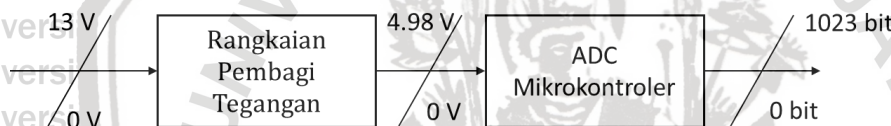
$$V_{out} = V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$5 = 13 \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$13R_2 = 5R_1 + 5R_2$$

$$8R_2 = 5R_1$$

Jika nilai hambatan R_1 ditentukan $24\text{k}\Omega$, maka nilai R_2 dapat ditentukan yaitu sebesar $15\text{k}\Omega$. Proses pendeteksian tegangan masukan dilakukan oleh pembagi tegangan. Kemudian nilai tegangan tersebut dikonversi pada mikrokontroler ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.24 Diagram pemrosesan nilai dari pembagi tegangan menuju mikrokontroler.

Tegangan bernilai $4,98\text{V}$ merupakan tegangan ADC (V_{ADC}) pada mikrokontroler Arduino Nano. Tegangan referensi mikrokontroler Arduino Nano adalah 5V dan resolusi untuk mikrokontroler Arduino Nano adalah 10 bit, sehingga perhitungan V_{ADC} sesuai Persamaan (2.11) sebagai berikut:

$$V_{ADC} = \left(\frac{\text{Nilai digital}}{1024} \right) \times V_{ref} = \left(\frac{1023}{1024} \right) \times 5 = 4.98\text{V}$$

Maka resolusi pembacaan pada ADC dengan tegangan referensi 5V tiap bit adalah :

$$\text{Resolusi}_{ADC} = \left(\frac{V_{ref}}{1024} \right) \dots \dots \dots (3.4)$$

$$\text{Resolusi}_{ADC} = \left(\frac{5}{1024} \right) = 0.00483 \text{ V/bit}$$

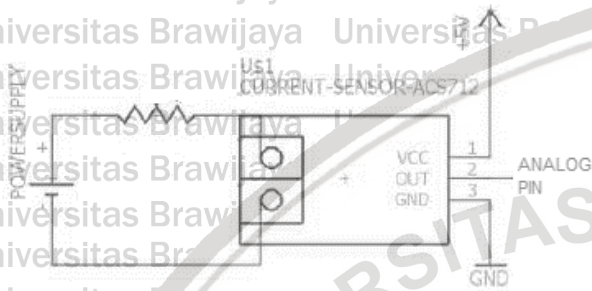
Relosusi tiap pembagi tegangan dengan mengalikan resolusi ADC dengan perbandingan masukan maksimal pembagi tegangan yaitu 13V dengan tegangan keluaran maksimal pembagi tegangan 5V .

$$\text{Perubahan bit} = 0.00483 \left(\frac{13}{5} \right) = 0.0012 \text{ V/bit}$$

Jadi, memerlukan tegangan sebesar 0,012V untuk merubah 1 bit nilai ADC untuk mengukur tegangan.

3.2.1.4 Sensor Arus ACS712 5A

Sensor arus yang digunakan adalah jenis ACS712 5A yang mampu mendeteksi arus AC atau DC hingga 5A. Penggunaan sensor ACS712 menggunakan rangkaian pada Gambar 3.5.

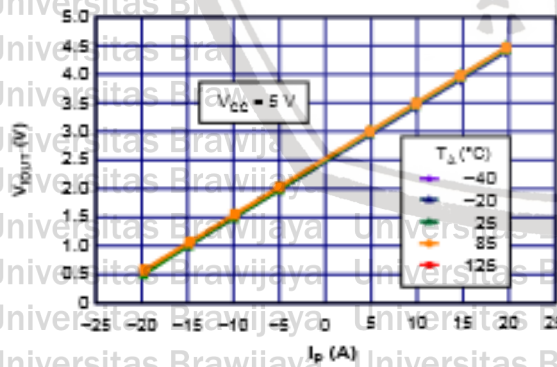


Gambar 3.25 Rangkaian penggunaan sensor ACS712
 Sumber: (Ardyansyah, 2018)

Sensor ini memiliki sensitivitas sebesar 185 mV/A dengan rentang pengukuran arus 0 A sampai 5 A. Tegangan keluaran saat arus 0 A (zero current/quiescent) ditentukan pada Persamaan (3-4) (Allegro MicroSystem, 2007).

$$V_{OUT(Q)} = V_{CC} \times 0,5 \dots \dots \dots (3.5)$$

Grafik keluaran tegangan terhadap arus yang terdeteksi pada sensor ditunjukkan pada Gambar 3.6.

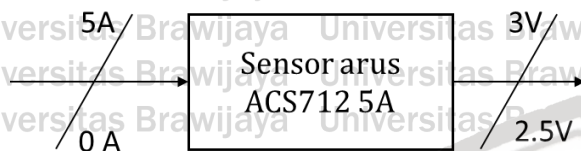


Gambar 3.26 Grafik tegangan terhadap arus sensor ACS712
 Sumber: (Allegro MicroSystem, 2007)

Dari grafik yang ditunjukkan pada Gambar 3.6, fungsi tegangan terhadap arus dapat diberikan dalam persamaan (3.5) (Allegro MicroSystem, 2007). Dimana perubahan tegangan linier terhadap perubahan arus.

$$V_{\text{outsensor}} = (0,1 \times I_{\text{in}}) + (V_{\text{CC}} \times 0,5) \dots\dots\dots (3.6)$$

Dengan menggunakan tegangan catu ($V_{\text{CC}} = 5\text{V}$) dan I_{in} sebagai arus yang terdeteksi sensor maka dapat dibuat sebuah perancangan sensor arus yang ditunjukkan pada Gambar 3.7



Gambar 3.27 Diagram pemrosesan nilai arus menjadi nilai tegangan

Nilai resolusi pembacaan sensor arus dapat dicari dengan membagi resolusi ADC dengan sensitivitas sensor. Resolusi ADC adalah 0,004883V dan sensitivitas sensor ACS712-5A adalah 185 mV/A.

$$\Delta I = \frac{Res_{ADC}}{Sensitivitas} \dots\dots\dots (3.7)$$

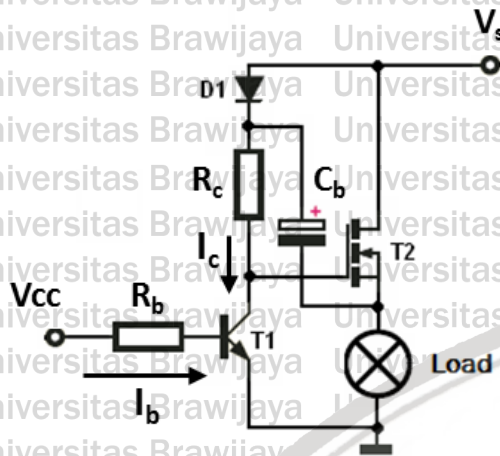
$$\Delta I = \frac{0.0483}{0.185} = 0.026 \text{ A/bit}$$

Jadi setiap perubahan 1 bit ADC mewakili perubahan nilai arus sebesar 0.026A.

3.2.1.4 Driver MOSFET

Driver MOSFET yang digunakan adalah tipe *high side* seperti gambar 3.8. Driver akan menguatkan sinyal dari mikokontroler dan mengisi muatan pada kapasitor yang terdapat pada *gate* MOSFET. MOSFET yang digunakan pada perancangan adalah tipe IRFZ44N. Keluaran mikokontroler yang maksimal hanya 5 V tidak cukup untuk mengaktifkan IRFZ44N karena IRFZ44N memiliki tegangan *threshold* (V_{th}) sebesar 2-4V. Spesifikasi lengkap MOSFET IRFZ44N dapat dilihat pada lampiran 2.

Sumber tegangan *driver* MOSFET (V_s) yang digunakan dalam perancangan berasal dari *solar cell* dengan nominal 13V. *Solar cell* dipilih sebagai sumber tegangan karena mempertimbangkan desain yang sederhana tanpa perlu menambahkan baterai eksternal sebagai sumber tegangan.



Gambar 3.28 Driver MOSFET tipe *high side*

Sumber : <https://forum.allaboutcircuits.com/threads/confused-about-transistor-in-circuit.87325.html> (2013)

Transistor tipe-N yang digunakanlah adalah 2N3904. Spesifikasi lengkap transistor 2N3904 dapat dilihat pada lampiran 2. Transistor 2N3904 memiliki tegangan *breakdown* (V_{br}) maksimal yaitu 40V. Maka transistor 2N3904 bisa digunakan untuk sistem yang ingin dirancang. Resistor pada terminal *base* (R_B) dapat ditentukan dengan analisis DC untuk transistor sebagai berikut:

$$V_{CC} = I_B R_B + V_{BE} \dots \dots \dots (3.8)$$

$$5 = 40 \cdot 10^{-3} R_B + 0.65$$

$$R_B = \frac{4.35}{40 \cdot 10^{-3}} = 0.81 \cdot 10^{-3} \Omega \cong 1k\Omega$$

Resistor pada terminal kolektor yang digunakan nilainya adalah 148 Ω . Batas arus maksimum yang dapat dilewatkan transistor 2N3904 sebesar adalah 200mA. Jika resistor yang dipakai pada perancangan adalah 148 Ω , maka arus maksimal yang dilewatkan kolektor pada sistem yang dibuat dapat dihitung:

$$V_s = I_C R_C + V_{CE} + V_D \dots \dots \dots (3.9)$$

$$13 = 148 I_C + 0.2 + 0.3$$

$$I_C = \frac{12.5}{148} = 84.4 \text{ mA}$$

Arus maksimal yang dilewatkan pada sistem yang dirancang sebesar 84.4mA. Nilai ini lebih kecil dibandingkan dengan nilai arus maksimum yang mampu dilewatkan transistor 2N3904.

Menentukan nilai kapasitor *driver* (C_B), dapat dilakukan dengan menghitung total muatan (Q_{CB}). Total muatan merupakan penjumlahan antara muatan *gate charge* (Q_G) dan muatan saat *duty cycle* maksimum (D). Periode *switching* (T) dan arus yang dialirkan dari sumber (I_C) ke *driver* juga menjadi pertimbangan dalam menentukan kapasitor *driver*. Total muatan yang harus diisi pada kapasitor *gate* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{CB} = Q_G + (D * T * I_C) \dots \dots \dots (3.10)$$

$$Q_{CB} = 63 \cdot 10^{-9} + (0.99 * 2 \cdot 10^{-5} * 84 \cdot 10^{-3})$$

$$Q_{CB} = 63 \cdot 10^{-9} + 16.6 \cdot 10^{-9}$$

$$Q_{CB} = 79.6 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

Total muatan kapasitor pada *gate* yang harus diisi kapsitor *driver* sebesar 79.6nC. Pada perancangan ini nilai maksimum *ripple* tegangan (ΔV_{CB}) sebesar 5% dari sumber. Nilai kapasitor *driver* (C_B) dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$C_B \geq \frac{Q_{CB}}{\Delta V_{CB}} \dots \dots \dots (3.11)$$

