

**IMPLEMENTASI *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* PADA
PANEL SURYA MENGGUNAKAN ALGORITMA *INCREMENTAL
CONDUCTANCE***

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Ditujukan untuk Memenuhi Persyaratan

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD SHOLIKHIN

NIM. 155060301111074

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2019

repository.ub.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN
IMPLEMENTASI *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* PADA
PANEL SURYA MENGGUNAKAN ALGORITMA *INCREMENTAL*
CONDUCTANCE

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Ditujukan untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD SHOLIKHIN

NIM. 155060301111074

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 12 Desember 2019

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

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

Ir. Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D., IPM.
NIP. 19730520 200801 1 013

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ir. Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D., IPM.
NIP. 19730520 200801 1 013



JUDUL SKRIPSI:

IMPLEMENTASI *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* PADA PANEL SURYA MENGGUNAKAN ALGORITMA *INCREMENTAL CONDUCTANCE*

Nama Mahasiswa : Muhammad Sholikhin

NIM : 155060301111074

Program Studi : TEKNIK ELEKTRO

Konsentrasi : TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Dosen Pembimbing 1 : Dr. Rini Nur Hasanah, ST., MSc.

Dosen Pembimbing 2 : Ir. Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D., IPM.

Tim Dosen Penguji :

Dosen Penguji 1 : Ir. Wijono, M.T., Ph.D.

Dosen Penguji 2 : Lunde Ardhenta, S.T., M.Sc.

Dosen Penguji 3 : Ir. Teguh Utomo, M.T.

Tanggal Ujian : 06 Desember 2019

SK Penguji : 2527 Tahun 2019



*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.

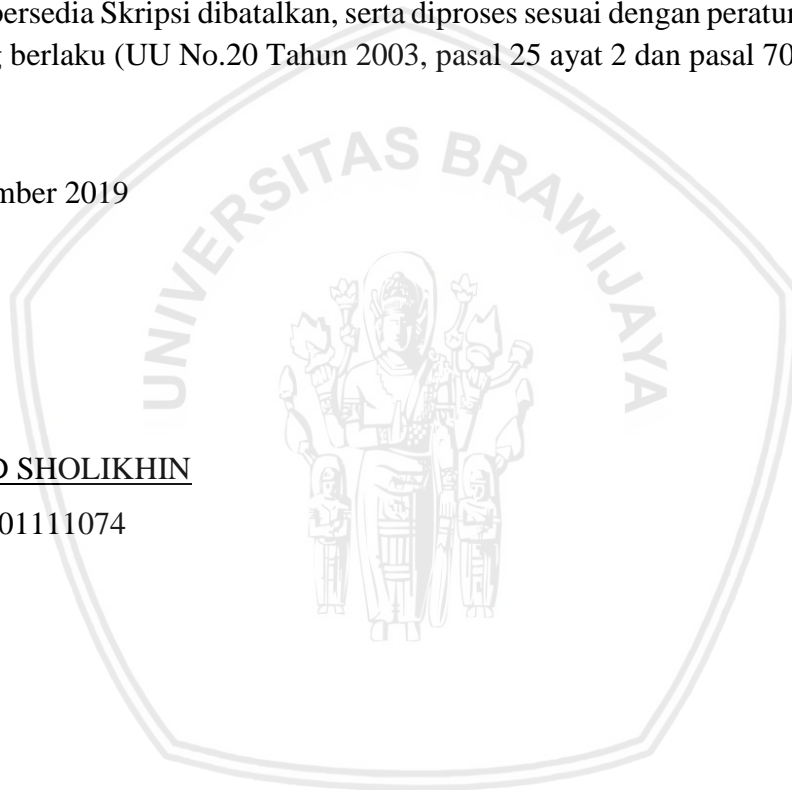
Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No.20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, November 2019

Mahasiswa,

MUHAMMAD SHOLIKHIN

NIM. 155060301111074



PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas segala petunjuk dan nikmat-Nya lah skripsi ini dapat diselesaikan. Sholawat serta salam tidak lupa penulis haturkan kepada junjungan Rasulullah Muhammad SAW, semoga kelak mendapatkan syafaat beliau di yaumul qiyamah.

Skripsi berjudul “Implementasi *Maximum Power Point Tracking* pada Panel Surya menggunakan Algoritma *Incremental Conductance*” ini disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan ketulusan dan kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu, Bapak, Kakak, Adik 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 dan Dosen Pembimbing II atas segala bimbingan, kritik, dan saran yang telah diberikan selama proses penyusunan skripsi.
3. Ibu Ir. Nurussa’adah, M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Ibu Rahmadwati, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Sarjana Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, ST., MSc. selaku Ketua Kelompok Jabatan Fungsional Konsentrasi Teknik Energi Elektrik Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dan Dosen Pembimbing I atas segala bimbingan, kritik, dan saran yang telah diberikan selama proses penyusunan skripsi.
6. Segenap dosen pengajar dan staff administrasi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
7. Teman-teman ngopi, Cita, Godam, Ikrar, Gerdy, Syafei, Ghofur, Ravie, Alif yang tiada hentinya selalu memberikan dukungan, motivasi, dan dorongan semangat kepada penulis.
8. Mas Gilang dan Mas Betantya yang turut membantu hingga terciptanya skripsi ini.

9. Teman-teman Tim Robot Angkatan 2015 (Ikrar, Abbyunda, Syafei, Godam, Rahmat, Danu, Chandra, Toni, Andrian, Cita, Shamsul, Syahidan, Gerdy, Rif'al, Ibnu, Alif, Valen, Yola, Nadia), Tim Robot Angkatan 2014, 2016, dan 2017 atas semangat dan perhatian yang diberikan.
10. Teman-teman Ceritanya Kontrakan (Dzaky, Anas, Dikau, Bagas, Han, Veka) dan Papprika 2015 atas semangat dan perhatian yang diberikan.
11. Teman-teman SERVO 2015 atas segala bantuan dan kebersamaan yang telah diberikan selama masa studi.
12. Teman-teman Konsentrasi Teknik Energi Elektrik 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, November 2019

Penulis

RINGKASAN

Muhammad Sholkhin, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2019, Implementasi *Maximum Power Point Tracking* pada Panel Surya Menggunakan Algoritma *Incremental Conductance*, Dosen Pembimbing: Rini Nur Hasanah dan Hadi Suyono.

Pembangkit listrik bersumber dari energi matahari merupakan salah satu sumber energi yang menjadi pilihan pada saat ini. Energi matahari mempunyai banyak keuntungan seperti ketersediannya yang tidak terbatas, lebih sedikit perawatan dan ramah lingkungan. Salah satu pemanfaatan energi matahari yaitu menggunakan panel surya. Daya keluaran panel surya dapat dioptimalkan dengan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dengan menggunakan algoritma optimisasi yang berbeda beda. MPPT digunakan untuk mencari titik daya maksimum dari kurva karakteristik P-V pada panel surya yang bergantung oleh irradiasi dan suhu. Pada penelitian ini akan mensimulasikan MPPT pada *software* MATLAB sebelum diimplementasikan ke alat. Implementasi MPPT pada alat terdiri dari modul panel surya, sensor arus, sensor tegangan, *buck converter*, beban dan mikrokontroler yang terdapat algoritma *incremental conductance*.

Pengujian MPPT pada kondisi tanpa gangguan dan gangguan berupa *shading* sebesar 25%, 50%, dan 75%. Dari simulasi, diperoleh efisiensi algoritma rata-rata sebesar 89,1939% dengan waktu *tracking* rata-rata selama 0,0196s. Pada pengujian alat yang dilakukan 10 kali percobaan pada setiap kondisi, diperoleh efisiensi rata-rata sebesar 80,798% dengan waktu *tracking* rata-rata selama 0,3s. Dari perbandingan simulasi dengan alat diperoleh *error* efisiensi rata-rata sebesar 8,3959%. *Error* tersebut disebabkan oleh kualitas komponen-komponen dari *buck converter* dan kondisi irradiasi yang berubah-ubah saat pengujian alat.

Kata Kunci: Panel Surya, *Buck Converter*, *Incremental Conductance*, *Maximum Power Point Tracking*

SUMMARY

Muhammad Sholikhin, *Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering University of Brawijaya, July 2019, Implementation of Maximum Power Point Tracking on Solar Panel Using Incremental Conductance Algorithm, Academic Supervisor: Rini Nur Hasanah and Hadi Suyono.*

Power generation sourced from solar energy is one of the energy sources of choice at this time. Solar energy has many advantages such as unlimited availability, less maintenance and environmentally friendly. One of the uses of solar energy is using solar panels. The output power of solar panels can be optimized by Maximum Power Point Tracking (MPPT) using different optimization algorithms. MPPT is used to find the maximum power point of the P-V characteristic curve on solar panels that is dependent on irradiation and temperature. This research will simulate MPPT on MATLAB software before it is implemented in the tool. The MPPT implementation on the device consists of solar panel modules, current sensors, voltage sensors, buck converters, loads and microcontrollers that have an incremental conductance algorithm.

MPPT testing in conditions without interruption and interference in the form of shading by 25%, 50%, and 75%. From the simulation, obtained an average algorithm efficiency of 89.1939% with an average tracking time of 0.0196s. In the testing of tools conducted 10 experiments in each condition, obtained an average efficiency of 80.798% with an average tracking time of 0.3 s. From the comparison of simulations with tools an average efficiency error of 8.3959% was obtained. The error is caused by the quality of the components of the buck converter and the irradiation conditions that change when testing tools.

Keyword: *Solar Panel, Buck Converter, Incremental Conductance, Maximum Power Point Tracking,*

DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
RINGKASAN	iii
SUMMARY	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Batasan Masalah.....	2
1.3. Rumusan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Panel surya.....	5
2.2. <i>Maximum Power Point Tracking</i> (MPPT).....	9
2.3. <i>Algoritma Incremental Conductance</i>	10
2.4. <i>Buck Converter</i>	11
2.5. Arduino Nano.....	15
2.6. Sensor Arus ACS712.....	16
2.7. Sensor Tegangan.....	17
2.8. TLP250.....	18
2.9. <i>Analog to Digital Converter</i> (ADC).....	18
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1 Perancangan Diagram Blok Sistem.....	21
3.2 Spesifikasi Alat.....	22
3.3 Perancangan dan Pembuatan Alat.....	22
3.4 Perancangan Algoritma Sistem.....	22
3.5 Simulasi.....	24
3.5.1 Simulasi Karakteristik Panel Surya.....	24
3.5.2 Simulasi MPPT.....	24

3.6.	Pengujian Alat	25
3.6.1	Pengujian Rangkaian Pembagi Tegangan	25
3.6.2	Pengujian Sensor Arus	26
3.6.3	Pengujian <i>Buck Converter</i>	26
3.6.4	Pengujian MPPT	26
3.7.	Perbandingan Hasil Simulasi dengan Pengujian Alat	26
3.8.	Pengambilan Kesimpulan dan Saran	26
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1	Perhitungan Komponen dan Perancangan Alat	27
4.1.1	<i>Buck Converter</i>	27
4.1.2	Rangkaian Pembagi Tegangan	29
4.1.3	Sensor Arus ACS712 5A	30
4.1.4	<i>Driver</i> MOSFET	30
4.2	Simulasi	31
4.2.1	Simulasi Karakteristik Panel Surya.....	31
4.2.1.1	Prosedur Simulasi Karakteristik Panel Surya.....	32
4.2.1.2	Hasil Simulasi Karakteristik Panel Surya	32
4.2.2	Simulasi MPPT	36
4.2.2.1	Prosedur Simulasi MPPT	36
4.2.2.2	Hasil Pengujian MPPT	36
4.2	Pengujian Alat	40
4.2.1	Pengujian Rangkaian Pembagi Tegangan	40
4.2.1.1	Prosedur Pengujian Rangkaian Pembagi Tegangan.....	40
4.2.1.2	Hasil Pengujian Rangkaian pembagi tegangan	41
4.2.2	Pengujian Sensor Arus	42
4.2.2.1	Prosedur Pengujian Sensor Arus	43
4.2.2.2	Hasil Pengujian Sensor Arus.....	43
4.2.3	Pengujian <i>Buck converter</i>	45
4.2.3.1	Prosedur Pengujian <i>Buck converter</i>	45
4.2.3.2	Hasil Pengujian <i>Buck converter</i>	45
4.2.4	Pengujian MPPT	47
4.2.4.1	Prosedur Pengujian Algoritma MPPT.....	47

4.2.4.2 Hasil Pengujian Sistem MPPT	48
4.3 Perbandingan Hasil MPPT Simulasi dengan Pengujian Alat	51
BAB V PENUTUP	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	61



DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Skema Efek Sel Surya	5
Gambar 2.2	Rangkaian ekuivalen sel surya	6
Gambar 2.3	Kurva Karakteristik I-V pada Sel Surya dengan irradiansi bervariasi	7
Gambar 2.4	Kurva Karakteristik I-V pada Sel Surya dengan suhu bervariasi.....	7
Gambar 2.5	Kurva Karakteristik P-V pada Sel Surya dengan suhu bervariasi.....	8
Gambar 2.6	Kurva Karakteristik P-V pada Sel Surya dengan irradiansi bervariasi	8
Gambar 2.7	<i>Solar cell polly-crystalline</i>	9
Gambar 2.8	Kurva karakteristik P-V pada sel surya saat titik maksimum	10
Gambar 2.9	Rangkaian <i>buck converter</i>	11
Gambar 2.10	<i>Buck converter switch closed</i>	11
Gambar 2.11	Analisis gelombang keluaran <i>buck converter switch closed</i>	12
Gambar 2.12	<i>Buck converter switch opened</i>	12
Gambar 2.13	Analisis gelombang keluaran <i>buck converter switch opened</i>	13
Gambar 2.14	Gelombang keluaran <i>buck converter steady state</i>	14
Gambar 2.15	Gelombang arus pada kapasitor	14
Gambar 2.16	Arduino Nano V3	15
Gambar 2.17	Pin <i>mapping sensor ACS712-5A</i>	16
Gambar 2.18	Rangkaian pembagi tegangan.....	17
Gambar 2.19	Pin Konfigurasi TLP250	18
Gambar 3.1	Diagram blok sistem.....	21
Gambar 3.2	Diagram alir Algoritma <i>Incremental Conductance</i>	23
Gambar 3.3	Pemodelan panel surya menggunakan <i>software</i> MATLAB SIMULINK	24
Gambar 3.4	Rangkaian simulasi MPPT	25
Gambar 4.1	Rangkaian <i>buck converter</i> perancangan.....	29
Gambar 4.2	Rangkaian pembagi tegangan.....	30
Gambar 4.3	Rangkaian penggunaan sensor ACS712.....	30
Gambar 4.4	<i>Driver</i> MOSFET.....	31
Gambar 4.5	Pemodelan panel surya menggunakan MATLAB SIMULINK.....	32
Gambar 4.6	Kurva karakteristik I-V dan P-V yang dihasilkan panel surya tanpa gangguan	33

Gambar 4.7 Kurva karakteristik I-V dan P-V yang dihasilkan panel surya dengan gangguan <i>shading</i> sebesar 25%	33
Gambar 4.8 Kurva karakteristik I-V dan P-V yang dihasilkan panel surya dengan gangguan <i>shading</i> sebesar 50%	34
Gambar 4.9 Kurva karakteristik I-V dan P-V yang dihasilkan panel surya dengan gangguan <i>shading</i> sebesar 75%	35
Gambar 4.10 Rangkaian sistem MPPT menggunakan MATLAB SIMULINK.....	36
Gambar 4.11 Grafik daya yang dihasilkan MPPT tanpa gangguan <i>shading</i>	37
Gambar 4.12 Grafik daya yang dihasilkan MPPT dengan gangguan <i>shading</i> sebesar 25%.....	37
Gambar 4.13 Grafik daya yang dihasilkan MPPT dengan gangguan <i>shading</i> sebesar 50%	38
Gambar 4.14 Grafik daya yang dihasilkan MPPT dengan gangguan <i>shading</i> sebesar 75%.....	39
Gambar 4.15 Rangkaian pengujian pembagi tegangan	40
Gambar 4.16 Grafik hasil pengujian pembagi tegangan	42
Gambar 4.17 Rangkaian pengujian sensor arus	42
Gambar 4.18 Grafik hasil pengujian sensor arus.....	44
Gambar 4.19 Rangkaian pengujian <i>buck converter</i>	45
Gambar 4.20 Grafik hasil pengujian <i>buck converter</i>	46
Gambar 4.21 Rangkaian pengujian sistem keseluruhan.....	47
Gambar 4.22 Grafik daya yang dihasilkan MPPT tanpa gangguan <i>shading</i>	48
Gambar 4.23 Grafik daya yang dihasilkan MPPT dengan gangguan <i>shading</i> sebesar 25%.....	49
Gambar 4.24 Grafik daya yang dihasilkan MPPT dengan gangguan <i>shading</i> sebesar 50%.....	49
Gambar 4.25 Grafik daya yang dihasilkan MPPT dengan gangguan <i>shading</i> sebesar 75%.....	50
Gambar 4.26 Simulasi MPPT (a) dan Pengujian MPPT (b) tanpa gangguan	52
Gambar 4.27 Simulasi MPPT (a) dan Pengujian MPPT (b) dengan gangguan <i>shading</i> sebesar 25%	52
Gambar 4.28 Simulasi MPPT (a) dan Pengujian MPPT (b) dengan gangguan <i>shading</i> sebesar 50%	53
Gambar 4.29 Simulasi MPPT (a) dan Pengujian MPPT (b) dengan gangguan <i>shading</i> sebesar 75%	54



DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Spesifikasi Panel Surya	9
Tabel 2.2	Spesifikasi Modul Arduino Nano.....	15
Tabel 2.3	Terminal Keluaran Sensor ACS712.....	16
Tabel 2.4	Spesifikasi Sensor ACS712 5A.....	17
Tabel 4.1	Parameter <i>Buck Converter</i>	28
Tabel 4.2	Simulasi Karakteristik Panel Surya.....	35
Tabel 4.3	Hasil Simulasi MPPT dengan Algoritma <i>InC</i> pada Kondisi <i>Shading</i> yang Berbeda.....	39
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Rangkaian Pembagi Tegangan	41
Tabel 4.5	Hasil Pengujian Sensor Arus.....	44
Tabel 4.6	Hasil Pengujian <i>Buck converter</i>	46
Tabel 4.7	Hasil Pengujian MPPT dengan Algoritma <i>InC</i> pada Kondisi <i>Shading</i> yang Berbeda.....	51
Tabel 4.8	Perbandingan MPPT antara simulasi dan pengujian alat.....	54

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
	LAMPIRAN 1 GRAFIK HASIL PENGUJIAN	63
	LAMPIRAN 2 DOKUMENTASI ALAT & PENGUJIAN	75
	LAMPIRAN 3 LISTING PROGRAM	81
	LAMPIRAN 4 DATASHEET	85



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembangkit energi listrik berbasis energi baru dan terbarukan merupakan pilihan saat ini dengan adanya ketersediaan bahan bakar fosil yang semakin menipis dan berdampak negatif pada lingkungan (Mohammed, 2015). Salah satu energi yang menjadi pilihan saat ini adalah energi matahari atau surya. Pembangkit listrik dengan menggunakan panel surya memiliki banyak keuntungan seperti ketersediaan energinya yang tidak terbatas, lebih sedikit perawatan dan ramah lingkungan (Tsai et al, 2008). Teknologi panel surya berfungsi untuk mengkonversi langsung cahaya dari matahari menjadi energi listrik.

Permasalahan utama yang terdapat pada teknologi panel surya adalah efisiensi dari panel surya yang cukup kecil, hal ini disebabkan karena daya keluaran yang dihasilkan tidak optimal. Efisiensi panel surya bergantung pada kondisi lingkungan seperti suhu, irradiasi matahari, bayangan, dan lain-lain (Ali et al, 2016). Terdapat titik dimana panel surya menghasilkan daya maksimum dengan efisiensi tertinggi. Titik tersebut dinamakan *Maximum Power Point* (MPP). Oleh karena itu banyak penelitian yang telah dilakukan di bidang ini dan berbagai teknik dikembangkan dan diadopsi untuk meningkatkan efisiensi dari panel surya. Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi dari panel surya dengan menggunakan *Maximum Power Point Tracking*. *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) berfungsi untuk mencari titik daya maksimum dari kurva karakteristik P-V pada panel surya (Moring & Pols, 2012).

MPPT terdiri dari 2 bagian utama, yaitu konverter DC-DC dan algoritma MPPT. Konverter DC-DC pada MPPT berfungsi untuk mengubah tegangan yang dibangkitkan panel surya ke level tegangan yang dibutuhkan. Metode atau algoritma pada MPPT berfungsi untuk mencari titik kerja optimal dari panel surya (Nugroho, 2016). Ada beberapa algoritma yang bisa digunakan dalam sistem MPPT, antara lain *Perturbation and Observation* (P&O), *Incremental Conductance* (InC), *Constant Voltage* (CV), *Fuzzy Logic Control* (FLC), sampai *Artificial Neural Network* (ANN). Masing-masing metode tersebut mempunyai kelebihan dan kekurangan sendiri (Rokonuzzaman & Haider, 2016).

Pada penelitian ini dilakukan simulasi dan implementasi MPPT menggunakan *buck converter* dengan algoritma *incremental conductance*. Simulasi dan pengujian alat dilakukan dalam kondisi tanpa gangguan dan gangguan yang berupa *shading*. *Partial shading* terjadi ketika modul panel surya menerima radiasi matahari yang berbeda-beda. Kondisi tersebut disebabkan oleh perubahan cuaca lokal atau keadaan lingkungan sekitar, sehingga panel surya tertutup oleh awan dan bayangan dari bangunan atau pepohonan (Achmad, 2016). Algoritma *incremental conductance* dipilih karena memiliki kelebihan yaitu perhitungan yang sederhana. Selain itu, algoritma ini mempunyai kemampuan dalam menentukan titik daya maksimum dengan baik tanpa terpengaruh berbagai perubahan pada sel surya, seperti penuaan, perubahan kondisi lingkungan, penurunan kemampuan sel surya (Liu & Lopes, 2004).

Simulasi dilakukan menggunakan *software* MATLAB 2016A. Simulasi dengan merancang blok sistem MPPT yang terdiri dari panel surya, *buck converter*, dan algoritma *incremental conductance* dalam simulink. Dari simulasi tersebut, dapat diketahui kurva karakteristik panel surya dan kinerja sistem secara keseluruhan apakah sesuai dengan perhitungan. Selain itu, simulasi juga digunakan sebagai bahan perbandingan dengan hasil pengujian alat. Selanjutnya, implementasi MPPT pada alat terdiri dari modul panel surya, sensor arus, sensor tegangan, *buck converter*, beban dan mikrokontroler yang terdapat algoritma *incremental conductance*. Komponen-komponen tersebut dirangkai kemudian digunakan untuk pengujian MPPT. Dari pengujian tersebut, dapat diketahui hasil kinerja MPPT serta kesesuaian dengan simulasi yang telah dilakukan.

1.2. Batasan Masalah

Pada penelitian ini diberikan pembatas masalah sebagai berikut:

1. Posisi panel surya dibuat tetap
2. Simulasi menggunakan *software* MATLAB 2016A
3. Panel surya yang digunakan hanya satu
4. Suhu yang diberikan pada simulasi sebesar 25°C, sedangkan pada pengujian alat tidak diperhitungkan
5. Gangguan *shading* yang diberikan pada sistem MPPT bernilai 25%, 50%, dan 75%
6. Kondisi irradiansi matahari saat pengujian yaitu sekitar 900W/m².

1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan diatas, maka dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan MPPT dengan algoritma *incremental conductance* pada panel surya.
2. Bagaimana pengaruh kinerja MPPT dengan algoritma *incremental conductance* pada panel surya tanpa gangguan.
3. Bagaimana pengaruh kinerja MPPT dengan algoritma *incremental conductance* pada panel surya dengan gangguan *shading*.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penyusunan penelitian ini adalah merancang dan mengetahui efisiensi daya yang mampu dihasilkan panel surya dengan MPPT menggunakan algoritma *incremental conductance*

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini turut memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi di bidang sumber daya terbarukan yaitu sebagai alat yang mampu memaksimalkan daya keluaran dari panel surya. Selain itu hasil dari penelitian ini bisa digunakan pada sistem lain yang menggunakan panel surya.

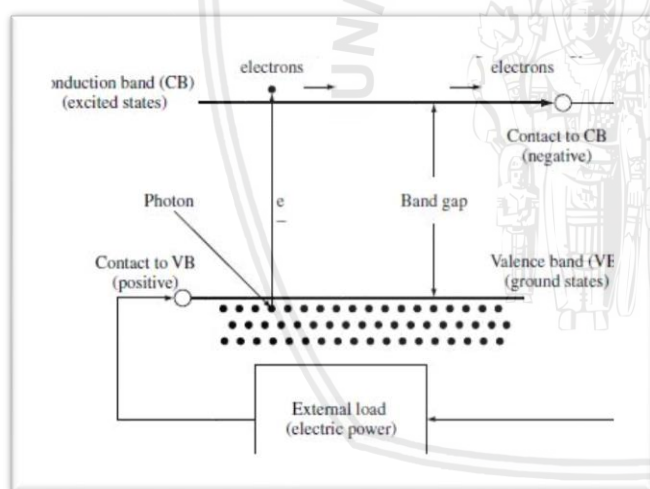


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Panel surya

Panel surya terbuat dari bahan semikonduktor dan memiliki elektron yang terikat lemah pada suatu pita energi yang disebut pita valensi (VB). Ketika terdapat suatu energi yang lebih besar dari batas *threshold* (*band gap energy*) diberikan kepada elektron di pita valensi tersebut, maka ikatan elektron tersebut akan putus. Kemudian elektron tersebut akan melewati batas *threshold* dan bergerak bebas pada suatu pita energi baru yang disebut pita konduksi. Elektron yang bergerak bebas pada pita konduksi ini dapat menghasilkan listrik. Energi yang dibutuhkan untuk membebaskan elektron pada pita valensi ini dapat berasal dari foton, yang merupakan partikel dari cahaya (Luque & Hegedus, 2003). Skema efek sel surya dapat dilihat pada Gambar 2.1.



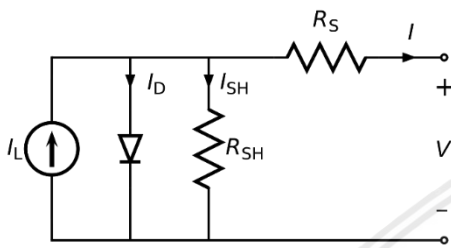
Gambar 2.1 Skema Efek Sel Surya

Sumber: (Hegedus & Luque, 2003)

Gambar 2.1 menunjukkan proses yang terjadi pada sel surya ketika dipaparkan cahaya. Foton-foton yang merupakan partikel dari cahaya menabrak elektron-elektron yang berada pada pita valensi (VB), dan ketika energi foton tersebut melebihi batas *threshold* maka elektron akan didorong keluar dari pita valensi (VB) sehingga elektron melewati pita pemisah (*band gap*) menuju pita konduksi (CB). Kemudian suatu *selective contact* yang dibuat khusus untuk mengumpulkan elektron-elektron pada pita konduksi ini akan

menggerakkan elektron-elektron tersebut. Elektron yang bergerak inilah yang disebut sebagai arus listrik. Elektron yang telah kehilangan energinya setelah melakukan berbagai pekerjaan akan kembali menuju pita valensi melalui *selective contact* yang kedua (Luque & Hegedus, 2003).

Rangkaian ekuivalen dari sel surya ini terdiri atas sumber arus yang dihasilkan dari proses konversi, sebuah dioda, sebuah resistor paralel, dan sebuah resistor seri (Tsai et al, 2008). Rangkaian ekuivalen dari sebuah sel surya dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Rangkaian ekuivalen sel surya
Sumber: (Morales, 2010)

Persamaan dari rangkaian persamaan diatas adalah :

$$I = I_L - I_0 \left\{ \exp \left[\frac{q(V+IR_S)}{nkT} \right] - 1 \right\} - \frac{V+IR_S}{R_{SH}} \dots \dots \dots (2-1)$$

I_0 = arus saturasi *reverse* (Ampere)

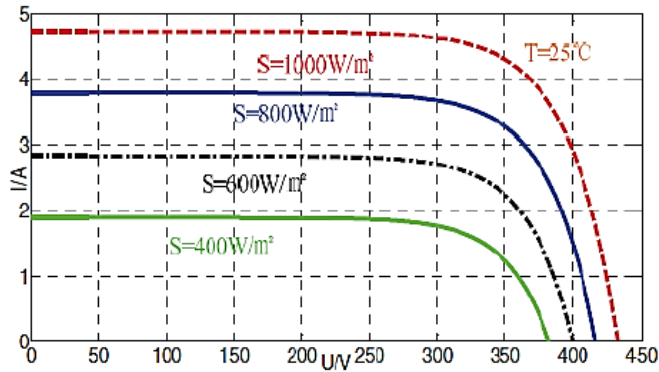
n = faktor ideal dioda (bernilai 1 untuk dioda ideal)

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

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

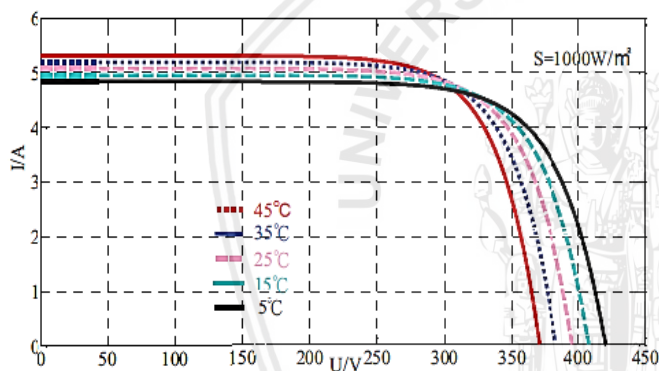
T = temperatur *solar cell* (°K)

Berdasarkan persamaan karakteristik Sel Surya tersebut dapat diperoleh kurva hubungan antara arus keluaran (I) dan tegangan keluaran (V) serta daya keluaran (P) dengan tegangan keluaran (V) . Grafik hubungan antara I dan V dipengaruhi oleh irradiasi dapat dilihat pada Gambar 2.3.



