

**RANCANG BANGUN ALAT KONTROL PANEL SURYA DENGAN
TEKNIK MAXIMUM POWER POINT TRACKER (MPPT)
MENGUNAKAN ALGORITMA HILL CLIMBING**

(Skripsi)

Oleh

AGUNG DWI SAPUTRA



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

**RANCANG BANGUN ALAT KONTROL PANEL SURYA DENGAN
TEKNIK MAXIMUM POWER POINT TRACKER (MPPT)
MENGUNAKAN ALGORITMA HILL CLIMBING**

Oleh

Agung Dwi Saputra

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2018

ABSTRAK

RANCANG BANGUN ALAT KONTROL PANEL SURYA DENGAN TEKNIK MAXIMUM POWER POINT TRACKER (MPPT) MENGUNAKAN ALGORITMA HILL CLIMBING

Oleh

Agung Dwi Saputra

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan energi surya menjadi energi listrik. PLTS memiliki keuntungan yaitu energi yang dibutuhkan tersedia di alam dan dapat diperbarui (*renewable energy*) serta ramah lingkungan. Salah satu komponen pengubah energi surya menjadi energi listrik pada sistem PLTS adalah panel surya. Panel surya memiliki kekurangan yaitu tingkat efisiensi dayanya yang kecil sehingga diperlukan upaya untuk mengoptimalkan daya yang dihasilkan panel surya. Upaya yang dilakukan untuk mengoptimalkan daya panel surya salah satunya menggunakan alat kontrol panel surya dengan menerapkan teknik *Maximum Power Point Tracker* (MPPT). Alat kontrol teknik MPPT merupakan alat kontrol yang dapat mengatur daya keluaran panel surya agar menghasilkan daya yang maksimum dengan menggunakan DC-DC konverter dan perhitungan algoritma. Pada penelitian ini, dirancang alat kontrol panel surya teknik MPPT dengan menggunakan *buck converter* dan algoritma *hill climbing*. Algoritma *hill climbing* merupakan algoritma MPPT yang akan mengatur *duty cycle buck converter* hingga didapatkan nilai *duty cycle* yang tepat ketika panel surya menghasilkan daya yang optimal. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan daya keluaran panel surya harian dengan alat kontrol MPPT dan alat kontrol tanpa MPPT. Parameter pengujian menggunakan panel surya *solar world* 50 Wp dan baterai 12 Volt/7,2 Ah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa daya keluaran panel surya menggunakan alat kontrol MPPT algoritma *hill climbing* menghasilkan daya lebih besar dibandingkan dengan daya keluaran panel surya menggunakan alat kontrol tanpa MPPT.

Kata kunci: Panel surya, MPPT, Algoritma *hill climbing*, *Buck converter*

ABSTRACT

DESIGN OF SOLAR PANEL CONTROL DEVICE WITH MAXIMUM POWER POINT TRACKER (MPPT) BASED ON HILL CLIMBING ALGORITHM

By

Agung Dwi Saputra

Solar Cell (PLTS) is a power plant that utilizes solar energy as electrical where the required energy is available in nature, renewable and environmentally friendly. One component of converting solar energy into electrical energy in PLTS systems is solar panels. The lack of solar panels that it has small power efficiency as it takes effort to optimize the generated power. Efforts have made to optimize the power of solar panels, like using a solar panel control device by applying the technique Maximum Power Point Tracker (MPPT). MPPT technique control device is a control device that can adjust the output power of solar panels to produce maximum power by using DC-DC converter and algorithm calculation. In this research, MPPT technique designed solar panel control device using buck converter and hill climbing algorithm. The hill climbing algorithm was MPPT algorithm that adjusted the duty cycle buck converter to obtain the correct duty cycle value when the solar panel produces optimal power. Testing was done by comparing the daily solar panel output power with the MPPT controller and the controller without MPPT. Test parameters using solar panel solar world 50 Wp and battery 12 Volt / 7,2 Ah. The test results showed that the output power of the solar panel using the MPPT control device hill climbing algorithm produced greater power than the solar panel output power using a controller without MPPT.

Keywords: Solar panel, MPPT, hill climbing algorithm, Buck converter

Judul Skripsi

: **RANCANG BANGUN ALAT KONTROL PANEL
SURYA DENGAN TEKNIK *MAXIMUM POWER
POINT TRACKER* (MPPT) MENGGUNAKAN
ALGORITMA *HILL CLIMBING***

Nama Mahasiswa

: ***Agung Dwi Saputra***

Nomor Pokok Mahasiswa

: **1315031006**

Jurusan

: **Teknik Elektro**

Fakultas

: **Teknik**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

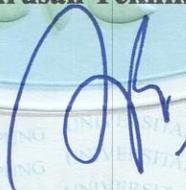


Prof. Dr. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T.
NIP 19710415 199803 1 005



Ir. Noer Soedjarwanto, M.T.
NIP 19631114 199903 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Elektro

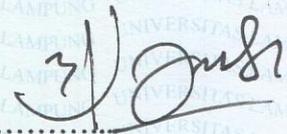


Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.
NIP 19731128 199903 1 005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

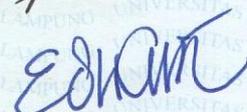
Ketua : Prof. Dr. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T.



Sekretaris : Ir. Noer Soedjarwanto, M.T.

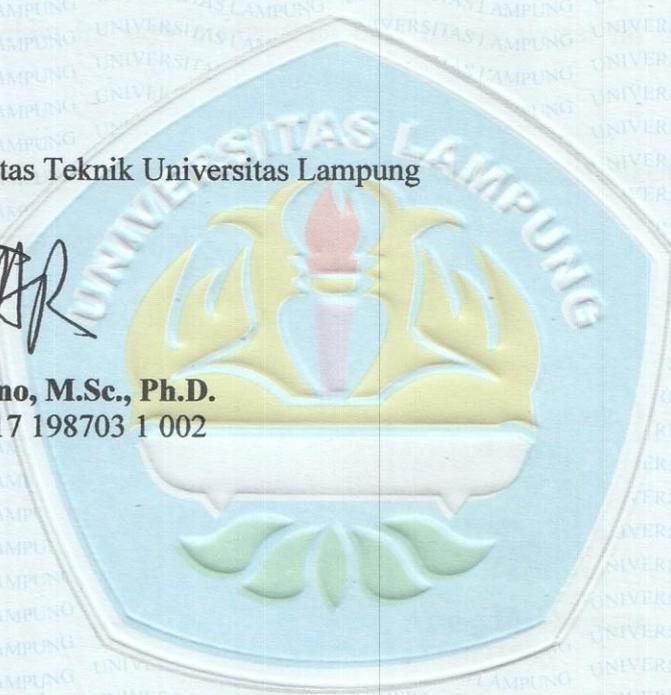


Penguji Utama : Dr. Eng. Endah Komalasari, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D.
NIP 19620717 198703 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 16 Januari 2018

SURAT PERNYATAAN

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

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

Bandar Lampung, 31 Januari 2018



Agung Dwi Saputra
1315031006

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Menggala, Tulang Bawang pada tanggal 14 Mei 1995, buah hati dari pasangan Bapak Zainal Abidin dan Ibu Nuraini dengan latar belakang keluarga sederhana.

Pendidikan formal penulis dimulai dari Sekolah Dasar di SDN 1 Bumi Dipasena Abadi, yang diselesaikan pada tahun 2007. Kemudian Penulis meneruskan pendidikan di SMPN 4 Banjar Agung dan lulus pada tahun 2010 dilanjutkan ke SMA Negeri 2 Menggala dengan mengambil Jurusan Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) dan lulus pada tahun 2013.

Pada tahun yang sama penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) dan mendapatkan Beasiswa Pendidikan Mahasiswa Miskin Berprestasi (BIDIKMISI). Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi Koordinator Asisten Laboratorium Konversi Energi Elektrik (KEE) dan juga pernah aktif di lembaga kemahasiswaan yang ada di Jurusan Teknik Elektro yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Universitas (Himatro) sebagai Sekretaris Umum (2015-2016) dan Anggota Divisi Kewirausahaan (2014-2015). Selain itu, penulis juga aktif di organisasi luar kampus yaitu Forum Komunikasi Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Indonesia (FKHMEI) Wilayah V sebagai Sekretaris Wilayah (2016-2018).

Pada tahun 2015, penulis pernah melakukan kerja praktik di PT. Lentera Angin Nusantara dengan mengambil konsentrasi kontroler panel surya dan pada tahun 2017 direkrut sebagai tim pengembang kurikulum kerja praktek PT. Lentera Angin Nusantara Divisi Kontoler Panel Surya.

MOTO

“Aku Hanya Orang Biasa Yang terlahir Dari Keluarga Biasa, Namun Aku Punya Mimpi Mengubah Yang Biasa Menjadi Luar Biasa”

“Ilmu Itu Bukan Apa Yang Ada Di Atas Kertas Tetapi Apa Yang Ada Difikiran”

“Tak Perlu Berlari Cukup Berjalan Karena Hidup Adalah Perjalanan Bukan Pelarian”

“Hidup Itu Seberapa Serius Kita Membuat Cerita”

(Agung Dwi Sapatra)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Atas Ridho

اللَّهُمَّ

Dengan penuh kerendahan hati, rasa cinta dan kasih ku yang terdalam, aku persembahkan karyaku ini sebagai wujud baktiku kepada kedua orang tuaku:

**ZAINAL ABIDIN
&
NUR AINI**

اللَّهُمَّ اغْفِرْ لِي وَلِوَالِدَيَّ وَارْحَمْهُمَا كَمَا رَبَّيَانِي صَغِيرًا

"Ya Allah Ya Tuhanku, Ampunilah Aku dan Kedua Orangtuaku, sayangilah mereka seperti mereka menyayangiku diwaktu kecil"

SANWACANA

Alhamdulillahillobbil'alamin, segala puji bagi Allah SWT atas limpahan nikmat kesehatan, kesempatan, rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Sholawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW sang penutup para Nabi dan Rasul, kepada keluarga, sahabat, dan pengikutnya yang setia sampai akhir zaman.