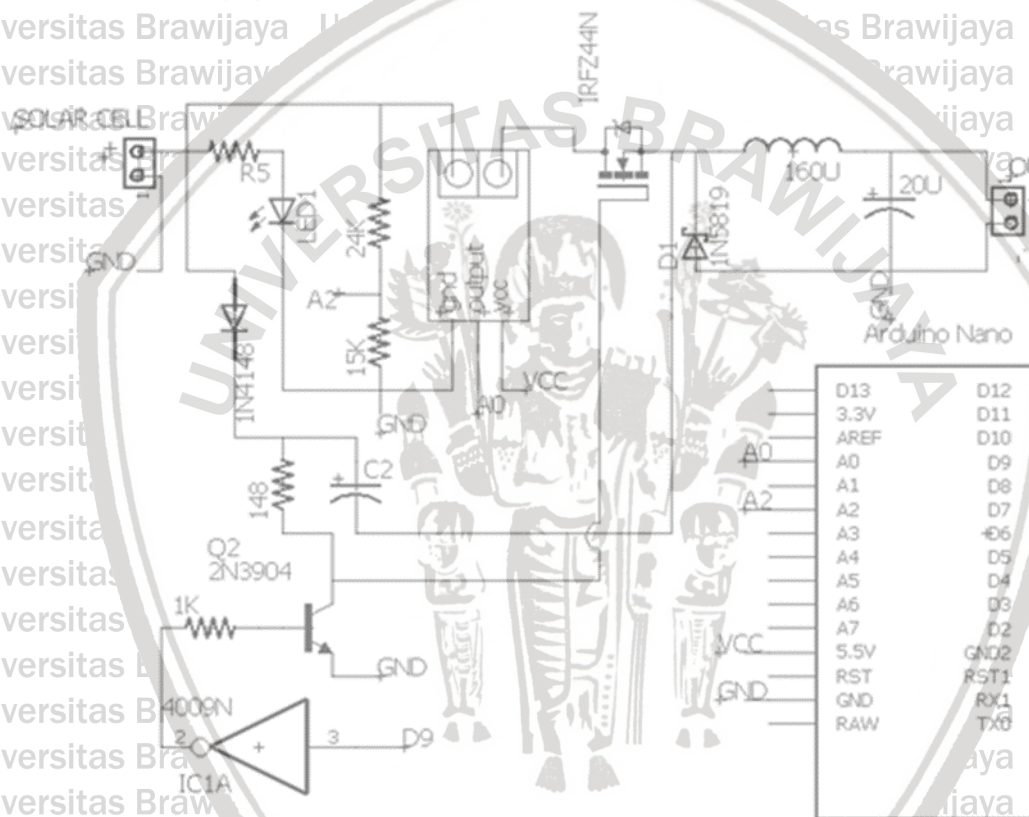
$$C_B \geq \frac{79.6 \cdot 10^{-9}}{0.05 * 13}$$

$$C_B \geq 122 \cdot 10^{-9} \text{ F} \cong 0.1 \mu\text{F}$$

Prinsip kerja *driver* MOSFET tipe *high side* adalah ketika *input* bernilai *low* maka MOSFET dalam keadaan ON, dan ketika *input* bernilai *high* maka MOSFET dalam keadaan OFF. Hal ini berkebalikan dengan sistem yang ingin dirancang, maka digunakanlah IC inverter CD4009 yang akan membalik logika *input* dari mikokontroler. Sehingga prinsip kerja MOSFET sesuai yang diinginkan yaitu ketika *input* bernilai *low* maka MOSFET dalam keadaan OFF dan ketika *input* bernilai *high* MOSFET dalam keadaan ON. Spesifikasi lengkap IC inverter CD4009 dapat dilihat pada lampiran.

3.2.1.5 Rangkaian Keseluruhan

Rangkaian pada sistem terdiri dari beberapa bagian rangkaian. Antara lain: Bagian sensor terdiri dari pembagi tegangan dan sensor arus ACS712 untuk mengetahui kondisi tegangan dan arus *solar cell*. Bagian converter DC-DC dengan tipe *buck converter* untuk menyesuaikan tegangan dari *solar cell* menuju baterai. Bagian kontroler menggunakan Arduino Nano untuk mengolah algoritma P&O. Bagian driver MOSFET dengan tipe *high side*. Rangkaian keseluruhan sistem seperti pada Gambar 3.9.



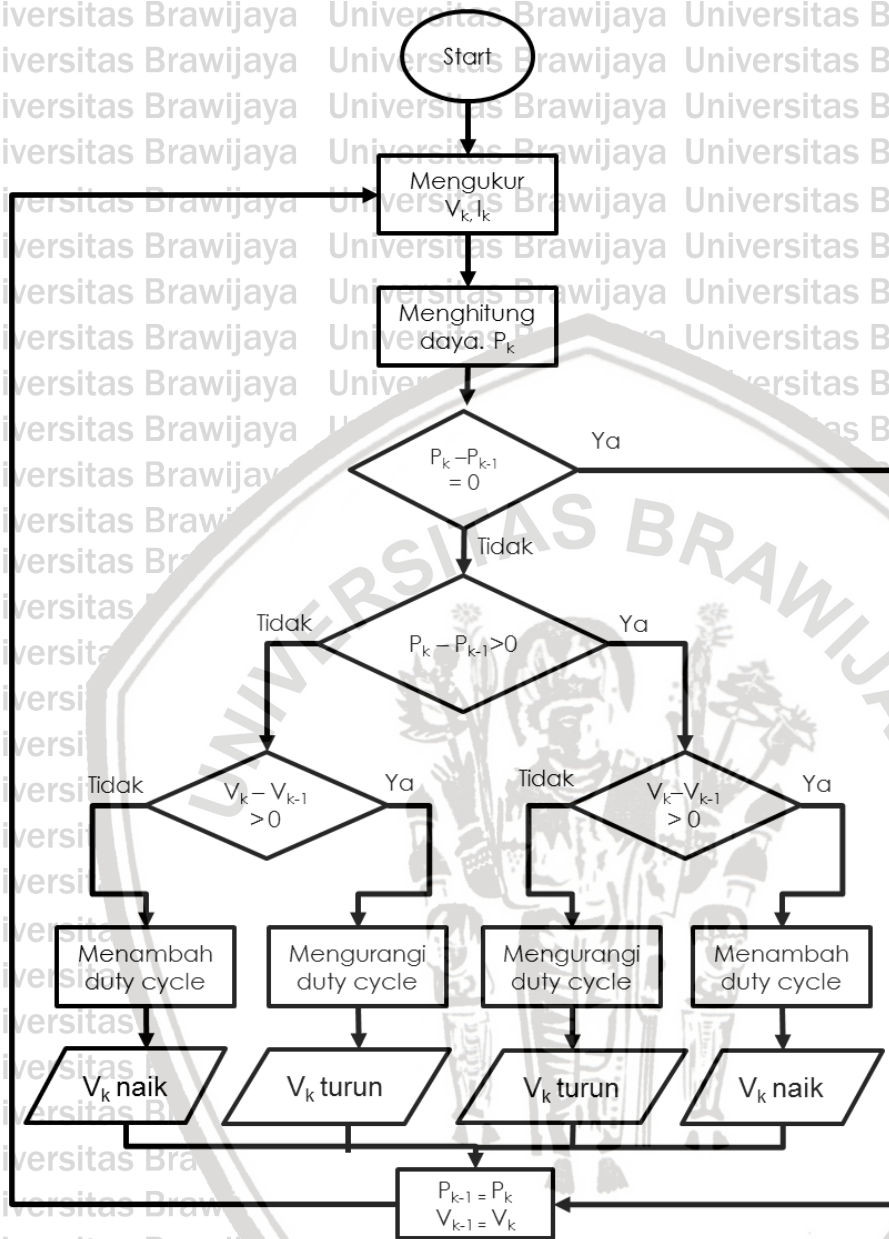
Gambar 3.29 Rangkaian keseluruhan sistem

3.2.2 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Lunak (Software)

3.2.2.1 Diagram Alir Perancangan Keseluruhan Sistem

Algoritma MPPT yang digunakan berupa *Perturb and Observe* (P&O). *Input* dari algoritma ini berupa nilai tegangan dan arus *solar cell*. Nilai tegangan dan arus akan diproses oleh algoritma P&O menjadi nilai kemudian dilakukan perhitungan selisih daya. *Output* algoritma ini berupa *duty cycle switching buck converter* yang berubah-ubah sesuai dengan hasil perhitungan selisih daya. Adapun diagram alir keseluruhan sistem ditunjukkan dalam

Gambar 3.10.



Gambar 3.30 Diagram alir sistem

Pengukuran tegangan dan arus *solar cell* dilakukan pada awal proses. Nilai daya sekarang kemudian diketahui dengan mengalikan tegangan dan arus. Perbandingan daya lalu dilakukan dengan menghitung selisih nilai daya sekarang dengan daya sebelumnya. Jika nilai selisih daya sama dengan nol maka nilai daya akan langsung disimpan untuk perhitungan selanjutnya.

Jika hasil nilai perhitungan selisih daya tidak sama dengan nol maka dilakukan perhitungan lebih lanjut. Ketika nilai selisih daya kurang dari nol dan hasil selisih tegangan sekarang dengan tegangan sebelumnya lebih dari nol, maka *duty cycle* akan dikurang

nilainya. Jika nilai selisih daya kurang dari nol dan hasil selisih tegangan sekarang dengan tegangan sebelumnya tidak lebih besar dari nol, maka *duty cycle* akan ditambah nilainya nilainya. Ketika nilai selisih daya lebih dari nol dan hasil selisih tegangan sekarang dengan tegangan sebelumnya kurang dari nol, maka *duty cycle* akan ditambah nilainya. Jika nilai selisih daya lebih dari nol dan hasil selisih tegangan sekarang dengan tegangan sebelumnya tidak lebih kecil dari nol, maka *duty cycle* akan ditambah nilainya nilainya.

Duty cycle yang berubah nilainya akan berpengaruh pada nilai tegangan *solar cell*.

Ketika tegangan *solar cell* berubah maka daya yang dihasilkan juga akan berubah. Nilai tegangan dan daya yang berubah ini akan disimpan untuk proses perhitungan selanjutnya.

3.3. Pengujian Alat

Untuk mengetahui kinerja alat apakah sesuai dengan yang direncanakan maka dilakukan pengujian alat. Pengujian dilakukan pada masing-masing bagian dan kemudian secara keseluruhan sistem. Pengujian yang dilakukan sebagai berikut.

3.3.1 Pengujian Ragkaian Pembagi Tegangan

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja rangkaian apakah sesuai kebutuhan sistem dan mengetahui pembacaan tegangan masukan dan keluaran pembagi tegangan oleh Arduino. Tegangan masukan diberikan dengan nilai yang bervariasi. Sumber tegangan (V_a) dan tegangan keluaran rangkaian pembagi tegangan (V_b) diukur dengan voltmeter kemudian dibandingkan dengan hasil pembacaan nilai tegangan dari Arduino.

3.3.2 Pengujian Sensor Arus

Keluaran sensor berupa tegangan yang akan dibaca Arduino kemudian hasil pembacaan dikonversi menjadi nilai arus. Nilai pembacaan sensor akan dibandingkan dengan nilai arus yang diberikan dan tegangan keluaran sensor akan diukur dengan voltmeter lalu dibandingkan dengan nilai keluaran sensor secara teori.

3.3.3 Pengujian Buck Converter

Pengujian *buck converter* dilakukan dengan memberikan tegangan masukan dan beban yang tetap kemudian *duty cycle* dirubah secara bertahap. Tegangan keluaran *buck converter* diukur dengan voltmeter. Tegangan keluaran yang terukur akan dibandingkan dengan tegangan keluaran menurut teori perancangan.

3.3.4 Pengujian Algoritma MPPT

Pengujian dilakukan dengan membandingkan daya yang dihasilkan *solar cell* antara *buck converter* dengan algoritma MPPT dan *buck converter* tanpa MPPT tipe LM2596 ketika diberi beban bervariasi. Daya yang dihasilkan *solar cell* dengan algoritma MPPT pada *serial monitor* dibandingkan dengan daya tanpa MPPT.

3.3.5 Pengujian Charging Baterai

Pengujian *charging* baterai mengikuti peraturan *charging* perlombaan *Eco Solar Boat*. *Charging* dilakukan di ruangan terbuka dalam waktu tertentu yaitu 15 menit dan 45 menit tanpa ada interferensi manusia. Baterai yang di-charge dikondisikan tegangan awalnya yaitu sekitar 7.8V agar hasil *charging* dapat diketahui dengan jelas. Pengujian sistem ini juga membandingkan antara *charging* baterai menggunakan MPPT dan tanpa MPPT berupa *buck converter* tipe LM2596.





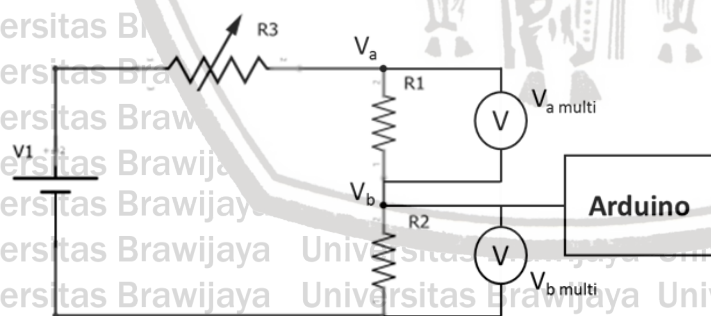
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dan analisis dalam penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja dari keseluruhan sistem apakah sudah sesuai dengan perancangan. Pengujian dilakukan secara bertahap pada masing-masing perangkat keras kemudian dilakukan pengujian secara keseluruhan. Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengujian rangkaian pembagi tegangan.
2. Pengujian sensor arus.
3. Pengujian *buck converter*
4. Pengujian algoritma MPPT
5. Pengujian *charging* baterai.