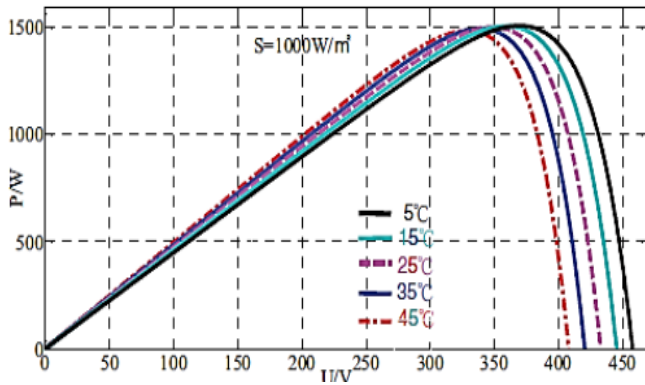
Gambar 2.3 Kurva Karakteristik I-V pada Sel Surya dengan irradiansi bervariasi
Sumber: (Olivia, 2018)

Dimana terdapat 4 buah kurva I-V yang terbentuk dengan nilai irradiansi (λ) yang bervariasi dengan suhu (T) yang dijaga konstan. Untuk grafik hubungan antara I dan V dipengaruhi oleh suhu dapat dilihat pada Gambar 2.4



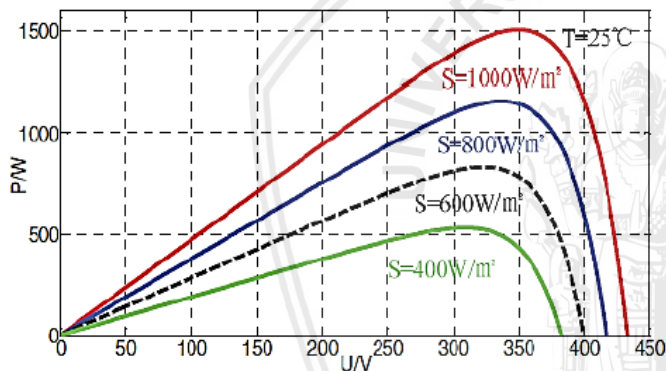
Gambar 2.4 Kurva Karakteristik I-V pada Sel Surya dengan suhu bervariasi
Sumber: (Olivia, 2018)

Dimana terdapat 5 buah kurva I-V yang terbentuk dengan nilai irradiansi (λ) yang dijaga konstan dengan suhu (T) yang bervariasi. Untuk grafik hubungan antara P dan V dipengaruhi oleh suhu dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Kurva Karakteristik P-V pada Sel Surya dengan suhu bervariasi
Sumber: (Olivia, 2018)

Dimana terdapat 5 buah kurva P-V yang terbentuk dengan nilai irradiasi (λ) yang dijaga konstan dengan suhu (T) yang bervariasi. Untuk grafik hubungan antara P dan V dipengaruhi oleh radiasi dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Kurva Karakteristik P-V pada Sel Surya dengan irradiasi bervariasi
Sumber: (Olivia, 2018)

Dimana terdapat 4 buah kurva P-V yang terbentuk dengan nilai irradiasi (λ) yang bervariasi dengan suhu (T) yang dijaga konstan. Dari keempat gambar tersebut dapat diketahui bahwa, semakin besar irradiasi, maka nilai arus, tegangan, dan daya akan semakin besar. Pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6, dapat dilihat bahwa kurva P-V memiliki titik puncak atau dapat dikatakan daya maksimal yang mampu dihasilkan oleh Sel Surya. Dimana titik puncak ini dipengaruhi oleh nilai λ dan T . Hal ini dapat diamati pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6.

Panel surya yang digunakan pada perancangan ini adalah tipe *Polly-Crystalline* dengan bentuk fisik pada Gambar 2.7 dan spesifikasi pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1

Spesifikasi Panel Surya

Parameter	Nilai
P_{max}	80W
V_{mp}	18V
I_{mp}	4,44A
V_{oc}	22,5V
I_{sc}	4,44A
Maximum system voltage	1000V
Size	670mm x 820mm x 35mm
Test Condition	1000W/m ²

Sumber: www.solarpanelseries.com (2019)



Gambar 2.7 Solar cell polly-crystalline

Sumber: www.solarpanelseries.com (2019)

2.2. Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Sistem Sel Surya memiliki keluaran dengan karakteristik yang berubah-ubah atau dikatakan nonlinear seperti pada kurva P-V di Gambar 2.5 dan Gambar 2.6, dimana titik puncaknya berubah seiring dengan berubahnya radiasi dan suhu. Agar panel surya memiliki efisiensi yang tinggi, maka panel surya diharuskan memiliki keluaran yang stabil pada titik maksimumnya. Panel surya tidak akan secara otomatis bekerja pada titik kerja maksimumnya, melainkan harus dikendalikan (Olivia, 2018). Letak dari titik maksimum ini tidak diketahui, melainkan harus dicari. Maka, peran dari *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dibutuhkan untuk melacak keberadaan titik kerja maksimum (MPP) yang dapat dihasilkan dari panel surya dan menjaga agar selalu berada pada titik tersebut.

2.3. Algoritma Incremental Conductance

Algoritma *Incremental Conductance* (InC) merupakan jenis MPPT langsung karena menentukan tegangan operasi optimal berdasarkan pengukuran arus, tegangan, daya keluaran secara langsung. Karakteristik P-V sel surya merupakan fungsi daya terhadap tegangan, mencapai titik maksimum ketika gradiennya bernilai nol (Nugroho, 2016) atau sesuai dengan persamaan :

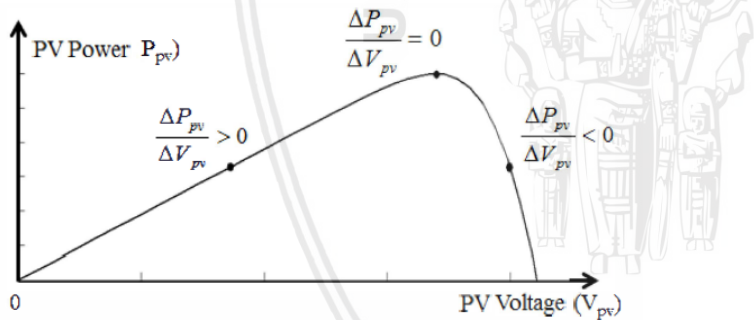
$$\frac{dP}{dV} = 0 \dots\dots\dots (2-2)$$

Karena $P = I \times V$, maka :

$$\frac{d(IV)}{dV} = I \frac{dV}{dV} + V \frac{dI}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} = 0 \dots\dots\dots (2-3)$$

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \dots\dots\dots (2-4)$$

Kurva karakteristik P-V pada sel surya saat titik maksimum ditunjukkan oleh Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Kurva karakteristik P-V pada sel surya saat titik maksimum
 Sumber: (Mohammed & Devaraj, 2015)

Gambar 2.8 menunjukkan posisi didapatkannya daya yang maksimum (MPP) pada sistem MPPT.

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V}, \text{ kondisi saat titik MPP}$$

$$\frac{dI}{dV} > -\frac{I}{V}, \text{ kondisi disebelah kiri dari titik MPP}$$

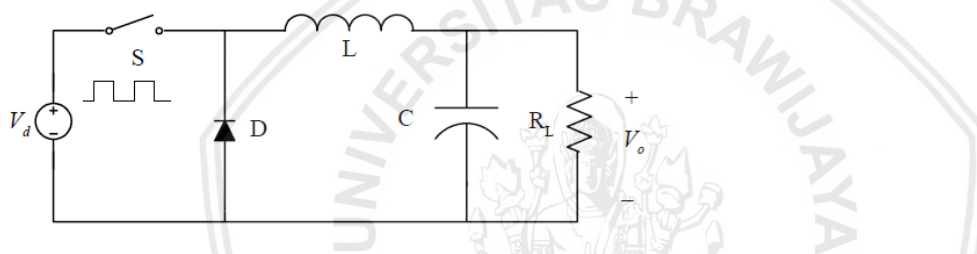
$$\frac{dI}{dV} < -\frac{I}{V}, \text{ kondisi disebelah kanan dari titik MPP}$$

Dengan demikian, MPP dapat dilacak dengan membandingkan *instantaneous conductance* (I/V) dengan *incremental conductance* ($\Delta I/\Delta V$) seperti yang ditunjukkan pada

persamaan (2-4). Setelah MPP tercapai, keluaran panel surya dipertahankan pada titik ini, kecuali jika terjadi perubahan pada ΔI yang mengindikasikan adanya perubahan pada kondisi atmosfer dan MPP. Algoritma ini menambah atau mengurangi *duty cycle* untuk melacak MPP baru. Nilai penambahan menentukan seberapa cepat MPP dilacak. Pelacakan dapat dicapai dengan cepat jika penambahan lebih besar, namun sistem mungkin tidak beroperasi dengan tepat di MPP

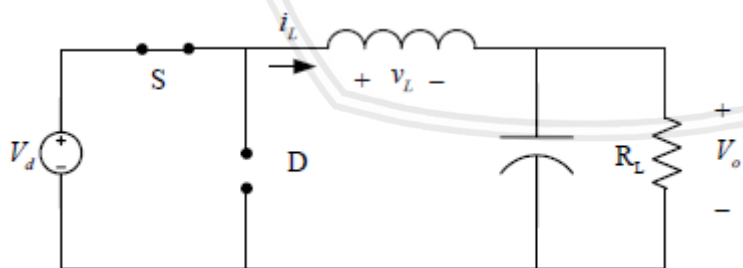
2.4. Buck Converter

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 2.9.



Gambar 2.9 Rangkaian *buck converter*
 Sumber: (Ramadhan, 2018)

Prinsip kerja rangkaian ini dibagi menjadi 2 mode yaitu *switch closed* dan *switch opened*. Rangkaian *buck converter* dalam mode *switch closed* seperti pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 *Buck converter switch closed*
 Sumber: (Ramadhan, 2018)

Pada Gambar 2.10 *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:

$$V_L = V_d - V_o \dots\dots\dots(2-5)$$



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

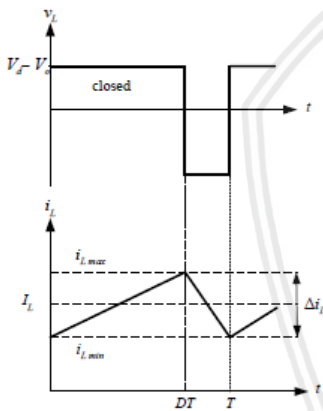
$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_d - V_o}{L}$$

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

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

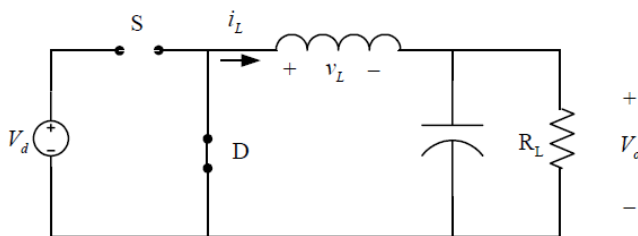
$$(\Delta i_L)_{closed} = \frac{V_d - V_o}{L} DT \dots \dots \dots (2-6)$$

Δi_L adalah perbedaan arus antara nilai awal dan akhir arus setiap satu gelombang. Analisis bentuk gelombang keluaran *buck converter* ketika dalam keadaan *switch closed* seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Analisis gelombang keluaran *buck converter* *switch closed*
 Sumber: (Ramadhan, 2018)

Sedangkan untuk rangkaian *buck converter* dalam mode *switch opened* seperti pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 *Buck converter* *switch opened*
 Sumber: (Ramadhan, 2018)

Pada Gambar 2.12 *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:

$$V_L = -V_o \dots\dots\dots (2-7)$$

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

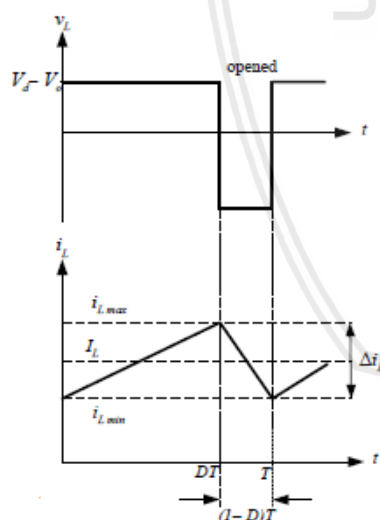
$$\frac{di_L}{dt} = \frac{-V_o}{L}$$

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

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

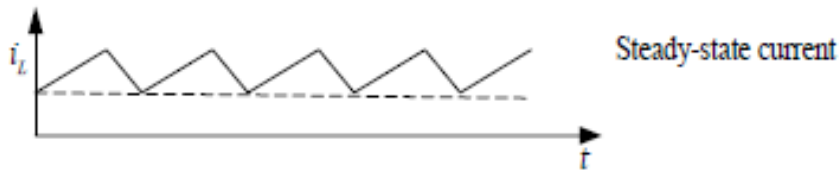
$$(\Delta i_L)_{opened} = \left(\frac{-V_o}{L}\right) (1-D)T \dots\dots\dots (2-8)$$

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



Gambar 2.13 Analisis gelombang keluaran *buck converter* *switch opened*
Sumber: (Ramadhan, 2018)

Gelombang keluaran *buck converter* ketika dalam keadaan *steady state* seperti pada Gambar 2.14



Gambar 2.14 Gelombang keluaran buck converter steady state
 Sumber: (Ramadhan, 2018)

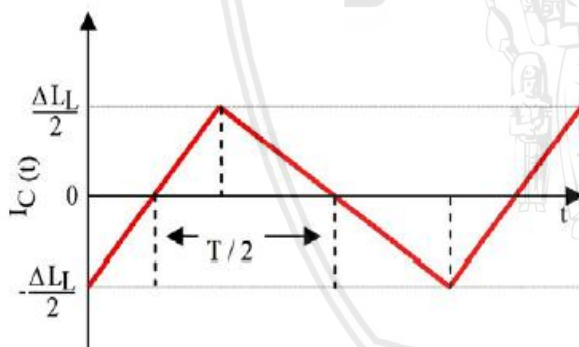
Keadaan *steady state* tercapai ketika i_L pada akhir *switching* sama dengan keadaan awal dari proses selanjutnya. Sehingga perubahan i_L sama dengan nol.

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

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

$$V_o = D V_D \dots\dots\dots (2-9)$$

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. Sedangkan gelombang arus pada kapasitor seperti pada Gambar 2.15



Gambar 2.15 Gelombang arus pada kapasitor
 Sumber: (Ramadhan, 2018)

Gambar 2.15 menunjukkan bahwa rata-rata arus pada kapsitor adalah nol, namun pada setengah gelombang, kapasitor akan mengisi muatannya. Muatan yang diisi dapat diketahui dengan persamaan berikut

$$\Delta Q = \frac{1}{2} \times \frac{\Delta I_L}{2} \times \frac{T}{2} = \frac{1}{8} \times \Delta I_L \times T \dots\dots\dots (2-10)$$

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

$$\Delta V_{OUT} = \frac{\Delta I_L}{C} \dots\dots\dots (2-11)$$

Dari persamaan (2-8) dan (2-11) akan didapatkan persamaan tegangan *ripple* pada *output* sebagai berikut

$$\Delta V_{OUT} = \frac{V_{out}(1-D)}{8L \times C \times f^2} \dots\dots\dots (2-12)$$

2.5. 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 2.16. 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 2.16 dan spesifikasinya terdapat pada Tabel 2.2



Gambar 2.16 Arduino Nano V3

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

Tabel 2.2

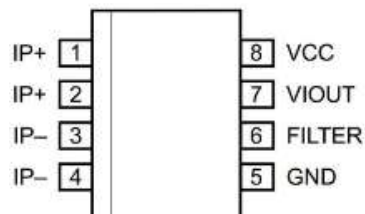
Spesifikasi Modul Arduino Nano

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)

2.6. 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). Pin Mapping sensor arus ACS712-5A ditunjukkan pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 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. 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

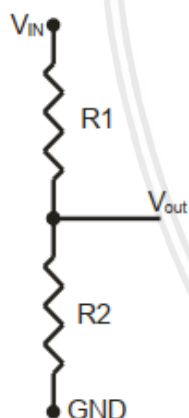
Spesifikasi Sensor ACS712 5A

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)

2.7. Sensor Tegangan

Sensor tegangan digunakan untuk mendeteksi besarnya tegangan pada suatu sistem. Sensor tegangan yang umum digunakan adalah 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 2.18.



Gambar 2.18 Rangkaian pembagi tegangan

Sumber: (Ramadhan, 2018)

Pada Gambar 2.18 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:

$$V_{out} = V_{in} \frac{R2}{R1+R2} \dots\dots\dots(2-13)$$

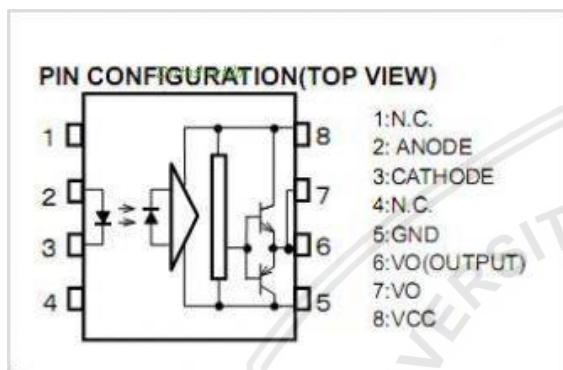
V_{out} = Tegangan yang terbaca sensor (V)

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

- R_1 = Resistor pada sisi V_{in} (Ω)
 R_2 = Resistor pada sisi $Ground$ (Ω)

2.8. TLP250

TLP250 merupakan rangkaian terpadu (*Integrated circuit*) untuk memicu *gate power* MOSFET / *Insulated Gate Bipolar Transistor* (IGBT) dengan *range* tegangan keluaran 10-35 VDC dan kapasitas arus *output* maksimum hingga 1,5A. Pin konfigurasi TLP250 dapat dilihat pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19 Pin Konfigurasi TLP250

Sumber: [https://microcontrollerslab.com/isolated-mosfet-driver-tp250/\(2015\)](https://microcontrollerslab.com/isolated-mosfet-driver-tp250/(2015))

TLP250 memiliki konstruksi *optocoupler photo diode*, transistor totempole, serta penguat (*amplifier*) yang dikemas dalam satu kemasan *Integrated Circuit* dan memiliki isolasi tegangan hingga 2500Vrms sehingga sangat aman digunakan untuk mengisolasi rangkaian kontrol dengan rangkaian daya. *Switching time* yang cepat (500ns) sehingga baik digunakan untuk operasi frekuensi hingga 50KHz. Keluaran PWM pada arduino nano maksimal hanya 5VDC maka digunakan Driver TLP250 sebagai penguat sinyal PWM sehingga cukup untuk memicu *gate power* MOSFET.

2.9. 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 (2-14) dan perhitungan nilai digital ditunjukkan pada Persamaan (2-15)

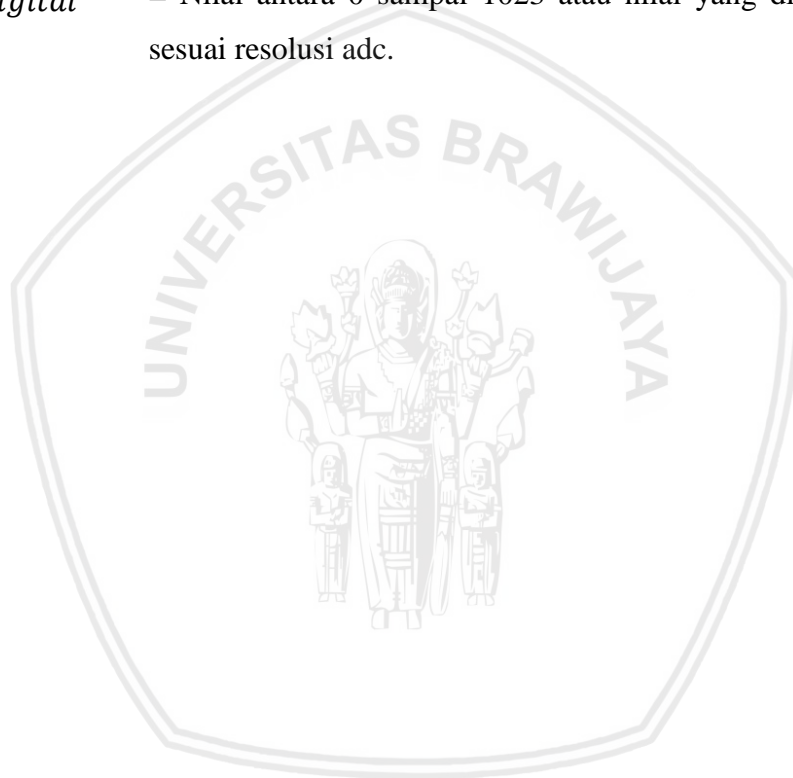
$$V_{ADC} = \left(\frac{\text{Nilai digital}}{1024} \right) \times V_{ref} \dots \dots \dots (2-14)$$

$$\text{Nilai digital} = \left(\frac{V_{ADC}}{V_{ref}} \right) \times 1024 \dots \dots \dots (2-15)$$

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

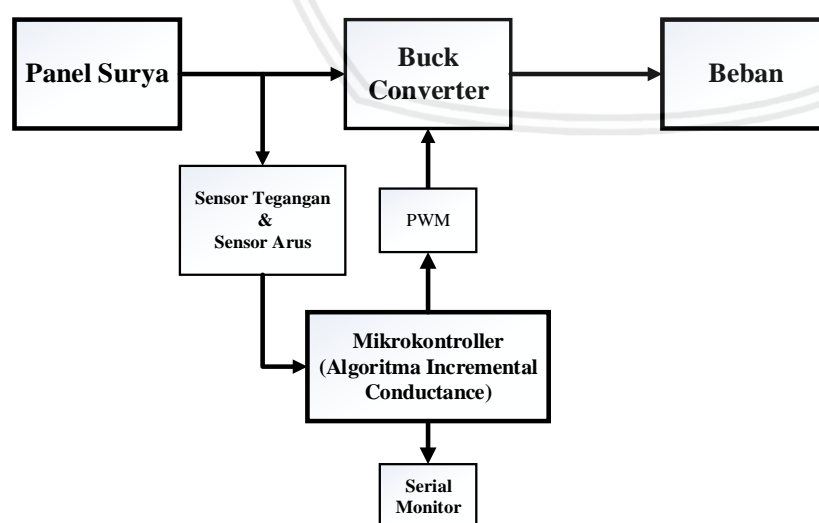
METODE PENELITIAN

Metode penelitian merupakan cara ilmiah untuk mendapatkan informasi dengan tujuan tertentu menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan yang terdapat di bab pendahuluan, diperlukan langkah – langkah untuk menyelesaikan masalah tersebut. Metode penelitian pada skripsi ini meliputi:

1. Perancangan diagram blok sistem
2. Spesifikasi alat
3. Perancangan dan pembuatan alat
4. Perancangan algoritma sistem
5. Simulasi
6. Pengujian alat
7. Perbandingan hasil simulasi dengan pengujian alat
8. Pengambilan kesimpulan dan saran.

3.1 Perancangan Diagram Blok Sistem

Perancangan diagram blok sistem menjelaskan tentang sistem dalam garis besar dan diharapkan alat mampu bekerja sesuai dengan yang desain yang telah dibuat. Diagram blok sistem dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram blok sistem
Sumber : (Penulis, 2019)

Gambar 3.1 menunjukkan diagram blok sistem yang ingin dirancang. Prinsip kerja sistem ini adalah pertama panel surya menerima radasi matahari yang akan diubah menjadi tegangan dan arus. Tegangan dan arus akan dibaca oleh pembagi tegangan dan sensor arus. Hasil pembacaan kemudian menjadi masukan dari algoritma *incremental conductance* yang akan diolah mikrokontroler. Keluaran algoritma *incremental conductance* berupa sinyal PWM yang diatur dengan *duty cycle* untuk *switching buck converter*. Keluaran dari *buck converter* berupa tegangan dan arus akan digunakan untuk mensuplai beban.

3.2 Spesifikasi Alat

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

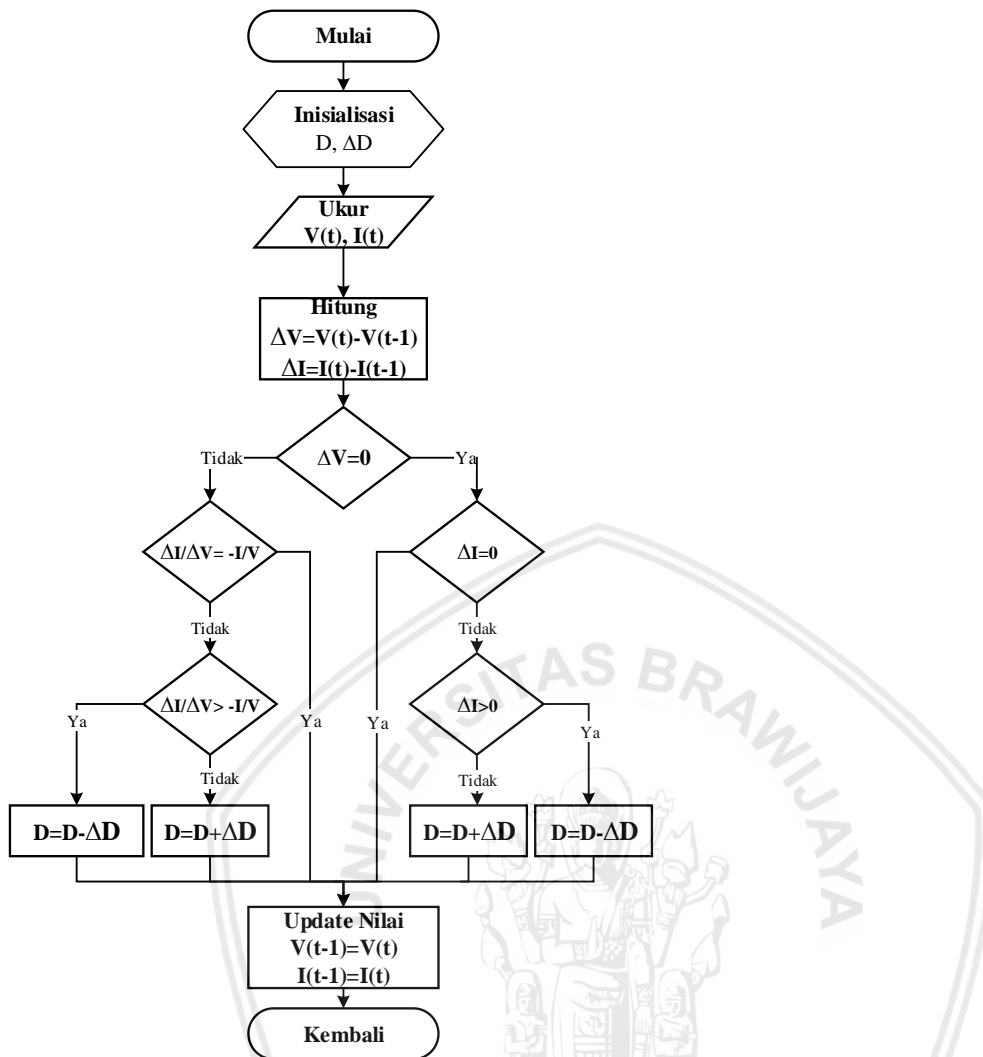
1. Panel surya yang digunakan adalah *Polly-Cristalline* dengan dimensi 670mm x 820mm x 35mm
2. Panel surya mempunyai tegangan maksimal 22,5V dan arus maksimal 4,8A
3. *Converter* DC-DC yang digunakan adalah tipe *buck converter*
4. Penguat sinyal PWM menggunakan *driver* MOSFET tipe TLP250
5. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino nano berbasis *chip* ATmega328
6. Pembacaan arus panel surya menggunakan sensor arus ACS712 5A
7. Pembacaan tegangan panel surya menggunakan rangkaian pembagi tegangan
8. Beban yang digunakan berupa resistor 100W.

3.3. Perancangan dan Pembuatan Alat

Perancangan dan Pembuatan alat dilakukan sebagai langkah awal sebelum terbentuknya suatu sistem beserta pemrogramannya. Dalam perancangan ini dilakukan perhitungan komponen-komponen dahulu agar sistem dapat bekerja sesuai dengan deskripsi awal yang telah direncanakan. Perhitungan komponen dan perancangan alat dapat dilihat pada BAB IV.