Skripsi ini berjudul ***"Rancang Bangun Alat Kontrol Panel Surya Dengan Teknik Maximum Power Point Tracker (MPPT) Menggunakan Algoritma Hill Climbing"*** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung. Selama melaksanakan penelitian ini, penulis banyak mendapatkan pengalaman yang sangat berharga. Penulis juga telah mendapat bantuan baik moril, materi, maupun petunjuk, bimbingan dan saran dari berbagai pihak, secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M.S. selaku Rektor Universitas Lampung;
2. Bapak Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung;

3. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung;
4. Ibu Dr. Eng. Herman Halomon Sinaga, S.T., M.T. selaku sekretaris jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung;
5. Bapak Prof. Dr. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T., selaku Pembimbing Utama atas kesediannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
6. Bapak Ir. Noer Soedjarwanto, M.T., selaku Pembimbing Pendamping atas kesediannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
8. Ibu Dr. Eng. Endah Komalasari, S.T., M.T., selaku Penguji yang telah memberikan masukan dan saran-saran dalam skripsi ini;
9. Ibu Dr. Eng. Dikpride Despa, S.T., M.T., selaku pembimbing akademik yang telah membantu penulis dalam memberikan saran dan masukan selama penulis kuliah.
10. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung atas pengajaran yang diberikan selama ini kepada penulis;
11. Seluruh Staf Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung atas bantuannya semasa penulis kuliah;
12. Kedua orang tua Penulis, Bapak Zainal Abidin dan Ibu Nuraini tercinta yang tidak pernah berhenti memberikan doa, dukungan, dan kasih sayang tiada batas akhir dan semoga Beliau selalu dalam lindungan Allah SWT;

13. Keluarga besar penulis Mas Joni Fajriyanto, Astrid Desti Pramudita, Mbak Istikomah, Hanif Alfarid yang telah memberikan motivasi dan dukungan moril-materil kepada Penulis;
14. Teman - teman 2013, Fikri, Rizki, Andhika, Rendi, Venus, Faris, Paian, Hardy, Hekson, Dimas, Manda, Gusti, Roy, Ridho, Agus, Yasin, Nasrul, Nanang, Valen, Andre, Wahyu, Iqbal, Maruf, Wira, Nurul, Fasyin, Gusti, Yoseph dan lainnya yang tidak bisa Penulis tuliskan satu persatu namanya atas dukungan, cerita dan kebersamaan dalam susah maupun senang, semoga kekeluargaan kita tidak akan terputus sampai kapanpun;
15. Rekan-rekan asisten Laboratorium Konversi Energi Elektrik, Cahya, Budiarto, Bramantio, Bagus, Aswin dan lainnya yang tidak bisa Penulis tuliskan satu persatu namanya atas segala bantuan, dukungan dan semangatnya, serta seluruh penghuni Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung atas kebersamaan dalam belajar dan mengerjakan tugas;
16. Okti Triwidayanti yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini;
17. Keluarga besar Teknik Elektro yang luar biasa;
18. Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (Himatro) atas pengalaman, pembelajaran dan segala rasa yang lahir yang tidak akan pernah terlupakan;
19. Semua pihak yang telah membantu serta mendukung penulis dari awal kuliah hingga terselesaikannya skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Semoga kebersamaan ini membawa kebaikan, keberkahan, kemurahan hati, serta bantuan dan do'a yang telah diberikan seluruh pihak akan mendapatkan balasan yang setimpal dari Allah SWT dan semoga kita menjadi manusia yang berguna dan

berkembang. Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak terlepas dari kesalahan dan jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu masukan serta saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan dimasa yang akan datang. Akhirnya, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Bandar Lampung, Januari 2017

Penulis,

Agung Dwi Saputa
1315031006

DAFTAR ISI

Halaman

ABSTRAK	i
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
LEMBAR PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	2
1.3 Manfaat	3
1.4 Rumusan Masalah	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Hipotesis.....	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Panel Surya.....	5
2.2 Rangkaian Ekuivalen Panel Surya	6
2.3 <i>Maximum Power Point Tracker</i> (MPPT).....	9
2.4 Algoritma <i>Hill Climbing</i>	11
2.5 <i>Buck Converter</i>	14
2.5.1 Prinsip Kerja <i>Buck Converter</i>	15
2.6 Arduino Uno	18
2.6.1 Spesifikasi Arduino Uno	19
2.6.2 Catu Daya Arduino Uno	19
2.7 <i>Gate Driver</i>	20

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	22
3.2 Alat dan Bahan	22
3.3 Metode Penelitian.....	24
3.4 Pengujian	27
3.4.1 Simulasi Alat	27
3.4.2 Pengujian Alat.....	29

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Perancangan Pemodelan Alat.....	32
4.1.1 Pemodelan Panel Surya.....	32
4.1.2 Pemodelan Teknik MPPT (<i>Maximum Power Point Tracker</i>) Algoritma <i>Hill Climbing</i>	41
4.1.3 Pemodelan <i>Buck Converter</i>	42
4.1.4 Pemodelan Alat Kontrol Panel Surya Teknik MPPT.....	43
4.2 Pengujian Model Alat Kontrol Panel Surya Teknik MPPT.....	44
4.2.1 Pengaruh Perubahan <i>Irradiance</i> terhadap Daya Keluaran Panel Surya.....	44
4.2.2 Pengaruh Perubahan Suhu Terhadap Daya Keluaran Panel Surya	46
4.2.3 Pengujian Daya Keluaran Panel Surya Menggunakan Alat Kontrol Panel Surya Teknik MPPT Algoritma <i>Hill Climbing</i>	48
4.3 Perancangan & Pengujian Alat	53
4.3.1 Rancang Bangun <i>Buck Converter</i>	53
4.3.2 Rancang Bangun <i>Gate Driver</i>	58
4.3.3 Rancangan Bangun Sensor Tegangan dan Arus	62
4.3.4 Rancang Bangun <i>Isolated Power Supply</i>	65
4.3.5 Rancang Bangun Alat Kontrol Panel Surya Teknik MPPT	76
4.3.6 Perancangan Program dan Algoritma <i>Hill Climbing</i> di Arduino UNO.....	78
4.4 Perbandingan Daya Panel Surya menggunakan Alat Kontrol Teknik MPPT dan Daya Panel Surya menggunakan Alat Kontrol Tanpa MPPT....	80

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	88
5.2 Saran	89

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Gambar 2.1. Grafik karakteristik panel surya	5
2. Gambar 2.2 Rangkaian ekuivalen panel surya.....	6
3. Gambar 2.3. Kurva Karakteristik P-V dengan perubahan tegangan untuk kondisi MPP.....	12
4. Gambar 2.4 Alir kerja algoritma <i>hill climbing</i>	14
5. Gambar 2.5. Rangkaian <i>buck converter</i>	15
6. Gambar 2.6 <i>Sakelar on</i> pada <i>buck converter</i>	16
7. Gambar 2.7. <i>Sakelar off</i> pada <i>buck converter</i>	16
8. Gambar 2.8. Arduino Uno.	18
9. Gambar 2.9 Rangkaian dalam IC HCPL3120.....	20
10. Gambar 3.10 Diagram alir penelitian.	24
11. Gambar 3.12 Rancangan alat kontrol panel surya.	26
12. Gambar 4.1. Rangkaian Pengganti Panel Surya.	33
13. Gambar 4.2. Model matematik persamaan arus <i>photovoltaic (Ipv)</i>	34
14. Gambar 4.3 Model matematik arus <i>photocurrent (Iph)</i>	35
15. Gambar 4.4 Model matematik arus saturasi sel surya (<i>Is</i>)	36
16. Gambar 4.5 Model matematik arus saturasi gelap (<i>Irs</i>).	37
17. Gambar 4.6 Pemodelan matematik untuk mencari <i>dioda factor (A)</i>	38
18. Gambar 4.7 Pemodelan matematik untuk mencari hambatan seri (<i>Rs</i>).....	39
19. Gambar 4.8. Pemodelan matematik hambatan <i>shunt (Rsh)</i>	40
20. Gambar 4.9 Model panel surya dengan menggunakan <i>simulink</i> Matlab.....	41
21. Gambar 4.10 Pemodelan teknik kontrol MPPT dengan menggunakan Algoritma <i>hill climbing</i>	42
22. Gambar 4.11 Pemodelan rangkaian <i>buck converter</i> pada <i>simulink</i> Matlab	42
23. Gambar 4.12 Pemodelan alat kontrol panel surya teknik MPPT	44
24. Gambar 4.13 Grafik karakteristik daya terhadap tegangan (P-V) ketika Nilai <i>irradiance</i> bervariasi.....	45
25. Gambar 4.14. Grafik karakteristik arus terhadap tegangan (P-V) ketika Nilai <i>irradiance</i> bervariasi.....	45
26. Gambar 4.15. Grafik karakteristik daya terhadap tegangan (P-V) ketika nilai suhu bervariasi.....	47
27. Gambar 4.16. Grafik karakteristik arus terhadap tegangan (P-V) ketika nilai suhu bervariasi.....	47
28. Gambar 4.17. Perbandingan daya keluaran panel surya menggunakan Teknik MPPT dan tanpa teknik MPPT.....	48
29. Gambar 4.18.(1) Variasi nilai <i>irradiance</i> (2) Daya keluaran panel surya	