4.1 Pengujian Rangkaian Pembagi Tegangan

Tujuan pengujian ini adalah mengetahui kinerja rangkaian apakah sesuai kebutuhan sistem dan mengetahui pembacaan tegangan masukan dan keluaran pembagi tegangan oleh Arduino. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi tegangan masukan (V_1). Tegangan masukan (V_a) dan tegangan keluaran rangkaian pembagi tegangan (V_b) diukur dengan voltmeter kemudian dibandingkan dengan hasil pembacaan nilai tegangan dari Arduino. Rangkaian pengujian rangkaian pembagi tegangan seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4.31 Rangkaian pengujian Pembagi Tegangan

Berikut adalah alat yang digunakan dalam pengujian rangkaian pembagi tegangan, antara lain:

1. Mikrokontroler Arduino Nano.
2. Resistor 2.4k Ω (R1) & 1.5k Ω (R2)

3. Resistor Variabel 200Ω
4. Adaptor WL 328 20V
5. Multimeter Sanwa CD731a
6. Multimeter Sinhwa DT9205A.

4.1.1 Prosedur Pengujian Rangkaian Pembagi Tegangan

Prosedur pengujian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Menhubungkan Arduino ke PC melalui USB
2. Adaptor dihubungkan ke resistor variabel kemudian ke rangkaian pembagi tegangan secara seri
3. Menhubungkan voltmeter secara paralel ke masukan dan keluaran pembagi tegangan
4. Menhubungkan keluaran pembagi tegangan ke pin Arduino
5. Sumber tegangan diatur secara bertahap dengan menggeser variabel resistor hingga keluaran rangakain pembagi tegangan bernilai dari 0-5 V
6. Mengukur tegangan masukan dan keluaran pembagi tegangan dengan voltmeter kemudian dibandingkan dengan hasil pembacaan Arduino.

4.1.2 Hasil Pengujian Rangkaian pembagi tegangan

Pengujian dilakukan dengan tegangan masukan ($V_{a\ multi}$) dan tegangan keluaran pembagi tegangan ($V_{b\ multi}$) diukur dengan voltmeter. Kemudian nilai yang terukur dibandingkan dengan hasil pembacaan tegangan masukan (V_a) dan tegangan keluaran pembagi tegangan (V_b) oleh Arduino. Hasil pengujian pembacaan rangkaian pembagi tegangan ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Rangkaian Pembagi Tegangan

No	$V_{b\ multi}$ (V)	$V_{a\ multi}$ (V)	V_b (V)	V_a (V)	Selisih V_b (V)	Selisih V_a (V)
1	0	0	0	0	0	0
2	1	2.59	0.98	2.55	0.02	0.04
3	1.5	3.89	1.47	3.81	0.03	0.08
4	2	5.19	1.97	5.14	0.03	0.05
5	2.5	6.49	2.45	6.35	0.05	0.14
6	3	7.79	2.99	7.76	0.01	0.03
7	3.5	9.09	3.45	8.98	0.05	0.11

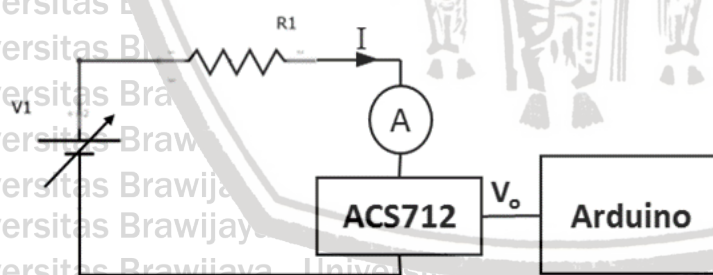
8	4	10.39	3.94	10.29	0.06	0.10
9	4.5	11.69	4.44	11.52	0.06	0.17
10	5	12.99	4.95	12.88	0.05	0.11
Rata-rata					0.036	0.083

Pengujian rangkaian pembagi tegangan dilakukan sebanyak 10 kali dengan hasil yang baik meskipun ada sedikit ketidaksesuaian pembacaan nilai tegangan oleh Arduino. Selisih pembacaan tegangan keluaran pembagi tegangan pada jangkauan 0-0.06V dan rata-ratanya adalah 0.04V. Sedangkan selisih pembacaan sumber tegangan pada jangkauan 0-0.17V dan rata-ratanya adalah 0.083V.

Selisih nilai tegangan dari sumber dengan nilai tegangan yang dibaca Arduino disebabkan karena nilai dari rangkaian pembagi tegangan yang mempunyai toleransi dan pembulatan nilai konversi nilai analog ke digital pada saat perhitungan rangkaian.

4.2 Pengujian Sensor Arus

Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan pembacaan sensor arus ACS712 5A dari 0.1–1A. Keluaran sensor berupa tegangan yang akan dibaca Arduino kemudian hasil pembacaan dikonversi menjadi nilai arus. Nilai pembacaan sensor oleh Arduino akan dibandingkan dengan nilai arus yang diberikan dan tegangan keluaran sensor akan diukur dengan voltmeter lalu dibandingkan dengan nilai keluaran sensor secara teori. Rangkaian pengujian sensor arus seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4.32 Rangkaian pengujian sensor arus

Berikut adalah alat yang digunakan dalam pengujian sensor arus, antara lain:

1. Mikrokontroler Arduino Nano
2. Sensor arus ACS712-5A
3. DC Power Supply PS 500D
4. Multimeter Sanwa CD731a

5. Multimeter Sinhwa DT9205A

6. Variabel Resistor 200 Ω .

4.2.1 Prosedur Pengujian Sensor Arus

Pengujian dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu:

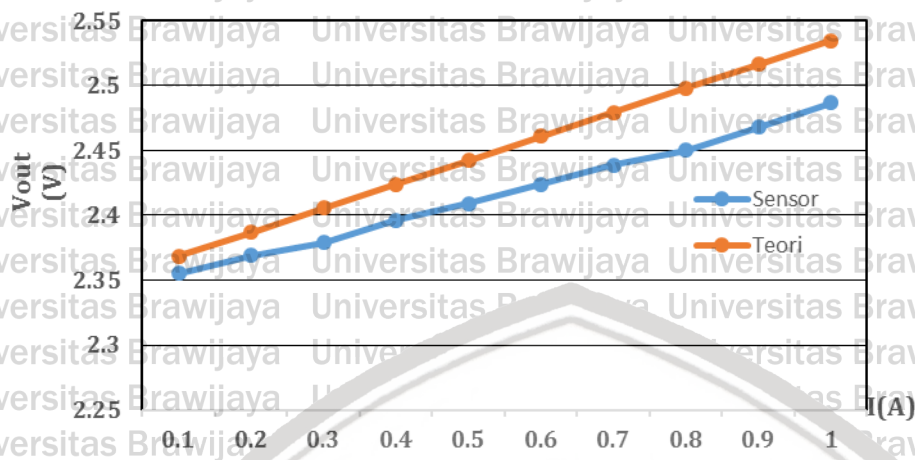
1. Menhubungkan Arduino ke PC melalui USB
2. Menhubungkan *power supply* ke sensor arus kemudian ke resistor beban secara seri
3. Menhubungkan keluaran sensor arus ke pin Arduino
4. Mengatur arus yang diberikan DC *power supply* dari 0.1-1A secara bertahap
5. Mengukur tegangan keluaran sensor ketika arus yang diberikan dirubah secara bertahap
6. Membandingkan arus yang terbaca Arduino dengan nilai arus yang diberikan DC *power supply* dan membandingkan tegangan keluaran sensor dengan nilai tegangan keluaran sensor secara teori.

4.2.2 Hasil Pengujian Sensor Arus

Pengujian dilakukan dengan arus keluaran *power supply* (I) dinaikkan secara bertahap lalu tegangan keluaran sensor (V_{out}) diukur dengan voltmeter. Nilai arus yang tampil pada *power supply* dibandingkan dengan nilai pembacaan Arduino (I_{sensor}), sedangkan nilai tegangan keluaran sensor (V_{out}) dibandingkan dengan nilai tegangan keluaran menurut teori (V_{teori}). Hasil Pengujian Sensor Arus ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2
Hasil Pengujian Sensor Arus

No	I (A)	V_{out} (V)	I_{sensor} (A)	V_{teori} (V)	Selisih I(A)	Selisih V (V)
1	0.1	2.35	0.12	2.36	0.02	0.013
2	0.2	2.36	0.22	2.38	0.02	0.018
3	0.3	2.37	0.3	2.40	0	0.026
4	0.4	2.39	0.41	2.42	0.01	0.028
5	0.5	2.40	0.51	2.44	0.01	0.033
6	0.6	2.42	0.62	2.46	0.02	0.037
7	0.7	2.43	0.71	2.47	0.01	0.040
8	0.8	2.45	0.8	2.49	0	0.048
9	0.9	2.46	0.92	2.51	0.02	0.048
10	1	2.48	1.05	2.535	0.05	0.048
Rata-rata					0.016	0.034

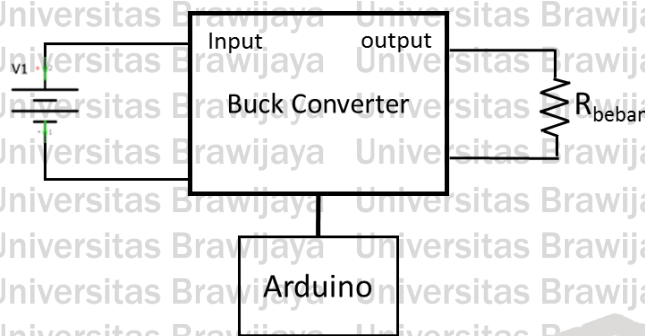


Gambar 4.33 Grafik hasil pengujian sensor arus

Pengujian dilakukan 10 kali dengan hasil yang baik. Selisih pembacaan arus mulai dari 0–0.05A dengan rata-rata selisih 0.016A dan selisih tegangan keluaran sensor mulai dari 0.013–0.048V dengan rata-rata 0.034V. Grafik Gambar 4.3 menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan antara tegangan keluaran sensor menurut teori dan praktek. Namun hal ini tidak menjadi masalah karena pembacaan arus sudah cukup baik. Selisih nilai arus aktual dengan arus yang dibaca rangkaian disebabkan karena pembulatan nilai konstanta pada rangkaian yang tidak tepat dan pembacaan sensor arus ACS712 dipengaruhi oleh medan magnet disekitar sensor.

4.3 Pengujian *Buck converter*

Tujuan pengujian *buck converter* adalah untuk mengetahui kesesuaian antara keluaran *buck converter* dengan nilai teori. Pengujian *buck converter* dilakukan dengan memberikan tegangan masukan yang tetap dan variasi *duty cycle* kemudian tegangan keluaran *buck converter* diukur dengan voltmeter. Rangkaian pengujian *buck converter* seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4.34 Rangkaian pengujian *buck converter*

Berikut adalah alat yang digunakan dalam pengujian *buck converter*, antara lain:

1. Mikrokontroler Arduino Nano
2. *Buck converter*
3. Baterai LiPo 12V
4. Multimeter Sanwa CD731a
5. Resistor 36 Ω .

4.3.1 Prosedur Pengujian *Buck converter*

Pengujian dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu:

1. Menghubungkan Arduino ke PC melalui USB
2. Menghubungkan pin Arduino ke pin *switching buck converter*
3. Baterai dihubungkan ke masukan *buck converter* dan voltmeter dipasang paralel dengan resistor beban pada keluaran *buck converter*
4. Nilai *duty cycle* diubah bertahap dari jangkauan 20% sampai 90%
5. Nilai tegangan keluaran yang terbaca pada voltmeter dibandingkan dengan nilai tegangan keluaran secara teori.