3.4. Perancangan Algoritma Sistem

Algoritma *Maximum Power Point Tracking* yang digunakan adalah *incremental conductance* (InC) . Algoritma ini memerlukan masukan yang berupa pengukuran nilai tegangan dan arus dari rangkaian pembagi tegangan dan sensor arus. Keluaran algoritma InC ini berupa *duty cycle* untuk *switching buck converter*. Algoritma *incremental conductance* ditunjukkan pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Diagram alir Algoritma *Incremental Conductance*
Sumber : (Penulis, 2019)

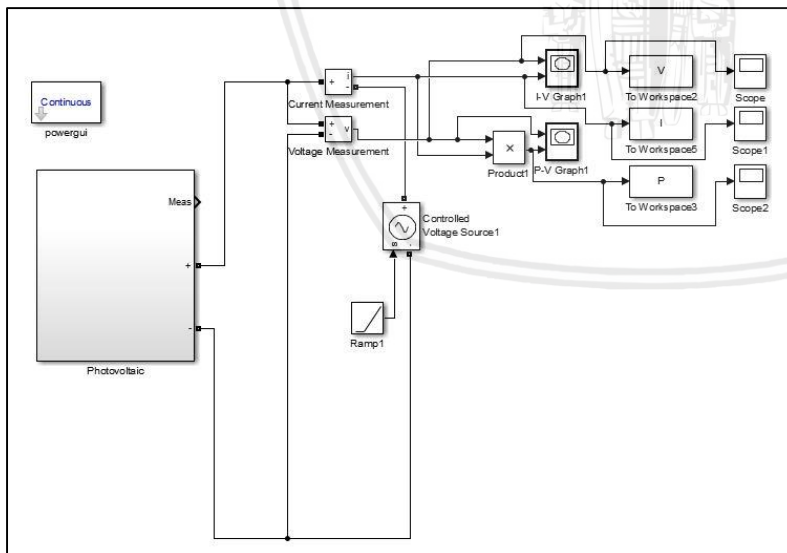
Proses *tracking* untuk mencapai titik MPP, algoritma *incremental conductance* akan bekerja dengan melakukan iterasi secara berulang hingga mencapai titik MPP. Dijelaskan bahwa, algoritma ini memerlukan masukan berupa nilai tegangan dan arus panel surya. Proses selanjutnya yaitu menghitung perubahan tegangan (ΔV) dengan mengurangi nilai tegangan sekarang dengan nilai tegangan sebelumnya dan perubahan arus (ΔI) dengan mengurangi nilai arus sekarang dengan nilai arus sebelumnya. Selanjutnya algoritma memeriksa apakah perubahan tegangan (ΔV) sama dengan bernilai 0 jika benar, algoritma akan memeriksa persamaan $\Delta I=0$. Untuk perubahan tegangan (ΔV) tidak sama dengan 0, algoritma akan memeriksa persamaan $\Delta I/\Delta V=-I/V$. MPP akan dicapai ketika persamaan $\Delta I/\Delta V=-I/V$ dan $\Delta I=0$. Setelah MPP tercapai, keluaran panel surya dipertahankan pada titik ini. Algoritma ini menambah atau mengurangi *duty cycle* untuk melacak MPP baru jika persamaan ($\Delta I/\Delta V=-I/V$) dan ($\Delta I=0$) tidak terpenuhi.

3.5. Simulasi

Simulasi dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem secara keseluruhan apakah sesuai dengan perhitungan. Selain itu, simulasi juga digunakan sebagai bahan perbandingan dengan hasil pengujian alat keseluruhan. Pengujian ini mengacu pada kondisi sebenarnya yang terjadi di lapangan. *Software* yang digunakan pada pengujian ini berupa *software* MATLAB Simulink. Simulasi yang dilakukan sebagai berikut.

3.5.1 Simulasi Karakteristik Panel Surya

Simulasi dilakukan untuk mengetahui bagaimana karakteristik dari modul panel surya yang digunakan. Dari simulasi karakteristik panel surya didapatkan grafik I-V (arus-tegangan) dan P-V (daya-tegangan). Panel surya dengan konfigurasi 4×9 buah sel surya yang artinya ada 4 rangkaian paralel dengan masing-masing mempunyai 9 sel surya terpasang secara seri. Pada simulasi terdapat beberapa kondisi, meliputi kondisi seluruh sel surya diberi iradiasi 900W/m^2 (tanpa gangguan), kondisi 9 sel surya diberi iradiasi 0W/m^2 dan sel surya lainnya diberi iradiasi 900W/m^2 (*shading* 25%), kondisi 18 sel surya diberi iradiasi 0W/m^2 dan sel surya lainnya diberi iradiasi 900W/m^2 (*shading* 50%), kondisi 27 sel surya diberi iradiasi 0W/m^2 dan sel surya lainnya diberi iradiasi 900W/m^2 (*shading* 75%). Simulasi menggunakan *software* MATLAB SIMULINK dan pemodelan simulasi karakteristik panel surya ditunjukkan pada Gambar 3.3.

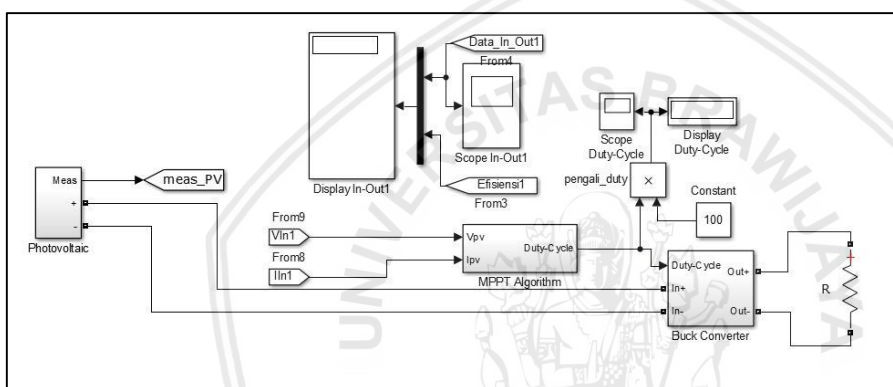


Gambar 3.3 Pemodelan panel surya menggunakan *software* MATLAB SIMULINK
Sumber : (Penulis, 2019)

3.5.2 Simulasi MPPT

Simulasi MPPT bertujuan untuk mengetahui hasil kinerja dari sistem MPPT dengan algoritma *incremental conductance*. Percobaan dengan pengambilan nilai daya panel surya,

duty-cycle, dan waktu *tracking*, kemudian dihitung efisiensi dari sistem MPPT yang digunakan. Dari data yang dihasilkan digunakan sebagai acuan untuk pengujian alat. Panel surya dengan konfigurasi 4×9 buah sel surya yang artinya ada 4 rangkaian paralel dengan masing-masing mempunyai 9 sel surya terpasang secara seri. Pada simulasi terdapat beberapa kondisi, meliputi kondisi seluruh sel surya diberi irradiasi 900W/m^2 (tanpa gangguan), kondisi 9 sel surya diberi irradiasi 0W/m^2 dan sel surya lainnya diberi irradiasi 900W/m^2 (*shading* 25%), kondisi 18 sel surya diberi irradiasi 0W/m^2 dan sel surya lainnya diberi irradiasi 900W/m^2 (*shading* 50%), kondisi 27 sel surya diberi irradiasi 0W/m^2 dan sel surya lainnya diberi irradiasi 900W/m^2 (*shading* 75%). Rangkaian simulasi MPPT ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.4 Rangkaian simulasi MPPT
Sumber : (Penulis, 2019)

3.6. Pengujian Alat

Pengujian alat bertujuan untuk mengetahui apakah alat yang telah dibuat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan dan simulasi yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan secara bertahap pada masing-masing perangkat keras kemudian dilakukan pengujian sistem MPPT dengan panel surya.

3.6.1 Pengujian Rangkaian 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. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai tegangan masukan yang dibaca oleh voltmeter dengan nilai tegangan yang ditampilkan Arduino.

3.6.2 Pengujian Sensor Arus

Keluaran sensor berupa tegangan yang akan dibaca Arduino kemudian hasil pembacaan dikonversi menjadi nilai arus. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai arus masukan yang dibaca oleh amperemeter dengan nilai arus yang ditampilkan Arduino.

3.6.3 Pengujian *Buck Converter*

Pengujian *buck converter* dilakukan dengan memberikan tegangan masukan dan beban yang tetap kemudian *duty cycle* dirubah secara bertahap. Pengujian dilakukan dengan membandingkan daya keluaran *buck converter* dengan daya masukan *buck converter*, sehingga didapatkan efisiensi dari *buck converter* tersebut.

3.6.4 Pengujian MPPT

Pengujian dilakukan untuk mengetahui daya yang dihasilkan MPPT dengan algoritma *incremental conductance* dengan durasi 1 menit. Daya yang dihasilkan kemudian ditampilkan pada *serial monitor*. Pada pengujian MPPT terdapat beberapa kondisi, meliputi kondisi seluruh sel surya diberi *full* pencahayaan (tanpa gangguan), kondisi 9 sel surya ditutup dengan kain dan sel surya lainnya diberi *full* pencahayaan (*shading* 25%), kondisi 18 sel surya ditutup dengan kain dan sel surya lainnya diberi *full* pencahayaan (*shading* 50%), kondisi 27 sel surya ditutup dengan kain dan sel surya lainnya diberi *full* pencahayaan (*shading* 75%).

3.7. Perbandingan Hasil Simulasi dengan Pengujian Alat

Membandingkan MPPT menggunakan algoritma *incremental conductance* secara simulasi dengan alat sebenarnya. Perbandingan dilakukan dengan membandingkan daya yang dihasilkan oleh alat dengan hasil simulasi sistem.

3.8. Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Tahap akhir dari penelitian yang dilakukan adalah pengambilan kesimpulan dan saran. Kesimpulan diperoleh dari hasil pengujian serta simulasi sistem secara keseluruhan dan kesesuaiannya dengan teori. Sedangkan saran diberikan untuk memperbaiki kesalahan dan pengembangan alat supaya lebih baik untuk penelitian selanjutnya.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dilakukan perhitungan komponen dan perancangan alat yang kemudian dilakukan pengujian dan analisis sistem setiap blok maupun secara keseluruhan. Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui apakah alat yang telah dibuat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan secara bertahap dari simulasi kemudian dilakukan pengujian Alat. Pengujian sistem yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Perancangan Alat
2. Simulasi

Simulasi dapat dibagi menjadi beberapa bagian yaitu:

- a. Pengambilan data grafik karakteristik panel surya
- b. Simulasi MPPT

3. Pengujian Alat

Pengujian alat dapat dibagi menjadi beberapa bagian yaitu:

- a. Pengujian rangkaian pembagi tegangan
- b. Pengujian sensor arus
- c. Pengujian *buck converter*
- d. Pengujian MPPT

4. Perbandingan Hasil MPPT Simulasi dengan Pengujian Alat.

4.1 Perhitungan Komponen dan Perancangan Alat

4.1.1 *Buck Converter*

Buck converter adalah rangkaian elektrik converter DC-DC yang berfungsi untuk menurunkan tegangan. Merancang *buck converter* diperlukan parameter-parameter yang diinginkan terlebih dahulu. Parameter-parameter yang diinginkan seperti pada Tabel 4.1

Tabel 4.1

Parameter *Buck Converter*

Parameter	Nilai
V_{in}	22,5V
V_{out}	18V
Frekuensi (f)	25000Hz
$I_{O Max}$	4,445A

Sumber : (Penulis, 2019)

Nilai arus pada induktor (I_L) sama dengan nilai arus keluaran *buck converter* ($I_{O Max}$). Dalam perancangan *buck converter*, nilai *peak to peak* dalam arus induktor tidak melebihi 20%, maka nilai perbedaan arus dalam induktor dapat dihitung sebagai berikut:

$$\Delta I_L = 0,2 \times 4,445 = 0,889$$

Duty cycle dihitung dengan membandingkan antara tegangan keluaran dan tegangan masukan sesuai spesifikasi yang diinginkan. Menggunakan persamaan (2-9) maka *duty cycle* dapat ditentukan.

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

$$D = \frac{18}{22,5} = 0,8$$

Menghitung nilai induktor dilakukan dengan merubah sedikit persamaan (2-6). Nilai induktor dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$L = \frac{(V_{in} - V_{out})}{f \times \Delta I_L} \times D \dots\dots\dots (4-1)$$

$$= \frac{(22,5 - 18)}{25000 \times 0,889} \times 0,8$$

$$= 161,98\mu H \cong 162\mu H$$

Setelah nilai induktor ditentukan, maka nilai kapasitor *buck converter* dapat dicari dengan mengubah persamaan (2-12). Dalam perancangan *buck converter*, tegangan ripple keluaran tidak melebihi 0,1% dari arus maksimal. Persamaan untuk mencari nilai kapasitor adalah sebagai berikut:

$$C = \frac{(1-D)}{8Lxf^2 \Delta V_{out}} \dots\dots\dots (4-2)$$

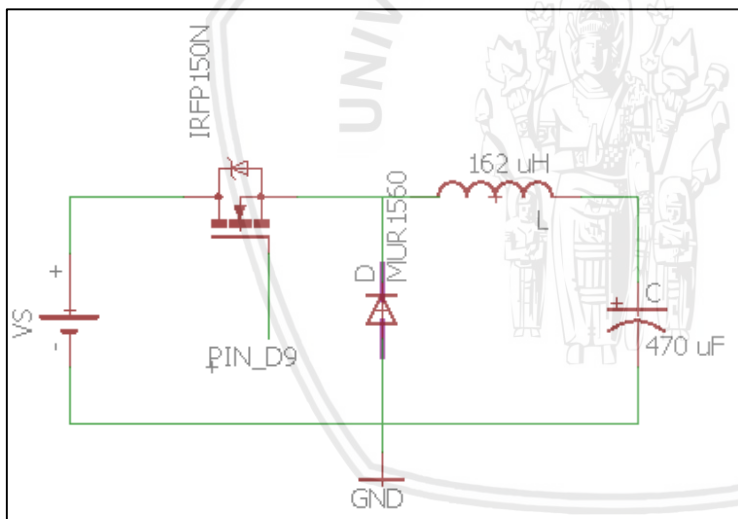
$$= \frac{(1 - 0,8)}{8 \times 162 \times 10^{-6} \times 25000^2 \times 1 \times 10^{-3}}$$

$$= 246,94 \mu F \cong 470 \mu F$$

Komponen *switching* yang digunakan adalah MOSFET. MOSFET yang dipakai adalah IRFP150N yang mempunyai tegangan *drain source* (V_{DSS}) 100 Volt dan arus *drain* (I_D) maksimal 41 Ampere.

Dioda yang digunakan adalah MUR1560. Dioda ini dipilih karena mampu bekerja pada frekuensi 25 KHz. Dioda MUR1560 memiliki kemampuan maksimal tegangan 600 Volt dan arus 15 Ampere sehingga aman diterapkan pada *buck converter*.

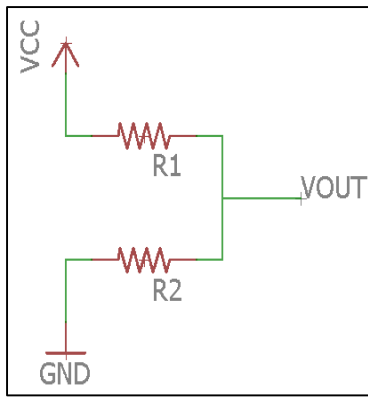
Setelah komponen telah ditentukan maka *buck converter* dapat dibuat dengan rangkaian seperti Gambar 4.1



Gambar 4.1 Rangkaian *buck converter* perancangan
Sumber : (Penulis, 2019)

4.1.2 Rangkaian Pembagi Tegangan

Rangkaian pembagi tegangan yang digunakan dalam sistem memiliki spesifikasi tegangan *input* 0–22,5V dan *output* 0–5V. Rangkaian pembagi tegangan ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Rangkaian pembagi tegangan
Sumber : (Penulis, 2019)

Nilai hambatan R1 ditentukan sebesar $39\text{k}\Omega$ dan R2 dapat dihitung menggunakan persamaan (2-13).

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

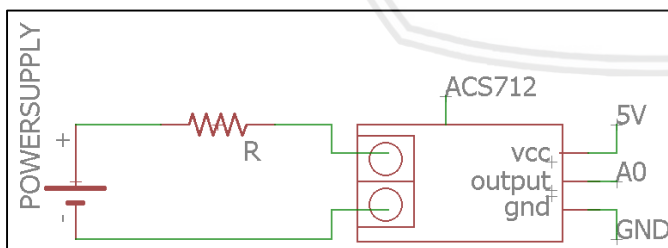
$$5 = 22,5 \frac{R_2}{39000 + R_2}$$

$$R_2 = \frac{195000}{17.6}$$

$$R_2 = 11.14\text{k}\Omega \cong 11\text{k}\Omega$$

4.1.3 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 4.3.

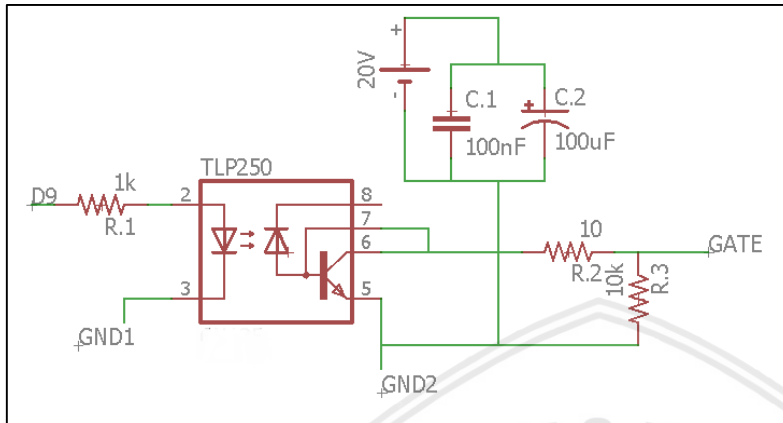


Gambar 4.3 Rangkaian penggunaan sensor ACS712
Sumber : (Penulis, 2019)

4.1.4 Driver MOSFET

Untuk mengaktifkan MOSFET pada *buck converter* dibutuhkan rangkaian *driver* MOSFET. Komponen utama pada rangkaian *driver* ini adalah *optocoupler* TLP250. Rangkaian ini berfungsi untuk memindahkan sinyal PWM dari sistem mikrokontroler ke sistem daya dengan memisahkan *ground* daya dari *ground* kontrol, karena keduanya bekerja

pada catudaya yang berbeda untuk mencegah kerusakan pada rangkaian dan komponen pada bagian kontroller. Sumber tegangan *driver* MOSFET (V_s) yang digunakan dalam perancangan berasal dari *regulator* DC dengan nominal 20V. Rangkain *driver* MOSFET ditunjukkan pada Gambar 4.4.



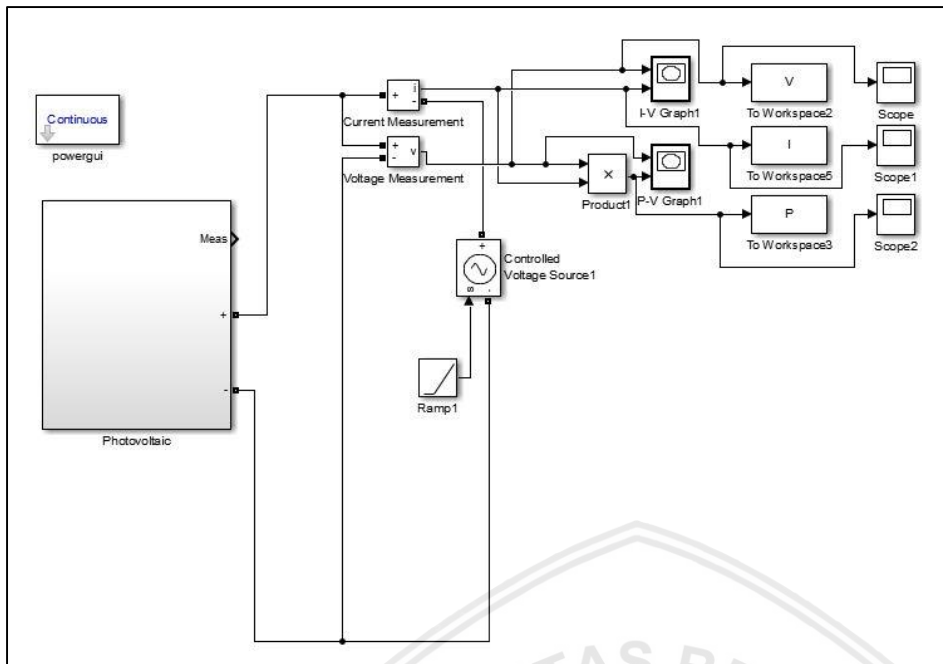
Gambar 4.4 Driver MOSFET
Sumber : (Penulis, 2019)

4.2 Simulasi

Simulasi dilakukan untuk mengetahui karakteristik panel surya yang akan digunakan serta hasil kinerja MPPT dengan algoritma *incremental conductance* sebelum diimplementasikan ke alat.

4.2.1 Simulasi Karakteristik Panel Surya

Simulasi ini dilakukan untuk mendapatkan karakteristik panel surya yang akan digunakan pada sistem MPPT. Pengujian ini dilakukan pada kondisi panel surya tanpa gangguan dan saat kondisi diberi gangguan *shading* sebesar 25%, 50%, dan 75%. Simulasi karakteristik panel surya menggunakan MATLAB SIMULINK ditampilkan pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Pemodelan panel surya menggunakan MATLAB SIMULINK
Sumber : (Penulis, 2019)

Berikut adalah alat dan bahan yang digunakan dalam simulasi karakteristik panel surya, antara lain:

1. Laptop atau PC
2. *Software* MATLAB

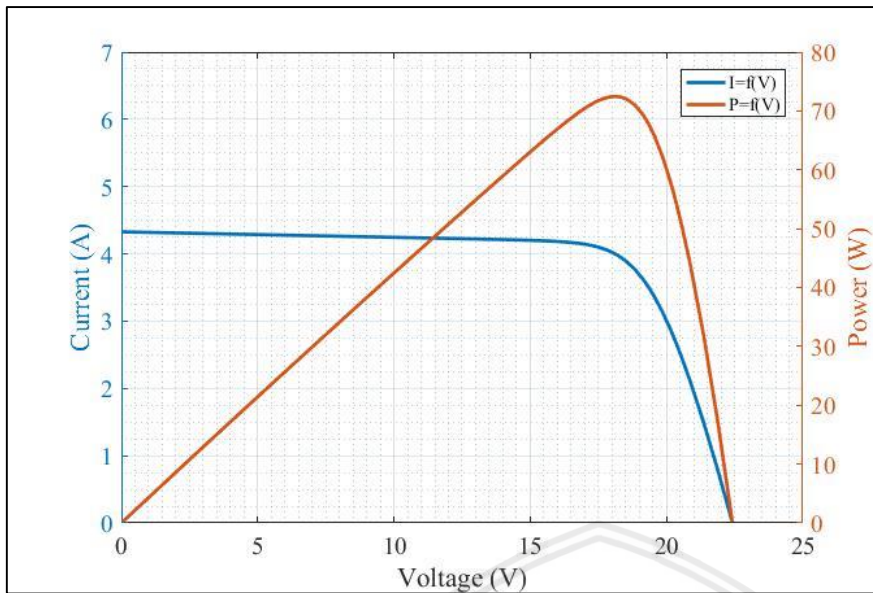
4.2.1.1 Prosedur Simulasi Karakteristik Panel Surya

Prosedur pengujian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Merancang model simulasi seperti Gambar 4.1
2. Menetapkan nilai gangguan *shading* panel surya 0%
3. Menjalankan simulasi dengan tombol *run*, tunggu hingga proses *run* selesai
4. Mencatat hasil simulasi
5. Membuat grafik dari hasil simulasi
6. Mengulangi langkah 1-5 dengan mengganti gangguan *shading* 25%, 50%, dan 75%.

4.2.1.2 Hasil Simulasi Karakteristik Panel Surya

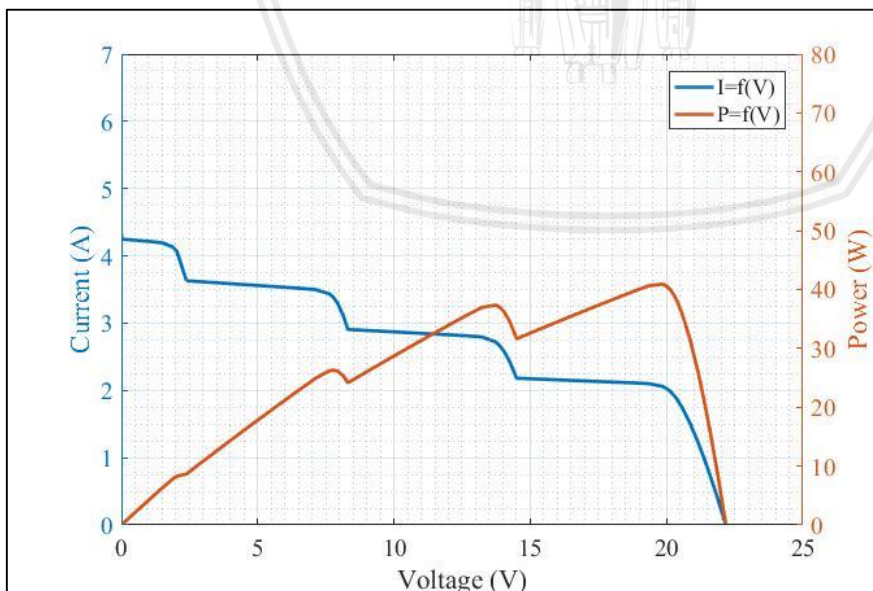
Kurva karakteristik panel surya tanpa gangguan ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Kurva karakteristik I-V dan P-V yang dihasilkan panel surya tanpa gangguan
Sumber : (Penulis, 2019)

Gambar 4.6 menunjukkan panel surya yang mendapatkan *full* pencahayaan, sehingga menghasilkan arus yang sama pada setiap selnya. Karena kurva P-V merupakan hasil perkalian dari kurva I-V, maka arus yang sama pada setiap selnya akan menghasilkan kurva P-V yang hanya memiliki 1 *peak*.

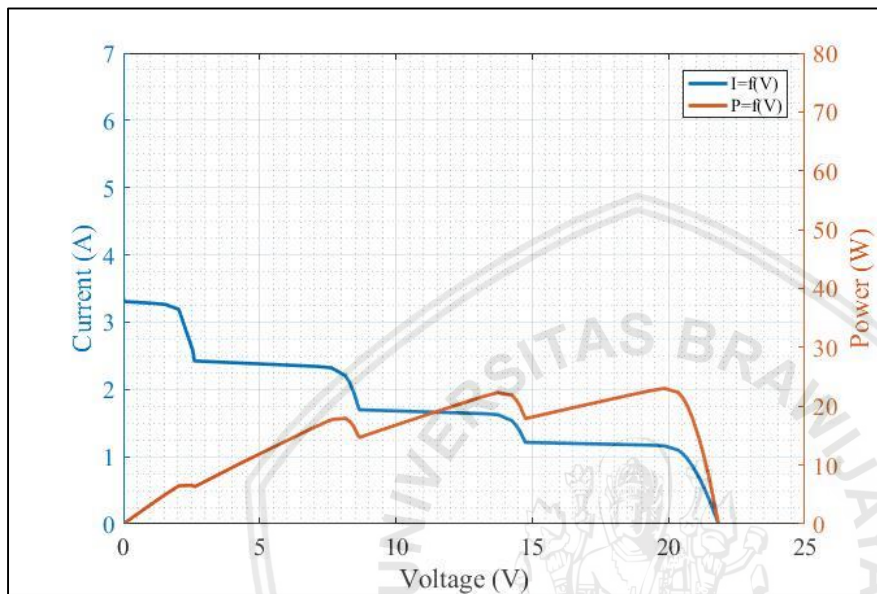
Kurva karakteristik panel surya dengan gangguan *shading* sebesar 25% ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Kurva karakteristik I-V dan P-V yang dihasilkan panel surya dengan gangguan *shading* sebesar 25%
Sumber : (Penulis, 2019)

Gambar 4.7 menunjukkan panel surya yang mendapatkan gangguan *shading* sebesar 25%, sehingga menghasilkan arus yang berbeda pada setiap selnya dan menyebabkan timbulnya 4 *peak* pada kurva P-V.

Kurva karakteristik panel surya dengan gangguan *shading* sebesar 50% ditunjukkan pada Gambar 4.8.

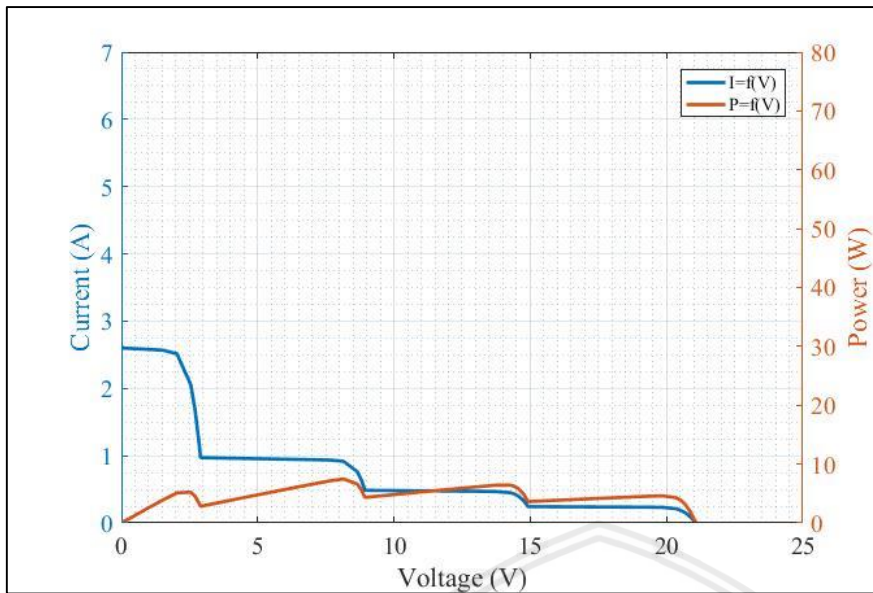


Gambar 4.8 Kurva karakteristik I-V dan P-V yang dihasilkan panel surya dengan gangguan *shading* sebesar 50%

Sumber : (Penulis, 2019)

Gambar 4.8 menunjukkan panel surya yang mendapatkan gangguan *shading* sebesar 50%, sehingga menghasilkan arus yang berbeda pada setiap selnya dan menyebabkan timbulnya 4 *peak* pada kurva P-V.

Kurva karakteristik I-V dan P-V yang dihasilkan panel surya dengan gangguan *shading* sebesar 75% ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Kurva karakteristik I-V dan P-V yang dihasilkan panel surya dengan gangguan *shading* sebesar 75%

Sumber : (Penulis, 2019)

Gambar 4.9 menunjukkan panel surya yang mendapatkan gangguan *shading* sebesar 75%, sehingga menghasilkan arus yang berbeda pada setiap selnya dan menyebabkan timbulnya 4 *peak* pada kurva P-V.

Dari kurva karakteristik, didapat P_{MPP} dari setiap kasus *shading* yang ditunjukkan pada Tabel 4.2. Algoritma pada MPPT akan melacak P_{MPP} pada setiap kasus *shading*.