(3) <i>Duty Cycle</i> MPPT	50
30. Gambar 4.19. (1) Variasi nilai suhu (2) Daya keluaran panel surya (3) <i>Duty cycle</i> MPPT	52
31. Gambar 4.20. Hasil rancangan <i>buck converter</i>	54
32. Gambar 4.21. Hasil perancangan <i>PCB Layout</i>	55
33. Gambar 4.22. Rangkaian <i>buck converter</i>	56
34. Gambar 4.23. Grafik perbandingan tegangan pengukuran dan perhitungan keluaran <i>buck converter</i>	57
35. Gambar 4.24. Gelombang <i>ripple</i> tegangan keluaran <i>buck converter</i>	58
36. Gambar 4.25. Rancangan penguat sinyal (<i>gate driver</i>)	59
37. Gambar 4.26. Rancangan <i>PCB Layout gate driver</i>	60
38. Gambar 4.27. Rangkaian <i>gate driver</i>	60
39. Gambar 4.28. Hasil dari pengujian <i>gate driver</i>	61
40. Gambar 4.29. Rancangan sensor tegangan	62
41. Gambar 4.30. Sensor arus MAX471	63
42. Gambar 4.31. Rancangan <i>PCB Layout</i> sensor tegangan dan sensor arus....	63
43. Gambar 4.32. Realisasi perangkat keras sensor tegangan dan sensor arus .	64
44. Gambar 4.33. Sekema alat <i>isolated power supply</i>	66
45. Gambar 4.34. Rangkaian daya inverter <i>pull up</i>	66
46. Gambar 4.35. Rancangan penghasil sinyal menggunakan IC TL494	68
47. Gambar 4.36. Rangkaian AC-DC konverter dan regulator tegangan.....	69
48. Gambar 4.37. Rancangan rangkaian <i>isolated power supply</i>	70
49. Gambar 4.38. <i>PCB Layout</i> rangkaian <i>isolated power supply</i>	70
50. Gambar 4.39. Realisasi alat <i>isolated power supply</i>	71
51. Gambar 4.40. Pengujian PWM generator.....	72
52. Gambar 4.41. Keluaran gelombang sinyal IC TL494	72
53. Gambar 4.42. Keluaran trafo untuk tegangan 15 Volt	73
54. Gambar 4.43. Keluaran trafo untuk tegangan 5 Volt	73
55. Gambar 4.44. Keluaran tegangan 15 Volt DC dan 5 Volt DC	74
56. Gambar 4.45. (a) Pengukuran masukan, (b) Pengukuran keluaran 5 Volt (c) Pengukuran 15 Volt.....	75
57. Gambar 4.46. Hasil rancangan rangkaian kontrol panel surya.....	77
58. Gambar 4.47. Rangkaian keseluruhan alat kontrol panel surya teknik MPPT.....	78
59. Gambar 4.48. Tampilan awal <i>software</i> Arduino IDE 1.0.6.....	79
60. Gambar 4.49. Diagram alir pemrograman alat kontrol panel surya teknik MPPT algoritma <i>hill climbing</i>	80
61. Gambar 4.50. Grafik data <i>irradiance</i> harian panel surya	82
62. Gambar 4.51. Grafik data suhu harian panel surya	83
63. Gambar 4.52. Data perbandingan tegangan keluaran panel surya pada Saat menggunakan alat kontrol MPPT dan tanpa MPPT	84
64. Gambar 4.53. Data perbandingan arus keluaran panel surya pada Saat menggunakan alat kontrol MPPT dan tanpa MPPT	84
65. Saat menggunakan alat kontrol MPPT dan tanpa MPPT	84
66. Gambar 4.54. Data perbandingan daya keluaran panel surya pada Saat menggunakan alat kontrol MPPT dan tanpa MPPT	85

DAFTAR TABEL

	Halaman
1. Tabel 2.1 Ringkasan Arduino Uno	19
2. Tabel.2.2 Pin IC HCPL3120 dan kegunaanya	21
3. Tabel 4.1 Parameter modul panel surya <i>tipesolar world</i> pada <i>Standart Test Conditions</i>	32
4. Tabel 4.2 Parameter perancangan <i>buck converter</i>	43
5. Tabel 4.3 Pengujian perubahan nilai <i>duty cycle</i>	56
6. Tabel 4.4 Tabel hasil pengujian sensor tegangan.....	64
7. Tabel 4.5 Hasil pengujian sensor arus.....	65

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Panel surya adalah alat yang digunakan untuk mengubah energi surya menjadi energi listrik. Panel surya merupakan pembangkit listrik yang memiliki kelebihan yaitu ramah lingkungan, energi yang dibutuhkan tersedia di alam dan selalu terbarukan (*renewabel energy*) [1]. Namun panel surya memiliki kekurangan yaitu panel surya tidak dapat mengubah energi surya yang diterima secara keseluruhan karena efisiensi panel surya yang kecil yaitu 10% - 20%. Tingkat efisiensi panel surya dipengaruhi oleh kualitas bahan semikonduktor yang digunakan [2]. Dengan demikian dibutuhkan sebuah teknologi yang mampu mengoptimalkan daya keluaran panel surya agar dapat digunakan oleh beban secara keseluruhan.

Salah satu teknologi yang dapat mengoptimalkan daya keluaran panel surya yaitu adalah teknik *Maximum Power Point Tracker* (MPPT). Teknik MPPT adalah teknik yang memaksa daya keluaran panel surya agar selalu optimal dengan bantuan DC-DC konverter yang telah diatur *duty cyclenya* sesuai hasil perhitungan algoritma [3]. Terdapat beberapa algoritma yang telah digunakan pada alat kontrol teknik MPPT yaitu *Perturb and Observe*, *Hill Climbing*, *Fuzzy Logic*, dll. Semua algoritma tersebut memiliki teknik berbeda-beda dalam

proses optimalisasi daya panel surya, termasuk kesederhanaan perhitungan, kecepatan perhitungan, implementasi pada perangkat keras, sensor yang dibutuhkan, biaya, efektifitas dan parameter yang dibutuhkan [4]. Pada penelitian ini akan diterapkan teknik MPPT dengan menggunakan algoritma *hill climbing*.

Algoritma *hill climbing* dipilih karena memiliki kelebihan yaitu perhitungan yang lebih sederhana, tidak memerlukan parameter di luar sistem panel surya, respon sistem yang cepat dan ekonomis. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan penelitian tentang pemodelan dan simulasi alat kontrol panel surya teknik MPPT algoritma *hill climbing* pada *Matlab* dengan hasil penelitian bahwa dengan menerapkan algoritma *hill climbing*, daya panel surya akan bekerja pada titik operasi daya optimum [5]. Pada penelitian ini algoritma *hill climbing* akan diterapkan pada alat kontrol panel surya. Hasil perhitungan algoritma *hill climbing* adalah nilai *duty cycle* yang akan mengatur pensakelaran *buck converter* sehingga diharapkan dapat memaksa panel surya menghasilkan daya keluaran yang optimum.

1.2 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang alat kontrol panel surya dengan teknik *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) algoritma *hill climbing*.
2. Mengontrol *buck converter* dengan cara mengatur *duty cycle* (D) sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) agar daya panel surya selalu berada pada titik daya optimal.

1.3 Manfaat

Manfaat yang diharapkan tercapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan sebuah alat kontrol panel surya dengan teknik *Maximum Power Point Tracker* (MPPT)
2. Dengan mengatur *duty cycle buck converter* menggunakan perhitungan algoritma *hill climbing*, diharapkan daya keluaran panel surya selalu optimum.

1.4 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membangun alat kontrol panel surya dengan teknik *Maximum Power Point Tracker* (MPPT).
2. Bagaimana pengaruh algoritma *hill climbing* pada alat kontrol dengan teknik MPPT terhadap perolehan daya panel surya.

1.5 Batasan Masalah

Beberapa hal yang membatasi masalah dalam pembahasan tugas akhir ini adalah:

1. Teknik MPPT yang digunakan yaitu algoritma *hill climbing*.
2. Menggunakan panel surya dengan kapasitas daya 50 Watt jenis *Solar World SW50*.

1.6 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah dengan menggunakan alat kontrol teknik *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) algoritma *hill climbing* dapat mengoptimalkan daya keluaran panel surya.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang latar belakang, tujuan, manfaat, rumusan masalah, batasan masalah, hipotesis, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan mengenai landasan teori secara garis besar yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi mengenai hasil pengujian dan pembahasan terhadap hasil penelitian yang diperoleh.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian serta saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

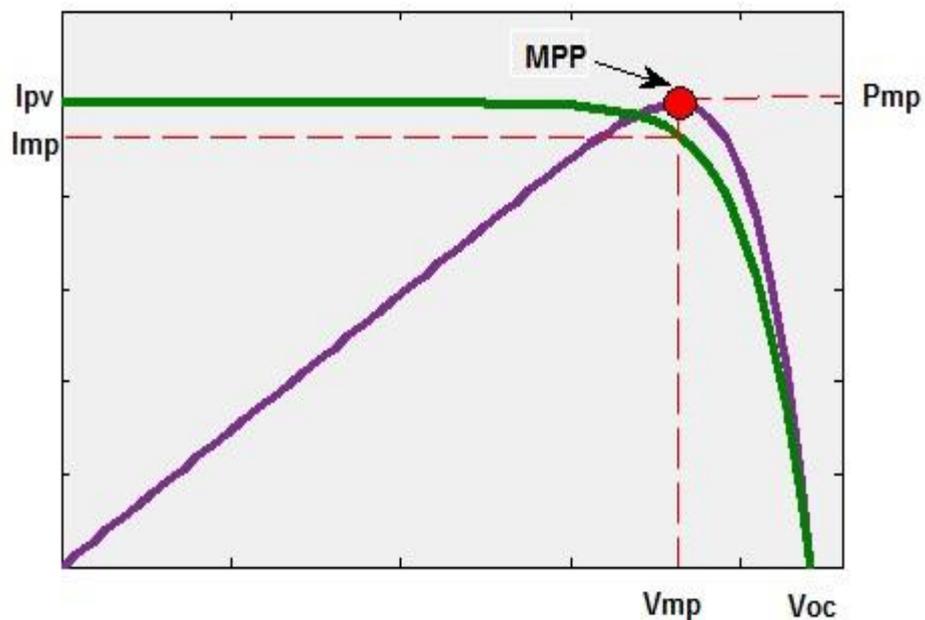
LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karakteristik Panel Surya

Panel surya merupakan peralatan yang dapat mengubah energi surya menjadi energi listrik [1]. Panel surya memiliki grafik karakteristik arus terhadap tegangan (V-I) dan grafik karakteristik daya terhadap tegangan (P-V). Grafik V-I dan P-V ditunjukkan pada Gambar 2.1.



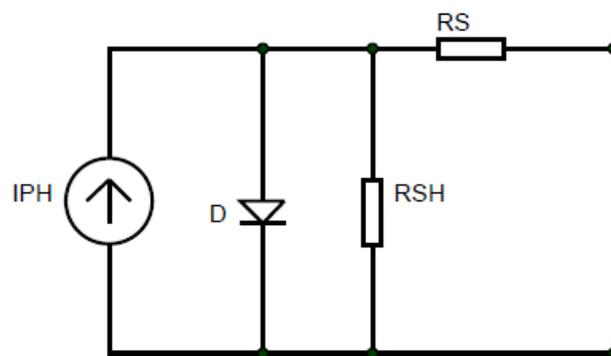
Gambar 2.1 Grafik karakteristik panel surya [3]

Pada Gambar 2.1 dapat dilihat hubungan arus terhadap tegangan panel surya (Kurva I-V) dan hubungan daya terhadap tegangan (Kurva P-V). Pada kurva

P-V terdapat suatu titik panel surya dapat menghasilkan daya yang maksimum atau yang disebut dengan *Maximum Power Point* (MPP) [3]. Pada penelitian ini sebelum perancangan perangkat keras, akan dilakukan pemodelan alat kontrol teknik MPPT di Matlab sehingga memerlukan perhitungan rangkaian ekuivalen panel surya.