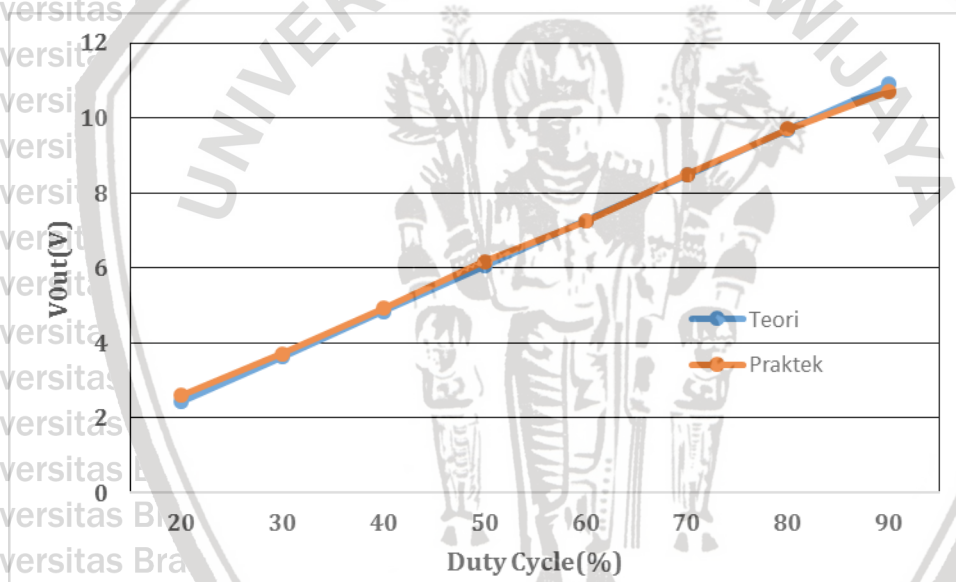
4.3.2 Hasil Pengujian *Buck converter*

Pengujian dilakukan dengan tegangan masukan (V_{in}) dibuat tetap dan *duty cycle* (D) diberi nilai yang bervariasi. Kemudian tegangan keluaran *buck converter* (V_{out}) diukur dengan voltmeter. Nilai tegangan keluaran yang terukur lalu dibandingkan dengan tegangan keluaran menurut teori (V_{teori}). Hasil Pengujian *buck converter* ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3

Hasil Pengujian *Buck converter*

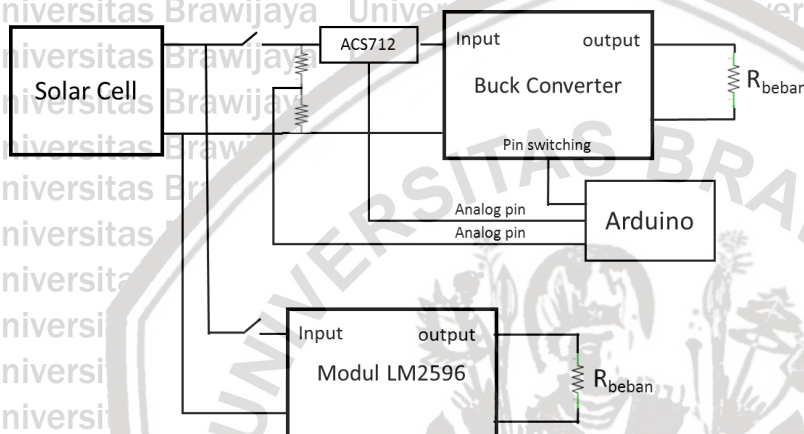
No	Vin(V)	D(%)	Vout (V)	Vteori (V)	Error(%)
1	12.12	20	2.424	2.6	7.26
2		30	3.636	3.71	2.04
3		40	4.848	4.92	1.49
4		50	6.06	6.17	1.82
5		60	7.272	7.25	0.30
6		70	8.484	8.5	0.19
7		80	9.696	9.71	0.14
8		90	10.908	10.72	1.72
Rata-rata					1.87

Gambar 4.35 Grafik hasil pengujian *buck converter*

Gambar 4.5 menunjukkan grafik hasil pengujian *buck converter* ketika *duty cycle* diberikan variasi dari nilai 20–90%. *Error* antara tegangan keluaran yang terukur dengan tegangan keluaran teori bernilai dari 0.14–7.26% dengan rata-rata *error* 1.87%. *Error* terbesar terjadi ketika pada *duty cycle* 20%, namun hal ini tidak berpengaruh pada sistem karena *duty cycle* yang digunakan pada sistem minimal adalah 60%. Terdapat *error* disebabkan karena terdapat *drop* tegangan pada komponen rangkaian *buck converter* yang digunakan dan pembulatan nilai komponen dari nilai yang sebenarnya.

4.4 Pengujian Algoritma MPPT

Tujuan pengujian ini adalah mengetahui apakah algoritma MPPT yang digunakan berfungsi atau tidak. Pengujian dilakukan dengan membandingkan daya yang dihasilkan *solar cell* antara *buck converter* dengan algoritma MPPT dan *buck converter* tanpa algoritma MPPT tipe LM2596 ketika diberi beban bervariasi. Daya yang dihasilkan *solar cell* dengan algoritma MPPT pada *serial monitor* dibandingkan dengan daya tanpa MPPT. Rangkaian pengujian algoritma MPPT seperti pada Gambar 4.6.



Gambar 4.36 Rangkaian pengujian algoritma MPPT

Berikut adalah alat yang digunakan dalam pengujian algoritma MPPT, antara lain:

1. *Solar cell*
2. Rangkaian pembagi tegangan
3. Sensor arus ACS712 5A
4. *Buck converter*
5. Modul *buck converter* LM2596
6. Mikrokontroler Arduino Nano
7. Multimeter Sanwa CD731a
8. Multimeter Sinhwa DT9205A
9. Variabel resistor 200 Ω .

4.4.1 Prosedur Pengujian Algoritma MPPT

Pengujian dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu:

1. Menhubungkan Arduino ke PC melalui USB
2. Menhubungkan pin Arduino ke pin *switching buck converter*
3. Menhubungkan keluaran rangkaian pembagi tegangan dan sensor arus ke pin analog Arduino

4. *Solar cell* dihubungkan ke masukan rangkaian pembagi tegangan dan sensor arus. Kemudian dihubungkan ke masukan *buck converter*
5. Menghubungkan *solar cell* ke masukan modul LM2596
6. Menghubungkan multimeter CD 731a dari *solar cell* secara paralel ke masukan modul LM2596 untuk mengukur tegangan
7. Menghubungkan multimeter DT9205A dari *solar cell* secara seri ke masukan modul LM2596 untuk mengukur arus
8. Mengubah resistor bertahap dengan jangkauan dari 10Ω – 45Ω lalu dihubungkan ke keluaran *buck converter* dan keluaran modul LM2596 secara bergantian
9. Mengukur tegangan dan arus yang ditampilkan multimeter untuk modul LM2596 kemudian menghitung dayanya
10. Mencatat daya *solar cell* yang dihasilkan *buck converter* dengan MPPT melalui pembacaan Arduino di *serial monitor* kemudian membandingkan dengan daya *solar cell* yang dihasilkan *buck converter* tanpa MPPT berupa modul LM2596.

4.4.2 Hasil Pengujian Algoritma MPPT

Pengujian dilakukan dengan membandingkan daya yang dihasilkan *solar cell* antara *buck converter* dengan algoritma MPPT dan *buck converter* tanpa MPPT tipe LM2596 ketika diberi beban bervariasi. Daya yang dihasilkan *solar cell* dengan algoritma MPPT pada *serial monitor* dibandingkan dengan daya tanpa MPPT. Hasil Pengujian algoritma MPPT ditunjukkan pada Tabel 4.4, dan Tabel 4.5.

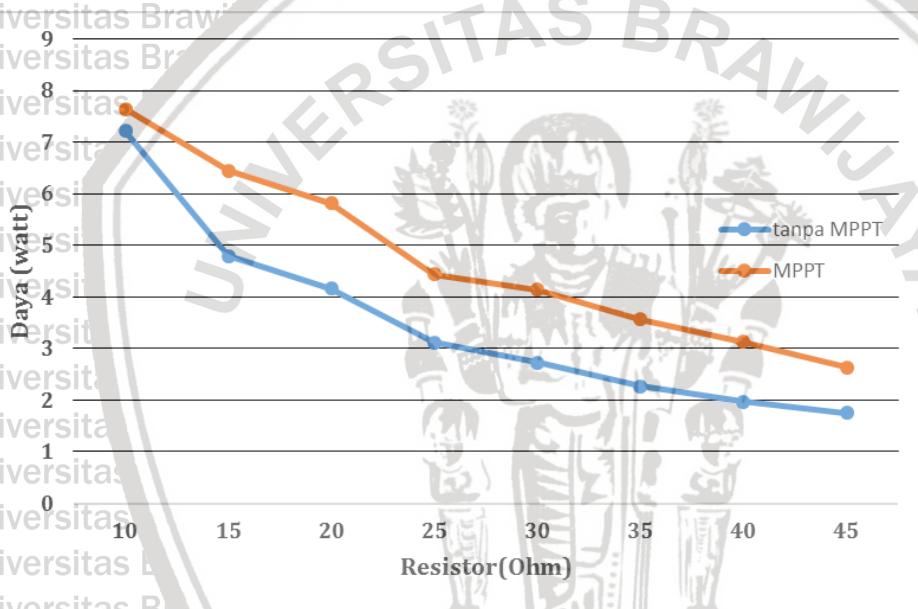
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Daya *Solar Cell* Tanpa Algoritma MPPT

No	R(Ω)	Tegangan(V)	Arus(A)	Daya(Watt)
1	10	10.12	0.713	7.22
2	15	11.16	0.43	4.80
3	20	11.35	0.367	4.17
4	25	11.62	0.268	3.11
5	30	11.69	0.233	2.72
6	35	11.75	0.193	2.27
7	40	11.81	0.167	1.97
8	45	11.84	0.148	1.75

Tabel 4.5

Hasil Pengujian Daya *Solar Cell* Menggunakan Algoritma MPPT

No	R(Ω)	Tegangan(V)	Arus(A)	Daya(Watt)
1	10	9.56	0.799	7.64
2	15	10.6	0.608	6.44
3	20	10.82	0.537	5.81
4	25	11.26	0.394	4.44
5	30	11.29	0.367	4.14
6	35	11.43	0.312	3.57
7	40	11.49	0.272	3.13
8	45	11.6	0.227	2.63



Gambar 4.37 Grafik pengujian algoritma MPPT

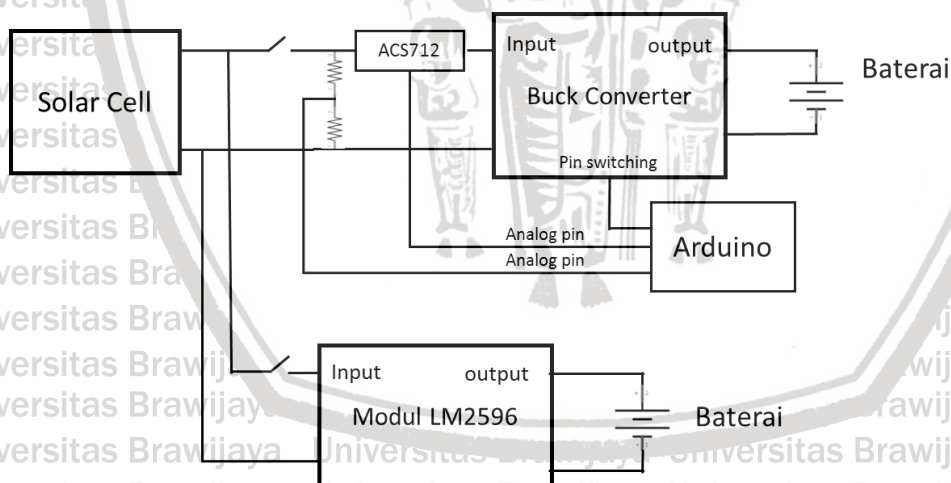
Hasil pengujian menunjukkan daya *solar cell* yang dihasilkan menggunakan algoritma MPPT menunjukkan hasil yang lebih besar daripada daya tanpa algoritma MPPT. Daya terbesar jika menggunakan algoritma MPPT yang dapat dicapai yaitu 7.64 watt ketika beban sebesar 10 Ω dengan rincian tegangan sebesar 9.56V dan arus sebesar 0.799A. Daya yang dihasilkan kemudian turun ketika beban diperbesar. Daya terkecil yaitu 2.63 watt ketika beban 45 Ω dengan rincian tegangan sebesar 11.6V dan arus sebesar 0.227 A. Sedangkan daya terbesar jika tanpa algoritma MPPT yang dapat dicapai yaitu 7.22 watt ketika beban sebesar 10 Ω dengan rincian tegangan sebesar 10.12V dan arus sebesar 0.713A. Daya yang

dihasilkan kemudian turun ketika beban diperbesar. Daya terkecil yaitu 1.75watt ketika beban 45Ω dengan rincian tegangan sebesar 11.84V dan arus sebesar 0.148 A

Pengujian Algoritma MPPT menunjukkan bahwa algoritma yang digunakan bisa berfungsi walaupun daya yang dihasilkan seperti Gambar 4.7 yaitu belum stabil dalam mempertahankan daya *solar cell*. Daya yang dihasilkan belum bisa stabil karena sumber tegangan yang digunakan *driver* MOSFET bersumber dari *solar cell*. Sehingga ketika tegangan *solar cell* turun, tegangan pada *gate* MOSFET juga akan turun. Kondisi tersebut akan mempengaruhi algoritma dalam mencari titik daya maksimum *solar cell* saat itu.