Tabel 4.2

Simulasi Karakteristik Panel Surya

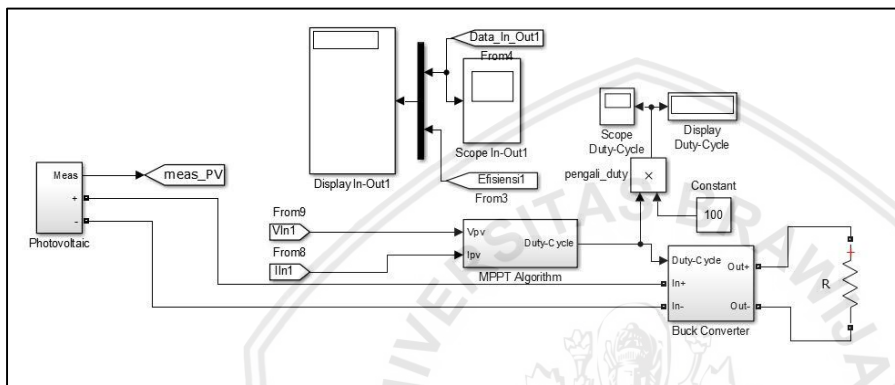
Shading (%)	P_{MPP} (W)
0	72,4617
25	40,9184
50	23,0349
75	7,4720

Sumber : (Penulis, 2019)

Dari Tabel 4.2 menunjukkan hasil simulasi karakteristik panel surya ketika perubahan *shading* menyebabkan perubahan daya maksimum (P_{MPP}). Pada kondisi tanpa gangguan *shading*, diperoleh daya maksimum (P_{MPP}) sebesar 72,4617W, sedangkan pada kondisi gangguan 25%, 50%, dan 75% secara berurutan diperoleh P_{MPP} sebesar 40,9184W, 23,0349W, dan 7,472W. Semakin besar gangguan *shading* yang diberikan, maka semakin kecil daya yang dihasilkan.

4.2.2 Simulasi MPPT

Simulasi MPPT bertujuan untuk mengetahui hasil kinerja dari sistem MPPT dengan algoritma *incremental conductance*. Simulasi dilakukan pada kondisi panel surya tanpa gangguan *shading* dan saat kondisi diberi gangguan *shading* sebesar 25%, 50%, dan 75% dengan menggunakan beban sebesar 4Ω . Percobaan dengan pengambilan nilai daya panel surya, duty-cycle, dan waktu *tracking*, kemudian dihitung efisiensi dari sistem MPPT yang digunakan. Dari data yang dihasilkan digunakan sebagai acuan untuk pengujian alat. Pengujian MPPT menggunakan MATLAB SIMULINK ditampilkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Rangkaian sistem MPPT menggunakan MATLAB SIMULINK

Sumber: (Penulis, 2019)

Berikut adalah alat dan bahan yang digunakan dalam simulasi *Maximum Power Point Tracking*, antara lain:

1. Laptop atau PC
2. Software MATLAB

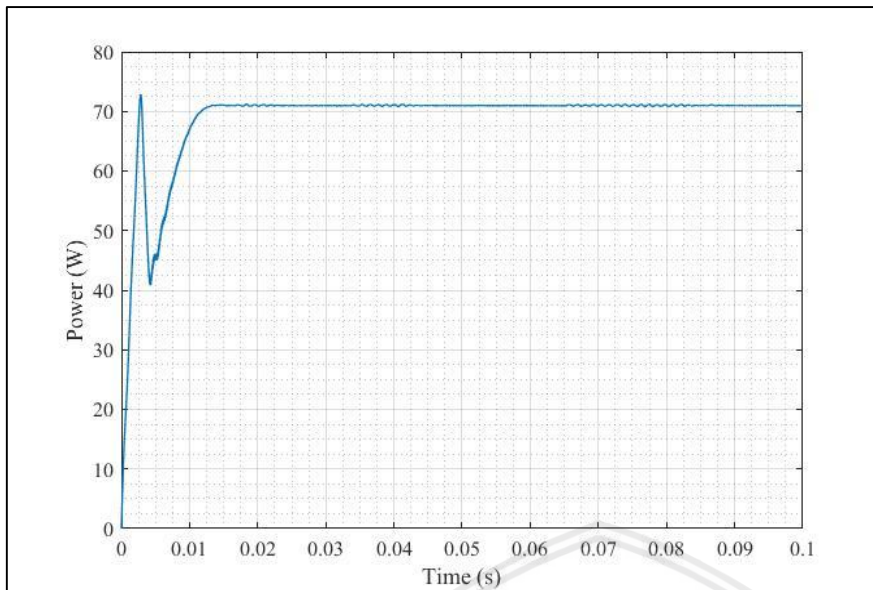
4.2.2.1 Prosedur Simulasi MPPT

Prosedur pengujian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Merancang model simulasi seperti Gambar 4.10
2. Menetapkan nilai gangguan *shading* panel surya 0%
3. Menjalankan simulasi dengan tombol *run*, tunggu hingga proses *run* selesai
4. Mencatat hasil simulasi
5. Membuat grafik dari hasil simulasi
6. Mengulangi langkah 1-5 dengan mengganti gangguan *shading* 25%, 50%, dan 75%.

4.2.2.2 Hasil Pengujian MPPT

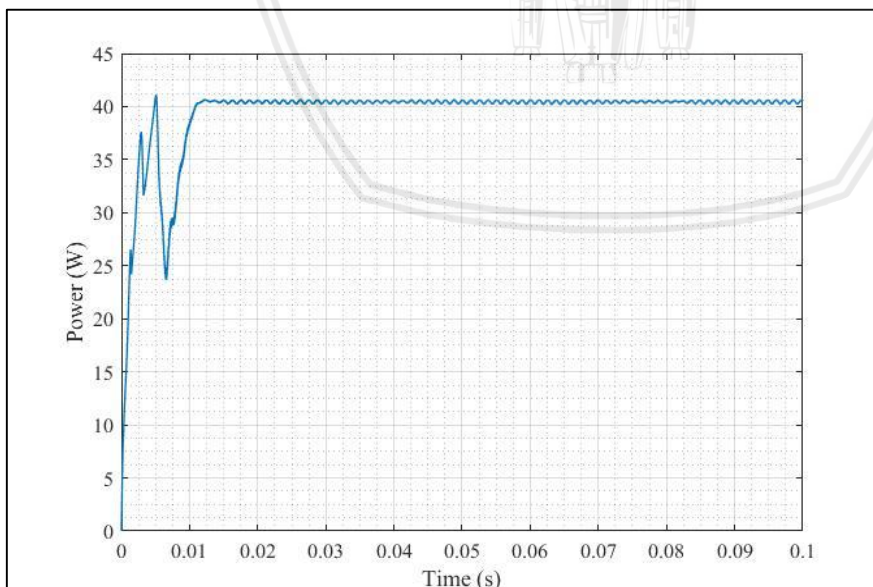
Hasil simulasi MPPT pada panel surya tanpa gangguan ditunjukkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Grafik daya yang dihasilkan MPPT tanpa gangguan *shading*
 Sumber : (Penulis, 2019)

Gambar 4.11 terlihat bahwa pelacakan dari algoritma *incremental conductance* menghasilkan daya panel surya sebesar 71,002W dengan *duty cycle* sebesar 91,05%. Efisiensi algoritma *incremental conductance* sebesar 97,986% dengan waktu *tracking* 0,015 detik.

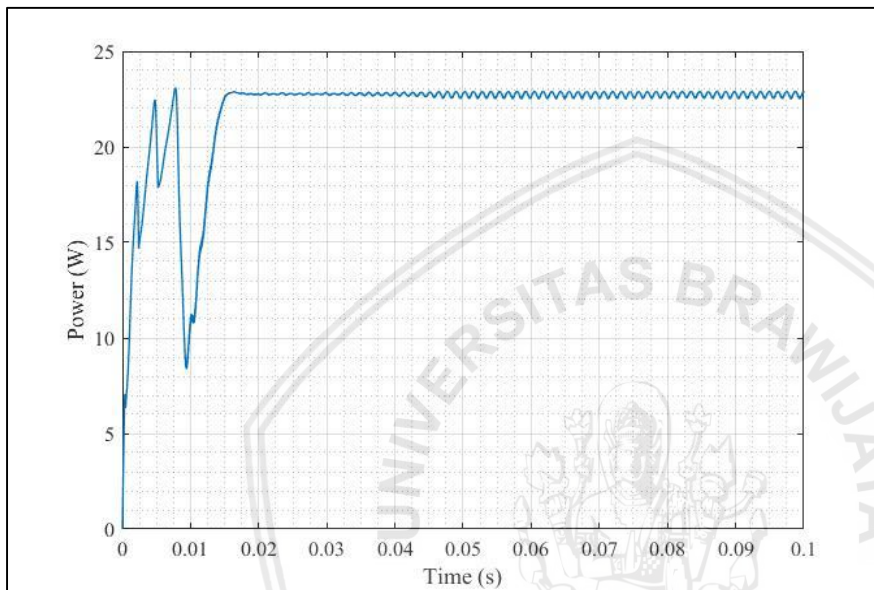
Hasil simulasi MPPT pada panel surya dengan gangguan *shading* sebesar 25% ditunjukkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Grafik daya yang dihasilkan MPPT dengan gangguan *shading* sebesar 25%
 Sumber : (Penulis, 2019)

Gambar 4.12 terlihat bahwa pelacakan dari algoritma *incremental conductance* menghasilkan daya panel surya sebesar 40,431W dengan *duty cycle* sebesar 64,644%. Efisiensi algoritma *incremental conductance* sebesar 98,809% dengan waktu *tracking* 0,0152 detik.

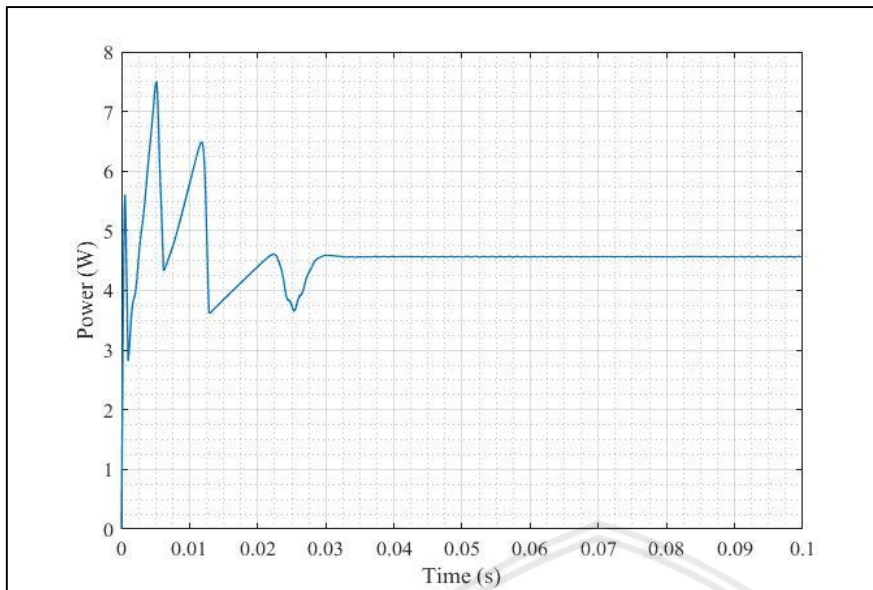
Hasil simulasi MPPT pada panel surya dengan gangguan *shading* sebesar 50% ditunjukkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Grafik daya yang dihasilkan MPPT dengan gangguan *shading* sebesar 50%
Sumber : (Penulis, 2019)

Gambar 4.13 terlihat bahwa pelacakan dari algoritma *incremental conductance* menghasilkan daya panel surya sebesar 22,7835W dengan *duty cycle* sebesar 48,272%. Efisiensi algoritma *incremental conductance* sebesar 98,909% dengan waktu *tracking* 0,0158 detik.

Hasil simulasi MPPT pada panel surya dengan gangguan *shading* sebesar 75% ditunjukkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Grafik daya yang dihasilkan MPPT dengan gangguan *shading* sebesar 75%
Sumber : (Penulis, 2019)

Gambar 4.10 terlihat bahwa pelacakan dari algoritma *incremental conductance* gagal melacak P_{MPP} dan hanya menghasilkan daya panel surya sebesar 4,5875W dengan *duty cycle* sebesar 22,276%. Efisiensi algoritma *incremental conductance* sebesar 61,396% dengan waktu *tracking* 0,03 detik.

Data hasil simulasi MPPT dengan algoritma *incremental conductance* ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3

Hasil Simulasi MPPT dengan Algoritma *InC* pada Kondisi *Shading* yang Berbeda

<i>Shading</i> (%)	Daya (W)	<i>Duty Cycle</i> (%)	Waktu <i>Tracking</i> (s)	Efisiensi MPPT (%)
0	71,104	91,043	0,015	98,1264
25	40,554	64,644	0,0153	99,1105
50	22,762	48,272	0,018	98,8134
75	4,537	22,276	0,03	60,7255
Rata-rata			0,0196	89,1939

Sumber : (Penulis, 2019))

Dari Tabel 4.3 dapat diketahui hasil simulasi MPPT memperoleh efisiensi yang cukup baik ketika panel surya dengan tanpa gangguan dan gangguan *shading* sebesar 25% dan 50%. Pada gangguan *shading* sebesar 75% , MPPT gagal melacak daya maksimum (P_{MPP}). Nilai efisiensi tertinggi tercapai pada gangguan *shading* sebesar 50% yaitu 99,1105%.

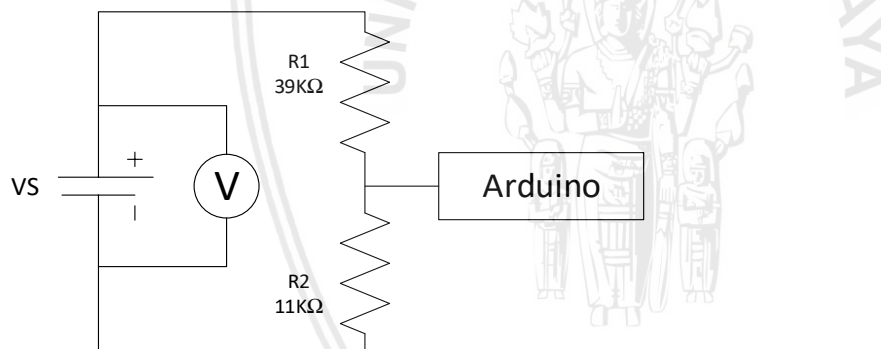
Semakin kecil gangguan *shading* yang diberikan, maka waktu *tracking* semakin cepat. Nilai waktu *tracking* tercepat tercapai pada gangguan *shading* sebesar 0% yaitu 0,015s. Semakin besar gangguan *shading* pada panel surya, maka *duty cycle* akan semakin kecil.

4.2 Pengujian Alat

Pengujian alat bertujuan untuk mengetahui apakah alat yang telah dibuat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan dan simulasi yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan secara bertahap pada masing-masing perangkat keras kemudian dilakukan pengujian sistem MPPT dengan panel surya.

4.2.1 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. Tegangan masukan diukur dengan voltmeter kemudian dibandingkan dengan hasil pembacaan nilai tegangan dari Arduino. Rangkaian pengujian rangkaian pembagi tegangan seperti pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Rangkaian pengujian pembagi tegangan
Sumber: (Penulis, 2019)

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

1. Mikrokontroler Arduino Nano.
2. Resistor 11kΩ.(R1) & 39kΩ (R2)
3. Regulated DC Power Supply
4. Multimeter Sanwa CD731a

4.2.1.1 Prosedur Pengujian Rangkaian Pembagi Tegangan

Prosedur pengujian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Menghubungkan Arduino ke PC melalui USB

2. *Regulated DC Power Supply* dihubungkan ke rangkaian pembagi tegangan secara seri
3. Menghubungkan keluaran pembagi tegangan ke pin Arduino
4. Sumber tegangan diatur secara bertahap dengan melihat voltmeter hingga keluaran rangkaian pembagi tegangan bernilai dari 0-22,5V
5. Catat hasil pembacaan dari Arduino kemudian dibandingkan dengan nilai sumber tegangan dari *Regulated DC Power Supply*

4.2.1.2 Hasil Pengujian Rangkaian pembagi tegangan

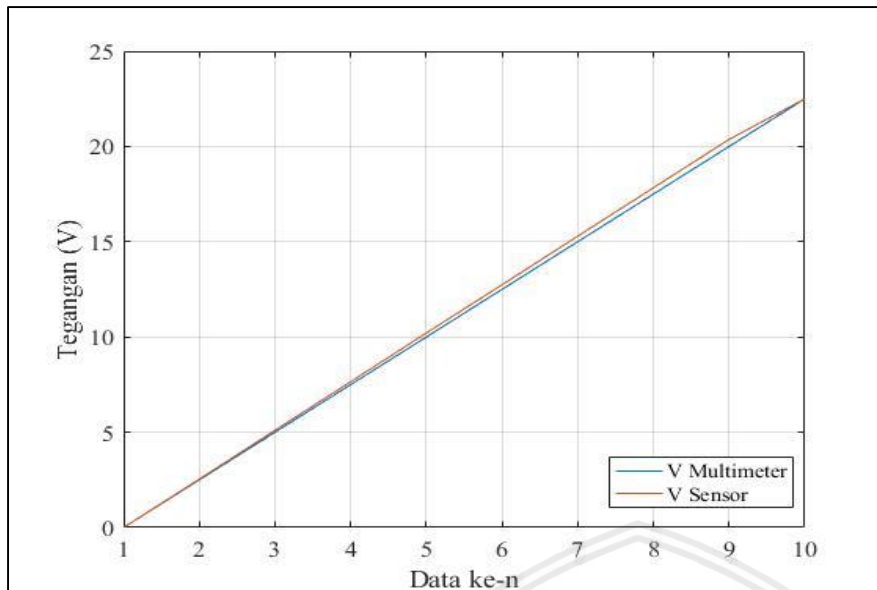
Pengujian dilakukan dengan tegangan masukan diukur dengan voltmeter. Kemudian nilai yang terukur dibandingkan dengan hasil pembacaan tegangan keluaran pembagi tegangan oleh Arduino. Hasil pengujian pembacaan rangkaian pembagi tegangan ditunjukkan pada Tabel 4.4 dan grafik hasil pengujian rangkaian pembagi tegangan ditunjukkan pada Gambar 4.16.

Tabel 4.4

Hasil Pengujian Rangkaian Pembagi Tegangan

No	Pembacaan Voltmeter (V)	Pembacaan sensor (V)	Error (%)
1	0,0	0,00	0,00
2	2,5	2,54	1,60
3	5,0	5,1	2,00
4	7,5	7,65	2,00
5	10,0	10,21	2,10
6	12,5	12,74	1,92
7	15,0	15,29	1,93
8	17,5	17,83	1,89
9	20,0	20,37	1,85
10	22,5	22,50	0,00
Rata-rata			1,53

Sumber : (Penulis, 2019)

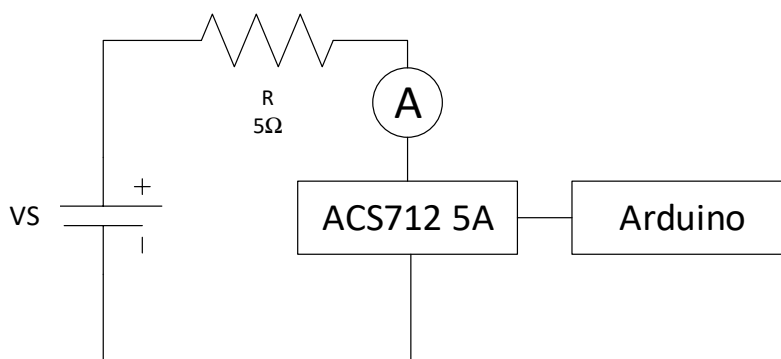


Gambar 4.16 Grafik hasil pengujian pembagi tegangan
Sumber: (Penulis, 2019)

Pengujian rangkaian pembagi tegangan dilakukan sebanyak 10 kali pengujian. Berdasarkan data pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.16 didapatkan *error* rata-rata pembacaan sensor tegangan sebesar 1,53%. Hal ini disebabkan karena nilai dari rangkaian pembagi tegangan yang mempunyai toleransi dan pembulatan nilai konversi nilai analog ke digital pada saat perhitungan rangkaian.

4.2.2 Pengujian Sensor Arus

Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan pembacaan sensor arus ACS712 5A yang akan digunakan. Pengujian sensor arus ini dilakukan dengan cara mengukur arus keluaran dari *Regulated DC Power Supply* dengan menggunakan amperemeter dan membandingkannya dengan pembacaan sensor arus ACS712 5A dengan menggunakan beban 5Ω . Rangkaian pengujian sensor arus seperti pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Rangkaian pengujian sensor arus
Sumber : (Penulis, 2019)

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

1. Mikrokontroler Arduino Nano
2. Sensor arus ACS712-5A
3. *Regulated DC Power Supply*
4. Multimeter Sanwa CD731a
5. Resistor 5 Ω .

4.2.2.1 Prosedur Pengujian Sensor Arus

Pengujian dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu:

1. Menghubungkan Arduino ke PC melalui USB
2. Menghubungkan *Regulated DC power supply* ke sensor arus kemudian ke resistor beban secara seri
3. Menghubungkan keluaran sensor arus ke pin Arduino
4. Mengatur arus yang diberikan *Regulated DC power supply* dari 0.1-4,5A secara bertahap dengan mengatur tegangan masukan
5. Membandingkan arus yang terbaca Arduino dengan nilai arus yang *Regulated DC Power Supply*.

4.2.2.2 Hasil Pengujian Sensor Arus

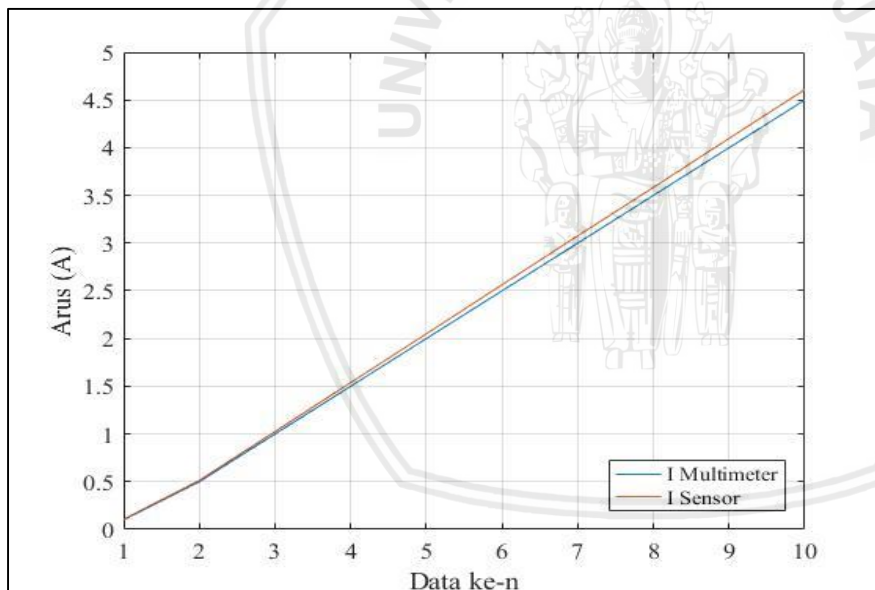
Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai arus dari amperemeter dengan nilai arus yang ditampilkan Arduino Nano yang kemudian akan didapatkan *error* dari nilai selisih pembacaan arus dari amperemeter dan nilai arus Arduino Nano. Hasil Pengujian Sensor Arus ditunjukkan pada Tabel 4.5 dan grafik hasil pengujian sensor arus ditunjukkan pada Gambar 4.18.

Tabel 4.5

Hasil Pengujian Sensor Arus

No	Pembacaan Amperemeter (A)	Pembacaan Sensor (A)	Error (%)
1	0,1	0,107	7,00
2	0,5	0,513	2,60
3	1,0	1,025	2,50
4	1,5	1,538	2,53
5	2,0	2,049	2,45
6	2,5	2,564	2,56
7	3,0	3,076	2,53
8	3,5	3,584	2,40
9	4,0	4,098	2,45
10	4,5	4,609	2,42
Rata-rata			2,8

Sumber : (Penulis, 2019)



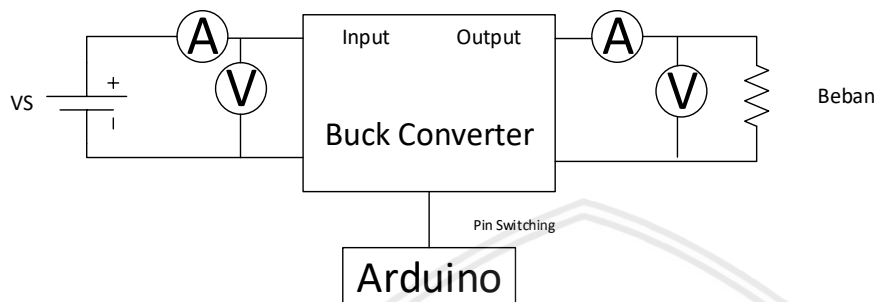
Gambar 4.18 Grafik hasil pengujian sensor arus

Sumber : (Penulis, 2019)

Pengujian sensor arus ACS712 5A dilakukan sebanyak 10 kali pengujian. Berdasarkan data pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.14 didapatkan *error* rata-rata pembacaan sensor arus sebesar 2.80%. Hal ini disebabkan karena perhitungan pembulatan nilai konstanta pada Arduino Nano yang tidak tepat dan pembacaan sensor arus ACS712 dipengaruhi oleh medan magnet disekitar sensor.

4.2.3 Pengujian *Buck converter*

Tujuan pengujian *buck converter* adalah untuk mengetahui efisiensi *buck converter* antara daya keluaran dengan daya masukan. Pengujian *buck converter* dilakukan dengan memberikan tegangan masukan yang tetap dan variasi *duty cycle*. Tegangan dan arus yang terbaca pada multimeter untuk menghitung efisiensi dari *buck converter*. Rangkaian pengujian *buck converter* seperti pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Rangkaian pengujian *buck converter*
Sumber : (Penulis, 2019)

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

1. Mikrokontroler Arduino Nano
2. Dua Multimeter EWIG DT-830B
3. Dua Multimeter Sanwa CD731a
4. *Buck converter*
5. *Regulated DC Power Supply*
6. Resistor 4 Ω .

4.2.3.1 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. *Regulated DC Power Supply* dihubungkan ke masukan rangkaian pembagi tegangan dan sensor arus. Kemudian dihubungkan ke masukan *buck converter* yang diberi beban
4. Nilai *duty cycle* diubah bertahap dari jangkauan 10% sampai 90%
5. Mencatat hasil tegangan dan arus yang terbaca pada multimeter kemudian menghitung daya masukan dan keluaran.

4.2.3.2 Hasil Pengujian *Buck converter*

Pengujian dilakukan dengan tegangan masukan (V_{in}) dibuat tetap dan *duty cycle* (D) diberi nilai yang bervariasi. Tegangan dan arus yang terbaca pada multimeter untuk

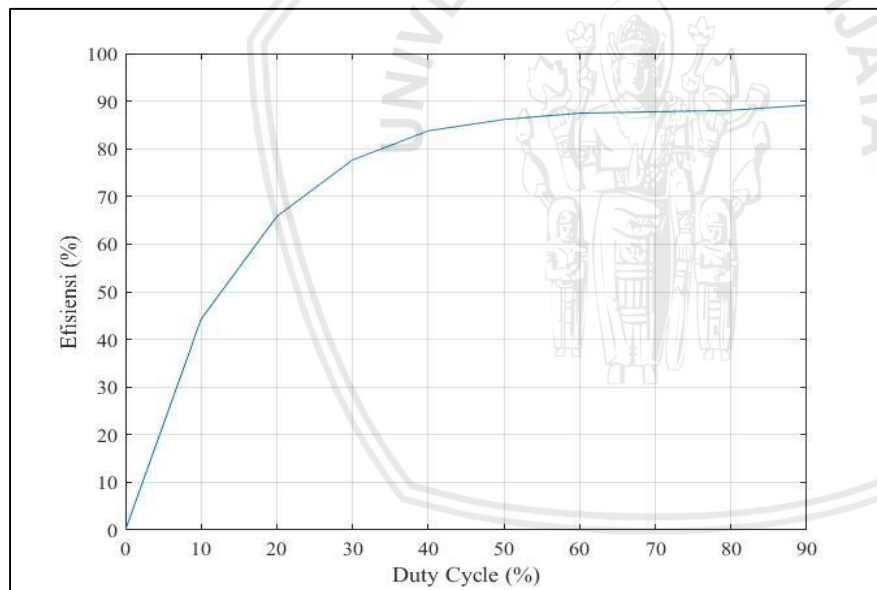
menghitung efisiensi. Hasil Pengujian *buck converter* ditunjukkan pada Tabel 4.6 dan Gambar grafik hasil pengujian *buck converter* ditunjukkan pada Gambar 4.16.