2.2. Rangkaian Ekuivalen Panel Surya.

Rangkaian ekuivalen panel surya merupakan rangkaian matematis pengganti panel surya yang tersusun dari rangkaian listrik. Rangkaian ekuivalen terdiri dari sumber arus, dioda, hambatan seri dan hambatan paralel. Rangkaian ekuivalen panel surya ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Rangkaian ekuivalen panel surya [6].

Photocurrent (I_{ph}) merupakan arus yang ditimbulkan dari pancaran sinar matahari secara langsung. I_{ph} bervariasi sesuai dengan pancaran sinar matahari dan suhu permukaan panel surya. Selain itu I_{ph} dipengaruhi juga oleh hambatan intrinsik panel surya yaitu hambatan seri (R_s) dan hambatan paralel (R_{sh}). Persamaan dari arus dioda dan arus keluaran panel surya adalah sebagai berikut [7]:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_D - I_{rsh} \quad (2.1)$$

Persamaan di atas dapat dijabarkan dengan persamaan berikut

$$I_{pv} = N_p I_{ph} - N_p I_s \left(\exp \frac{q(V_{pv} + I_{pv} R_s)}{N_s A k T_c} - 1 \right) - \frac{(V_{pv} + I_{pv} R_s)}{R_{sh}} \quad (2.2)$$

Dimana:

I_{pv} = Arus *photovoltaic*

I_{ph} = *Photocurrent*

I_D = Arus pada dioda

I_{rsh} = Arus hambatan *shunt*

I_s = Arus saturasi sel surya

q = Elektron = 1.6×10^{-19} C

V_{pv} = Tegangan pada sel

T_c = Suhu kerja sel

R_s = Hambatan seri

R_{sh} = Hambatan *shunt*

A = *Dioda factor*

k = Konstanta Boltzman = 1.38×10^{-23} J/K

N_s = Jumlah sel surya yang disusun seri

N_p = Jumlah sel surya yang disusun paralel

Pada persamaan 2.2, terdapat parameter yang belum dijabarkan seperti *photovoltaic* (I_{ph}) dan arus saturasi sel surya (I_s). Persamaan untuk mencari nilai I_{ph} dan I_s sebagai berikut:

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_i(T_c - T_{ref})] \frac{\beta}{\beta_{ref}} \quad (2.3)$$

Dimana:

β = *Solar irradiance*

β_{ref} = Solar irradiance reference (1000 W/m²)

K_i = Koefisien suhu dari arus I_{sc}

I_{sc} = Arus hubung singkat pada suhu kerja

$$I_s = I_{rs} \left[\frac{T_c}{T_{ref}} \right]^3 \exp \left[\frac{qE_g}{Ak} \left\{ \frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_c} \right\} \right] \quad (2.4)$$

Dimana:

T_{ref} = Suhu referensi (25°C = 298°K)

I_{rs} = Arus saturasi gelap

Sedangkan arus saturasi gelap dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut:

$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{\left[\exp \left(\frac{qV_{oc}}{N_s k A T_{ref}} \right) - 1 \right]} \quad (2.5)$$

Dimana:

I_{sc} = Arus hubung singkat pada *Standar Test Condition* (STC).

V_{oc} = Tegangan hubung singkat pada *Standar Test Condition* (STC).

Persamaan untuk mencari hambatan seri (R_s) adalah sebagai berikut:

$$R_s = \frac{\frac{N_s A k T_c}{q} \ln \left(1 - \frac{I_m}{I_{sc}} \right) + V_{oc} - V_m}{I_m} \quad (2.6)$$

Persamaan untuk menentukan *dioda factor* (A) adalah sebagai berikut:

$$A = \frac{q(2V_m - V_{oc})}{N_s k T_c \left(\frac{I_{sc}}{I_{sc} - I_m} + \ln \left(1 - \frac{I_m}{I_{sc}} \right) \right)} \quad (2.7)$$

Dimana:

I_m = Arus maksimum sel surya

V_m = Tegangan maksimum sel surya

Hambatan *shunt* ideal dibuat dengan nilai hambatan yang besar. Agar didapat nilai yang besar, maka diasumsikan nilai dari $I_{sc} - I_x = 1 \text{ mA}$ dan $V_{sc} = 0 \text{ V}$. I_x merupakan besarnya arus yang mengalir pada hambatan *shunt* setelah melewati setiap cabang dioda dan hambatan seri. Penentuan nilai hambatan *shunt* pada kondisi standar, sehingga diperoleh sebagai berikut:

$$R_{sh} = \frac{0,5V_{oc} - V_{sc}}{I_{sc} - I_x} \quad (2.8)$$

Dimana:

V_{oc} = Tegangan *open circuit* sel surya

V_{sc} = Tegangan *short circuit* sel surya

I_{sc} = Arus hubung singkat pada suhu kerja

2.3. *Maximum Power Point Tracker (MPPT).*

Maximum Power Point Tracker (MPPT) adalah teknik yang digunakan untuk mengoptimalkan daya panel surya dengan cara mengontrol daya keluaran panel surya agar daya yang dihasilkan selalu berada pada titik daya maksimum [7]. Ada beberapa contoh algoritma yang telah diterapkan pada alat kontrol teknik MPPT yaitu algoritma *fuzzy logic*, algoritma *perturb and observe* dan algoritma *hill climbing*. Setiap algoritma tersebut memiliki tujuan yang sama yaitu mendapatkan daya keluaran panel surya yang optimum, namun setiap algoritma memiliki cara yang berbeda-beda untuk mencapai titik MPP panel surya. Perbedaannya yaitu algoritma *fuzzy logic* akan mengatur *duty cycle* DC-DC konverter sesuai dengan parameter *irradiance* yang diterima panel surya dan daya keluaran panel surya sesuai dengan tabel aturan *fuzzy* sehingga daya panel surya berada pada titik MPP

[8]. Sedangkan algoritma *hill climbing* adalah algoritma yang cara kerjanya diasumsikan sebagai algoritma yang menjajak grafik karakteristik P-V panel surya hingga titik MPP. Keluarannya berupa nilai *duty cycle* dan parameter masukannya yaitu nilai tegangan dan arus keluaran panel surya. Algoritma *hill climbing* akan mencari daya maksimum dengan cara melakukan iterasi secara berulang dengan hasil berupa pengurangan atau penambahan nilai *duty cycle* (*Dstep*) yang sudah ditentukan sampai didapatkan titik kerja daya keluaran panel surya maksimum (Titik MPP) [9].

Algoritma *fuzzy logic* memiliki kelebihan yaitu proses awal pencarian titik daya optimum lebih cepat dibandingkan dengan algoritma *hill climbing* karena algoritma *fuzzy logic* telah memiliki parameter *duty cycle* yang tepat pada tabel aturan *fuzzy* untuk kondisi *irradiance* ketika panel surya menghasilkan daya optimum. Sedangkan algoritma *hill climbing* melakukan iterasi dan setiap iterasi yang dilakukan akan terjadi proses penambahan atau pengurangan *duty cycle* sesuai dengan nilai *Dstep* hingga didapatkan nilai *duty cycle* yang tepat pada titik kerja MPP. Waktu iterasi akan ditentukan sesuai dengan nilai *Dstep* yang diberikan. Semakin besar nilai *Dstep* maka waktu untuk mencapai kondisi *steady state* akan semakin cepat namun akan bekerja lebih jauh dari daerah MPP, sedangkan jika nilai *Dstep* kecil maka waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi *steady state* akan lebih lama namun titik kerja *duty cycle* akan mendekati titik MPP Panel surya. Namun, algoritma *fuzzy logic* memerlukan pemrograman yang lebih rumit dibandingkan dengan algoritma *hill climbing*, disamping itu alat kontrol akan

selalu berada di luar ruangan karena memerlukan pengukuran *irradiance* sinar matahari selain itu harga sensor *irradiance* mahal sehingga mengurangi sisi ekonomis alat. Pada penelitian ini akan digunakan algoritma *hill climbing* dengan memberikan nilai $Dstep$ yang optimal agar didapatkan waktu *steady state* yang cepat dan bekerja mendekati daerah MPP.

2.4. Algoritma *Hill Climbing*.

Algoritma *hill climbing* merupakan algoritma yang digunakan untuk mencari titik daya optimum panel surya dengan cara mengatur daya keluaran panel surya menggunakan rangkaian DC-DC konverter. Prinsip kerja algoritma *hill climbing* diasumsikan seperti proses menjajak gunung untuk mencapai puncak. Dalam hal ini objek yang dijajak (*tracker*) yaitu grafik karakteristik P-V sedangkan puncak yang akan dicapai yaitu titik MPP. Titik MPP merupakan titik ketika panel surya mampu menghasilkan daya tertinggi [5].