4.5 Pengujian Charging Baterai

Pengujian *charging* baterai mengikuti peraturan *charging* perlombaan *Eco Solar Boat*. *Charging* dilakukan di ruangan terbuka dalam waktu tertentu yaitu 15 menit dan 45 menit tanpa ada interferensi manusia. Baterai yang di-charge dikondisikan tegangan awalnya yaitu sekitar 7.8 V agar hasil *charging* dapat diketahui dengan jelas. Pengujian sistem ini juga membandingkan antara *charging* menggunakan MPPT dan tanpa MPPT berupa *buck converter* tipe LM2596. Rangkaian pengujian *charging* baterai seperti pada Gambar 4.8.



Gambar 4.38 Rangkaian pengujian *charging* baterai

Berikut adalah alat yang digunakan dalam pengujian *charging* baterai antara lain:

1. *Solar cell*
2. Rangkaian pembagi tegangan
3. Sensor arus ACS712 5A
4. *Buck converter*
5. Mikrokontroler Arduino Nano

6. Multimeter Sanwa CD731a
7. Baterai LiMn 7.4 Volt
8. Modul *buck converter* LM2596.

4.5.1 Prosedur Pengujian *Charging* baterai

Pengujian dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu:

1. Menghubungkan Arduino ke PC melalui USB
2. Menghubungkan pin Arduino ke pin *switching buck converter*
3. Menghubungkan keluaran rangkaian pembagi tegangan dan sensor arus ke pin analog Arduino
4. *Solar cell* dihubungkan ke masukan rangkaian pembagi tegangan dan sensor arus. Kemudian dihubungkan ke masukan *buck converter*
5. *Solar cell* dihubungkan ke masukan modul LM2596
6. Menghubungkan baterai ke keluaran *buck converter* dan keluaran modul LM2596
7. *Charging* dilakukan bergantian tiap 5 menit dengan total waktu *charging* 15 menit dan 45 menit untuk setiap metode *charging* dengan MPPT dan tanpa metode MPPT
8. Mengukur tegangan baterai ketika *charging* selesai dan membandingkan antara hasil *charging* dengan metode MPPT dan tanpa metode MPPT.

4.5.2 Hasil Pengujian *Charging* baterai

Pengujian dilakukan antara jam 08.00-13.00 WIB di ruang terbuka. Tegangan awal baterai (V_{awal}) dikondisikan pada tegangan sekitar 7.8V. Karena *solar cell* yang digunakan hanya satu, maka *charging* dilakukan secara bergantian antara *charging* menggunakan MPPT dan tanpa MPPT tiap 5 menit. Setelah waktu yang ditentukan tercapai, tegangan baterai diukur kembali sebagai nilai tagangan akhir (V_{akhir}). Hasil Pengujian *charging* baterai ditunjukkan pada Tabel 4.6 sampai Tabel 4.9.

Tabel 4.6
Hasil Pengujian *Charging* 15 menit tanpa MPPT

Kondisi	Pengujian ke-					
	1	2	3	4	5	6
V_{awal} (V)	7.8	7.83	7.83	7.79	7.82	7.82
V_{akhir} (V)	7.8	7.83	7.86	7.8	7.86	7.83
Hasil <i>Charging</i> (V)	0	0	0.03	0.01	0.04	0.01

Tabel 4.7

Hasil Pengujian *Charging* 15 menit menggunakan MPPT

Kondisi	Pengujian ke-					
	1	2	3	4	5	6
V_{awal} (V)	7.78	7.81	7.81	7.73	7.78	7.79
V_{akhir} (V)	7.97	7.86	7.96	8.02	7.97	8.06
Hasil <i>Charging</i> (V)	0.19	0.05	0.15	0.29	0.19	0.27

Hasil *charging* baterai tanpa MPPT dalam waktu 15 menit yang paling kecil adalah 0V dan yang terbesar adalah 0.04V. Sedangkan hasil *charging* baterai menggunakan MPPT dalam waktu 15 menit yang paling kecil adalah 0.05V dan yang terbesar adalah 0.29V.

Tabel 4.8

Hasil Pengujian *Charging* 45 menit tanpa MPPT

Kondisi	Pengujian ke-					
	1	2	3	4	5	6
V_{awal} (V)	7.8	7.83	7.83	7.79	7.82	7.82
V_{akhir} (V)	7.83	7.96	7.89	7.83	7.89	7.85
Hasil <i>Charging</i> (V)	0.03	0.13	0.06	0.04	0.07	0.03

Tabel 4.9

Hasil Pengujian *Charging* 45 menit menggunakan MPPT

Kondisi	Pengujian ke-					
	1	2	3	4	5	6
V_{awal} (V)	7.78	7.81	7.81	7.73	7.78	7.79
V_{akhir} (V)	8.32	8.12	8.27	8.39	8.1	8.4
Hasil <i>Charging</i> (V)	0.54	0.31	0.46	0.66	0.32	0.61

Hasil *charging* baterai tanpa MPPT dalam waktu 45 menit yang paling kecil adalah 0.03V dan yang paling besar adalah 0.13V. Sedangkan hasil *charging* baterai menggunakan MPPT dalam waktu 45 menit yang paling kecil adalah 0.31V dan yang paling besar adalah 0.66V.

Pengujian *charging* baterai dengan membandingkan antara *charging* menggunakan MPPT dan tanpa MPPT menunjukkan hasil bahwa *charging* menggunakan MPPT dapat

men-charge baterai lebih baik dibandingkan dengan charging baterai tanpa MPPT baik dalam waktu 15 menit maupun 45 menit.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian tiap bagian dan keseluruhan sistem yang telah dilaksanakan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode MPPT dapat diterapkan pada sistem dengan mikrokontroler Arduino Nano sebagai pengolah algoritma MPPT jenis P&O yang akan mengatur *duty cycle* untuk *switching buck converter*. *Buck converter* berfungsi untuk menyesuaikan tegangan dari *solar cell* sebelum menuju ke baterai. Sensor arus dan rangkaian pembagi tegangan pada solar cell digunakan untuk membaca arus dan tegangan *solar cell* sebagai input dari algoritma P&O.
2. Algoritma MPPT jenis P&O yang digunakan dapat berfungsi. Pengujian algoritma MPPT dengan membandingkan daya antara menggunakan algoritma MPPT dan tanpa MPPT menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan dengan algoritma MPPT lebih baik daripada tanpa menggunakan algoritma MPPT meskipun daya yang dihasilkan belum bisa stabil. Daya terbesar jika menggunakan algoritma MPPT yang dapat dicapai yaitu 7.64watt ketika beban sebesar 10Ω dengan rincian tegangan sebesar 9.56V dan arus sebesar 0.799A. Daya yang dihasilkan kemudian turun ketika beban diperbesar. Daya terkecil yaitu 2.63watt ketika beban 45Ω dengan rincian tegangan sebesar 11.6V dan arus sebesar 0.227A..
3. Pengujian sistem dengan membandingkan *charging* baterai menggunakan MPPT dan tanpa MPPT menunjukkan hasil *charging* baterai menggunakan MPPT lebih baik daripada tanpa MPPT, baik dalam waktu 15 menit dan 45 menit. Hasil *charging* baterai tanpa MPPT dalam waktu 15 menit yang paling kecil adalah 0V dan yang terbesar adalah 0.04V. Sedangkan dalam waktu 45 menit hasil *charging* yang paling kecil 0.03V dan yang paling besar adalah 0.13V. Hasil *charging* baterai dengan MPPT dalam waktu 15 menit yang paling kecil adalah 0.05V dan yang terbesar adalah 0.29V. Sedangkan dalam waktu 45 menit hasil *charging* yang paling kecil 0.31V dan yang paling besar adalah 0.66V.

5.2 Saran

Saran yang dapat digunakan dalam peningkatan kerja sistem dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Mengembangkan algoritma yang masih sederhana.
2. Menggunakan jenis algoritma MPPT yang lain.
3. Memberi rangkaian pemutus ketika baterai sudah penuh.
4. Melengkapi sistem dengan LCD sebagai media untuk menampilkan tegangan dan arus *solar cell*.



DAFTAR PUSTAKA

Allegro, (2010), *ACS712 datasheet*, <http://www.allegromicro.com/en/Products/Part-Numbers/0712/0712.pdf>. (diakses 20 Desember 2017).

Anonim, (2013). <https://forum.allaboutcircuits.com/threads/confused-about-transistor-in-circuit.87325.html>. (diakses 5 Juli 2018).

Anonim. Tanpa tahun. *Mengenal dan belajar Arduino Nano*. <http://ecadio.com/mengenal-dan-belajar-arduino-nano.html>. (diakses 15 Juni 2017).

Ardyansyah, Muhammad Luthfi (2018). *Rancang Bangun Kontroler Daya Management Berbasis Arduino Pada Kapal Katamaran Eco Solar Boat*. Malang: Skripsi Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

Beiser, A. (1987). *Concepts of Modern Physics 4th edition*, McGraw-Hill Inc. Terjemahan The Houw Liong. Bandung: Erlangga.

Castaldo, Veronica Lucia. (2014). *Experimental analysis and optimization of polyurethane waterproof liquid membrane for cool roof application. 3th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Islands*. Italy

Faranda, Roberto. Leva, Sonia. (2008). Energy Comparison of MPPT techniques for PV Systems. Milan. Jurnal Poltecnico di Milano.

Fauzi, Akhmad. (2018). *Perencanaan Maximum Power Point Tracking (MPPT) Dengan Metode Perturb and Observe Pada Panel Surya*. Semarang: Skripsi Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro.

Hani, Slamet. Subandi. (2014). *Korelasi Suhu dan Intensitas Cahaya Terhadap Daya pada Solar Cell*. Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST). Yogyakarta.

Hart, Daniel W. (2010). *Power Electronics*. New York. McGraw-Hill.

HIMASISKAL ITS. (2017). *Rules Eco Solar Boat Marine Icon 2017*. Surabaya: HIMASISKAL ITS.

M. Ashari, H. Purnomo, dan Surojo. (2010). Desain dan Simulasi Maximum Power Point Tracking (MPT) Sel Surya. Malang. 7th BASIC Sci. Natl. Semin. PROCEEDING MALANG.

Morales, David Sanz. (2010). *Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Applications*. Otaniemi. Thesis Faculty of Electronics, Communications and Automation Aalto Univerity.

P. A. Lynn. (2010). *Electricity from sunliht: An Introduction to Photovoltaic*. John Wiley & Sons.

S. Mouhadjer, A. Chermitti dan A. Necaibia. (2012). *Comprehensive and Field Study to Design a Buck Converter for Photovoltaic Systems*. Tlemcen. Jurnal Universite Abou Bakr Belkaid.