Tabel 4.6

Hasil Pengujian *Buck converter*

No.	D (%)	V_{In} (V)	I_{In} (A)	P_{In} (W)	V_{Out} (V)	I_{Out} (A)	P_{Out} (W)	Efisiensi (%)
1	10	20,0	0,048	0,960	1,307	0,325	0,425	44,25
2	20	20,0	0,194	3,880	3,378	0,756	2,554	65,82
3	30	20,0	0,443	8,860	5,452	1,262	6,880	77,66
4	40	20,0	0,760	15,200	7,478	1,703	12,735	83,78
5	50	20,0	1,224	24,480	9,509	2,218	21,091	86,16
6	60	20,0	1,794	35,880	11,556	2,716	31,386	87,48
7	70	20,0	2,441	48,820	13,563	3,159	42,846	87,76
8	80	20,0	3,193	63,860	15,578	3,611	56,252	88,09
9	90	20,0	4,033	80,664	17,588	4,089	71,917	89,16

Sumber : (Penulis, 2019)



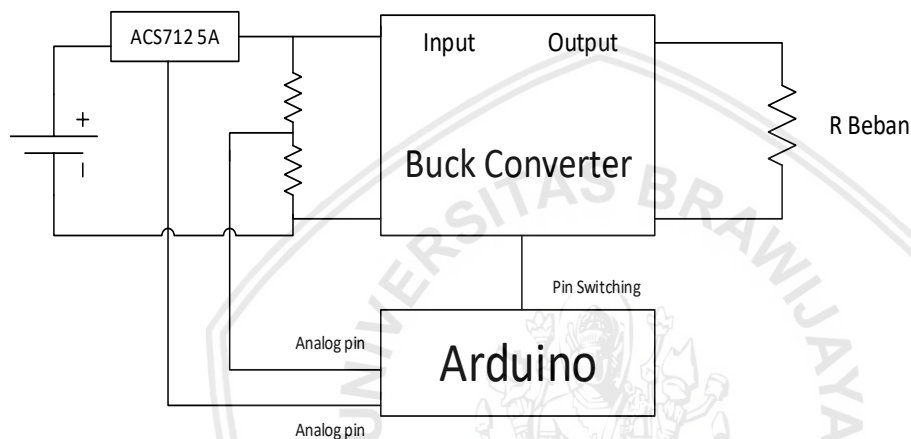
Gambar 4.20 Grafik hasil pengujian *buck converter*

Sumber : (Penulis, 2019)

Gambar 4.20 menunjukkan grafik hasil pengujian *buck converter* ketika perubahan *duty cycle* menyebabkan perubahan tegangan keluaran, semakin besar nilai *duty cycle* akan semakin besar nilai tegangan keluaran. Nilai efisiensi tertinggi tercapai pada *duty cycle* 90% yaitu sebesar 89,16%. Nilai efisiensi yang tidak mencapai 100% disebabkan karena adanya daya yang terbuang dalam komponen *buck converter*.

4.2.4 Pengujian MPPT

Pengujian sistem MPPT dilakukan untuk mengetahui hasil kinerja dari MPPT dengan algoritma *incremental conductance*. Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan keluaran panel surya ke sistem MPPT yang terhubung beban. Percobaan dengan pengambilan nilai daya panel surya dan waktu *tracking*, kemudian dihitung efisiensi dari sistem MPPT yang digunakan. Beban yang digunakan berupa resistor yang mempunyai nilai 4Ω . Pada pengujian ini dilakukan 10 kali percobaan dengan 4 macam skenario dengan *shading* berbeda-beda. Proses pengambilan data dilakukan selama 1 menit. Rangkaian pengujian sistem MPPT seperti pada Gambar 4.21.



Gambar 4.21 Rangkaian pengujian sistem keseluruhan
Sumber : (Penulis, 2019)

Berikut adalah alat yang digunakan dalam pengujian sistem keseluruhan, antara lain:

1. Panel surya
2. Rangkaian pembagi tegangan
3. Sensor arus ACS712 5A
4. *Buck converter*
5. Mikrokontroler Arduino Nano
6. Resistor 4Ω .

4.2.4.1 Prosedur Pengujian Algoritma MPPT

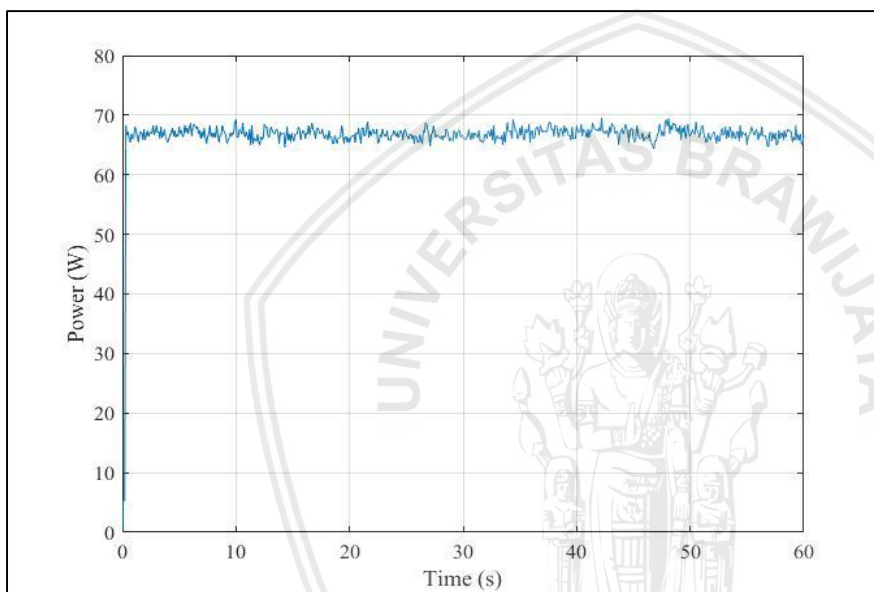
Pengujian dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu:

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. Menghubungkan keluaran panel surya ke masukan sensor arus, untuk mengukur arus masukan *buck converter*
5. Menghubungkan keluaran *buck converter* ke beban resistor 4Ω secara paralel
6. Mencatat nilai yang terbaca pada *serial* Arduino
7. Mengulangi langkah 1 sampai 6 dengan memberikan gangguan berupa *shading* sebesar 25%, 50%, dan 75% pada panel surya

4.2.4.2 Hasil Pengujian Sistem MPPT

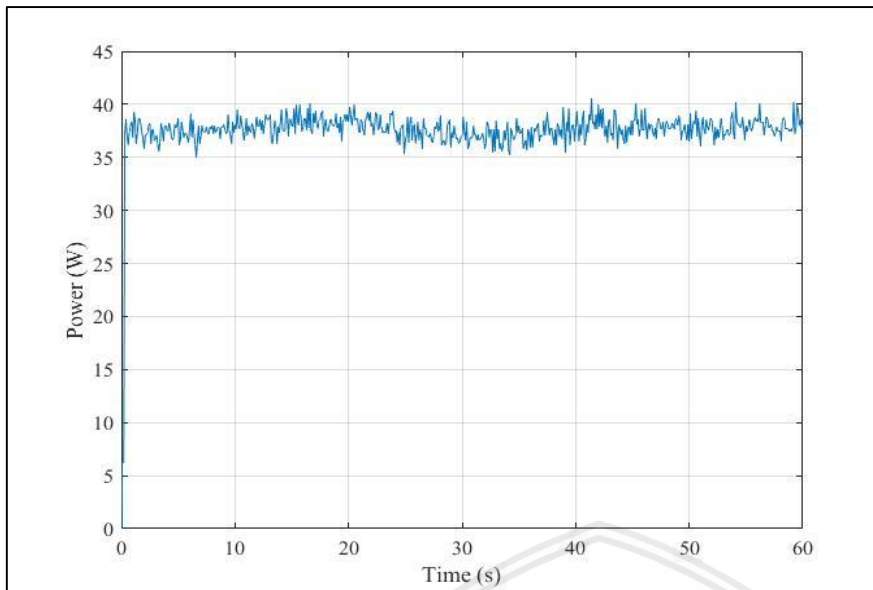
Hasil pengujian MPPT dengan efisiensi terbaik tanpa gangguan *shading* ditunjukkan pada Gambar 4.22.



Gambar 4.22 Grafik daya yang dihasilkan MPPT tanpa gangguan *shading*
Sumber : (Penulis, 2019)

Gambar 4.22 terlihat bahwa pelacakan dari algoritma *incremental conductance* menghasilkan rata-rata daya panel surya sebesar 66,858W. Efisiensi algoritma *incremental conductance* sebesar 92,266% dengan waktu *tracking* 0,3 detik.

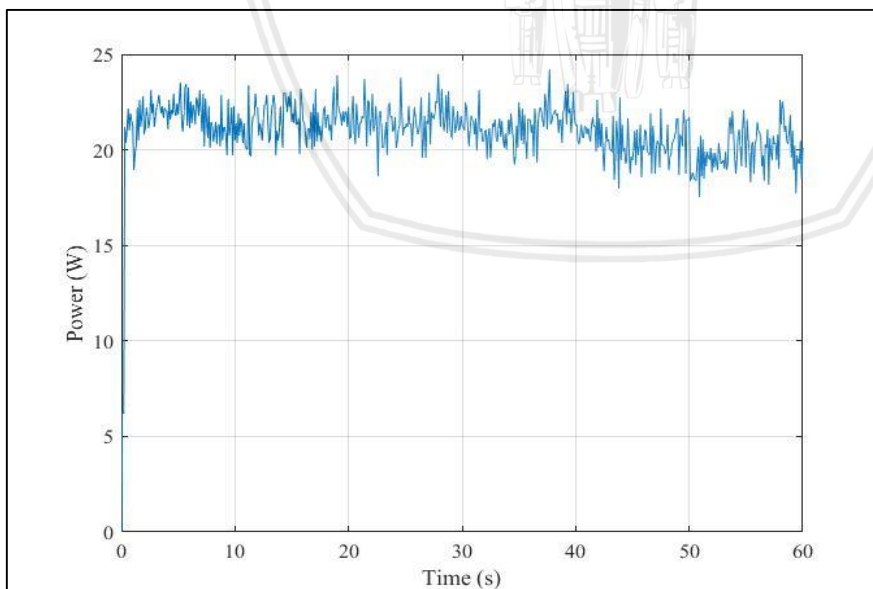
Hasil pengujian MPPT dengan efisiensi terbaik pada gangguan *shading* sebesar 25% ditunjukkan pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23 Grafik daya yang dihasilkan MPPT dengan gangguan *shading* sebesar 25%
Sumber : (Penulis, 2019)

Gambar 4.23 terlihat bahwa pelacakan dari algoritma *incremental conductance* menghasilkan rata-rata daya panel surya sebesar 37,711W. Efisiensi algoritma *incremental conductance* sebesar 92,162% dengan waktu *tracking* 0,3 detik.

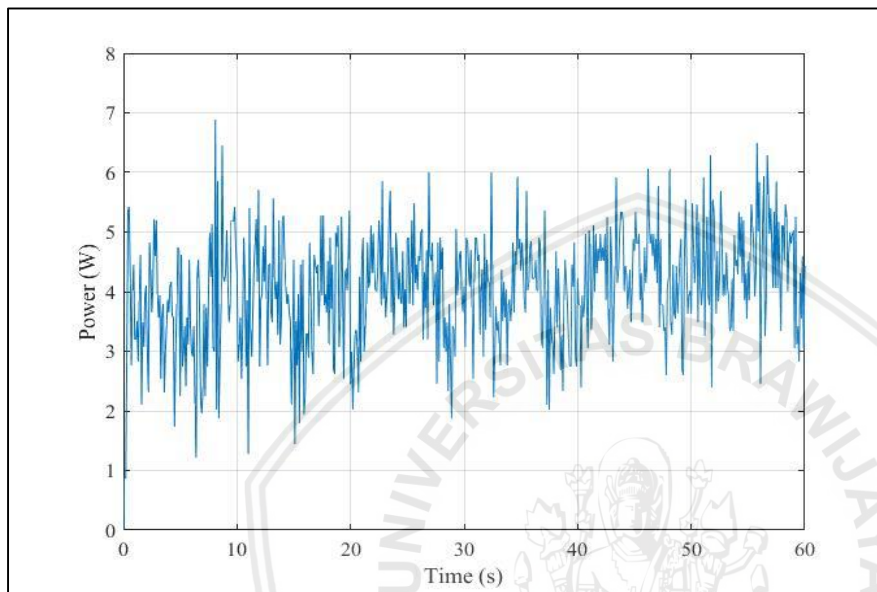
Hasil pengujian MPPT dengan efisiensi terbaik pada gangguan *shading* sebesar 50% ditunjukkan pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24 Grafik daya yang dihasilkan MPPT dengan gangguan *shading* sebesar 50%
Sumber : (Penulis, 2019)

Gambar 4.24 terlihat bahwa pelacakan dari algoritma *incremental conductance* menghasilkan rata-rata daya panel surya sebesar 21,060W. Efisiensi algoritma *incremental conductance* sebesar 91,428% dengan waktu *tracking* 0,3 detik.

Hasil pengujian MPPT dengan efisiensi terbaik pada gangguan *shading* sebesar 75% ditunjukkan pada Gambar 4.25.



Gambar 4.25 Grafik daya yang dihasilkan MPPT dengan gangguan *shading* sebesar 75%
Sumber : (Penulis, 2019)

Gambar 4.25 terlihat bahwa pelacakan dari algoritma *incremental conductance* menghasilkan rata-rata daya panel surya sebesar 4,062W. Efisiensi algoritma *incremental conductance* sebesar 54,367% dengan waktu *tracking* 0,3 detik.

Data hasil pengujian MPPT dengan algoritma *incremental conductance* ditunjukkan pada Tabel 4.7

Tabel 4.7

Hasil Pengujian MPPT dengan Algoritma InC pada Kondisi *Shading* yang Berbeda

Percobaan	0% <i>Shading</i>		25% <i>Shading</i>		50% <i>Shading</i>		75% <i>Shading</i>	
	Daya (W)	Efisiensi MPPT (%)	Daya (W)	Efisiensi MPPT (%)	Daya (W)	Efisiensi MPPT (%)	Daya (W)	Efisiensi MPPT (%)
1	66,569	91,868	37,611	91,916	20,066	87,113	4,015	53,729
2	66,233	91,404	36,884	90,141	20,153	87,489	4,008	53,642
3	66,006	91,090	37,342	91,259	20,668	89,724	3,726	49,868
4	66,752	92,121	37,084	90,628	20,135	87,413	3,557	47,600
5	66,858	92,266	37,061	90,573	19,922	86,485	4,048	54,170
6	66,067	91,175	37,263	91,066	20,890	90,689	4,062	54,367
7	66,380	91,608	37,516	91,685	20,342	88,310	3,957	52,961
8	66,624	91,944	37,711	92,162	19,715	85,588	3,740	50,060
9	66,169	91,315	37,596	91,881	20,707	89,894	3,991	53,411
10	66,414	91,654	37,316	91,197	21,060	91,428	3,663	49,028
Terbaik	66,858	92,266	37,711	92,162	21,060	91,428	4,062	54,367
Terburuk	66,006	91,090	36,884	90,141	19,715	85,588	3,557	47,600
Rata-rata	66,407	91,644	37,338	91,251	20,366	88,413	3,877	51,884
Waktu Tracking (s)	0,3 s		0,3 s		0,3 s		0,3 s	
Rata-rata Efisiensi (%)	80,7980							

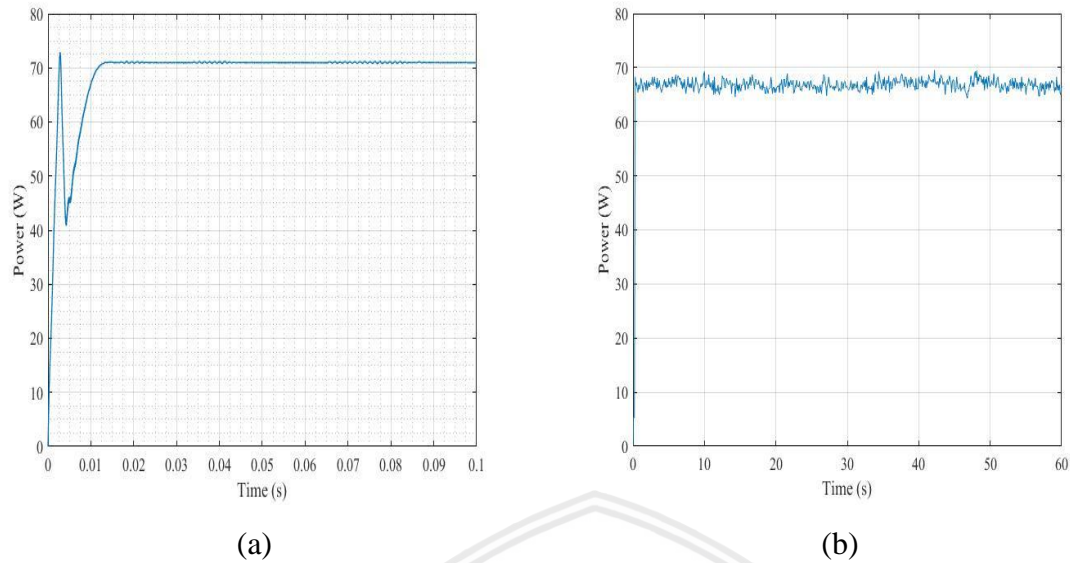
Sumber : (Penulis, 2019)

Pengujian *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dengan algoritma *incremental conductance* pada alat sebenarnya dilakukan dalam beberapa kondisi. Dari data yang ditunjukkan pada Tabel 4.7 diketahui bahwa semakin besar gangguan *shading* pada panel surya, maka daya dan *duty cycle* akan semakin kecil, begitu juga sebaliknya. Dari pengujian diperoleh efisiensi algoritma rata-rata sebesar 80,7980%. Selain itu, diketahui pula bahwa waktu *tracking* yang dibutuhkan untuk mencapai titik steady dari setiap kondisi rata-rata yaitu 0,3s. Dari data yang diperoleh dari pengujian terdapat *ripple*, disebabkan oleh penambahan atau pengurangan dari nilai ΔD . Hal ini juga dipengaruhi oleh kualitas dari komponen yang digunakan.

4.3 Perbandingan Hasil MPPT Simulasi dengan Pengujian Alat

Setelah dilakukan percobaan simulasi dan pengujian alat, maka diambil nilai rata-rata daya, waktu *tracking*, dan efisiensi MPPT. Nilai-nilai tersebut untuk mengetahui perbandingan MPPT dengan algoritma *incremental conductance* secara simulasi dengan alat sebenarnya. Perbandingan ini dilakukan pada kondisi panel surya tanpa gangguan *shading* dan saat kondisi diberi gangguan *shading* sebesar 25%, 50%, dan 75%. Perbandingan MPPT antara simulasi dan pengujian alat ditunjukkan pada Gambar 4.22 sampai Gambar 4.25.

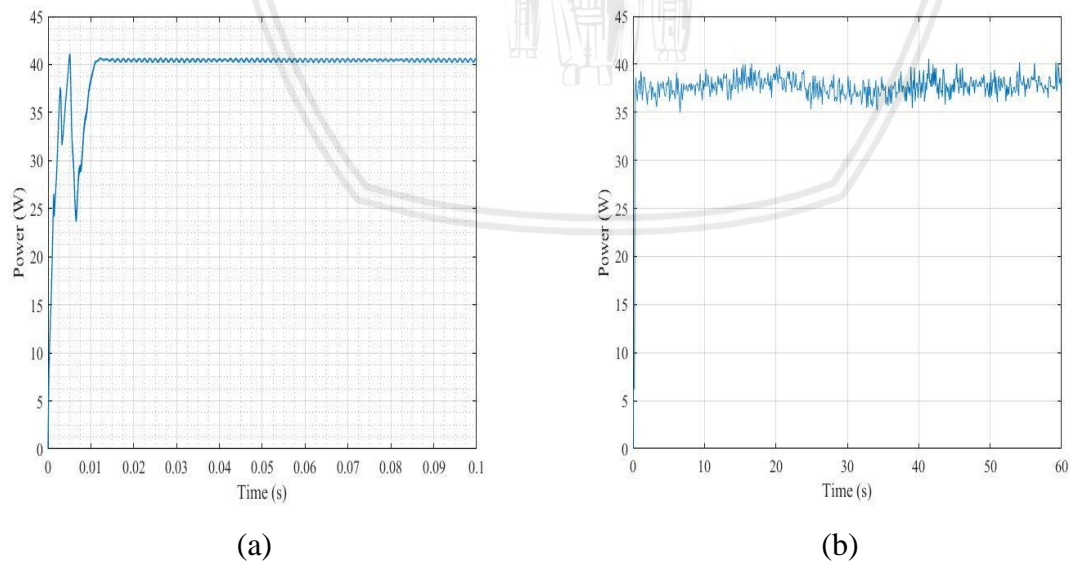
Perbandingan hasil MPPT simulasi dengan alat tanpa gangguan *shading* ditunjukkan pada Gambar 4.26.



Gambar 4.26 Simulasi MPPT (a) dan Pengujian MPPT (b) tanpa gangguan
 Sumber: (Penulis, 2019)

Berdasarkan Gambar 4.26, daya yang dihasilkan oleh simulasi lebih besar dibandingkan dengan pengujian alat yaitu dengan selisih daya sebesar 4,697W. Waktu *tracking* simulasi juga lebih cepat dibandingkan dengan pengujian alat yaitu dengan selisih waktu sebesar 0,285 detik.

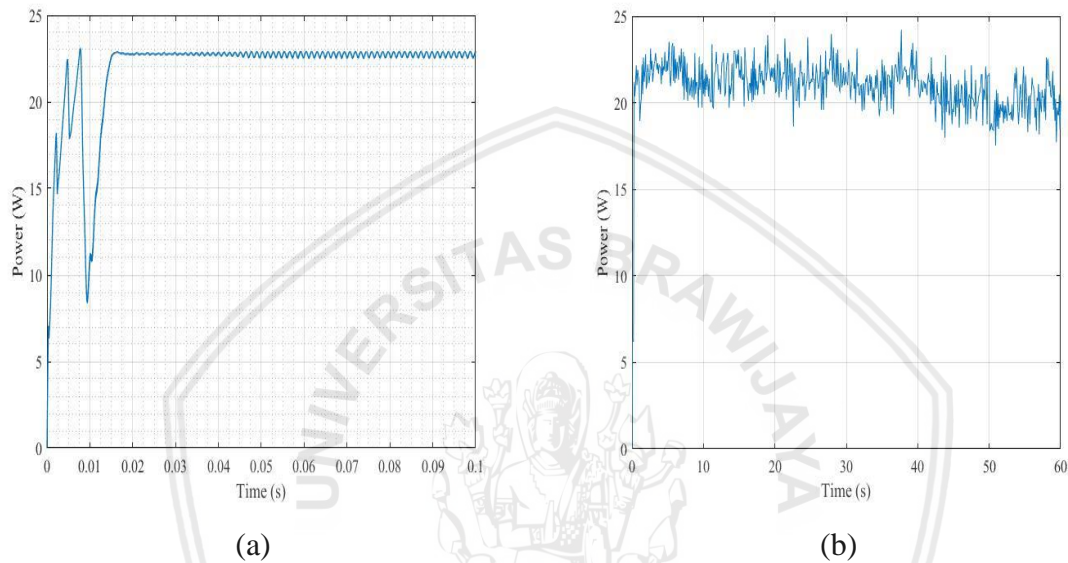
Perbandingan hasil MPPT simulasi dengan alat saat gangguan *shading* sebesar 25% ditunjukkan pada Gambar 4.27



Gambar 4.27 Simulasi MPPT (a) dan Pengujian MPPT (b) dengan gangguan *shading* sebesar 25%
 Sumber: (Penulis, 2019)

Berdasarkan Gambar 4.27, daya yang dihasilkan oleh simulasi lebih besar dibandingkan dengan pengujian alat yaitu dengan selisih daya sebesar 3,216W. Waktu *tracking* simulasi juga lebih cepat dibandingkan dengan pengujian alat yaitu dengan selisih waktu sebesar 0,2847 detik.

Perbandingan hasil MPPT simulasi dengan alat saat gangguan *shading* sebesar 50% ditunjukkan pada Gambar 4.28

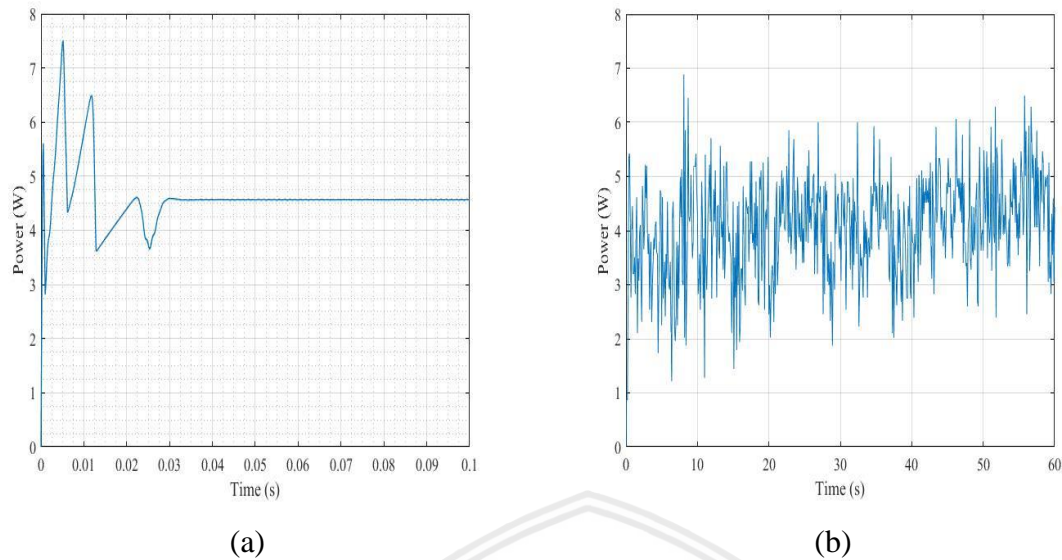


Gambar 4.28 Simulasi MPPT (a) dan Pengujian MPPT (b) dengan gangguan *shading* sebesar 50%

Sumber: (Penulis, 2019)

Berdasarkan Gambar 4.28, daya yang dihasilkan oleh simulasi lebih besar dibandingkan dengan pengujian alat yaitu dengan selisih daya sebesar 2,396W. Waktu *tracking* simulasi juga lebih cepat dibandingkan dengan pengujian alat yaitu dengan selisih waktu sebesar 0,282 detik.

Perbandingan hasil MPPT simulasi dengan alat saat gangguan *shading* sebesar 75% ditunjukkan pada Gambar 4.29



Gambar 4.29 Simulasi MPPT (a) dan Pengujian MPPT (b) dengan gangguan *shading* sebesar 75%

Sumber: (Penulis, 2019)

Berdasarkan Gambar 4.29, daya yang dihasilkan oleh simulasi lebih besar dibandingkan dengan pengujian alat yaitu dengan selisih daya sebesar 0,66W. Waktu *tracking* simulasi juga lebih cepat dibandingkan dengan pengujian alat yaitu dengan selisih waktu sebesar 0,27 detik.

Data hasil perbandingan MPPT antara simulasi dan pengujian alat dengan algoritma *incremental conductance* ditunjukkan pada Tabel 4.8

Tabel 4.8

Perbandingan MPPT antara simulasi dan pengujian alat

Shading (%)	Simulasi			Alat			Error
	Daya (W)	Waktu Tracking (s)	Efisiensi MPPT (%)	Daya (W)	Waktu Tracking (s)	Efisiensi MPPT (%)	
0	71,104	0,015	98,1264	66,407	0,3	91,6444	6,4820
25	40,554	0,0153	99,1105	37,338	0,3	91,2508	7,8598
50	22,762	0,018	98,8134	20,366	0,3	88,4132	10,4002
75	4,537	0,03	60,7255	3,877	0,3	51,8837	8,8417
Rata-rata		0,0196	89,1939		0,3	80,7980	8,3959

Sumber: (Penulis, 2019)

Efisiensi rata-rata simulasi MPPT secara keseluruhan yaitu 89,1939% yang lebih baik dibandingkan dengan pengujian Alat dengan efisiensi rata-rata 80,798%. Waktu *tracking* rata-rata simulasi MPPT secara keseluruhan yaitu 0,0196s yang lebih cepat dibandingkan dengan pengujian alat dengan waktu *tracking* 0,3s. Dari seluruh pengujian diperoleh *error*

rata-rata antara simulasi dan alat sebenarnya sebesar 8,3959%. *Error* ini disebabkan karena terdapat *error* pada sensor dan kualitas komponen-komponen dari *buck converter*. Kondisi irradiasi saat pengujian alat juga berpengaruh karena setiap detiknya tidak selalu bernilai $900\text{W}/\text{m}^2$.





BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. MPPT dengan algoritma *incremental conductance* mampu diterapkan pada mikrokontroler Arduino Nano sebagai pengolah algoritma yang berfungsi mengatur *duty cycle* pada *switching buck converter*. Tegangan dan arus dari keluaran panel surya dibaca melalui rangkaian pembagi tegangan dan sensor arus sebagai masukan dari algoritma InC. *Buck converter* berfungsi untuk menyesuaikan tegangan dari panel surya sebelum menuju ke beban yang berupa resistor.
2. Pada pengujian sistem MPPT dengan algoritma *incremental conductance* pada setiap kondisi pengujian menunjukkan bahwa daya rata-rata pada simulasi lebih besar dibandingkan pada alat sebenarnya. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, diperoleh waktu *tracking* dan efisiensi algoritma rata-rata yaitu, 0,0196s dan 89,1939% pada simulasi dan 0,3s dan 80,798% pada pengujian alat. Selain itu, diperoleh *error* rata-rata sebesar 8,3959%. *Error* ini disebabkan karena terdapat *error* pada sensor dan kualitas komponen-komponen dari *buck converter*. Kondisi irradiasi saat pengujian alat juga berpengaruh karena setiap detiknya tidak selalu bernilai 900W/m².
3. Gangguan *shading* menyebabkan perubahan nilai daya dan *duty cycle* pada sistem MPPT dengan algoritma *Incremental Conductance*. Semakin besar gangguan *shading*, maka daya dan *duty cycle* akan semakin kecil atau berbanding terbalik

5.2 Saran

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

1. Menggunakan jenis algoritma lain seperti *fuzzy*, *Neural Network*, dan lain-lain
2. Memperhatikan parameter lain pada perancangan MPPT, meliputi suhu lingkungan, posisi panel surya dan lain-lain
3. Menggunakan jenis konverter selain *buck converter* atau topologi lain

4. Memberi saklar pada keluaran panel surya dan LCD untuk menampilkan hasil yang akan diamati



DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, Alamsyah. (2016). Desain MPPT Pada Solar Cell Kondisi Partial Shading Berbasis Perturb and Observe (P&O). *Jurnal Ilmiah d'Computare*, vol. 6.
- Allegro, (2010), *ACS712 datasheet*, <http://www.allegromicro.com/en/Products/Part-Numbers/0712/0712.pdf>. (diakses 20 Januari 2019).
- Anonim. Tanpa tahun. *Mengenal dan belajar Arduino Nano*. <http://ecadio.com/mengenal-dan-belajar-arduino-nano.html>. (diakses 20 Januari 2019).
- Ali., et al. (2016). Stateflow based Incremental Conductance MPPT of a Photovoltaic System using Z- Source DC- DC Converter. *Biennial International Confrence on Power and Energy System*.
- Ferlita, Olivia. (2018). Optimasi Maximum Power Point Tracking Pada Array Photovoltaic Menggunakan Algoritma Particle Swarm Optimization Dan Firefly Algorithm. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Hart, Daniel W. (2010). *Power Electronics*. New York. McGraw-Hill.
- Hegedus, S., & Luque, A. (2003). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. West Sussex: John Wiley & Sons.
- Liu, X., & Lopes, L. A. (2004). An Improved Perturbation and Observation Maximum Power Point Tracking Algorithm for PV Arrays. *35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference*.
- microcontrollerslab, (2015), *How to use isolated MOSFET driver TLP250*, <https://microcontrollerslab.com/isolated-mosfet-driver-tlp250/> (diakses 11 Juli 2019).
- Mohammed, S. Sheik. (2015). Simulation of Incremental Conductance MPPT based Two phase Interleaved Boost Converter using MATLAB Simulink. *IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT)*
- Morales, David Sanz. (2010). Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Applications. Otaniemi. *Thesis Faculty of Electronics, Communications and Automation Aalto Univerity*.
- Moring, S., & Pols, A. (2012). Maximum Power Point Tracking: Algorithms and Software Development. *Bachelor Thesis Faculty of EEMCS, Delf University of Technology*.
- Nugroho, Betantya. (2016). Perancangan Maximum Power Point Tracking Panel Surya Menggunakan Buck Boost Converter dengan Metode Incremental Conductance. *Jurnal Universitas Diponegoro* .