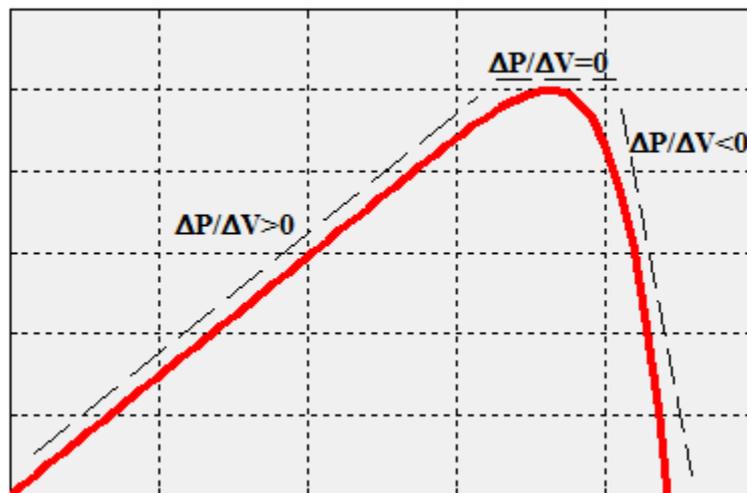
Perancangan algoritma *hill climbing* memerlukan dua parameter untuk menentukan *slope* yaitu tegangan keluaran panel surya (V_{pv}) dan arus keluaran panel surya (I_{pv}) [9]. *Slope* yaitu perubahan daya (ΔP) dibagi dengan perubahan (ΔV). Perubahan daya dan tegangan dapat dicari dengan rumus:

$$\Delta P = P(n) - P(n-1) \quad (2.9)$$

$$\Delta V = V(n) - V(n-1) \quad (2.10)$$

$P(n)$ merupakan daya sekarang, $P(n-1)$ merupakan daya sebelumnya, $V(n)$ merupakan tegangan sekarang dan $V(n-1)$ merupakan tegangan sebelumnya.

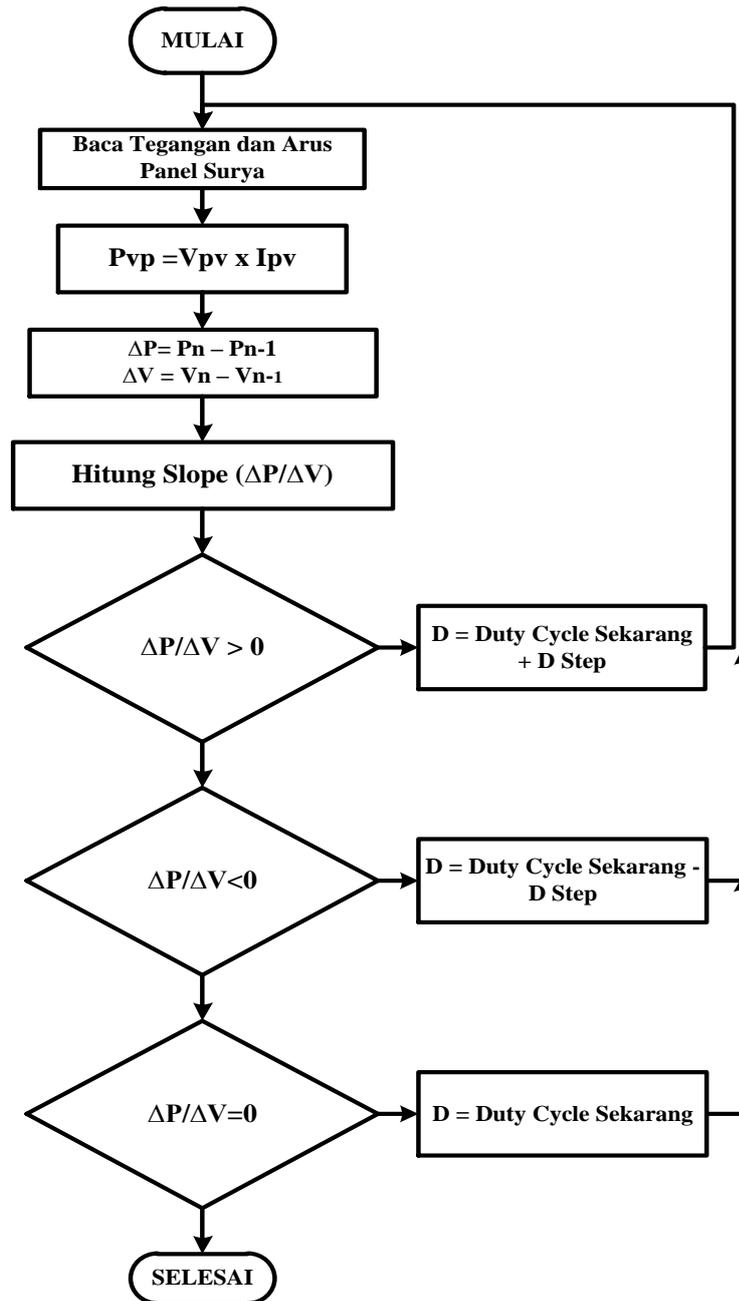
Pada Gambar 2.3, titik $\Delta P/\Delta V=0$ menunjukkan bahwa panel surya menghasilkan daya yang maksimum atau disebut titik *Maximum Power Point* (MPP), sedangkan titik $\Delta P/\Delta V>0$ dan titik $\Delta P/\Delta V<0$ menunjukkan bahwa daya panel surya berada di bawah daya maksimum karena titik tersebut terletak di bawah titik MPP. $\Delta P/\Delta V>0$ berada pada sisi kiri titik MPP sedangkan $\Delta P/\Delta V<0$ berada pada sisi kanan titik MPP.



Gambar 2.3. Kurva karakteristik P-V dengan perubahan tegangan untuk kondisi MPP [9].

Untuk mencapai titik MPP, algoritma *hill climbing* akan bekerja dengan melakukan iterasi secara berulang hingga mencapai titik MPP. Alur kerja algoritma *hill climbing* dijelaskan pada Gambar 2.4. Dijelaskan bahwa, algoritma *hill climbing* memerlukan masukan berupa nilai tegangan dan arus panel surya. Proses selanjutnya yaitu menghitung daya keluaran panel surya, perubahan daya panel surya (ΔP), perubahan tegangan panel surya (ΔV) dan *slope*. Keluaran algoritma *hill climbing* merupakan nilai *duty cycle* sinyal PWM yang ditentukan sesuai dengan nilai *slope*. Ketika *slope* lebih besar dari nol maka *duty cycle* sekarang tambah *Dstep*. Ketika *slope* lebih kecil

dari nol maka *duty cycle* sekarang dikurang *Dstep* dan ketika *slope* sama dengan nol, *duty cycle* sekarang sama dengan *duty cycle* sebelumnya. *Dstep* merupakan nilai penambahan *duty cycle* yang ditentukan setiap satu kali proses pengulangan perhitungan algoritma. Semakin besar nilai *Dstep*, semakin cepat proses untuk mencapai titik MPP namun kurang presisi. Semakin kecil nilai *Dstep* semakin lambat proses untuk mencapai titik MPP namun lebih presisi [5].

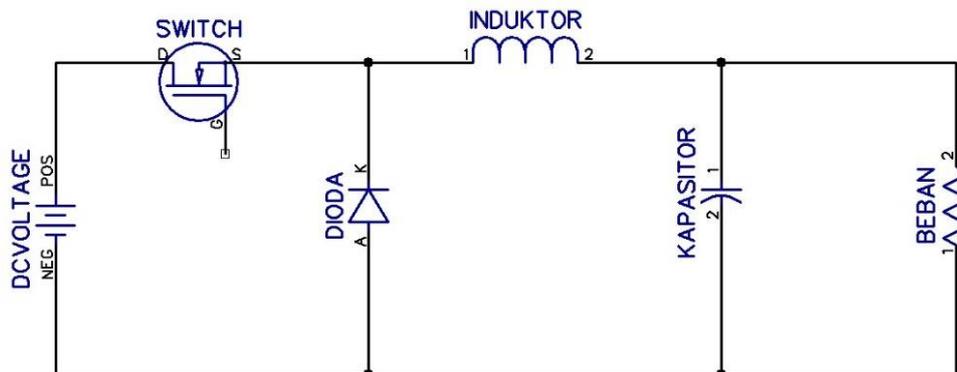


Gambar 3.3 Alir kerja algoritma *hill climbing* [5].

2.5. Buck Converter

Buck converter adalah DC-DC konverter yang digunakan untuk menurunkan tegangan. *Buck converter* disebut juga sebagai *step-down converter*. Rangkaian *buck converter* terdiri dari *electronic switch*, filter LC, dioda serta

rangkaian penghasil sinyal [10]. Rangkaian *buck converter* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



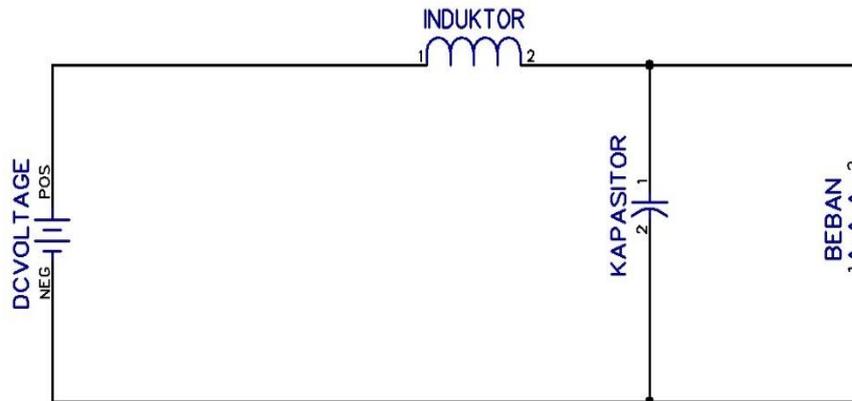
Gambar 2.5. Rangkaian *buck converter* [11].

Buck converter memiliki bagian yang disebut dengan *switch*. *Switch* menggunakan komponen seperti mosfet, thyristor & IGBT. *Switch* diatur oleh *Pulse Wave Modulation* (PWM) dengan cara mengatur lebar sinyal sesuai dengan keluaran *buck converter* yang diinginkan. Rangkaian *buck converter* dapat dioperasikan dalam dua mode yaitu *continuous conduction mode* dan *discontinuous conduction mode*. Pada *continuous conduction mode*, arus akan mengalir secara terus-menerus melewati induktor sehingga arus dari induktor tidak akan mencapai nilai nol (0). Sedangkan pada *discontinuous conduction mode* arus yang melewati induktor akan bernilai nol untuk rentang waktu tertentu.