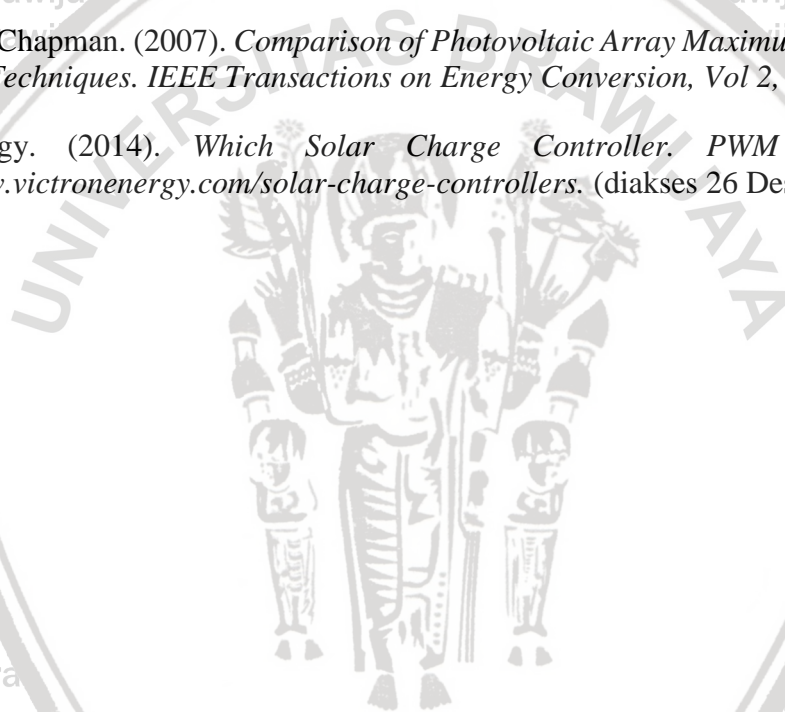
Salam, Zainal. (2002). *Power Electronics and Drives (Version 2)*. <http://encon.fke.utm.my/courses/notes/Chopper-2002.pdf> (diakses pada 20 Desember 2017).

Sejati, Purnomo. (2009). *Maximum Power Point Tracker Sel Surya Menggunakan Algoritma Perturb and Observe*. Jurnal Politeknik Elektronika Negeri Surabaya-ITS.

Silicon Labs. (2015). *AN486: High-Side Bootstrap Design Using ISODrivers in Power Delivery System*. Austin: Silicon Laboratories Inc.

T. Esmam, P.L. Chapman. (2007). *Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques*. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol 2, No.2.

Victron energy. (2014). *Which Solar Charge Controller. PWM or MPPT?*. <http://www.victronenergy.com/solar-charge-controllers>. (diakses 26 Desember 2017).

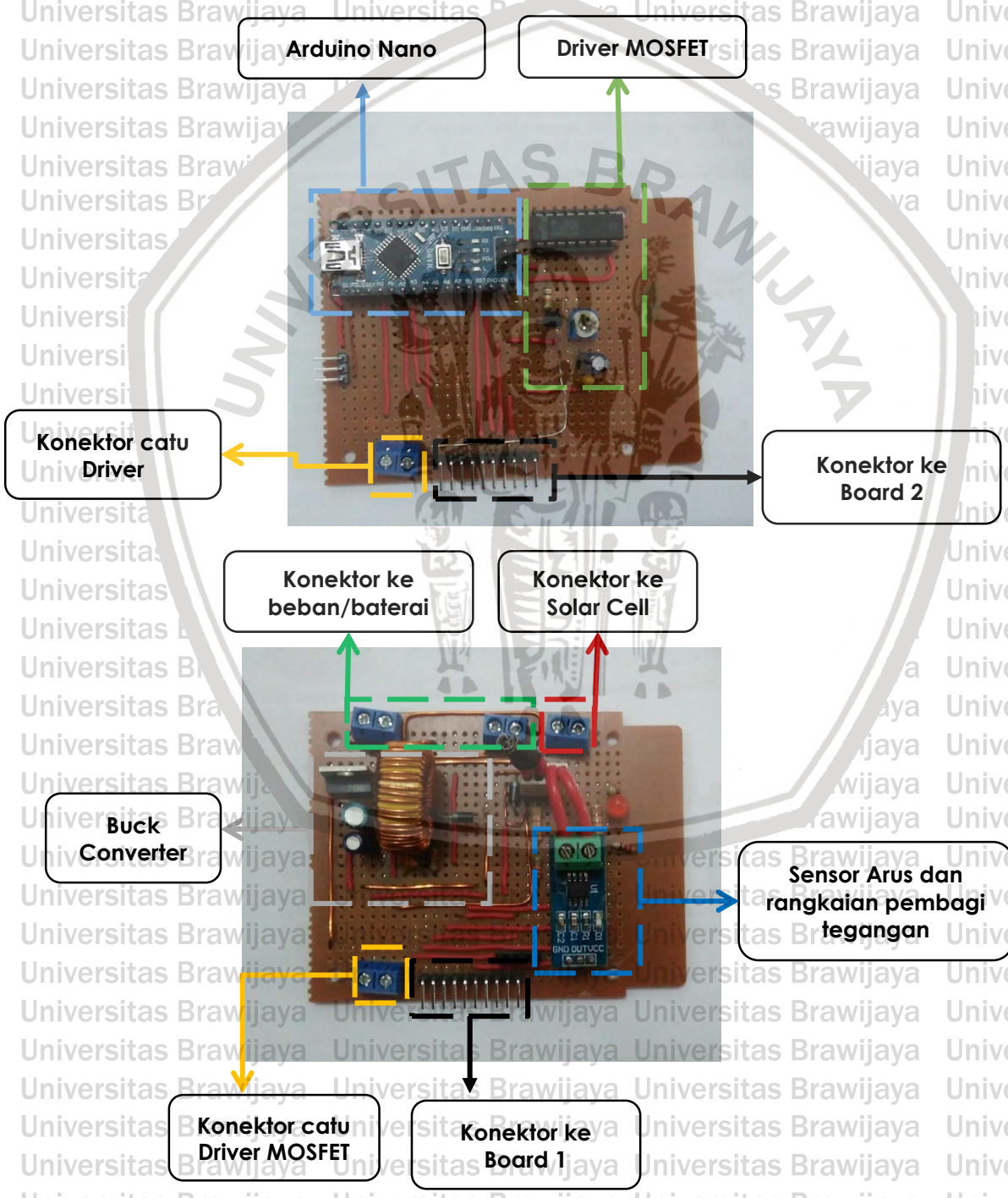


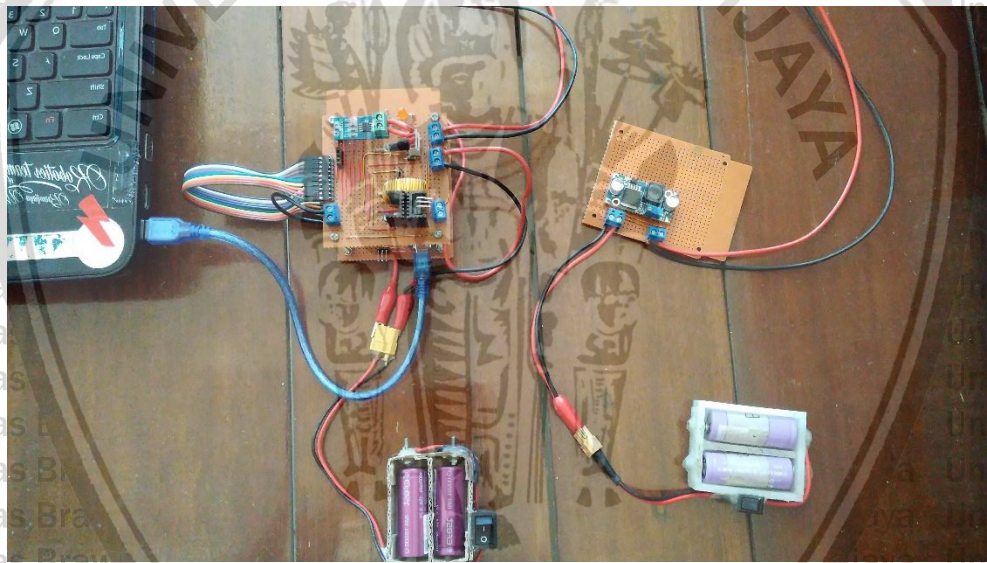
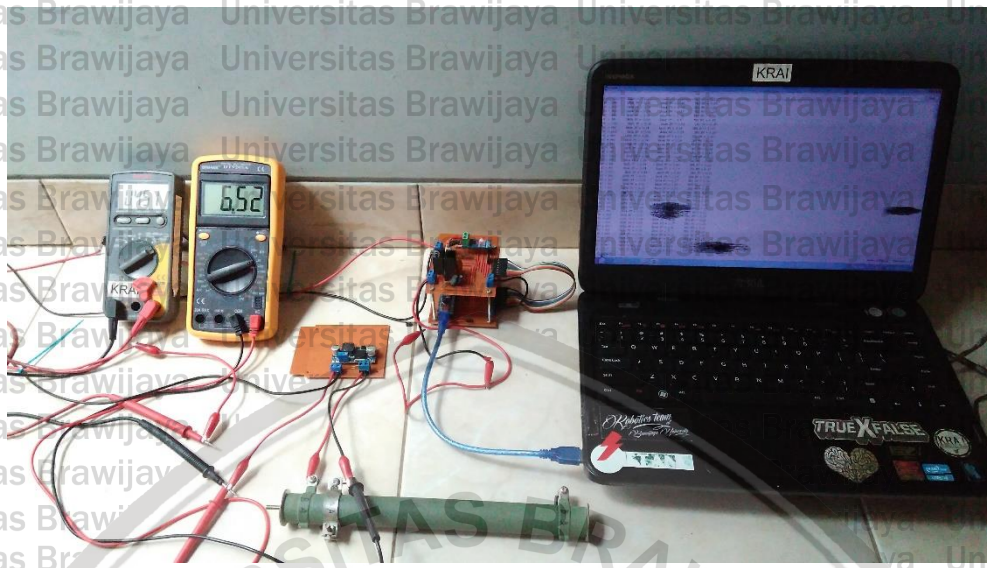
LAMPIRAN



LAMPIRAN 1

DOKUMENTASI ALAT





LAMPIRAN 2

DATASHEET

• **MOSFET IRFZ44N**

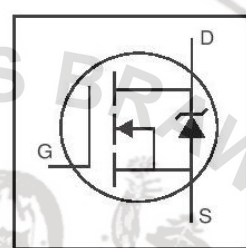


PD - 94053

IRFZ44N

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated

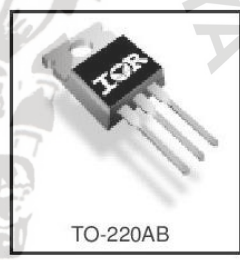


$V_{DSS} = 55V$
$R_{DS(on)} = 17.5m\Omega$
$I_D = 49A$

Description

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	49	
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	35	A
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	160	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	94	W
	Linear Derating Factor	0.63	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
I_{AR}	Avalanche Current ②	25	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ③	9.4	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	5.0	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to +175	
T_{STG}	Storage Temperature Range		°C
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf·in (1.1N·m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	1.5	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

www.irf.com

1
01/03/01

IRFZ44N

International
IR RectifierElectrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	55	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	0.058	—	—	V/°C	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	—	—	17.5	m Ω	$V_{GS} = 10V, I_D = 25A$ ④
$V_{GS(th)}$	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
g_{fs}	19	—	—	S	$V_{DS} = 25V, I_D = 25A$ ④
I_{DSS}	—	—	25	μA	$V_{DS} = 55V, V_{GS} = 0V$
I_{GSS}	—	—	250	μA	$V_{DS} = 44V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	—	—	-100	nA	$V_{GS} = -20V$
Q_g	—	—	63	nC	$I_D = 25A$
Q_{gs}	—	—	14	nC	$V_{DS} = 44V$
Q_{gd}	—	—	23	nC	$V_{GS} = 10V$, See Fig. 6 and 13
$t_{d(on)}$	—	12	—	ns	$V_{DD} = 28V$
t_r	—	60	—	ns	$I_D = 25A$
$t_{d(off)}$	—	44	—	ns	$R_G = 12\Omega$
t_f	—	45	—	ns	$V_{GS} = 10V$, See Fig. 10 ④
L_D	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	—	7.5	—	nH	
C_{ISS}	—	1470	—	pF	$V_{GS} = 0V$
C_{OSS}	—	360	—	pF	$V_{DS} = 25V$
C_{RSS}	—	88	—	pF	$f = 1.0\text{MHz}$, See Fig. 5
E_{AS}	—	530	150	mJ	$I_{AS} = 25A, L = 0.47\text{mH}$

Source-Drain Ratings and Characteristics

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	—	—	49	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	—	—	160	A	
V_{SD}	—	—	1.3	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 25A, V_{GS} = 0V$ ④
t_{rr}	—	63	95	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 25A$
Q_{rr}	—	170	260	nC	$di/dt = 100A/\mu s$ ④
t_{on}	—	—	—	ns	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S+L_D)

Notes:

① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)

② Starting $T_J = 25^\circ\text{C}$, $L = 0.48\text{mH}$, $R_G = 25\Omega$, $I_{AS} = 25A$. (See Figure 12)③ $I_{SD} \leq 25A$, $di/dt \leq 230A/\mu s$, $V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}$, $T_J \leq 175^\circ\text{C}$ ④ Pulse width $\leq 400\mu s$; duty cycle $\leq 2\%$.