- Ramadhan, Muhammad Gilang (2018). Maximum Power Point Tracker (MPPT) sebagai Pemaksimalan Daya Solar Cell untuk Charging Baterai Eco Solar Boat. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Rokonuzzaman., & Haider, Hossam. E. (2016). Design and Implementation of Maximum Power Point Tracking Solar Charge Controller. *International Conference on Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT)*.
- Tsai, H.-L., Tu, C.-S., & Su, Y.-J. (2008). Development of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK. *World Congress on Engineering and Computer Science*.
- Yan, Z., Fei, L., Jinjun, Y., & Shanxu, D. (2008). Study on Realizing MPPT by Improved Incremental Conductance Method with Variable Step-size. *IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications* .



LAMPIRAN





LAMPIRAN 1

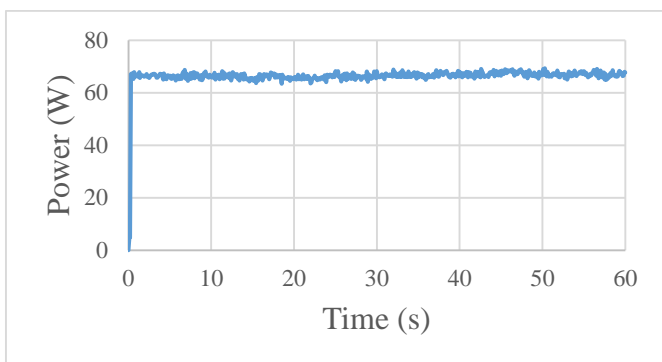
GRAFIK HASIL PENGUJIAN



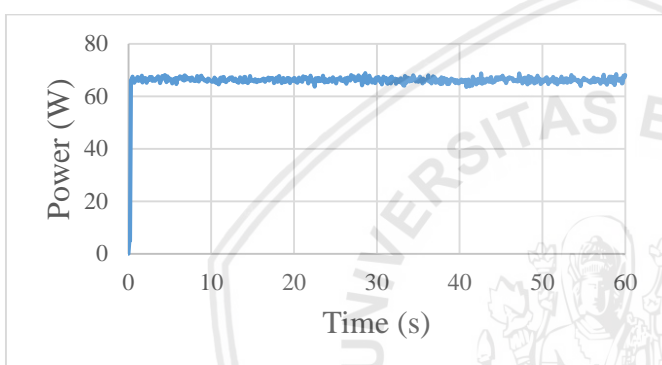


- Pengujian MPPT tanpa gangguan

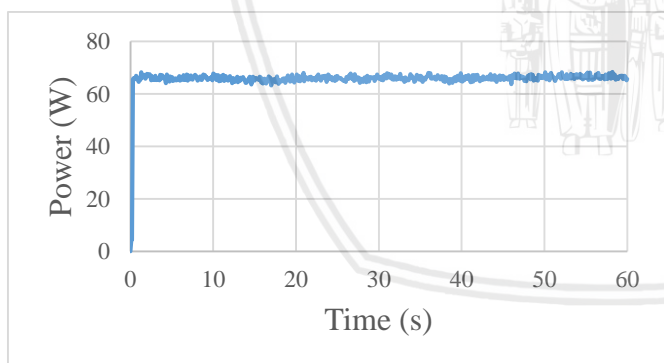
- Percobaan ke-1



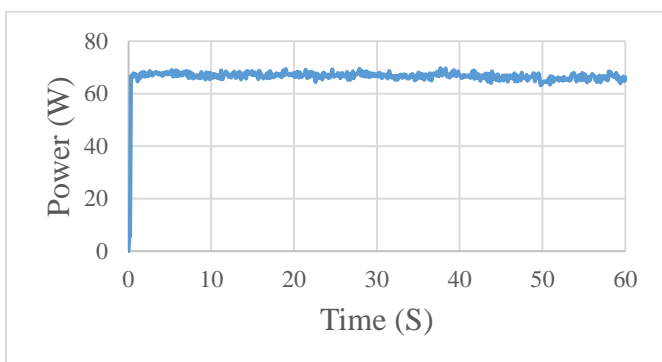
- Percobaan ke-2



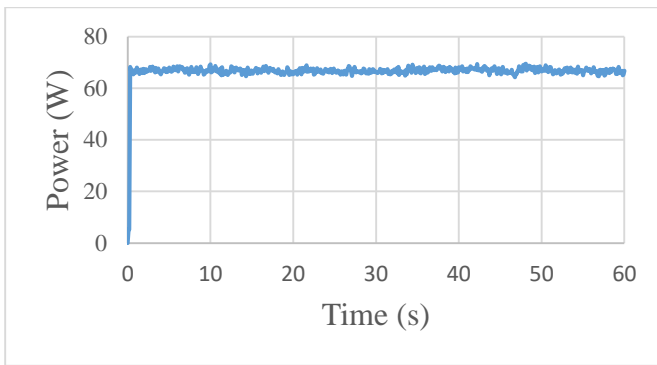
- Percobaan ke-3



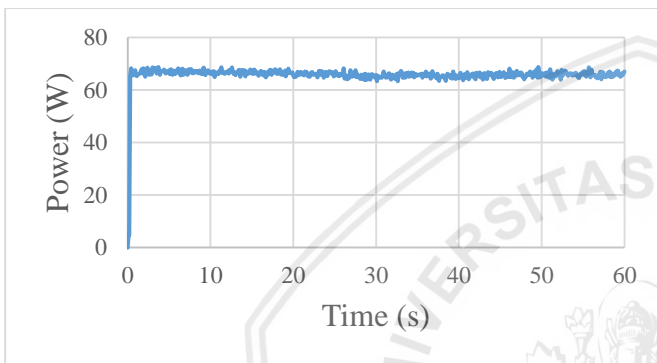
- Percobaan ke-4



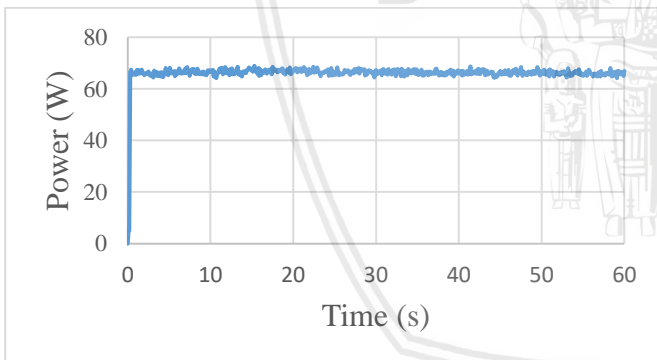
➤ Percobaan ke-5



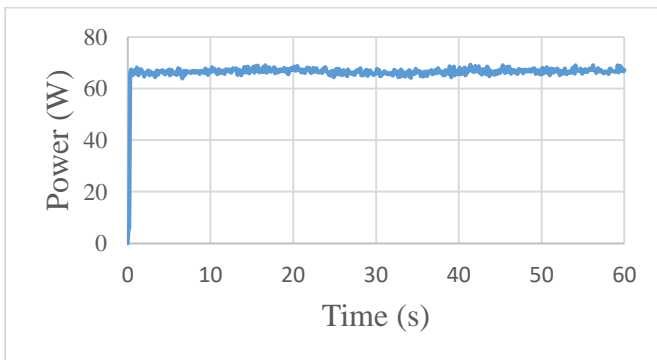
➤ Percobaan ke-6



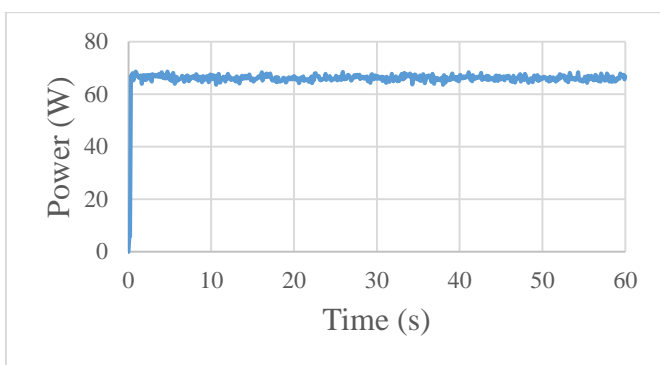
➤ Percobaan ke-7



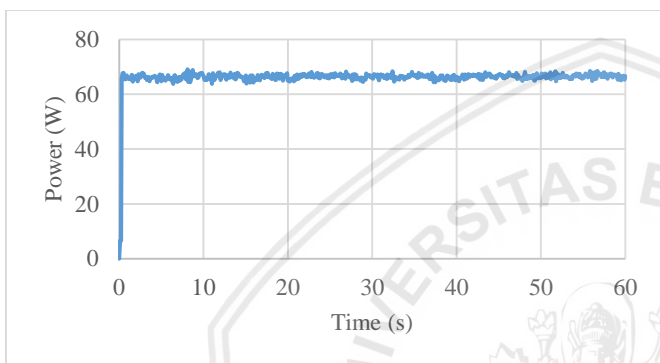
➤ Percobaan ke-8



➤ Percobaan ke-9

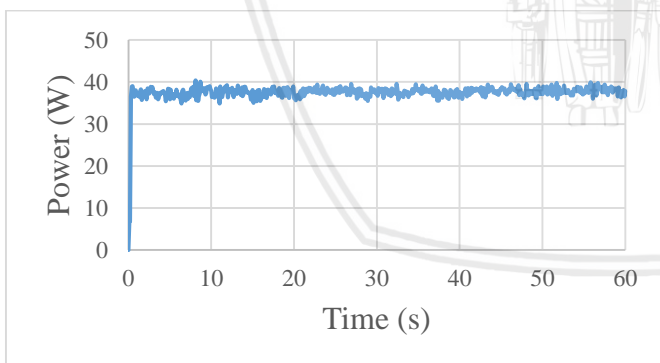


➤ Percobaan ke-10

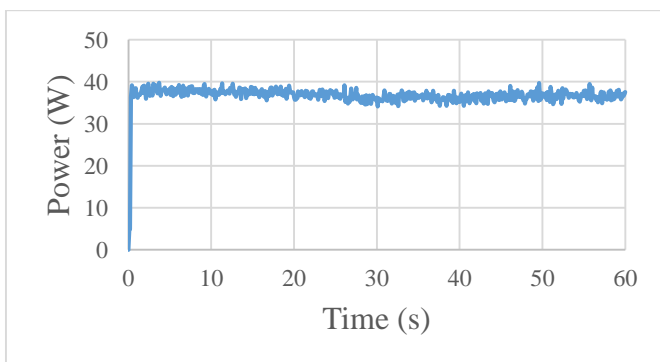


• Pengujian MPPT dengan gangguan sebesar 25%

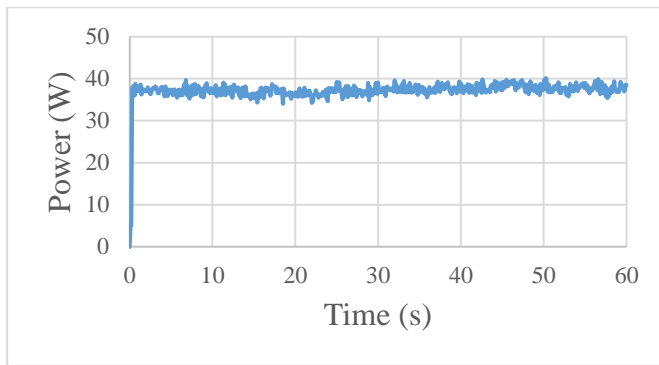
➤ Percobaan ke-1



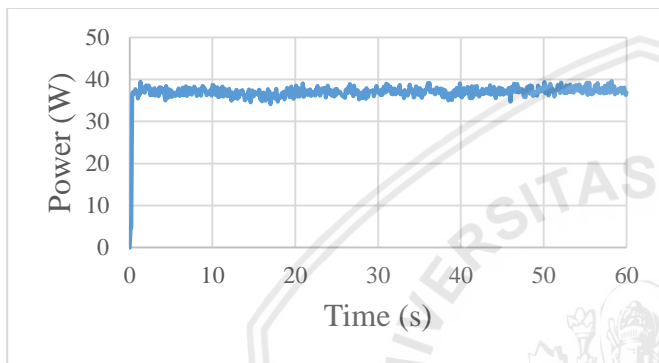
➤ Percobaan ke-2



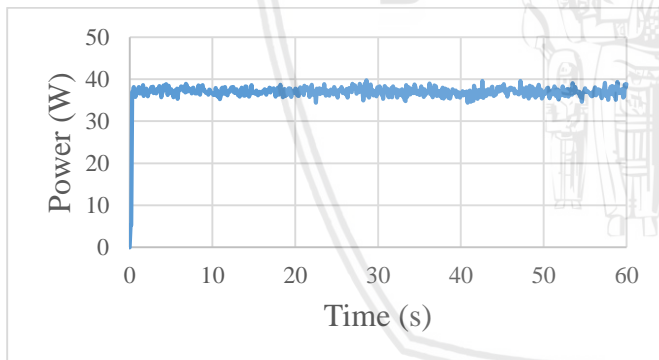
➤ Percobaan ke-3



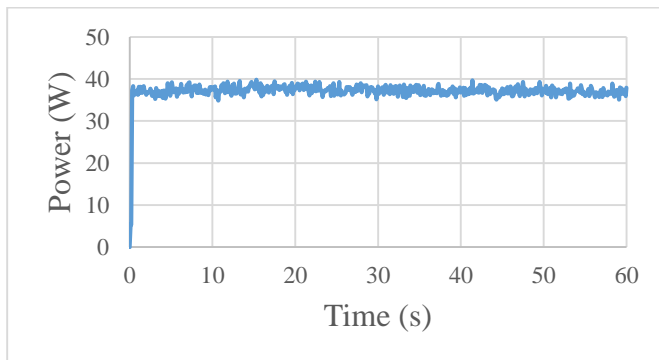
➤ Percobaan ke-4



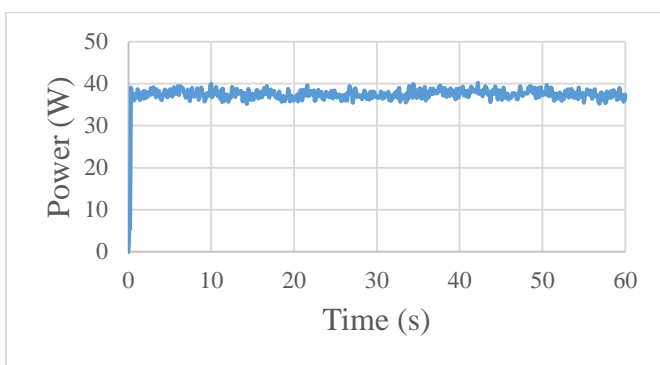
➤ Percobaan ke-5



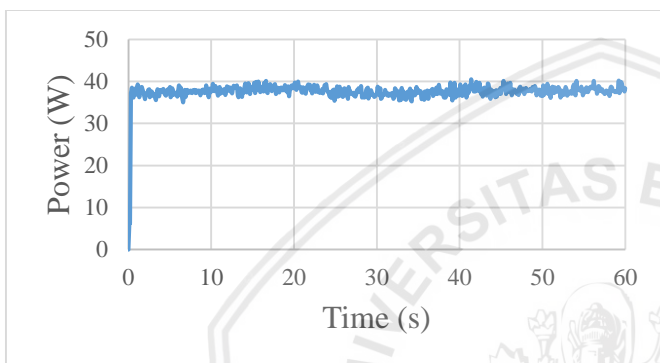
➤ Percobaan ke-6



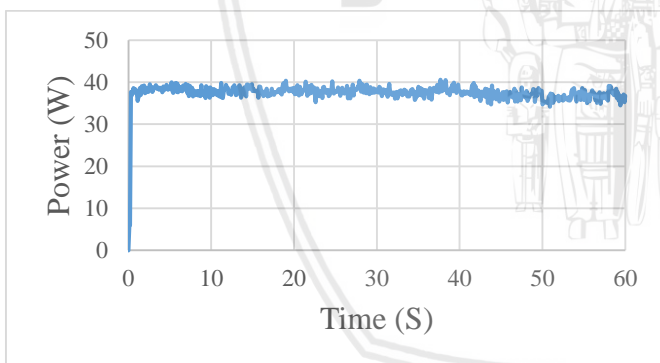
➤ Percobaan ke-7



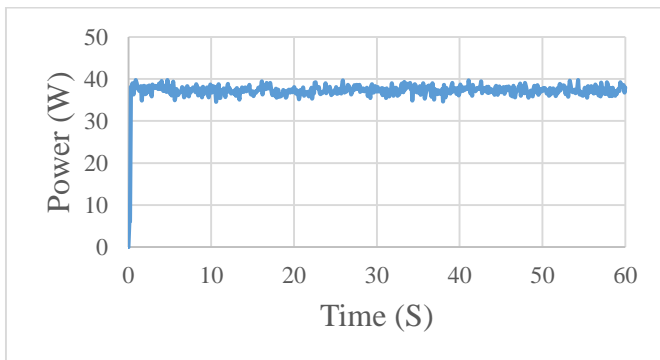
➤ Percobaan ke-8



➤ Percobaan ke-9

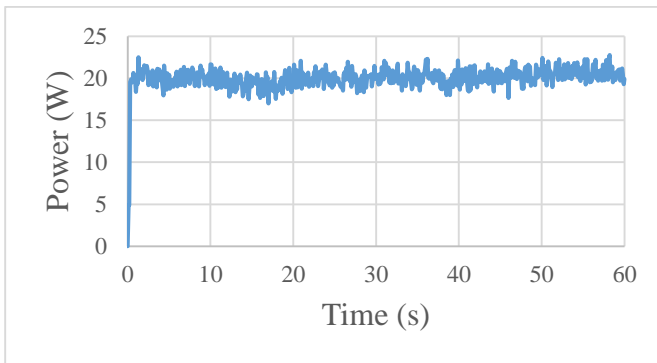


➤ Percobaan ke-10

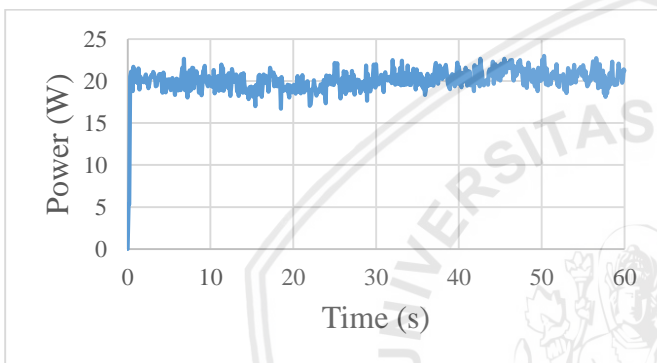


- Pengujian MPPT dengan gangguan sebesar 50%

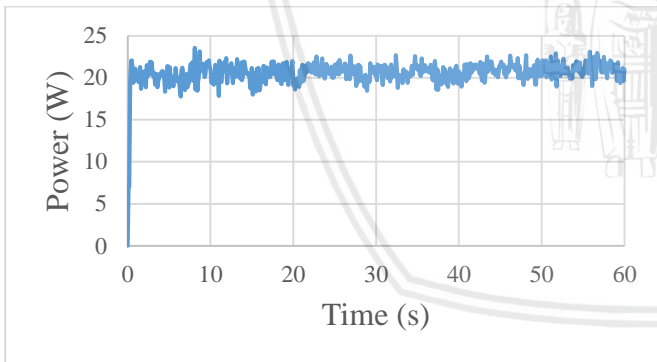
➤ Percobaan ke-1



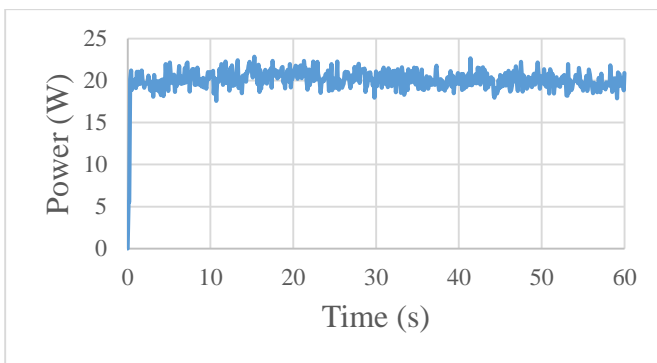
➤ Percobaan ke-2



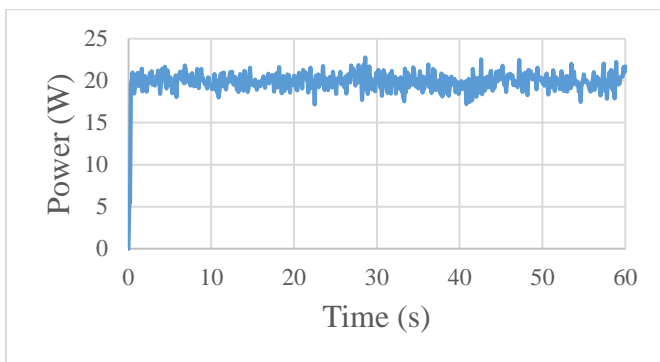
➤ Percobaan ke-3



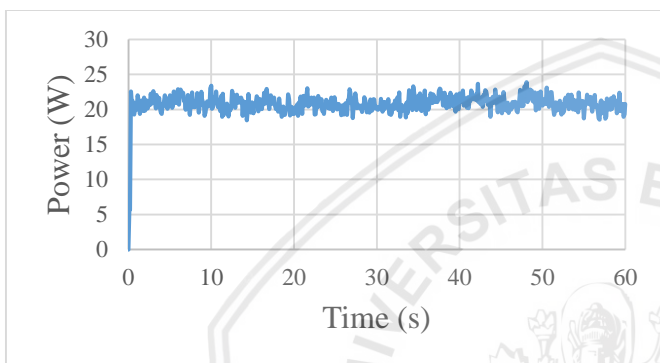
➤ Percobaan ke-4



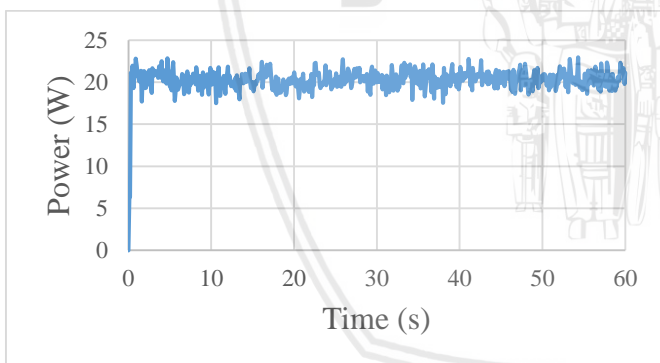
➤ Percobaan ke-5



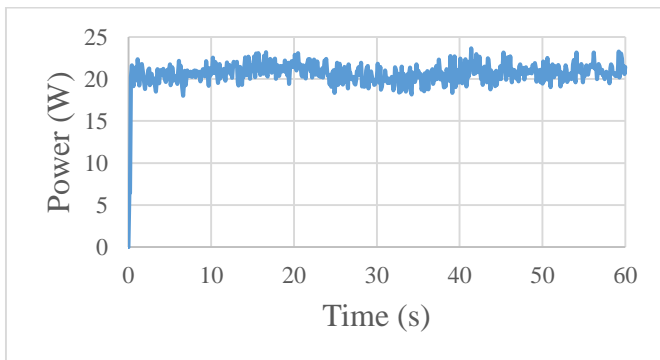
➤ Percobaan ke-6



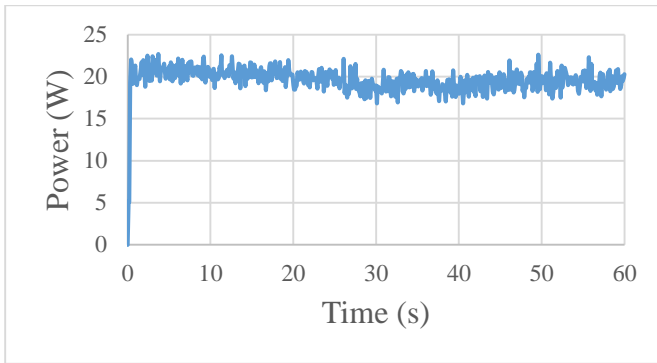
➤ Percobaan ke-7



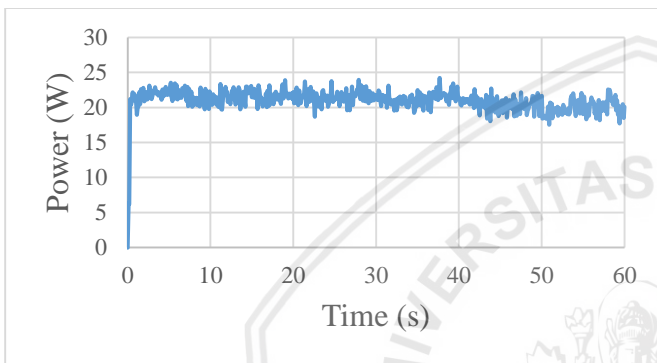
➤ Percobaan ke-8



➤ Percobaan ke-9

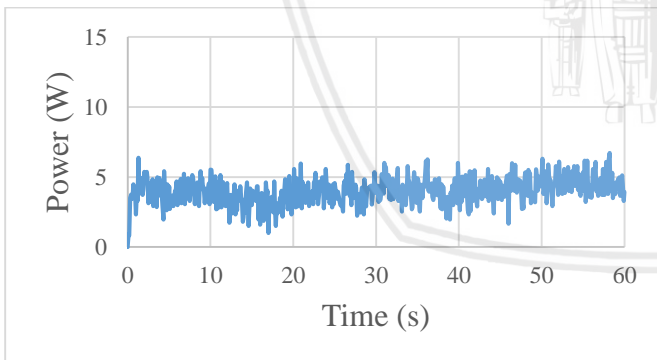


➤ Percobaan ke-10

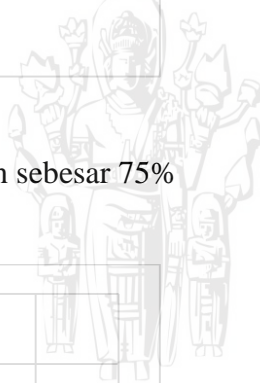
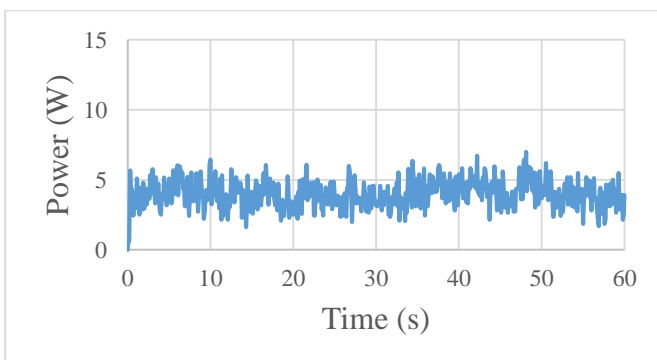