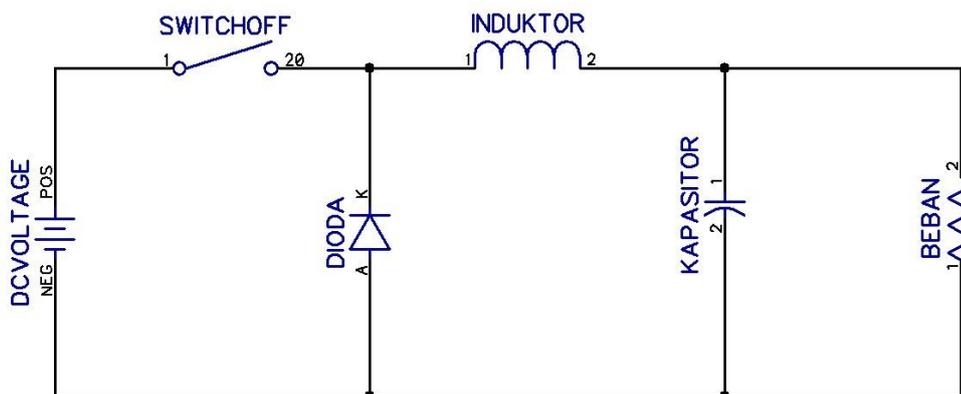
2.5.1 Prinsip Kerja *Buck Converter*

Cara kerja *buck converter* terdapat pada dua kondisi yaitu pada saat sakelar *on* dan sakelar *off*. Pada saat kondisi sakelar *on*, sakelar akan berada pada posisi tertutup sehingga arus dari sumber akan mengalir menuju induktor kemudian menuju beban. Sedangkan pada saat sakelar *off*, sakelar akan

berada pada kondisi terbuka. Pada kondisi ini energi yang tersimpan pada induktor dan kapasitor akan diteruskan ke beban melalui dioda. Pada kondisi sakelar *on*, dioda dibias *reverse* sehingga pada kondisi ini, dioda tidak mengalirkan arus. Sedangkan pada saat kondisi sakelar *off* dioda dibias *forward* [11].



Gambar 2.6. Sakelar *on* pada *buck converter* [11].



Gambar 2.7. Sakelar *off* pada *buck converter* [11].

Analisis Kondisi Sakelar ON

Pada kondisi sakelar *on*, sakelar dianggap tertutup dan arus mengalir menuju beban. Pada kondisi ini dioda dibias *reverse* dan secara matematis tegangan induktor dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini [11].

$$V_L = V_s - V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.11)$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}\frac{di_L}{dt} &= \frac{V_s - V_o}{L} \\ \frac{di_L}{dt} &= \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s - V_o}{L} \\ (\Delta i_L)_{closed} &= \left(\frac{V_s - V_o}{L}\right) DT\end{aligned}\quad (2.12)$$

Analisis Kondisi Sakelar OFF

Pada kondisi sakelar *off*, sakelar berada pada kondisi terbuka dan arus tidak dapat mengalir dari sumber menuju beban. Pada kondisi ini dioda terpasang *forward* sehingga secara matematis tegangan induktor dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini [11].

$$V_L = -V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.13)$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}\frac{di_L}{dt} &= \frac{-V_o}{L} \\ \frac{\Delta i_L}{\Delta t} &= \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = -\frac{V_o}{L} \\ (\Delta i_L)_{open} &= -\left(\frac{V_o}{L}\right) (1-D)T\end{aligned}\quad (2.14)$$

Pada kondisi sakelar *on* dan sakelar *off* disubstitusikan, sehingga:

$$\begin{aligned}(\Delta i_L)_{closed} + (\Delta i_L)_{open} &= 0 \\ \left(\frac{V_s - V_o}{L}\right) DT - \left(\frac{V_o}{L}\right) (1-D)T &= 0\end{aligned}\quad (2.15)$$

Dari persamaan tersebut didapatkan tegangan keluaranya yaitu:

$$V_o = V_s D \quad (2.16)$$

Keterangan:

V_o : Tegangan keluaran (Volt)

V_s : Tegangan sumber (Volt)

D : *Duty cycle* (%)

Sedangkan untuk arus keluaranya yaitu:

$$I_o = \frac{V_o}{R} \quad (2.17)$$

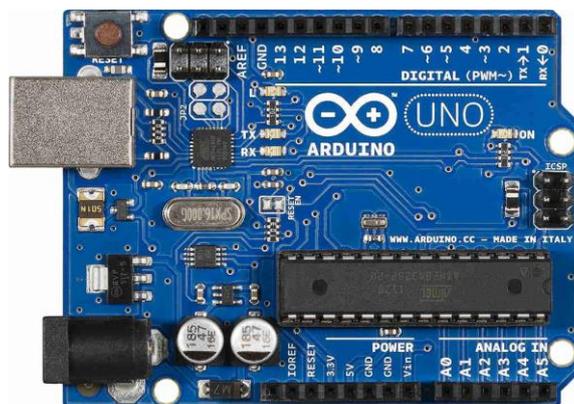
Keterangan

I_o : Arus beban (Ampere)
 V_o : Tegangan keluaran (Volt)
 R : Beban (Ohm)

Dalam pengoperasiannya, rangkaian *buck converter* memerlukan sinyal PWM (*Pulse Wave Modulation*). Pada penelitian ini, sinyal PWM menggunakan Arduino Uno. Arduino Uno dapat menghasilkan gelombang PWM dengan menggunakan *source code* tertentu sehingga frekuensi dan *duty cycle* dapat diubah-ubah dengan program tertentu sesuai dengan kebutuhan.

2.6. Arduino Uno

Arduino Uno adalah sebuah *board* kontroler yang di dalamnya terdapat mikrokontroler ATmega 328P. Arduino Uno memiliki jumlah pin yang terdiri atas 14 pin digital dan 6 pin output (PWM), Selain itu Arduino Uno memiliki osilator kristal 16 MHz, kabel USB dan *power jack* [12]. Arduino Uno dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.8. Arduino Uno [12].

2.6.1. Spesifikasi Arduino Uno

Secara umum, spesifikasi dari Arduino Uno dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Ringkasan Arduino Uno [12].

Spesifikasi	Nominal
Tegangan pengoperasian	5V
Tegangan <i>input</i> yang disarankan	7-12V
Batas tegangan <i>input</i>	6-20V
Jumlah pin I/O digital	14
Jumlah pin <i>input</i> analog	6
Arus DC tiap pin I/O	20 mA
Arus DC untuk pin 3.3V	50 mA
<i>Clock Speed</i>	16 MHz
<i>Flash Memory</i>	32 KB
SRAM	2 KB

2.6.2. Catu Daya Arduino Uno.

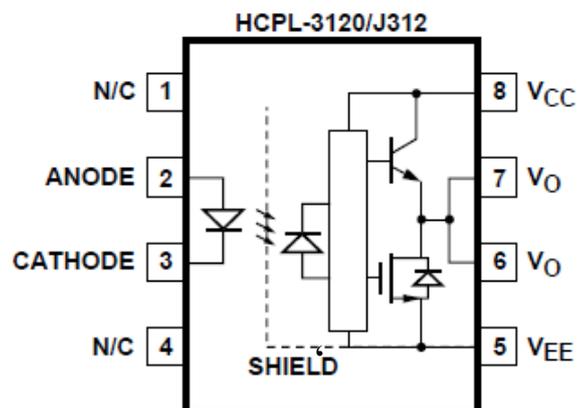
Arduino Uno dapat disuplai melalui koneksi USB atau dengan catu daya dari *power supply* DC. Arduino Uno memiliki pin-pin daya, yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Pin V_{IN} merupakan tegangan *input* ke *board* Arduino Uno ketika *board* sedang menggunakan sumber suplai eksternal.
- b. Pin 5V merupakan pin *output* tegangan 5 Volt yang diatur dari regulator pada *board*.
- c. Pin 3,3 V merupakan pin *output* suplai 3,3 Volt dihasilkan oleh regulator pada *board*. Arus maksimum yang dapat dilalui adalah 50 mA.
- d. Pin GND merupakan Pin *ground*.
- e. Pin IOREF merupakan pin yang menyediakan tegangan referensi sesuai dengan yang mikrokontroler operasikan.

Arduino Uno dapat digunakan sebagai sumber sinyal PWM, namun amplitudo dari sinyal PWM yang dihasilkan Arduino Uno yaitu 5 Volt DC. Untuk membias *gate* dari sakelar semikonduktor pada rangkaian *buck converter* diperlukan tegangan minimal 12-15 Volt DC, sehingga diperlukan sebuah rangkaian penguat sinyal PWM yaitu rangkaian *gate driver*.

2.7. Gate Driver

Mosfet pada rangkaian *buck converter* akan bekerja ketika tegangan pada kaki *gate-source* yang diberikan sebesar 12,5 Volt sampai dengan 15 Volt. Karena keluaran Arduino Uno hanya 5 Volt, dibutuhkan rangkaian penguat sinyal yaitu *gate driver*. IC *gate driver* menggunakan catu daya 15 Volt sehingga amplitudo sinyal PWM 5 Volt akan dikuatkan menjadi 15 Volt. IC yang digunakan untuk rangkaian *gate driver* yaitu IC HCPL3120 [13].



Gambar 2.9 Rangkaian dalam IC HCPL3120 [10].

IC HCPL3120 merupakan IC yang di dalamnya terdapat rangkaian *optocoupler*. Prinsip kerjanya yaitu led pada *optocoupler* akan mengubah sinyal kontrol menjadi cahaya. Cahaya diterima oleh *receiver* yaitu

photodiode yang kemudian akan membias basis dari transistor NPN. Transistor NPN berperan sebagai sakelar ketika basis dibias, tegangan keluaran pada pin 7 dan 6 sama dengan V_{cc} . IC HCPL3120 memiliki 8 pin yang kegunaan setiap pinnya dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel.2.2 Pin IC HCPL3120 dan kegunaannya [13].

Pin	Kegunaan
1	N/C : Tidak Terkoneksi
2	Pin Anoda
3	Pin Katoda
4	V_{EE} : Ground
5	N/C : Tidak Terkoneksi
6	V_o : Keluaran IC
7	V_o : Keluaran IC
8	V_{CC} : Tegangan Sumber IC

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tugas akhir dilaksanakan pada bulan Februari 2017 hingga November 2017. Perancangan, pembuatan perangkat keras (*hardware*) dan penulisan laporan dilakukan di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dibagi menjadi perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perangkat keras yang digunakan, yaitu:

1. 1 unit laptop yang berfungsi sebagai alat untuk melakukan simulasi dan media pengerjaan laporan penelitian.
2. Rangkaian *buck converter*, rangkaian ini dibangun oleh komponen elektronika seperti mosfet, dioda, induktor, kapasitor dan resistor.
3. Rangkaian *isolated power supply*, rangkaian ini untuk memberikan catu daya pada rangkaian *buck converter*, rangkaian *gate driver* dan mikrokontroler Arduino Uno.