⑤ This is a typical value at device destruction and represents operation outside rated limits.

⑥ This is a calculated value limited to $T_J = 175^\circ\text{C}$.



2N3904

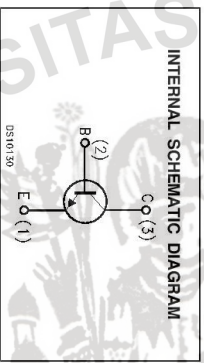
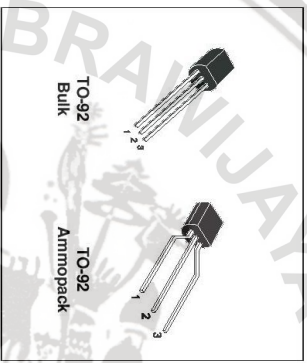
SMALL SIGNAL NPN TRANSISTOR

PRELIMINARY DATA

Ordering Code	Marking	Package / Shipment
2N3904	2N3904	TO-92 / Bulk
2N3904-AP	2N3904	TO-92 / Ampopack

- SILICON EPITAXIAL PLANAR NPN TRANSISTOR
- TO-92 PACKAGE SUITABLE FOR THROUGH-HOLE PCB ASSEMBLY
- THE PNP COMPLEMENTARY TYPE IS 2N3906

- APPLICATIONS
- WELL SUITABLE FOR TV AND HOME APPLIANCE EQUIPMENT
- SMALL LOAD SWITCH TRANSISTOR WITH HIGH GAIN AND LOW SATURATION VOLTAGE



• Transistor 2N3904

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{CEO}	Collector-Base Voltage (I _E = 0)	60	V
V _{CE0}	Collector-Emitter Voltage (I _B = 0)	40	V
V _{BE0}	Emitter-Base Voltage (I _C = 0)	6	V
I _C	Collector Current	200	mA
P _{tot}	Total Dissipation at T _C = 25 °C	66 to 150	mW
T _{stg}	Storage Temperature	-65 to 150	°C
T _J	Max. Operating Junction Temperature	150	°C

February 2003

2N3904

THERMAL DATA

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
R _{th(j-c)}	Thermal Resistance Junction-Case				200	°C/W
R _{th(j-a)}	Thermal Resistance Junction-Ambient				83.3	°C/W

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_{case} = 25 °C unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I _{CEX}	Collector Cut-off Current (V _{BE} = -3 V)	V _{CE} = 30 V			50	nA
I _{BEX}	Base Cut-off Current (V _{BE} = -3 V)	V _{CE} = 30 V			50	nA
V _{BR/CEO} *	Collector-Emitter Breakdown Voltage (I _B = 0)	I _C = 1 mA		40		V
V _{BR/CEO}	Collector-Base Breakdown Voltage (I _E = 0)	I _C = 10 μA		60		V
V _{BE(sat)} *	Emitter-Base Saturation Voltage (I _C = 0)	I _E = 10 μA		6		V
V _{CE(sat)} *	Collector-Emitter Saturation Voltage	I _C = 10 mA, I _B = 1 mA I _C = 50 mA, I _B = 5 mA		0.2	0.2	V
V _{BE(sat)} *	Base-Emitter Saturation Voltage	I _C = 10 mA, I _B = 1 mA I _C = 50 mA, I _B = 5 mA		0.65	0.95	V
h _{FE} *	DC Current Gain	I _C = 0.1 mA, V _{CE} = 1 V I _C = 1 mA, V _{CE} = 1 V I _C = 10 mA, V _{CE} = 1 V I _C = 50 mA, V _{CE} = 1 V I _C = 100 mA, V _{CE} = 1 V		80	300	
f _T	Transition Frequency	I _C = 10 mA, V _{CE} = 20 V, f = 100 MHz		250	270	MHz
C _{ob0}	Collector-Base Capacitance	I _E = 0, V _{CB} = 10 V, f = 1 MHz		4		pF
C _{eb0}	Emitter-Base Capacitance	I _C = 0, V _{EB} = 0.5 V, f = 1 MHz		18		pF
NF	Noise Figure	V _{CE} = 5 V, I _C = 0.1 mA, f = 10 Hz to 15.7 KHz, R _G = 1 KΩ		5		dB
t _d	Delay Time	I _C = 10 mA, V _{CC} = 30 V		35		ns
t _r	Rise Time	I _C = 10 mA, V _{CC} = 30 V		35		ns
t _s	Storage Time	I _C = 10 mA, V _{CC} = 30 V		200		ns
t _f	Fall Time	I _{B1} = I _{B2} = 1 mA		50		ns

* Pulsed; Pulse duration = 300 μs, duty cycle ≤ 2 %



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

ACS712

ACS712

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

Features and Benefits

- Low-voltage analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μs output rise-time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% @ $T_c = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 mΩ internal conductor resistance
- 2.1 kV RMS minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 138 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

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 an 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 BICOSS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

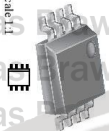
The output of the device has a positive slope ($-V_{OUT}/I_{OUT}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path, from pins 1 and 2, to pins 3 and 4, which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductor path is 1.2 mΩ typical, providing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

Continued on the next page...

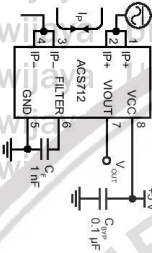


Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)

Approximate sketch 1.1



Typical Application



Application: 1. The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bidirectional 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.

ACS712DS, Rev.16

June 5, 2017

Description (continued)

The device at pin 0.5, over current conditions. The terminals of the conductor 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 (Pb) free reprinted central board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently, except from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

Selection Guide

Part Number	Packaging	T_c (°C)	Optimized Range, I_p (A)	Sensitivity, Sens (mV/mV)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	165
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-20A-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_{REV}		-1	V
Output Voltage	V_{OUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V_{OUT}		-1	V
Output Current Source	I_{OUT}	Load source	3	mA
Output Current Sink	I_p	1 pulse, 100 ms	40	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I_p		100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T_c	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T_{jmax}		165	°C
Storage Temperature	T_{stg}		-65 to 170	°C

Isolation Characteristics

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Unit
Dielectric Strength Test Voltage*	V_{ISO}	Agency type-tested for 60 seconds per UL standard 60950-1, 1st Edition	2100	VAC
Working Voltage for Basic Isolation	V_{WBI}	For basic (single) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	354	VDC or V_{pk}
Working Voltage for Reinforced Isolation	V_{WRI}	For reinforced (double) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	184	VDC or V_{pk}

*Allegro does not conduct 60-second testing. It is done only during the UL certification process.

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



Allegro MicroSystems, LLC
115 Riverside Court
Macedon, Massachusetts 01551-0081, USA
(508) 853-5000, www.allegromicro.com

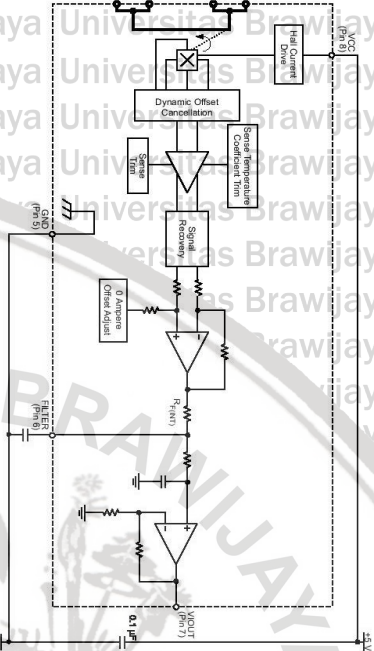
ACCS712

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

ACCS712

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

Functional Block Diagram



Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sampled; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sampled; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal



Allegro Microsystems, LLC
115 Robinson Court
Mesa, Arizona 85206, USA
1.908.833.5000 www.allegromicro.com



Allegro Microsystems, LLC
115 Robinson Court
Mesa, Arizona 85206, USA
1.908.833.5000 www.allegromicro.com

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units	
COMMON OPERATING CHARACTERISTICS¹							
Electrical Characteristics							
Supply Voltage	V _{CC}	V _{CC} = 5.0 V, output open	4.5	5.0	5.5	V	
Supply Current	I _{CC}	V _{OUT} to GND	—	10	13	mA	
Output Capacitance Load	C _{LOAD}	V _{OUT} to GND	—	—	10	nF	
Output Resistive Load	R _{LOAD}	V _{OUT} to GND	4.7	—	—	kΩ	
Primary Conductor Resistance	R _{PRIMARY}	T _A = 25°C	—	1.2	—	mΩ	
Rise Time	t _r	I _p = I _{PMAX} , T _A = 25°C, C _{OUT} = open	—	3.5	—	μs	
Frequency Bandwidth	f	-3dB, T _A = 25°C, I _p is 10 A peak-to-peak	—	80	—	kHz	
Nonlinearity	E _{NL}	Over full range of I _p	—	1.5	—	%	
Symmetry	E _{SW}	Over full range of I _p	—	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	V _{OUT(0)}	Bidirectional, I _p = 0 A, T _A = 25°C	—	V _{CC} × 0.5	—	V	
Power-On Time	t _{PO}	Output reaches 90% of steady-state level, T _A = 25°C, 20 A present on leadframe	—	35	—	μs	
Magnetic Coupling ²			—	12	—	G/A	
Internal Filter Resistance ³	R _{INT}		—	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(MAX)}, is not exceeded.
²t_{PO} = 0.1 mT²
³R_{INT} forms an RC circuit with the FILTER pin.

COMMON THERMAL CHARACTERISTICS¹

Operating Internal Leadframe Temperature	T _A	Range	Min.	Typ.	Max.	Units
Junction-to-Lead Thermal Resistance ² <td>R_{θJC}</td> <td>Mounted on the Allegro ASSEK 712 evaluation board</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>85</td> <td>°C</td>	R _{θJC}	Mounted on the Allegro ASSEK 712 evaluation board	—	—	85	°C
Junction-to-Ambient Thermal Resistance <td>R_{θJA}</td> <td>Mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board (includes the power connection section of this datasheet)</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>5</td> <td>°C/W</td>	R _{θJA}	Mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board (includes the power connection section of this datasheet)	—	—	5	°C/W
			—	—	23	°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.