• Pengujian MPPT dengan gangguan sebesar 75%

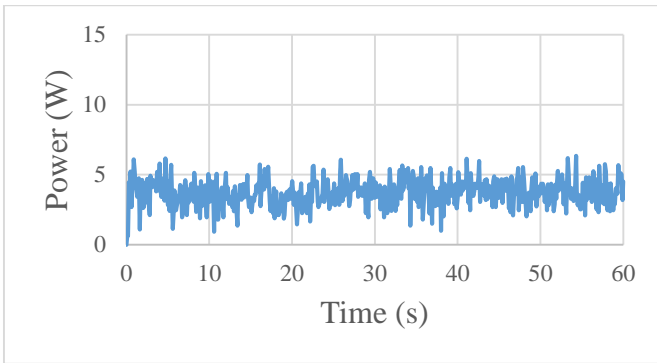
➤ Percobaan ke-1



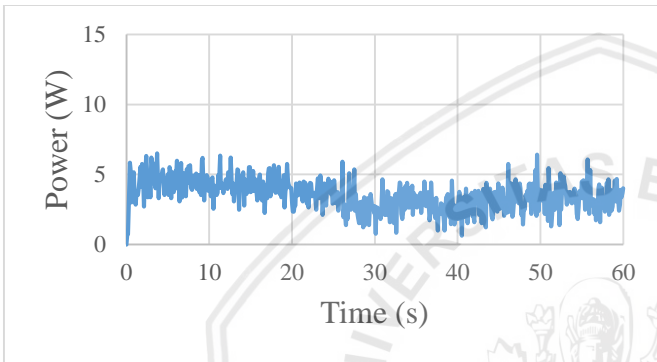
➤ Percobaan ke-2



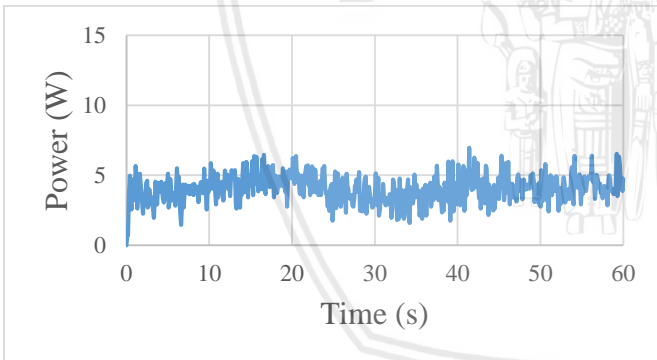
➤ Percobaan ke-3



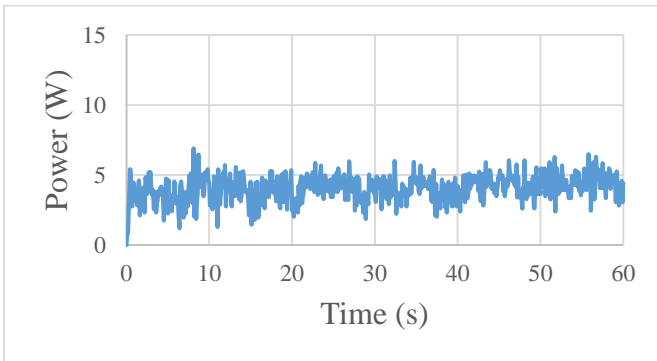
➤ Percobaan ke-4



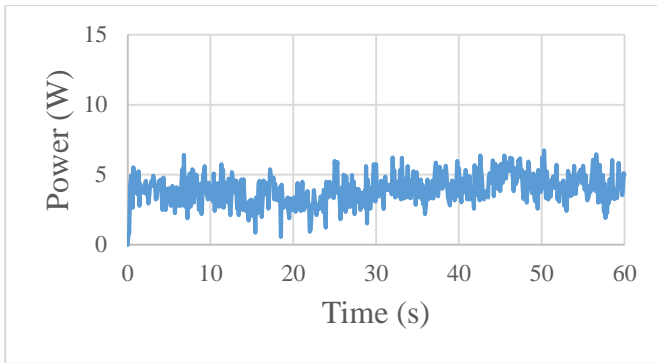
➤ Percobaan ke-5



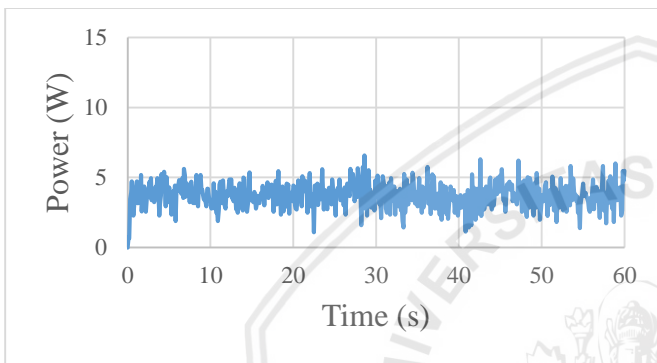
➤ Percobaan ke-6



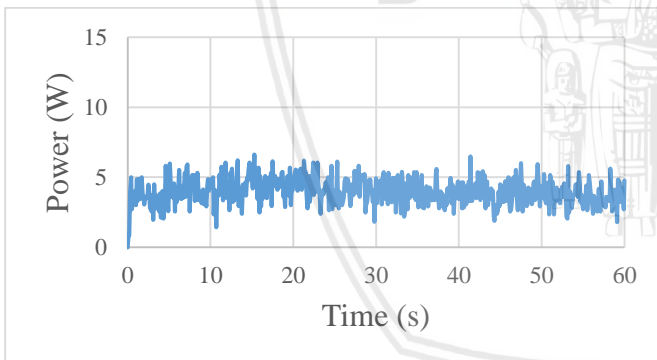
➤ Percobaan ke-7



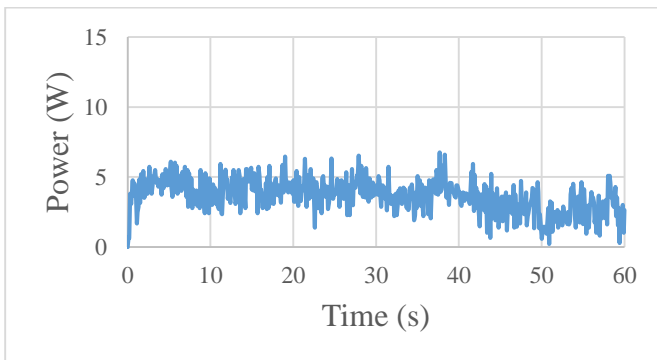
➤ Percobaan ke-8



➤ Percobaan ke-9



➤ Percobaan ke-10

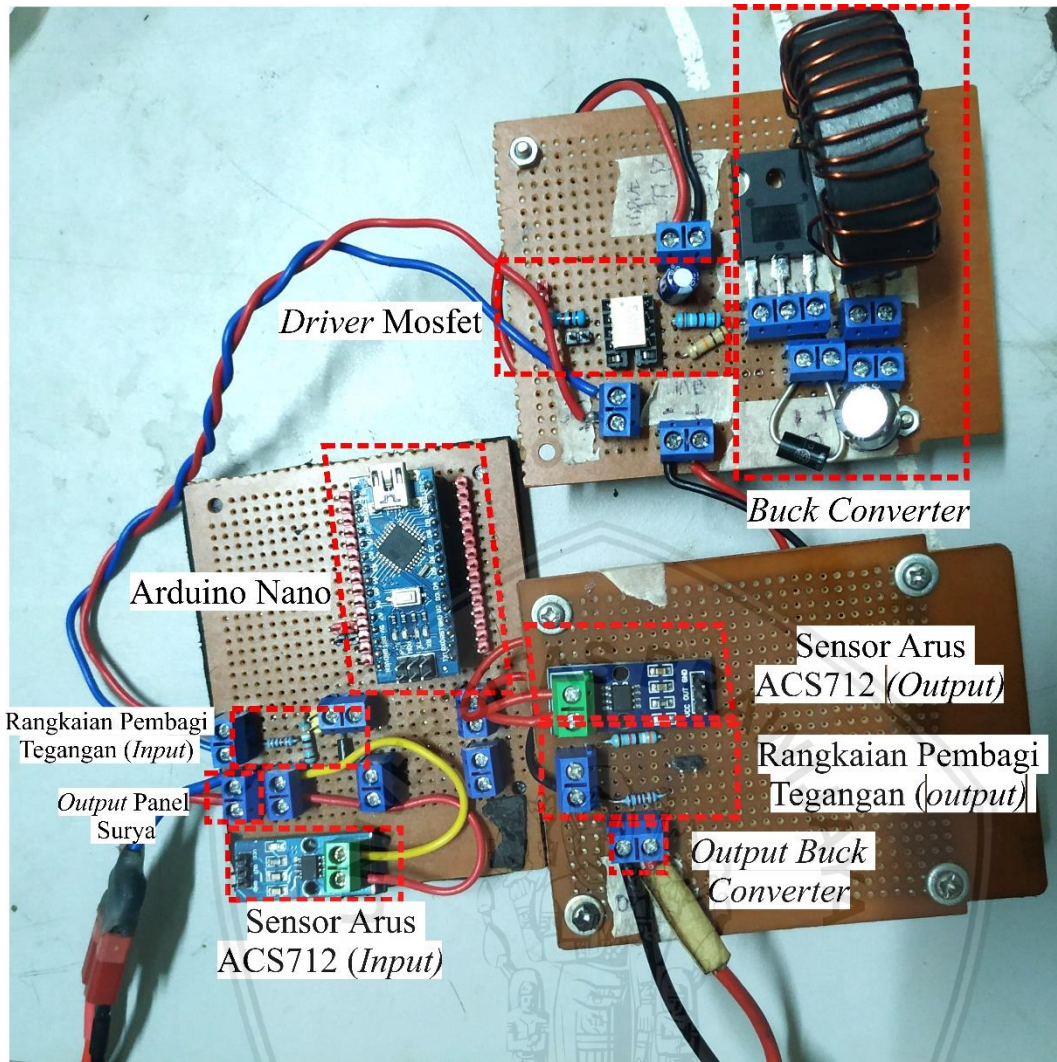


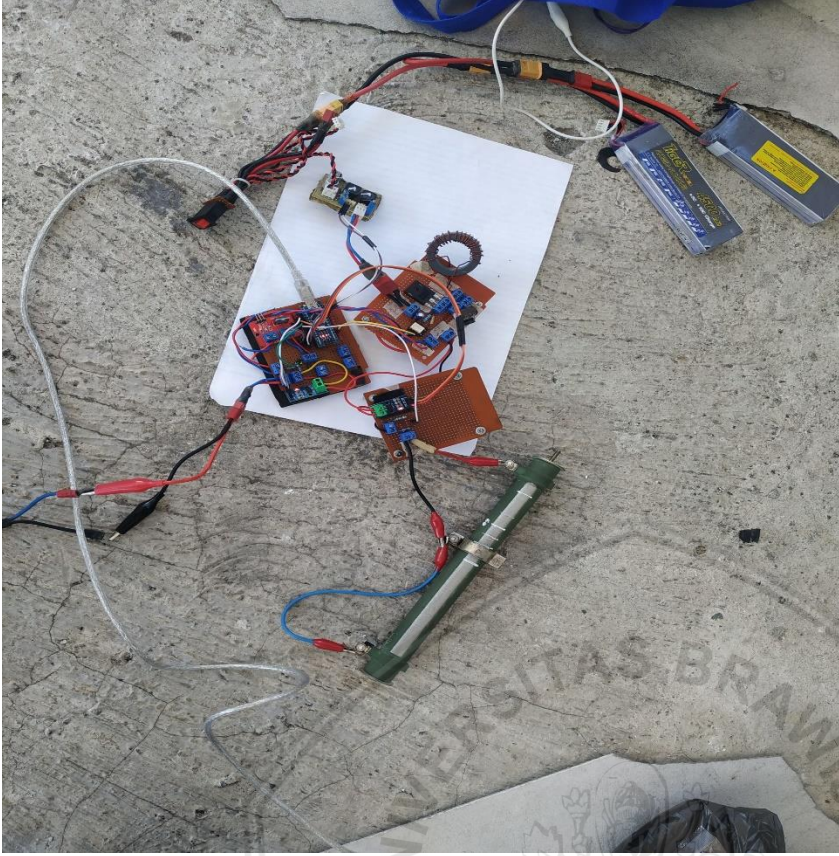
LAMPIRAN 2

DOKUMENTASI ALAT & PENGUJIAN









- Pengujian Tanpa Gangguan *Shading*



- Pengujian dengan Gangguan *Shading* 25%



- Pengujian dengan Gangguan *Shading* 50%



- Pengujian dengan Gangguan *Shading* 75%



LAMPIRAN 3

LISTING PROGRAM





```
#define pin_sensor_tegangan A2 // Deklarasi
Pin Sensor Tegangan
#define pin_sensor_arus A0 // Deklarasi Pin
Sensor Arus
#define pin_pwm 9 // Deklarasi Pin Output
PWM
#include <ACS712.h> // Pemanggilan Library
#include <TimerOne.h> // Pemanggilan
Library Timer Interrupt
```

```
float baca_tegangan; // Deklarasi Variable
Nilai Tegangan
float cvt_teg; // Deklarasi variable konversi
tegangan
double sensor_arus[15]; // Deklarasi Variabel
Nilai Arus
float mVperAmp = 185.0; // use 100 for 20A
Module and 66 for 30A Module, Deklarasi
Variabel untuk kalibrasi sensor
float ACSoffset = 2463.0; // Deklarasi
variable ACS
float Voltage = 0.0; // Deklarasi Variabel
Tegangan
float dutycycle= 90.0; // Deklarasi nilai awal
duty cycle
float dutycycle_now, P_last, P_now, Delta_P,
V_last, V_now, Delta_V, I_last, I_now,
Delta_I, V_out, I_out, P_out; //
float last_I,last_I_1;
float DStep = 0.1; // Deklarasi Nilai
Penambahan/ Pengurangan Duty Cycle
static int i; // Deklarasi variable penanda
float time; // Deklarasi variable waktu
```

```
ACS712 sensor(ACS712_05B,
pin_sensor_arus); // Mengenalkan Pin ke
Library
```

```
void setup() { // Fungsi inialisasi
// put your setup code here, to run once:
Timer1.initialize(40); // 40 uS = 25 kHz so
20uS = 50 kHz // Penentuan Frekuensi Timer
Serial.begin(9600); // Inialisasi Komunikasi
Serial
pinMode(pin_sensor_tegangan,INPUT); //
Inialisasi Pin Sebagai Input
pinMode(pin_sensor_arus, INPUT); //
Inialisasi Pin Sebagai Input
pinMode(pin_pwm,OUTPUT); // //
Inialisasi Pin Sebagai output
}
```

```
void set_pwm(void) { // Fungsi Output PWM
```

```
Timer1.pwm(pin_pwm,(dutyCycle/100.0)*10
23.0); // Fungsi Output PWM ke TimerOne
}
```

```
void read_data_input(void) { // Fungsi Baca
Sensor
```

```
float q; // Deklarasi untuk variabel
perhitungan
```

```
for ( int m = 0; m < 200; m++){ // Fungsi
perulangan untuk membaca sensor
```

```
baca_tegangan =
analogRead(pin_sensor_tegangan); //
```

```
Membaca Nilai sensor Tegangan
```

```
cvt_teg = (baca_tegangan/1023.0)*22.6; //
Konversi Nilai Tegangan
```

```
q += cvt_teg; // Penambahan Nilai q
}
```

```
V_now = q/200.0; // Perhitungan Tegangan
sekarang
```

```
sensor_arus[0] = 0.0; // Variabel hasil
kalkulasi sensor arus
```

```
sensor_arus[1] = 0.0; // Varibel untuk
perhitungan pertama
```

```
sensor_arus[2] = 0.0; // variable untuk
menyimpan nilai pembacaan sensor
```

```
for( int n = 0; n < 100; n++){ // Perulangan
perhitungan sensor arus
```

```
sensor_arus[2] =
analogRead(pin_sensor_arus); // Pembacaan
nilai sensor arus
```

```
Voltage = (sensor_arus[2] /
1023.0)*5000.0; // Konversi nilai sensor ke
satuan Tegangan
```

```
sensor_arus[1] += (Voltage-ACSoffset) /
mVperAmp; // perhitungan pertama sensor
arus
```

```
}
```

```
sensor_arus[0] = sensor_arus[1] / 100.0; //
Konversi nilai hasil perhitungan
```

```
sensor_arus[0] = (sensor_arus[0]*1.02)-
0.17; // Hasil akhir kalkulasi sensor arus
```

```
P_now = V_now*I_now; // Nilai Daya
sekarang hasil perhitungan sensor
```

```
}
```

```
void print_data(void) { // fungsi untuk
menampilkan serial monitor
```

```
time = millis(); // Membaca waktu sekarang
```

```
time /= 100; // Konversi waktu ke dalam 0,1
detik
```

```
Serial.print(i); Serial.print(".");
Serial.print("\t"); // Menampilkan Nomor
```

```
Serial.print(time,1); Serial.print("\t"); //
Menampilkan nilai waktu
```



```

Serial.print(V_now,2); Serial.print("\t"); //
Menampilkan Nilai Tegangan
Serial.print(I_now,2); Serial.print("\t");
Menampilkan Nilai Arus
Serial.print(P_now,3); Serial.print("\t"); //
Menampilkan Nilai Daya
Serial.print(dutycycle_now,1); Serial.print("
%"); Serial.print("\t"); // Menampilkan Nilai
Duty Cycle
}
void update_data(void) { //Update data
sekarang menjadi data sebelumnya
V_last = V_now; //Menyimpan Nilai
tegangan Sebelumnya \
I_last = I_now; // Menyimpan Nilai arus
Sebelumnya
dutycycle = dutycycle_now; // Menyimpan
Nilai duty cycle Sebelumnya
}
void cek_kondisi(void) { // Fungsi untuk cek
kondisi
Delta_V = V_now - V_last; //menghitung
perubahan nilai tegangan dengan mengurangi
nilai tegangan sekarang dengan nilai
sebelumnya
Delta_I = I_now - I_last; //menghitung
perubahan nilai arus dengan mengurangi nilai
arus sekarang dengan nilai sebelumnya

if(Delta_V == 0){ // jika delta v sama
dengan 0
DIDV = Delta_I/Delta_V; //hitung di/dv
IV = -1*I_now/V_now; //hitung -1/v
if(Delta_I != 0){ //jika delta i tidak
sama dengan 0
if(Delta_I > 0){ //jika delta i lebih
besar dari 0
dutycycle_now = dutycycle - DStep;
//duty cycle dikurangi dengan Dstep
}
else{ //jika delta i sama
dengan 0
dutycycle_now = dutycycle + DStep;;
//duty cycle ditambah dengan Dstep
}
}
else{ //jika delta v tidak
sama dengan 0
if( DIDV != IV){ //jika di/dv tidak
sama dngan -I/V
if(DIDV > IV){ //jika di/dv lebih
besar dari -1/v
dutycycle_now = dutycycle - DStep;
//duty cycle dikurangi dengan Dstep
}
else{ //jika di/dv tidak lebih
besar dari -i/v
dutycycle_now = dutycycle + DStep;
//duty cycle ditambah dengan Dstep
}
}
}
if(dutycycle_now >= 100.0){ dutycycle_now =
100.0; } // Membatasi nilai maksimum duty
cycle
if(dutycycle_now <= 0.0){ dutycycle_now = 0.0
; } // Membatasi nilai minimum duty cycle
}

void loop() { // Fungsi Looping
i++; // Penanda
read_data_input(); // baca data input
cek_kondisi(); // cek kondisi
set_pwm(); // Fungsi output PWM
read_data_output(); // baca data output
print_data(); // Menampilkan data
update_data(); // Memperbarui data
}

```

LAMPIRAN 4

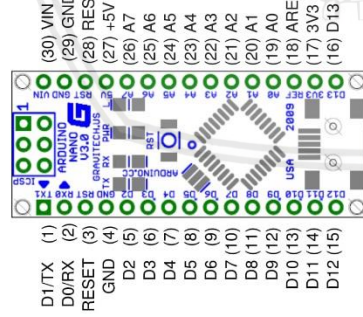
DATASHEET





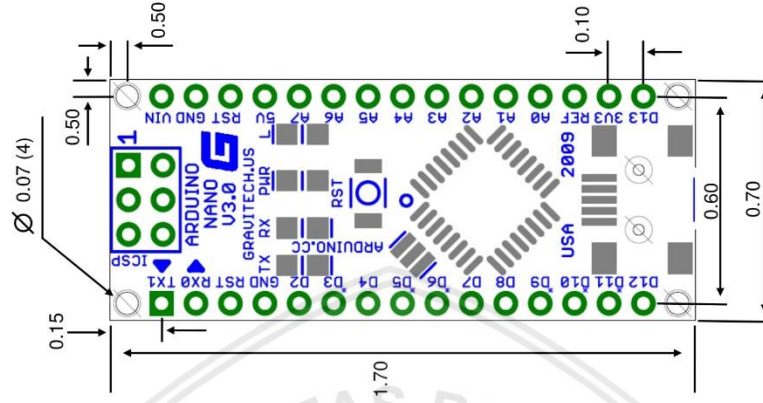
- Arduino Nano V3

Arduino Nano Pin Layout



Pin No.	Name	Type	Description
1-2, 5-16	D0-D13	I/O	Digital input/output port 0 to 13
3, 28	RESET	Input	Reset (active low)
4, 29	GND	PWR	Supply ground
17	3V3	Output	+3.3V output (from FTDI)
18	AREF	Input	ADC reference
19-26	A0-A7	Input	Analog input channel 0 to 7
27	+5V	Output or Input	+5V output (from on-board regulator) or +5V input (input from external power supply)
30	VIN	PWR	Supply voltage

Arduino Nano Mechanical Drawing



• ACS712 5A



ACS712

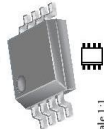
Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kV/RMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Features and Benefits

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



Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1

Description

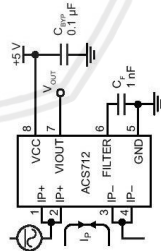
The Allegro™ ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switch-mode power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

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates 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 BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($>V_{OUT}(0)$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is 1.2 mΩ typical, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of

Continued on the next page...

Typical Application



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

ACS712

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

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

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

Selection Guide

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

*Contact Allegro for additional packing options.

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V_{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V_{RECC}		-0.1	V
Output Voltage	V_{OUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V_{REOUT}		-0.1	V
Output Current Source	$I_{OUT(SOURCE)}$		3	mA
Output Current Sink	$I_{OUT(SINK)}$		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I_p	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T_a	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	$T_j(\text{max})$		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_{WR1}	For basic (single) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	354	VDC or V_{pk}
Working Voltage for Reinforced Isolation	V_{WR1}	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
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001

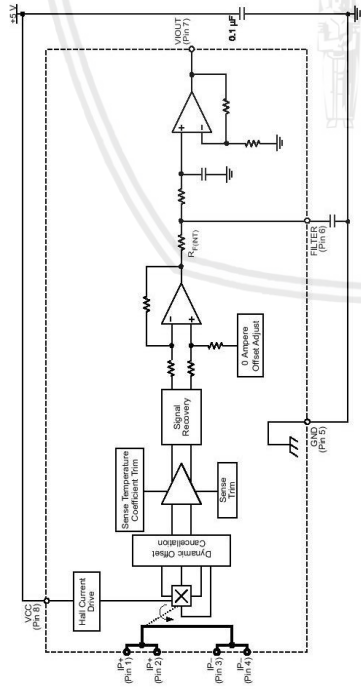


Allegro Microsystems, LLC
Worcester, Massachusetts 01615-0026 U.S.A.
1.508.853.3500; www.allegromicro.com

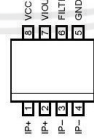
ACS712

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

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 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0098 U.S.A.
1.508.853.5000, www.allegromicro.com

3

ACS712

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

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

Characteristic	Symbol	Test Conditions			Units
		Min.	Typ.	Max.	
ELECTRICAL CHARACTERISTICS					
Supply Voltage	V _{CC}	4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	I _{CC}	—	10	13	mA
Output Capacitance Load	C _{LOAD}	—	—	10	nF
Output Resistive Load	R _{LOAD}	4.7	—	—	kΩ
Primary Conductor Resistance	R _{PRIMARY}	—	1.2	—	mΩ
Rise Time	t _r	—	3.5	—	μs
Frequency Bandwidth	f _{BW}	—	80	—	kHz
Nonlinearity	E _{LN}	—	1.5	—	%
Symmetry	E _{SYM}	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	V _{OUT(0)}	—	V _{CC} × 0.5	—	V
Power-On Time	t _{PO}	—	35	—	μs
Magnetic Coupling ²	k _{MAG}	—	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_l, provided that the Maximum Junction Temperature, T_{J(max)}, is not exceeded.
²t_{PO} = 0.1 mT.
³R_{INT} forms an RC circuit via the FILTER pin.

COMMON THERMAL CHARACTERISTICS¹

Operating Internal Leadframe Temperature	T _A	E range	Min.	Typ.	Max.	Units
Junction-to-Lead Thermal Resistance ²	R _{θ(j-l)}	Mounted on the Allegro ASEK 712 evaluation board	—	—	85	°C
Junction-to-Ambient Thermal Resistance	R _{θ(j-a)}	Mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board	—40	—	5	°C/W
		Mounted on the Allegro ASEK 712 evaluation board	—	—	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 via connecting the layers. Performance values include the power consumed by the PCB. Further details on the board are available from the Frequently Asked Questions document on our website. Further information about board design and thermal performance also can be found in the Applications Information section of this datasheet.



Allegro Microsystems, LLC
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0098 U.S.A.
1.508.853.5000, www.allegromicro.com

4

ACS712

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

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 , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_p	Over full range of I_p , $T_A = 25^\circ\text{C}$	-5	-	5	A
Sensitivity	Sens	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$, 165 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	180	185	190	mV/A
Noise	$V_{NOISE(PP)}$		-	21	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{OUT(0)}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-0.26	-	-	mV/C
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-0.08	-	-	mV/C
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	0.054	-	mV/A/C
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.008	-	mV/A/C
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_p = \pm 5\text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_p , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(max)}$, is not exceeded.
²Percentage of I_p , with $I_p = 5\text{ A}$. Output filtered.

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

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_p	Over full range of I_p , $T_A = 25^\circ\text{C}$	-20	-	20	A
Sensitivity	Sens	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$, 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	96	100	104	mV/A
Noise	$V_{NOISE(PP)}$		-	11	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{OUT(0)}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-0.34	-	-	mV/C
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-0.07	-	-	mV/C
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	0.017	-	mV/A/C
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.004	-	mV/A/C
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_p = \pm 20\text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	± 1.5	-	%

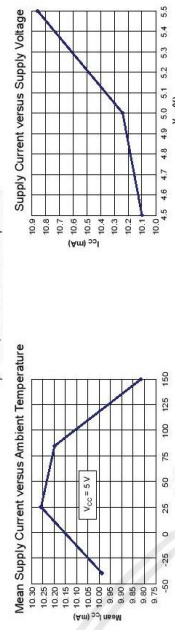
¹Device may be operated at higher primary current levels, I_p , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(max)}$, is not exceeded.
²Percentage of I_p , with $I_p = 20\text{ A}$. Output filtered.

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

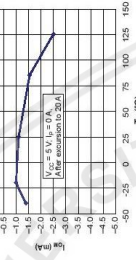
Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_p	Over full range of I_p , $T_A = 25^\circ\text{C}$	-30	-	30	A
Sensitivity	Sens	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$, 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	63	66	69	mV/A
Noise	$V_{NOISE(PP)}$		-	7	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{OUT(0)}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-0.35	-	-	mV/C
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-0.08	-	-	mV/C
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	0.007	-	mV/A/C
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.002	-	mV/A/C
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_p = \pm 30\text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_p , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(max)}$, is not exceeded.
²Percentage of I_p , with $I_p = 30\text{ A}$. Output filtered.

Characteristic Performance
 $I_p = 5\text{ A}$, unless otherwise specified



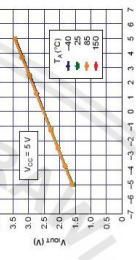
Magnetic Offset versus Ambient Temperature



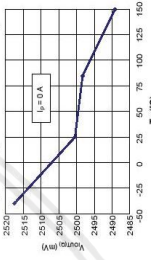
Mean Total Output Error versus Ambient Temperature



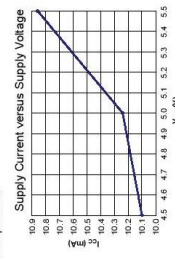
Output Voltage versus Sensing Current



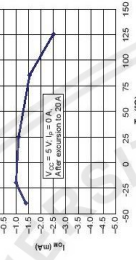
0 A Output Voltage versus Ambient Temperature



Characteristic Performance
 $I_p = 5\text{ A}$, unless otherwise specified



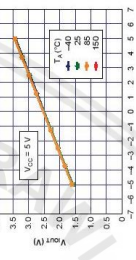
Magnetic Offset versus Ambient Temperature



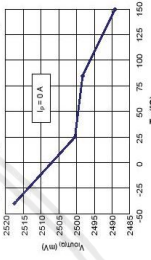
Mean Total Output Error versus Ambient Temperature



Output Voltage versus Sensing Current



0 A Output Voltage versus Ambient Temperature



Allegro Microsystems, LLC
 115 Northeast Cutoff
 Westborough, MA 01581-0008 U.S.A.
 1.508.853.5000, www.allegromicro.com

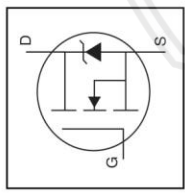


Allegro Microsystems, LLC
 115 Northeast Cutoff
 Westborough, MA 01581-0008 U.S.A.
 1.508.853.5000, www.allegromicro.com

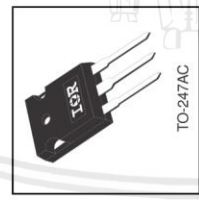
International
IRF Rectifier

PD - 91503D
IRFP150N
HEXFET® Power MOSFET

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



$V_{DSS} = 100V$
 $R_{DS(on)} = 0.036\Omega$
 $I_D = 42A$



Description

Fifth-Generation-HEXFETs 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-247 package is preferred for commercial-industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220 devices. The TO-247 is similar but superior to the earlier TO-218 package because of its isolated mounting hole.