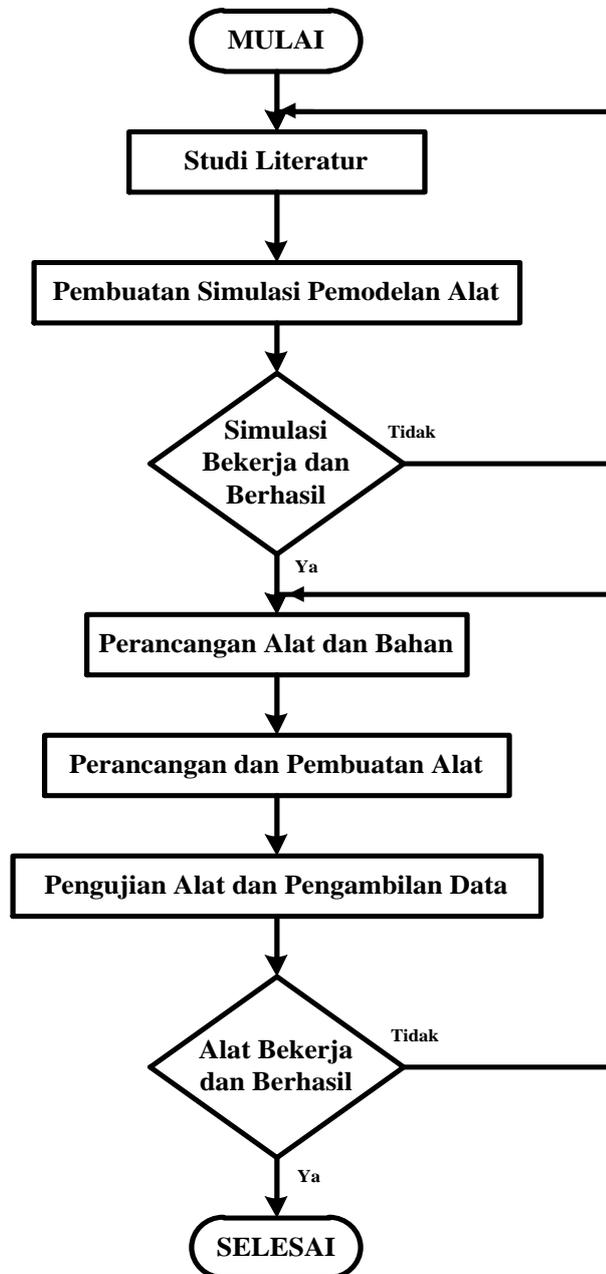
4. Mikrokontroler Arduino Uno digunakan untuk mengolah data tegangan dan arus panel surya, menanamkan algoritma *hill climbing* untuk mencari daya maksimum dan mengatur *pulse wave modulation* (PWM).
5. Rangkaian *gate driver* yang digunakan sebagai penghubung antara rangkaian daya (*buck converter*) dan rangkaian kontrol sekaligus menguatkan amplitudo dari sinyal kontrol.
6. Multimeter digital sebagai alat ukur dalam penelitian.
7. *Solar power meter* sebagai alat yang digunakan untuk mengukur *irradiance* dari pancaran sinar matahari.
8. *Infrared thermometer* sebagai alat yang digunakan untuk mengukur suhu dari panel surya.
9. 1 unit solder dan timah untuk realisasi rangkaian.
10. 1 unit *project board* sebagai pengujian rangkaian.
11. 1 unit osiloskop untuk pengujian sinyal PWM.

Sedangkan untuk perangkat lunak yang digunakan yaitu:

1. *Arduino Integrated Development Environment* (IDE) untuk pembuatan kode program (*sketch*) yang akan dimasukkan ke dalam *board* Arduino Uno.
2. *Diptrace* untuk membangun rangkaian *PCB Layout* yang digunakan dalam penelitian.
3. *Microsoft office visio* yang berfungsi sebagai media pembuatan diagram alir (*flowchart*) penelitian.

3.3. Metode Penelitian

Rancang bangun alat kontrol panel surya dibagi menjadi tiga tahap, yaitu studi literatur, perancangan perangkat keras pembuatan perangkat keras dan pengujian perangkat keras. diagram alir penelitian pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

a. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari informasi atau bahan materi yang bersumber dari buku, jurnal, bahan dari internet maupun sumber-sumber lain yang berkaitan dengan penelitian ini. Beberapa bahan materi tersebut diantaranya adalah:

1. Karakteristik dari panel surya
2. Rangkaian *buck converter*
3. Teknik *Maximum Power Point Tracker* (MPPT)
4. Algoritma *hill climbing*
5. Mikrokontroler Arduino Uno.

b. Perancangan Simulasi Alat

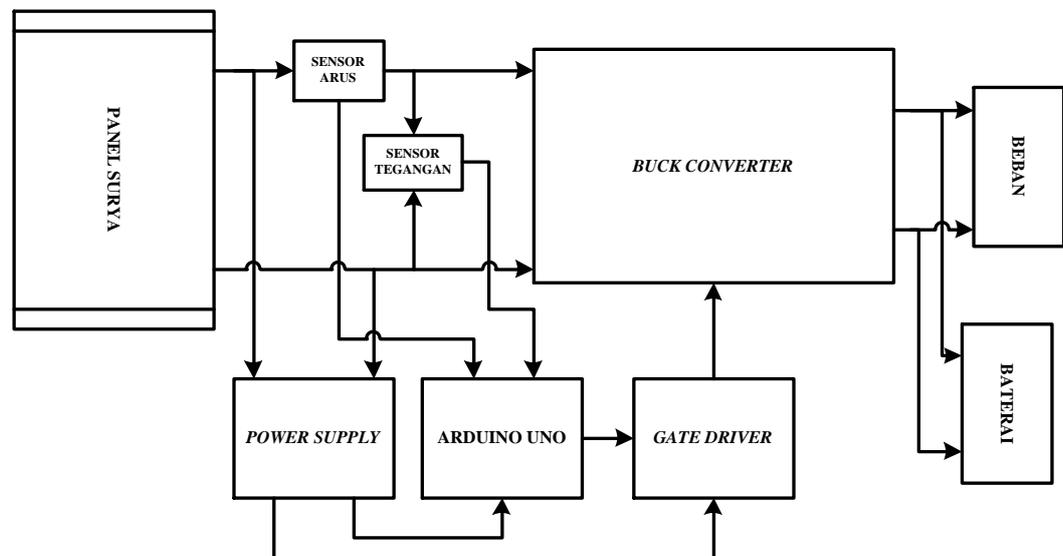
Simulasi alat dilakukan untuk memperkuat hipotesis dari penelitian ini dan memastikan bahwa metode yang dilakukan dapat direalisasikan. Simulasi alat dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB. Pembuatan model matematis dari panel surya didasari dengan parameter dari panel surya yang digunakan. Parameter tersebut yaitu *Voltage Open Circuit (Voc)*, *Current Short Circuit (Isc)*, *Resistansi Seri (Rs)* dan *Resistansi Shunt (Rsh)*.

Pada simulasi akan dibuat model matematis dari panel surya dengan menggunakan perhitungan rangkaian ekuivalen panel surya. Pengujian model panel surya juga dilakukan untuk mengetahui berapa tegangan dan arus pada saat daya maksimum, selain itu diperoleh grafik karakteristik daya terhadap tegangan dan arus terhadap tegangan. Pemodelan rangkaian *buck converter*

juga dilakukan untuk memastikan rancangan *buck converter* bekerja dengan baik.

c. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras dibutuhkan untuk menentukan komponen-komponen yang digunakan dalam penelitian. Bagian-bagian alat yang dirancang meliputi rangkaian *buck converter*, *isolated power supply*, *gate driver*, sensor tegangan dan sensor arus. Rancangan alat kontrol panel surya yang dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Rancangan alat kontrol panel surya

Pada alat kontrol panel surya teknik MPPT digunakan rangkaian DC-DC konverter jenis *buck converter*. Rangkaian *buck converter* akan bekerja sesuai dengan gelombang PWM yang diberikan oleh penghasil PWM. Pada penelitian ini penghasil PWM yaitu Arduino Uno. Arduino Uno membutuhkan sebuah rangkaian penguat sinyal yaitu *gate driver* karena sinyal PWM yang dihasilkan Arduino Uno belum mampu membias *gate*

mosfet pada rangkaian *buck converter* karena amplitudo PWM hanya 5 Volt. Catu daya Arduino Uno dan rangkaian *gate driver* menggunakan *isolated power supply* dengan keluaran 5 Volt dan 15 Volt. Dari perancangan ini didapatlah *schematic* alat yang nantinya akan dijadikan acuan untuk pembuatan alat.

d. Pembuatan Alat dan Program

Pada tahap pembuatan alat, *schematic* dijadikan sebagai acuan dalam pembuatan *PCB Layout* rangkaian dan penentuan komponen. Perangkat keras alat kontrol panel surya dengan teknik MPPT terdiri dari rangkaian *buck converter*, Arduino Uno, *isolated power supply*, *gate driver*, dan sensor. Rangkaian *buck converter* menggunakan komponen yang sesuai dengan besar arus keluaran panel surya. Rangkaian *gate driver* mosfet menggunakan IC HCPL3120. Pembuatan program Arduino Uno menggunakan *software Arduino Integrated Development Environment (IDE)* yang di dalamnya ditanam algoritma *hill climbing*. Keluaran dari Arduino Uno berupa gelombang PWM yang digunakan untuk mengontrol rangkaian *buck converter*.

3.4 Pengujian

3.4.1 Simulasi Alat

Pada tahap simulasi, dilakukan pengujian model panel surya dengan perubahan *irradiance* dan pengujian dengan perubahan suhu, pengujian rangkaian *buck converter* dan pengujian model alat kontrol panel surya teknik MPPT algoritma *hill climbing*.