ACS712
Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kV RMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

X05B PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹ $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C , $C_P = 1\text{ nF}$ and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P	Over full range of I_P , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-5	5	5	A
Sensitivity	Sens	Peak-to-peak, $I_A = 25\text{ C}$, 165 mV/A programmed sensitivity, $C_P = 47\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	180	185	190	mV/A
Noise	Noise(pp)	$I_P = -40\text{ C}$ to 25°C	-	21	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{OUT}(0)$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.28	-	mV/C
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/A/C
Total Output Error ²	Error	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.008	-	mV/A/C
		$I_P = 25\text{ C}$, $T_A = 150^{\circ}\text{C}$	-	-	-	-
		$I_P = 25\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(max)}$, 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 , $C_P = 1\text{ nF}$ and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P	Over full range of I_P , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-20	-	20	A
Sensitivity	Sens	Peak-to-peak, $I_A = 25\text{ C}$, 100 mV/A programmed sensitivity, $C_P = 47\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	98	100	104	mV/A
Noise	Noise(pp)	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	11	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{OUT}(0)$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.34	-	mV/C
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.07	-	mV/A/C
Total Output Error ²	Error	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.004	-	mV/A/C
		$I_P = 20\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(max)}$, 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 , $C_P = 1\text{ nF}$ and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P	Over full range of I_P , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-30	-	30	A
Sensitivity	Sens	Peak-to-peak, $I_A = 25\text{ C}$, 66 mV/A programmed sensitivity, $C_P = 47\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	63	66	69	mV/A
Noise	Noise(pp)	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	7	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{OUT}(0)$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.35	-	mV/C
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.08	-	mV/A/C
Total Output Error ²	Error	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.007	-	mV/A/C
		$I_P = 30\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	-0.002	-	%

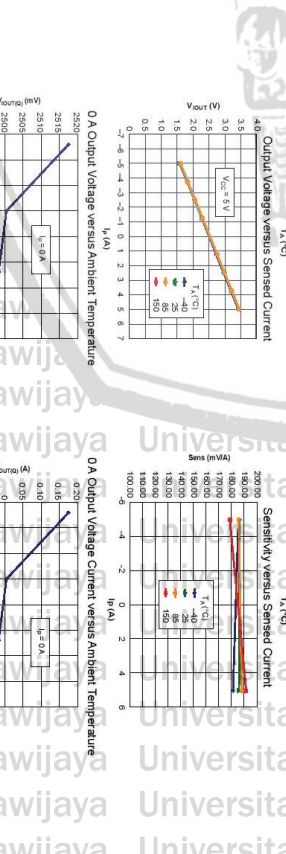
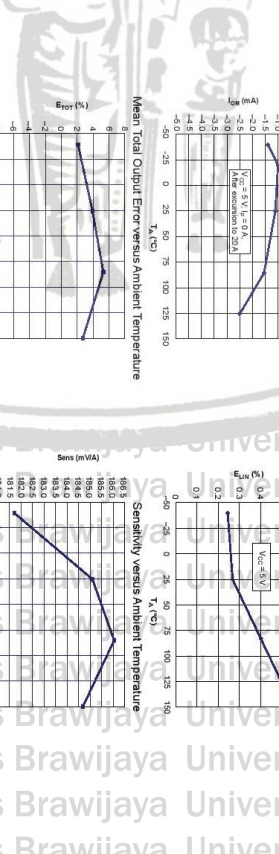
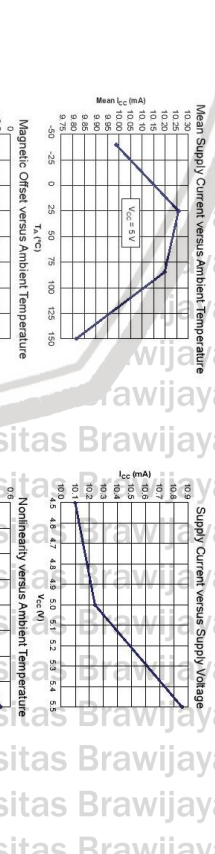
¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(max)}$, is not exceeded.

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



Allegro Microsystems, LLC
115 Northeast CADILLAC
Way, Worcester, Massachusetts 01615-0086 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



Allegro Microsystems, LLC
115 Northeast CADILLAC
Way, Worcester, Massachusetts 01615-0086 U.S.A.
1.508.853.5000 www.allegromicro.com

CMOS Hex Buffer/Converter

CD4009UBMS Hex Buffer/Converter may be used as a CMOS to TTL or DTL logic-level converter or a CMOS high-sink-current driver. The CD4009UBMS is the preferred hex buffer replacement for the CD4049UB in all applications except multiplexers. For applications not requiring high sink current or voltage conversion, the CD4069UB Hex Inverter is recommended. The CD4009UBMS is supplied in these 16 lead outline packages:

- Braze Seal DIP
- HHS
- Flat Seal DIP
- HHE
- Ceramic Flatpack
- HX

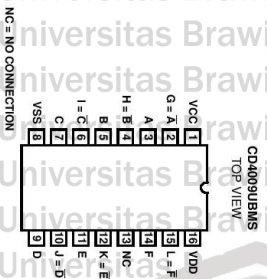
Features

- Inverting Type
- High-Voltage Type (20V Rating)
- 100% Tested for Quiescent Current at 20V
- Maximum Input Current of 1µA at 18V Over Full Package-Temperature Range;
- 10nA at 18V and +25°C
- 5V, 10V and 15V Parametric Ratings

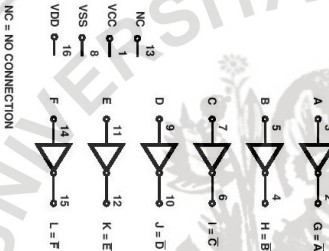
Applications

- CMOS to DTL/TTL Hex Converter
- CMOS Current "Sink" or "Source" Driver
- CMOS High-to-Low Logic-Level Converter
- Multiplexer - 1 to 6 or 6 to 1

Pinout



Functional Diagram



Absolute Maximum Ratings

DC Supply Voltage Range (VDD) -0.5V to +20V
 (Voltage Referenced to VSS Terminal)
 Input Voltage Range, All Inputs -0.5V to VDD +0.5V
 DC Input Current, Any One Input ±10mA
 Operating Temperature Range -55°C to +125°C
 Package Types D, F, K, H
 Storage Temperature Range (TSTG) -65°C to +150°C
 Lead Temperature (During Soldering) +265°C
 At Distance 1/16 ± 1/32 Inch (1.59mm ± 0.79mm) from case for 10s Maximum

Reliability Information

Thermal Resistance: 9^a
 Ceramic DIP and FT1 Package 20°C/W
 Flatpack Package 70°C/W
 Maximum Package Power Dissipation (Pd) at +125°C For TA = 55°C to +100°C (Package Type D, F, K) 500mW
 For TA = 100°C to +125°C (Package Type D, F, K) Derate Linearly at 12mW/°C to 200mW
 For TA = Full Package Temperature Range (All Package Types) Junction Temperature +175°C

TABLE 1. DC ELECTRICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS (NOTE 1)	GROUP A SUBGROUPS		TEMPERATURE	LIMITS		UNITS	
			MIN	MAX		MIN	MAX		
Supply Current	IDD	VDD = 20V, VIN = VDD or GND	1	2	+25°C	-	2	µA	
Input Leakage Current	ILI	VDD = 18V, VIN = VDD or GND	2	3	+125°C	-	200	µA	
		VDD = 20V, VIN = VDD or GND	1	3	-55°C	-	2	µA	
		VDD = 20V, VIN = VDD or GND	2	3	+25°C	-100	-1000	µA	
Input Leakage Current	IHI	VIN = VDD or GND	1	3	-55°C	-100	-100	nA	
		VDD = 20V	2	3	+125°C	-	1000	nA	
		VDD = 18V	1	3	-55°C	-	100	nA	
Output Voltage	VOLHS	VDD = 15V, No Load	1, 2, 3	3	+25°C	+125°C, -55°C	-	50	mV
		VDD = 15V, No Load (Note 2)	1, 2, 3	3	+25°C	+125°C, -55°C	14.95	-	mV
		VDD = 5V, VOLTS = 0.4V	1	1	+25°C	+25°C	3.0	-	mA
Output Current (Sink)	IOS-10	VDD = 10V, VOLTS = 0.5V	1	1	+25°C	+25°C	8.0	-	mA
		VDD = 15V, VOLTS = 1.5V	1	1	+25°C	+25°C	24.0	-	mA
		VDD = 5V, VOLTS = 4.5V	1	1	+25°C	+25°C	-0.8	-	mA
Output Current (Source)	IOS+5	VDD = 15V, VOLTS = 2.5V	1	1	+25°C	+25°C	-0.45	-	mA
		VDD = 10V, VOLTS = 9.5V	1	1	+25°C	+25°C	-	-	mA
		VDD = 15V, VOLTS = 13.5V	1	1	+25°C	+25°C	-1.5	-	mA
P Threshold Voltage	VPTH	VSS = 0V, IDD = 10µA	1	1	+25°C	+25°C	0.7	2.8	V
		VDD = 20V, VIN = VDD or GND	7	7	+25°C	+25°C	-	-	V
		VDD = 18V, VIN = VDD or GND	8A	8A	+125°C	+125°C	-	-	V
Functional	F	VDD = 3V, VIN = VDD or GND	8B	8B	+55°C	+55°C	-	-	V
		VDD = 5V, VOH > 5V, VOL < 0.5V	1, 2, 3	3	+25°C	+125°C, -55°C	-	1.0	V
		VDD = 15V, VOH > 13.5V, VOL < 1.5V	1, 2, 3	3	+25°C	+125°C, -55°C	12.5	-	V

NOTES: 1. All voltages referenced to device GND. 100% testing being performed.
 2. Q0/No Oc/esi with limits applied to inputs.

CD4009

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.
 1-888-INTERSIL or 321-724-7143 | Copyright © Intersil Corporation 1999

LAMPIRAN 3

LISTING PROGRAM

```

#include "TimerOne.h" // Timer1 library dari
http://www.arduino.cc/playground/Code/Timer1
#include <Wire.h>

#define SOL_AMPS_CHAN 0 // pin adc untuk membaca arus solar cell
#define SOL_VOLTS_CHAN 2 // pin adc untuk membaca tegangan solar cell

#define SOL_VOLTS_SCALE 0.012617 // nilai pengali untuk mendapatkan nilai tegangan

const int PWM_PIN = 9; // pin pwm
float sol_amps;
float sol_volts;
float sol_watts;
int duty_cycle = 900; // nilai awal duty cycle
float P_last, P_now, Delta_P, V_last, V_now, Delta_V, I_last, I_now, Delta_I;
int i;

void setup()
{
  Timer1.initialize(20); // initialize timer1, and set a 20uS period
  Serial.begin(9600); // open the serial port at 9600 bps:

  void set_pwm () {
    Timer1.pwm(PWM_PIN, duty_cycle);
  }

float read_adc(int channel){

```



```
float sum = 0;
float temp = 0;
int i;
for (i=0; i<200; i++) { // membaca nilai adc
    temp = analogRead(channel); // membaca pin input
    sum += temp; // menghitung penjumlahan nilai ADC
    delayMicroseconds(5);
}
return(sum / 200); // menghitung rata-rata nilai ADC

void read_data(void) {
    sol_volts = (-0.0110318 + (read_adc(SOL_VOLTS_CHAN) * 0.00460))/0.38485; //nilai tegangan
    solar cell
    sol_amps = (-18.87634409 + (read_adc(SOL_AMPS_CHAN) * 0.037314388)); //nilai arus solar
    cell
    sol_watts = sol_amps * sol_volts; //nilai daya solar cell
}

void print_data(void) {
    Serial.print("DC = ");
    Serial.print(duty_cycle);
    Serial.print(" ");
    Serial.print("DAYA PV = ");
    Serial.print(P_now);
```

```

Serial.print(" ");
Serial.print("Arus PV = ");
Serial.print(amps);
Serial.print(" ");
Serial.print("TEG PV = ");
Serial.print(V_now);
Serial.print(" ");
Serial.print("\n\r");
delay(400);
}
void loop()
{
  Timer1.pwm(PWM_PIN, duty_cycle); //mengaktifkan pwm switching
  read_data();
  V_now = sol_volts; // membaca nilai tegangan sola cell sekarang
  I_now = sol_amps; // membaca nilai arus solar cell sekarang
  P_now = V_now * I_now; // menghitung nilai daya solar cell sekarang
  Delta_P = P_now - P_last; //menghitung selisih daya
  Delta_V = V_now - V_last; //menghitung selisih tegangan
  if(Delta_P==0) { //jika selisih daya = 0

```




```
V_last = V_now ; //nilai tegangan dan daya akan disimpan
P_last = P_now ;
}
else{
if(Delta_P>0) //jika selisih daya > 0
{
if(Delta_V>0) {duty_cycle = duty_cycle + (1023*2/100);} //dan selisih tegangan > 0 maka
duty cycle ditambah 2%
else {duty_cycle = duty_cycle - (1023*2/100);} //jika selisih tegangan tidak > 0 maka
duty cycle dikurang 2%
}
else //jika selisih daya < 0
{
if(Delta_V>0){ duty_cycle = duty_cycle - (1023*2/100);} //dan selisih tegangan > 0 maka
duty cycle dikurang 2%
else{ duty_cycle = duty_cycle + (1023*2/100);} //jika selisih tegangan tidak > 0 maka
duty cycle ditambah 2%
}}
if(duty_cycle>=1012) {duty_cycle=1012;} //batas atas duty cycle switching
if(duty_cycle<=616) {duty_cycle=616;} //batas bawah duty cycle switching
V_last = V_now ; //menyimpan nilai tegangan sekarang menjadi tegangan
sebelum
P_last = P_now ; //menyimpan nilai daya sekarang menjadi tegangan sebelum
print_data(); }
```