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	42	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	30	A
I_{DM}	140	A
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	160	W
Linear Derating Factor	1.1	W/°C
V_{GS}	±20	V
E_{AS}	420	mJ
I_{AR}	22	A
E_{AR}	16	mJ
dv/dt	5.0	V/ns
T_J	-55 to +175	°C
T_{STG}	300 (1.6mm from case)	°C
Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	°C
Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf·in (1.1N·m)	

Thermal Resistance

Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	—	0.95	°C/W
$R_{\theta CS}$	0.24	—	°C/W
$R_{\theta JA}$	—	40	°C/W

www.irf.com

1

07/15/02

IRFP150N

International
IRF Rectifier

Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ C$ (unless otherwise specified)

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)SS}$	100	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)SS}/\Delta T_J$	—	0.11	—	V/°C	Reference to 25°C, $I_D = 1mA$ ⑤
$R_{DS(on)}$	—	0.036	—	Ω	$V_{GS} = 10V, I_D = 23A$ ④
$V_{GS(th)}$	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
g_{fs}	14	—	—	S	$V_{GS} = 25V, I_D = 22A$ ⑤
I_{SS}	—	25	—	μA	$V_{GS} = 100V, V_{DS} = 0V$
I_{SSS}	—	100	—	nA	$V_{GS} = 20V$
Q_{gs}	—	110	—	nC	$I_D = 22A$
Q_{gd}	—	15	—	nC	$V_{GS} = 80V$
$t_{(on)}$	—	11	—	ns	$V_{DS} = 50V$
t_r	—	56	—	ns	$I_D = 22A$
$t_{(off)}$	—	45	—	ns	$R_{\theta J} = 3.6\Omega$
t_f	—	40	—	ns	$R_{\theta J} = 2.9\Omega$, See Fig. 10 ④⑤
L_D	—	5.0	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	—	13	—	nH	
C_{iss}	—	1900	—	pF	$V_{GS} = 0V$
C_{oss}	—	450	—	pF	$V_{GS} = 25V$
C_{rss}	—	230	—	pF	$f = 1.0MHz$, See Fig. 5 ⑤

Source-Drain Ratings and Characteristics

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	—	—	42	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	—	—	140	A	
V_{SD}	—	—	1.3	V	$T_J = 25^\circ C, I_S = 23A, V_{GS} = 0V$ ④
t_r	—	180	270	ns	$T_J = 25^\circ C, I_f = 22A$
Q_{rr}	—	1.2	1.8	μC	di/dt = 100A/μs ④ ⑤
t_{on}	—	—	—	—	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 $T_J = 25^\circ C, L = 1.7mH$
- ③ $I_{SD} \leq 22A, di/dt \leq 180A/\mu s, V_{DD} \leq V_{(BR)SS}, T_J \leq 175^\circ C$
- ④ Pulse width $\leq 300\mu s$; duty cycle $\leq 2\%$.
- ⑤ Uses IRF1310N data and test conditions.

2

www.irf.com

International
IRFP150N
Rectifier

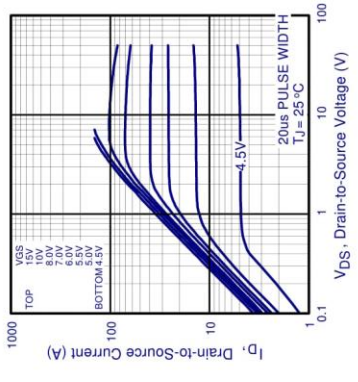


Fig 1. Typical Output Characteristics

IRFP150N

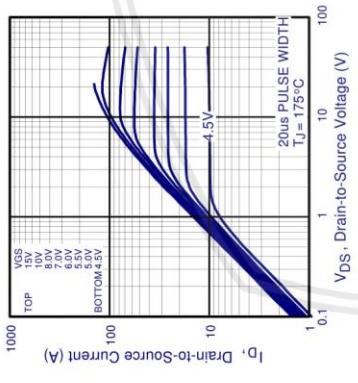


Fig 2. Typical Output Characteristics

IRFP150N

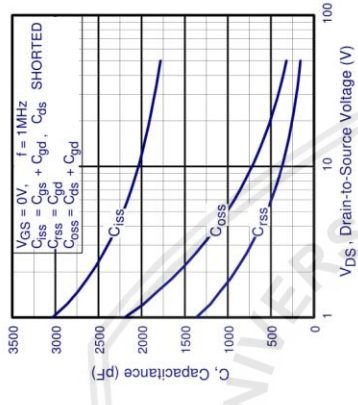


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

International
IRFP150N
Rectifier

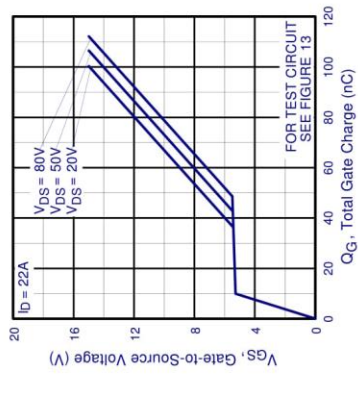


Fig 4. Normalized On-Resistance vs. Temperature

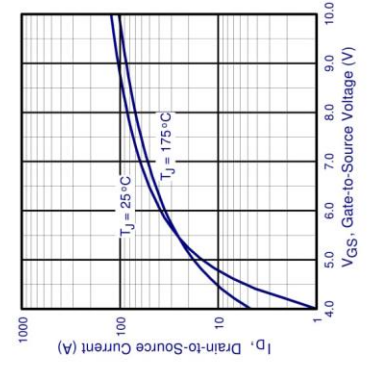


Fig 5. Typical Capacitance vs. Drain-to-Source Voltage

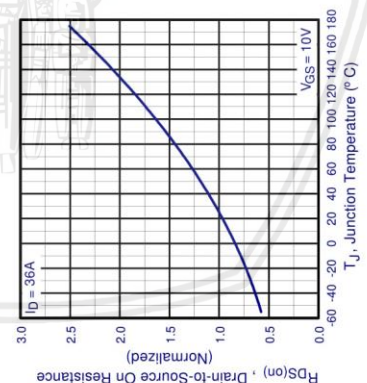


Fig 6. Typical Gate Charge vs. Gate-to-Source Voltage

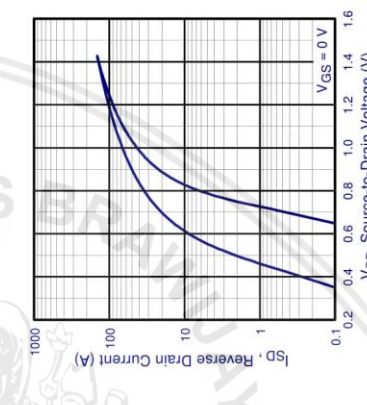


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

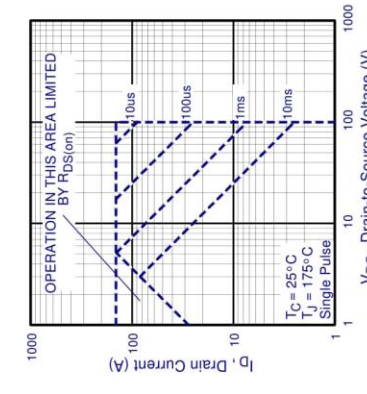


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

Fig 3. Typical Transfer Characteristics

Fig 4. Normalized On-Resistance vs. Temperature

Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

Fig 8. Maximum Safe Operating Area

International
IGBT Rectifier

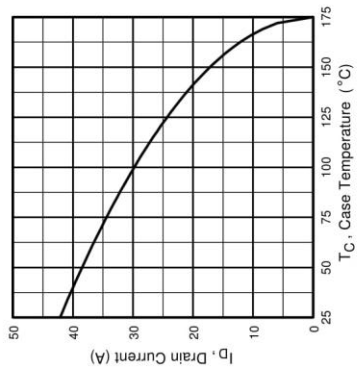


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

IRFP150N

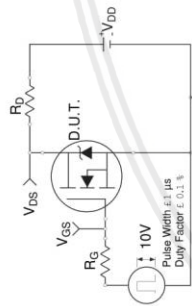


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

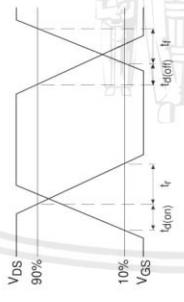


Fig 10b. Switching Time Waveforms

IRFP150N

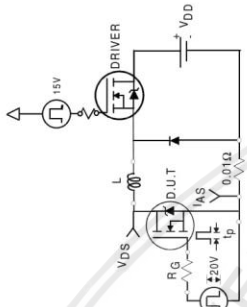


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

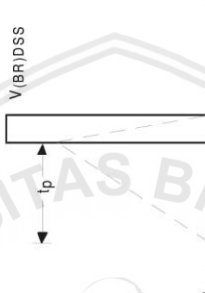


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

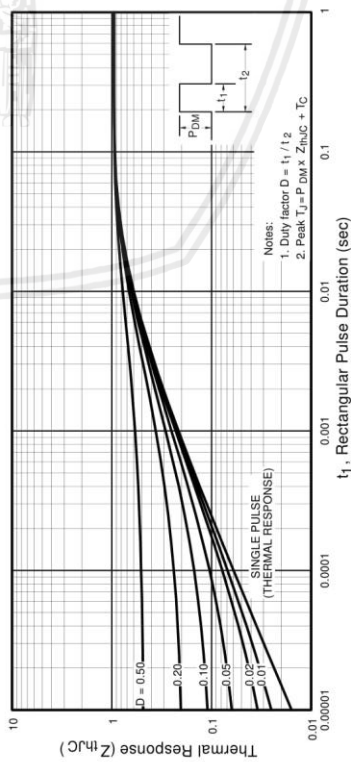


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

International
IGBT Rectifier

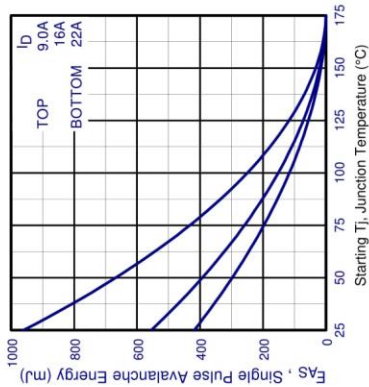


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

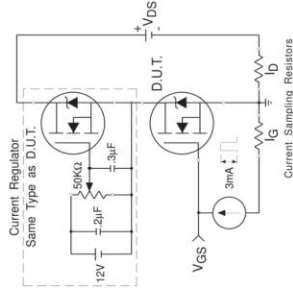


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

IRFP150N

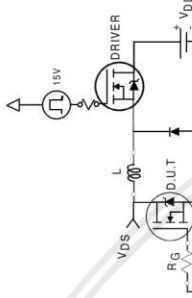


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

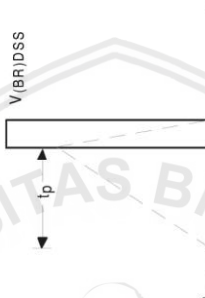


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

TOSHIBA

TLP250

TOSHIBA Photocoupler GaAsAs Ired & Photo-IC

TLP250

Industrial Inverter
Inverter For Air Conditioner
IGBT Gate Drive
Power MOS FET Gate Drive

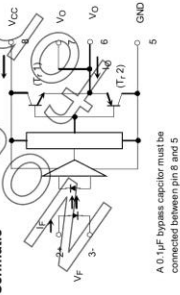
The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAsAs light emitting diode and a integrated photodetector.
This unit is 8-head DIP package.
TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- Input threshold current: 5mA(max)
- Supply current : 11mA(max)
- Supply voltage : 10-35V
- Output current : ±1.5A (max)
- Switching time (td,High-L): 0.5µs(max)
- Isolation voltage: 2500Vrms(min)
- UL recognized: UL1577, file No.E67349
- c-UL approved : CSA Component Acceptance Service No. SA, File No.E67349
- Option(D4)
VDE Approved : EN60747-5-5
Note: When a EN60747-5-5 approved type is needed, please designate "Option(D4)".

Truth Table

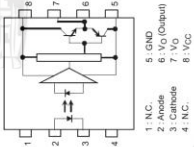
Input LED	Tr	Tr (Tz)
On	On	Off
Off	Off	On

Schematic



A 0.1µF bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5

Pin Configuration (top view)



Start of commercial production 1990-11

2017-05-26

TOSHIBA

TLP250

Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Characteristic	Symbol	Rating	Unit
Forward current	IF	20	mA
Forward current derating (Ta ≥ 70°C)	ΔIF / ΔTa	-0.36	mA / °C
Peak transient forward current (Note 1)	IFPT	1	A
Reverse voltage	Vr	5	V
Diode power dissipation	Pd	30	mW
Diode power dissipation derating (Ta ≥ 70°C)	ΔPd / °C	-0.72	mW / °C
Junction temperature	Tj	125	°C
*I ² R peak output current (Pv ≤ 2.5µs, f ≤ 10kHz)	IPRH	4.75	A
L ² R peak output current (Pv ≤ 2.5µs, f ≤ 10kHz)	IPLN	1.5	A
Output voltage (Ta ≤ 70°C)	VO	24	V
Supply voltage (Ta ≤ 85°C)	VCC	35	V
Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)	ΔVO / ΔTa	-0.73	V / °C
Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)	ΔVCC / ΔTa	-0.76	V / °C
Power dissipation	Pc	600	mW
Power dissipation derating (Ta ≥ 70°C)	ΔPc / °C	-14.5	mW / °C
Junction temperature	Tj	125	°C
Operating frequency (Note 3)	f	25	KHz
Storage temperature range	Tstg	-55 to 85	°C
Lead soldering temperature (10 s)	Tsol	260	°C
Isolation voltage (AC, 60 s., R.H. ≤ 60%)	VI	2500	Vrms

Note: Using continuously under heavy loads, the application of high temperature/voltage and the significant change in temperature (etc.) may cause this product to decrease in the reliability significantly even if the operating conditions (i.e. operating temperature/current/voltage, etc.) are within the absolute maximum ratings.

Please design the appropriate reliability upon reviewing the Toshiba Semiconductor Reliability Handbook ("Handling Precautions (Handling Concept and Methods)" and individual reliability data (i.e. reliability test report and estimated failure rate, etc.).

Note 1: Pulse width Pw ≤ 1µs, 300pps

Note 2: Exponential waveform

Note 3: Exponential waveform, I_{PH} ≤ 1.0A (≤ 2.5µs), I_{PL} ≤ +1.0A (≤ 2.5µs)

Note 4: Device considered a two terminal device: Pins 1, 2, 3 and 4 shorted together, and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.

Recommended Operating Conditions

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Input current (on)	I _{IN(ON)}	7	8	10	mA
Input voltage (off)	V _{IN(OFF)}	0	—	0.8	V
Supply voltage	V _{CC}	15	—	30	V
Peak output current	I _{PH/PL}	—	—	±0.5	A
Operating temperature	T _{OP}	-20	25	85	°C

Note: Recommended operating conditions are given as a design guideline to obtain expected performance of the device. Additionally, each item is an independent guideline respectively. In developing designs using this product, please confirm specified characteristics shown in this document.

Note : A ceramic capacitor(0.1µF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching property. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

Note : Input signal rise time(fall time)≤0.5µs.

2

2017-05-26

TOSHIBA

TLP250

Electrical Characteristics (Ta = -20 to 70°C, unless otherwise specified)

Characteristic	Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min	Typ.*	Max	Unit
Input forward voltage	V _F	—	I _F = 10 mA, T _a = 25°C	—	1.6	1.8	V
Temperature coefficient of forward voltage	ΔV _F / ΔT _a	—	I _F = 10 mA	—	-2.0	—	mV / °C
Input reverse current	I _R	—	V _R = 5V, T _a = 25°C	—	—	10	μA
Input capacitance	C _T	—	V _I = 0V, f = 1MHz, T _a = 25°C	—	—	250	pF
Output current	I _{OH}	1	V _{CC} = 30V, I _F = 10 mA, V _{BE} = 40V, V _{CE} = 40V (Note 1)	—	-1.5	—	A
"H" level	I _{OL}	2	V _{CC} = 30V, V _{BE} = 40V, V _{CE} = 40V, I _F = 0 mA	—	2	—	A
"L" level	I _{OL}	2	V _{CC} = 30V, V _{BE} = 40V, V _{CE} = 40V, I _F = 0 mA	—	2	—	A
Output voltage	V _{OH}	3	V _{CC} = +15V, V _{BE} = -15V, I _F = 0 mA, R _L = 200Ω, T _a = 25°C	11	12.8	—	V
"H" level	V _{OL}	4	V _{CC} = +15V, V _{BE} = -15V, I _F = 0 mA, R _L = 200Ω, V _{CE} = 15V, T _a = 25°C	—	-12.5	—	V
"L" level	V _{OL}	4	V _{CC} = +15V, V _{BE} = -15V, I _F = 0 mA, R _L = 200Ω, V _{CE} = 15V, T _a = 25°C	—	-12.5	—	V
Supply current	I _{CC}	—	V _{CC} = 30V, I _F = 0 mA, T _a = 25°C	—	—	11	mA
"H" level	I _{CC}	—	V _{CC} = 30V, I _F = 0 mA, T _a = 25°C	—	—	11	mA
"L" level	I _{CC}	—	V _{CC} = 30V, I _F = 0 mA, T _a = 25°C	—	—	11	mA
Threshold input current	I _F LH	—	V _{CC} = +15V, V _{BE} = -15V, R _L = 200Ω, V _{CE} = 0V	—	1.2	5	mA
Threshold input voltage	V _F LH	—	V _{CC} = +15V, V _{BE} = -15V, R _L = 200Ω, V _O < 0V	0.8	—	—	V
Supply voltage	V _{CC}	—	V _S = 0V, f = 1kHz	10	—	35	V
Capacitance (input-output)	C _S	—	V _S = 0V, f = 1kHz, T _a = 25°C	—	1.0	2.0	pF
Resistance (input-output)	R _S	—	V _S = 500V, I _O = 250μs, R _F = 200Ω	1 × 10 ⁻²	10 ⁻⁴	—	Ω

* All typical values are at T_a = 25°C
Note 1: Duration of I_O time ≤ 500μs

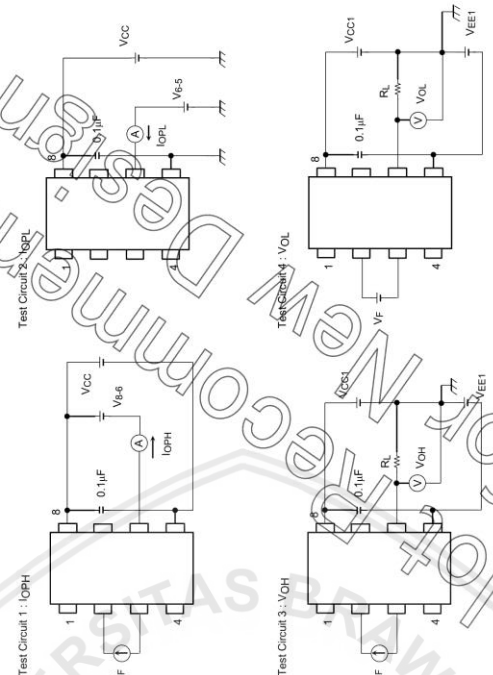
TOSHIBA

TLP250

Switching Characteristics (Ta = -20 to 70°C, unless otherwise specified)

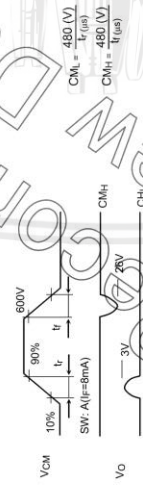
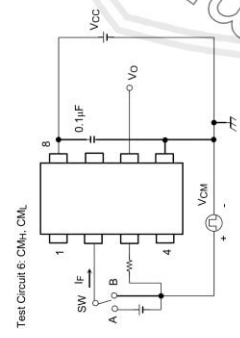
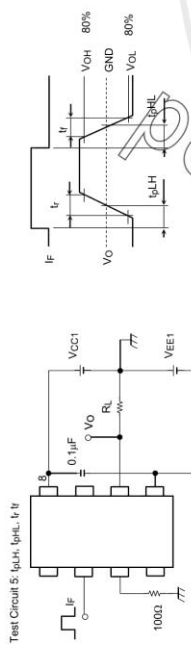
Characteristic	Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min	Typ.	Max	Unit
Propagation delay time	t _{pLH} t _{pHL}	5	I _F = 8mA, V _{CC} = +15V, V _{BE} = -15V, R _L = 200Ω	—	0.15	0.5	μs
Common mode transient immunity at high level	CMH	6	V _{CM} = 600V, I _F = 8mA, V _{CC} = 30V, T _a = 25°C	-5000	—	—	V / μs
Common mode transient immunity at low level	CMl	6	V _{CM} = 600V, I _F = 0mA, V _{CC} = 30V, T _a = 25°C	-5000	—	—	V / μs

Note: All typical values are at T_a = 25°C



TOSHIBA

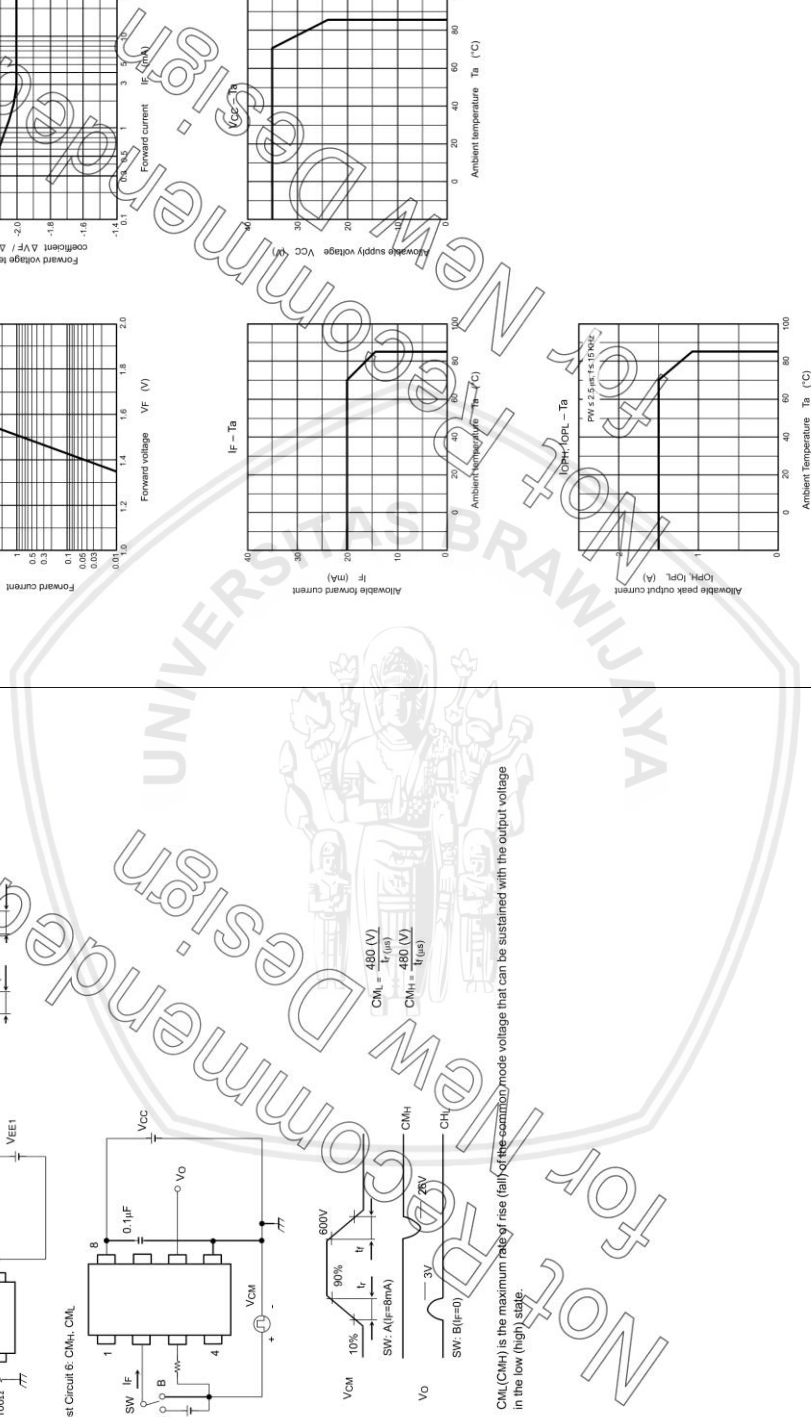
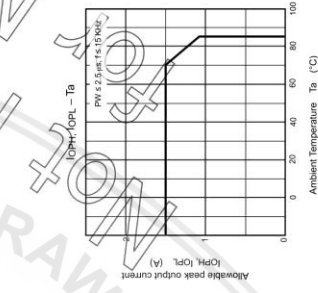
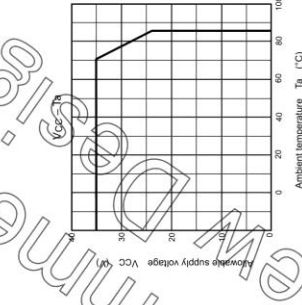
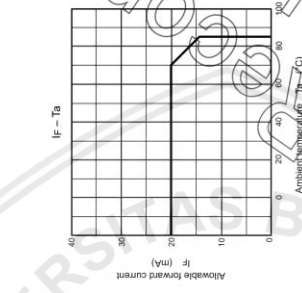
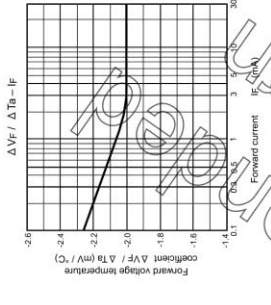
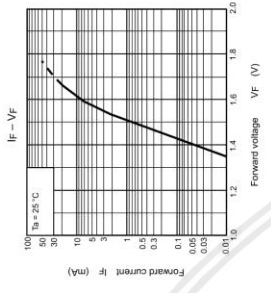
TLP250



C_{MH} (C_{MH}) is the maximum rate of rise (fall) of the scanning mode voltage that can be sustained with the output voltage in the low (high) state.

TOSHIBA

TLP250



TOSHIBA

TLP250

RESTRICTIONS ON PRODUCT USE

- Toshiba Corporation, and its subsidiaries and affiliates (collectively "TOSHIBA"), reserve the right to make changes to the information in this document, and related hardware, software and systems (collectively "Product") without notice.
- TOSHIBA's written permission, reproduction is permissible only if reproduction is without alteration/omission.
- Though TOSHIBA works continually to improve Product's quality and reliability, Product can malfunction or fail. Customers are responsible for complying with safety standards and for providing adequate designs and safeguards for their hardware, software and systems which minimize risk and avoid situations in which a malfunction or failure of Product could cause loss of human life, bodily injury or damage to property, including data loss or corruption. Before customers use the Product, careful reviews including the Product, or incorporate the Product into their own applications, customers must also refer to and comply with (a) the latest versions of all relevant TOSHIBA information, including without limitation, this document, the specifications, the architecture and application notes for the Product, and (b) the applicable laws and regulations. TOSHIBA shall not be responsible for any consequences of their own product application with which the Product will be used with or for. Customers are solely responsible for all aspects of their own product design or applications, including but not limited to (a) determining the appropriateness of the use of the Product in such designs or applications; (b) evaluating and determining the applicability of any information contained in this document, or in charts, diagrams, programs, algorithms, sample application circuits, or any other referenced documents; and (c) obtaining all operating parameters for such designs and applications. **TOSHIBA ASSUMES NO LIABILITY FOR CUSTOMERS' PRODUCT DESIGN OR APPLICATIONS.**
- **PRODUCT IS NEITHER INTENDED NOR WARRANTED FOR USE IN EQUIPMENTS OR SYSTEMS THAT REQUIRE EXTRAORDINARILY HIGH LEVELS OF QUALITY AND/OR RELIABILITY, AND/OR A MALFUNCTION OR FAILURE OF WHICH MAY CAUSE LOSS OF HUMAN LIFE, BODILY INJURY, SERIOUS PROPERTY DAMAGE AND/OR SERIOUS PUBLIC IMPACT** (including but not limited to, nuclear facilities, equipment used in the aerospace, highway, medical equipment, equipment used for automobiles, trains, ships and other transportation, traffic signaling equipment, equipment used by construction workers or explosions, safety devices, elevators and escalators, devices related to electric power, and equipment used in fire-control fields). **IF YOU USE PRODUCT FOR UNINTENDED USE, TOSHIBA ASSUMES NO LIABILITY FOR PRODUCT.** For details, please contact your TOSHIBA sales representative.
- Do not disassemble, analyze, reverse-engineer, alter, modify, imitate or copy Product, whether in whole or in part.
- Product shall not be used for or incorporated into any product or system whose manufacture, use, or sale is prohibited under any applicable laws or regulations.
- The information contained herein is presented only as a guide. The Product (and its components) is assumed by TOSHIBA for any infringement of patents or any other intellectual property rights of third parties that may result from the use of Product. No license to any intellectual property right is granted by this document, whether express or implied, by stoppage or otherwise.
- **ASSENT A WRITTEN SIGNED AGREEMENT EXCEPT AS PROVIDED IN THE RELEVANT TERMS AND CONDITIONS OF SALE FOR PRODUCT AND TO THE MAXIMUM EXTENT ALLOWABLE BY LAW, TOSHIBA (1) ASSUMES NO LIABILITY FOR WHATSOEVER, INCLUDING WITHOUT LIMITATION, INDIRECT CONSEQUENTIAL, SPECIAL, OR INCIDENTAL DAMAGES OR LOSS, INCLUDING WITHOUT LIMITATION, LOSS OF PROFITS, LOSS OF OPPORTUNITIES, BUSINESS INTERRUPTION AND LOSS OF DATA, AND (2) DISCLAIMS AND ALL EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES AND CONDITIONS RELATED TO SALE, USE OF PRODUCT OR INFORMATION, INCLUDING WARRANTIES OR CONDITIONS OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, ACCURACY OF INFORMATION, OR NONINFRINGEMENT.**
- GAs (Gallium Arsenide) is used in Product. GAs is hazardous if inhaled, consumed or absorbed, whether in the form of dust or vapor. Handle with care and do not spray, eat, drink, grind, dissolve, chemically or otherwise expose GAs in Product.
- Do not use or otherwise make available Product or related software or technology for any military purposes, including without limitation, for the design, development, use, shipping or maintenance of nuclear, chemical, or biological weapons or missile technology products (mass destruction weapons). Product and related software and technology may be controlled under the applicable export laws and regulations. Export and re-export of Product or related software or technology are strictly prohibited except in compliance with all applicable export laws and regulations.
- Please contact your TOSHIBA sales representative for details as to environmental matters, such as the RoHS compatibility of Product. Please be Product in compliance with all applicable laws and regulations that regulate the inclusion or use of controlled substances, including without limitation, the EU RoHS Directive. **TOSHIBA ASSUMES NO LIABILITY FOR DAMAGES OR LOSSES OCCURRING AS A RESULT OF NONCOMPLIANCE WITH APPLICABLE LAWS AND REGULATIONS.**