- Pengujian Model Panel Surya

Pengujian model panel surya dilakukan untuk mengetahui apakah pemodelan panel surya telah sesuai dengan kondisi panel surya yang sebenarnya. Panel surya yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Solar World*, dengan daya maksimum sebesar 50 Watt, tegangan tanpa beban (*Voc*) sebesar 22,1 Volt, arus hubung singkat (*Isc*) sebesar 2,95 Ampere. Pengujian model panel surya dilakukan dengan *Standar Test Condition* yaitu *irradiance* 1000 Watt/m² dan suhu panel surya 25° Celcius. Pengujian dilakukan dengan mengubah-ubah *irradiance* dan suhu untuk mengetahui pengaruh perubahan *irradiance* dan suhu terhadap daya yang dihasilkan panel surya.

- Pengujian Simulator Alat Kontrol Panel Surya Menggunakan

Algoritma Hill Climbing

Pada pengujian ini akan dilakukan penggabungan antara model panel surya dan model alat kontrol panel surya teknik MPPT algoritma *hill climbing*. Pengujian pertama dilakukan perbandingan antara model panel surya menggunakan simulator alat kontrol panel surya dengan model panel surya tanpa alat kontrol. Pengujian dilakukan dengan parameter *irradiance* 1000 Watt/m², suhu 25°C, beban 10 Ohm dan baterai 12 Volt/7,2Ah. Pengujian kedua dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan *irradiance* dan suhu terhadap daya yang dihasilkan panel surya menggunakan alat kontrol panel surya teknik MPPT algoritma *hill climbing*.

3.4.2 PengujianAlat

Pengujian alat dilakukan untuk mengetahui setiap subsistem maupun alat keseluruhan bekerja dengan baik. Pengujian perangkat keras yang dilakukan meliputi pengujian sensor, pengujian *isolated power supply*, *buck converter*, rangkaian penguat sinyal, rangkaian penghasil sinyal PWM dan pengujian secara keseluruhan.

- **Pengujian *Buck Converter***

Rangkaian *buck converter* merupakan rangkaian daya dari alat kontrol panel surya. Rangkaian ini akan menurunkan tegangan dari panel surya sesuai dengan *duty cycle* sinyal PWM. Pada pengujian ini akan dilakukan pengaruh perubahan nilai *duty cycle* terhadap tegangan keluaran *buck converter*. Hasil dari pengukuran akan dibandingkan dengan hasil perhitungan sehingga didapatkan besar simpang error pengukuran.

- **Pengujian Rangkaian Penguat Sinyal**

Rangkaian penguat sinyal diperlukan untuk menguatkan amplitudo sinyal PWM dari Arduino Uno yang hanya 5 Volt, sedangkan amplitudo yang dibutuhkan untuk membias *gate* dari mosfet adalah 12,5 Volt sampai dengan 15 Volt. Rangkaian penguat sinyal menggunakan IC HCPL3120. Catu daya IC HCPL3120 sebesar 15 Volt. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa rangkaian penguat sinyal bekerja dengan baik dan sinyal PWM dapat dikuatkan amplitudonya hingga 15 Volt.

-**Pengujian *Power Supply***

Power supply digunakan untuk menyuplai rangkaian penguat sinyal dan Arduino Uno. *Power supply* yang diguanakn yaitu *isolated power supply*.

Penggunaan *power supply* bertujuan menghasilkan keluaran yang saling terisolasi dengan sumber tegangan 12 Volt. Keluaran *power supply* yang diharapkan yaitu 5 Volt dan 15 Volt. *Isolated power supply* merupakan *power supply* yang prinsip kerjanya mengkonversi tegangan DC ke AC kemudian dikonversi kembali dari AC ke DC. Sumber dari *isolated power supply* adalah panel surya. Pengujian dilakukan untuk memastikan *power supply* tetap bekerja ketika tegangan panel surya berubah-ubah.

- **Pengujian Sensor**

Pada penelitian ini sensor yang digunakan yaitu sensor tegangan dan sensor arus. Sensor tegangan digunakan untuk mengukur besar arus keluaran dari panel surya, sedangkan sensor arus digunakan untuk mengukur arus dari panel surya. Nilai yang terukur dari sensor akan digunakan sebagai parameter algoritma *hill climbing* dalam memberikan perintah ke rangkaian *buck converter* berupa sinyal PWM. Sensor tegangan dan arus memerlukan keakuratan yang tinggi, sehingga dilakukan pengujian pengukuran sensor yang dibandingkan dengan alat ukur.

- **Pengujian Rangkaian Secara Keseluruhan dan Pengambilan Data**

Pengujian rangkaian keseluruhan dilakukan untuk memastikan bahwa semua subsistem dari alat kontrol panel surya bekerja dengan baik. pengujian dilakukan di lapangan dengan menggunakan panel surya. Pengujian dilakukan dengan membandingkan antara daya yang diperoleh dari panel surya menggunakan alat kontrol teknik MPPT algoritma *hill climbing* dan daya yang diperoleh panel surya menggunakan alat kontrol panel surya tanpa MPPT. Pada penelitian ini, diharapkan algoritma *hill climbing* dapat

berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan panel surya, karena algoritma *hill climbing* akan memaksa panel surya untuk menghasilkan daya optimal dengan cara mengubah-ubah *duty cycle* panel surya. Dengan perubahan *duty cycle*, akan mempengaruhi keluaran *buck converter*. Ketika *slope* bernilai positif, akan terjadi penambahan nilai *duty cycle* sehingga tegangan keluaran akan semakin besar. Karena beban yang terpasang tidak berubah maka arus akan mengalami peningkatan dengan demikian daya yang dibutuhkan beban akan semakin meningkat dan memaksa panel surya untuk memberikan daya yang lebih besar dibandingkan dengan iterasi sebelumnya. Untuk memastikan alat bekerja dengan baik, alat kontrol teknik MPPT ini akan dibandingkan dengan alat kontrol yang sudah ada dengan menggunakan panel surya, baterai dan beban yang sama.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan alat kontrol panel surya dengan menggunakan teknik MPPT algoritma *hill climbing* akan mengoptimisasi daya yang dihasilkan panel surya dibandingkan dengan alat kontrol panel surya tanpa MPPT dengan selisih daya sebesar 10 %.
2. Daya panel surya tertinggi terukur pada pukul 10.10 WIB dengan daya keluaran panel surya yang dihasilkan ketika menggunakan alat kontrol MPPT yaitu 39,68 Watt, sedangkan pada panel surya yang menggunakan alat kontrol tanpa MPPT yaitu 37,93 Watt.
3. Alat kontrol panel surya teknik MPPT algoritma *hill climbing* mampu mengoptimalkan daya keluaran panel surya meskipun *irradiance* dan suhu panel surya fluktuatif.
4. Semakin besar nilai *Dstep* pada Algoritma *Hill Climbing* maka semakin cepat waktu untuk mencapai kondisi *steady state* namun daya yang dihasilkan dibawah titik MPP panel surya, sedangkan semakin kecil nilai *Dstep* maka waktu mencapai kondisi *steady state* semakin lama namun daya yang dihasilkan mendekati titik MPP panel surya.

5.2 Saran

Rancang bangun alat kontrol panel surya menggunakan teknik MPPT algoritma *hill climbing* sangat dipengaruhi oleh kepresisian dari sensor arus tegangan dan arus yang digunakan karena perubahan nilai yang sangat kecil dan harus terdeteksi sehingga diperlukan sensor yang lebih presisi. Selain itu, algoritma *hill climbing* masih terbilang lambat dalam mencari titik maksimum pada saat awal dioperasikan sehingga diharapkan penelitian selanjutnya dibutuhkan algoritma yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suhono. 2009. *Inventarisasi Permasalahan pada Instalasi Solar Home System di Wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta*. Yogyakarta. Universitas Gajah Mada.
- [2] A. Henry.A. 2013. *Improving The Efficiency Of Solar Photovoltaic Power System*. Open Access Master's Theses Paper University of Rhode Island. Pp. 161.
- [3] Abdulkadir.M, Samosir.A.S, Yatim.A.H.M dan Yusuf.S.T. 2013. *A New Approach of Modelling, Simulation of MPPT for Photovoltaic System in Simulink Model*. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. Vol 8. No 7. pp 484-494
- [4] M.F.Salam, S.I. Haryudo. 2017. *Simulasi Maximum Power Point Tracking (MPPT) Panel Surya Menggunakan Pertub and Observe Sebagai Kontrol Buck-Boost Converter*. Jurnal Teknik Elektro. Pp.57-64.
- [5] Bahar.M.I, Tarassodi.P, Naeini.Y.M, Khalilabad.A.K dan Shirazi.P. 2016. *Modeling and Simulation Hill Climbing MPPT Alghorithm for Photovoltaic Application*. International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion. pp 1041-1043.
- [6] Samosir A.S. 2015. *Modeling and Evaluation of Solar Photovoltaic Emulator Based on Simulink Model*. ARPN Journal of Engineering and Aplied Sciences Vol 10, No 22. pp 10288-10295.
- [7] Sahu.T.P, Dixkit.T.V, K.Ramesh. 2014. *Simulation and Analysis of Pertube and Observe MPPT Algorithm for PV Array Using CUK Converter*. Research India Publication.. Vol 4, No 2. pp 213-224.
- [8] Harmini, T. Nurhayati. *Aplikasi MPPT (Maximum Power Point Tracker) – Fuzzy Logic Control (FLC) untuk Pembangkit Terdistribusi pada Sistem Grid PV (Photovoltaic)*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universi Semarang.
- [9] D. Darmawan. *Perancangan Maximum Power Point Tracker (MPPT) untuk Panel Surya menggunakan Konverter Cuk dengan Metode Hill Climbing*. Jurusan Teknik Elektro-FTI, Institut Teknologi Sepuluh November.

- [10] M.A Ahmed, Y.Almotaz dan S.J.Raihan. 2014. *Implementation of Perturb and Observe MPPT of PV System With Direct Control Method Using Buck and Buck-Boost Converters*. Electronic & Instrumentation Engineering: An International Jurnal (EEIEJ) Vol-1, No-1. pp.33.
- [11] Hart.D.W. 2011. *Power Electronics International Edition*. Singapura. Mc Graw Hill.
- [12] User Manual DataSheet. 2012. *Arduino Comparison Guide*. Colorado. SparkFun Electronics.
- [13] User Manual DataSheet. 2008. *HCPL-3120/J312, HCNW3120 2.5 Amp Output Current IGBT Gate Driver Optocoupler*. USA. Avago Technologies.